مجموعه مقالات هفتمین سمپوزیوم بین المللی روبوکاپ آزاد ایران و پنجمین کنفرانس هوش مصنوعی و رباتیک

زمان برگزاری: ۲۳ فروردین ماه ۱۳۹۴

محل برگزاری: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین

Proceedings of the 7th RoboCup IranOpen International Symposium and the 5th Joint Conference of AI & Robotics

Date of conference: April 12, 2015

Held in Iran, Islamic Azad University, Qazvin Branch


بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مقالات انگلیسی

ردیف	عنوان مقاله	شماره صفحه
1	Mars image segmentation with most relevant features among wavelet and color features	1
2	Web Query Classification Using Improved Visiting Probability Algorithm and BabelNet Semantic Graph	9
3	An efficient hybrid approach based on K-means and generalized fashion algorithms for cluster analysis	14
4	Mobile Robot Navigation using Sonar Vision Algorithm applied to Omnidirectional Vision	22
5	Multi-view tracking using Kalman filter and graph cut	30
6	Developing Intelligent Full-scale PredictiveModel of an Industrial Walking Beam Furnace ProcessUsing Neural Networks	36
7	Enhanced Comprehensive Learning Cooperative Particle Swarm Optimization with Fuzzy Inertia Weight (ECLCFPSO-IW)	45
8	Polynomial Based Optimal Trajectory Planning andObstacle Avoidancefor an Omni-Directional Robot	53
9	Optimal Trajectory Planning for an Omni-Directional Mobile Robot with Static Obstacles: A Polynomial Based Approach	60
10	Word Concept Extraction Using HOSVD for Automatic Text Summarization	67
11	Consensus of Heterogeneous Multi-Agent SystemsUsing Static Output Feedback	74
12	A feature selection method based on minimum redundancy maximum relevance for learning to rank	82
13	A note on Pearson Correlation Coefficient as a metric of similarity in recommender system	89

ردیف	عنوان مقاله	شماره صفحه
14	Attitude Estimation of an Accelerated Rigid Body with Sensor Fusion based-on Switching Extended Kalman Filter	95
15	Adaptive Fuzzy-PD Controller for 3D Walking of Biped Robots	103
16	Trajectory Generation of a Micro Underwater Robot in 3D Space Considering Obstacles by Anovel Potential Function	112
17	Model Free Robust Impedance Control of Robot Manipulators using Fourier Series Expansion	117
18	Attitude Control and Trajectory tracking of an Autonomous Miniature Aerial Vehicle	124
19	Dynamics Modeling of Planar Continuum Robots by Finite Circular Elements for Motion Control	131
20	Optimization of Dynamic Mobile Robot Path Planning based on Evolutionary Methods	137
21	Trajectory Tracking via Adaptive Nonlinear Control Approach for a Quadrotor MAV	144
22	Implementation of a Frequency FIR Filter as 2D-FIR Filter Based on FPGA	152
23	A New Approach for Kinematics-based Design of 3-RRR Delta Robot swith a Specified Workspace	157

فهرست مقالات فارسی

ردیف	عنوان مقاله	شماره صفحه
۱	معرفی روشی جدید برای بهبود کیفیت تصاویر درموسکوپی به منظور تشخیص غیر تهاجمی سرطان پوست	۱۶۳
۲	طراحی کنترلر بهینه برای بهبود پایداری چرخشی خودرو با استفاده از دیفرانسیل فعال	۱۶۸
۳	بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل جهت تعین ساختار شبکه عصبی مصنوعی	۱۷۳
۴	محاسبه همسایگی زمان ثابت درخت هشت‌تایی در حین تولید اول سطح مدل درخت و با استفاده از قانون همسایگی والدی با رویکرد استفاده در مسائل مسیریابی در فضای ۳ بعدی	۱۸۰
۵	الگوریتم بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات تعاونی مبتنی بر یادگیری فراگیر با ضریب اینرسی فازی	۱۸۷
۶	طبقه بندی تصاویر سنجش از راه دور با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی مبتنی بر وزن	۱۹۶
۷	ارائه یک سیستم پیشنهاد دهنده آگاه از اعتمادمبتنی بر وزن‌دهی برچسب‌ها	۲۰۴
۸	استفاده از یادگیری Q برای تعیین قیمت فروش محصول در محیط TACSCM	۲۱۱
۹	شناسایی پیامک‌های هرزه با استفاده از ویژگی‌های متنی و دسته‌بند تقویت کنند	۲۱۷
۱۰	حداکثرسازی جرم قابل حمل برای بازوهای متحرک چرخ‌دار با در نظر گرفتن ملاحظات پایداری دینامیکی	۲۲۵
۱۱	الگوریتم مد رقابتی (CFA): روشی نوین برای بهینه‌سازی	۲۳۳
۱۲	Persistent K-Means:خوشه‌بندی پایدار داده‌ها مبتنی بر الگوریتم K-Means	۲۴۰
۱۳	ارائهٔ یک الگوریتم جدید مبتنی بر روش بهینه سازی دستهٔ ذرات برای مسائل بهینه سازی پویا	۲۴۸
۱۴	بهبود کارایی الگوریتم بهینه سازی دسته جمعی ذرات برای بهینه سازی در محیط پویا با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی حدی	۲۵۶
۱۵	یک روش مبتنی بر آتاماتای یادگیر سلولی برای حل مسئله شبه‌کلیک وزن‌دار بیشینه	۲۶۲
۱۶	موقعیت یابی بازیکنان دفاع در شبیه سازی دو بعدی فوتبال	۲۷۰
۱۷	استفاده از یک سیستم تشخیص نفوذ جدید برای مقابله با حمله‌های سیاه‌چاله در شبکه‌های سیار موردی	۲۷۴
۱۸	بهبود خلاصه سازی متون با استفاده از روش فرا اکتشافی جستجوی فاخته	۲۸۱
۱۹	بهبود عملکرد خلاصه سازی متن با استفاده از روش قطره آب هوشمند	۲۸۶

Mars image segmentation with most relevant features among wavelet and color features

Abdolreza Rashno
Department of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology,
a.rashno@ec.iut.ac.ir

Mohamad Saraee
School of Computing, Science and Engineering, University of Salford-Manchester, United Kingdom,
m.saraee@salford.ac.uk

Saeed Sadri
Department of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology,
sadri@cc.iut.ac.ir

***Abstract*—Mars rover is a robot which explores the Mars surface, is equipped to front-line Panoramic Camera (Pancam). Automatic processing and segmentation of images taken by Pancam is one of the most important and most significant tasks of Mars rover since the transformation cost of images from Mars to earth is extremely high. In this paper, a new feature vector for image pixels will be proposed as well as a new feature selection schema based on ant colony optimization(ACO). Then, the most relevant features are presented for multiclass Support Vector Machine (SVM) classifier which led to high accuracy pixel classification and then image segmentation. Our proposed method is compared with genetic algorithm feature selection, experimental results show that the proposed method outperforms this method in the terms of accuracy and efficiently.**

Keywords—Pixel classification, image segmentation,feature selection, ant colony optimization, genetic algorithm, support vector machine;

INTRODUCTION

Recently the automated robot, named as Mars Rover is configured in Mars environment,is equipped with Pancam instrument which could be assumed as scientist's eyes on Mars. Automated image analysis system with high degree of accuracy for analyzing of Mars images is required to escape from manually analyzing which is time-consuming task with human errors[1].

Our contribution in this research is automatic detection and segmentation of different types of rocks and sands from their surrounding background in Mars images. The first step in implementation of such systems is the extraction of feature set from image pixels. Despite the fact that which features are the best descriptor for pixels classes and lead to more accurate classification results, there are so many features proposed by researches as being a candidate in feature set[2,3]. Although the more relevant features in feature set, the higher accuracy in detection and segmentation could be achieved, increasing dimension of feature set involve high computational time which is not in our interest especially in on-board applications such as Mars rover with the limitation of power, memory and processing rate. On the other hand, there is the idea that not all extracted features are relevant in classification [4]. A key issue is that the size of the feature vector should be kept as small as possible since most of the classification methods used for Mars rover involve high computational costs when feature vectors move towards higher dimensionalities. Feature selection is a method that removes redundant and irrelevant feature components. As a result, low time complexity and high system accuracy could be achieved. Many feature selection approaches have been proposed for different applications such as our proposed speaker verification schema [5], face recognition [6], data mining and pattern recognition[7] and so on. Feature selection has also been applied to Mars rover automated system in the term of minimizing feature subset by Fuzzy-rough feature selection[1,8] and information gain ranking technique[9] in mars image detection and segmentation.

In this paper, the new schema for rock detection and segmentation is proposed. Firstly, the feature set including, wavelet features, color descriptor features, color statistic features and color local histogram features are all extracted from image. Then, the new feature selection method based on ant colony optimization will be applied to extracted feature set and the most relevant and most significant features are selected from whole feature set. Finally, the multiclass support vector machine classifier is adapted for this application and trained by the way that classifier parameters are estimated with highest classification accuracy. The segmented Mars images are the result of our proposed system.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 describes the extraction of feature set from images. Pixel classifier and image database are explained in more details in Section 3. Feature selection and our proposed method are described completely in Section 4. Experimental setup and results are described in Sections 5 and 6 respectively. Finally, the conclusion and future works are discussed in Section 7.

FEATURE EXTRACTION

Wavelet Features

Wavelet transform could be applied to images as 2-dimensional signals in Eq. (1).

$$CWT(s,a,b) = \frac{1}{\sqrt{s}} \iint f(x,y)\, \Psi\left(\frac{x-a}{s}, \frac{y-b}{s}\right) dx \qquad (1)$$

The frequency components of the image are obtained up to k level. In each level, these components are LL that is approximation of image and HL, LH and HH that are horizontal, vertical and diagonal frequency details respectively [10].

In this research the low and high frequency components are used for extracting features of window around pixels since some type of rocks such as layered and wave-shaped rocks with having vertical and horizontal frequency components are easily segmented by these types of features. We use Frobenius norm of frequency components which for a vector $M = [M_1, M_2, \ldots, l]$ is defined in Eq. (2).

$$M \in R^n \Rightarrow \|M\|_F = \left(\sum_{i=1}^{n} |M_i|^2\right) \qquad (2)$$

For Mars images in RGB space, first they are converted to gray space, then, first level of Haar filter for LH and HL components are computed. Then, Frobenius norms of rows of LH, columns of LH, rows of HL and columns of HL are computed and denoted by a_1, b_1, c_1 and respectively.Finally, the mean and standard deviation of vectors a_1, b_1, c_1 and are computed for wavelet features of each pixel. This method aims for reducing sensitivity toward local differences existing in each class of pixels. These differences can result in increasing distances between different classes and decreasing them within a same class. Extracting features in this way improves the classification accuracy.

Color Features

1) Dominant color descriptor

Dominant color descriptor(DCD) is one of the approved color descriptors in the MPEG-7 Final Committee Draft among several number of histogram descriptors. Both representative colors and the percentage of each color are included in DCD. Moreover,DCD provide an effective and compact color representation, could be applied for color distribution in an image or a region of interesting [11]. In DCD, first, each color is divided into the number of partitions named as course partitions. Then, all points in a same partition are assumed to be similar and near to each other. Partition centers are the average value of all pixels in each partition and are calculated with the Eq. (3).

$$C_i = \frac{\sum_{p_i}}{\sum_{p_i}} \qquad (3)$$

Which is an ith partition. In this research the DCD features are extracted in RGB domain. Each pixel color value is replaced by the center value of partition which is belonged to it. As a result, applying DCD quantize images which the possible colors for each pixel is equal with the number of partitions. For a window around a pixel, the dominant colors for R, G and B components are computed and represented as DCD features for that pixel.

2) Local color histogram features

Histogram is a bar showing the number of pixels falling in grey levels named resolution ranges or bins[12]. Since Mars images are RGB with the range 0-255 in each component, 256 bins is needed per R, G and B components which is computationally expensive. This range divided to 8 equal sub-ranges for each component. Since our interest is local features means that features of window around a pixel, 8 features are extracted for each component of a region of image. So, each pixel of image is mapped to 24-dimensional feature vector in the term of local color histogram features.

3) Color statistic features

First and second moments of window around pixels are mean and standard deviation respectively. We have applied these features in RGB domain. For R, G and B the mean and standard deviation are computed as color statistic features.

PIXEL CLASSIFIER

Support Vector Machine

SVM is one of the powerful machine learning methods based on statistical learning theory. SVM is widely used in pattern recognition problems because of its good generalization ability compared with traditional classification methods [13]. SVM was originally proposed for binary classification problems but it can also be generalized for multi-class applications. The problem is to find a hyper-plane to separate instances from two classes. If the input data are not linearly separable, we can't find this hyper-plane. Thus, input data are mapped into higher dimensional space using map functions in order to create linear separability between instances[14].

Image Database

This research proposes an image classifier which classifies and segments the different type of rocks of Panorama images from Mars environment. The image with 180-degree of scan named as Home Plate South panorama image [15] is used in this research. This image is taken by the panoramic camera on NASA's Mars Exploration Rover Spirit, acquired on October 2007, has the dimension of 23123x3775 pixels with about 90 meters length. A part of this image are show in Fig.1.

FEATURE SELECTION

Feature selection is a discrete optimization problem which selects *m* features among *n* ones that $m :$ [16]. Alleviating the effect of the dimensionality, enhancing generalization capability, improving model interpretability and speeding up the learning process are all the benefits of removing irrelevant and redundant features from the main features of data [5 ,17]. Some popular evolutionary-based feature selection approaches are ant colony optimization (ACO)[18], particle swarm optimization (PSO)[19], genetic algorithm (GA) [20] and Relief [21].



Fig.1.A part of Home Plate South panorama image.

Genetic Algorithm for Feature Selection

GA introduced by Holland in 1975, is a randomized heuristic search technique based on biological evolution strategies. GA has been applied to our problem of interest in several approaches as well as its application in feature selection and feature weighting. The purpose of GA in feature selection task is finding an optimal binary vector with the smallest number of 1s such that the classifier performance is maximized[20 , 22]. Another application of GA is feature weighting which assigns numerical weights to features instead of binary 0 and 1 weights[23].

Ant Colony Optimizationfor Feature Selection

As a solution of hard optimization problems, an iterative and probabilistic meta-heuristic method named ACO was proposed by Dorigo and colleagues which simulates the natural behavior of ants, consisting of mechanisms of adaptation and cooperation [24]. Similar to GA, ACO can be reformulated for feature selection problem by the way that finds a path with minimum cost in graph. In contrast with classic ACO, here, nodes in the graph represent features and the edges between nodes denote the choice of the next feature [25]. The pheromone update rule and transition rule of ACO algorithm can be used by a little reformulation for feature selection. In this case, pheromone and heuristic value are associated to nodes(features) rather than edges. The probability that ant k selects feature i at time step t is calculated by Eq. (4).

$$P_i^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_i(t)]^{\alpha}[\eta_i]^{\beta}}{\sum_{u \in J^k}[\tau_u(t)]^{\alpha}[\eta_u]^{\beta}} & \text{if } i \in J^k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

Where J^k is the set of features that are allowed to be added to the partial solution if they are not visited so far. τ_i and η_i are the pheromone value and heuristic desirability associated with feature i respectively. α and β are weights of pheromone value and the heuristic information respectively[26]. The amount of deposited pheromone of ant k on feature i in step t is calculated by Eq. (5)[17].

$$\Delta\tau_i^k(t) = \begin{cases} \Phi \cdot H(S^k(t)) \cdot \frac{n - |S^k(t)|}{n} & \text{if } i \in S^k(t) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

Where n is the number of all features, S^k and $|S^k|$ are the feature subset and its length found by ant k at iteration t respectively. $H(S^k)$ is the evaluation of subset S^k which is the classifier performance in this literature, Φ and β are parameters that determine the importance of classifier performance and feature subset length respectively. Finally, the pheromone of nodes are updated by the Eq. (6)[26].

$$\tau_i(t+1) = (1-\rho)\cdot\tau_i(t) + \sum_{k=1}^{m}\Delta\tau_i^k(t) + \Delta\tau \quad (6)$$

Where m is the number of ants, ρ is an evaporation rate which is constant and g is the best ant in previous iteration. It means that node pheromones are affected by all ants and more affected by the best ant which deposits additional pheromone on nodes. This causes the search of ants to stay around the optimal solution in the next iterations[17].

Proposed feature selection algorithm based on ACO

In the proposed method, feature selection is applied to all pixel classes simultaneously. This mean that the feature selection schema try to select most relevant features by the way that maximize the classification accuracy of all pixel classes simultaneously. So, an optimal feature vector is presented for all pixel classes.

The following algorithm describes the proposed feature selection schema in more details.

1. Initialization:

   - Set population size for ants.

   - Assign each feature to one node in graph

   and set random intensity of pheromone for it.

   - Set the maximum number of iteration.

2. Dividing the features into groups based on table 1.

3. Assign a feature to each ant randomly and mark this feature as “visited feature”.

4. For an ant, select one feature from each feature group randomly and save them in array *a*. From features in *a*, select the feature with highest probability which is calculated by (4) and mark this feature as ‘visited’.

5. Check the ant for reaching to its threshold, if not reached, go to 4.

6. For all ants, do steps 3-4.

7. Each ant deposits a quantity of pheromone on features which marked as ‘visited’ in its path by Eq. (7).

$$\Delta pheromone(i,k) = \alpha.(Model\ Accuracy(k)) + \beta.\left(\frac{FeaturesNumber - FeaturesNumber_k}{FeaturesNumber}\right) \quad (7)$$

Where $\Delta pheromone(i,k)$ is an amount of pheromone deposit by ant k on feature i, model accuracy is the F-measure of model trained by features founded by ant k, FeatutesNumber and FeaturesNumber(k) are the number of all features and the number of features in the path of ant k respectively. Finally, α an β are two parameters that control the relative weight of classifier performance and feature subset length respectively that $\alpha + \beta = 1$.

8. Find the best ant, an ant with the highest F-measure.

9.Pheromone update is calculated in Eq. (8).The pheromone of all features is evaporated, all ants deposit a pheromone on the features in their paths and the best ant has extra effect on pheromone update.

$$pheromone_i(t+1) = (1-\rho).pheromone_i(t) + \sum_{k=1}^{m} \Delta pheromone(i,k) + \Delta pheromone(i,Best) \quad (8)$$

10. Previous ants are removed and new ants are generated randomly.

11. If the stop criteria is achieved (all ants follow the same path) or maximum number of iteration is reached go to 12 else go to 3

12. The ant with maximum F-measure has the best solution.

13. End

In this task the stop criteria for ants is a threshold which defined by Eq. (9).

$$Ant_Threshold = \varphi * \exp^{-\frac{FN}{N}} + \omega * \exp^{F_Measure} \quad (9)$$

Where *FN* is the feature cardinality of the selected feature by the ant so far, *N* is the number of all features, φ and ω are the parameters that control the effect of feature size and F_measure respectively and $\varphi + \omega = 1$. Afterwards, all ants complete their search as a term of finding feature subsets. The pheromone update is then started by 3 following rules: each ant deposit some pheromone on features, the idea which stem from the natural behavior of ants, some pheromone is evaporated by time and finally, the best ant update its path pheromone stronger since it could be a sign for other ants to follow its path in next steps. The amount of pheromones in all features in ant path is affected by the F_measure and the number of features selected by that ant.

It is clear that ACO feature selection is a wrapper method among two types of feature selection as filter and wrapper. In these types of feature selection methods, accuracy of classification is involved in feature selection task. It means that the model must be trained and tested for feature subsets in each step of feature selection. Each ant after randomly selection of initial feature, select next feature based on the efficiency of that feature. Suppose that feature vector has *n* features. Each ant must train the model n-1 times for selection of second feature. After that, n-2 times of model training is needed for the selection of third feature. This continues until the ant exit from its traverse. In the worst case, each ant train the model $\frac{n(n-1)}{2}$ times in each iteration. The computation cost is explosively high. Although the feature selection is done in the offline phase, once for classification, we propose the new procedure for decreasing this cost with preserving the accuracy of classification. After many experiments it was cleared that it is no need that each ant,at each iteration, evaluate all non-visited features for select one of them which lead to model training and its high computation cost. To escape from this issue we divided features into groups as shown in table 1.

The idea of grouping features has this benefit that each ant for selection of each feature in each step of it's traverse just select among 13 features (one feature taken from each group randomly) rather than complete feature set. It is important since selection of each feature involve model training and testing. This idea stem from the fact that features in each group have similar behavior for classification, so, it is not need for evaluation all features in each step. On the other hand, all features of a group have a chance for being selected by ants. For example, if LH_meanL is the selected feature from group 1 at step *k* for a ant, feature LH_stdL will be a candidate for being selected by that ant from steps k+1 onwards. This shows that all features have a chance of being selected by ants.

EXPERIMENTAL SETUP

To show the utility of the proposed feature selection algorithms a series of experiments is conducted. We implement our algorithms on a machine with 2.26 GHz Corei7 CPU and 6GB of RAM and windows 7. The Home Plate South panorama image with the dimension of 23123x3775 pixels with about 90 meters length is divided to 512x512 sub images and then 7 different classes for pixels are defined for the task of pixel classification and image segmentation. Firstly the sub images are zero padded by 10 pixels per side. Each pixel is windowed with the 21x21 window around it, for the window of each pixel, features are computed and each pixel is mapped to its corresponding feature vector. For a window around each pixel, wavelet decomposition is computed for gray image, norm of rows and columns of LH and norm of rows and columns of HL lead to 4 vectors. The mean and standard deviation of these 4 vectors are 8 wavelet features per pixel. In color features, the number of color dominant is set to 8, so, 24 features are computed for R, G and B components. Also, mean and standard deviation of R, G and B components are 6 color statistic features. Finally, with 4 bins for the histogram of R, G and B, 12 features are computed. So, for each pixel, a feature vector of dimension 50 is used for pixel classification.

For class *i* number of pixels from this class are selected as positive samples and then the *k* randomly selected samples used as samples of negative class. The SVM is trained for these positive and negative classes which we named the SVM model for pixel class *i*. Table 2 shows the number of positive and negative samples for all pixel classes used in this research.

TABLE I. GROUPING FEATURES OF A PIXEL IN ACO FEATURE SELECTION

Group Name	Group Features	Group Name	Group Features
Group 1	**LH_meanL and LH_stdL**	Group 8	R_m and R_s
Group 2	**LH_meanH and LH_stdH**	Group 9	G_m and G_s
Group 3	**HL_meanH and HL_stdH**	Group 10	B_m and B_s
Group 4	**HL_meanLnadHL_stdL**	Group 11	R_i: **All histogram bins of R component**
Group 5	$DCDR_i$: **All color dominants of R component**	Group 12	G_i: **All histogram bins of G component**
Group 6	$DCDR_i$: **All color dominants of G component**	Group 13	B_i: **All histogram bins of B component**
Group 7	$DCDR_i$: **All color dominants of B component**		

TABLE II. NUMBER OF POSITIVE AND NEGATIVE SAMPLES FOR ALL PIXEL CLASSES

	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5	Class 6	Class 7
Number of positive samples	5651	5470	4941	10771	8682	4959	5475
Number of negative samples	5734	4365	5412	12544	9322	4566	7165
Sum	11385	9835	10353	23515	18004	9525	11640

TABLE III. PARAMETER SETTINGS FOR GA AND THE PROPOSED ALGORITHMS

Methods	Iteration	Population	Initial pheromone	Crossover Probability	Mutation Probability	δ	γ	α	β	ρ	φ	ω
GA	100	100	-	0.6	0.008	-	-	-	-	-	-	
Proposed Algorithm	100	100	1	-	-	1	1	0.6	0.4	0.3	0.1	0.9

In these experiments, various parameter values were tested for GA and the proposed algorithms. According to our experiments, the highest performance in each method is achieved by setting the parameters to values shown in Table 3.

For classification task, the learning method is set to sequential minimization optimization(SMO) with maximum iterationnumber of 20000 and kernel cache limit to 1000. The multilayer Perceptron(MLP) with scale [0.01,-0.01] and linear functions are used as kernel functions in this research since these kernels had the best accuracies for classification.

EXPERIMENTAL RESULTS

Our proposed pixel classification and image segmentation system is evaluated by precision, recall and F-measure as the harmonic mean of precision and recall.

Our proposed model is compared with genetic algorithm(GA) which is an evolutionary algorithm. Dropping irrelevant features and presenting most relevant ones for SVM models corresponding to pixel classes, surprisingly increase the classification accuracy a little. Also, results show that our proposed algorithm has better results than genetic algorithm for two SVM kernels and different pixel classes. The precision, recall and F-measure of our proposed method is compared with genetic algorithm, are shown in table 4.

The final results of this research is pixel classification and image segmentation. All 7 types of rocks[1] including Rover tracks, small black stone and sand, medium black stone and sand, layered rocks, wave rocks, dark large size rocks with shadow and flat rocks

are all segmented in Home Plate South sub images. However, some parts of images which were far away fromPancom camera are not segmented to one of mentioned 7 rock types in this research since their details are not visible. As it is clear from segmented images, the main error source of segmentation is stem from boundary between regions. Since the feature vector of a pixel is features of window around that pixel, the pixels which are near to region boundaries are windowed by pixels from other classes, so they incorrectly classified to other class labels. However, our proposed feature selection methods, select the features which are not depended to boundary as possible, this increases the accuracy of segmentation even after dimension reduction of pixel features. We assigned 8 colors including red, green, blue, yellow, indigo, pink, gray and violet for classes 1-7 and non-segmented parts respectively. Fig. 2(a-c) shows some samples of segmented images.

TABLE IV. CLASSIFICATION ACCURACY FOR SECOND PROPOSED METHOD AND GA

		Complete Feature set		**Selected Features by proposed method**		**Selected Features by GA**	
		SVM_MLP	SVM_Linear	SVM_MLP	SVM_Linear	SVM_MLP	SVM_Linear
C1	**Precision**	0.6139	0.6553	0.5889	0.6670	0.6122	0.6542
	Recall	0.9874	0.9511	0.9892	0.9407	0.9619	0.9483
	F-measure	**0.7571**	**0.7760**	**0.7390**	**0.7805**	**0.7482**	**0.7743**
C2	**Precision**	0.9975	0.9991	0.9960	0.9990	0.9935	0.9632
	Recall	0.8600	0.8348	0.8883	0.8380	0.8415	0.8143
	F-measure	**0.9237**	**0.9096**	**0.9391**	**0.9114**	**0.9112**	**0.8825**
C3	**Precision**	0.9952	0.9981	0.9953	0.9927	0.9713	0.9854
	Recall	0.7520	0.6850	0.7779	0.7096	0.7455	0.6834
	F-measure	**0.8567**	**0.8124**	**0.8732**	**0.8276**	**0.8436**	**0.8071**
C4	**Precision**	0.9062	0.9486	0.9077	0.9513	0.8965	0.9589
	Recall	0.9440	0.9174	0.9517	0.9175	0.9576	0.9200
	F-measure	**0.9247**	**0.9323**	**0.9293**	**0.9341**	**0.9260**	**0.9390**
C5	**Precision**	0.8705	0.8524	0.8945	0.8437	0.8633	0.8586
	Recall	0.9357	0.9423	0.9317	0.9454	0.9042	0.9199
	F-measure	**0.9020**	**0.8951**	**0.9127**	**0.8916**	**0.8833**	**0.8882**
C6	**Precision**	0.8080	0.9373	0.8037	0.9373	0.7854	0.9025
	Recall	0.9020	0.5824	0.8992	0.5745	0.8945	0.5474
	F-measure	**0.8524**	**0.7184**	**0.8487**	**0.7124**	**0.8364**	**0.6815**

C7	**Precision**	0.9926	0.9400	0.9863	0.9037	0.9932	0.9165
	Recall	0.8187	0.8537	0.8247	0.8713	0.7913	0.8465
	F-measure	**0.8973**	**0.8948**	**0.8983**	**0.8872**	**0.8808**	**0.8801**
Average Precision		**0.8835**	**0.9036**	**0.8817**	**0.8992**	**0.8736**	**0.8913**
Average Recall		**0.8856**	**0.8231**	**0.8946**	**0.8281**	**0.8709**	**0.8114**
Average F-measure		**0.8734**	**0.8475**	**0.8771**	**0.8492**	**0.8613**	**0.8361**
Optimal feature subset found by proposed feature selection method and SVM classifier				LH_meanL, HL_stdH, HL_stdL, DCDR1,DCDR5,DCDG4,DCDB1,Bm,Bs,R1,R6, G2,G3, B1,B4,B6,B7			

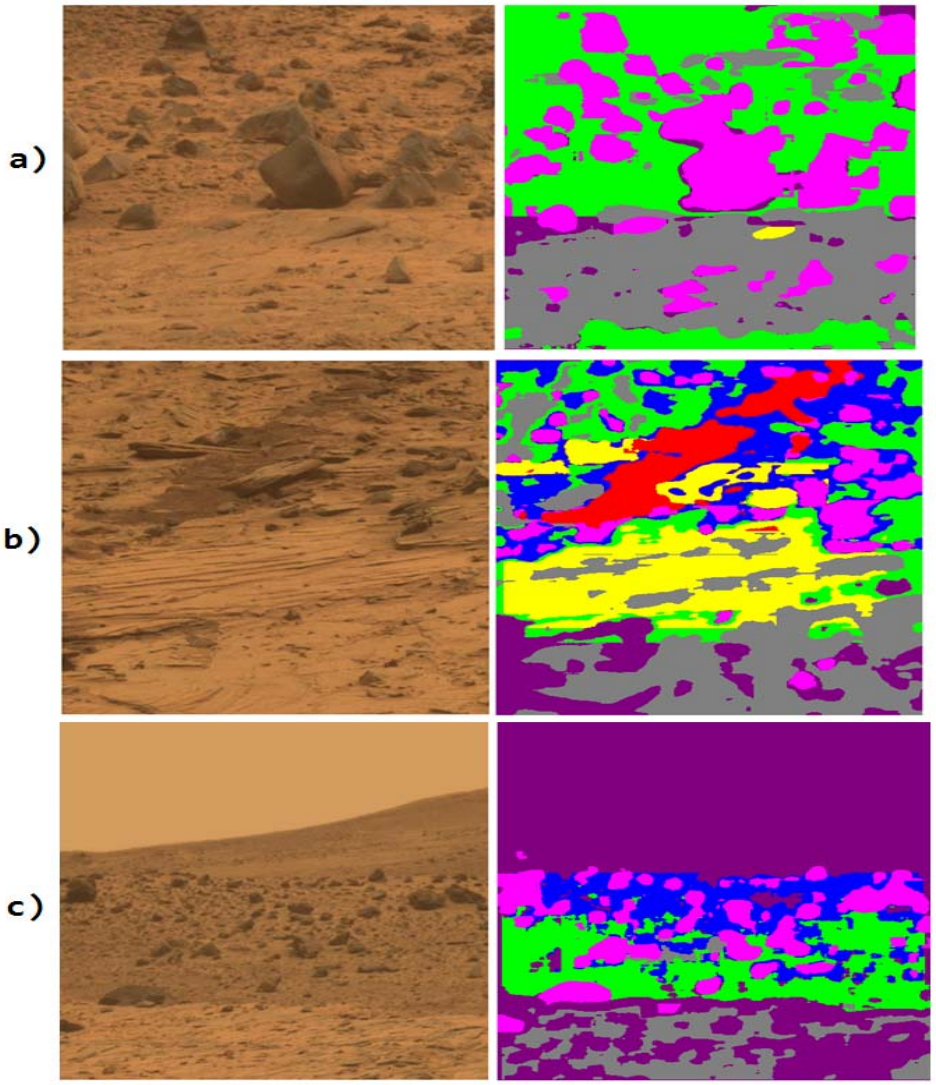


Fig.2. Some samples of segmented images

CONCLUSION AND FUTURE WORKS

Home plate south panorama images contain information about Mars, taken by mars rover, a robot which explore on Mars surface. In this paper, a new pixel classification schema was proposed which leads to Mars image segmentation. Firstly, each pixel is windowed and mapped to a feature vector include wavelet and color features. The type of extracted features was proposed by the way that all pixel classes could be discriminated from other classes and appropriate segmentation of images are achieved. Then, most relevant features among complete feature set were selected by our proposed feature selection schema based on ant colony optimization which worked with classification performance of all pixel classes. Finally, optimal feature sets were presented for multi-class SVM based pixel classification schema. Classification of pixels segments the images into pixel groups. Our proposed model for image segmentation was compared with genetic algorithm; results showed that the accuracy of our method is better than genetic algorithm feature selection. For future works, the performance of the proposed approach can be evaluated by taking into account other classifiers. Other feature selection methods can be improved and applied to such systems. In addition, intrinsic property of data such as relieff weights can be used in population-based techniques such as ACO, GA and Particle swarm optimization (PSO) algorithms for faster convergence. Finally, other features like shape features, texture features and color features in other color domains could be applied for pixel classification task.

(1) References

[1] Shang, Changjing, and Dave Barnes. "Fuzzy-rough feature selection aided support vector machines for mars image classification." *Computer Vision and Image Understanding* 117.3 (2013): 202-213.

[2] K. Huang, S. Aviyente, Wavelet feature selection for image classification, IEEE Transactions on Image Processing 17 (9) (2008) 1709–1720.

[3] Kachanubal, Tossaporn, and Somkait Udomhunsakul. "Rock textures classification based on textural and spectral features." *Int J Comput Intell* 4 (2008): 240-246.

[4] D. Puig, M. Garcia, Automatic texture feature selection for image pixel classification, Pattern Recognition 39 (11) (2006) 1996–2009.

[5] Rashno Abdolreza, Hossein SadeghianNejad, and Abed Heshmati. "Highly Efficient Dimension Reduction for Text-Independent Speaker Verification Based on Relieff Algorithm and Support Vector Machines." *International Journal of Signal Processing, Image Processing & Pattern Recognition* 6.1 (2013).

[6] Gundimada, S., Asari, V. K., & Gudur, N. (2010). Face recognition inmulti-sensor images based on a novel modular feature selection technique. Information Fusion, 11, 124-132

[7] Jensen, R. (2005). Combining rough and fuzzy sets for feature selection. Ph.D. thesis, University of Edinburgh.

[8] R. Jensen, Q. Shen, New approaches to fuzzy-rough feature selection, IEEE Transactions on Fuzzy Systems 17 (4) (2009) 824–838.

[9] C. Shang, D. Barnes, Combining support vector machines and information gain ranking for classification of mars mcmurdo panorama images, in: Proceedings of the 17th IEEE International Conference on Image Processing, 2010, pp. 1061–1064.

[10] Yildizer, Ela, et al. "Integrating wavelets with clustering and indexing for effective content-based image retrieval." *Knowledge-Based Systems* 31 (2012): 55-66.

[11] ISO/IEC 15938-3/FDIS Information Technology—Multimedia Content Description Interface—Part 3 Visual Jul. 2001, ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 Doc. N4358.

Web Query Classification Using Improved Visiting Probability Algorithm and BabelNet Semantic Graph

Haniyeh Rashidghalam
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
Haniyeh_rashidghlam@yahoo.com

Fariborz Mahmoudi
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
Fzmahmoudi@gmail.com

***Abstract*—In this paper, an unsupervised method which is not use log data is offered to solve "the problem of web query classification". The aim of the proposed approach is the mapping of all the problem components to the BabelNet concepts and solving the problem by using these concepts. Therefore, it is considered a three-phase solutions consist of Offline, Online and Classification phases. In offline phase, all categories are mapping to concepts in BabelNet by using a disambiguation system. In the online phase, first a query is enriched then preprocessing on query is required, after that, by using a disambiguation system all components are mapped to BabelNet's concepts. In the last phase, by improving on visiting probability algorithm, classification is done. For testing process, we used KDD2005 test set, which is leading the series have been used. Results indicate that between the approaches which are unsupervised and do not use log data, proposed approach, has acceptable performance in the point of view F_1 measure. In other words, by compare to best approach which is unsupervised and does not use log data, proposed approach improved 2%, but by compare to the best approach which is unsupervised and uses log data the results get worse and shows reduction of 11% in term of F_1 measure.**

Keywords—*Visiting Probability, BabelNet, Web Query Classification, Random Walks, Unsupervised Learning*

I. INTRODUCTION

Web search engines today allow users to pose queries simply in terms of keywords. Most of the search queries are expressed by only a couple of keywords. As a result, search queries may be ambiguous. This is because Web users choose terms to represent their information needs and search queries reflects implicit and subjective user intents. In fact, some queries have different meanings in different contexts. For example, ''Python'' can mean an animal or a programming language. It is very challenging for search engines to understand Web users' search goals only through their search queries and satisfy the users with high quality results. Web query classification is a well-known technique to help us understand user search intents, thus improving effectiveness and efficiency of Web search along several dimensions. Actually, classification of a web query into an ordered list of one or more set of predetermined category called "Web query classification". Assigning appropriate categories to a query is useful in many systems such as: Online Advertising, Recommender system, Filtering Search Results, Query Expansion systems, Personalization and Question Answering systems. It can be concluded that the classification of the query is one of the most basic component in natural language processing and information retrieval systems. In this paper, we also propose a classification of the previous methods for "web query classification" problem, which is summarized in Fig. 1. As it clear from the figure, previous methods classify queries with respect to the Topic or the Type of queries. The second level of figure shows that previous methods are supervised, unsupervised or semi-supervised. Due to the lack of training data in this area, most of the methods used semi-supervised learning. The third level of figure reflects the use or non-use of log data.

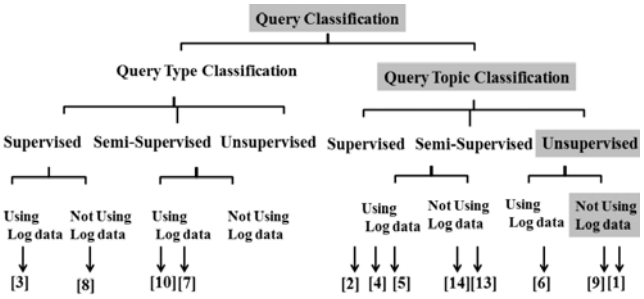


Fig 3. Previous methods for web query classification.

In "Query Type Classification" methods, a query is classified according to type or task of it, but in "Query Topic Classification" methods, a classifier according to topic of query classify it in some predetermined classes.

II. OUR APPROACH

According to Fig. 1, the proposed method is: Query Type Classification, unsupervised and it does not use log Data.

The proposed system consists of three phases: mapping of categories to BabelNet concepts [12], mapping of queries to BabelNet concepts and finally, classifying queries by improving on visiting probability algorithm [16]. Following, each of these phases are fully described. The general architecture of the proposed method is shown in Fig. 2.

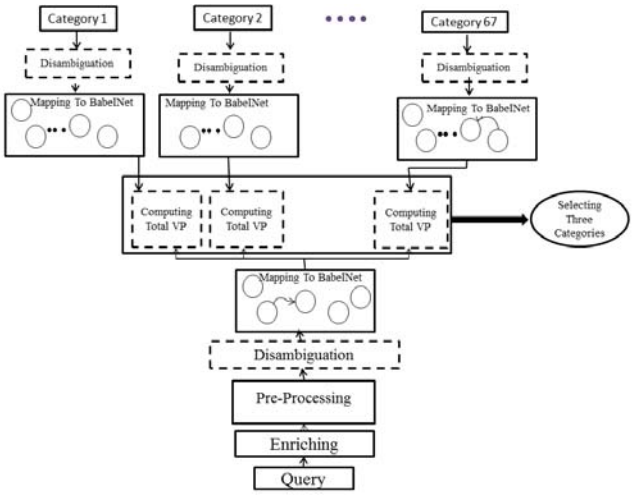


Fig 4.Architecture of proposed method

A. Mapping of categories to BabelNet concepts

In this phase, all categories are mapped to BabelNet concepts. This is offline phase and done only once. First, each category (category and sub-category) for disambiguation enter disambiguation system [11] and after disambiguation, concepts which are mapped to sub-category are used.

B. Mapping of queries to BabelNet concepts

Second phase is mapping queries to BabelNet concepts. Unlike first phase, this is online and repeat for each query. This phase contains three steps: in the first step, for enriching, the query submitted to a search engine and three results are fetched. In the second step, pre-processing on selected results of search engine is done (by removing stop words and the characters such as quotation marks, semicolons) and by using N-GRAM model, query splits into semantic sequences. In third step: the N-GARMs created in the previous step are disambiguated through disambiguation system.

In this phase, in order to enrich the queries, Bing search engine is used.

C. Computing Visiting Probability

After transferring all components of problem to BabelNet graph, another important issue is how to explore the graph. Therefore, the visiting probability algorithm [5] is used. This algorithm computes the distance between nodes, and then between sets of nodes, using the visiting probability from one (set of) node(s) to another.

Following, the algorithm is studied and then improved algorithm is proposed. Now, the notations in this algorithm are reviewed.

1) Notations

Let $\{S_i | 1 \le i \le n\}$ be the set of n concepts or vertices in the network. Any two concepts S_i and S_j can be connected by one or more directed and weighted links, which can be of L different types. The structure of links of $l(1 \le l \le L)$ is fully described by the matrix A_l of size $n \times n$, where $A_l(i,j)$ is the weight of the link of type l between S_i and S_j. The transition matrix C_l gives the probability of a direct (one step) transition between concepts S_i and S_j, using only links of type l. This matrix can be built from the A_l matrix as follows:

$$C_l(i,j) = \frac{A_l(i,j)}{\sum_{k=1}^{n} A_l(i,k)} \quad (1)$$

In the random walk process using all link types $l(1 \le l \le L)$, let the weight W_l denote the importance of link type l. Then, the overall transition matrix C which gives the transition probability $C_{i,j}$ between any concepts S_i and S_j is $C = \sum_{l=1}^{L} W_l C_l$. In this paper, all W_l considered an equal. Also value of parameter L is considered 29 (the reason for selecting 29 is explained in next section). In fact all edges of babelNet are considered except "Antonym" edge.

Finally, let $\vec{r}$ be the n-dimensional vector resulting from mapping a query fragment to the concepts of the network, which indicates the probabilities of concepts in the network given a query. In our approach, $\vec{r}$ is created in second phase.

2) Definition of visiting probability

For computing visiting probability, $\vec{r}$ and a concept S_j in the network, we introduce C' as being equal to the transition matrix C, except that in row $C'(j,k) = 0$ for all k. Also, we introduce the probability of success at step T, $P^T(Succcess)$, which is $P^T(Succcess) = \alpha^T\left(\vec{r}C'^T\right)_j$. In this formula, $\left(\vec{r}C'^T\right)_j$ is the jth element of the vector $\vec{r}C'^T$, and C'^T is the power T of matrix C'. Then, the probability of success in the process, i.e. the probability of visiting S_j starting from $\vec{r}$, is the sum over all probabilities of success with different lengths:

$$(Success) = \sum_{T=0}^{\infty} P^T(Succcess) = \sum_{T=0}^{\infty} \alpha^T\left(\vec{r}C'^T\right)_j \quad (2)$$

3) Classification by improving on visiting probability algorithm

In this part, we introduce improved visiting probability algorithm. Final classification is done in this phase. Inputs of algorithm are outputs of first and second phase. Improved visiting probability algorithm runs as follows: after mapping all categories and a query to nodes in BabelNet graph at first and second phase, we calculate visiting probability of query's nodes with first category's nodes, then visiting probability of first category's nodes with query's nodes should be calculated and the means of two values is regarded as "Total Visiting Probability". Also Total Visiting Probability of the query with other categories is calculated and three categories which have largest values, are selected as categories of the query (the reason for selecting three is explained in next section). In this paper, improve on visiting probability algorithm is done on structure of the transition matrix C' which is fully described in the following:

In visiting probability algorithm, matrix C was the sum of the transition matrix C_l and calculated as Eq. 1, but in improved visiting probability algorithm there is not any transition matrix C_l. There is just one matrix C that calculates as Eq. 3, also, there is a matrix $B_l\left(1 \le l \le L\right)$ which contains nonnegative integer and shows number of link between S_i and S_j type l.

$$C = \frac{\sum_{l=1}^{L} A_l(i,j)}{\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{L} A_l(i,k) + \left(\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{L} A_l(k,j) - \sum_{l=1}^{L} A_l(i,j)\right)} + \frac{\sum_{l=1}^{L} B_l(i,j)}{\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{L} B_l(i,k) + \left(\sum_{k=1}^{n}\sum_{l=1}^{L} B_l(k,j) - \sum_{l=1}^{L} B_l(i,j)\right)} \quad (3)$$

$$P(Success) = P^{T}\left(Succcess\right) = \left(\vec{r}C'^{T}\right)_j \quad (4)$$

Equation (3) shows that if famous nodes are given lower value, visiting probability of these nodes are reduced. Therefore, better results are achieved.

Improved visiting probability algorithm is shown in Fig. 3.

Input: The output of first phase: $\begin{cases} y\ (Number\ of\ one\ \ category's\ nodes) \\ Nodes:\ c_i\ (1 \le i \le y) \end{cases}$

The output of Second phase: $\begin{cases} x\ (Number\ of\ query's\ nodes) \\ Nodes:\ q_i\ (1 \le i \le x) \end{cases}$

Output: *Total Visiting Probability of a query's nodes from the category's nodes*

1: For each node in Query
2: For each node in category
3: $T_1 \leftarrow T_1$ + *Computing Improved visiting probability of query's node with category's node using equation 3 & 4 with length 1*
4: $T_2 \leftarrow T_2$ + *Computing Improved visiting probability of query's node with category's node using equation 3 & 4 with length 2*
5: $T_3 \leftarrow T_3$ + *Computing Improved visiting probability of query's node with category's node using equation 3 & 4 with length 3*
6: $T_1' \leftarrow T_1'$ + *Computing Improved visiting probability of category's node with query's node using equation 3 & 4 with length 1*
7: $T_2' \leftarrow T_2'$ + *Computing Improved visiting probability of category's node with query's node using equation 3 & 4 with length 2*
8: $T_3' \leftarrow T_3'$ + *Computing Improved visiting probability of category's node with query's node using equation 3 & 4 with length 3*
9: Endfor
10: Endfor

11: $VP = \sum_{i=1}^{3} \alpha^i T_i$

12: $VP' = \sum_{i=1}^{3} \alpha^i T_i'$

13: $Total\ VP = \frac{VP + VP'}{2}$

Fig. 5. Improved Visiting Probability Algorithm

III. Experimental Results

In this section, we first introduce data set and evaluation metrics. Then we present experiment results and compare suggested method with other methods.

A. Data Sets

To test our approach, we conduct experiments on the KDDCUP2005 data sets which are publicly available. The KCCCUP2005 organizer provides a dataset which contains 111 sample queries together with the manual categorization information [17]. The competition in KDDCUP2005 is about classifying Internet user search queries and its task is to categorize 800 queries into 67 predefined categories. Each participant was to classify all queries into as many as five categories.

B. Evaluation measures

Precision, Recall and F_1 measures are the standard measures to evaluate the performance of query classification methods [14].

In this section, we try to find optimal value for each parameter. For setting parameters, we use 111 queries which are presented in KDDCUP2005, in a way that, one of the parameters is variable and others are fixed. Now, for each variable, various amounts of it on the set of 111 queries evaluated and get optimal value for that parameter. This process is repeated until the optimum value for all parameters is calculated.

The parameters of the system are as follows:

- T: The maximum path length to calculate the visiting probability.

- α (0 < α < 1): Path coefficient in calculating the visiting probability.
- L (1 ≤ L ≤ 30): The edge type between two nodes in BabelNet.
- Maximum number of categories which are selected for each query.

In this section, according to logical reasons, we assign initial values to the parameters and using these initial values, obtain optimal values.

To calculate the optimal value of the parameter T, all other parameters according to the initial values are fixed and we calculate the optimum value for T. The results are shown in Table 1.

TABLE 1. COMPUTING OPTIMAL VALUE FOR PARAMETER T

{(L =1, 2, 3, , 29) (α = 0.8) (Maximum Number of Class = 5)}, T= ?				
T	1	2	3	4
F_1	0.271	0.30	0.34	0.32

In Table 2, the optimal value of the parameter α, and the results of the different values of α is shown.

TABLE 2. *COMPUTING OPTIMAL VALUE FOR PARAMETER α*

{(L =1, 2, 3,…29) (T = 3) (Maximum Number of Class = 5)}, α = ?									
α	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
F_1	**0.37**	0.346	0.348	0.338	0.34	0.34	0.342	0.341	0.34

In Table 3, the optimal value of the parameter α, and the results of the different values of α is shown.

To selecting optimal value for "edge type" parameter, all 30 edges of BabelNet and combination of them are considered. The results show that when all edges except "Antonym" edge of BabelNet are used, F_1 measure is the maximum, so the value of the parameter L is adjusted to 29.

Table 3 shows the results to determine the "maximum number of categories" parameter.

TABLE 3. *MAXIMUM CATEGORY FOR EACH QUERY*

{(α = 0.1) (T = 3) (L = 29)}, Maximum Number of Class=?				
Maximum class	2	3	4	5
F_1	0.341	0.392	0.380	0.371

C. Comparison

In this section, the proposed method is evaluated. The results of improved visiting algorithm on test data of KCCCUP2005 are shown in Table 4.

TABLE 4. *EVALUATION IMPROVED VISITING PROBABILITY ALGORITHM ON KDDCUP2005*

	Precision	Recall	F_1
Proposed method	0.34	0.357	0.349

Based on the above results, the optimal values for the parameters are selected and by using these values, the proposed system is adjusted.

In Fig.4, the effectiveness of the proposed method compared with other methods.

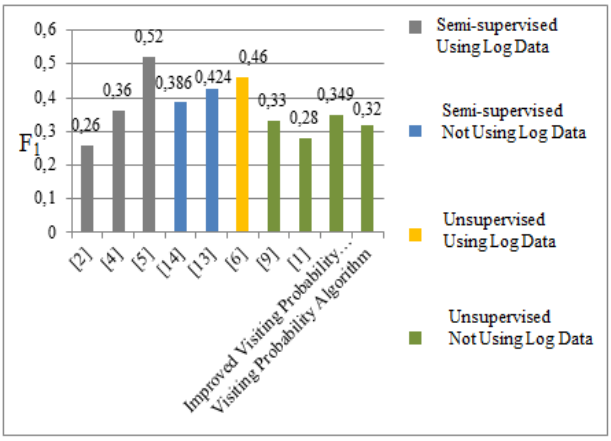


Fig. 6. Comparing proposed method with other methods

IV. CONCLUSION

In this paper, we presented our approach to solving the query classification problem. Query classification is an important as well as a difficult problem in the field of information retrieval. Once the category information for a query is known, the search engine can be more effective and can return more representative Web pages to the users. However, since the queries usually contain too few words and there are no training data, it is hard to determine their categories. For this reason most of the previous methods are semi-supervised and there are just a few unsupervised methods proposed. Nowadays, Due to the increasing volume of data and the lack of training data, research progress in moving towards unsupervised methods and proposed method of this paper is unsupervised. In this paper by mapping all component of problem to BabelNet graph and by improving on visiting probability algorithm, a system for classifying web queries is proposed.

REFERENCES

[1] M AlemZadeh, R Khoury, and F Karray, "Query Classification using Wikipedia's Category Graph,"in the Journal of emerging thechnologies in web intelligence, vol. 4, no. 3, pp. 207-220, 2012

[2] S Beitzel et al., "Automatic web Query Classification Using Labeled and Unlabeled Training data," in SIGIR '05 Proceedings of the 28th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, pp. 581-582, 2005..

[3] S Bhatia, C Brunk, and P Mitra, "A Query Classification Scheme For Diversification," in DDR'12: Proceedings of the second international workshop on Diversity in Document Retrieval, 2012.

[4] B Cao et al., "PQC: Personalized Query Classification," in The 18th ACM Conference on Information and Knowledge Management, pp. 1217-1226, 2009.

[5] H Cao, D Hu, D Shen, and D Jiang, "Context-Aware Query classification," in SIGIR '09 Proceedings of 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, pp. 3-10, 2009.

[6] E Diemert and V Gilles, "Unsupervised Query Categorization using Automatically-Built Concept Graphs," WWW'9 Proceedings of the 18th international conference on World wide web, pp.461-470, 2009.

[7] J Hu, G Wang, F Lochovsky, J Sun, and Z Chen, "Understanding user's query intent with Wikipedia," in WWW '09 Proceedings of the 18th international conference on World Wide Web, pp. 471-480, 2009.

[8] I Kang and G Kim, "Query Type Classification for Web Document Retrieval," in proceeding of the 26th annual international ACM SIGIR conference on reasearch and development in information retrieval, pp. 64-71, 2003

[9] L Li, L Zhong, G Xu, and M Kitsuregawa, "A feature_free search query classification approach using semantic distance," Expert Systems with Application: An International Journal, vol. 39, no. 12, pp. 10739-10748, 2012.

[10] X Li, Y Wang, and A Acero, "Learning Query Intent From Regularized Click graphs," in 31st Annual International ACM SIGIR conference on Research and Development in information Retrieval, pp. 339-346, 2008.

[11] R Navigli, "BabelNet goes to the (Multilingual) semantic Web," Workshop on Multilingual Semantic Web, 2012.

[12] R Navigli and S.P Ponzetto, "BabelNet: The automatic construction, evaluation and application of a wide-coverage multilingual semantic network," Artificial Intelligece, vol. 193, pp. 217-250, 2012.

[13] D Shen, J Sun, Q Yang, and Z Chen, "Building Bridges for Web Query Classsification," in Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, pp.131-138, 2006.

[14] D Shen et al., "Q2C@UST: Our Winning Solution To Query Classification in KDDCUP 2005," ACM SIGKDD Explorations, vol. 7, pp. 100-110, 2005.

[15] M Yao, "Thesis," in Hong Kong University of science and Technology, 2009.

[16] M Yazdani and A Popescu-Belis, "Computing text semantic relatedness using the contents and links of a hypertext encyclopedia," Artificial Intelligence Journal, vol. 194, pp.176-202, 2013.

[17] L Yeng, Z Zijian, and K Honghua, "KDD Cup-2005 report: facing a great challange," ACM SIGKDD Explorations Newsletter, vol. 7, no. 2, pp. 91-99, 2005.

An efficient hybrid approach based on K-means and generalized fashion algorithms for cluster analysis

Akram Aghamohseni
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
a.aghamohseni@qiau.ac.ir

Rasool Ramezanian
Dept. of Mathematical Sciences
Sharif University of Technology
Tehran, Iran
ramezanian@sharif.edu

***Abstract*— Clustering is the process of grouping data objects into set of disjoint classes called clusters so that objects within a class are highly similar with one another and dissimilar with the objects in other classes. The k-means algorithm is a simple and efficient algorithm that is widely used for data clustering. However, its performance depends on the initial state of centroids and may trap in local optima. In order to overcome local optima obstacles, a lot of studies have been done in clustering. The Fashion Algorithm is one effective method for searching problem space to find a near optimal solution. This paper presents a hybrid optimization algorithm based on Generalized Fashion Algorithm and k-means for optimum clustering. The new algorithm is tested on several data sets and its performance is compared with those of Generalized Fashion Algorithm, particle swarm optimization, imperialist competitive algorithm, genetic algorithm and k-means algorithm. The experimental results are encouraging in term of the quality of the solutions and the convergence speed of the proposed algorithm.**

Keywords—clustering; optimization; k-means; fashion algorithm

INTRODUCTION

The amount of data stored in databases continues to grow fast. Intuitively, this large amount of stored data contains valuable hidden knowledge. Nowadays, Clustering has gained a central position as a conceptual and algorithmic framework that helps us make sense of data and reveal some underlying structure that is hidden behind overwhelming streams of data.

Clustering is a search for hidden patterns that may exist in data sets. It is a process of grouping data objects into disjointed clusters so that the objects in each cluster are similar, yet different to the others. Clustering has many applications in social sciences, numerical taxonomy, computer science, data compression and image analysis.

There are many algorithms that have been proposed to perform clustering. However, due to a large variety of applications, different data types and various purposes of clustering, we cannot find a unique algorithm that can serve all the requirements at once. In general, clustering algorithms can be classified into two categories: hierarchical clustering and partitional clustering [1,2]. Hierarchical clustering constructs a hierarchy of clusters by splitting a large cluster into smaller ones and merging smaller cluster into their nearest centroid [3]. On the other hand, partitional clustering attempts to divide the dataset into a set of disjoint clusters without the hierarchical structure [4].

The most widely used partitional clustering algorithms are the prototype-based clustering algorithms where each cluster is represented by its center. The objective function (a square error function) is the sum of the distance from the pattern to the center. In this paper we are concerned with partitional clustering for generating cluster centers and further using these cluster centers to classify the data set. A popular partitional clustering algorithm, k-means clustering, is essentially a function minimization technique, where the objective function is the squared error [5]. However, the main drawback of k-means algorithm is that it converges to a local minimum from the starting position of the search [6]. To overcome this drawback, many clustering algorithms based on stochastic algorithms such as genetic algorithm [7], gravitational search algorithm [8] and black hole algorithm [9] have been introduced.

The fashion algorithm (FA) is a sociologically inspired population-based optimization algorithm. It has been proposed to find optimum point on various issues with consideration of the cycle of fashion and unfashionable by Ramezanian and Shirmohamadi, recently [10]. This algorithm works as follows. It starts from a set of individuals in an initial state. These individuals are supposed to be possible answers to a given optimization problem. The Individuals are divided into two categories: Stars and Followers. Stars attract the followers toward themselves through diffusion of innovation and fashion. The emergence of new fashion from the old fashion forms the fundamental core of this algorithm and makes the followers move toward the optimum points of the given problem. In this algorithm, fashionability is viewed as an indispensable part of cultural evolutionary process of human and the quality of its impact on different individuals is being used in the field of evolutionary computation.

In this paper, we address the application of a hybrid algorithm based on the generalized fashion algorithm (GFA) and k-means algorithm, called GFA-K, on cluster analysis. The performance of the proposed approach has been tested on several standard and real datasets, and the results have been

compared with some other techniques. The rest of the paper is organized as follows: Section two provides a brief background on clustering problems and k-means algorithms. In Section three the fashion algorithm is introduced. In Sections four and five, GFA and GFA-K algorithms are described in detail, respectively. In Section six, the feasibility of the GFA-K is demonstrated and compared with GFA, ICA, PSO, GA and K-means for different data sets. Finally, Section seven includes summary and the conclusion.

BACKGROUND ON CLUSTERING AND K-MEANS ALGORITHM

Let $X = \{X_1, X_2, ..., X_N\}$ be a set of N data objects. Given such a X, the aim of a clustering algorithm is to find a partition, $C = \{C_1, C_2, ..., C_K\}$ of K groups, that produces objects within the same group that are as similar to each other as possible, while objects that belong to different groups differ as much as possible. The resulting partitions are called clusters and should have the following properties:

- Each cluster should contain at least one data object, i.e., $C_i \neq \Phi \forall i \in \{1,2,...,K\}$.
- Different clusters should have no object in common, i.e., $C_i \cap C_j = \Phi, \forall i \neq j$ and $i, j \in \{1,2,...,K\}$.
- Each data object should be assigned to a cluster. In other words, after assigning objects to clusters, the sum of objects in all clusters should be equal to the number of objects in the original dataset, i.e., $\bigcup_{i=1}^{K} C_i = X$.

The k-means clustering is a simple and fast method used commonly due to its straightforward implementation and small number of iterations. The procedure follows a simple and easy way to classify a given dataset through a certain number of clusters (assume K clusters) fixed as a priori. The main idea is to determine K centroids. These centroids should be placed in a cunning way as different locations cause different results. So, the best choice is to place them as much as possible far away from each other. The next step is to take each point referring to a given dataset and associate it to the nearest centroid. When no point is left out, the first step is completed and an early grouping is done. At this point we need to recalculate K new centroids as centers of the clusters resulting from the previous step. After we have these K new centroids, a new binding has to be done between the same dataset points and the nearest new centroid. A loop has been generated. As a result of this loop, we may notice that the K centroids change their location step by step until no more changes are done. In other words, centroids do not move any further. Finally, the goal of this algorithm is to minimize an objective function, which in this case is a squared error function. The objective function has been calculated as follows:

$$Cost(X) = \sum_{i=1}^{N} \min\left\{\left\|Y_j - X_i\right\|\right\}, j = 1,2,3,...,K \qquad (1)$$

Where, $\left\|Y_i - X_j\right\|$ is a chosen distance measurement between a data input X_j and the cluster center Y_i, N and K are the number of input data and the number of cluster centers, respectively.

The algorithm is composed of the following steps:

1. Place K points into the space represented by the objects that are clustered. These points represent initial group centroids.
2. Assign each object to the group that has the closest centroid.
3. When all objects have been assigned, recalculate the positions of the K centroids.
4. Repeat Steps 2 and 3 until the centroids are immobilized.

ORIGINAL FA

In fashion making, followers try to show their appearance the same as stars; the stars subsequently would be changing their standards and values quickly to save their previous position and distance for not losing their excellence. The continuation of the process causes a permanent cycle that the lower strata and middle class are always following the high-classes, and the high-classes are also trying to alter their standards; in other words, the high-classes are the creator of fashion and the low-classes are its consumers. In this procedure, the fashion owners desire to be seen more than others, and along with, they want to be seen more beautiful and better; they know that a fashion is a short social stimulus, so they are always trying to propose a new phenomenon after the previous short-life phenomenon.

Initial population

The initial population is sorted by normal distribution randomly which its number depends on the type of search space.

$$Population = \lfloor person_1, person_2, ..., person_{N_{pop}} \rfloor \qquad (2)$$

Where, N_{pop} is the population size.

Calculation of individuals merit rating

In a d-dimensional optimization problem, a person is an $1 \times d$ array. This array is defined by

$$person = [p_1, p_2, ..., p_d] \qquad (3)$$

Where, each p_i is assumed as a factor of fashion in human society. After generating the initial population randomly, using the function $f(x)$ each of the individuals merit rating would be calculated as follow:

$$f(person_i) = f(p_{i1}, p_{i2}, ..., p_{id}), i \in [1, ..., N_{pop}] \qquad (4)$$

Stars selection

After calculating the individuals merit rating using function f(x), the best individuals would be selected and considered as stars. The number of stars would be considered 5 to 10 percent of total population.

Selection of followers and their stars concerned

In this part, regarding the merit rating of each star, the number of its followers would be identified by

$$NumFollowers_{star_i} = round\left(\left(\frac{f(star_i)\times 100}{\sum_{j=1}^{N_{stars}} f(star_i)}\right)\times N_{followers}\right),$$
$$i \in [1,\ldots,N_{stars}]. \quad (5)$$

Where N_{stars} is number of the stars and $N_{followers}$ is number of the followers. To increase exploration, the followers of each star are identified randomly. This action caused the followers would search more space during their movement toward stars.

Stars movement

Each star starts from a very small radius for assimilation and finds the more proper merit point and changes its place; if there is not any position in this radius, the algorithm will seek the better position in the bigger radius. And finally, if there is not any such a better point, it will save its previous position. The maximum size of this radius calculates with R_{Star} parameter which it can be altered based on the problem search space and the proper selection of maximum size caused the avoidance of entanglement in local optimum.

Let $Star_i.Position$ be the current position of *i*th star, and $Star_i.NewPosition$ be the new position of *i*th star. the new position of the star is computed as follows:

$$Star_i.NewPosition = \beta_s \times rand \times Star_i.Position$$
$$\beta_s \in (0, R_{star}]. \quad (6)$$

Where, β_s represents the search radius of the stars in each iteration that its value has to be increased accordingly as the iterations proceed, and rand is a vector with random values between 0 and 1.

The movement of followers

In FA, there are two kinds of follower: the usual followers and the attractive followers. The usual followers imitate the stars. This kind of followers moves towards their relevant star as follow:

$$Follower_{S_i}^{j}.NewPosition = \alpha \times Follower_{S_i}^{j}.Position... + (1-\alpha)\times Star_i.Position \quad (7)$$

Where, $Follower_{S_i}^{j}.Position$ is the position of *j*th follower of *i*th star, $Star_i.Position$ is the current position of *i*th star, and α is a random variable with uniform distribution.

The attractive followers have talent to be stars and have a high-merit rating. Some of them who have a better position are seeking the innovation without following the fashion, they are searching for innovation within a given radius and in the cases of better position they change their positions or remain at their positions to search wider radius in the next period. The maximum radius is identified by $R_{follower}$, it is changeable in the different search spaces, and its amount depends on the type of search space. The new position of the attractive followers is calculated as follow:

$$Follower_{S_i}^{j}.NewPosition = \beta_f \times rand \times Follower_{S_i}^{j}.Position$$
$$\beta_f \in (0, R_{follower}]. \quad (8)$$

Where, β_f represents the search radius of the followers that its value has to be increased accordingly as the iterations proceed, and rand is a vector with random values between 0 and 1.

Decade

It can be seen by looking at fashion magazines what clothes in what decades were fashion. Considering this explanation, the importance of decade concept in this algorithm can be understood; based on it, many of changes including removing a star and an individual attempts to become a star are set in decades.

Bring into account the decade concept and its assimilation in algorithm, all the replacements of the stars are put into the decades. In the way that in a decade, stars and followers are given an opportunity for finding better position; after a decade is finished, if they could not find a new and acceptable innovation, the stars would be replaced by individuals deserving more merits.

GENERALIZED FA

The FA algorithm like many stochastic algorithms suffers the lack of ability to global search properly in the large and complicated problem space. In order to overcome this drawback of FA, this article recommends a generalized fashion algorithm (GFA).

The movement of usual followers

In the original FA, the followers' movement because of the constant α parameter has a monotonic nature, so the followers' movement could not be adapted with the search process. Therefore if the algorithm traps in the local optima, it cannot leave it and move towards the global optima. For solving this problem, and make balance between the explorative and exploitative search, we redefine Eq. (7) as follow:

$$Follower_{S_i}^{j}.NewPosition = Follower_{S_i}^{j}.Position...$$

$$+\alpha \times rand \times (Star_i.Position - Follower_{S_i}^{j}.Position), \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{2}{Decade + (1 - DC)}, 1 \le DC \le Decade. \quad (10)$$

In equations (9), (10), α represents the imitation coefficient that dynamically adjust the movement of followers to the stars during the search space, rand is a vector the same size as the individuals containing random values drawn from the uniform distributions, *Decade* is the decade parameter, and *DC* is decade counter that its value has to be increased from 1 to Decade accordingly as a decade proceed.

The imitation coefficient, α, starts with a low value and gradually increase according to Eq. (10) during a decade.

Stars competition and cooperation strategy

In the original FA, each group, which is consisted of a star and some followers, searches the problem space independently of the other groups. In other words, there is no way for competition or sharing information among the groups. Therefore, FA may easily get trapped in a local optimum when solving complex multimodal problems.

In order to improve performance of FA algorithm on complex multimodal problems, we present the competition and cooperation operator for stars utilizing Competitive and cooperative behavior of agents in the multi-agent systems.

Firstly, we define the topological structure of stars, which refers to the interconnected way among the whole stars in the population and the neighborhood structure, which refers to the interconnected way between one star and the other one. To date, the researches for neighborhood topological structure mainly are forms of global coupling net (GLOBAL), cycle net (CYCLE), random net(ER), star net (STAR), scale-free like net (SFL) and so on.

In this paper, a random cycle topological structure is proposed, in which each star can exchange information with two stars around it [11]. The structure improves the shortcoming that the neighborhood of cycle structure is only determined by the position subscript of agent. After the evolution of each generation, the neighborhood of each star can be randomly selected. Let the number of the stars be equal 6 in the population, $A = [Star_1, Star_2, ..., Star_6]$ be an array, which is held the whole stars, $INX = [4,1,5,3,6,2]$ represents the positions of stars in the random cycle topological structure, which is a random permutation of elements in $[1,2,3,...,6]$, and A' represents the random cycle topological structure in each iteration. Thus the stars can be arranged in A' according to INX as $A' = \{Star_4, Star_1, Star_5, Star_3, Star_6, Star_2\}$, Fig. 1 shows this reconstruction process of random cycle topological structure.

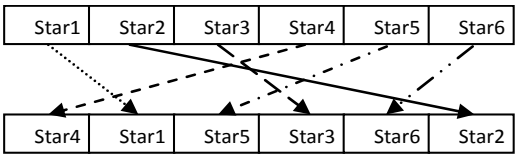


Fig. 1. The reconstruction process of random cycle topological structure

Suppose that the star α located at *i*th position of the random cycle topological structure is represented as α_i, then the neighbors of α_i are defined as follow:

$$N_i = \{\alpha_{i_1}, \alpha_{i_2}\} \quad (11)$$

Where,

$$i_1 = \begin{cases} i-1, & i \neq 1 \\ N_{star}, & i = 1 \end{cases}, \quad i_2 = \begin{cases} i+1, & i \neq 1 \\ 1, & i = N_{star} \end{cases}$$

Suppose that the competition and cooperation operator is performed on the star α_i, and m is the star with the best value of objective function among the neighbors of N_i. If $f(\alpha_i.position)$ be better than $f(m.position)$, star α_i is a winner; otherwise it is a loser. If star α_i is a winner, it can still live in the random cycle topological structure, and its position in the search space will not change. If it is a loser, it must die, and its location will be occupied by a new star $NewStar_i$. The new star is determined by the following strategy:

$$NewStar_i.position = m.position... + rand \times (m.position - \alpha_i.position) \quad (12)$$

Where, *rand* is a vector the same size as the individuals containing random values drawn from the uniform distributions.

HYBRID GFA-K

The k-means algorithm is very simple and can be easily implemented in solving many practical problems, but it has some drawbacks. First, its result may depend on initial values. Also, it may converge to local minimum.

The GFA can pass local optima to some extent but cannot guarantee reaching to global optima. However, GFA's computational complexity for data clustering is much more than k-means. In this research, a new hybrid technique based on combining the K-means algorithm and GFA, called GFA-K, has been presented. The GFA-K searches for cluster centers of an arbitrary data set as does the K-means algorithm, but it can effectively and efficiently find the global optima.

In the proposed algorithm, first, the individuals are initialized in GFA. Each of individuals contains K cluster centers which are displaced in the problem space by

performing GFA algorithm. The GFA continues to perform until a decade is over. After a decade is finished, the position of the worst star is considered as the input of k-means algorithm. Then, k-means algorithm starts working and while it is not converged, it continues working. Consider the search process of GFA-K is located in a local optimality region and k-means algorithm is performed on the best star. Since k-means algorithm has a low ability in passing local optima and the best star is guiding searching process due to star competition operator, the GFA-K may not escape from the local optimality region. Flowchart of the proposed clustering algorithms is shown in Figs. 2.

To apply the GFA-K algorithm on clustering the following steps should be repeated:

Step 1: Generate an initial population

An initial population of input data is generated by random initialization as follow:

$$Population = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdots \\ X_{N_{pop}} \end{bmatrix}$$

$$X_i = Person_i = [Center_1, Center_2, ..., Center_K],\ i = 1,2,...,N_{pop}$$
$$Center_j = [C_1, C_2, ..., C_d],\ j = 1,2,...,K \qquad (13)$$

Where, $Center_j$ is jth cluster center for ith person, X_i is one of the persons, N_{pop} is the number of population, d is the dimension of each cluster center, and K is the number of clusters.

Step 2: Calculate objective function value

Suppose that we have N sample feature vectors. The objective function is evaluated for each person as follows:

Step 2-1: i=1and $ObjectFun$=0.

Step 2-2: Select the ith sample.

Step 2-3: Calculate the distance between the ith sample and $Center_j (j = 1,..., K)$.

Step 2-4: Add the value of $ObjectFun$ with the minimum distance calculated in step 2-3:

$$(ObjectFun = ObjectFun + \min(|Center_i - Y_m|, i = 1,2,...,K)).$$

Step 2-5: If all samples have been selected, go to the next step, otherwise i=i+1and return to step 2-2.

Step 2-6: $Cost(X)$=$ObjectFun$. The objective function is calculated mathematically as below:

$$Cost(X) = \sum_{m=1}^{N} \min\left(|Center_i - Y_m|, i = 1,2,...,K\right) \qquad (14)$$

Where, N is the number of input data.

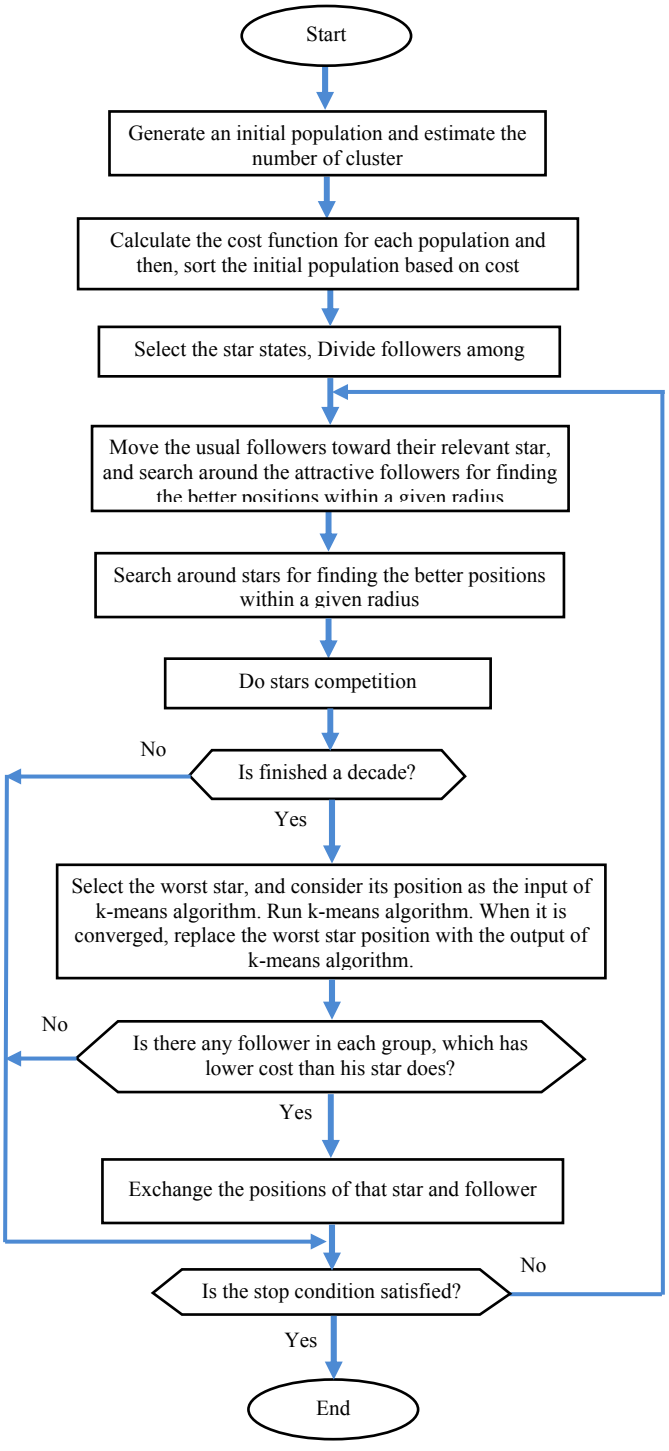


Fig. 2. The flowchart of GFA-K algorithm

Step 3: Sort the initial population.

The initial population is ascended based on the value of their objective function.

Step 4: Select the stars and Divide followers among them.

Calculate the number of followers for each star according to Eq. (5), and choose the set of its followers with random.

Step 5: Followers movement.

Update the position of usual followers according to equations (9), (10), and update the position of attractive followers according to Eq. (8).

Step 6: Stars movement.

Update the position of stars according to Eq. (6).

Step 7: Do stars competition.

Step 8: Check a decade is over

Let *itr* be the iteration's number of proposal algorithm and *Decade* be the decade parameter. If *itr* divided by *Decade* gives a remainder of zero, a decade is over. Otherwise, go to step 5.

Step 9: Use k-means algorithm for the worst star.

After a decade is finished, to use k-means algorithm advantageous, the position of the worst star is considered as initial cluster center for k-means clustering problem. When the k-means algorithm is converged, the position of the worst star replace with its output.

Step 10: Check the cost of all followers in each group.

During the previous steps cost of each follower might have changed .Check the cost of all followers of each star, if there is one that have a lower cost than its relevant star, exchange their positions.

Step 11: Check the stop condition.

If the stop condition is satisfied, stop. Else go to step 5.

EXPERIMENTAL RESULTS

Four real datasets are used to validate our proposed algorithm. These datasets are named Iris, Wine, Vowel, and Contraceptive Method Choice (CMC). Each dataset has a different number of clusters, data objects and features [12]. These datasets are summarized in Table 1.

We have compared the performance of the proposed algorithm on the selected datasets with the GFA, ICA [13], PSO [14], GA [15] and k-means algorithms. To make comparison among these algorithms we choose the initial population of 80 for all of them. The parameters required for implementation of the GFA-K and GFA algorithms are R_{star} , $R_{follower}$, *Decade* and N_{stars} . In this paper, the best values for the aforementioned parameters are $R_{star} = R_{follower} = 1.5$, *Decade*=5, $N_{stars} = 8$. In GA, mutation and selection rates are 0.2 and 0.8 respectively, for PSO, cognitive and social parameters are equal 2 and inertia weigh in each iteration is calculated by $w = 0.5 + (Rand / 2)$, in ICA, the number of imperialists is equal 8, $\beta = 2$, and $\xi = 0.1$.

We have used the sum of the intra-cluster distances as criteria to evaluate the performance of algorithms, as defined in Eq. (1), note that the smaller the sum of the distances is the higher the quality of the clustering. Since all of the algorithms are stochastic algorithms, to counteract against the randomized nature of the algorithms and to indicate the consistency and robustness of the algorithms, 20 independent runs were conducted for each experiment. All the simulations were done during 1000 generations.

Tables 2 to 5 present a comparison among the results of the algorithms on four real-life data sets. The simulation results given in Tables 2 to 5 show that proposal algorithm, GFA-K, is very precise and reliable. In other words, it provides the optimum value and small standard deviation in comparison to those of other methods. For instance, the results obtained on the iris dataset shows that GFA-K converges to the global optimum of 96.6554 in all of runs and GFA and ICA reach to 96.7 at almost times while the average solutions of PSO, GA and K-means are 96.95, 113.93 and 103.038, respectively. The standard deviation of the fitness function for GFA-K is 0, which it significantly is smaller than other methods. Table 3 shows the result of algorithms on the wine dataset. It brings us into the conclusion that although the best solution of GFA-K, GFA and PSO is the same but GFA-K has a better average and worse solution in comparison with those two methods. For CMC dataset, the results of the GFA-K algorithm are far superior that of others. The standard deviation of GFA, PSO, ICA, GA and k-means are 12.51, 20.44, 32.27, 107.77 and 453.38 while this is 0.0023 for GFA-K which shows much difference compared to others.

Figs. 3 show the convergence characteristics of algorithms for the best solutions on vowel dataset. The Simulation results show that K-means algorithm converges faster than the other algorithms but converges prematurely to a local optimum. The GFA-K algorithm converges to the global optimum after 46 iterations while GFA converges to the global optimum in about 520 iterations.

TABLE V. CHARACTERISTICS OF DATASETS CONSIDERED.

Dataset	No. of classes	No. of features	Size of dataset
Iris	3	4	150(50,50,50)
Wine	3	13	178(59,71,48)
CMC	3	10	1473(510,334,629)
Vowel	6	3	871(72,89,172,151,207,180)

TABLE VI. RESULTS OBTAINED BY THE ALGORITHMS ON IRIS DATA

Method	Function value			Std[a]
	F_{best}	$F_{average}$	F_{worst}	

Method	Function value			Std[a]
	F_{best}	$F_{average}$	F_{worst}	
GFA-K	96.6554	96.6554	96.6554	0
GFA	96.6554	96.7354	97.1968	0.19
ICA	96.6554	96.7216	97.2367	0.2
PSO	96.6554	96.9531	98.8434	0.54
GA	99.5627	113.935	126.008	5.82
K-means	97.3259	103.038	128.404	12.31

[a] Standard deviation

TABLE VII. RESULTS OBTAINED BY THE ALGORITHMS ON WINE DATA

Method	Function value			Std
	F_{best}	$F_{average}$	F_{worst}	
GFA-K	16292.18	16293.31	16294.17	0.83
GFA	16292.18	16293.45	16295.04	0.95
ICA	16293.42	16297.56	16305.95	3.89
PSO	16292.18	16302.01	16329.11	13.73
GA	16311.83	16380.05	16494.79	50.36
K-means	16555.68	17793.79	18436.95	875.90

TABLE VIII. RESULTS OBTAINED BY THE ALGORITHMS ON CMC DATA

Method	Function value			Std
	F_{best}	$F_{average}$	F_{worst}	
GFA-K	5693.724	5693.725	5693.731	0.0023
GFA	5693.724	5699.235	5734.315	12.51
ICA	5695.941	5726.55	5804.801	32.27
PSO	5693.724	5704.11	5770.88	20.44
GA	5951.97	6102.42	6355.50	107.77
K-means	5703.43	5844.73	7177.52	453.38

TABLE IX. RESULTS OBTAINED BY THE ALGORITHMS ON VOWEL DATA

Method	Function value			Std
	F_{best}	$F_{average}$	F_{worst}	
GFA-K	148967.24	149197.90	150817.33	460
GFA	149041.13	150226.31	167122.93	1865.7
ICA	149063.31	153237.72	167351.17	4943.5
PSO	148967.24	150066.42	152837.33	1167.0
GA	149383.99	168645.69	187626.12	6119.7
K-means	149383.99	157479.15	182350.24	10260

CONCLUSION

The fashion algorithm is a new method, which has great abilities to cope with different types of optimization problems. However, it is still in its infancy and intensive studies are needed to improve its performance. In this paper, a novel hybrid method, which is based on fashion algorithm and k-means algorithm, is used in clustering data objects. It tries to exploit the merits of two algorithms simultaneously, where K-means algorithm is used for the worst star to fine tuning just after a decade is over by GFA. In other words, we combine the global search ability of GFA with local search ability and high convergence speed of k-means, in this work.

The experimental results indicate that the GFA-K algorithm is comparable to other algorithms in terms of best, worst and average solutions and standard deviation. The convergence of the proposed hybrid algorithm to the global optimum solution is better than that of other stochastic algorithms. Regardless of robustness and efficiency of the proposal algorithm, it is applicable when the number of clusters is known as a priori.

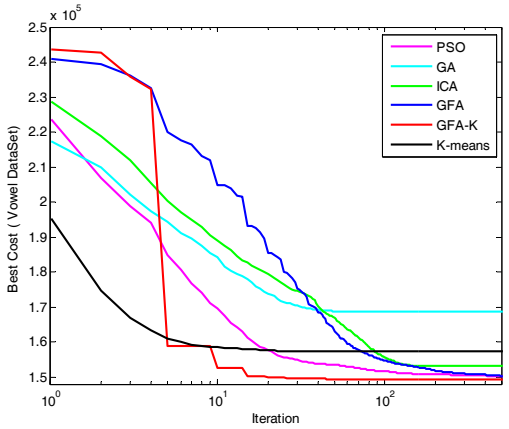


Fig. 3. Convergence characteristic of algorithms on Vowel data

(2) References

[1] P. Berkhin, "A survey of clustering data mining techniques," In Grouping Multidimensional Data, J. Kogan, C. Nicholas, and M. Teboulle, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer, 2006, pp. 25-71.

[2] Y.T. Kao, E. Zahara, and I.W. Kao, "A hybridized approach to data clustering," Expert Systems with Applications, vol. 34, no. 3, pp. 1754–1762, 2008.

[3] J. Ward, "Hierarchical grouping to optimize an objective function," Journal of the American Statistical Association, vol. 58, pp. 236–244, 1963.

[4] J. McQueen, "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," Proceedings of Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press, Berkeley, vol. 1, pp. 281–297, 1967.

[5] A. K. Jain, "Data clustering: 50 years beyond K-means," Pattern Recognition Letters, vol. 31, no. 8, pp. 651–666, 2010.

[6] S. Z. Selim, M. A. Ismail, "K-means-type algorithms: a generalized convergence theorem and characterization of local optimality," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), vol. 6, no. 1, pp. 81–87, 1984.

[7] C. D. Nguyen and K. J. Cios, "GAKREM: A novel hybrid clustering algorithm," Information Sciences, vol. 178, no. 22, pp. 4205-4227, 2008.

[8] A. Hatamlou, S. Abdullah, and H. Nezamabadi-pour, "A combined approach for clustering based on K-means and gravitational search algorithms," Swarm and Evolutionary Computation, vol. 6, pp. 47-52, 2012.

[9] A. Hatamlou, "Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering," Information Sciences, vol. 222, pp. 175-184, 2013.

[10] R. Ramezanian, Z. Shirmohamadi, "A Heuristic Optimization Algorithm Based on Expansion of Fashion in Human Society," Caspian Journal of Mathematical Sciences (CJMS), In press.

[11] F. Yue-wen, Z. Feng-xing, X. Xiao-hong, C. Qing-zhu and W. Jia-hua, "Hybrid flow-shop scheduling method based on multi-agent particle swarm optimization," IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 2011, pp.755,759, 2011

[12] B. Bahmani-Firouzi, M. Sha-Sadeghi, T. Niknam, "A new hybrid algorithm based on PSO, SA, and K-means for cluster analysis," International Journal of Innovative Computing Information and Control, vol.6, no. 4, pp. 1-10, 2010.

[13] T. Niknam, E. Taherian-Fard, N. Pourjafarian, and A. Rousta, "An efficient hybrid algorithm based on modified imperialist competitive algorithm and K-means for data clustering," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 24, no. 2, pp. 306-317, 2011.

[14] D. W. Van der Merwe and A. P. Engelbrecht, "Data clustering using particle swarm optimization," Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 215-220, 2003.

[15] U. Maulik, and S. Bandyopadhyay, "Genetic algorithm-based clustering technique," Pattern recognition, vol. 33, no. 9, pp. 1455-1465, 2000.

Mobile Robot Navigation using Sonar Vision Algorithm applied to Omnidirectional Vision

MohammadHosseinBamorovatAbadi
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
Email:M.bamorovvat@ymail.com

AhmadFakharian

DepartmentofElectrical, BiomedicalandMechatronicsEngineering
QazvinBranch,IslamicAzadUniversity
Qazvin,Iran

Email:ahmad.fakharian@qiau.ac.ir

MohammadrezaA.Oskoei
FacultyofMathematicsand ComputerScience
UniversityofAllamehTabatabai
ShahidBeheshtiAve.,Tehran,Iran
Email:oskoei@atu.ac.ir

Abstract—This paper presents a sonar vision algorithm applied to omnidirectional vision. It provides autonomous navigation for a mobile robot in an unknown environment. It uses omnidirectional images without any prior calibration and detects static and dynamic obstacles. It estimates the most intended path based on visual sonar beams in front of the robot. The proposed method was tested on a mobile robot in indoor environment. The experimental results show acceptable performance considering computation costs.

Index Terms— Robot Navigation, Omnidirectional Vision, Mo- bile Robot, Vision Navigation.

I. INTRODUCTION

The purpose of mobile robot navigation, moving in a structured or unstructured environment, and is transferred to the target.Vision-based mobile robot navigation, in a structured environment, without having any prior knowledge of the envi- ronment, a very powerful capability for robots is considered. A major advantage of image-based navigation systems, no need to have other sensors, and thus reduce the cost.

Omnidirectional vision sensor for mobile robots are valuable because they are just in a frame provide full visibility of the surrounding environment of the robot [1]. This is important because knowing the positions of objects in the surroundings of the robot, will help robots to perform tasks such as matching or intuitive navigation map. 360 degrees field of view reduce visual perceptual bad view. In addition, use of omnidirectional vision system in a very dynamic environment and a burst of consecutive images of the environment around the robot, provides easy to use tracing techniques, to follow the desired objects.

ch allow the robot to navigate in different environments. First behavior, estimate the path. And the second behavior, identify barriers and lack of dealing with them, which takes place during the pursuit. Both actions are performed using sonar vision algorithms [2] directly on omnidirectional images [3]. Both techniques are implemented simultaneously. The important point is that, omnidirectional images, does not require any calibration. Also we do not change, the appearance of the

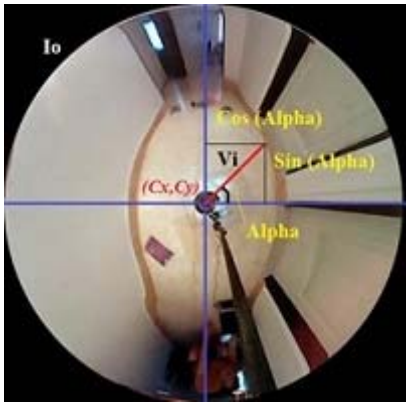


Fig. 1. An example of the image captured by our catadioptric system

image all the way, and all the steps can be performed directly on the original omnidirectional images.

The rest of the paper is as follows. In the section II, we've talked about special omnidirectional system, which created. In the section III, we have explained, the sonar vision algorithms. Also in this section, we describe the algorithm for estimating the path, avoiding collisions with obstacles and also remove the light reflection from the surface. In the section IV, we present

how the robot navigation. Then in the section V, presents the experimental results and discuss them. Finally, Section VI presents the conclusion and future plans we have.

II. Omnidirectional vision

Since in this project we used omnidirectional camera for mobile robot navigation and purpose of the system is guided robot to specific locations in a way that does not collide with obstacles and objects ahead and have the ability to avoid a collision, thus have an omnidirectional camera if can observe uniform picture from surroundings of the robot and objects is good. The sanctions that Iran has been involved in recent years, as well as high cost omnidirectional vision system to buy from abroad and To obtain this kind of vision technology so we decided to take a different mirror catadioptric visual system design and build. we use [1, 4, 5] to build our mirror. For this reason, we have implemented our design, build and

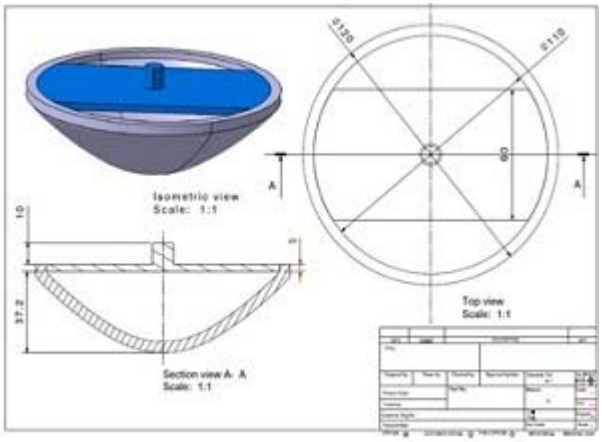


Fig. 2. Technical designed of our mirror

optimize omnidirectional vision system, with financial support, the Science and Technology Park of Gilan. This research was conducted by Grant No.2306 and Grant No.1591 and generously funded by the Science and Technology Park of Gilan. Technical designed of our mirror is in figure 2. Figure 1 show an example of the image captured by our catadioptric system.

In this paper we present a method for visual sonar, which was presented by Boyan Bonev and colleagues have used [3]. In this work, we only have to estimate the direction and to avoid colliding obstacle with visual sonars used.

III. Sonar Vision

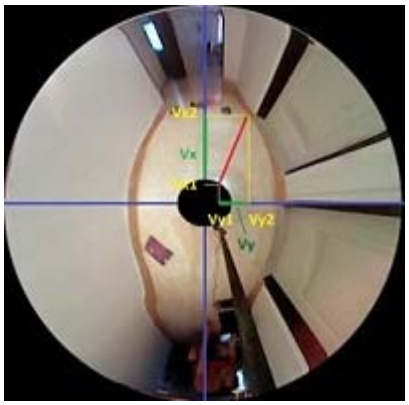


Fig. 3. Obtain the unit vectors of a visual sonar

the help of equation 1, sonar vision production and then we estimated path and the obstacles identified. Since our image is black and white, each pixel has a value of 255 was the first visual sonar, as it will prevent detection. To calculate the final motion vector that represents the path is correct and unobstructed path we took advantage of the unit vectors. As such, we've created a vector of motion using visual sonar vectors. Unit vectors added together and all the sonar target point representing the path is open and unobstructed to obtain. Then we point the ultimate goal and direction from the point of origin to the point of final motion vector drawing that represents us. Calculating a path through the following equations:

In this work, we developed a method based on sonar vision rings of the omnidirectional image inspired provided that known as the OmniVisual sonars (OV-sonars) introduced in [3]. The omnidirectional sonar including virtual beams [2, 3], which is a circle from the center and all the way up to the point where a gradient of the image would continue. The important thing is that we have not done any calibration on the camera image and the images are processed directly in the mirror and get to navigation. In this method, we directly use the image all the way to the navigation and images does not become to the panoramic image or the birds eye image. Therefore, processing speed has gone up as a result of the reaction of the robot path goes up against obstacles.

According to [3] k-th sonar $\vec{V}_k = \{v_1, ..., v_r\}$ shows apeak

of r pixel of the omnidirectional image. any pixel v_i tally with:

$$v_i = I_o\{i \sin\alpha + C_x, i \cos\alpha + C_y\} \quad (1)$$

$$\alpha = k.2\pi/N_s$$

where I_o is the main 2D omnidirectional image with semidi- ameter r and center in (C_x, C_y) and N_s is the number of sonars proceed for each image. Figure 1 determine method of producing a visual omnidirectional sonar.

To do this, first we detect of the image edge with Sobel edge detection algorithm. Then the gray image with an appropriate threshold are converted to black and white image. Then with

$$V_{xi} = V_{x2} - V_{x1} \quad (2)$$

$$V_{yj} = V_{y2} - V_{y1} \quad (3)$$

$$\vec{f}_k(x, y) = V_{xi} + V_{yj} \quad (4)$$

In this work, we predict the path for navigation, and along the way we will use the method of obstacle avoidance. An important point is that in all phases of navigation, just the way we use visual sonar. For obstacle avoidance we use the mothod in which Boyan et al [3] have proposed to have developed and innovative approach to predict the path will produce the visual sonar. Figure 3 define that how we obtain the unit vectors of a visual sonars. In figure 4-A method of visual sonar vectors to obtain the final vector and 4-B an example of a visual sonar vectors and obtain the final route are shown.

A. Obstacle Avoidance Based Sonar Vision

To identify obstacles and deal with them in accordance with [3] we use 17 visual sonar. But changes in the scattering sonar created (Figure 5-A).

We have to create a semi-spherical sonar, were inspired by [6]. But in the experiments, we found that there are problems in navigation. So we created our own special sonar. See figure 5. We have formed the sonar because: 1-Generally, no obstacles behind valuable for navigation, thus the behind barriers would not affect to navigation. 2-The vector that represents the outcome of the move, when there is no obstacle

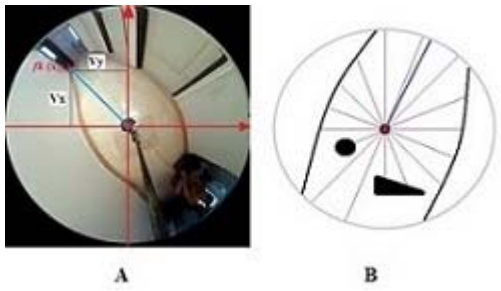


Fig. 4. A) Method of visual sonar vectors to obtain the final vector. B) An example of a visual sonar vectors and obtain the final route.

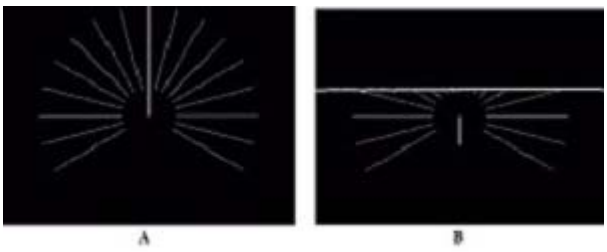


Fig. 5. Our visual sonar vectors A) without obstacle B) with obstacle.

nowhere, the final vector selects straight forward if there is no obstacle in the way when Boyan scattering sonar, not choosing the right track. 3-When forward path is completely blocked, the resultant vector indicates the reverse direction, in case if sonar in semicircular form, do not choose a path. 4-In this case, do not need our

robots have a circular shape. Figure 5 A and B display our sonars. Figure 6 A and B display semicircle sonars. As you see despite the length of the final vector is small but just right direction is detected. In the section III-B you will see how we will solve this problem.

According figure 7, you can see that in the case of Sonar are fully when there is no obstacle in the final vector is zero. In the figure 6, you can see that when the Sonar semicircle despite a correct diagnosis in the absence of an obstacle course but when there is an obstacle in the path can not be detected correctly. In the figure 5, you can see that when the sonar are as follows: in both cases, unobstructed and obstructed, the resultant vector, correctly detects the correct path.

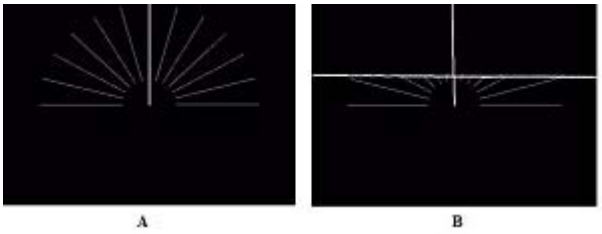


Fig.6. SemicirclevisualsonarvectorsA)withoutobstacleB)withobstacle.



Fig. 7. Circle visual sonar vectors

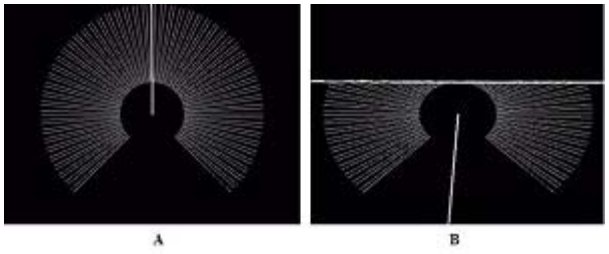


Fig. 8. Used Sonars to estimate the trajectory A) without obstacle B)with obstacle

B. Direction Estimation Based Sonar Vision

We used an innovative method for estimating path. To do this we use a lot of visual sonar, to estimate the path. Unlike [3] that a large number of visual sonar to detect small obstacles sees fit, we hypothesized that the large number of sonar due to the resultant vector, recognizes the right track and will determine the path, and we will show the right path to take. The reason for this claim is that due to the large number of sonars, despite dealing with small obstacles, but the end result Sonar on the right track and will be open. To do this, we created a visual sonar for every 2.5 degree. To complete the picture 360 degrees, we took the 144 sonar use. The tests found that the estimated path of the robot do not need back sonars, as well. Therefore, to estimate the direction of 108 sonar, we use the form in figure 8. As you see in 8 - A the best direction estimated when there is no obstacle and correct path estimated when obstacle is in the robot forward.

C. Remove The Light Reflected From The Surface

Usually this happens on the surface gloss with light sources and the issue of domestic environments, are very common. Landscape reflected light is like an obstacle. To solve this problem, we decided to detect reflected light, and we forget them. In [3] boyan said that a pixel belongs to a reflected light when the HSV color space has a low saturation value (S), and a high value (V) is. Gradient of pixels with large difference V − S do not need be considered as an obstacle. So unlike [3]

, only the value w(i) with a certain amount of more than 100 tests were compared. If the number is above 100, it is not a barrier, and if the difference is below 100, the obstacle is detected.

$$w(i) = V - S \qquad (5)$$

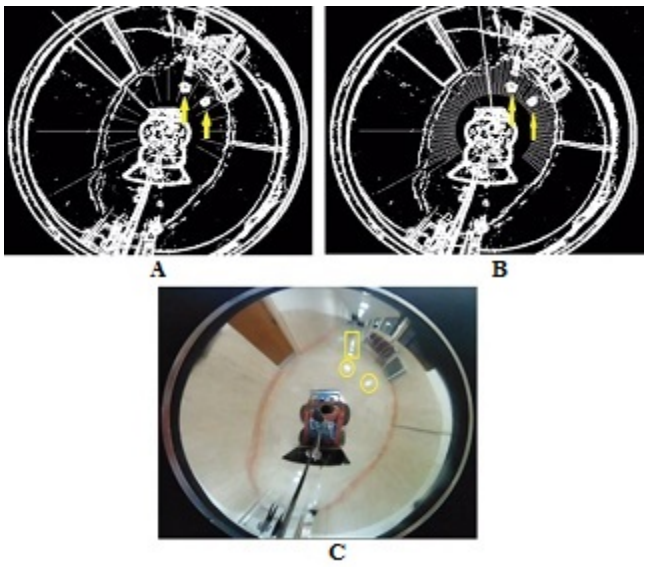


Fig. 9. Remove the light reflected from the surface

$$\begin{cases} Not\ Obstacle, if\ w(i) \geq 100 \\ Obstacle\ , if\ w(i) < 100 \end{cases}$$

Where v(i) and s(i), are value, and saturation of pixel i in the HSV color space.

In all experiments and implementations in both the path and the minimal estimate of the barrier, the algorithm used to re- move the light reflected from the surface. The following figure shows an example of the implementation of this algorithm. As you can see, all three pictures show the moment of testing. In figure 9 - A picture is related to the obstacle avoidance, and image 9 - B, the estimated path is. In both cases, the reflected light is detected correctly. In figure 9 - C, the reflection of light on the floor you can see a complete form.

IV. Navigation

We use a very simple method for robot navigation. To obtain the direction of the robot, we average the final angles of estimate an obstacle avoidance vectors to obtain the angle of the robot motion. Equation 6, use to obtain the final vector of estimation vector and obstacle vector as well. Algorithm 1, also, show how robot navigation in our project.

$$f^* = \sum_{k=1}^{N_s} f_k(x, y)$$

In this algorithm, when the final vector angle is between -2 to 2, is moving forward. Otherwise, the robot rotates to the right or to the left. As you can see, our motion algorithm is very simple. However, despite this simplicity, very accurate, and in almost all cases, the robot has detected the correct path. Also nowhere with not hit any obstacle. Neither fixed nor prevent movable barrier.

Algorithm 1 Navigation

INPUT: $\alpha \leftarrow$ Angle where path estimate is achieve
INPUT: $\beta \leftarrow$ Angle where obstacle avoidance is achieve OUTPUT: SA $\leftarrow$ Turn speed

OUTPUT: SF $\leftarrow$ Forward speed

Begin

if $2 < (\alpha + \beta)/2 < 90$ then

SA= 0.2 , SF = 0

end if

if $-2 < (\alpha + \beta)/2 < -90$ then

SA = -0.2 , SF = 0

end if

if $-2 < (\alpha + \beta)/2 < 2$ then

SA = 0 , SF = 0.2

end if

End

V. Experiments and Results

In this chapter we present our experiments on the robot ATRV-JR was tested. Figure 10 shows the image of the robot. Omnidirectional mirror that used in these experiments, it was designed and built by our initiative. The mirror using a simple digital camera, an

omnidirectional vision system has become. Omnidirectional mirror that was used in these experiments, it was designed and built by our initiative. The mirror using a simple digital camera, an omnidirectional vision system has become.

Laptop computer experiments we use it, have the following characteristics:
Model: DELL Studio XPS 1340
Central Processing Unit (CPU) : Intel(R) Core2 Dou P8600
@ 2.40 GHz
Physical Memory X 2 2 GB =
4GB Software:
Software, given the time constraints of the process is planned in C ++. Visual library of digital camera was used to record, OpenCV under the ROS have been implemented. Operating system on which the software runs, Linux Ubuntu is. The interface for the robot, the environment is ROS.

The experiments were performed at ambient, indoor en- vironments are Qazvin Islamic Azad University Department of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering. Fig- ure 10 shows the image of the corridor and robot when the tests were being conducted.

Test results: Processing time, (the estimated path and the lack of an obstacle), as well as the implementation of control commands to move the robot, is approximately 100 millisec- onds.

Figure 12 shows the vector angle of the end result, which is sent to the robot motion. 96.9% of the cases, the deviation is below 10 degrees, and only 3.1%, is more than 10 degrees. Also, in cases of 81.3%, below 5 degrees, and at 18.7%, is more than 5 degrees. Because of the large deviation, robots

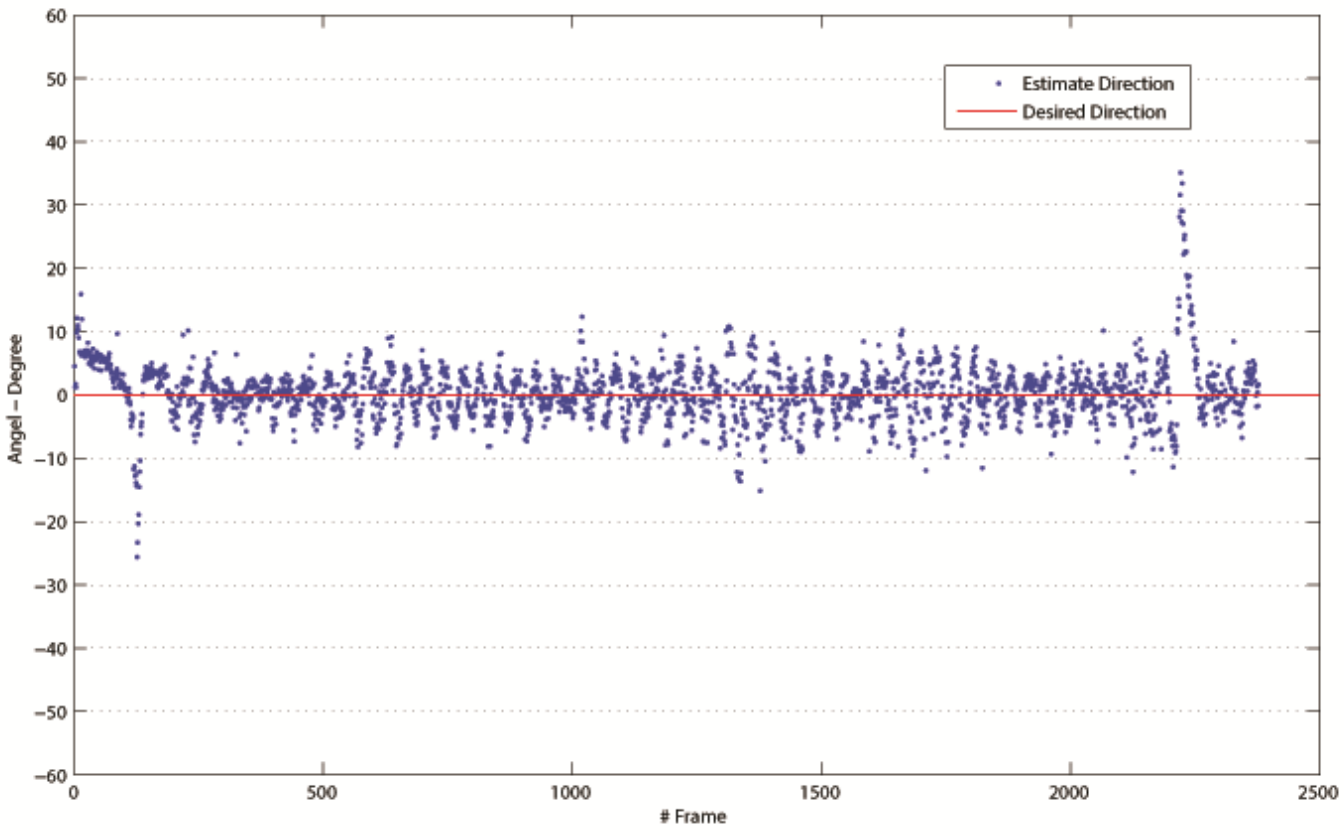


Fig. 12. Result of the angle where path estimate and obstacle avoidance achieve for a corridor. 96.9% of the cases, the deviation is below 10 degrees, and only 3.1%, is more than 10 degrees.



Fig. 10. An image of a robot and interior corridors.

are not placed in the right direction at first, to test whether the robot detects the right direction, or not? Because of the large deviation in the end, because it is also a movable barrier (human) we pass to the next robot, which is to be determined whether the robot is able to detect a moving obstacle, or not? As is known, the beginning and the end, the direction is detected, and prevents properly diagnosed, and robot smoothly and quickly returned to the mainstream.

Figure 11 depicts the movement of the robot in the test environment. As is known, the robot is able to correctly discern the correct path, and continue to move along the corridor. Also, barriers to properly diagnosed, and then the path is correct. After crossing the barrier, again in the right direction, the momentum has continued.

VI. Conclusions and Future Work

In this paper, we have developed a method, which is capable of robot navigation in different environments. First, we examine the environment, and estimate the path. Then stationary and moving obstacles and barriers identified, and they leave behind. Both methods, with the help of sonar vision algorithms, have been conducted.

These methods are based on omnidirectional images. Due

to the omnidirectional vision system, ease of installation and received a full, 360-degree images of around the robot is in a single frame. This method can be used in different environments, with no previous knowledge of the environment. This can be done by any of the omnidirectional vision system, and without any calibration and change the picture mode. Also, this method has low computational cost. By combining this method and omnidirectional vision system, and due to the low computational cost, almost robots in all cases, be able to identify the correct way, and the route, fixed and moving obstacles easily detected, and avoid dealing with them.

This would greatly improve, previous forms of this method,

the uncertainty as it was. Especially in indoor, light reflected from the surface is detected by a particular method, and it was

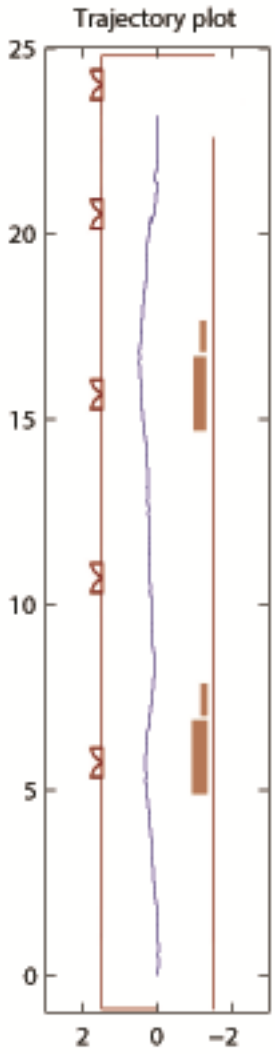


Fig. 11. Plot of a trajectory performed by the robot

not chosen as a barrier, and to ease the path continues. It is still uncertain, and this method can not be trusted 100%.

The disadvantage of this method is that the robot motion is periodic, the robot does not move smoothly and continuously. Another drawback of this method is dependent on the ambient lighting. A major drawback of this method is dependent on edge detection. In environments that can not be properly edge detection, this method will be in trouble. In continuation of our research, we are looking at ways that can reduce dependence on edge detection and improve the problem [7]. Also working on other control methods for this kind of robot motion, becomes softer [8].

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank Mohammadreza Shahabian Alashti, Seyed Navid Nabavi ,Mohammadreza Beyad and Farshid Abdollahi for many useful suggestions related to this work.

REFERENCES

[1] S. K. Nayar, "Catadioptric omnidirectional camera," in Computer Vision and Pattern Recognition, 1997. Proceed- ings., 1997 IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 1997, pp. 482–488.

[2] S. Lenser and M. Veloso, "Visual sonar: Fast obsta- cle avoidance using monocular vision," in Intelligent Robots and Systems, 2003.(IROS 2003). Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International Conference on, vol. 1. IEEE, 2003, pp. 886–891.

[3] B. Bonev, M. Á. Cazorla Quevedo, F. Escolano Ruiz et al., "Robot navigation behaviors based on omnidirectional vision and information theory," 2007.

[4] H. Ishiguro, "Development of low-cost compact omnidi- rectional vision sensors and their applications," in Proc. Int. Conf. Information systems, analysis and synthesis, 1998, pp. 433–439.

[5] S. Gächter and T. Pajdla, "Mirror design for an omni- directional camera with a uniform cylindrical projection when using the svavisca sensor," Research Reports of CMP, OMNIVIEWS Project, Czech Technical University in Prague, no. 3, 2001.

[6] Y.-C. Chung, C. Wang, J. Wang, S. Lin, and S. Chen, "Integration of omnidirectional and movable cameras for indoor surveillance," in IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing (CVGIP), 2004.

[7] C.-K. Chang, C. Siagian, and L. Itti, "Mobile robot monocular vision navigation based on road region and boundary estimation," in Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on. IEEE, 2012, pp. 1043–1050.

[8] P. Krüsi, M. Pivtoraiko, A. Kelly, T. M. Howard, R. Y. Siegwart, R. Y. Siegwart, and R. Y. Siegwart, Path set relaxation for mobile robot navigation. Eidgenössische Technische Hochschule Zü rich, Autonomous System Lab,2010.

Multi-view tracking using Kalman filter and graph cut

Parisa jahanshahi

Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
p.jahanshahi@qiau.ac.ir

amir masoud eftekhari moghadam
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
eftekhari@qiau.ac.ir

***Abstract*— In this paper, we propose a multi-view approach to detect and track based on graph-cut and Kalman filter algorithms to solve this problem. the first, object appears in the scene be detected as foreground in each view using a background model and background difference. next, For related between cameras used *homographic conctraint*. Any pixel inside the forground object in every view will be related by homographies inducted by the reference view. reference view Images converted to binary images by a graph-cut segmentation.This step separated the position of the intersection points from other parts inside reference images.This added step significantly reduse false positives and missed detections due to points noise or when it cannot be guaranteed that a single reference view image will consistently by scene objects.To track, We measurement the average position of the points. The kakman filter provide an optimal estimate of its position at each time step. The filter kalman, the first one is the prediction of the next state estimate using the previous one, The second is the correction of that estimate using the measurement. Experimental results with detailed qualitative analysis are demonstrated in challenging multiview crowded scenes.**

Keywords—homography; multi view tracking; kalman filter; graph-cut

I. NTRODUCTION

Intelligent video surveillance using multi camers has been one of the most active research areas in computer vision. The view of a single camera is finite and limited by scene structures. Multi camera tracking aims to establish the spatio-temporal correspondence of the same object across multiple views. multi-camera video surveillance faces many challenges with the fast growth of camera networks. As the scales of camera networks increase, it is expected that the multi-camera surveillance systems can self-adapt to a variety of scenes with less human intervention, and Tracking multiple people accurately in cluttered and crowded scenes.The goal is to efficiently extract useful information from a huge amount of videos collected by surveillance cameras by automatically detecting, tracking and recognizing objects of interest, and understanding and analyzing their activities. In this paper, we propose a tracking approach to detect and track multiple people in crowded and cluttered scenes by fixed multi camera.

Algorithms for target tracking in multi-view camera networks can be grouped based on the modalities for tracking and information fusion and can be categorized into two main classes, namely *track-first, fuse-first*.

A. Track-first Approaches

Track-first multi-view tracking can be performed either independently in each view or collaboratively across views. In collaborative tracking, estimated tracks in the image view and in the common view can be used to assist each other and to improve track estimates in one view. Both independent and collaborative algorithms first track objects in each camera view and then project the tracks onto the common view for fusion. The problem to be solved here is the fusion of the multiple tracks belonging to the same target.

Track-first approaches involve multiple tracking steps and hence can be computationally expensive. To reduce the complexity, fuse-first approaches can be used that defer the tracking step until when the information from each view is fused on a common view[1-2-3].

B. Fuse-first approaches

Fuse-first approaches project detection information from each view to a common view and then apply tracking. This approach, involve multiple tracking steps that can introduce sources of estimation error. These multiple steps can be eliminated by tracking on the common view only, by accumulating on the common view the information from each view.

The features extracted can be the feet location of people ,the foreground pixels or the whole motion segmentation likelihood. Note that although fuse first methods involve one tracking step only, they may involve multiple detection steps in each camera view, before fusion and on the common view, after fusion[3-4-6].

our approach, is based on the fuse-first approach . object appears in the scene be detected as foreground in each view using a background model and background difference. next, For related between cameras used homographic conctraint. Any pixel inside the forground object in every view will be related by homographies inducted by the reference view. In this approach,the torso of a person is points of intersection in Hmography plane.

reference view Images converted to binary images by a graph-cut segmentation.This step separated the position of the intersection points from other parts inside reference images. To track, We measurement the average position of the points. The kakman filter provide an optimal estimate of its position at each time step. The filter kalman, the first one is the prediction of the next state estimate using the previous one, The second is the correction of that estimate using the measurement.

II. OVERVIEW OF THE PROPOSED METHOD

In this section the ways of detecting the background model, distinction of foreground from background,which is obtained using background modeling techniques, Correspondence between multiple cameras, segmentation of the reference image using graph cut and object tracking using Kalman filter are stated.

extraction forground

Object detection can be achieved by building a representation of the scene called the background model and then finding deviations from the model for each incoming frame. Any significant change in an image region from the background model signifies a moving object. The pixels constituting the regions undergoing change are marked for further processing. Usually, a connected component algorithm is applied to obtain connected regions corresponding to the objects. This process is referred to as the *background subtraction.*

In this paper, we use of average approach for background model. background pixels are constant over time for each incoming frame. To work, we obtain frams for a Window of time and stack them together. The sliding time window size was kept at 200 frames for each experiment. To each window of time, for each pixel of the image, the most frequent color in the time panel is considered to be the backgraound image's color in that pixel**.**

Correspondence Between Multiple Cameras

Correspondence between multiple cameras involves at the same time instant finding correspondences between objects in the different image sequences. The existing methods for establishing correspondences can be classified (1,2), according to the types of employed features, whether the cameras are calibrated or not, and whether the correspondences are *region-based* or *point-based.*

In this paper, we used of the points located on torso to match people in multiple views, based on the homography constraint defined by the reference plane,that is *point-based*. This approach of detection and occlusion resolution is based on geometrical constructs and requires only the distinction of foreground frome background,which is obtained inside Previous part. This has the dual action of localizing people in the scene as well as resolving localization object. Warping a pixel from one image to another using the homography induced by a reference scene plane amounts to projecting a ray through the pixel onto the piercing point and then projecting it to the second camera center.

Figure 1 shows a object on a planar surface. The scene is being viewed by two cameras. H_π is the homography of the planar surface from view 1 to view 2. Warping a pixel from view 1 with H_π amounts to projecting a ray on to the plane at the piercing point and extending it to the second camera. Pixels that are image locations of scene points off the plane have plane parallax when warped. This can be observed for the red ray in the figure. Let $p = (x, y, 1)$ denote the image location of a 3D scene point in one view and let $p' = (x',$

y', 1) be its coordinates in another view. Let H_π denote the homography induced by plane π between the two views.[1,5,7,8,9,10]

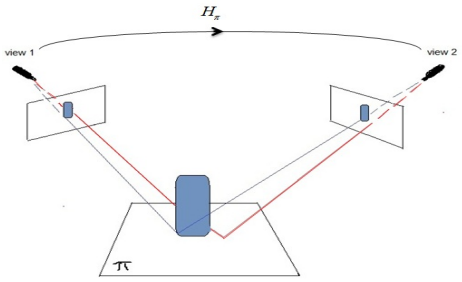


Fig. 1. the relationship between two corresponding pixels by homography matrix

Geometrically speaking warping pixel p from the first image to the second using the homography H_π amounts to projecting a ray from the camera center through pixel p and extending it till it intersects the plane π at the point often referred to as the 'piercing point' of pixel p with respect to plane π. The ray is then projected from the piercing point onto the second camera. The point in the image plane of the second camera that the ray intersects is pw. In effect pw is where the image of the piercing point is formed in the second camera.

In the present study, at any time the homography is done equal to the number of available cameras and each time the reference image is regarded to be the view of one camera. Every created reference image which is a combination of all views is a graylevel image. Some points of the image at hmography plane, where the intersection have been occurred are highly bright. . figure 2 shows, homographies result represented to the view of camera1.

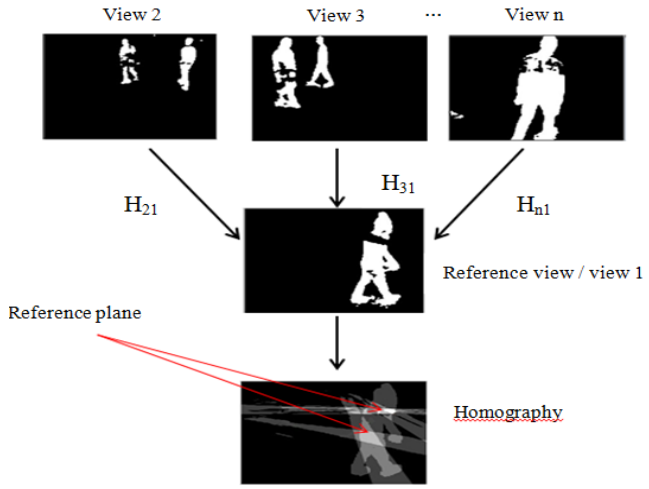


Fig. 2. the reference image with regard to the perspective of camera 1

C. separating junction points using grapg cut

In this study, graph cut segmentation algorithm is used to separate junction points at homography level in the image. This segmentation algorithm shows the image as graph segmentation problem. Node$_{V=\{u,x,\ldots\}}$ of the image pixels and the graph N which is made of all pixels of the image are classified into N discrete sub-graphs. This is done by pruning the graph's weighted wings which have the least weights. The pruned wings between the two sub-graphs are called the cut. These sub-graphs are not related to each other at all and there is no common node among these sub-graphs. In figure 3, the red wings in graph G might be considered as a cut. eliminating these wings will result in two subgraphs A and B [3-10-11-12-13].

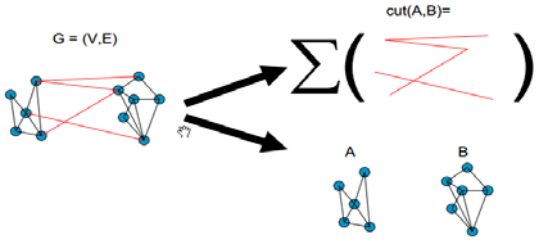
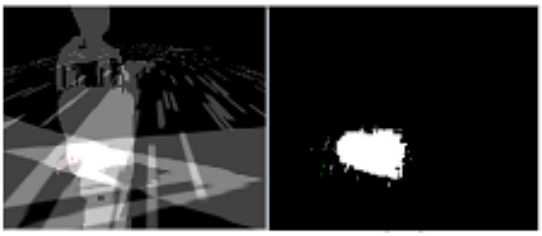


Fig. 3. an instant of graph cut performance [7]

Graph cut is done at any time on the reference images obtained from the perspective of each camera. As can be seen in figure 4, in each image the intersection points of the individuals' busts which are related to homography level and has higher brightness intensity than other parts of the image are presented.



(a) (b)

Fig. 4. a. reference image of camera 1's view. b. the image obtained from graph cut on the reference image.

D.tracking

After applying graph cut on this image, it should get prepared for tracking with Kalman filter. To do so, the output binary image is changed into some positions. For this purpose, the position of the available targets in the system are considered as P1 = {x,y} on the image. In addition to these points, the camera's access points are also considered as P2 = {x,y} . The access points are some points of the scene whose target enter the scene. P' are considered as the aggregation of points P1 and P2 which indicate the target position in the image. Each bright point on the image is related to the closest point in P'. The mean point related to each target is considered to be a measurement and is applied on the tracking system of Kalman filter.

Using these measurements, Kalman filter will better estimate the object's position compared to the available measurement. In this type of filters, tracking equations are divided into prediction and correction groups. Prediction equations first help to estimate the object's position in the next frame. After that, this position is corrected by using available measurements. This way, the intended object's moving behavior is obtained [14-15-16-17].

In prediction and correction equations shown in figure 5, each stage's output is the other one's input.

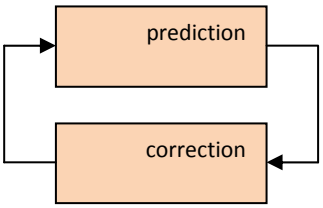


Fig. 5. Kalman filter's equations diagram [17]

Any probable position of the target which is reported through measurement is considered as measurement m, and the whole available measurements in a frame are considered as M_K. The object's real two dimentional coordinate is shown as (px, py) while the two dimentional coordinate resulted from measurment in the network is shown as (mx, my). X_K and Z_K are state and measurement vectors, respectively. Equation (1) is the equation of the target's motion which is defined as follows:

$$px_K = px_{K-1}$$

$$py_K = py_{K-1}$$

To obtain the targets' state vector at any time steps, Kalman filter is updated with new measurements and then, at the prediction stage, an estimation for x_K and y_K for the targets' state are done using the former state of x_{K-1} and y_{K-1}.

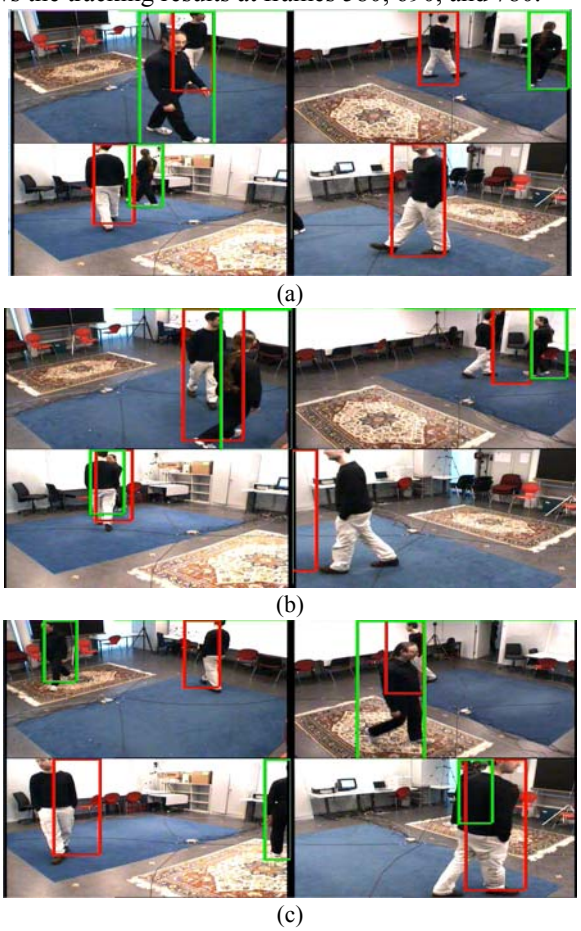
E. create and delete a target

At the measurement allocation stage, it is probable that the number of measurements be larger than the number of targets. Therefore, some measurements will be left without targets. In this case, one new target can be created per each measurement. These targets are marked as unapproved targets. If in a defined time panel adequate measurements are allocated to them, the targets will be approved as main targets.

If for any reason, the path algorithm loses an individual, that might mean that no measurement has been allocated to that path in some successive frames, and that special target will be eliminated. This is done as follows: a time panel is specified for each target. If specific number of measurements are not allocated to the intended target in this time panel, the state vector of that target will be eliminated. For example, if in the last 10 frames 6 measurements are not allocated to the intended target, the target will be eliminated.

III. SIMULATION AND RESULTS

To approve this study's methodology, the obtained results are presented on EPFL website [18]. In the presented results, every individual has been shown as a coloreful rectangle that shows his/her limit. This website contains several videos of different scenes. Each scene has been recorded simultaneously with four cameras at the rate of 24 frames per second. Figure 6 shows the tracking results at frames 580, 690, and 780.



(a)

(b)

(c)

Fig. 6. Results of implementation on EPFL dataset. The results in (a),(b),(c) images, in each image, from up to down and from left to right relate to views of cameras1, 2, 3 and 4, respectively.

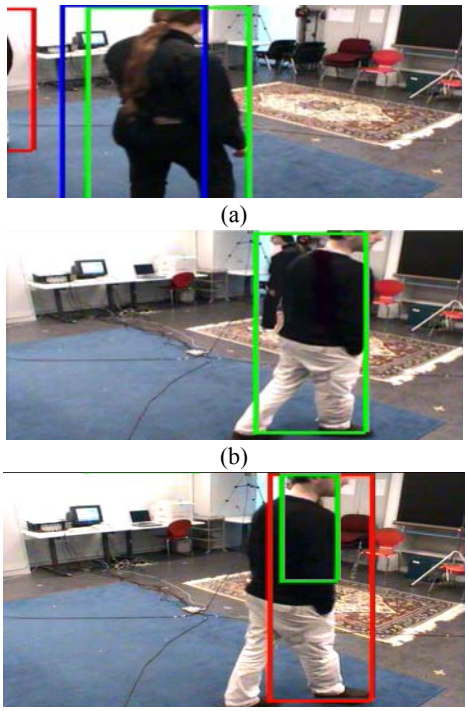
As can be seen in table1, to evaluate the accuracy of the methodology, the obtained results were evaluated using three accuracy assessment criteria: precision, recall and f-measure. The first criterion shows the extent that the methodology recognizes and tracks the moving targets of the scene. The result is 97/55%. The second criterion shows how many people have been tracked correctly. The obtained result is 92/3%. The third criterion is a combination of the first and second ones and shows 94/8%.

TABLE 1. Accuracy evaluation of the presented approach

	Precision	**Recall**	**F-Measure**
Proposed Method	92.3 %	97.55 %	94.8%

To evaluate the presented algorithm, a comparison was done between the algorithm results of this study on EPFL dataset

and the results obtained from Kalman filter and graph cut algorithms individually (figure 7). The comparison has been done on camera1's view.



(a)

(b)

(c)

Fig. 7. results of comparison between tracking methods of this study and Kalman filter and graph cut algorithms. (a). Kalman filter approach,(b). graph cut approach,(c). paper approach.

To evaluate the accuracy of tracking with Kalman filter and graph cut methods, as can be seen in tables 2 and 3, results obtained from these methods were assessed using three assessment criteria: precision, recall and f-measure.

Table 2. Evaluation of Kalman filter tracking method individually

	Precision	**Recall**	**F-Measure**
Kalman filter	91.3 %	88.3 %	89.8%

Table 3. Evaluation of graph cut tracking method individually

	Precision	**Recall**	**F-Measure**
graph cut	90.7 %	95.54 %	93.0%

Results of a comparison between tracking people through Kalman filter and graph cut tracking methods and the presented method are shown in figure 8.

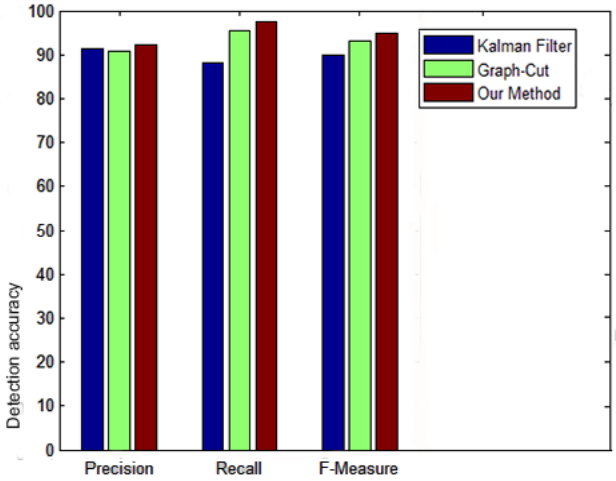


Fig 8. A comparison between accuracy of Kalman filter and graph cut tracking methods and the presented method

IV. CONCLUSIONS

In this study, a method of tracking people based on graph cut and kalman filter was presented using several fixed cameras. People's junction points at homography level in each camera appear clearly even though the people have partial or full overlaps. Using graph cut leads to more accurate junction points of people. Using Kalman filter to track people and obtain the movement path may result in the improvement of the measurements obtained from people's positions. Therefore, people are tracked well through this method even though they have partial or full overlaps.

(1) References

[1] X. Wang ,"Intelligent multi-camera video surveillance: A review" Vol. 34, 3–19, January 2013.

[2] roberto cipolla, janusz kacprzyk, "computer vision (detection, recognition and reconstruction)," editor- janusz kacprzyk, springer,volume 285, 2010.

[3] a. yilmaz, o. javed, and m. shah, "object tracking: a survey," acm j. computing surveys, 2006.

[4] S. m. khan and mubarak shah," tracking multiple occluding people by localizing on multiple scene planes," ieee transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 31, no. 3, march 2009.

[5] Y. ajmal sheikh and mubarak shah," trajectory association across multiple airborne cameras", ieee transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 30, no. 2, february 2008.

[6] R. martín and j. m. martínez," a semi-supervised system for players detection and tracking in multi-camera soccer videos",doi-10.1007/s11042-013-1659-6,springer + business media new york 2013.

[7] s.m. khan and m. shah, "a multi-view approach to tracking people in crowded scenes using a planar homography constraint," proc. ninth european conf. computer vision, 2006.

[8] dejan arsi´c, atanas lyutskanov," multi camera person tracking applying a graph-cuts based foreground segmentation in a homography framework", 978-1-4244-5504-1/09/$25.00,2009 ieee.

[9] s. m. khan and m. shah, "a multiview approach to tracking people in crowded scenes using a planar homography constraint," in eccv, 2006.

[10] d. freedman and m.w. turek, “illumination-invariant tracking via graph cuts,” proc. ieee conf. computer vision and pattern recognition, 2005.

[11] Wei Zhang, Xiaochun Cao, " Detecting and Extracting the Photo Composites Using Planar Homography and Graph Cut", ieee transactions on information forensics and security, vol. 5, no. 3, september 2010.

[12] Yuxian Li1, Yifu Du2,” Image Segmentation Method Based on Improved Graph Cut Algorithm”,IEEE,978-1-4673-0089-6/12/$26.00 , 2012.

[13] V. Kolmogorov, S. Vicent, “Graph cut based image segmentation with connectivity priors,” IEEE Conference On Computer Vision and Attern Recognition,vol.12,pp.767-774,2008.

[14] w. hu, x. zhou, m. hu, s. maybank,” occlusion reasoning for tracking multiple people”, ieee trans. circuits syst. video technol,114–121, 19 (2009).

[15] khan, s., shah, m., 2009. tracking multiple occluding people by localizing on multiple scene planes. ieee trans. pattern anal. machine intell. 31 (3), 505–519.

[16] wenbing dang, scharf, l.l " extensions to the theory of widely linear complex kalman filtering", signal processing, IEEE transactions on volume:60 , issue: 12 , 6669 – 6674, 20 August 2012.

[17] pieper. m. ; kummert. a,” image prediction for virtual environments by means of kalman filter based 3d object tracking”, page(s): 30 – 35, publication year: 2005.

[18] http://cvlab.epfl.ch/data/pom.

Developing Intelligent Full-scale PredictiveModel of an Industrial Walking Beam Furnace ProcessUsing Neural Networks

Mohammad Khorrami Arani
Department of Computer Engineering
Tethys Research and Development Company
Tehran, Iran
Mohammad.khorrami@gmail.com

Hamed D Banadaki
Young Researchers and Elites Club
Yazd Branch, Islamic Azad University
Yazd, Iran
hmd.dehghan@gmail.com

***Abstract*—Most of the physical process plants are complex, dynamical, and nonlinear in nature. Modelling of such systems employing conventional physical principles is a complicated task involving a lot of time and effort. Recently, artificial neural networks (ANN) with their self-learning and general function approximation capabilities have become effective tools to cope with nonlinear modelling problems in practice. In this paper, we propose full-scale thermal predictive models for a real walking beam furnace (WBF) using nonlinear sub-system identification based on ANN models which naturally follows a multi-layer perceptron (MLP) networks. Furthermore, comprehensive extension of the proposed neural predictive model to long-term thermal prediction of the WBF is also addressed. For training the MLP networks, weights and biases values are updated by Levenberg-Marquardt (LM) optimization algorithm. Identification and evaluation of the presented predictive models were carried out using the recorded experimental data of Iran Alloy Steel Company located in the centre of Iran.**

***Keywords*—walking beam furnace (WBF); system identification; neural predictor model (NNPM);sub-system identification, nonlinear predictor model.**

I. Introduction

Walkingbeamfurnace (WBF) is one of the most crucial parts of a steel production factory which is a complex process within serial activities requiring technical support. Owing to thermalinterconnections different heating sub-systems of process, the WBF appears as a complex process that demonstrates timevarying, dynamic,nonlinear, and temperature-based coupling characteristics. Thus, conventional modelling of such a complicated process will lead to a time-consuming and tedious procedure that may yieldscomplicated nonlinear dynamic equations which are hardly to work out. However, extracting anaccurate predictive model of WBF process seems to be necessary for the purposes of model-based control and diagnosis trials. For instance, proper predictor models are needed to develop energy saving technique or designmodel predictive controllers or test new fault diagnosis methods which could be expensive or even impractical to be performed by experimental equipments.

The walking beam furnace is divided into several independentlycontrollable zones. The first zones of the furnace work on theheat produced in the next zones, i.e., the active heating zoneswhere propane or carbon monoxide is burnt to heat the slabs.The last zones, called soaking zones, are used to fine tune thetemperatures to the desired goal temperature set for each slab.It is important to adjust the parameters of the zones in such away that the slabs are heated to the pre-defined temperatureas accurately as possible. This will lead to a higher rollingquality of the slabs and to a higher quality of the finishedproduct, the steel strip, to obtain this goal a precision model that has a minimum error and maximum model accuracy to real systemis necessary to make the particular and proper controller to set the flow fuel and regularize the temperature[5].

It is unambiguous that conventional physical principles cannot effectively cope with the modelling problem of nonlinear dynamic processes and will come across severe hardships.In addition to physics principles-based modelling, there are a variety of data driven methods which offer different models for nonlinear systems.

Recently, a few attempts have been devoted to utilize data driven techniques to identify a proper model of WBF. Adaptive neural network was employed to control the temperature of the furnace, the feed forward adaptive neural networks that uses for prediction based onexperimental data from a walking beam furnace [5]. MIMO identification is estimated the parameters of a dynamic model for a walking beam reheating furnace arefollowed in [1]. Dynamic model of a walking beam reheating furnace based on a multilayer perceptron neural network, which is trained using PSO algorithm is proposed in [13]. A kind of recurrent neural network that called dynamic neural network presented by the authors in[2], and the behaviour of each neuron of this model made dynamic by incorporating feedback connections in it. To the best of author's knowledge, in none of aforementioned,no attempt has been made to include the thermal interconnections of different heating zones of the WBF in the modelling problem. Hence, the merit of our proposed full scale predictor model would be that the thermal interactions between all heating zones of WBF are also taken into account to develop more accurate models of the process. In other words, subsystem identification is a modular data driven modellingmethod whose main idea is to breaka complex processinto fewer sub-systems. Moreover, the interconnections of these subsystems which probably exist in the real industrial process plants are also included in the

developed total model to bond independently identified sub-models.

In the modelling procedure, the most challenging part is to find the best number of dynamics for inputs and outputs of the model which is going to be developed. Any imperfection in this part severely influences the other parts of modelling and leads to badly identification of the process under investigation. In this paper, a new method is presented to find the adequate dynamic depths of the non-linear predictive models. In other words, this method is based on trial and error procedurein which a simple nonlinear modelof the process is delineated firstly (e.g., an static MLP network with one nonlinear neuron in its hidden layer which has been proven to be general function approximator)and thenexternal dynamics are added increasinglyuntil the accuracy-criterion valuesare levelled out or increasing more dynamic number does not improve the model accuracy.

The rest of paper is organized as follows. In section 2, a brief overview of the walking beam furnace processis presented.Section 3 introduces how to prepare a rich data for identification from row-recorded data anddetermine best dynamic orders.In the same section,architectures of static and dynamic neural models proper for prediction purposes are addressed as well. The experimentalresultsconcerning prediction obtained by proposed models are included in sections 5, finally, main concluding remarks are brought up in section 6.

II. Walking beam furnace in steel production

Iran Alloy Steel Company located at 30 km far from Yazd, a city in the centre of Iran, was founded in 1999 and is one of the biggest steel production factories in Middle East and Iran. The factory consists of several parts such as steel production units, thermal and supplements operation, heavy and light rolling and, etc. In this paper subsystem modelling of walking beam furnace in light rolling is taken into account. The walking beam furnace is the major part of a steel production factory and plays a critical role in high quality of steel products, so as real time technical supports are required for better performance of it. Walkingbeam furnace is an industrial plant that serves to heat the inlet slabs coming from other parts of the factory. In the furnace, all slabs are heated to reach a predefined discharging temperature (1300C^o) and balancing of temperature distribution in slabs.

The structure of the walking beam reheating furnace discussed in following sections is shown in Fig. 4Slabs in the furnace move from tail zone to soaking zone. The furnace divided in to four combustion zones, which are denoted as zone1 to zone4 respectively. Recuperator zone is not a control area and has no fuel input. The slabs are heated by waste gas in this area. The function of preheating and heating zones is to heat a slab. The aim of soaking zone is to adjust the temperature gradient so that the inner temperature and surface temperature of the slabs can reach a balance. The FFB (Fuel Flexible Burner) burners provide the desired temperature of the furnace.FFB is a fabricated burnerdesigned for heavy duty services and forpreheated combustion air. The turndown is determined by the design air pressure at rate capacity. There are 8 burners type FFB9 (four with pilot four without a pilot) on preheating zone, 12 burners type FFB6 on heating zone 1, 8 burners type FFB9 on heating zone 2, 8 burners type FFB9 in soaking zone, All the burners are mounted on the furnace roof. The four zones are equipped with their own burners, while the recuperative zone is not equipped with burner and utilities the existing temperature in the fume of the combustion, coming from the front areas.

Zone name	Variable name	Unit	Description
Pre heating	T_{LZ1}	C^o	Left temperature of preheating zone
Pre heating	T_{RZ1}	C^o	Right temperature of preheating zone
Pre heating	T_{z1}	C^o	Maximum temperature between left and right of preheating zone
Pre heating	F_{Gz1}	NM^2/h	Gas flow of preheating zone
Heating 1	T_{LZ2}	C^o	Left temperature of heating zone 1
Heating 1	T_{RZ2}	C^o	Right temperature of heating zone 1
Heating 1	T_{z2}	C^o	Maximum temperature between left and right of heating zone 1
Heating 1	F_{Gz2}	NM^2/h	Gas flow of heating zone 1
Heating 2	T_{LZ3}	C^o	Left temperature of heating zone 2
Heating 2	T_{RZ3}	C^o	Right temperature of heating zone 2
Heating 2	T_{z3}	C^o	Maximum temperature between left and right of heating zone 2
Heating 2	F_{Gz3}	NM^2/h	Gas flow of heating zone 2
Soaking	T_{LZ4}	C^o	Left temperature of soaking zone
Soaking	T_{RZ4}	C^o	Right temperature of soaking zone
Soaking	T_{z4}	C^o	Maximum temperature between left and right of soaking zone
Soaking	F_{Gz4}	NM^2/h	Gas flow of soaking zone
Recuperative	PR	bar	Furnace Pressure

Table 5 Walking beam furnace variable descriptions

Pressure of the furnace is controlled by a butterfly damper that fixed in exhaust, there are two hydro motors that set the damper angle, and a pressure sensor that measure the pressure of the furnace located in recuperative zone. The temperature of the furnace controlled with flow control valves and they set the fuel and air ratio that enter to burners.

For measuring the temperature of these zones, there are 2 sets of thermocouple that installed in right and left of each zone. The maximum temperature of these sensors will be referencedof controlling the fuel.Significant process variables are measured by correspondent sensors atpre-chosen points of

walking beam furnace and then acquired data are recorded in monitoring data access system. Technical description and nomenclature of furnace variables used in Fig. 4are given in Table 5.

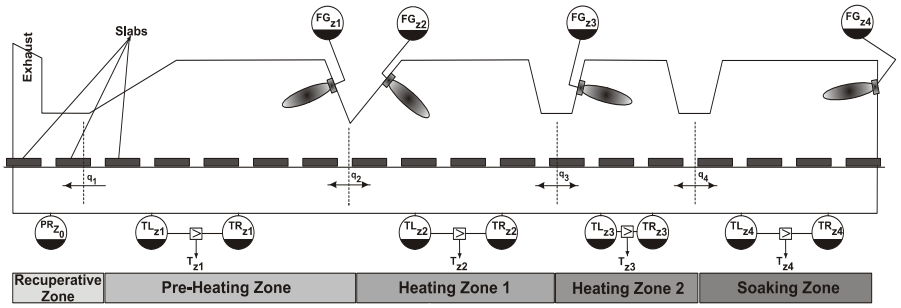


Fig. 4 Structure of a walking beam reheating furnace

III. Data mining for system identification

The procedure of data driven system modellingcan be briefed in fourphases [11].

1) Collect uncorrupted and valid Input-Output data
2) Select suitable model structure
3) Estimate the model parameters
4) Model validation

One of the most important assumptions to get valid information from an input and output is that the changes happened in the output are affected by the system input and not disturbance or noise[12].Hence data mining methods are required in order to extract valid data from the available data.In the following sections, the procedure of data mining is suitable for discussion about of valid data extraction.

To identify a model for plant, the collected data for identification should be reliable in order to illustrate various dynamics of the system. Owing to safety and limited access to real WBF, we could not feed various signals with different frequencies to the system. According to system identification theory which emphasizes on using powerful signals such as PRBS to excite all dynamics of the system, but we have to exploit the available data from normal operating conditions which leads to a passive identification approach.

The first step for preparing the predictor model is gathering the WBF subsystems data from different zones. The zone's data are recorded in data access system (at the control room of the company) that is easily accessible. These experimental real data are sampled for 30days(from 1th to 30 July 2010) with an interval 5 second.Additionally, %60 of data samples is used as training set and rest of them as checking data.After discussed with process engineers and operators of the factory, we made an effort toremove faulty operational points from available gathered data sets. Besides owing to uncontrolled effects such as noises and disturbances acting on the process, one should try to use some pre-processing methods presented in identification references [12] such as peak shaving and normalization.

Peak shaving and smoothing intensive changes in data are very important for pre-processing methods. These commonplace abrupt changes may occur due to the operation of sensors or data acquisition cards. They cause some numerical problems in measuring and recording variables as well [12]this may happen because the sensor is turned off for instance, when it needs to substitution or repaired.

Since the inputs and outputs data have different ranges that cause error in data quantization and the system badly identified [12].Data normalization must be accomplished as an important step of data mining. Experiments have proven that, more promising results will appear using data normalization.

The normalized of the signal$X$ is given asX_n by:

$$X_n = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

Where X_{min},X_{max} are minimum and maximum values of$X$. Fig. 5shows the F_{GZ2},T_{z2} before and after normalization according to Eq. (1).

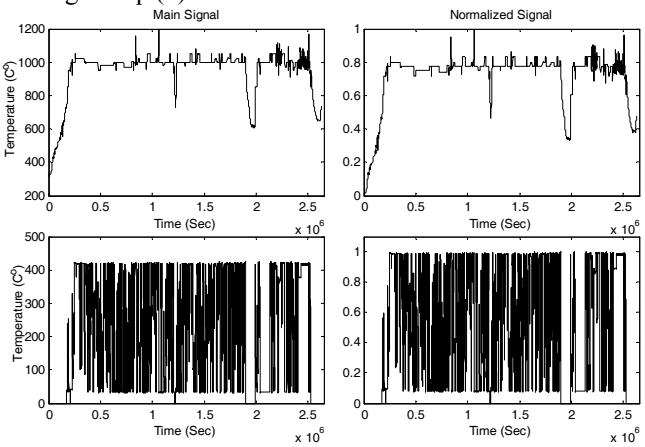


Fig. 5FG_{Z2}, T_{Z2} signal before and after normalization

IV. Nonlinear system identification based on neuro-prediction methods

A. Predictive model based on MLP networks

The general configuration of a one-step predictive model based on MLP neural network suitable for nonlinear dynamic process modelling is depicted inFig.3. This structure exploits the bank of time delay line (TDL) filters in which filters are typically chosen as unit time-delays to add external dynamism (memory) to nonlinear static (approximator) model. That is, the TDL filters are used to generate the delayed inputs and outputs. As seen, the proposed multi-input single-output (MISO) predictive model has two

different sets of input channels: previous real process inputs and the previous real process output which are injected into the static MLP model and finally the one-step a head outputwill be predicted.

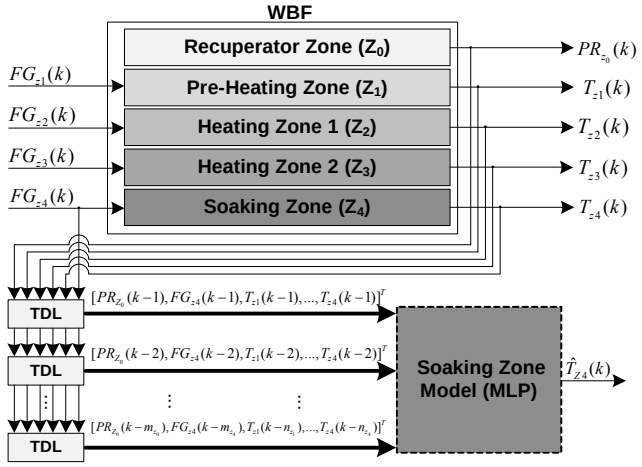


Fig. 6 Configuration of one-step MLP predictive model for a single zone (Soaking zone)

It is worth stressing that owing to the open connection of the zones (See Fig.1), the highly interactions may exist between the temperature behaviour of the different zones. That is, the variations of the temperatures in some zones, probably affect on the temperature of the connected and even non-connected zones and these temperature interactions should not be ignored in the temperature prediction of this process plant. Hence, Fig.3 also describes how possible temperature interactions of the heating zones are included in the one-step predictive models of the WBF.

B.Static feed forward MLP network

As discussed in previous section, in order to build up a predictor model, static nonlinear models should be employed. In our work, static MLP networks are considered; Although static MLP networks can be exploited to model systems with static behaviour, and often can be used for modelling the systems with low grade of dynamism, it is better to used them in a dynamic form to identify the model of the process with high grade of dynamism which is also the case in practice.Generic structure of a static multi layer preceptron network suitable for static nonlinear modelling is shown inFig.4. According to the presented scheme, none of past values of real inputs and outputs of the systems are applied the network.

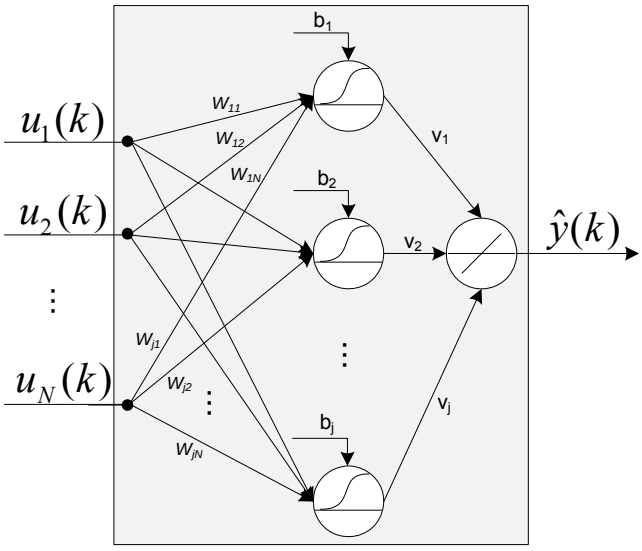


Fig. 7 Topology of a Static feed forward MLP network

As it is proven MLP network with one hidden layer has a better performance in system identification[6].In the present work, MLP model has one-hidden-layer topology depicted inFig. 7.Moreover, it must be noted thatsince the signals which come from the real process plant (temperature, flow value) are positive, the activation functions of hidden neurons are logistic.

Here, a brief overview of the learning algorithm used in this network is merely given. Neural networks aim to update their defined parameters with learning algorithms to give proper outputs for proper inputs and to minimize the error. To that end, LM algorithm is exploited in the present study.

$$\begin{cases} \boldsymbol{W}_{n+1} = \boldsymbol{W}_n + \Delta \boldsymbol{W}, \\ \Delta \boldsymbol{W} = -[(\boldsymbol{J}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{W})\boldsymbol{J}(\boldsymbol{W}) + \mu \boldsymbol{I})^{-1}](\boldsymbol{J}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{W})\boldsymbol{e}), \end{cases} \quad (2)$$

Where e is the error function, J is a Jacobean matrix, and μ is a scalar that makes LM closed to either GD or GN. *W*, which contains the weights of the network, is defined as follows:

$$\boldsymbol{W} = [w_{11}, w_{12}, \ldots, w_{1N}, \ldots, w_{21}, w_{22}, \ldots, w_{2N}, w_{j1}, w_{j2}, \ldots, w_{jN}] \quad (3)$$

C.Determination of dynamic numbers

The problem of order determination for non-linear dynamic systems is the most important part of system identification which outweighs the other phases, since any deficiency in this phase leads to extra effort and computational expense in further phases of identification procedure. A method based on trial and error is presented in this paper to cope with determining of dynamic orders; at first, a simple nonlinear model of the process is built up based on external dynamic approach presented in section 4.1. (e.g., one-step predictive MLP network with one nonlinear neuron in its hidden layer which has been proven to be general function approximator) and then external dynamic numbers for inputs and outputs are added into static MLP model increasingly until the accuracy-criterion values are levelled out or increasing more dynamic number does not improve the model accuracy. Note that for the sake of simplicity, number of dynamics for inputs and output are

usually considered to be identical.

Accuracy criterion used for determination of number dynamics is defined as follows:

$$MA = 100 * \left(1 - \frac{\left\| \sum_{j=1}^{Q} \left(\hat{y}(j) - y(j) \right) \right\|_2}{\left\| \sum_{j=1}^{Q} \left(y(j) - mean(y) \right) \right\|_2} \right) \quad (4)$$

D.Long-term neuro-predictive model

A long-term predictive model should be able to predict the behaviour of system for long future horizons (i.e., *h*-steps ahead). The typical configuration of a multi-step predictive model based on the sequential MLP models with the horizon of h is presented inFig.5. In order to obtain the predicted output values, at each moment, the one-step MLP predictive model presented in the previous section should be used h times. As it is clearly seen, the sequential identical MLP models where the output of any of them (except the last one) provides one of the inputs for the next MLP model are used to realised the total multi-step predictive model.

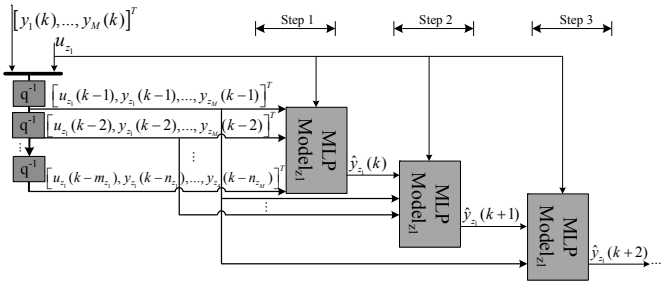


Fig. 8 Configuration of 3-step ahead predictive model based on MLP neural network for zone 1 (z_1)

V. Simulation and experimental results

In this section, simulation results ofbothstatic and dynamic neural network approach for modelling ofeach heating sub-system of the walking beam furnace as well as modelling of whole integrated furnace plant is presented.

In the case of neural network, selection of neurons number is the greatest area of concern. Selecting large number of neurons may lead to over parameterization and model complexity problems. In our research, number of neurons in each model network is increased till more neurons do not have a significant effect on the reduction of the mean square error (MSE) for the test data. Because of four heating zones existence, four MLP models are developed for these four zones with normal operating conditions.

Fig. 9. Shows the obtained percentile model accuracy (MA)values of the MLP model with respect to different order numbers for pre-heating zone temperature (Tz1). As it is seen from the curve, first order MLP model leads to the highest model accuracy percentage of 84.54%. In other words,increasingmore order numberto the MLP model decreases the model accuracy rates. So it was decided that the model of the considered output being of the first order. Obtained model accuracy rates by different orders (up to 14) for Tz1 are listed in Fig. 9 Small MLP model to dynamic extraction for heating zone 1

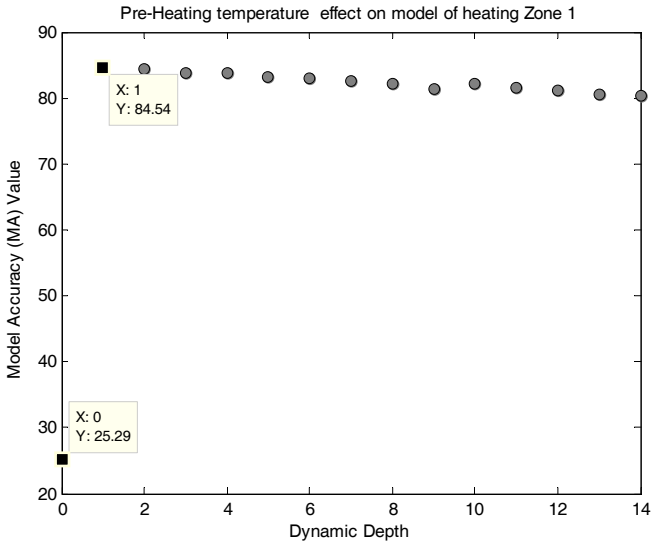


Fig. 9 Small MLP model to dynamic extraction for heating zone 1

Dynamic Depth	**D0**	**D1**	**D2**	**D3**
***MA* value**	%25.29	%84.54	%84.32	%83.80
Dynamic Depth	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**
***MA* value**	%83.70	%83.09	%82.94	%82.49
Dynamic Depth	**D8**	**D9**	**D10**	**D11**
***MA* value**	%82.13	%81.36	%82.23	%81.59

Table 6 model accuracy variations of MLP model by increasing dynamic depth

After selecting the best dynamic numbers for inputs and outputs of the process, it must be stressed that In the case of NN-based system identification, the crucial factor is the number of neurons. Large number of neurons caused complexity in computations and also over parameterization problem. Thus, a small and reasonable neuron number is desirable. Neuron numbers are determined using the MSE curves. A typical MSE curve for the MLP model of the first heating zone is shown in Fig. 10. The ideal neuron number was determined by increasing the number of neurons until more neurons did not have a significant effect on the reduction of the MSE for the test data. As the neuron number increased from 1 to 5, MSE values for the training and test data sets declined. When the number of hidden neurons increased past 5, there were no marked improvements in the MSE for the test data. Hence, an MLP network with five hidden neurons was selected based on the MSE curve.

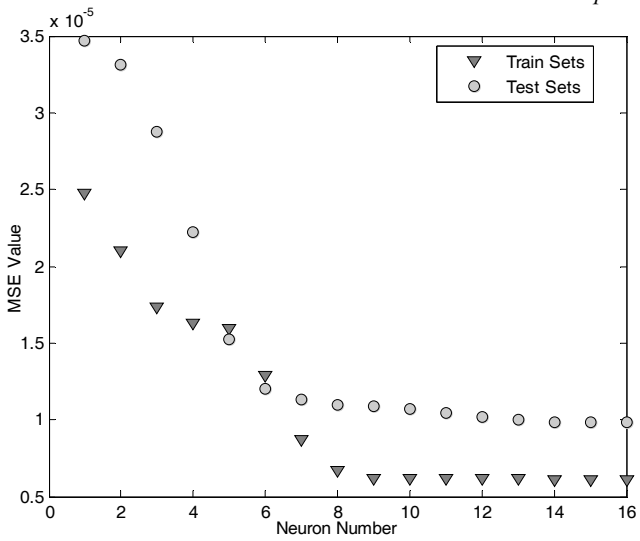


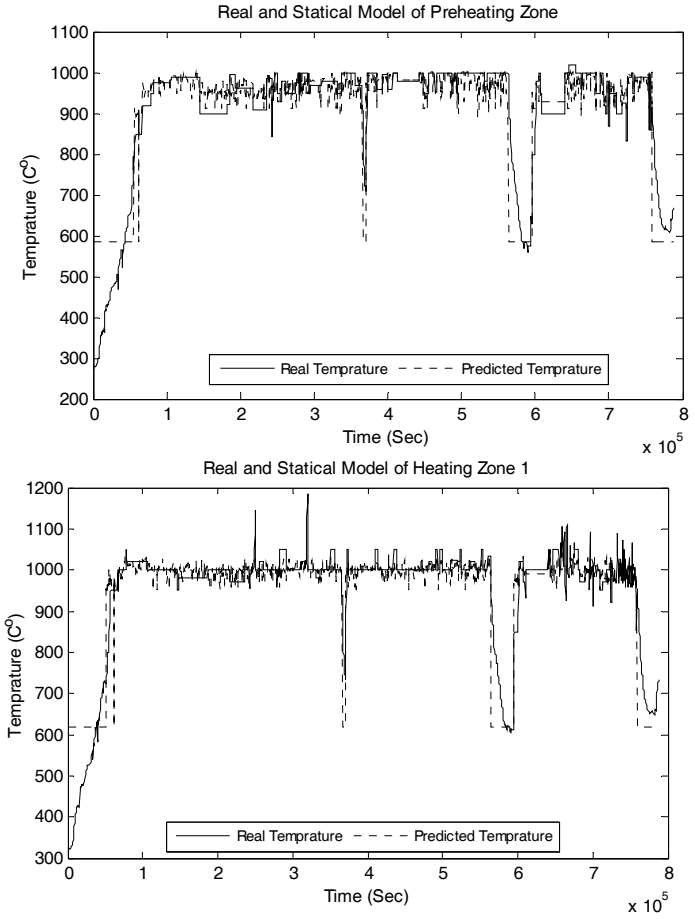
Fig. 10Determining the best neuron number by MSE value

With a glance, one could simply conclude that statistical modelling method has severe problem in modelling of the furnace, while the dynamic model demonstrates more accurate behaviour, in the sense that, its response is closer to the response of the actual sub-system, the model accuracy value of all model for all sub-system listed in Table 7.

Table 7 Numbers of dynamics used for prediction

	Model accuracy(*MA*)			
	Zone 1	**Zone 2**	**Zone 3**	**Zone 4**
Static model	%56.37	%56.11	%31.92	%26.76
Dynamic model	%96.63	%96.39	%96.71	%96.93
	MSE			
Static model	0.0080	0.0053	0.0212	0.0201
Dynamic model	$4.75e^{-5}$	$3.53e^{-5}$	$4.94e^{-5}$	$3.19e^{-5}$

A brief comparison between the responses of the proposed models with the outputs of the dynamic predictor shows the effectiveness and feasibility of the developed models in terms of more convergent and less deviation between the responses of the models and the real outputs. This validates the accuracy of the proposed models over the operating ranges. All of these experimental simulation results confirm that all of four heating sub-systems are of dynamic nonlinear systems. Indeed, it can be easily concluded that the whole heating system so-called WBF has nonlinear and dynamical behaviour. The SIMULINK prototype model of first heating zone is shown in Fig. 13. This modular simulator model is developed for model-based control and diagnosis purposes in the Yazd Steel Production Factory so that enhancing of new control and diagnosing methods for the real system becomes more possible and easier. It is also worthy to note, till present lack of a simulator model of WBF was a great area of concern in this factory.



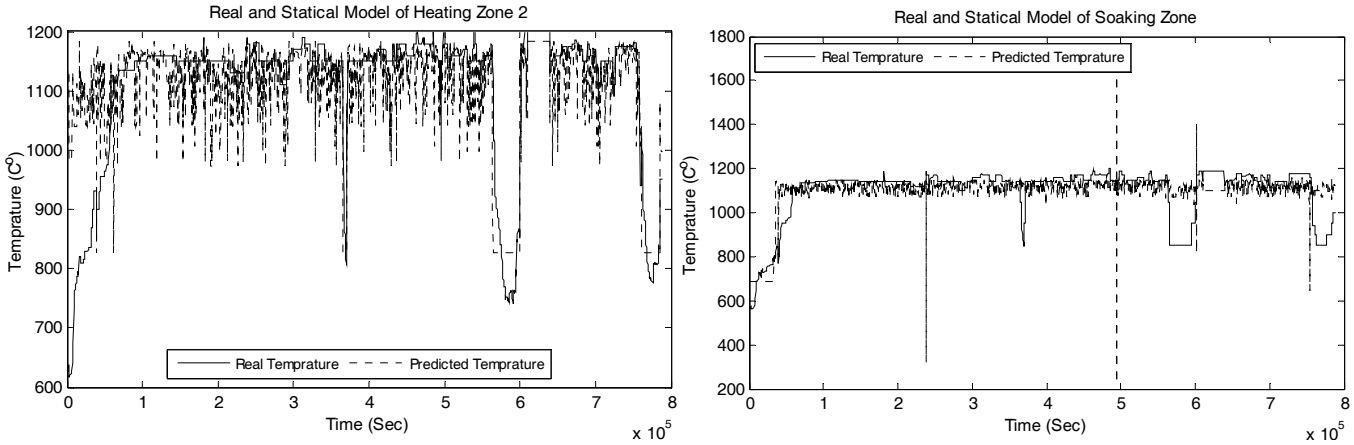
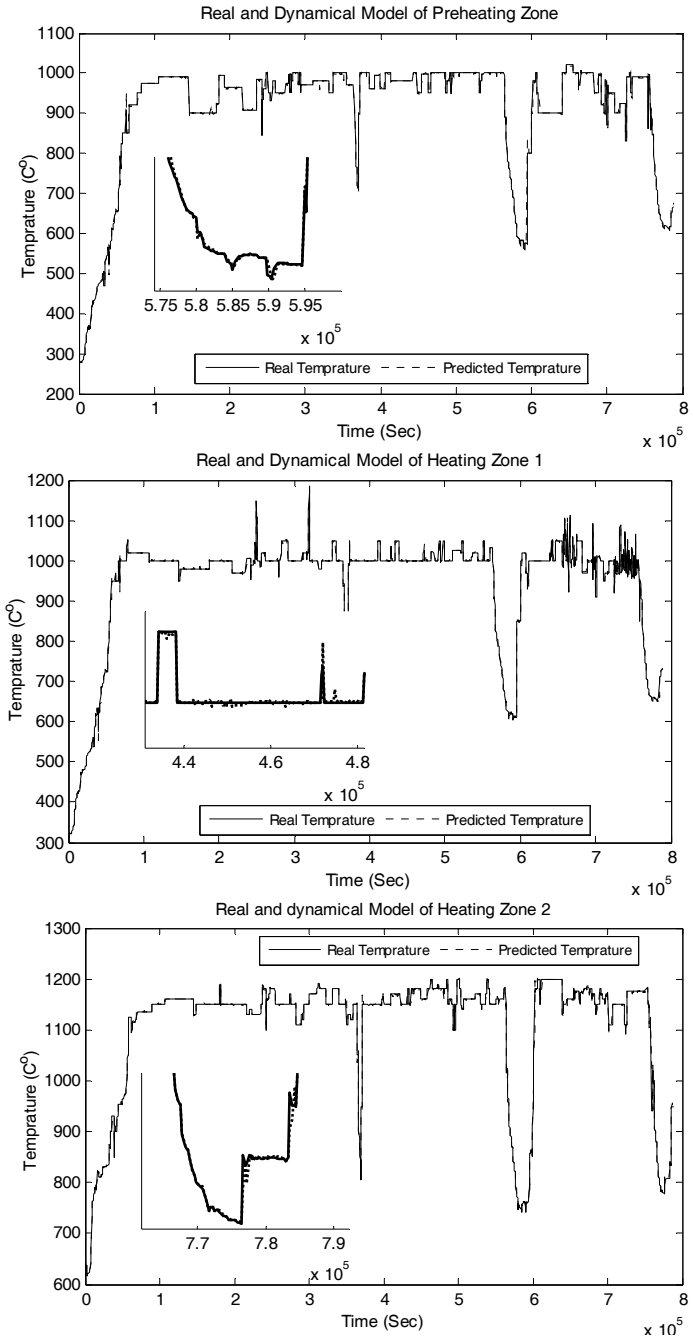


Fig. 11 Result of static predictor model with real output by checking data



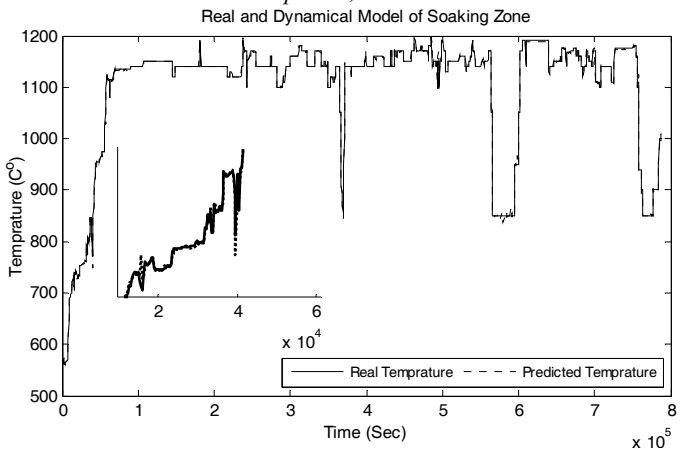


Fig. 12 Result of static predictor model with real output by checking data

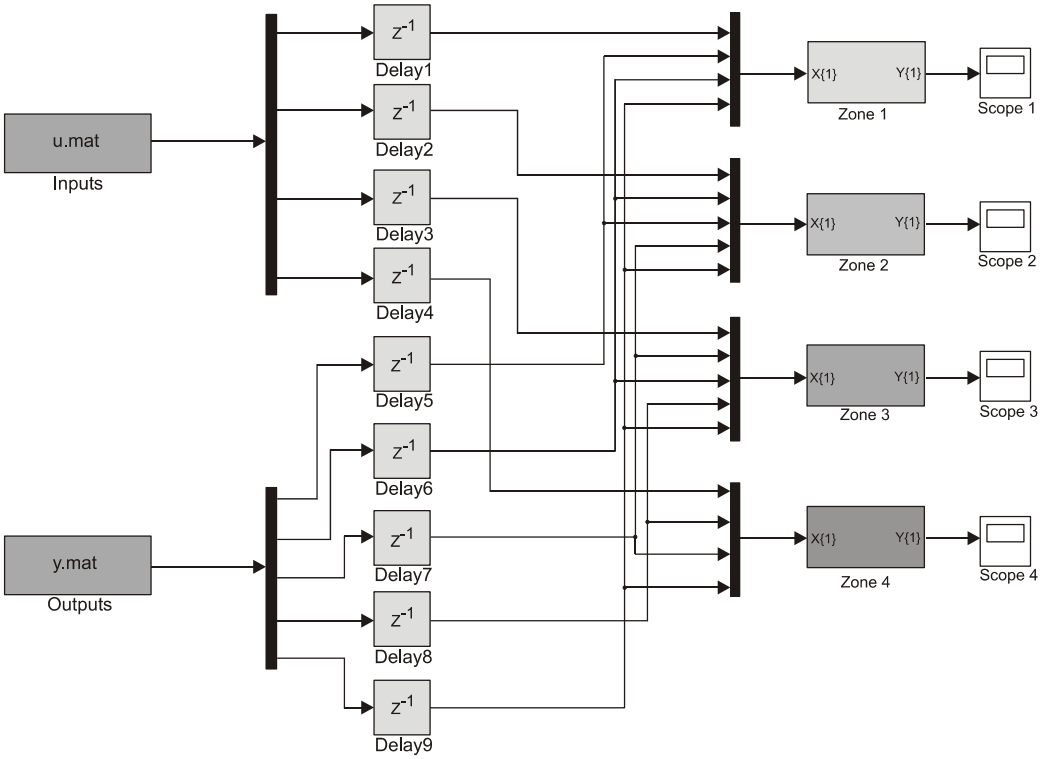


Fig. 13 MLP-based Predictor SIMULINK model for zone 1 sub-system

VI. Conclusion

In this paper, dynamic neural network modelling was carried out for a walking beam furnace in a steel production process, including four heating sub-systems. Finally all these models are integrated as a total modular predictor model. According the experimental results, all dynamic MLP sub-models demonstrate high accuracy in the sense that they can effectively to create a faithful replica of their correspondent sub-systems. Besides, comparative study between static MLP modelling result and dynamic MLP proved that all of the heating subsystems exhibit nonlinearity within their dynamic behaviour. Employing this modular predictor model in model based fault detection and isolation application as well as model based control looks to be a worthwhile direction for future researches. More over developing a predictor model of the walking beam furnace could be also another furtherresearch contribution.

VII. Acknowledgements

This project was funded by TRDCO. The authors would like to express their gratitude and acknowledgment to IASCO for their cooperation and for provision us with real furnace data.

VIII. References

[1] DitzhuijzenK., G., “MIMO system identification of a slab reheating furnace”, IEEE Conf on Control Applications, 3828 Glasgow (UK), August 1994, V01.3, pp.1557-1563.

[2] GobbakA. K., RaghavendranH.,”Internal Feedback Neuron Networks for Modeling of an Industrial Furnace”, Neural Networks, IEEE International Conference, 9-12 Jun 1997, Vol. 3, pp. 1948 – 1953.

[3] HaykinS., "Neural Networks a Comprehensive Foundation", second edition, Prentice Hall international, 1999.

[4] JangJ. R., SunC., MizutaniE., "Neuro-Fuzzy and Soft Computing". Prentice-Hall Inc.1997

[5] LaurinenP., RoningJ., "An adaptive neural network model for predicting the post roughing mill temperature of steel slabs in the reheating furnace", Journal of Materials Processing Technology, December 2004.

[6] LevinA.U.,NalendraK.S.,"Identification using feed forward networks neural computations", 7(2):349-357, 1995.

[7] LjungL., "System Identification Theory for the user", Prentice Hall,Upper Saddle River, NJ, 1987.

[8] NellesO., "Local linear model tree for on-line identification of time variant nonlinear dynamic systems," International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN), pp. 115-120, Bochum-Germany, 1996.

[9] NellesO., "Nonlinear system identification", Berlin, Springer Verlag, 2001.

NellesO., IsermannR., "Basis function networks for interpolation of local linear models" *Proc. of IEEE Conference on Decision and Control,* Kobe, Japan, pp. 470-475, 1996.

[10] Noshiravani R.,"Identification of a Rotary Cement Kilns", Master of Science thesis (in Farsi), K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran, 2005.

[11] Razavi-FarR., DaviluH., PaladeV., LucasC., "Model-based fault detection and isolation of a steam generator using neuro-fuzzy networks", 2009, Neuro-Computing 72, 2939–2951.

[12] SadeghianM.,FatehiA., "Identification of Nonlinear Predictor and Simulator Models of a Cement Rotary Kiln by Locally Linear Neuro-Fuzzy Technique", World Academy of Science, Engineering andTechnology, 2009.

[13] XuegangS., ChaoY., "Dynamic Modeling of Reheat-Furnace UsingNeural Network based on PSO Algorithm", International Conference on Mechatronics and Automation, August 2009.

[19] [14] ZhuY., "Multivariable System Identification for Process Control", Elsevierscience Ltd, 2001

Enhanced Comprehensive LearningCooperative Particle Swarm Optimization with Fuzzy Inertia Weight (ECLCFPSO-IW)

Mojtaba Gholamian
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
Mojtaba.Gholamian@qiau.ac.ir

Mohammad Reza Meybodi
Department of Computer Engineering and Information Technology, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
MMeybodi@aut.ac.ir

Abstract—So far various methods for optimization presented and one of most popular of them are optimization algorithms based on swarm intelligence and also one of most successful of them is Particle Swarm Optimization (PSO). Prior some efforts by applying fuzzy logic for improving defects of PSO such as trapping in local optimums and early convergence has been done. Moreover to overcome the problem of inefficiency of PSO algorithm in high-dimensional search space, some algorithms such as Cooperative PSO offered. Accordingly, in the present article, we intend, in order to develop and improve PSO algorithm take advantage of some optimization methods such as Cooperatives PSO, Comprehensive Learning PSO and fuzzy logic, while enjoying the benefits of some functions and procedures such aslocal search function and Coloning procedure,propose the Enhanced Comprehensive Learning Cooperative Particle Swarm Optimization with Fuzzy Inertia Weight (ECLCFPSO-IW)algorithm. By proposing this algorithm we try to improve mentioned deficiencies of PSO and get better performance in high dimensions.

Keywords—Particle Swarm Optimization, Cooperative PSO, Comprehensive Learning, Inertia Weight, Fuzzy Controller

INTRODUCTION

The most common optimization methods are evolutionary algorithms that usually applied for solving difficult problems have not definite quick solution. So far many evolutionary algorithms are suggested for optimizing different problems that PSO is one of the most popular and the most efficient of them. Considering increasingly PSO's applications since its innovation until now, various versions and editions of it have been presented that besides enjoy its benefits try to improve its defect and weaknesses. In less than two decades, hundreds of articles have been published as a report on the application of PSO [1].

Moreover various problems with high complexity and high dimension environment existand every day growing of these type problemscontinuing.Furthermoreone of most important involvement of this kind of problems is overcoming their complexity and making more efficient existing algorithms in countering with them.Hence solutions for overcoming curse of dimension problem have presented that one of most famous is cooperative algorithms. On the other hand objects related to the cooperative algorithm cause of possibility of utilizing benefits of parallel processing and parallel algorithms are paid attention. Consequently enhancement and increasing efficiency of this kind of algorithms like cooperative PSO could be helpful in solving some problems especially high dimension and complex problems.

By knowing the fact of setting up PSO's parameters have very significant impact on its efficiency, many efforts for setup parameters ideally, have been done. So in some articles such as [2], [3] and [4], researchers suggest linear decreasing of inertia weight from 0.9 to 0.4 while progressing of algorithm. In 2001, Shi and Eberhart, introduce adaptive Fuzzy PSO method[5]. Also for enhancement of PSO's performance in some articles e.g. [6],fuzzy logic is applied.

PSO's successes are wonderful. Less than two decades, hundreds of articles about applications of PSO have been published. PSO in many contexts such as finding optimums of functions, neural networks learning, Fuzzy systems control, clustering and classifications, biomedical, combinational optimization, control, design, distributed networks, electronics and electromagnetics, engines and motors, entertainment, faults, financial, graphics and visualization, image and video, antenna, modeling, prediction and forecasting, robotics, scheduling, security and military, sensor networks, signal processing, conclusions, power systems and plants and otherproblems witch Genetic Algorithm is successful, have good performance[1].

By knowing the fact of setting up PSO's parameters have very significant impact on its efficiency, many efforts for setup parameters ideally, have been done. So in some articles such as [2], [3] and [4], researchers suggest linear decreasing of inertia weight from 0.9 to 0.4 while progressing of algorithm. In 2001, Shi and Eberhart[5], introduce adaptive Fuzzy PSO method. Also for enhancement of PSO's performance in some articles e.g.[6],fuzzy logic is applied. One of main defects of optimization algorithms such as PSO is trapping in local minimums and this problem becomes more serious by

increasing dimension of search space [7]. For countering this problem, so far revised models of PSO like cooperative PSO (CPSO) propose [8].

The paper is presented as follows: In the section II till VI component of proposed algorithm consist of PSO with fuzzy inertia weight, CPSO, Comprehensive Learning PSO (CLPSO) and applied methods for improving suggested algorithm described. In seventh section proposed algorithm presented and at the eighth section its evaluation has been done and the ninth section containsconclusion.

FUZZY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

As we know in the original version of PSO, each particle faces with two mandatory moves, ones, attraction the best position so far particle achieved, and other attraction to the best position of particles group achieved. PSO include group of particles moving in multi dimension search space with real values of feasible solution problems. PSO can be easily implemented and have a low cost calculation. In another hand PSO in solving of many problems is efficient and in some cases, not involves with troubles of other evolutionary calculation techniques. Difficulty of PSO adjustment for achieving desired efficiency is one of its disadvantages and if we don't choose suitable parameters, it will be converged to local optimum. As this algorithm gradually converged to best solution found until now, and if this solution was local optimum, all particles will absorb into it and the standard PSO not prepare the solution to exit this local optimum. This is largest trouble of standard PSO that be inefficient for solving multimodal problems especially with large search space. Another standard PSO's trouble is early convergence in some problems. As mentioned, standard PSO algorithm trapped in local optimums and this problem becomes more serious in high dimension. For solving basic PSO, many solution such as combinational algorithms, have suggested. One sample of combine algorithm is FPSO (Fuzzy PSO) which is combining of Fuzzy logic and PSO. As shown in Fig.1one step before updating PSO, Fuzzy system determines parameters values for take apart with new defined values in updating. In this paper we use kind of FPSO, with a Fuzzy logic controller with an input and an output to PSO. The input parameter of fuzzy system controller is number of algorithm iteration and itsoutput is inertia weight parameter. In this fuzzy system which its output is inertia weight, main idea of applied method is based on making balance between exploitation search and exploration search [9]. Sample of general fuzzy rules is as in (1).

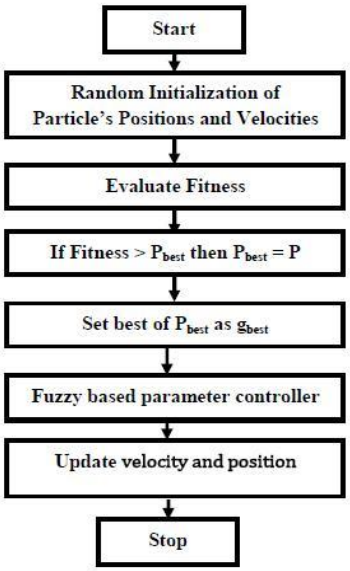
[Rules]

If Itr = L then ω = H

If Itr = M then ω = M

If Itr = H then ω = L

(1)



COOPERATIVE FUZZY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Figure 2. Fig. 7. Fuzzy Particle Swarm Optimization Diagram

For overcome defects of PSO in high dimension search space, some algorithms such as Cooperative PSO (CPSO) presented. CPSO for counter problem of "Curse of Dimension" is used. In this algorithm swarm with high dimension is divided to swarms with smaller dimension and these swarms interchange information with each other for evaluation total value. In many cases this swarm with high dimension is divided to swarms with single dimension. Thus in cooperative method for solving a problem with D dimension instead of using swarm with S particle, we use D swarms with one dimension, each of them made of S particle. Globalfitnessfunction value is obtained from interpolation of all unique swarms Gbests and then combined fitness function is calculated. Important point is that only selecting best Gbest of each independent swarm for structuring combined vector of Gbests may be couldn't prepare best optimizing answer. Hence for cooperative PSO, evaluation of fitness has been done by introducing "Context Vector".We use abbreviation of CV for it. This vector implies cooperating between independent swarms. For solving a problem with D dimension, CV dimension also is D. Here, when for instance swarm of j is active, CV is configured by Gbest of D-1 swarms (which are considered as constant during evaluation of j's swarm) and the jth row of CV fill sequentially by each of jth swarm particles. Therefore CV is used for calculating combined fitness. So the answer of Pbest of ith particle and answer of jth swarm Gbest (shown by

$x_j^{f_p}$ and $x_j^{f_g}$, defined by considering of CV's concept and not depend only performance of jth swarm. [8], [10].

COMPREHENSIVE LEARNING PSO

PSO Algorithm base on comprehensive learning is usually due to good performance on problems with complex multi-dimensional search space is known. Here, stagnation trouble that occurs because of early convergencecould be controlled by this way that permits each particle define itself velocity (therefore itself position) according PBest of other particles. Consequently, this method helps to maintaining population diversity and subsequently solving early convergence trouble. Selecting particles that we consider for applying its PBest for updating velocity of given particle in the population on the following way:

Step 1: Produce a number in range [0,1], if this number is greater than P_c (that is defined as selection possibility) then particle uses itself PBest. Otherwise, particle uses another particle PBest (that will be selected by tournament selection method as is described in step 2 till 4) for updating itself velocity and position.

Step 2: leave the current particle, and select two particles randomly in population.

Step 3: Compare PBest value of these particles and select particles with higher quality.

Step 4: Particle its quality is better detected and selected for applyingin current particle's velocity and position update. Thus velocity updating equation base on comprehensive learning is as (2):

$$v_j^i[t+1] = wv_j^i[t] + c_1 r_1 \left(f_j^{iPBest}[t] - x_j^i[t]\right) + c_2 r_2 \left(x_j^{GBest}[t] - x_j^i[t]\right) \quad (2)$$

thatf^i is PBest of particles which current particle should follows[11].

COLONING PROCEDURE

When searching procedure not progresses for consequent iterations (or have negligible changes in improving value of fitness function)colonong procedure is activated. The act of procedure is as following: At the end of each generation progress status is checking. If the result has not any improvement rather than previous generation, this unsatisfied condition is counting by incremental counter. If this number counter received defined number i.e. for multiple sequent generation no improvement in global optimum gained, then by using elitism method some or percent of worst particles replaced with best particles. This procedure is efficient to prevent from slowing and stagnation of the search process. By using of this procedure, we impart exploitation search method advantage for achieve our aim, in addition we should be care by using correct and suitable percent or number of replaced particles and also appropriate value for counter prevent to infect the abuse of incorrect usage of exploitation search i.e. destroying population diversity and early convergence.

LOCAL SEARCH FUNCTION

Considering Coloning procedure (with elitism approach) we aimed change in stagnation status, in this section by using local search with exploration search approach and usage of mutation operator and balancing between exploitation and exploration and maintenance of population diversity, we try to find better answers. This function acting as following: when the condition of modifying the found global optimum so far prepared, by calling this function run exploration search around optimum point. If the modification condition met, some mutated versions of CV (best agent of each population) produce by defined mutation operator as (3):

$$New_Position_i = Current_Position + rand(3)$$

In this equation $New_Position_i$ is ith new produced position by mutation operator,Current_Position is the current CV position and rand is a vector that its arguments are produced randomly with normal distribution. Best produced position will be replaced with current CV position by elitism approach. Also this operator has a significant effect on prevent slowing and stagnation of search process.

PROPOSED ALGORITH ECLCFPSO-IW

In this article we would like to introduce the new combinational algorithm that besides of improving shortcomings of its base algorithm PSO, i.e. not trapping in local optimum and prevent early convergence even in high dimension problems, in comparison of other popular algorithms has a better performance about accuracy and either speed.After variables definition, initializing first generation of population and dividing population to sub-populations equal number of dimensions, at each iteration in the suggested algorithm that its pseudo code in Fig.2 is presented, fuzzy inference system initializes inertia coefficient and then algorithm enters comprehensive learning simulation section.In this section updating particles velocities and positions by comprehensive learning method occurs. Then according produced values of particle'sPBest,the Context Vector that applied in cooperativemethod update and evaluate and in continue PBest and GBest of particles dimension revised. Finally after running all iterations of algorithm, best gained GBest returned as algorithm output. Thus using fuzzy inertia weight coefficient at each sub-population in updating velocity of particles is for utilizing its benefits. It is necessary to tell calling of Coloning procedure happens after no improving or negligible changes at global optimum value in determined consecutive iterations. For more improving this optimization strategy, at the stagnation status (when for some consecutive iteration there is no improving in CV value) local search function also activated that search around the CV for searching better answers. At Fig. 2 pseudo code of proposed algorithm is presented.

EVALUATION OF PROPOSED ALGORITH

In most cases, the analytical methods for solving optimization problems are not applicable; so manyapproximate methods forsolving these problems have been proposed to approximatethe optimums. Many

of these methods have problems such as convergence to a local optimum and the slow speed convergence. Some methods due to their complexity and large space state are very suitable problems for benchmarking the ability of optimization algorithms.

Based on the characteristics of these functions, they will be divided into several groups. One classification is based on the optimums number of functions. Functions that have only one optimum in the space of problem are called "Unimodal Function" and functions with more than one optimum are called "Multimodal Functions".

```
Algorithm: Pseudocode for ECLCFPSO-IW
Environment Variable Definition
Global & Local Variables Definition
Search Domain Variable Definition Base on Benchmark Function
For Each Particle
    Initialize Particle
End For
For Each Iteration
    Evaluate W Coefficient for Current Iteration by Fuzzy Inference System (FIS)
    For Each Dimension   //Separate Swarms to Number of Dimension for Using Cooperative Method
        If Coloning Condition=True
            Coloning Procedure
        End If   //End If Coloning Condition=True
        For Each Particle
            // Comprehensive Learning Section
            Generate Seed Randomly Between 0 and 1
            If Seed <= Threshold
                Selecting Two Particles (P1,P2) from Swarm Randomly
                Selecting Better Particle Between (P1,P2) as PS by Tournament Selection Method
                Update Velocity of Each Dimension of Particles by Using PS PBest Instead of Particle PBest
                Update Position of Each Dimension of Particles by Using PS PBest Instead of Particle PBest
            Else
                Update Velocity of Each Dimension of Particles
                Update Position of Each Dimension of Particles
            End If   // End of If Seed <= Threshold
            Examine&Evaluate Context Vector (CV) Of Cooperative Method
            Update Personal Best (PBest) of Each Dimension of Particles
            Update Global Best (GBest) of Each Dimension of Particles By Local Search Around GBest
        End For   //End of For Each Particle
        Update Context Vector (CV) of Cooperative Method
    End For   //End of for Each Dimension
End For   //End of for Each Iteration
Display Results
Return GBest
```

F

ig .8. Pseudo Code of Proposed Algorithm (ECLCFPSO-IW)

Multimodal functions are used for measurement escape ability from local optimums. In cases exploration process of algorithm perform weak search and couldn't search entire problem space, will be trapped in thelocal optimums. From most famous of these functions are Sphere, Rosenbrock, Ackley, Griewank and Rastriginwhitch all of them have global optimum with zero value.

Sphere and Rosenbrock are sample of Unimodal functions and Ackley, Griewank and Rastrgin are in group of Multimodal functions. For evaluating proposed algorithm we could check their performance on benchmark functions and then compare it with other evolutionary algorithm about accuracy and speed of founding optimums in fair condition. At Table I. number ofparticles and number of iteration at each running for eachdimension is presented. In addition for decreasing effect of accidental values on represented results, we run the algorithm 20 times independently and then extract the results. In Fig. 2 till Fig. 7 the result of comparing performance of proposed algorithm with three other evolutionary algorithms, in terms of fair comparison is shown. The results say the proposed algorithm is successful in founding global optimum at viewpoint of answer quality andeither speed of convergence rather than three known evolutionary algorithms for their high performance and widespread application include PSO, GA (Genetic Algorithm) and ICA (Imperial Competition Algorithm). It is remarkable all three used optimization algorithms for evaluations are improved and evolved version of them. At table II. and III. applied value of these algorithms in evaluations are shown.

Further at tables IV till VII the result of running proposed algorithm on five benchmark functions in 20 times independent running of algorithms on particles with 10, 20, 30 and 90 dimensions presented. Performance of proposed algorithm in these tables with their base algorithm i. e. PSO and CPSO in five categories and the yield results are shown in scientific notations.

TABLE I. PARTICLE DIMENSION AND POPULATION APPLIED FOR EVALUATION OF PROPOSED ALGORITHM

Dimension Type	*Particle Dimension*	*Iteration Number at Each Running*	*Number of Running Proposed Algorithm Simulation on Benchmark Functions*	*Particles Population*
Low Dimension	10	1000	20	40
	30	1000	20	80
High Dimension	70	1000	20	80
	90	1000	20	120

TABLE II. VALUE OF GENETIC ALGORITHM APPLIED IN COMPARITIONS

Parameter	*Value*
Crossover %	0.8
Mutation %	0.1
Mutation Rate %	1
Selection Procedure	Roulette Wheel
Iteration	1000

TABLE III. VALUE OF ICA ALGORITHM APPLIED IN COMPARITIONS

Parameter	*Value*
Number of Empires/Imperialists	10
Assimilation Coefficient (β)	2
Revolution Probability	0.1
Revolution Rate	0.05
Selection Pressure (α)	1
Colonies Mean Cost Coefficient ( )	0.1
Iteration	1000

Benchmark Function is Sphere							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
1.44E-253	ECLCFPSO-IW	4.42E-251	ECLCFPSO-IW	7.05E-254	ECLCFPSO-IW	2.72E-21	ICA
1.95E-07	ICA	2.04E-08	ICA	3.23E-17	ICA	4.00E-16	ECLCFPSO-IW
6.88E+00	GA	3.07E+00	GA	1.80E-03	PSO	4.40E-11	PSO
2.44E+02	PSO	2.34E+02	PSO	6.41E-02	GA	2.92E-03	GA

Fig .9. Comparition of Gbest average values with three evoloutionary algorithm on Sphere benchmark function at 10, 30, 70 and 90 dimensions

Benchmark Function is Rosenbrock							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
5.97E+01	ECLCFPSO-IW	4.04E+01	ECLCFPSO-IW	9.13E-01	ECLCFPSO-IW	5.56E-03	ECLCFPSO-IW
2.43E+02	ICA	1.71E+02	ICA	3.04E+01	ICA	2.61E+00	ICA
4.27E+02	GA	3.34E+02	GA	7.70E+01	GA	7.23E+00	PSO
1.62E+03	PSO	1.11E+03	PSO	9.34E+01	PSO	7.90E+00	GA

Fig .10. Comparition of Gbest average values with three evoloutionary algorithm on Rosenbrock benchmark function at 10, 30, 70 and 90 dimensions

Benchmark Function is Ackley							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
6.80E-14	ECLCFPSO-IW	5.47E-14	ECLCFPSO-IW	5.54E-10	ICA	7.64E-15	ECLCFPSO-IW
2.61E-04	ICA	5.27E-05	ICA	1.79E-02	GA	2.07E-13	ICA
1.26E-01	GA	1.03E-01	GA	6.21E-02	ECLCFPSO-IW	5.93E-03	GA
3.43E+00	PSO	3.54E+00	PSO	4.14E+00	PSO	7.23E-01	PSO

Fig .11. Comparition of Gbest average values with three evoloutionary algorithm on Ackley benchmark function at 10, 30, 70 and 90 dimensions

Benchmark Function is Griewank							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
3.72E-02	ICA	4.43E-02	ICA	4.94E-02	ICA	3.03E-02	ECLCFPSO-IW
6.62E-02	ECLCFPSO-IW	9.06E-02	ECLCFPSO-IW	5.14E-02	GA	8.93E-02	ICA
2.51E-01	GA	2.00E-01	GA	5.95E-02	ECLCFPSO-IW	9.05E-02	GA
3.43E+00	PSO	2.80E+00	PSO	3.17E-01	PSO	1.78E-01	PSO

Fig .12. Comparition of Gbest average values with three evoloutionary algorithm on Griewank benchmark function at 10, 30, 70 and 90 dimensions

Benchmark Function is Rastrigin							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
0.00E+00	ECLCFPSO-IW	0.00E+00	ECLCFPSO-IW	0.00E+00	ECLCFPSO-IW	0.00E+00	ECLCFPSO-IW
2.66E+01	GA	1.99E+01	GA	3.35E-02	GA	2.94E-26	ICA
1.78E+02	PSO	1.17E+02	ICA	1.64E+00	ICA	1.88E-03	GA
2.08E+02	ICA	1.50E+02	PSO	3.78E+01	PSO	9.20E+00	PSO

Fig .13. Comparition of Gbest average values with three evoloutionary algorithm on Rastrigin benchmark function at 10, 30, 70 and 90 dimensions

Function	***Standard***	***PSO***	***CPSO***	***ECLCFPSO-IW***
Sphere	*Best*	1.06E-04	1.44E-74	2.50E-268
	Average	1.80E-03	6.53E-74	7.05E-254
	Standard Deviation	1.54E-03	3.77E-74	0.00E+00
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Rosenbrock	*Best*	3.05E+01	2.93E-05	5.42E-01
	Average	9.34E+01	8.82E-01	9.13E-01
	Standard Deviation	3.40E+01	9.34E-01	1.68E-01
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Ackley	*Best*	2.59E+00	2.22E-14	1.51E-14
	Average	4.14E+00	4.10E-14	6.21E-02
	Standard Deviation	8.53E-01	1.58E-14	2.71E-01
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Griewank	*Best*	1.14E-01	0.00E+00	0.00E+00
	Average	3.17E-01	2.06E-02	5.95E-02
	Standard Deviation	1.20E-01	3.00E-02	2.13E-01
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	8	12
Rastrigin	*Best*	2.61E+01	0.00E+00	0.00E+00
	Average	3.78E+01	0.00E+00	0.00E+00
	Standard Deviation	9.18E+00	0.00E+00	0.00E+00
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	377	272
	Number of Running Yield Global Optimum	0	20	20

TABLE IV. COMPARITION RESULTS OF PROPOSED ALGORITHM

Function	Standard	PSO	CPSO	ECLCFPSO-IW
Sphere	Best	7.32E-25	1.46E-71	4.84E-259
	Average	4.40E-11	2.60E-70	4.00E-16
	Standard Deviation	1.92E-10	4.25E-70	1.74E-15
	First Iteration Yield Global optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Rosenbrock	Best	1.23E-01	4.51E-06	3.05E-03
	Average	7.23E+00	1.23E+00	5.56E-03
	Standard Deviation	1.39E+01	2.36E+00	8.49E-04
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Ackley	Best	1.32E-12	4.44E-15	4.44E-15
	Average	7.23E-01	1.47E-14	7.64E-15
	Standard Deviation	8.67E-01	6.82E-15	2.22E-15
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Griewank	Best	2.46E-02	0.00E+00	0.00E+00
	Average	1.78E-01	8.27E-02	3.03E-02
	Standard Deviation	1.38E-01	1.11E-01	4.59E-02
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	5	12
Rastrigin	Best	3.98E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Average	9.20E+00	0.00E+00	0.00E+00
	Standard Deviation	4.38E+00	0.00E+00	0.00E+00
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	418	288
	Number of Running Yield Global Optimum	0	20	20
Sphere	Best	1.70E+02	6.44E-72	1.21E-261
	Average	2.44E+02	1.44E-71	1.44E-253
	Standard Deviation	4.52E+01	6.36E-72	0.00E+00
	First Iteration Yield Global optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Rosenbrock	Best	9.76E+02	1.70E-06	5.83E+01
	Average	1.62E+03	6.06E-01	5.97E+01
	Standard Deviation	4.31E+02	1.39E+00	6.29E-01
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Ackley	Best	2.91E+00	6.84E-14	5.06E-14
	Average	3.43E+00	9.49E-14	6.80E-14
	Standard Deviation	3.17E-01	1.65E-14	1.34E-14
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Griewank	Best	2.91E+00	4.44E-16	4.44E-16
	Average	3.43E+00	2.82E-02	6.62E-02
	Standard Deviation	3.17E-01	4.63E-02	2.66E-01
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Rastrigin	Best	1.22E+02	0.00E+00	0.00E+00
	Average	1.78E+02	0.00E+00	0.00E+00
	Standard Deviation	2.72E+01	0.00E+00	0.00E+00
	First Iteration Yield Global Optimum(zero)in all Running	Doesn't Exist	379	262
	Number of Running Yield Global Optimum	0	20	20

Function	Standard	PSO	CPSO	ECLCFPSO-IW
Sphere	Best	7.49E+01	5.59E-71	3.94E+01
	Average	2.34E+02	3.78E-70	4.04E+01
	Standard Deviation	5.92E+01	2.15E-70	5.89E-01
	First Iteration Yield Global optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Rosenbrock	Best	6.39E+02	5.58E-10	3.94E+01
	Average	1.11E+03	8.74E-01	4.04E+01
	Standard Deviation	2.85E+02	1.51E+00	5.89E-01
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Ackley	Best	2.81E+00	5.77E-14	4.35E-14
	Average	3.54E+00	7.37E-14	5.47E-14
	Standard Deviation	5.07E-01	1.36E-14	8.87E-15
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Griewank	Best	1.86E+00	3.33E-16	6.89E-259
	Average	2.80E+00	4.35E-02	4.42E-251
	Standard Deviation	5.39E-01	1.04E-01	0.00E+00
	First Iteration Yield Global Optimum(zero) in all Running	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	Number of Running Yield Global Optimum	0	0	0
Rastrigin	Best	9.70E+01	0.00E+00	0.00E+00
	Average	1.50E+02	0.00E+00	0.00E+00
	Standard Deviation	2.89E+01	0.00E+00	0.00E+00
	First Iteration Yield Global Optimum(zero)in all Running	Doesn't Exist	391	278
	Number of Running Yield Global Optimum	0	20	20

even if proposed algorithm in many cases rather than other compared algorithm could get better answers, but this gained improvement rather thanresulted improvement of running proposed algorithm on Sphere and Rastrigin is lower. Ackley function is Multimodal functions with one global minimum optimum in very narrow valley and several local minimum optimums and considering its local minimums are not very deep then getting away from them could be done easily.

TABLE VII. COMPARITION RESULTS OF PROPOSED ALGORITHM RUNNING 20 TIMES ON FIVE BENCHMARK FUNCTION WITH 90 DIMENSION PARTICLES

CONCLUSION

The Proposed algorithm ECLCFPSO-IW is combination of algorithms consisting of Fuzzy Particle Swarm Optimization (FPSO), Cooperative Particle Swarm Optimization (CPSO), Comprehensive Learning PSO (CLPSO), local search function and Coloning procedure. Therefor in this paper we explain components of proposed algorithm in sections and then describe the method of combination of themfor forming it. In the structure of proposed algorithm, we add concept of coefficient fuzzy inertia weight that used fuzzy inference system (FIS) for set up the inertia weight parameter adaptively which presented as FPSO with CLPSO for updating velocities and positions of particles to CPSO. By this method we interest advantages of FPSO such as not trapping in local optimums and escaping early convergence and either benefits of CPSO consist of overcoming problems with high dimension and possibility of applying parallel processing gains also advantages of CLPSO containcountering complex multi dimension problems and resistance of stagnation trouble,together.

Considering yielded result, we could inference performance of proposed algorithm in low and high dimensions are suitable and in most times has priority to other compared algorithm. This algorithm besides improving defects of its base algorithm i. e. PSO, rather than compared popular evolutionary algorithm have good performance in accuracy and searching speed of optimums and we could apply it in common usage fields of evolutionary algorithms especially for complex environment and high dimension.

(2) References

[1] R. Poli, "**An Analysis of Publications on Particle Swarm Optimization Applications**", *Artificial Evolution and Applications*, Vol. 1, pp. 1–10, 2008.

[2] D. P. Tian, N. Q. Li, "**Fuzzy Particle Swarm Optimization Algorithm**", *International JointConference on Artificial Intelligence*, pp. 263-267, 2009.

[3] X.Meng, L.Jia, "**A New Kind of PSO Convergent Fuzzy Particle Swarm Optimization and Performance Analysis**", *4th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, pp. 102- 107, 2008.

[4] A. M.Abdelbar, S.Abdelshahid and D. C. Wunsch, "**Fuzzy PSO: A Generation of Particle Swarm Optimization**", *In Proceeding of International Joint Conference on Neural Networks*,pp. 1086–1091, 2005.

[5] Y. Shi and R. C. Eberhart, "**Fuzzy Adaptive Particle Swarm Optimization**", *In Proceedings of Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 101–106, 2001.

[6] M. H. Noroozibeyrami and M. R. Meybodi, "**Improving Particle Swarm Optimization Using Fuzzy Logic**", *InProceedings of the Second Iranian Data Mining Conference*, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran, Sept. 21–22, 2008.

[7] I. Boussaid, J. Lepagnot and P. Siarry, "**A Survey on Optimization Metaheuristics**",*Information Sciences,* Vol. 237, pp. 82–117, 2013.

[8] R. C. Eberhart and J. Kennedy, "**A New Optimizer Using Particle Swarm Theory**", *In Proceedings of IEEE 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39–43, 1995.

[9] S. Kumar, D. K. Chaturvedi, "**Tuning of Particle Swarm Optimization Parameter Using Fuzzy Logic**", *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2011.

[10] M. A. Potter and K. A. de-Jong, "**A Cooperative Coevolutionary Approach to Function Optimization**", *3rd Parallel Problem Solving from Nature Springer*, pp. 249–257, 1994.

Polynomial Based Optimal Trajectory Planning and Obstacle Avoidance for an Omni-Directional Robot

Fatemeh Tohfeh
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
f.tohfeh@qiau.ac.ir

Ahmad Fakharian
Faculty of Electrical, Biomedical, and Mechatronic Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
ahmad.fakharian@qiau.ac.ir

***Abstract*— An obstacle avoidance trajectory planning for an omni-directional robot is investigated in this paper where obstacles moves with velocity and acceleration constraints. The key issue is an optimized solution for the problem with respect to a cost function which is related to the states and energy consumption. Moreover, the trajectory functions are considered as polynomial functions to obtain desired trajectory. Consequently, this converts the optimal control problem into a small size parameter optimization problem. The low computational cost make this method ideal for trajectory planning in Dynamic environments. The proposed method is simulated and results show its effectiveness in avoidance of collisions with moving obstacles.**

Keywords*— *obstacle avoidance; omni-directional robot; trajectory planning; velocity and acceleration constraints;

INTRODUCTION

The omni-directional robot is categorized in wheeled mobile robots which can move in any direction because of the structure of its wheels. This robot has different application in a widely range from human production to life practice. It has attracted the attention of researchers in various areas such as modelling, control, trajectory tracking and planning, obstacle avoidance, and so on.

Description of wheeled omni-directional robot operation and its modelling has been investigated in [1]. Also, four and six wheeled robot were presented in [2] and [3]. Admittedly, the models of these robots are divided into two groups, kinematic and dynamic models. Slipping is a phenomenon which happens in wheeled robots under special circumstances and was modelled in [4]. The wheels of the robot have coupling and it has been modelled dynamically in [5] and [6].

Based on the model of omni-directional robots different control techniques, linear and non-linear, are used. Backstepping, adaptive sliding mode, and feedback control have been proposed in [7], [8], and [9], respectively.

Numerous researches are related to trajectory generation, planning, and tracking. [5] and [2] are based on the trajectory generation and [10] has provided an online time trajectory planning for the optional initial and target states. A new technique has been applied in [11] in order to tracking control of mobile robots. A minimum-time trajectory planning problem based on combined dynamic model of a mobile robot and dc motor actuators were solved in [12]. Author of [13] has been worked on an intelligent method for motion planning.

In practice, when robots are moving from a known point to another known point, there are some obstacles in the path. The robots should arrive to the end point and do their defined objects without collisions with obstacles. Hence, another topic has been come up in many papers entitled obstacle avoidance which are divided to two main categories, static and dynamic obstacle avoidance [6]. Obstacle avoidance for manipulators have been considered in [14] and [15].

In some applications, because of special problems like battery power consumption, we need to limit robot operation to some condition such as constraints on robot velocity and acceleration. Velocity planning with constraints has been presented in [16].

In this study, optimization problem solution is stated in order to optimize the states and energy consumption based on defined cost function for a four wheeled omni-directional robot. All conditions for solution's existence subject to all the dynamic constraints of velocity and acceleration are considered. The robot must reach from known point A to another known point B in fixed time $t_1 - t_0$, while avoiding collisions with moving obstacles. We assume that the velocity and acceleration capacity of all obstacles are similar to the omni-directional robot. Initial and final speed of robot must be zero and the defined cost function should be minimized and velocity and acceleration constraints should be satisfied. To obtain this solution, we use the polynomial based method [18] and [19]. Indeed, the state variables are approximated by polynomial functions of time with unknown coefficients. The method converts main problem to an easier problem which can be solved by reduction of computational cost.

The rest of the paper is organized as follow. Model of the omni-directional robot is presented in section II. In section III, formulation of the problem is stated completely. Section IV is related to proposition a polynomial method for reaching optimal trajectory and signal control. Obstacle avoidance procedure is examined by simulations. Numerical results and simulations response are shown in section V. Finally, conclusion of this study is explained in section VI.

FOUR-WHEELED OMNI-DIRECTIONAL ROBOT MODEL

This section presents a brief description of dynamic model. The vehicle dynamics are simplified and the rotational and translational degrees of freedom are decoupled in [2] as follows:

$$\ddot{x}(t) = q_x(t) \tag{1}$$

$$\ddot{y}(t) = q_y(t) \tag{2}$$

Where $q_x(t)$ and $q_y(t)$ are the control signals in x and y axis.

Now, state space form for linear model can be written by choosing state variables as follows:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bu(t), \tag{3}$$

Where

$$X = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}, \quad U(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}, \tag{4}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \tag{5}$$

Which $x_1(t)$ and $x_2(t)$ are positions of robot in x and y axis, also $x_3(t)$ and $x_4(t)$ are velocities of robot in x and y axis respectively. $u_1(t)$ and $u_2(t)$ are the control signals in x and y axis too.

PROBLEM FORMULATION

Optimal control deals with the problem of finding a control law for a given nonlinear and time-varying system [17]

$$\dot{X}(t) = a(X(t), u(t), t), \tag{6}$$

Nonlinear, time-invariant systems are represented by state equations of the form

$$\dot{X}(t) = a(X(t), u(t)), \tag{7}$$

State equations for linear, time-invariant systems have the form

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bu(t), \tag{8}$$

Where $u(t) : I \to \mathbb{R}^m$ for the control, $X(t) : I \to \mathbb{R}^n$ for the state variable is used. Let the system be described by (8) for $t \in [t_0, t_1]$. A And B are constant matrices. Trajectory planning problem can be written as an optimal control problem. The goal is finding an optimal control $u^*(t)$ that optimizes the performance index,

$$J = \int_{t_0}^{t_1} g(X(t), u(t))\, dt, \tag{9}$$

Subject to (8) with boundary conditions

$$X(t_0) = X_0 \text{ and } X(t_1) = X_1, \tag{10}$$

Where, X_0 and X_1 are known initial and final values of states in $\mathbb{R}^n$, respectively. Control $u^*(t)$ is called an *optimal control* and state variable $X^*(t)$ an *optimal trajectory*. Generally J may be a multi objective functional; for example, in minimization of energy or maximization of benefit.

A large number of design problems in engineering are an optimization problem. The problem which optimizes performance index (11) is called regulator problem [17],

$$J = \int_{t_0}^{t_1} \frac{1}{2}\left[X^T(t) Q X(t) + u^T(t) R u(t) \right] dt, \\ + \frac{1}{2} X^T(t_1) H X(t_1) \tag{11}$$

Let A, Q, and H be $n \times n$ matrices, B and R be $n \times m$ and $m \times m$, respectively, matrices of function in (8) and (11). Let $u(t)$ be defined on a fixed interval $[t_0, t_1]$. The state vector $X(t) \in \mathbb{R}^n$ is the corresponding solution of initial value problem

$$\dot{X} = AX(t) + Bu(t), \qquad X(t_0) = X_0 \tag{12}$$

The optimal control problem is finding an optimal control $u(t)$ which minimizes the performance index (11).

Here Q, R and H are symmetric with Q and H non negative definite and R positive definite matrices.

Therefore performance index J is minimized by assigning boundary conditions

$$X(t_0) = X_0, \quad X(t_1) = X_1, \tag{13}$$

Subject to system dynamics (8) and all inequality constraints of problem on maximum velocity and acceleration

$$(x_3^2(t) + x_4^2(t))^{\frac{1}{2}} \le v_m \tag{14}$$

$$(\dot{x}_3^2(t) + \dot{x}_4^2(t))^{\frac{1}{2}} \le a_m \tag{15}$$

And due to the obstacles

$$(x_1(t) - (x_{1_c} + v_{1_c} t))^2 + (x_2(t) - (x_{2_c} + v_{2_c} t))^2 \ge r^2 \tag{16}$$

Where $\begin{pmatrix} x_{1_c} & x_{2_c} \end{pmatrix}^T$ and $\begin{pmatrix} v_{1_c} & v_{2_c} \end{pmatrix}^T$ are initial position of obstacles and constant velocity of obstacles respectively.

THE SOLUTION OF TRAJECTORY PLANNING PROBLEM

In this section, we consider polynomial functions for trajectories of $x_1(t)$ and $x_2(t)$ where coefficients are determined so that condition on position, velocity, and acceleration at $t_0 - t_1$ are satisfied while avoiding collisions with moving obstacles. Thus the first step in solving of problem is done by approximating $x_1(t)$ and $x_2(t)$ by n^{th} order polynomial functions of unknown parameters, we get

$$x_1(t) = \sum_{k=0}^{n} a_k t^k = a_0 + a_1 t + \ldots + a_n t^n, \tag{17}$$

$$x_2(t) = \sum_{k=0}^{n} b_k t^k = b_0 + b_1 t + \ldots + b_n t^n, \tag{18}$$

Polynomial functions for $x_3(t)$, $x_4(t)$, $u_1(t)$, and $u_2(t)$ respect to (4), (5), (17), and (18) are calculated as follows:

$$x_3(t) = \dot{x}_1(\mathrm{t}) = a_1 + 2a_2 t + \ldots + n a_n t^{(n-1)}, \tag{19}$$

$$x_4(t) = \dot{x}_2(\mathrm{t}) = b_1 + 2b_2 t + \ldots + n b_n t^{(n-1)}, \tag{20}$$

$$u_1(t) = \dot{x}_3(\mathrm{t}) = 2a_2 + 6a_3\,\mathrm{t} + \ldots + n \times (n-1) a_n t^{(n-2)}, \tag{21}$$

$$u_2(t) = \dot{x}_4(\mathrm{t}) = 2b_2 + 6b_3\,\mathrm{t} + \ldots + n \times (n-1) b_n t^{(n-2)}, \tag{22}$$

Then optimal control problem is simplified by finding unknown coefficients in (17)-(22). Some of the coefficients are needed to reach each constraint. Thus all coefficients are computed such that all conditions are satisfied.

By definition

$$X_0 = \begin{bmatrix} x_{0_1} \\ x_{0_2} \\ x_{0_3} \\ x_{0_4} \end{bmatrix}, \text{ and } X_1 = \begin{bmatrix} x_{1_1} \\ x_{1_2} \\ x_{1_3} \\ x_{1_4} \end{bmatrix}, \tag{23}$$

Some of the coefficients are obtained for satisfying boundary conditions (13)

$$x_1(t_0) = \sum_{k=0}^{n} a_k {t_0}^k = a_0 + a_1 t_0 + \ldots + a_n {t_0}^n = x_{0_1}, \tag{24}$$

$$x_2(t_0) = \sum_{k=0}^{n} b_k {t_0}^k = b_0 + b_1 t_0 + \ldots + b_n {t_0}^n = x_{0_2}, \tag{25}$$

$$x_3(t_0) = \dot{x}_1(t_0) = a_1 + 2a_2 t_0 + \ldots + n a_n {t_0}^{(n-1)} = x_{0_3}, \tag{26}$$

$$x_4(t_0) = \dot{x}_2(t_0) = b_1 + 2b_2 t_0 + \ldots + n b_n {t_0}^{(n-1)} = x_{0_4}, \tag{27}$$

$$x_1(t_1) = \sum_{k=0}^{n} a_k {t_1}^k = a_0 + a_1 t_1 + \ldots + a_n {t_1}^n = x_{1_1}, \tag{28}$$

$$x_2(t_1) = \sum_{k=0}^{n} b_k {t_1}^k = b_0 + b_1 t_1 + \ldots + b_n {t_1}^n = x_{1_2}, \tag{29}$$

$$x_3(t_1) = \dot{x}_1(t_1) = a_1 + 2a_2 t_1 + \ldots + n a_n {t_1}^{(n-1)} = x_{1_3}, \tag{30}$$

$$x_4(t_1) = \dot{x}_2(t_1) = b_1 + 2b_2 t_1 + \ldots + n b_n {t_1}^{(n-1)} = x_{1_4}, \tag{31}$$

And they are substituted in polynomial functions (17)-(22). Thus eight coefficients unknown are determined.

Then by substituting new polynomial functions into (11) and assumption $H = 0$, we get

$$\begin{aligned} J = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_1} L\Bigg[& \sum_{k=0}^{n} a_k t^k, \sum_{k=0}^{n} b_k t^k, \frac{d}{dt}\Big(\sum_{k=0}^{n} a_k t^k\Big), \\ & \frac{d}{dt}\Big(\sum_{k=0}^{n} b_k t^k\Big), \frac{d^2}{dt^2}\Big(\sum_{k=0}^{n} a_k t^k\Big), \frac{d^2}{dt^2}\Big(\sum_{k=0}^{n} b_k t^k\Big)\Bigg] dt \end{aligned} \tag{32}$$

Let Q and R as $eye(4)$, the performance index is expressed as follows:

$$\begin{aligned} J = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_1} & (x_1^2(\mathrm{t}) + x_2^2(\mathrm{t}) + x_3^2(\mathrm{t}) + x_4^2(\mathrm{t}) \\ & + u_1^2(\mathrm{t}) + u_2^2(\mathrm{t}))dt, \end{aligned} \tag{33}$$

By computing definite integral (33), we can show new expression of J which denotes by $\hat{J}$. Then polynomial function of remaining unknown coefficients, known initial time t_0, and known final time t_1 is as follows:

$$\hat{J} = p(a_n, b_n, t_0, t_1) \tag{34}$$

Moreover, all the problem constraints are transformed into polynomial functions of time with the unknown coefficients. The optimal control and trajectory are calculated with minimizing $\hat{J}$ subject to the polynomial constraints. In order to solve the constraint optimization problem, Matlab optimization toolbox is used [20].

The above result is summarized in the following algorithm. The main idea of this algorithm is to transform the optimal control problem into an optimization problem and solving this optimization problem.

Algorithm.

Input: Optimal control problem (8)-(10) subject to the constraints.

Output: The approximate optimal trajectory, optimal control, and performance index J.

Step 1. Approximate the state variables by n^{th} order polynomial functions from (17) and (18).

Step 2. Find the velocity and control variables as functions of the approximated state variables from (19)-(22).

Step 3. Obtain a number of polynomial function's coefficients in (17)-(22) due to satisfy initial and final conditions from (24)-(31).

Step 4. Find J by substituting the obtained coefficients in polynomial function (17)-(22) and replace the obtained polynomial functions in (11) from (32).

Step 5. Compute definite integral in (33) and determine expression of polynomial function $\hat{J}$ of remaining coefficients, known initial time t_0 and final time t_1.

Step 6. Convert all the problem constraints into polynomial functions of time with the unknown coefficients

Step 7. Use Matlab optimization toolbox to solve the constraint optimization problem.

OBSTACLE AVOIDANCE SIMULATION AND NUMERICAL EXAMPLES

To illustrate the efficiency of the presented method, we consider the following four different scenario. The diameter of the obstacle is $0.18m$ in all examples. Also, obstacles are considered as moving circular objects and robot should avoid collisions with this obstacles such that initial and final velocity of robot in start and terminal point, respectively, equal to zero.

The first step for solving these examples by the proposed method is by approximating $x_1(t)$ and $x_2(t)$ as 5^{th} order polynomial functions of unknown parameters from (17)-(18), then we follow the algorithm.

An obstacle avoidance

In this scenario, initial position of the robot is $(0 \quad 0)^T$ and terminal position is $(2 \quad 1)^T$. Also, time interval is $t \in [0 \quad 2]$. The obstacle is centered at

$$X_c = (x_{c_1} \quad x_{c_2})^T = (0.9 \quad -0.9)^T \tag{35}$$

Which moves with constant speed

$$V_c = (v_{c_1} \quad v_{c_2})^T == (0 \quad 1)^T \tag{36}$$

We consider an optimal control problem to solve this problem as follows:

Find $u^*(t)$ which minimizes performance index

$$J = \frac{1}{2}\int_0^{t_1} (x_1^2(t) + x_2^2(t) + x_3^2(t) \tag{37}$$

$$+ x_4^2(t) + u_1^2(t) + u_1^2(t))\,\mathrm{dt}$$

Subject to:

$$X(0) = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T \ , \ X(\mathrm{t}_1) = [2 \quad 1 \quad 0 \quad 0]^T \tag{38}$$

$$\left(x_1 - (\mathrm{x}_{c_1} + (\mathrm{v}_{c_1}\mathrm{t}))\right)^2 + \left(x_2 - (\mathrm{x}_{c_2} + (\mathrm{v}_{c_2}\mathrm{t}))\right)^2 \geq 0.0081 \tag{39}$$

The position, velocity and acceleration trajectories are shown in Fig. 1. Robot reaches to collision point earlier than the obstacle. Fig. 2, shows the moving obstacle avoidance simulation result. We see that the simulated omni-directional robot trajectory is successfully avoided the obstacle. Average of performance index is obtained $J = 7.0683$.

Obstacle avoidance with considering maximum velocity and acceleration constraints of robot

In this case, we simulate the previous case while velocity and acceleration constraints of robot are considered. Maximum velocity and acceleration of robot are considered as follows:

$$v_m = 1\frac{m}{s}, \ a_m = 1\frac{m}{s^2} \tag{40}$$

Algebraic and dynamic inequality constraints of states are given as follows:

$$(\mathrm{x}_3^2 + \mathrm{x}_4^2)^{\frac{1}{2}} \leq v_{\mathrm{m}}, \tag{41}$$

$$(\dot{\mathrm{x}}_3^2 + \dot{\mathrm{x}}_4^2)^{\frac{1}{2}} \leq a_{\mathrm{m}} \tag{42}$$

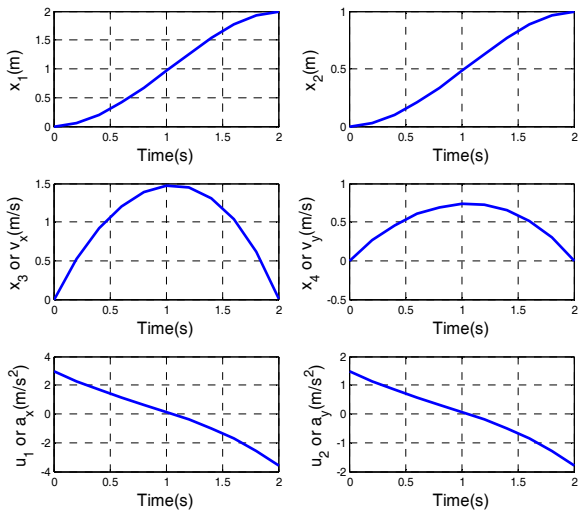


Figure 2. Optimal trajectories in 1D coordinate, velocity and acceleration diagrams of robot with a moving obstacle

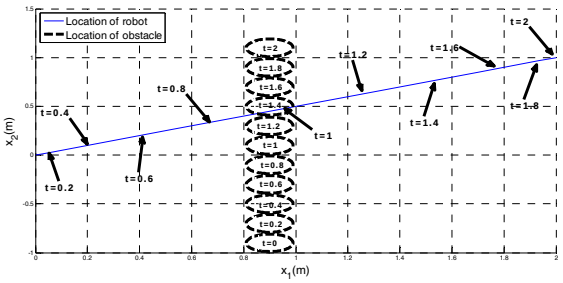


Figure 3. Optimal trajectory in 2D coordinate with a moving obstacle

Fig. 3, shows position, velocity and acceleration trajectories with velocity and acceleration constraints. Sequential robot and obstacle positions in Fig. 4, represent the obstacle and robot positions, so we see there are no collision in simulation due to maximum limitation of robot's velocity and acceleration. The robot passes the obstacle and reaches to the desired point. Average of performance index is obtained $J = 9.1908$.

Multiple moving obstacles avoidance with considering maximum velocity and acceleration constraints of robot

In this scenario, optimal trajectory is computed for two moving obstacles. Also, time interval, and maximum velocity and acceleration constraints are assigned in scenario B similarly. We present a simulation of the omni-directional robot avoiding the multiple obstacles. Table I shows the data for multiple moving obstacle avoidance simulation due to constraints on velocity and acceleration of robot.

The performance index, initial and desired final position of robot are considered similar the same previous cases.

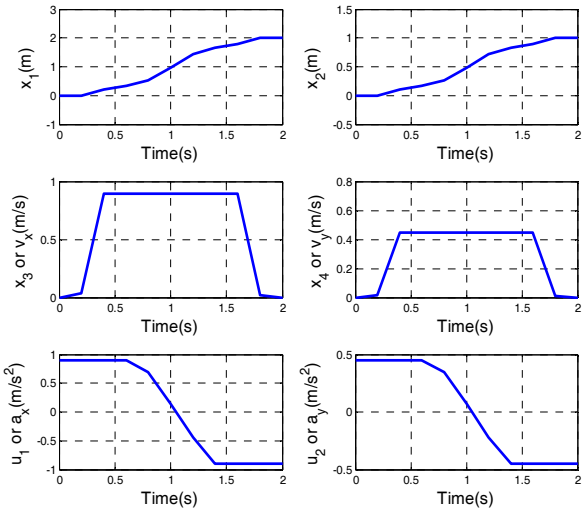


Figure 4. Optimal trajectories in 1D coordinate, velocity and acceleration diagrams of robot with velocity and acceleration constraints

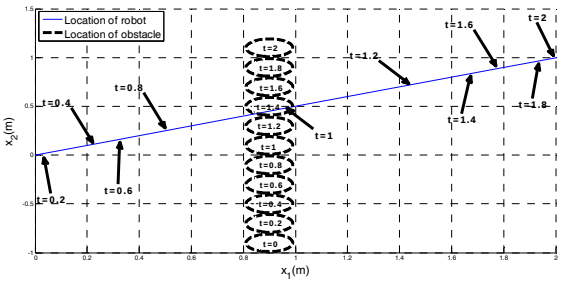


Figure 5. Locations of moving obstacle and robot with velocity and acceleration constraints

TABLE VIII. MULTIPLE-OBSTACLE AVOIDANCE SIMULATION DATA

Positions and Velocities of obstacles	***Position (m)***		***Velocity (m/s)***	
	x_{c_1}	x_{c_2}	v_{c_1}	v_{c_2}
Obstacle *a*	2	0.2	–0.5	0.3
Obstacle *b*	0.3	0.8	0.2	–0.3

Optimal trajectories with two moving obstacles are shown in Fig. 5. Fig. 6, is an example of multiple obstacle avoidance simulation, in which the robot avoids collisions with multiple obstacles effectively. Average of performance index in this case is obtained $J = 9.312$.

Obstacle avoidance for worst case of moving obstacle

As a final example we consider the special worst case of moving obstacles and robot in this part. They come together in order to join at one point exactly, so the robot should reroute to prevent collision with obstacle. We assume that the robot is commanded to move from starting point $(0 \quad 0)^T$ to final point $(2 \quad 2)^T$ at constant time $t = 3s$ without collisions with obstacle. Simulation results are shown in Fig. 7 and Fig. 8.

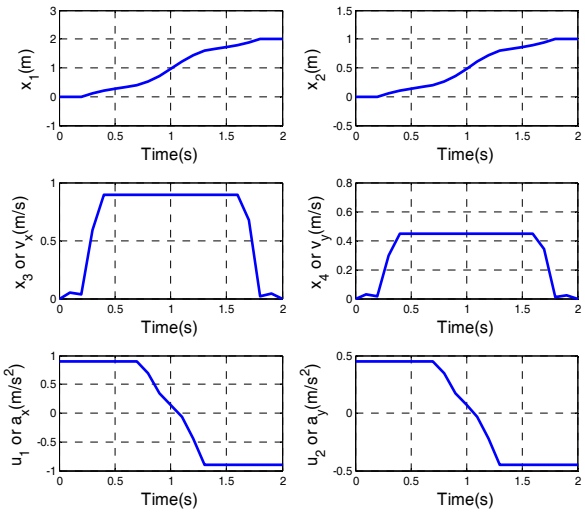


Figure 6. Optimal trajectories in 1D coordinate, velocity and acceleration diagrams of robot with two moving obstacles

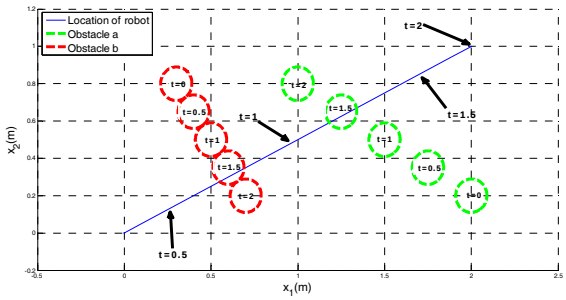


Figure 7. Optimal trajectory in 2D coordinate with two moving obstacles

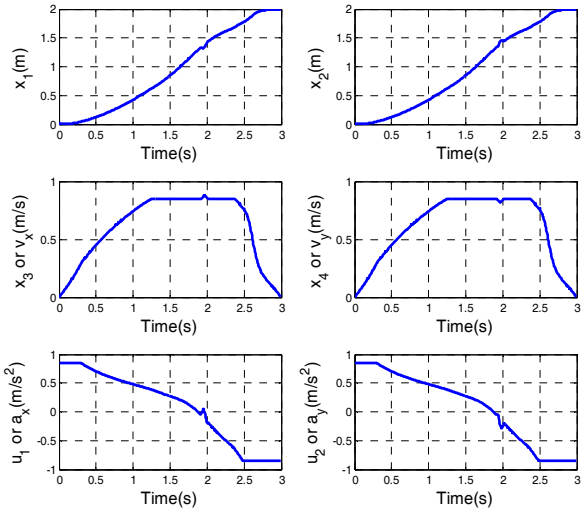


Figure 8. Optimal trajectories in 1D coordinate, velocity and acceleration diagram of robot in worst case

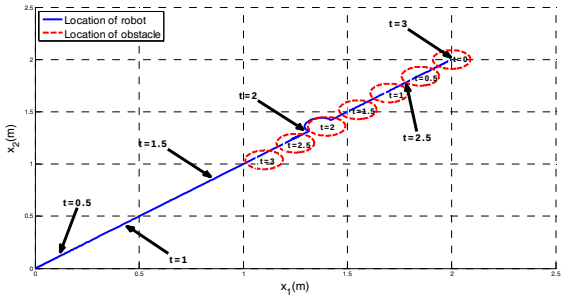


Figure 9. Locations of moving obstacle and robot in worst case

As shown in Fig. 8, the robot passes by an obstacle in worst case.

CONCLUSION

In this paper a computational technique for solving linear optimal control problem was presented. The solution was based on polynomial approach. It utilizes an approximation for solution, by using a number of unknown coefficients. The proposed method is effective for calculating control and state variables as functions of time. Also, the technique obtained optimal control and optimal trajectory in order to minimize performance index. This trajectory satisfied velocity and acceleration limits. The algorithm is resulted the approximate solution, however, is justified by the extremely reduced computational costs. The method generally handled any obstacle avoidance. Some examples were solved by this method and the results shown that the presented method is an effective method.

(3) References

[1] F.G. Pin and S. M. Killough, "A New Family of Omni-directional and Holonomic Wheeled Platforms for Mobile Robots," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 10, pp. 480-489, August 1994.

[2] O. Purwin and R. D'Andrea, "Trajectory generation for four wheeled omnidirectional vehicles," in Proceedings of the American Control Conference, vol. 7, pp. 4979-4984, June 2005.

[3] K.L. Moore and N.S. Flann, "A Six-Wheeled Omnidirectional Autonomous Mobile Robot," IEEE Control Systems Magazine, vol. 20, pp. 53-66, December 2000.

[4] R.L. Williams II, B. Carter, P. Gallina, and G. Rosati, "Dynamic Model with Slip for Wheeled Omnidirectional Robots," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 18, pp. 285-293, June 2002.

[5] T. Kalmar-Nagy, R. D'Andrea, and P. Ganguly, "Near-Optimal Dynamic Trajectory Generation and Control of an Omni-directional Vehicle," Robotics and Autonomous Systems, vol.46, pp. 47-64, January 2004.

[6] Williams, Robert L., and Jianhua Wu, "Dynamic obstacle avoidance for an omnidirectional mobile robot," Journal of Robotics, September 2010.

[7] Qing Zhu Cui, Xun Li, Xiang Ke Wang, Meng Zhang, "Backstepping Control Design on the Dynamics of the Omni-Directional Mobile Robot," Applied Mechanics and Materials, vol. 203, pp. 51-56. October 2012.

[8] Chen, Jianping, Jianbin Wang, Sijie Ouyang, and Yimin Yang, "Adaptive Sliding Mode Control Based on a Filter for Four-Wheel Omni-Directional Mobile Robots," Cybernetics and Information Technologies, pp. 140-153, 2014.

[9] K. Watanabe, S. Yamamoto, S. G. Tzafestas, J. Tang, and T. Fukuda, "Feedback Control of an Omnidirectional Autonomous Platform for Mobile Service Robots," Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 22, pp. 315-330, July 1998.

[10] Kroger T, "Online trajectory generation: nonconstant motion constraints," In Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2048-2054, May 2012.

[11] Yang, Simon X., Anmin Zhu, Meng, M.Q.-H, "A Bioinspired Neurodynamics Based Approach to Tracking Control of Mobile Robots," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 59, pp. 3211-3220, March 2011.

[12] Ki Bum Kim and Byung Kook Kim, "Minimum-time trajectory for three-wheeled omnidirectional mobile robots following a bounded-curvature path with a referenced heading profile," IEEE Transactions on Robotics, vol. 27, pp. 800-808, May 2011.

[13] Huang, Hsu-Chih, "Intelligent Motion Control for Four-Wheeled Holonomic Mobile Robots Using FPGA-Based Artificial Immune System Algorithm," Advances in Mechanical Engineering, October 2013.

[14] J.R. Andrews, and N. Hogan N, "Impedance Control as a Framework for Implementing Obstacle Avoidance in a Manipulator," Control of Manufacturing Processes and Robotic Systems, pp. 243-251, 1983.

[15] O. Khatib, "Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots," International Conference on Robotics and Automation, vol. 2, pp. 500-505, March 1985.

[16] Bianco C. G. L, "Kinematically constrained smooth real-time velocity planning for robotics applications," IEEE International Conference on Control and Automation, pp.373-378, December 2009.

[17] Donald E. Kirk, "Optimal Control Theory," Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1970.

[18] Kafash, B., A. Delavarkhalafi, and S. M. karbassi, "A Numerical Approach for Solving Optimal control Problems Using the Boubaker Polynomilas Expansion Scheme," *Journal of Interpolation Approximation in Scientific Computing,* pp, 1-18, 2013.

[19] Jaddu, Hussein, and Etsujiro Shimemura, "Computional of optimal control trajectories using Chebyshev polynomials: parameterization, and quadratic programming" , *Optimal Control Applications and Methods,* 20, pp, 21-42, 1999.

[20] Coleman, Thomas, Mary Ann Branch, and Andrew Grace, "optimization toolbox for use with MATLAB: User's guide, version 2," *Math Work, Incorporated,* 1999.

Optimal Trajectory Planning for an Omni-Directional Mobile Robot with Static Obstacles: A Polynomial Based Approach

Naser Azim Mohseni
Faculty of Electrical, Biomedical, and Mechatronic Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
N.azimmohseni@qiau.ac.ir

Ahmad Fakharian
Faculty of Electrical, Biomedical, and Mechatronic Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
ahmad.fakharian@qiau.ac.ir

***Abstract*— This paper presents a polynomial based optimal trajectory planning for an omni-directional mobile robot in presence of static obstacles with considering a limitation on velocity and acceleration of the robot. First, optimal trajectory planning problem is formulated as an optimal control problem which minimize a cost function of states and control efforts respect to constraints of the problem. To solve this optimal control problem, a state parameterization method is used. In fact, state variables of system are approximated by polynomial functions of time with unknown coefficients. Thus optimal control problem converts to a constraint optimization problem which is too easier than original optimal control problem. Then the polynomials coefficients are computed such that satisfy all the problem requirements and constraints. Simulation results show effectiveness of the proposed method under different situations.**

Keywords— omni-directional robot; optimal trajectory planning; state parameterization; static obstacles;

INTRODUCTION

Omni-directional robot is a kind of mobile robots which has the ability of moving along any direction, irrespective of the robot orientation. This maneuverability, make it an attractive option in static and dynamic environments. The small size league of the annual Robocop competition is an example where Omni-directional mobile robots have been used [1].

There are some papers which have presented kinematic and dynamic model of Omni-directional mobile robots [2-4]. In these models, dynamic behavior of drivers are considered but the nonlinear coupling between the wheels has been ignored. It causes robot dynamic model is simplified as a linear system. The model of the nonlinear coupled dynamics for three-wheeled Omni-directional robot was modelled in [5].

There are many works on control of Omni-directional mobile robots. In the motion control problems of omni-directional mobile robot many research have been done. In [6] a back-stepping controller based on the Newtonian mechanism and with proven global stability has been proposed. Ref [7] related to a back-stepping control method which synthesize a nonlinear controller for a three-wheel omni-directional mobile robot by using of squares technique. Authors of [1] have designed a nonlinear controller which consists of an outer-loop and an inner-loop controller by using the trajectory linearization control method and based on a nonlinear dynamic model.

In the research on omni-directional mobile robot, trajectory planning is an important issue. Generally, trajectory planning for mobile robots is finding the desired trajectory with minimization of a given objective function [8]. The trajectory planning problem can be formulated in terms of an optimal control problem [9]. It is clear that obtaining an exact analytical solution of nonlinear optimal control problem is out of reach. However, there are many numerical and approximate analytical methods which help us to find a solution. One of the methods for solving the optimal control problem which is applied in many works is using Hamiltonian approach [10]. Inequality states constraints exist in our problem formulation which the constraints lead to appear Heaviside functions. Existence of this functions cause complexity for solving the optimal control problem. Also, dynamic states constraints may not be entered in Hamiltonian approach. Thus in this work we use the parameterization method. This method transforms the optimal control problem into a parametric optimization problem which from computational point of view is too easier than the main optimal control problem. The parameterization method related to parameterization variables divided to parameterization of control variables which is applied in [11], parameterization of state variables which is presented in [12], and parameterization of both the state and control variables which proposed in [13].

In this paper we present a state parameterization method to find the states and energy consumption optimal solution for trajectory planning of an Omni-directional mobile robot. The objective of this paper is formulation of optimal trajectory planning problem as a nonlinear optimal control problem and finding an approximated solution by state parameterization for it. The goal of the trajectory planning is moving the robot to a

desired location in a fixed time $t_0 - t_f$ without collisions with static obstacles respect to minimization of states and energy consumption and with considering all the velocity and acceleration constraints.

The organization of the paper is as follows. In section II, we introduce the requirements and assumption of this trajectory planning problem. In the section III, the dynamic model of an omni-directional robot is presented. Section IV, is related to formulation of the optimal trajectory planning as a optimal control problem. A solution to the optimal control problem is proposed in Section V. simulation results are given in section VI. To illustrate the effectiveness of the proposed method. Finally, the paper is concluded is Section VII.

PROBLEM STATEMENT

The goal of the optimal trajectory planning is finding a trajectory which based on it, robot will move from a known initial point to another known point as a final point.

- Avoiding collisions with static obstacles
- Minimization of states and energy consumption
- Limitation on maximum velocity and acceleration of robot
- Zero velocity of robot in initial and final point

To avoid discontinuities in the solution when getting close to the desired final state, final velocity always is chosen zero [2] and [14].

THE OMNI-DIRECTIONAL MOBILE ROBOT MODEL

In this section the model of omni-directional mobile robot is presented. The simplified equations which were expressed in [2] to describe the decoupled motion equations are as following:

$$\ddot{x}(t) + \dot{x}(t) = q_x(t), \tag{1}$$

$$\ddot{y}(t) + \dot{y}(t) = q_y(t), \tag{2}$$

$$\ddot{\theta}(t) + \frac{2mL^2}{J}\dot{\theta}(t) = q_\theta(t) \tag{3}$$

While these equations are linear and decoupled, the control efforts are remain coupled with the constraints

$$q_x^2(t) + q_y^2(t) \le \left(\frac{3 - |q_\theta(t)|}{2}\right)^2, \tag{4}$$

$$|q_\theta(t)| \le 3 \tag{5}$$

Where as shown in Fig.1, vector $p_0 = [x \quad y]^T$ is the position of the center of mass (CM) of the robot in a Newtonian frames, θ is the angle of counterclockwise rotation, L is the distance of the drive units from the CM, m is the mass of the robot, J is its moment of inertia, $q_x(t)$, $q_y(t)$, and $q_\theta(t)$ are the control efforts.

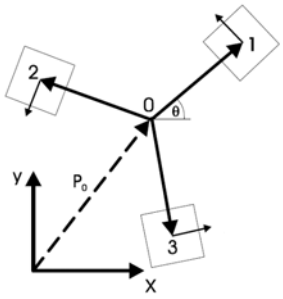


Figure 10. Geometry of the omni-directional mobile robot [2]

In the remainder to decouple the θ equation from those of the translational ones, they set

$$|q_\theta(t)| \le 1 \tag{6}$$

Then the constraint on the control inputs becomes

$$q_x^2(t) + q_y^2(t) \le 1 \tag{7}$$

Finally, the linear equations of system are proposed as follows:

$$\ddot{x}(t) + \dot{x}(t) = q_x(t), \tag{8}$$

$$\ddot{y}(t) + \dot{y}(t) = q_y(t) \tag{9}$$

With constraint on the control inputs which are given by

$$q_x^2(t) + q_y^2(t) \le 1 \tag{10}$$

Now, to obtain state space equations of system, we consider four state variables as $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$, and $x_4(t)$ Where $x_1(t)$ and $x_2(t)$ are the locations of robot in x and y direction respectively; $x_3(t)$ and $x_4(t)$ are the velocities of robot in x and y direction respectively. Also denote $u_1(t) = q_x(t)$ and $u_2(t) = q_y(t)$; thus state variables vector and inputs vector of system are given by follows:

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) = x(t) \\ x_2(t) = y(t) \\ x_3(t) = \dot{x}(t) = v_x(t) \\ x_4(t) = \dot{y}(t) = v_y(t) \end{bmatrix}, \; U(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}, \tag{11}$$

And the state space equations of system are as follows:

$$\begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_3(t) = v_x(t) \\ \dot{x}_2(t) = x_4(t) = v_y(t) \\ \dot{x}_3(t) = -x_3(t) + u_1(t) = a_x(t) \\ \dot{x}_4(t) = -x_4(t) + u_2(t) = a_y(t) \end{cases} \tag{12}$$

With following constraint on the control inputs

$$u_1^2(t) + u_2^2(t) \le 1 \tag{13}$$

Which $a_x(\mathrm{t})$ and $a_y(\mathrm{t})$ are the accelerations of robot in x and y direction respectively; $u_1(\mathrm{t})$ and $u_2(\mathrm{t})$ are the control efforts of system in x and y direction respectively.

PROBLEM FORMULATION

The optimal trajectory planning can be formulated as an optimal control problem as follows:

Find the control $U^*(\mathrm{t})$ in $t_0 \le t \le t_f$ which minimizes the cost function J:

$$J = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_f} (\mathrm{x}(t)^T Q x(t) + u(t)^T R u(t))\,\mathrm{dt}, \tag{14}$$

Subject to robot dynamics (12), Initial and final conditions:

$$x_1(t_0) = x_{1_0},\ x_2(t_0) = x_{2_0},\quad x_3(t_0) = x_{3_0},\ x_4(t_0) = x_{4_0}, \tag{15}$$

$$x_1(t_f) = x_{1_f},\ x_2(t_f) = x_{2_f},\quad x_3(t_f) = 0,\ x_4(t_f) = 0, \tag{16}$$

State inequality constraints due to the i circular obstacles

$$\bigcup_i (\mathrm{x}_1(\mathrm{t}) - \mathrm{x}_{c_1})^2 + (\mathrm{x}_2(\mathrm{t}) - \mathrm{x}_{c_2})^2 \ge r^2, \tag{17}$$

Control efforts constraint (13) and maximum limitation velocity and acceleration of the robot

$$\sqrt{v_x^2(\mathrm{t}) + v_y^2(\mathrm{t})} \le v_{\max}, \tag{18}$$

$$\sqrt{a_x^2(\mathrm{t}) + a_y^2(\mathrm{t})} \le a_{\max} \tag{19}$$

Which x_{1_0} and x_{2_0} are the initial positions in x and y direction, x_{1_f} and x_{2_f} are the final positions, x_{3_0} and x_{4_0} are the initial velocities, $X_c = \begin{bmatrix} x_{c_1} \\ x_{c_2} \end{bmatrix}$ is the center and r is the radius of circular obstacles, $v_{\max}$ and $a_{\max}$ are the maximum velocity and acceleration of robot respectively.

SOLVING OPTIMAL CONTROL PROBLEM

In this section a solution method of the optimal control problem is proposed which is based on the parameterization method.

First, two states of system are considered as polynomial functions of time. Then from (12), the expression of control efforts and other two states are obtained as a function of unknown parameters of the approximated state variables.

Let consider $x_1(\mathrm{t})$ and $x_2(\mathrm{t})$ as polynomial functions of time as follows:

$$x_1(\mathrm{t}) = \sum_{m=0}^{n} a_m t^m,\ n = 1,2,3,... \tag{20}$$

$$x_2(\mathrm{t}) = \sum_{p=0}^{n} b_p t^p,\ n = 1,2,3,... \tag{21}$$

Thus the expression of $x_3(\mathrm{t})$, $x_4(\mathrm{t})$, $u_1(\mathrm{t})$, and $u_2(\mathrm{t})$ can be determined as follows:

$$x_3(\mathrm{t}) = \sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1}, \tag{22}$$

$$x_4(\mathrm{t}) = \sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1}, \tag{23}$$

$$u_1(\mathrm{t}) = \sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1} + \sum_{m=2}^{n} m(\mathrm{m}-1) a_m t^{m-2}, \tag{24}$$

$$u_2(\mathrm{t}) = \sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1} + \sum_{p=2}^{n} p(p-1) b_p t^{p-2} \tag{25}$$

Now by substituting (20)-(25) into the cost function (14) and with considering Q and R as elementary matrices, J can be expressed as follows:

$$\begin{aligned} J(a_n, b_n) = \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_f} \Bigg\{ & \left(\sum_{m=0}^{n} a_m t^m \right)^2 + \left(\sum_{p=0}^{n} b_p t^p \right)^2 \\ & + \left(\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1} \right)^2 + \left(\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1} \right)^2 \\ & + \left(\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1} + \sum_{m=2}^{n} m(\mathrm{m}-1) a_m t^{m-2} \right)^2 \\ & + \left(\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1} + \sum_{p=2}^{n} p(p-1) b_p t^{p-2} \right)^2 \Bigg\} dt \end{aligned} \tag{26}$$

From initial and final conditions (15) and (16) we get:

$$x_1(t_0) = \sum_{m=0}^{n} a_m t^m \Big|_{t=t_0} = x_{1_0}, \tag{27}$$

$$x_2(t_0)=\sum_{p=0}^{n} b_p t^p\Big|_{t=t_0}=x_{2_0}, \tag{28}$$

$$x_3(t_0)=\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1}\Big|_{t=t_0}=x_{3_0}, \tag{29}$$

$$x_4(t_0)=\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1}\Big|_{t=t_0}=x_{4_0}, \tag{30}$$

$$x_1(t_f)=\sum_{m=0}^{n} a_m t^m\Big|_{t=t_f}=x_{1_f}, \tag{31}$$

$$x_2(t_f)=\sum_{p=0}^{n} b_p t^p\Big|_{t=t_f}=x_{2_f}, \tag{32}$$

$$x_3(t_f)=\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1}\Big|_{t=t_f}=0, \tag{33}$$

$$x_4(t_f)=\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1}\Big|_{t=t_f}=0 \tag{34}$$

Also constraints of problem can be rewritten as follows:

$$\bigcup_i \left(\sum_{m=0}^{n} a_m t^m - x_{c_1}\right)^2+\left(\sum_{p=0}^{n} b_p t^p - x_{c_2}\right)^2 \geq r^2, \tag{35}$$

$$\left(\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1}+\sum_{m=2}^{n} m(\mathrm{m}-1) a_m t^{m-2}\right)^2 + \left(\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1}+\sum_{p=2}^{n} p(p-1) b_p t^{p-2}\right)^2 \leq 1, \tag{36}$$

$$\sqrt{\left(\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1}\right)^2+\left(\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1}\right)^2} \leq v_{\max}, \tag{37}$$

$$\sqrt{a_x^2(\mathrm{t})+a_y^2(\mathrm{t})} \leq a_{\max} \tag{38}$$

Which

$$a_x(t)=-\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1}+\sum_{m=1}^{n} m a_m t^{m-1} + \sum_{m=2}^{n} m(\mathrm{m}-1) a_m t^{m-2}, \tag{39}$$

$$a_y(t)=-\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1}+\sum_{p=1}^{n} p b_p t^{p-1} + \sum_{p=2}^{n} p(p-1) b_p t^{p-2} \tag{40}$$

In order to solve this constraint optimization problem, we use Matlab's *fmincon* function which is a part of the optimization toolbox [15]. This function implements a sequential quadratic programming to solve nonlinearly constraint optimization problems.

SIMULATION RESULTS

In this section we utilize the proposed approach in different conditions to illustrate the effectiveness of the method. In all simulations we consider $n=4$. Indeed, both of $x_1(\mathrm{t})$ and $x_2(\mathrm{t})$ are approximated by fourth-order polynomials function as follows:

$$x_1(\mathrm{t})=a_0+a_1 t+a_2 t^2+a_3 t^3+a_4 t^4, \tag{41}$$

$$x_2(\mathrm{t})=b_0+b_1 t+b_2 t^2+b_3 t^3+b_4 t^4 \tag{42}$$

Then $x_3(\mathrm{t})$, $x_4(\mathrm{t})$, $u_1(\mathrm{t})$, and $u_2(\mathrm{t})$ can be determined as follows:

$$x_3(\mathrm{t})=a_1+2a_2 t+3a_3 t^2+4a_4 t^3, \tag{43}$$

$$x_4(\mathrm{t})=b_1+2b_2 t+3b_3 t^2+4b_4 t^3, \tag{44}$$

$$u_1(\mathrm{t})=a_1+2a_2+(2a_2+6a_3)t+(3a_3+12a_4)t^2+4a_4 t^3, \tag{45}$$

$$u_2(\mathrm{t})=b_1+2b_2+(2b_2+6b_3)t+(3b_3+12b_4)t^2+4b_4 t^3 \tag{46}$$

Also since the soccer robots for the small-size League of RoboCup must fit within $180mm$ diameter circle, we consider radius of the all circular obstacles equal to $0.09m$.

Scenario1: in presence a static obstacle

The objective of this scenario is finding the states and control optimal trajectory which based on it, the omni-directional robot will move in the fixed time $t_f=4s$ from initial location $\begin{pmatrix} x_{1_0} \\ x_{2_0} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ to final location $\begin{pmatrix} x_{1_f} \\ x_{2_f} \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}$, with avoiding collisions with a static obstacle represented by a circle of radius $r=0.09$ and centered at $X_c=(0.3\,\mathrm{m}, 0.4\,\mathrm{m})$. Also we consider initial velocities of robot equal to zero.

First, we formulate the optimal trajectory planning problem as follows:

Find the optimal control which minimizes the following cost function

$$J = \frac{1}{2}\int_0^4 (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + u_1^2 + u_2^2)dt, \quad (47)$$

Subject to dynamic system (12) with initial and final conditions

$$x_1(0) = 0,\ x_2(0) = 0,\ x_3(0) = 0,\ x_4(0) = 0, \quad (48)$$

$$x_1(4) = 1,\ x_2(4) = 1,\ x_3(4) = 0,\ x_4(4) = 0, \quad (49)$$

The state inequality constraint due to the obstacle

$$(x_1 - 0.3)^2 + (x_2 - 0.4)^2 \geq 0.1^2, \quad (50)$$

And control inequality constraint due to the modeling

$$u_1^2(t) + u_2^2(t) \leq 1 \quad (51)$$

Now, to solve this optimal control problem, we use the proposed method.

Fig. 2 and Fig. 3 depict the location, velocity, and acceleration of robot, control effort, the value of cost function and the optimal state and control trajectory in 2D coordinate with a static obstacle respectively.

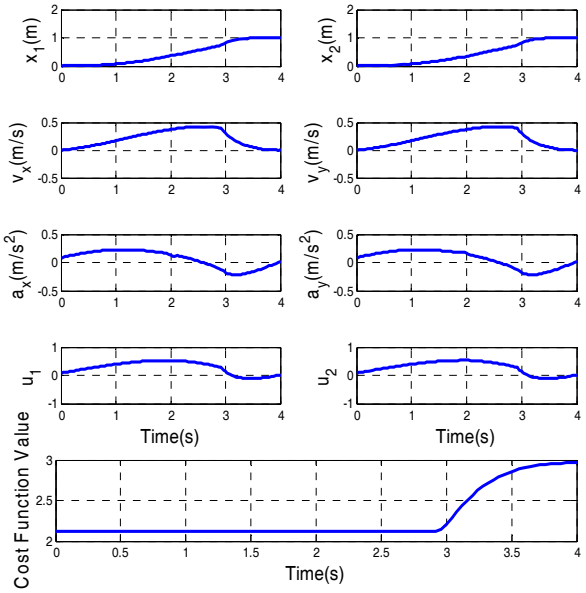


Figure 11. Location, velocity, acceleration, control effort and The value of cost function with a static obtscle

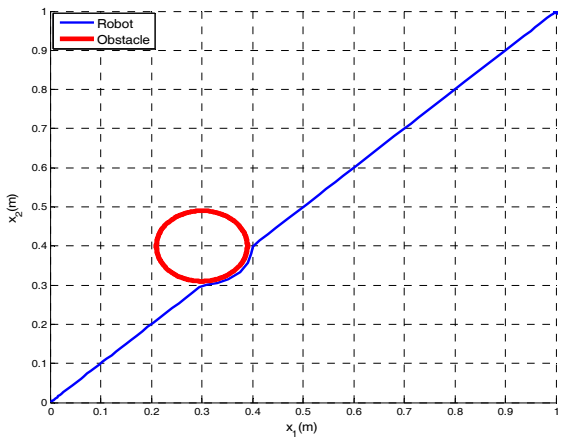


Figure 12. Optimal trajectory in 2D coordinate with a static obtscle

Scenario2 : in presence two static obstacles

This scenario is totally similar with previous scenario only with considering two circular obstacles which are centered at

$$X_{c_1} = (0.2\,\text{m}, 0.3\,\text{m}),\quad X_{c_2} = (0.5\,\text{m}, 0.4\,\text{m}) \quad (52)$$

The state inequality constraints due to these obstacles are:

$$(x_1 - 0.2)^2 + (x_2 - 0.3)^2 \geq 0.1^2, \quad (53)$$

$$(x_1 - 0.5)^2 + (x_2 - 0.4)^2 \geq 0.1^2 \quad (54)$$

By using the proposed method, the position, velocity, acceleration of robot, control effort, the value of cost function and the optimal state and control trajectory in 2D coordinate are illustrated in Fig. 4 and Fig. 5.

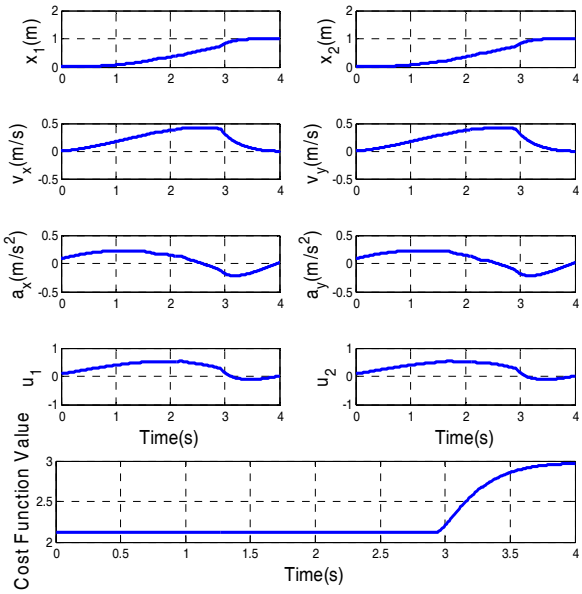


Figure 13. Location, velocity, acceleration, control effort and The value of cost function with two static obtscles

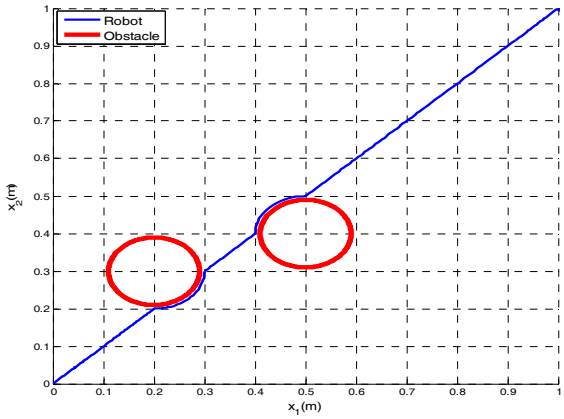


Figure 14. Optimal states and control trajectory in 2D coordinate with two static obtscles

Scenario3 : obstacle avoidance in presence two obstacles with considering limitation on velocity and acceleration

In this scenario we consider a maximum limitation on velocity and acceleration of robot. The maximum velocity and acceleration are limited to $v_{\max} = 0.55\frac{m}{s}$ and $a_{\max} = 0.35\frac{m}{s^2}$ respectively. The states and control efforts inequality constraints due to these limitations are:

$$\sqrt{(x_3^2 + x_4^2)} \le 0.55, \tag{55}$$

$$\sqrt{(-x_3 + u_1)^2 + (-x_4 + u_2)^2} \le 0.35 \tag{56}$$

The simulation results for scenario3 are shown in Fig. 6 and Fig. 7.

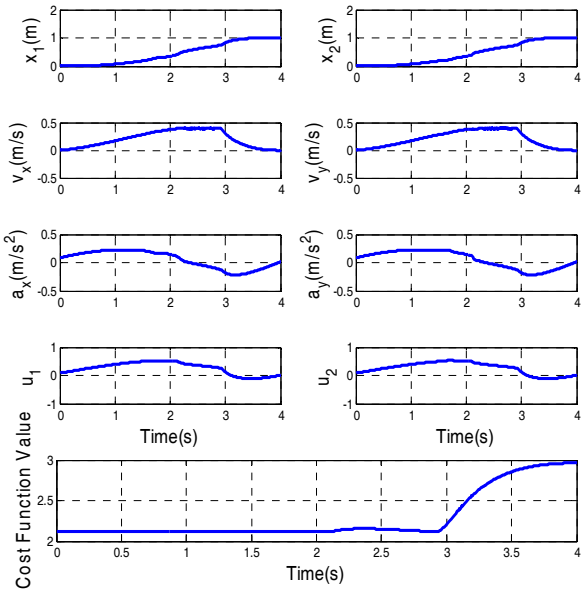


Figure 15. Location, velocity, acceleration, control effort and the value of cost function with considering maximum velocity and acceleration constraint

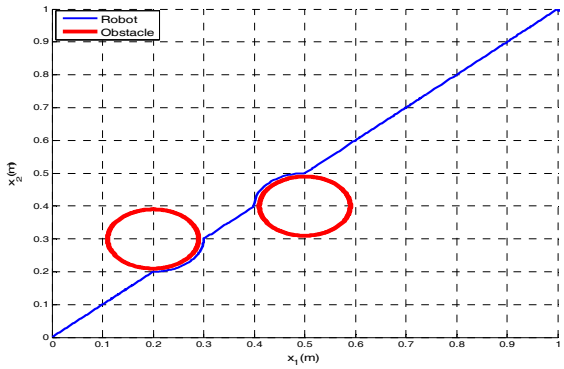


Figure 16. Optimal states and control trajectory in 2D coordinate with considering maximum velocity and acceleration constraints

CONCOLUTION

In this paper an optimal trajectory planning algorithm for omni-directional mobile robot in static environments was presented which takes the maximum limitation velocity and acceleration of robot into account. By formulating the problem as an optimal control problem, a state parameterization technique for solving this nonlinear optimal control problem was used. It converts the difficult nonlinear optimal control problem into an optimization problem with a few unknown parameters which can be solved easily. The proposed algorithm provides an efficient and low computational cost. The effectiveness of the proposed method was shown by different scenario simulations.

(4) References

[1] Liu, yong, J. Jim Zhu, Robert L. Williams II, and Jianhua Wu, "omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization," *Robotic and Autonomous Systems* 56, pp. 461-479, 2008.

[2] T.K. Nagy, R. D'Andrea, and P. Ganguly, "Near-optimal dynamic trajectory generation and control of an omnidirectional vehice," *Robotics and Autonomous Systems,* Vol.47, no. 1, pp. 47-64, January 2004.

[3] H.A. Samani, A. abdollahi, H. Ostadi, and S.Z. Rad, "Design and development of a comprehensive omnidirectional soccor robot," *International Journal of Advanced Robotic Systems,* Vol. 1, no. 3, pp. 191-200, September 2004.

[4] T.K. Nagy, P. Ganguly, and R. D'Andrea, "Real-time trajectory generation for omnidirectional vehice," in *Proceedings of the American Control Conference,* pp. 286-291, May 2002.

[5] R. L. Williams and J. Wu, "Dynamic Obstacle Avoidance for an Omnidirectional mobile robot," *Journal of Robotics,* no. 901365, p. 14, September 2010.

[6] Cui, Qing zhu, Xun Li, Xiang Ke Wang, and Meng Zhang, "Backstepping Control Design on the Dynamics of the Omni-directional mobile robot," *Applied Mechanics and Materials* 203, pp. 51-56, 2012.

[7] Chen, Shun-Hung, Jyh Ching, and Sin-Hwa Su. "Backstepping control with sum of squares design for omni-directional mobile robots," *ICCAS-SICE,2009,* IEEE, 2009.

[8] Kim, Ki Bum, and Vyung Kook Kim. "Minimum_Time trajectory for Three-Wheeled Omnidirectional Mobile Robots Following a bounded-Curvature Path With a Refrenced Heading Profile." *Robotics, IEEE Transactions on 27.4*, pp. 800-808, 2011.

[9] Milam, Mark B, "Real-time optimal trajectory generation for constrained dynamical systems," *Diss. California Institue of technology*, 2003.

[10] Donald E. Kirk, "Optimal control theory: an introdunction*," Courier Dover Publications*, 2012.

[11] I. Troch, "Computing optimal controls for systems with state and control constraints," *IFAC Control Applications of Nonlinear Programming and Optimization*, France, 1989.

[12] I. Troch, "Computing optimal controls for systems with state and control constraints," *IFAC Control Applications of Nonlinear Programming and Optimization*, pp. 39-44, France, 1989.

[13] Kafash. B., A. Delavarkhalafi, and S. M. Karbassi, "A Numerical Approach for solving optimal control Problems using the boubaker Polynomials Expansion Scheme," *Journal of interpolation and approximation in Scientific Computing,* pp. 1-18, 2013.

[14] Vlassenbroeck, J., and R. Van Doreen, "A Chebyshev teqnique for solving nonlinear optimal control problems," *IEEE Transaction Automati Control,* 16, no. 4, pp. 333-340, 1988.

[15] Purwin, Oliver, and Raffaello D'Andrea, "Trajectory generation for four wheeled omnidirectional vehicles." *American Control Conference, Proceeding of the 2005,* IEEE, 2005.

[16] Branch, Mary Ann, and Andrew Grace, "*MATLAB: optimization toolbox: user's guide version 2,"* The Mathworks, Incorpoated 1999.

Word Concept Extraction Using HOSVD for Automatic Text Summarization

Atiyeh Biyabangard
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
a.biyabangard@qiau.ac.ir

Mohammad Saniee Abadeh
Faculty of Electrical and Computer Engineering
Tarbiat Modares University
Tehran, Iran
saniee@modares.ac.ir

***Abstract*— Computers understand little about the meaning of human language. Vector space models of semantics are beginning to overcome these limits. In this regard, one of the modern issues is using high dimensional data, which is formulated as tensors. Also, due to the increased information and texts, automatic text summarization has become one of the most important issues in information retrieval and natural language processing. In this paper, we propose a new method, using higher-order singular value decomposition (HOSVD) for extracting the concept of the words from word-document-time three-dimensional tensor and then select important sentences with more cosine similarity to this concept. In the following, we measure WordNet-based semantic similarity between sentences and remove redundancy sentences with less importance. The evaluation of the proposed method is done using the ROUGE evaluation on the DUC 2007 standard data set that the obtained results indicate the predominance of our method over many dominant systems.**

Keywords*— Multi-document summarization; tensor decomposition; higher-order singular value decomposition.

INTRODUCTION

Considering an increasing production of scientific information and texts, users are faced with a vast quantity of information and Studying a quantity of texts is very hard and time-consuming for them. To solve this problem Automatic Text Summarization is attended much by the researchers.

Based on the how this important information is presented for the user, two types of text summarization systems; Extractive and abstractive are defined [1]. Abstractive summarization process consists of understanding the original text and retelling it in a new shorter text that conveys the most important information from the original text. Up to now it is too hard task for computer research to solve it successfully. An extractive summary, in contrast, can be simply viewed as the process of selecting important sentences, paragraph, etc. from the original document and insert them into a more compact form. Most of the works in Automatic Text Summarization field are based on extraction method. In this paper, we consider extractive Multi-document summarization.

Yet, traditional models in summarization field and information extraction; such as Latent semantic analysis (LSA) only examine one version of the document in the two-dimension matrix. LSA is based on Singular Value Decomposition (SVD) method [2]. SVD work well for data dimension reduction of the two-dimension matrix, but it is not natural to apply it into higher-dimensional data, which is formulated as tensors.

Recently, Tensor based dimension reduction has been extensively studied for pattern recognition, computer vision, machine learning applications, Signal and image processing, data mining, brain modeling, and environmental modeling. Most tensor factorization methods are unsupervised, which enable researchers to perform them in any unsupervised machine learning applications.

There are several algorithms for tensor decomposition. One of this common algorithm is High-Order SVD (HOSVD) and this method has recently been used in numerous applications like graphs, videos, social networks, etc. HOSVD is an extension of SVD to third-order tensors and always produces the unique solution in the parameter region, while other algorithms such as PARAFAC and CANDECOMP/PARAFAC produce non-unique solutions. SVD is an algebraic method that in Natural Language Processing can extract relationships among words/phrases and sentences. With these properties, results of SVD can be used to select important sentences as a summary [3].

In this paper, the word-document-time tensor is used to extract concepts of words; then, new methods for summarization are proposed. For this propose, Firstly, Higher-Order Singular Value Decomposition methods are applied to extract the main word's concept. These methods are able to extract important concepts from three-dimensional tensors. Then the sentences are arranged based on Cosine Similarity with the main concept of documents.

The proposed method is a bout Multi-document summarization. In the multi-document task, there are several documents per topic, each of them talks about the topic from different views. Therefore, in multiple documents, there is the probability of referring to an important inseparable concept with sentences of varied appearances. However, a well-structured summary comprises the important sentences

with the least repetitive concepts. So in proposed method after rank sentences based on their Cosine Similarity to the main concept of topic, the semantic similarities between sentences are measuring based on WordNet and removing the redundancy so that the resulting summary lacks any repeated concepts and redundancies.

The rest of the paper is organized as follows. Section II discusses the related work in using tensor for extracting information Section III we derive a generic theorem on the HOSVD algorithm. Section IV proposes our method for extracting concept of the word for multi document summarization and gives its algorithm in detail. Section V gives the evaluation of the algorithm on the DUC 2007 corpus main task of multi-document summarization and finally we conclude with directions for future research in Section VI.

RELATED WORKS

As noted, this paper is looking for using tensor decomposition to extract concept of words to produce Multi-document summarization. In following we introduce some related works for extracting concept from tensors in information retrieval and data mining field: Acar et al. [4] applied different tensor decompositions of user-keyword-time tensor, to separate different streams of conversation in online chat rooms. Chew et al. [5] have made use of a PARAFAC2 model in term- document-language third-order tensor to cluster similar documents in multilingual information retrieval. Turney et al. [6] use a word-word-pattern tensor for measuring similarity of words. In text analysis, Bader et al. [7] used CP algorithm on the term-author-time tensor for automatic conversation detection in email over time. Manna et al. [8] purposed an application of HOSVD for Document Summarization in Term-Sentence-Document Tensor. Van de Cruys [9] uses a verb–subject–object tensor to learn selection preferences of verbs. Jurgens et al. [10] used temporal random index on the word – semantics-time tensor for Detecting Event in Blogs. Wang et al. [11] used temporal latent semantic algorithm in word-document-time for identification latent document topics.

PRELIMINARIES

A tensor is a multidimensional array. A first-order tensor is a vector, a second-order tensor is a matrix, and tensors of order three or higher are called higher-order tensors [12].

One of the common algorithms for tensor decomposition is High Order SVD (HOSVD) . HOSVD is an extension of SVD to third-order tensors. In this section the definition and important properties of HOSVD are given. To facilitate the comparison, we firstly explain the matrix decomposition in the same notation, as follows.

Matrix SVD [3]: Every complex $(I_1 \times I_2)$ matrix F can be written as the product Eq. 1.

$$F = U^{(1)} S V^{(2)H} = S \times_1 U^{(1)} \times_2 V^{(2)} = S \times_1 U^{(1)} \times_2 U^{(2)} \quad (1)$$

in which:

1. $U^{(1)} = (U_1^{(1)} U_2^{(1)} \cdots U_{I_1}^{(1)})$ is a unitary $(I_1 \times I_1)$ matrix,
2. $U^{(2)} = (U_1^{(2)} U_2^{(2)} \cdots U_{I_2}^{(2)})$ is a unitary $(I_2 \times I_2)$ matrix,
3. S is an $(I_1 \times I_2)$ matrix with the properties of

   i) pseudodiagonality:
   $$S = \mathrm{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \cdots, \sigma_{\min(I_1 \times I_2)}) \quad (2)$$

   ii) ordering:
   $$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \cdots \geq \sigma_{\min(I_1 \times I_2)} \geq 0 \quad (3)$$

Another Basic definition for understanding HOSVD is matrix representation of a higher-order tensor, which is explained in following.

Tensor unfolding [3]: The starting point in the derivation of a multi-linear singular value decomposition for tensors, as multi-dimensional matrices, is to consider an appropriate generalization of the link between the column (row) vectors and the left (right) singular vectors of a matrix. In order to formalize this idea, we define the matrix representations of the tensor in which all the column (row, ...) vectors are filled one after the other in the following way:

Assume an Nth-order tensor $A \in R^{I_1 \times \cdots \times I_N}$ The matrix unfolding $A_{(n)} \in R^{I_n \times (I_{n+1} I_{n+2} \cdots I_N I_1 I_2 \cdots I_{n-1})}$ contains the element $a_{i_1 i_2 \ldots i_N}$ at the position with a row number i_n in and column numbers equal to Eq. 4 as follow:

$$(i_{n+1}-1) I_{n+2} I_{n+3} \ldots I_N I_1 I_2 \ldots I_{n-1} \quad (4)$$
$$+ (i_{n+2}-1) I_{n+3} I_{n+4} \ldots I_N I_1 I_2 \ldots I_{n-1} + \ldots$$
$$+ (i_N-1) I_1 I_2 \ldots I_{n-1} + (i_1-1) I_2 I_3 \ldots I_{n-1}$$
$$+ (i_2-1) I_3 I_4 \ldots I_{n-1} + \ldots + i_{n-1}.$$

Unfolding for order three $(I_1 \times I_2 \times I_3)$ -tensor A to the $(I_1 \times I_2 I_3)$-matrix $A_{(1)}$, the $(I_2 \times I_3 I_1)$- matrix $A_{(2)}$ and the $(I_3 \times I_1 \times I_2)$-matrix $A_{(3)}$ are visualized in Fig. 1.

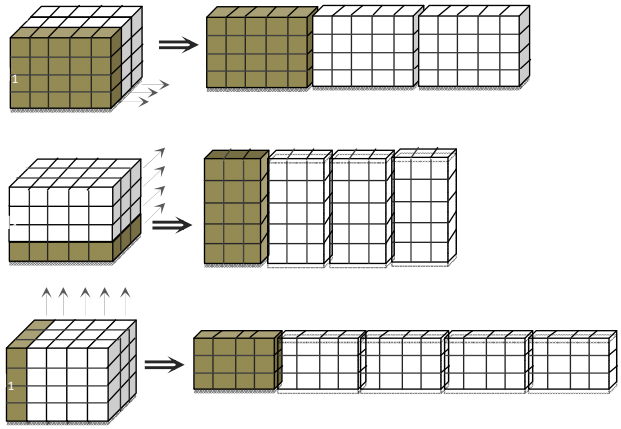


Fig. 1. Unfolding of the $(I_1 \times I_2 \times I_3)$ 3rd-tensor A [8].

In following HOSVD algorithm is described.

Nth-order SVD [3]: Every complex $(I_1 \times I_2 \cdots I_N)$-tensor A can be written as the product Eq. 5.

$$A = S \times_1 U^{(1)} \times_2 U^{(2)} \cdots \times_N U^{(N)} \tag{5}$$

in which:

1. is a unitary $(I_n \times I_n)$-matrix, $U^{(n)} = (U_1^{(n)} U_2^{(n)} \cdots U_{I_n}^{(n)})$
2. S is a complex $(I_1 \times I_2 \cdots I_N)$-tensor of which the subtensors $S_{i_n = \alpha}$, obtained by fixing the nth index to α, have the properties of (i)
   i) all-orthogonality: two subtensors $S_{i_n = \alpha}$ and $S_{i_n = \beta}$ are orthogonal for all possible values of n, α and β subject to $\alpha \neq \beta$:

$$\langle S_{i_n = \alpha}, S_{i_n = \beta} \rangle = 0 \text{ when } \alpha \neq \beta \tag{6}$$

   ii) ordering:

$$\| S_{i_n = 1} \| \geq \| S_{i_n = 2} \| \geq \cdots \geq \| S_{i_n = I_n} \| \geq 0 \tag{7}$$

THE PROPOSED METHOD

In this section, we propose a new multi-document summarization method using tensor decomposition. This method consists of four phases as follows: 1) preprocessing phase, 2) extracting main concept phase, 3) Sentence Selection and producing initial summary and 4) removing the redundancies and producing the final summary. In follow we explain these phases in detail, respectively.

Pre-processing of Documents

In the first step, the target documents are pre-processed. First, the examined documents are divided into parts and pieces, which are named tokens. A token is an instance of a sequence of characters in some particular document that are grouped together as a useful semantic unit for processing.

In the next step, stop words are removed from the identified token sets. Stop words are common words, which would appear to be of little semantic value in documents.

Next step is word stemming. Many words in a text derivate grammatical forms of a stem. for reducing word volumes and increasing accuracy, word stems are used instead of their different grammatical forms. We use Porter's algorithm.

In the final step, documents are sorted by their time. And by relating each document to its specific time, the word-document-time tensor is built according to the Fig. 2. In this paper, we have used term frequency (TF) weights for building word-document-time tensor.

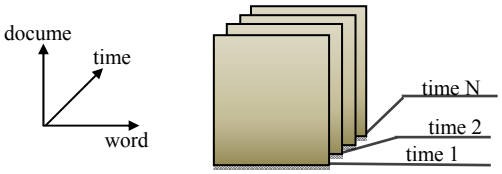


Fig. 2. Word-document-time tensor.

Extracting main concept

In this step, the obtained word-document-time tensor, is decomposed by using HOSVD algorithm. After that, Matrices resulted from decomposition are used for extracting concepts.

By substituting equation (8) in equation (5), HOSVD for tree-order tensor can be rewritten as equation (9)

$$\begin{cases} U^{(1)} = [U_1^{(1)} \cdots U_{I_1}^{(1)}], \\ U^{(2)} = [U_1^{(2)} \cdots U_{I_2}^{(2)}], \\ U^{(3)} = [U_1^{(3)} \cdots U_{I_3}^{(3)}] \\ [S]_{i_1 i_2 i_3} = \sigma_{i_1 i_2 i_3} \end{cases} \tag{8}$$

$$A = \sum_{i_1=1}^{I_1} \sum_{i_2=1}^{I_2} \sum_{i_3=1}^{I_3} \sigma_{i_1 i_2 i_3} (U_{i_1}^{(1)} \circ U_{i_2}^{(2)} \circ U_{i_3}^{(3)}) \tag{9}$$

Where ∘ denotes the outer product. The decomposition is visualized for third-order tensors in Fig. 3.

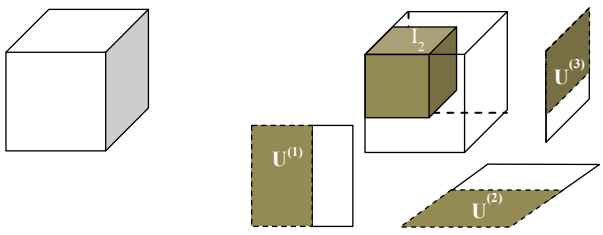


Fig. 3. Visualization of the HOSVD for a third-order tensor [3].

By decomposing tensor using HOSVD, valuable data can be gained from the resulted matrices. As shown in the Fig. 3, one of the matrices, which is called $U^{(3)}$, which is produced by the decomposition, has linearly independent column vectors.

From natural language processing point of view, this column vector is the same as independent concepts and can extract semantic structure from document. All the created properties are orthogonal to each other. In other words, there is no correlation between properties, which causes these properties to have the highest difference with each other.

From a semantic point of view, $U^{(1)}$ can be considered as a word-concept matrix. Since core tensor has the characteristics of the Eq. 7, the first column of the $U^{(1)}$ matrix is more important than the consecutive columns. Hence the first column is used for determining the base concept vector.

As a result of decomposing tensor by using HOSVD, the dimensions of the tensor are reduced and the first column of the output $U^{(1)}$ matrix, is considered as the main concept.

Sentence selection and producing initial summary

In this step, after perform pre-processing on each sentence, the vector of them constructed. we have used TF-IDF weights, which is a global and local weighting and defined as Eq. 10.

$$\text{TF-IDF} = TF_{t,d} \times \log N/DF_t \qquad (10)$$

where $TF_{t,d}$ denotes the frequency of term t occurs in document d and N is the number of documents in the corpus .also DF_t denotes document frequency of term t.

in the following, Vector words for j sentence is formed as $S_j = \{s_{j1}, s_{j2}, \dots, s_{jx}\}$. S_j indicates j(th) sentence and s_{jx} indicates the weight of the x(th) word from j(th) sentence. Consequently, the first column from the word-concept matrix ($U^{(1)}$) is saved in $C_1 = \{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1x}\}$ as the main concept vector. Cosine similarity is used for calculating the similarity between each sentence and the main concept vector of the text. This similarity is defined in Eq. 11. $Score(S_j)$ denotes the similarity of j(th) sentence to concept vector.

$$Score(S_j) = Cos(C_1, S_j) = \frac{\sum_k c_{1k} \times s_{jk}}{\sqrt{\sum_k (c_{1k})^2} \times \sqrt{\sum_k (s_{jk})^2}} \qquad (11)$$

Thus, each sentence is weighted and sorted according to its similarity with the main concept vector. This sorting shows the degree of similarity between each sentence and the main theme of the text. These sorted sentences are saved in the initial summary collection, then in the next step they are entered as input for eliminating redundancies and producing the final summary.

Removing the redundancies and producing the final summary

In the previous phase, sentences were sorted based on their cosine similarity to the main text concept. The nature of multi-document demonstrates that many sentences with different form are semantically similar to each other. Thus, this redundancy must be removed from the final summary.

In this phase, For computing semantic similarity between sentences, we employed the open-source WordNet-based approach made available by Thanh Dao et al. [13].

WordNet is an electronic lexical database for English. It is a large semantic network – a graph – in which words are interconnected by means of labeled arcs that represent meaning relations. Each word in WordNet is stored with a set of synonyms known as a synset, as well as a definition or gloss.

The main steps of calculating the semantic similarity between sentences, are summarized as follows:

1. Tokenization
2. word stemming
3. Perform part of speech tagging (POS)
4. Word sense disambiguation.
5. Find the most appropriate sense for every word in a sentence (Word Sense Disambiguation).
6. Building a semantic similarity relative matrix of each pair of word senses
7. Finally, compute the similarity of the sentences based on the similarity of the pairs of words.

After calculating the semantic similarity between sentences, We determine sentences that their semantic similarities to each other are greater than the threshold. Then remove similar sentences with less important and add sentences with higher rank to the final summary So the final summary concludes important sentences and does'nt have any repeated concepts and redundancies.

The algorithm of the proposed method

The proposed multi-document summarization algorithm is as follows in Algorithm 1. In this algorithm, PreSum shows initial summary, Sumlen represents the final summary, MaxLen indicates the maximum number of words in the final summary, and FinSum represents a final summary.

Algorithm 1. Automatic Text Summarization Using HOSVD

1. Perform pre-processing on per topic and construct the word-document-time tree-order tensor for each topic.
2. Decompose word-document-time tensor by HOSVD algorithm.
3. Extract the first column from the matrix U^1 as word-concept vector.
4. Calculate cosine similarity between each sentences and main concept and arrange them (produce initial

summary called PreSum).

5. M ← 1
6. Sumlen ← 0 (length the final summary).
7. If the semantic similarity between PreSum[M] (th) sentence by all sentences in FinSum was less than the threshold, then PreSum[M] will be added to the FinSum.
8. Length (Number of words) of PreSum[M] (th) sentence adds in the SumLen value.
9. M ← M + 1
10. If (SumLen <MaxLen) then go to step 7.
11. present FinSum as a final summary.

EVALUATION

In this section we describe the data set used for the evaluation, implementation issues and the experimental results.

Data set

To evaluate our multi-document summarization algorithms, we use the DUC 2007 data sets from Document Understanding Conference (DUC). DUC 2007 have 45 document sets respectively, each with 25 news articles. Ten NIST assessors wrote summaries for the 45 topics in the DUC 2007. Each topic had 4 human summaries.

Evaluation Tool

We use ROUGE (Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation) toolkit (version 1.5.5) to evaluate the proposed methods, which is widely applied by DUC Conference for performance evaluation. It measures the quality of a summary by counting the unit overlaps between the candidate summary and a set of human written reference summaries. ROUGE can generate three types of scores: recall, precision and F-measure. F-measure is a balance (not an average) of recall and precision results.

Methods and results of evaluation

As noted before, After pre-processing and build tensor on each topic, we applied HOSVD algorithm on each tensor to extract the main concepts of words from each topic. Then calculate cosine similarity between each sentence and main concept of topic and arrange the sentences. Initial summary is made by sentences, which has high rank. In next step, we measured semantic similarity between sentences and removed redundancy and less important sentences from the final summary. Our algorithms were written in MATLAB, using TP Tools for decompose tensors with HOSVD.

We compare our method with several state-of-the-art summarization approaches described briefly as follows:

- Random: selects sentences randomly for each document set.
- Lead: for each document set, orders the documents chronologically and takes the leading sentences one by one [14].
- LSA: applies the singular value decomposition (SVD) on the terms by sentences matrix to select highest ranked sentences [2].
- ClusterHITS: considers the topic clusters as hubs and the sentences as authorities, then ranks the sentences with the authorities scores. Finally, the highest ranked sentences are chosen to constitute the summary [15].
- Document Summarization based on Data Reconstruction (DSDR). Specifically, generates a summary which consist of those sentences that can best reconstruct the original document. With two objective functions [16]:
  1. DSDR-lin: linear reconstruction, which approximates the document by linear combinations of the selected sentences;
  2. DSDR-non: nonnegative linear reconstruction, which allows only additive, not subtractive, linear combinations.
- TopicDSDR: combines data reconstruction and topic decomposition to summarize the documents. This method used the generalized Kullback-Leibler (KL) divergence as the loss function to evaluate the quality of summary for linear and nonnegative reconstruction. TopicDSDR using the KL divergence are named LinTopicDSDR and NonTopicDSDR [17].
- LDA-based: used Latent Dirichlet Allocation (LDA) to capture the topics being covered by the documents and using the topic distribution as the basis of choosing the sentences to form the summary [18].
- LDA-SVD: combined the LDA with SVD to capture the latent topics and the orthogonal representation of topics in the documents [19].
- SNMF: uses symmetric non-negative matrix factorization (SNMF) to cluster sentences into groups and select sentences from each group for summarization [20].
- NMF: used the Non-negative Matrix Factorization (NMF) to select sentences for summary [21].

Our proposed methods for the initial summarization called HOSVD and final summarization after remove the redundancy called WHOSVD.

TABLE I show the ROUGE evaluation results on DUC 2007 data sets between our proposed methods and other methods . In this experiment results, we show two F measures of ROUGE metrics: ROUGE-2 (bigram-based) and ROUGE-L (the longest common sub-sequence).

TABLE I. COMPARISON RESULTS ON DUC 2007

Method	ROUGE-2	ROUGE-L
Random	0.05432	0.29127

Method	ROUGE-2	ROUGE-L
Lead	0.06151	0.26575
LSA	0.03641	0.22751
ClusterHITS	0.06625	0.29578
DSDR-lin	0.07163	0.32369
DSDR-non	0.07439	0.35335
LinTopicDSDR	0.05654	0.31887
NonTopicDSDR	0.08200	0.36164
LDA-based	06208	0.29004
LDA-SVD	0.06941	0.30265
SNMF	0.04232	0.25502
NMF	0.07192	0.30891
HOSVD	**0.08725**	**0.34312**
WHOSVD	**0.08864**	**0.35349**

The above experimental results indicate that our purpose method outperforms other methods. also we compare our approach with other participants system in DUC 2007 main task, the results show that our method performs better than a lot of them.

CONCLUSION AND FUTURE WORKS

The goal of our work, In this paper is to extraction the main concepts of words from word-document-time tree-order tensors which it used for improving the results of multi document summarization. For this purpose, we performed HOSVD algorithm on tree-order tensors. Then sentences were arranged based on their cosine similarity to the main concept. We have also used a WordNet-based Semantic Similarity to calculate similarity between ranked sentences and redundancy elimination. The experimental results show that our approach can outperform other state-of-the-art summarization approaches.

For future works, other matrixes produced from the decomposition can be used for extracting more concepts. Also by including other parameters such as position and length of the sentences, identification and implementation of keywords, better summaries could be achieved.

(5) Reference

[1] K. Jezek, and J. Steinberger, "Automatic Text Summarization (The state of the art 2007 and new challenges)," in Proceedings of Znalosti, pp. 1–12, 2008.

[2] Y. Gong, and X. Liu, "Generic Text Summarization Using Relevance Measure and Latent Semantic Analysis," in Proceedings of the 24 th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 2001, pp. 19–25.

[3] L. D. Lathauwer, B. D. Moor, and J. Vandewalle, "A multilinear singular value decomposition," SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications, vol. 21, No. 4, pp. 1253–1278, 2000.

[4] E. Acar, S. A. Çamtepe, and B. Yener, "Collective Sampling and Analysis of High Order Tensors for Chatroom Communications," in IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, 2006, pp. 213–224.

[5] P. Chew, B. Bader, T. Kolda, and A. Abdelali, "Cross-language information retrieval using PARAFAC2," in Proceedings of the 13th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD07), ACM Press, 2007, pp. 143–152.

[6] P. D. Turney, and P. Pantel, "From Frequency to Meaning: Vector Space Models of Semantics," Journal of Artificial Intelligence Research, vol. 37, No. 1, pp. 141–188, 2010.

[7] B. W. Bader, M. W. Berry, and M. Browne, "Discussion Tracking in Enron Email Using PARAFAC," in Survey of Text Mining II, M. W. Berry and M. Castellanos, Eds. London: Springer London, pp. 147–163, 2008.

[8] S. Manna, Z. Petres, and T. Gedeon, "Tensor Term Indexing: An Application of HOSVD for Document Summarization," in 4th International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics, No. October, pp. 135–141, 2009.

[9] T. Van de Cruys, "Anon-negative tensor factorization model for selectional preference induction," in Proceedings of the Workshop on Geometric Models for Natural Language Semantics (GEMS-09), Athens, Greece, pp. 83–90, 2009.

[10] D. Jurgens, and K. Stevens, "Event Detection in Blogs Using Temporal Random Indexing," in Proceedings of the Workshop on Events in Emerging Text, pp. 9–16, 2009.

[11] Y. Wang, and E. Agichtein, "Temporal Latent Semantic Analysis for Collaboratively Generated Content: Preliminary Results," in SIGIR '11 Proceedings of the 34th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, 2011, pp. 1145–1146.

[12] T. G. Kolda, and B. W. Bader, "Tensor Decompositions and Applications," Preprint of Article Toappear in Siam Review, vol. 51, No. 3, pp. 455–500, 2009.

[13] T. Simpson, and T. Dao, Wordnet-Based Semantic Similarity Measurement, 2010. [Online]. Available: http://www.codeproject.com/Articles/11835/WordNet-based-semantic-similarity-measurement.

[14] M. Wasson, "Using Leading Text for News Summaries: Evaluation Results and Implications for Commercial Summarization Applications," in Proceedings of the 17th International Conference on Computational Linguistics, 1998, pp. 1364–1368.

[15] X. Wan, and J. Yang, "Multi-document summarization using cluster-based link analysis," in Proceedings of the 31st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval- SIGIR '08, 2008, pp. 299–306.

[16] Z. He, C. Chen, J. Bu, C. Wang, L. Zhang, A. Cai, and X. He, "Document Summarization Based on Data Reconstruction," in Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence Document, 2012, pp. 620–626.

[17] Zhang, Z., Li, H., Huang, L., "TopicDSDR: Combining Topic Decomposition and Data Reconstruction for Summarization," in Web-Age Information Management, J. Wang, H. Xiong, Y. Ishikawa, J. Xu, and J. Zhou, Eds. Springer Berlin Heidelberg, pp. 338–350, 2013.

[18] R. Arora, and B. Ravindran, "Latent Dirichlet Allocation Based Multi-Document Summarization," in Proceedings of the Second Workshop on Analytics for Noisy Unstructured Text Data, pp. 91–97, 2008.

[19] R. Arora, and B. Ravindran, "Latent Dirichlet Allocation and Singular Value Decomposition Based Multi-Document Summarization," in Eighth IEEE International Conference on Data Mining Latent, 2008, pp. 713–718.

[20] D. Wang, T. Li, S. Zhu, and C. Ding, "Multi-Document Summarization via Sentence-Level Semantic Analysis and Symmetric Matrix Factorization," in PROCEEDINGS of the 31st Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval - SIGIR '08, 2008, pp. 307–314.

[21] J. Lee, S. Park, C. Ahn, and D. Kim, "Automatic Generic Document Summarization based on Non-negative Matrix Factorization," Information Processing and Management, vol. 45, No. 1, p
[22] p. 20–34, 2009.

Consensus of Heterogeneous Multi-Agent Systems Using Output Feedback

Navid Danaeefard

Department of Electrical and Computer Engineering
Tarbiat Modares University
Tehran, Iran
ndanaeefard@gmail.com

Vahid Johari Majd
Department of Electrical and Computer Engineering
Tarbiat Modares University
Tehran, Iran
majd@modares.ac.ir

***Abstract*— This paper studies the consensus problem for linear multi-agent systems (MASs) under fixed and switching graph topologies. All agents are modeled by general heterogeneous linear systems, and only the output of each agent can be measured. Using a static output feedback controller, consensus problem is formulated as a stability problem with bilinear matrix inequality (BMI) constraints. Finally, Numerical simulations are provided to show the effectiveness of the proposed methods**

Keywords*— Multi-agent systems, Consensus, Static output feedback, Heterogeneous systems, BMI.

INTRODUCTION

In recent years, the consensus problem of MASs has attracted intensive attention in the literature, because it has been demonstrated that the consensus problem has a variety of applications in various areas .[1] MAS has received many researchers attention and many researchers focused on the control of MAS due to both their practical potential in various applications and theoretical challenges arising in control of them. This attention is due to its various applications in in many areas, such as military missions, environmental surveying, space missions, cooperative control of unmanned aerial vehicles, surveillance, exploration, formation of mobile robots and communication among sensor networks. Consensus, which is one of the most actively studied and popular research topics in control of MAS, requires to drive states of agents to the same vector.

MAS can be homogeneous or heterogeneous. In homogeneous MAS, the capabilities of the individual agents are identical. In heterogeneous MAS, the capabilities of agents are different, whereby agents can be specialized for specific tasks [2].

Recently, the output feedback controller has been used to deal with the MAS [1,3–7]. In [3], a dynamic output feedback controller proposed for consensus of the MAS agents' states. The consensusability problem of linear MAS was studied in [4], where the consensus protocol was in the form of static output feedback controller and with that controller, states of agents reach consensus. In [1] and [7], the dynamic output feedback controller was used to study the consensus of the MAS. Reference [6] use same dynamic output feedback controller of [3] and extend results to switching topology. In [3] and [6] the idea is to reduce states consensus problem of the MAS to stability problem of states errors and solve the problem with the aim of bilinear matrix inequality (BMI). And using a dynamic output feedback controller, consensus problem is formulated as a feasible problem with BMI constraints. For solving the BMI, [3] and [6-7] used homotopy method and convert BMIs to LMIs.

The MAS in [3] and [6] is homogenous and the models of agents are in general linear state space form.

This paper presents methods for consensus of heterogeneous MAS under fixed and switching topologies, considering the output feedback problem for N agents with linear dynamics. Lyapunov approach is used along with a linear matrix inequalities (LMI) algorithm to analyze the condition for system stability. Each agent's dynamics is general and dynamic equations of agents can be differ from each other, also additional specification such as convergence rate and actuator limitations are considered. The basic idea is to solve the control problem using static output feedback controller and bilinear matrix inequalities (BMIs) and the consensus problem has been converted to the feasibility of a set of BMIs.

The remainder of paper is organized as follows: Section 2 give some preliminaries. Section 3 provides the main results of controller design and stability analysis. Section 4 and 5 discuss adding virtual agent and considering switching topology for MAS. Section 6 show validity of the proposed methods. Finally, section 7 concludes the paper.

PRELIMINARIES

Definition1.

For $A \in \mathrm{C}^{m\times n}$, a Moore-Penrose inverse of A is defined as a matrix $A^{+} \in \mathrm{C}^{n\times m}$ satisfying the following four criteria (A^{*} denote conjugate transpose.):[8]

1. $AA^{+}A = A$
2. $A^{+}AA^{+} = A^{+}$
3. $(AA^{+})^{*} = AA^{+}$
4. $(A^{+}A)^{*} = A^{+}A.$

Matrix A^{+} exists for any matrix, but when the latter has full rank, A^{+} can be expressed as a simple algebraic formula.

Lemma1 [8].

For $A \in \mathrm{C}^{m\times n}$, when matrix A^*A is invertible, A^+ can be computed as:

$$A^+ = (A^*A)^{-1}A^*$$

This matrix is *left inverse* of A, since, in this case, $A^+A = I_n$.

When matrix AA^* is invertible, A^+ can be computed as: $A^+ = A^*(AA^*)^{-1}$

This is a *right inverse of* A, as $AA^+ = I_m$.

Graph theory

In this section, some preliminaries of algebraic graph theory and matrix theory are given. Network topology of MAS can be modeled by using a directed graph (or digraph) G = (V, E, A) where V = {1, 2, · · ·, N} (N is the number of agents) is set of agents or nodes or vertices and E ⊂ V × V is the set of edges. The edge (j, i) ∈ E means that agent j can obtain the information from agent i. Given the edge weights a_{ij}, a graph can be represented by an adjacency or connectivity matrix A= [a_{ij}] with $a_{ij} > 0$ if $(v_j, v_i) \in E$ and $a_{ij} = 0$ otherwise, and $a_{ii} = 0$. The Laplacian matrix $\mathrm{L} = \left[l_{ij} \right]_{N\times N}$ of G defined as:

$$l_{ij} = \begin{cases} -a_{ij}, & i \neq j \\ \sum_{k=1,k\neq i}^{N} a_{ik}, & i = j \end{cases}$$

Laplacian is a symmetric positive semi definite matrix and at least has a zero eigenvalue because its column sum is zero. If graph has a spanning tree then Laplacian has exactly one zero eigenvalue. A directed path in digraph G is a sequence of nodes $v_1, v_2, \ldots, v_k$ such that any ordered pair of vertices appearing in the sequence is an edge of the digraph, i.e., $(v_i, v_{i+1}) \in E$, for any $\mathrm{i} \in \{1, 2, \ldots, \mathrm{k}-1\}$. A tree is a directed graph where a node, called the root, has no parent and the other nodes have only one parent. A directed graph has a directed spanning tree if there exists at least one agent called root, which has a directed path to every other agent. [9][10]

Consensus

In consensus the objective is to find a distributed control protocol that drives all states to the same values and reach global agreement between agents on a state value. Consensus among agents is possible if and only if the digraph includes a directed spanning tree.

Consider a group of agents, each with single-integrator dynamics described by:

$$\dot{x}_i(t) = u_i(t), \quad i = 1, \ldots, N .$$

The consensus problem is to design the control input $u_i(t)$ for i-th agents, depending on states of its neighbor agents and itself, so that all agents' states converge to the same value, a typical consensus control algorithm is designed as

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^{N} a_{ij}(t)\left[x_j(t) - x_i(t) \right],$$

which is based on the idea of reducing the errors between states of two agents. The global control input vector is given by

$$u(t) = -Lx ,$$

and the closed-loop system is

$$\dot{x} = -Lx .$$

It is seen that using the consensus protocol, the closed-loop dynamics depends on the graph Laplacian matrix L. [9] [10]

Kronecker product

For matrices A, B, C and D with appropriate dimensions, the Kronecker products represented by ⊗ and has the following properties [11]:

$$(\alpha A) \otimes B = A \otimes (\alpha B),$$
$$(A + B) \otimes C = A \otimes C + B \otimes C,$$
$$(A \otimes B)(C \otimes D) = (AC) \otimes (BD),$$
$$(A \otimes B)^T = A^T \otimes B^T .$$

PROBLEM FORMULATION

We consider the MAS consisting of N agents. Suppose that the dynamics of i-th agent is given by:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) \\ y_i(t) = C_i x_i(t) \end{cases}, \qquad (1)$$

Where $x_i(t) \in \mathrm{R}^n$ is the state, $u_i(t) \in \mathrm{R}^m$ and $y_i(t) \in \mathrm{R}^q$ are the control input and output, respectively. $A_i \in \mathrm{R}^{n\times n}$, $B_i \in \mathrm{R}^{n\times m}$ and $C_i \in \mathrm{R}^{q\times n}$ are constant matrices. It is sometimes hard to directly measure the information of all states. Because of constraints on state measurement, output feedback is more practical comparing to state feedback. In this paper output measurement used to design the controller.

Entire MAS can be written as

$$\begin{cases} \dot{X} = A_D X(t) + B_D u(t) \\ Y(t) = C_D X(t) \end{cases}, \quad (2)$$

Where $Y(t) \in \mathrm{R}^{nN}$ and $X = \left[x_1^T, x_2^T, \ldots, x_N^T\right]^T$, $u(t) \in \mathrm{R}^{mN}$ and $u(t) = \left[u_1^T, u_2^T, \ldots, u_N^T\right]^T$, $Y(t) \in \mathrm{R}^{qN}$ and $Y = \left[y_1^T, y_2^T, \ldots, y_N^T\right]^T$. $A_D \in \mathrm{R}^{nN\times nN}$, $B_D \in \mathrm{R}^{nN\times mN}$ and $C_D \in \mathrm{R}^{qN\times nN}$.

$A_D = diag\{A_1, \ldots, A_N\}, B_D = diag\{B_1, \ldots, B_N\}, C_D = diag\{C_1, \ldots, C_N\}$

.

For each agent, we consider the following static output feedback algorithm:

$$u(t) = KL_{\bar{C}} Y(t), \quad (3)$$

where $K \in \mathrm{R}^{qN\times qN}$ and $L_{\bar{C}} = L \otimes I_q$, $q =$ number of outputs .

Our main aim is to design the K matrix such that the MAS can achieve stability and error of states converge to zero.

We can also deal with actuator limitations, and don't allow control input to increase significantly. For example by defining $KK^T < \sigma^2 I$ and using Schur's lemma the following matrix inequality holds: [3]

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 I & K \\ \mathrm{K}^T & I \end{bmatrix} > 0 . \quad (4)$$

The closed-loop of overall system composed of MAS and controller is

$$\dot{x} = (A_D + B_D K L_{\bar{C}} C_D) x(t),$$

$$\dot{X} = AX \ , A = \left(A_D + B_D K L_{\bar{C}} C_D\right). \quad (5)$$

Y= $C_D X$.

In stability analysis states error of MAS converge to zero, so the steady states will become same. The error system can be written with some simple transformation.

.

$$\tilde{x}_c = (\tilde{A}_D + \tilde{L}_c B_D K L_{\bar{C}} \tilde{C}_D)\tilde{x}_c , \quad (6)$$

$$\tilde{A}_D = \tilde{L}_c A_D \tilde{L}_c^{+} \quad , \quad \tilde{C}_D = L_{\bar{C}} C_D \tilde{L}_c^{+} \ , \ \tilde{L}_c = \tilde{L} \otimes I_n .$$

Where we remove a row of Laplacian matrix and denote new matrix by $\tilde{L}$. Theorem 1 discuss that which row of Laplacian must be removed, also shown under which conditions $\tilde{L}_c$ has right inverse.

Theorem 1.

Consider Laplacian matrix associated with graph G and denote it by L, assume G has at least one spanning tree, if we remove the row of i-th root agent (called i-th father agent) from L matrix, then new matrix($\tilde{L}_c$) has right inverse.

Proof.

If $L_{\bar{C}}$ is right invertible then $det(\tilde{L}_c \tilde{L}_c^{*}) \neq 0$, using Lemma1

$$det(\tilde{L}_c \tilde{L}_c^{*}) = det(\left(\tilde{L} \otimes I_n\right) \times \left(\tilde{L} \otimes I_n\right)^{*}) = \det(\left(\tilde{L} \otimes \tilde{L}^{*}\right) \times \left(I_n \otimes I_n\right))$$

So if $det\left(\tilde{L} \otimes \tilde{L}^{*}\right) \neq 0$ Theorem proved.

Now using Cauchy-binet theorem

$$det\left(\tilde{L} \otimes \tilde{L}^{*}\right) = \det^2(M_1) + \ldots + \det^2(M_N)$$

Where M_i is a sub matrix of $\tilde{L}$.

Using matrix tree theorem for directed graphs (called Tutte's Directed Matrix-Tree Theorem) one can write

$$det\left(\mathcal{L}\otimes\mathcal{L}^{*}\right)=N\times\det^{2}\left(M\right),$$

$$\det^{2}\left(M\right)=\det^{2}\left(M_{1}\right)=\ldots=\det^{2}\left(M_{N}\right),$$

$\det\left(M\right)=$ number of spanning trees of i-th father agent.

$$\text{So } \det\left(M\right)\neq 0\Rightarrow\ det\left(\mathcal{L}\otimes\mathcal{L}^{*}\right)\neq 0\ \Rightarrow$$

$$det(\mathcal{L}_{c}\mathcal{L}_{c}^{*})\neq 0,$$

and $L_{\bar{C}}$ is right invertible. □

If the system in (6) is asymptotically stable, the MAS in (5) will achieve consensus asymptotically. Now, the consensus problem of MAS in (5) has been converted into the stability problem of the error system in (6).

Remark1.

We can easily extend results of this paper to dynamic output feedback controller case, using Theorem 1.

Lemma 2.

Consider LTI system $\dot{x}=Ax$, if there exist positive definite matrix P satisfying the matrix inequality

$$\left(A+\zeta I\right)^{T}P+P\left(A+\zeta I\right)<0,\qquad(7)$$

then the system is asymptotically stable and $e^{\zeta t}x\left(t\right)\to 0$ .Where ζ is convergence rate.

Theorem 2.

The MAS in (6) become asymptotically stable if there exist matrices K and positive definite matrix P such that the following matrix inequality holds:

$$\left(\tilde{A}_{D}+\tilde{L}_{c}B_{D}KL_{\bar{C}}\tilde{C}_{D}+\zeta I\right)^{T}P+P\left(\tilde{A}_{D}+\tilde{L}_{c}B_{D}KL_{\bar{C}}\tilde{C}_{D}+\zeta I\right)<0.$$

(8)

Proof.

Using lemma 2 and substituting ($A_{D}+B_{D}KL_{\bar{C}}C_{D}$) into (7) we obtain (8).□

The matrix inequality of (8) is a bilinear matrix inequality (BMI) with respect to the variables K and P. and there is no method to give an analytic solution to this problem.

The homotopy method will be used to solve BMIs. The main advantage of this algorithm is that we usually can get the solutions, because the homotopy path is adjustable. Now, we summarize the algorithm based on homotopy method as follows [6] [7]

Step 1. Introduce a real number μ varying from 0 to 1, and construct a matrix function

$$F\left(P,K,\mu\right)=\left(1-\mu\right)F_{1}\left(P\right)+\mu F_{2}\left(P,K\right).$$

$$F_{1}\left(P\right)=\left(\tilde{A}_{D}-\lambda I\right)^{T}P+P\left(\tilde{A}_{D}-\lambda I\right),$$

$$F_{2}\left(P,K\right)=\left(\tilde{A}_{D}+\tilde{L}_{c}B_{D}KL_{\bar{C}}\tilde{C}_{D}+\zeta I\right)^{T}P+P\left(\tilde{A}_{D}+\tilde{L}_{c}B_{D}KL_{\bar{C}}\tilde{C}_{D}+\zeta I\right)$$

Step 2. Set μ=0 . Compute the initial value of P_{0} by solving the LMI $F\left(P,\mathrm{K},0\right)<0$.

Step3. Increase μ by some homotopy path, such as $\mu=\frac{k}{M},\left(k=1,2,..,M\right)$. M is a large positive integer, for example, M=1000. Compute K_{k} by solving LMI $F\left(P_{k-1},K,\frac{k}{M}\right)<0$.

Step4. Increase μ by the same homotopy path of step 3. Compute P_{k} by solving LMI $F\left(P,K_{k},\frac{k+1}{M}\right)<0$.

Step5. Repeat Step 3 and Step 4 until $\mu=1$ .and set $P=P_{M}$ and $\mathrm{K}=K_{k}$.

If one of LMIs is not feasible for some k, we can increase value of M and repeat the procedure from the non-feasible LMI.

VIRTUAL AGENT

Using presented method in Theorem 2, MAS achieve consensus but the numerical value of consensus can't be manipulated and is a specifics of MAS. For dealing with

this issue a virtual agent added to MAS and agents can achieve consensus on the desired value.

Steady state of the virtual agent designed to be equal to desired consensus value.

The virtual agent added to graph of MAS so that it is neighbor of all agent but has no neighbor, so we called it Grandfather (or main root).

SWITCHING TOPOLOGY

Consider agents of MAS that communicate with each other and need to agree consensus. In some cases, some of the existing communication between agents may fail or some new links may create.

We are interested in designing controller to achieve consensus for mentioned MASs in which graph of MAS has switching topology.

Corollary 1.

Consider MAS have several graph topologies and assume each graph has at least one spanning tree.

The agents of MAS can reach consensus if there exists matrices K and positive definite matrices P_i such that the following matrix inequalities holds:

$$\left(A_D+B_DKL\bar{C}C_D+\zeta I\right)^T P_i + P_i\left(A_D+B_DKL\bar{C}C_D+\zeta I\right)<0 \quad (9)$$

$i=1,\ldots,m$ and m = number of graph topologies.

Proof.

If K satisfy m matrix inequalities for m graph topologies, then using Theorem 2 stability and then consensus is achieved by MAS. □

SIMULATION RESULTS

In this section, some examples will be given to show the effectiveness of the proposed algorithms. The considered MAS consist of three agents. Each agent has two state and one output. The coefficient matrices of the MAS are as follows

$$A_1=\begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & -2\end{bmatrix},\ B_1=[0\quad 1],\ C_1=[1\quad 0]$$

$$A_2=\begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & -3\end{bmatrix},\ B_2=[0\quad 2],\ C_2=[2\quad 0]$$

$$A_3=\begin{bmatrix}0 & 1\\ 0 & -4\end{bmatrix},\ B_3=[0\quad 3],\ C_3=[3\quad 0]$$

As can be seen agents model are different and the MAS is heterogeneous. The graph of MAS and output response of system to initial condition $x_0=[20\quad 3\quad 21\quad 10\quad 10\quad 10]$ and controller output is shown in Fig1. (By defining $KK^T<\sigma^2 I$ and $\sigma=2$ actuator limitations considered.)

Now we add virtual agent to the MAS so that consensus value becomes 11, equivalently steady state of virtual agent must be equal to 11.

$$A_4=\begin{bmatrix}0 & 4\\ 0 & -1\end{bmatrix},\ B_4=[0\quad 0],\ C_4=[1\quad 0]$$

Initial condition is $x_{04}=[11\quad 0]$. Fig2 shows the results of simulation for the new MAS.

Gain matrix of controller (K) is:

$$K=\begin{bmatrix}-0.923 & -0.385 & -0.338 & 0\\ -0.385 & -0.840 & -0.418 & 0\\ -0.337 & -0.418 & -0.663 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

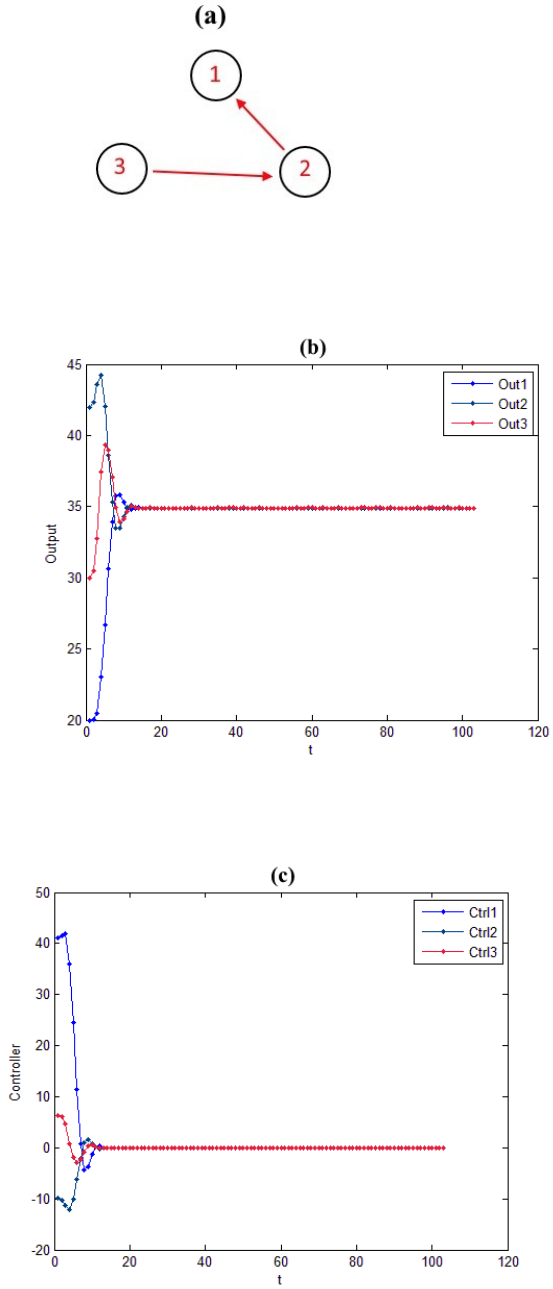


Fig1.The MAS with three agents. a) Graph topology b) Output of MAS c) Output of controller

Figure 1 shows that output of MAS reaches consensus.

In figures 1, 2 and 3 output of controller derived by simulations from the static output feedback controller in (3).

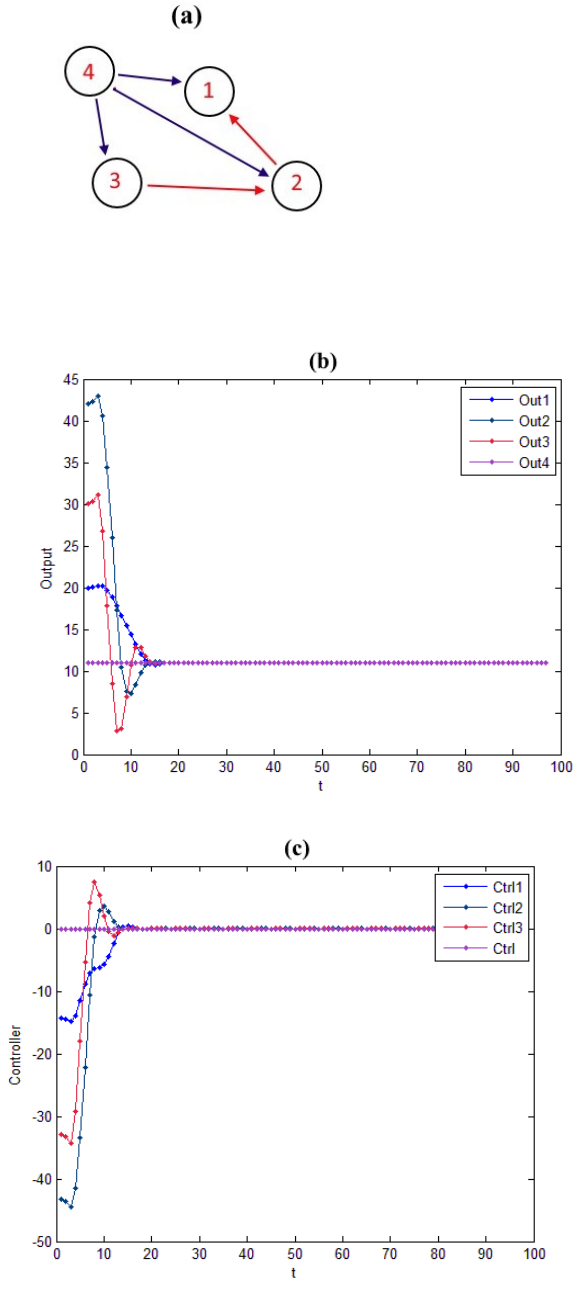


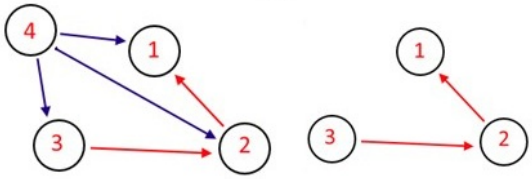
Fig2.The MAS with virtual agent.a) Graph topology b) Output of MAS c) Output of controller

Consider two graph for the MAS, by adding mentioned virtual agent to each graph, the case of MAS with switching topology analyzed and using Corollary 1 appropriate controller designed for MAS to reach desired consensus.

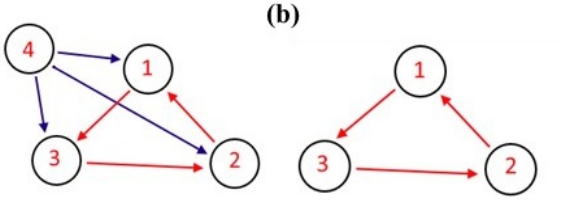
Graph topologies and responses of MAS and controller shown in Fig3. Gain matrix of static output feedback controller (K) is as follows:

$$K = \begin{bmatrix} -1.162 & -0.080 & -0.076 & 0 \\ -0.080 & -0.248 & -0.076 & 0 \\ -0.075 & -0.076 & -0.138 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

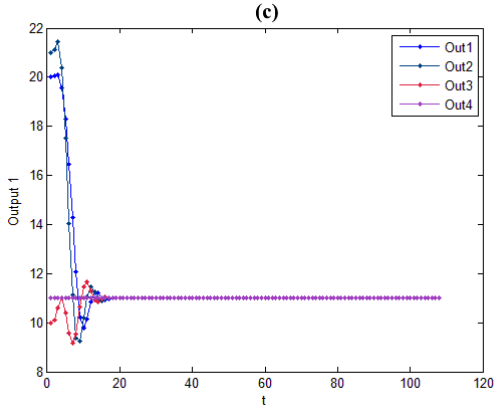
(a)



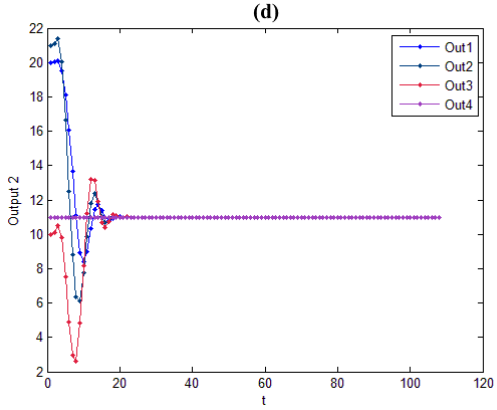
(b)



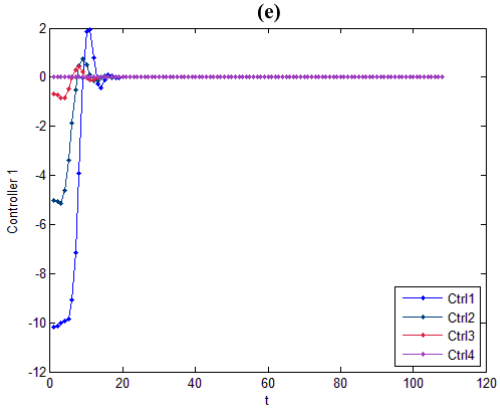
(c)



(d)



(e)



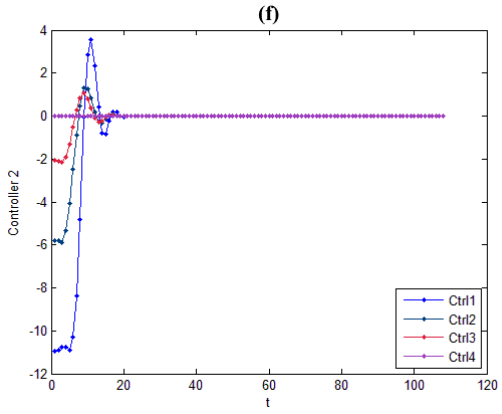


Fig3.The MAS with virtual agent and switching graph topology. a,b) Graph topologies c,d) Outputs of MAS e,f) Output of controller

CONCLUSION

This paper considered the consensus problem of continuous-time linear heterogeneous MASs, under both fixed and switching graph topologies. By adding virtual agent and using a static output feedback controller, MAS reaches the desired consensus value. The consensus problem has been converted to the feasibility of a set of BMIs. Homotopy method used solving BMIs. Lyapunov approach is used to proof the stability and convergence of the MAS. The future work is adding robustness to the proposed controller when MAS affected by disturbances. Moreover adding nonlinear terms in state space model, will lead to the analysis of a larger group of MAS.

(6) References

[1] Seo, J.H.; Shim, H.; Back, J. (2009), "*Consensus of high-order linear systems using dynamic output feedback compensator: Low gain approach*". Automatica, , 45, pp. 2659–2664

[2] Yan, Zhi., J, Nicolas., and Cherif ,A-A. (2013), "*A Survey and Analysis of Multi-Robot Coordination*," International Journal of Advanced Robotic Systems, DOI: 10.5772/57313

[3] G,Zhai., Sh,Okuno., J,Imae., T,Kobayashi. (2011), "*A New Consensus Algorithm for Multi-Agent Systems via Decentralized Dynamic Output Feedback*," Journal of Intelligent & Robotic Systems, 63 (2), pp. 309–322.

[4] Ma, C.Q.; Zhang, J.F. (2010), "*Necessary and sufficient conditions for consensusability of linear multi-agent systems*". IEEE Trans Automat Control, 55, 1263–1268.

[5] Zhang,D., Wang,X., Meng,Li. (2013), "*Consensus problems for high-order LTI systems: a decentralized static output feedback method*". International Journal of Innovative Computing, Information and Control, , vol9, pp. 2143–2154

[6] H,Zhao., J-H,Park. (2014), "*Dynamic output feedback consensus of continuous-time networked multiagent systems*," Complexity. DOI:10.1002/cplx.21517

[7] G,Zhai., M,Ikeda., Y,Fujisaki. (2001), "*Decentralized H∞ controller design: a matrix inequality approach using a homotopy method*," Automatica, 37 (4), pp. 565–572.

[8] Penrose, Roger (1955). "*A generalized inverse for matrices*". Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 51: 406–413. doi:10.1017/S0305004100030401.

[9] Lewis, F.L., Zhang, H., Hengster-Movric, K., Das, A. (2014), "*Cooperative Control of Multi-Agent Systems - Optimal and Adaptive Design Approaches*", Springer, London.

[10] Mesbahi,M. and Egerstedt, M. (2010), "*Graph Theoretic Methods in Multiagent Networks*", Princeton University Press, USA.

[11] J. W. Brewer (1969). "*A Note on Kronecker Matrix Products and Matrix Equation Systems*". SIAM Journal on Applied Mathematics 17 (3): 603–606

A feature selection method based on minimum redundancy maximum relevance for learning to rank

Mehrnoush Barani Shirzad
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
mb.shirzad@gmail.com

Mohammad Reza Keyvanpour
Department of Computer Engineering
Alzahra University
Tehran, Iran
keyvanm@modares.ac.ir

***Abstract*— Learning to rank has considered as a promising approach for ranking in information retrieval. In recent years feature selection for learning to rank introduced as a crucial issue. Reducing the feature set by removing irrelevant and redundant features can improve the prediction performance. In this paper we address the problem of filter feature selection for ranking. We propose to apply minimum redundancy maximum relevance (mRMR) method that select feature subset based on importance of features and similarity between them. We reweight the component of mRMR to balance between importance and similarity. We apply two methods for measuring the similarity between features and two methods for evaluating importance. Experimental results on two standard datasets from Letor demonstrate that the proposed algorithm 1)outperform two state-of-the-art learning to rank algorithms in term of accuracy, 2) learn a more spars model compared to a feature selection model for ranking.**

Index Terms*— Learning to rank, feature selection, mRMR, sparsity.*

V. INTRODUCTION

Ranking is a central part of information retrieval systems. Learning-to-rank which is the application of using machine learning methods to construct a model automatically for predicts the ranking has been intensively studied. Many algorithms proposed for learning-to-rank [1].

Feature selection has been well studied in classification [2]. Many machine learning application employ feature selection as a successful mechanism. It has proven that using feature selection in learning-to-rank is effective. The number of the feature for ranking is growing and the time for extracting these features and learning a ranking model is complicated. Some of these features are redundant and irrelevant that can affect the performance of prediction.

Recently some works [3-8] consider feature selection for learning-to-rank. Three category of feature selection technique has applied in learning-to-rank, contains preprocessing methods filter, wrapper and embedded methods.

Some works apply 'importance' and 'similarity' of information for feature selection in ranking [3] [6] [7]. Geng *et al*. [3] proposed a filter method that incorporates both importance and similarity. The author proposed a two-phase method that in first phase a greedy search algorithm that find a subset of feature that maximize the total importance scores and minimize total similarity scores applied. In second phase they use a learning-to-rank algorithm to learn a ranking model on selected features. Lai *et al.* [7] proposed a joint convex optimization formulation which minimizes ranking errors while simultaneously conducting feature selection. Their proposed optimization formulation provides a framework incorporate importance measures and similarity measures of the features. Then they solve the optimization problem.

Inspired by [3] [7] we propose to use a method that apply both importance of feature and similarity of between them to select features.

Our method works in two steps:

1) In a preprocessing step applies the filter method to select a subset of features
2) Learns a ranking model from the selected subset

In step one we solve the problem of feature selection by using mRMR method. We reweight importance and similarity to fit with our problem. We use kenadl's-τ and Pearson correlation coefficient as similarity measures to score the features according their ranking results. For importance score we use MAP value of ranked list provided by feature and also Pearson correlation coefficient between feature's rank results and class label. Then learned RankBoost [10] and LambdaMart [11], two off-the-shelf learning-to-rank algorithms on selected subset in step two. We conduct our experiments on two standard datasets from Letor3 and Letor4. Our method leads to more accurate performance in term of NDCG@10 measure and more spars model compared to ranked algorithm learned with

all features and a wrapper feature selection method for learning-to-rank [5].

This paper is organized as follow; in section II we give a review of related works. Section III represents our method. Section IV shows the experimental settings. In section V empirical results are reported. Section VI concludes the paper.

VI. Related Works

In this section we present existing learning-to-rank algorithms. And give an overview of feature selection methods applied in learning-to-rank.

A. Learning-to-rank Algorithms:

In learning- to-rank the instances are represent by a feature vector of document-query pair with a label that is relevance judgment of document to query as ground truth. Thus that learning-to-rank is a supervised learning problem. A ranking algorithm gives instances and sorts them according the scores that produced for them. A machine learning algorithm use train data to adjust parameters and then use validation data to minimize over-fitting. Then the learned model of ranking applies test data to evaluate.

Learning-to-rank algorithms contain three approaches: pointwise, pairwise and listwise which are different in input space, output space, hypothesis and loss function.

In pointwise approach the algorithm get a feature vector of each single document as an input instance and return the relevance degree of the document. In this approach ranking can modeled as regression, classification, and ordinal regression, corresponding output is in term of relevance score (a real value), 0 or 1 in binary classification or labels such as Perfect, Excellent, Good, Fair, or Bad in multi-class classification [13], and ordered category.

In pairwise approach learning-to-rank problem is cast to a classification problem. Binary classification that determines which document is preferred in a given pair of documents. In this approach each instance is a pair of feature vector (x_u, x_v) and the output is the preference of two document demonstrated by -1 and 1. Witch 1 means x_u is preferred to x_v and -1 means that x_v is preferred to x_u. Many algorithms have been introduced for this approach including boosting and SVM based algorithms. RankBoost [10], LambdaMart [11] are based on boosting, Ranking SVM [14] is based on support vector machine that algorithm adopts a large margin optimization approach like the traditional SVM and minimizes the number of incorrectly ordered document pairs.

Listwise approach gets the list of document as input and ranked list as output. Works in this approach can be categorized into two types. First attempt to optimize the information retrieval measures like MAP and NDCG directly, such as SVMMAP [15]. The second types define listwise loss functions which are not directly related to evaluation measures Example algorithm is ListNet [16].

B. Feature Selection for Learning-to-rank Algorithms

Feature selection contained the search strategies that attempt to find a subset of original feature set that convince the evaluation measures. Applying feature selection in learning-to-rank considered as an effective method to improve performance of model in term of accuracy and sparsity. Three approaches of feature selection methods involving filter, wrapper and embedded are used in learning-to-rank. Filter methods [3][4] that select subset of feature in a preprocessing step independent from learning algorithm. Wrapper [5][6] another preprocessing method which use learning algorithm as black box and conduct the feature selection search on performance of model. Embedded methods [7][8] that apply feature selection in learning process.

In [3] Geng *et al*. known as the first attempt of using feature selection in learning-to-rank proposed to apply a filter method that select features based on importance of features and similarity between them. They define importance score for each feature on ranked list provided by feature according to feature values and evaluate the performance by evaluation measures like MAP and NDCG. They define Kendal's-τ to measure the similarity between two features for ranked lists provided by them. Then they formulate feature selection as an optimization problem that maximize the total importance score and minimized the total similarity score simultaneously. To solve the optimization problem they use a greedy search algorithm (GAS). They compare their method with two traditional feature selection methods. The experimental results show that the GAS outperforms other feature selection methods on two datasets. Yu *et al*. [4] Proposed a filter and a wrapper effective feature selection method for ranking designed based on relief algorithms. The Relief algorithms identify discriminating features for classification. They are iterative methods that update the feature weights at each iteration based on their

importance. They proposed RankFilter, a filter approach from training data with multilevel relevance classes. And RankWrapper, a wrapper approach for training data with relative orderings. Experiments on OHSUMED datasets show that their method outperforms the GAS algorithm.

In [5] Dang *et al*. proposed a wrapper method witch use a best first search algorithm to divide the feature set to k subsets and learn a model with each subset. The result of each learning method is a new feature. Then extract vectors for these new features that are less than original features. Then they use four learning-to-rank algorithms: RankNet, RankBoost, AdaRank, and coordinate ascent with these vectors. The experiments on the Letor datasets show that they produce comparable performance in terms of NDCG@5 while using the less features.

Pan *et al*. in [6] propose to use boosted regression trees as wrapper approach. They explored greedy and randomize approaches. Like [3] they use importance score and similarity score for greedy approach. They use the relative importance score for regression boosted trees. And use the Kendal's-τ of two features vector values as similarity score. They investigated two greedy approach as optimization problems one maximize the importance score, other maximize the total importance score and minimized the total similarity score simultaneously. They also proposed a randomize importance based method. Experiments demonstrate that randomize method outperform greedy methods.

In [7] Lai *et al*. applied an embedded method based on sparse SVMs. This algorithm solves a joint convex optimization problem witch minimize ranking errors while automatically selecting the best features based on both similarity score and importance score. They used Pearson correlation coefficient for measuring similarity and importance. Then they use a Nesterov approach to fast convergence. The results show that FSMRank outperform the GAS algorithm and gained competitive performance compare to baselines on four datasets.

Laporte *et al*. in [8] propose a general framework for embedded feature selection by using support vector machines with a sparse regularization term. They investigated a couple of regularization terms such as l_1, log penalty, mini-max concave penalty, and l_p pseudo-norm with $p<1$. The results on Letor3 and Letor4 show that proposed method outperform the others spars models with more sparsity while preserving prediction performance.

VII. OUR METHOD

A. Notations

Let q_i a query in a set of queries $Q = \{q_1, q_2, \ldots, q_k\}$, where k is the number of queries in dataset. $X=\{x_{i1},x_{i2},\ldots,x_{il}\}$ denote the list of documents retrieved for q_i. Each document is related to a label denoted by Y, where $Y\in\{0,1,2\}$ is the relevant judgment. $F=\{f_1,f_2,..,f_n\}$ denote the feature set. N use to denote total number of features and m denotes the number of features that should select. S denotes the set of all features.

B. mRMR

Some of the proposed methods used importance, some used both importance and similarity of them to choose the subset. Other works select the features without considering the similarity and importance.

We propose to use mRMR (Minimum Redundancy Maximum Relevance) [9] a non-linear feature selection method that used both similarity and importance of features. mRMR (Eq. 1) use mutual information to measure importance and similarity. They used mutual information between feature and class as importance and mutual information between features as similarity. mRMR formulate the feature selection problem as the following optimization problem:

$$\max_{f_i\in X-S_{m-1}}\left[I(f_i;c)-\frac{1}{m-1}\sum_{f_j\in S_{m-1}}I(f_i;f_j)\right]. \qquad (1)$$

Where c is class label. The algorithm selects one feature that maximizes the above equation at each iteration.

C. mRMR for Ranking

Selecting a subset of features that based on their importance and similarity can formulate as an optimization problem [3][6][7]. mRMR provide a

framework that can use any importance and similarity measure. We weighted the mRMR (Eq. 2) as follow:

$$\max\left[\alpha..imp(f_i)-\beta.\sum sim(f_i,f_j)\right] \quad (2)$$

Which α and β are two weights that choose by cross-validation and balance the importance and similarity. At first iteration algorithm chooses the most importance feature. After that at each iteration algorithm try to find a feature that maximize the equation. We use best first search method to solve the optimization problem. Algorithm 1.shows the mRMR applied in learning-to-rank. After feature selection we apply selected methods in two well-known methods RankBoost and LambdaMart.

Algorithm 1 FS with mRMR
1. Construct a set T to contain the selected features. Initially $T_0 = \emptyset$. 2. Calculate the importance of each feature 3. Choose most importance feature as first selected feature T1=max{imp} 4. for i=2,..,m : Choose feature that maximize Eq.(2). Add feature to T 5.Output T

The features values of the datasets are continuous, and mutual information for continuous data needs extra computation hence instead of mutual information we employ two similarity methods for measuring similarity and two for importance. We apply Kendal's-τ (Eq. 3) and Pearson correlation coefficient (Eq. 4) to compute the similarity between features. The similarity score of two features measuring the correlation of two ranked list provided by that features. Kendal's-τ (TAU) for ranking for a query q and two features f_i and f_j, is defined as follow:

$$Tau(f_i,f_j)=\frac{\#\{(x_s,x_t)\in X_q \mid x_s <_{x_i} x_t \; and \; x_s <_{x_j} x_t\}}{\#\{(x_s,x_t)\in X_q\}} \quad (3)$$

Which the numerator is number of paired documents related to query q that take equal preference according two features ranking f_i and f_j, and the denominator is the number of whole pairs of documents associated with the query.

Pearson correlation coefficient (PCC) for measuring the similarity is defined as follow:

$$PCC(f_i,f_j)=\frac{\mathrm{cov}(f_i,f_j)}{\sqrt{\mathrm{var}(f_i).\mathrm{var}(f_j)}} \quad (4)$$

Where $\mathrm{cov}(f_i,f_j)=\sum_{k=1}^{n}\left(f_i^{(k)}-\bar{f_i}\right)\left(f_j^{(k)}-\bar{f_j}\right)$ is the covariance of two features and $\mathrm{var}(f_i)=\sum_{k=1}^{n}\left(f_i^{(k)}-\bar{f_i}\right)^2$ is the variance of a feature.

To evaluate the importance of each feature we use MAP of each feature as ranking model on training data, and Pearson correlation coefficient between the feature and class label. Pearson correlation coefficient for determine the importance of feature is defined as $|PC(f_i, Y)|$.

MAP (Mean Average Precision) only can work for binary judgment. Relevant and non-relevant label provided for each query-document pair. To define MAP first we need P@k (Eq. 5) precision at position k:

$$P@K=\frac{\#\ \text{positive instance within to p k}}{k} \quad (5)$$

Where is the fraction of number of relevance document at top k positions. Then AP@k (Eq. 6) averaged precision at position k for the query is defined as:

$$AP@K=\frac{\sum_k \text{P@K}\{\text{document k in relevant}\}}{\#\{\text{relevant document}\}} \quad (6)$$

Where the denominator is the total number of document associated with query. MAP is the averaged AP@k over all the queries.

VIII. EXPERIMENTAL SETTING

A. Dataset

We conduct our experiment on two datasets MQ2008 from Letor 4.0 and the OHSUMED from Letor 3.0. MQ2008 corresponding to year 2008 edition of TREC Million Query track. It has in total 784 queries, 15211 document-query pairs. 3 relevance levels have provided and 46 features have extracted. OHSUMED dataset consists of 106 queries, with 45 features extracted from the online medical information database, MEDLINE. It consists of 16 140 document-query pairs, and 3 relevance levels.

Each dataset is prefolded in to five folds and each fold contains a training, validation and test set, respectively to use cross validation.

B. Evolution Measures

We use NDCG an information retrieval evolution measures to evaluate the prediction performance of ranking algorithm after feature selection. As well as we use the Sparsity ratio to compare the number of selected feature in proposed method against baselines.

NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain) can work with multiple relevance judgment. To define NDCG, first we need DCG (Eq. 7). Let the π be the ranked list for query q, the DCG at position k is defined as:

$$DCG\ @\ K = \sum_{j=1}^{k} \left(2^{r(j)}\right) / \log\left(1 + j\right) \quad (7)$$

Where the $(2^{r(j)}-1)$ is the rating of a document and the log(1+j) is position discount factor. The DCG can take a value more than 1. Then a normalization term is used (NDCG), the NDCG takes values between 0 and 1.

Sparsity ratio is the fraction of selected features after feature selection step. For each fold $f \in \{f_1,\ldots,f_n\}$ which n is the number of folds in data set , the sparsity ratio (Eq. 8) is defined as follow:

$$SR_f = \frac{\#\text{selected features after feature selection}}{\#\text{whole features}} \quad (8)$$

The sparsity ratio for algorithm (Eq. 9) and corresponding dataset is the average of SR over all the folds:

$$SR = \frac{1}{n} \sum_{f=1}^{n} SR_f \quad (9)$$

C. Ranking models

We apply the results of feature selection on RankBoost and LambdaMart, two state-of-the-art algorithms. RankBoost [10] is a pairwise learning-to-rank algorithm based on boosting approach. The boosting algorithm linearly combines several weak ranker into a single strong ranking model. A weak learner ranking could be equals to a ranking feature. LambdaMart [11] is another a pairwise learning-to-rank based on boosted regression trees. LambdaMart uses gradient boosting to optimize a ranking loss function.

IX. EXPERIMENTAL RESULTS

We run feature selection method on each fold and calculate the prediction performance on corresponding fold, then average on them. We used a public implementation of RankBoost and LambdaMart. We train RankBoost 300 iterations. And train LambdaMart until the performance is converged. We set the parameters of LambdaMart as follow, number of trees sets to 1000, learning rate sets to 0.1 and number of tree leaves sets to 10.

We use learning-to-rank algorithms RankBoost and LambdaMart as baselines and evaluate our method's accuracy and compare it with baselines. Also we compare our method with a feature selection method for learning-to-rank [5] in term of sparsity ratio and accuracy.

In follow, when algorithm trained with all features refer by Orig and the algorithm trained with selected features by method [5] represent by BFS. When we train model with mRMR results depend on importance score and similarity score that used, a combination that the first part indicates importance method (including MAP,PCC) and second part shows the similarity measure (such as PCC,TAU) is used.

Fig.1 represents the performance evaluation of RankBoost and LambdaMart Algorithms in term of NDCG@10 on two datasets; MQ2008 and OHSUMED. As the results shows our method outperforms the

algorithms with all features in all combination in two datasets. PCC-TAU has gained the best results in both datasets with LambdaMart. Also it obtained the best results on OHSUMED dataset when RankBoost applied. MAP-PCC and MAP-TAU acquired the best results on MQ2008 with RankBoost. Also our method compete with BFS although ours get the best results in term of accuracy.

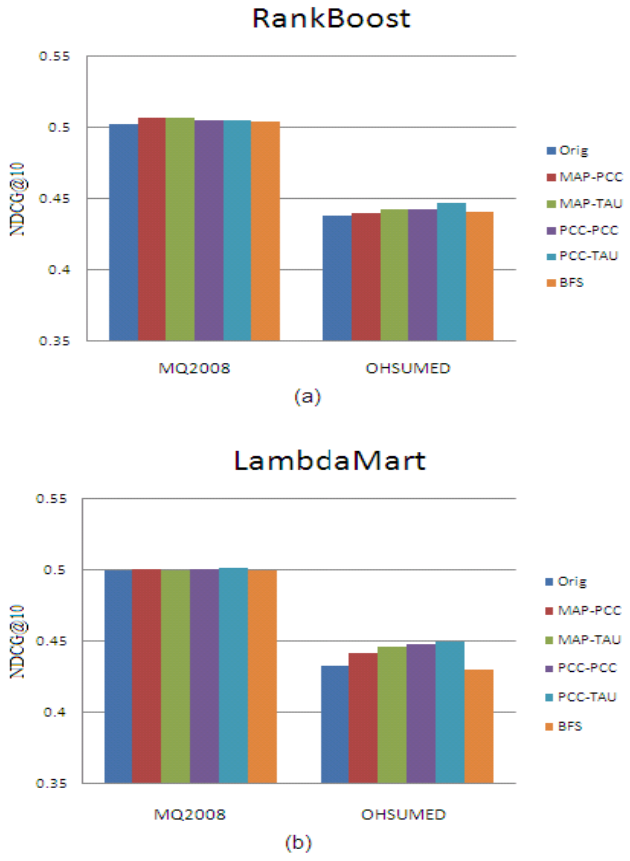


Fig. 1. Results on datasets.

Table.1 shows the sparsity ratio on datasets with RankBoost and LambdaMart Algorithms. We compare the results of using different importance and similarity measures in mRMR algorithm with BFS. Our method leads to reduce the number of feature and more spars than BFS. The results show that applying mRMR outperforms the BFS in both datasets. In MQ2008 applying MAP as importance measure and PCC as similarity measure lead to more sparsity for both algorithms. In OHSUMED dataset using of PCC for measuring importance and Kendal's-τ as similarity measure caused to more reduce in number of features. In all cases our method leads to less than 0.18 sparsity ratio.

Table VIII.Sparsity ratio.

	OHSUMED		MQ2008	
Algorithm	LambdaMart	RankBoost	LambdaMart	RankBoost
BFS	0.31	0.27	0.15	0.15
MAP-PCC	**0.06**	**0.12**	0.14	0.17
MAP-TAU	0.07	0.12	0.15	0.14
PCC-PCC	0.11	0.12	**0.11**	0.13
PCC-TAU	0.13	0.12	**0.11**	**0.11**
Total No.of Features:	45	45	46	46

X. Conclusion

Learning-to-rank is an inseparable area of information retrieval systems. Recently, with respect to effectiveness of feature selection, some works focused on using feature selection for learning-to-rank. We apply mRMR for feature selection in learning-to-rank. We use two methods for measuring the importance and apply two methods as similarity measure. And compare our method with two state-of-the-art methods RankBoost and LambdaMart as baselines as well as a wrapper feature selection in learning-to-rank in term of accuracy on NDCG@10 and sparsity. The empirical results indicate that our method outperform the baselines in accuracy while leading to more spars ranking model.

References

[1] T.-Y. Liu, Learning to rank for Information Retrieval. New York, NY,USA: Springer-Verlag, 2011.

[2] I. Guyon and A. Elisseeff, "An introduction to variable and feature selection," *J. Mach. Learn. Res.h*, vol. 3, pp. 1157–1182, Mar. 2003.

[3] X. Geng, T.-Y. Liu, T. Qin, and H. Li, "Feature selection for ranking," in Proc. 30th Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Develop. Inf. Retr. pp. 407–414, 2007.

[4] H. Yu, J. Oh, and W.-S. Han, "Efficient feature weighting methods for ranking," in Proc. 18th ACM Conf. Inf. Knowl. Manag. pp. 1157–1166, 2009.

[5] V. Dang and B. Croft, "Feature selection for document ranking using best first search and coordinate ascent," in Proc. SIGIR Workshop of the 33th Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Develop. Inf. Retr., pp. 1–5, 2010.

[6] F. Pan, T. Converse, D. Ahn, F. Salvetti, and G. Donato, "Feature selection for ranking using boosted trees," in Proc. 18th ACM Conf. Inf. Knowl. Manag., pp. 2025–2028, 2009.

[7] H.-J. Lai, Y. Pan, Y. Tang, and R. Yu, "FSMRank: Feature selection algorithm for learning to rank ," IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.vol. 24, no. 6, pp. 940–952, Jun. 2013.

[8] L. Laporte, R.Flamary, S.Canu, S.Déjean and J.Mothe, "Non-convex Regularizations for Feature Selection in Ranking with Sparse SVM," IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst. 25,no. 6, pp.1118–1130, June. 2014.

[9] H. Peng, F. Long, and C. Ding. Feature selection based on mutual information criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 27(8):1226-1238, 2005.

[10] Y. Freund, R. Iyer, R. Schapire, and Y. Singer, "An efficient boosting algorithm for combining preferences," J. Mach. Learn. Res., vol. 4, pp. 933–969, Nov. 2003.
[11] Burges, C. J. From ranknet to lambdarank to lambdamart: An overview. In Microsoft Research Technical Report MSR-TR-2010-82, 2010.
[12] T. Qin, T.Y. Liu, J. Xu, and H. Li, "LETOR: A benchmark collection for research on learning to rank for information retrieval," Inf. Retr. J., vol. 13, no. 4, pp. 346–374, 2010
[13] [P. Li, C. J. C. Burges, and Q. Wu, "Mcrank: Learning to rank using multiple classification and gradient boosting," in Proc. NIPS, pp. 897–904, 2007.
[14] T. Joachims, "Training linear SVMs in linear time," in Proc. 12th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, pp. 217–226, 2006.
[15] Y. Yue, T. Finley, F. Radlinski, and T. Joachims, "A support vector method for optimizing average precision," in Proc. 30th Annu. Int. ACM SIGIR Conf. Res. Develop. Inf. Retr., pp. 271–278, 2007.
[16] Z. Cao, T. Qin, T. Liu, M. Tsai, and H. Li, "Learning to rank: From pairwise approach to listwise approach," in Proc. 24th Int. Conf. Mach. Learn., pp. 129–136, 2007.

A note on Pearson Correlation Coefficient as a metric of similarity in recommender system

Leily Sheugh
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
leily.sheugh@gmail.com

Sasan H. Alizadeh
Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,Iran
Sasan.H.Alizadeh@qiau.ac.ir

***Abstract*— Recommender systems help users to find information that best fits their preferences and needs in an overloaded search space. Most recommender systems researches have been focused on the accuracy improvement of recommendation algorithms. Choosing appropriate similarity measure is a key to the recommender system success for this target. Pearson Correlation Coefficient (PCC) is one of the most popular similarity measures for Collaborative filtering recommender system, to evaluate how much two users are correlated. While Correlation-based prediction schemes were shown to perform well, they suffer from some limitations. In This paper we present an extension toward Pearson Correlation Coefficient measure for cases which does not exist similarity between users by using it. Experimental result on the film trust data set demonstrate via our proposed measure and PCC we can achieve better result for similarity measure than traditional PCC.**

Keywords—recommender system, Collaborative Filtering, similarity measure, Pearson Correlation Coefficient

I. INTRODUCTION

Recommender systems have become a mainstream research field in information technologies. They use the different sources of information (Collaborative, social, demographic, content, implicit and explicit data acquisition, etc) .Information can be acquired explicitly or implicitly by monitoring users' behavior. Thereupon they enable to collect information on the priority of its users for a set of items or elements. [1-3].

One of the most well-know and successful recommender system is the Collaborative Filtering that commonly used techniques to generate recommendations. It analyzes relationships between users (as users like mined neighbors) and mutual-dependencies between products to identify new user-item associations [4 -6].

The Collaborative Filtering includes item-based, user-based and model-based [7]. In case of Item based Collaborative Filtering, predicts the similarity among items by adopt pairwise item similarities which are more reliable than user similarities [8]. the user-based approaches, a similarity matrix is adopted to store the rating of each user for every item as it's based on the ratings given by the users nearest neighbors has been find [8]. The model-based construct a model to describe the behavior of user and then predict the rating of items via take advantage of the sparsity of data in the similarity matrix [9]. The problem of all collaborative filtering system is estimated how well a user will like an item that he/she has not rated so the similarity computation phase for any Collaborative Filtering plays an important role for its success [10].

The current most common similarity measure for collaborative filtering recommender system is Pearson Correlation Coefficient measure [6, 11, 12].

However traditional PCC can be used as similarity measure for CF. the ultimate goal is to improve the accuracy of the Pearson Correlation Coefficient measure; it will be happen by different techniques including: extension [13-16] or changed the PCC[17].

Traditional PCC does not consider the size of the set of common users. To solve this problem, Pearson Correlation Coefficient based on weight has been proposed [13].SPCC is scalable Pearson Correlation Coefficient algorithm that uses the cluster for neighbor pre-selection [14].CPCC is confidence- aware Pearson Correlation Coefficient that consider the rating confidence; confidential weight of an item rated by the active user[15]. Most of the traditional measure such as PCC are symmetric which means that they always assign equal similarity to each user even when one user' behavior is quite similar to the other but not conversely. Incorporating a weighting schema in PCC can improve that's result [16].

Proximity-Impact-Popularity (PIP) is a similarity measure that analyzed the drawback of Pearson correlation coefficient. This new similarity considered three aspects: proximity, impact and popularity of the user ratings. But, this similarity considers only the local information of the ratings and does not consider the global preference of user ratings [17].

However Pearson Correlation Coefficient is a good measure but the former issue refers to the difficulty in finding sufficient and reliable similarity measure Therefore in this paper we propose a novel approach for Pearson Correlation Coefficient to solve some shortage of traditional PCC.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 gives a brief overview of related research on traditional the similarity measure for Collaborative Filtering. Section 3 describes the Pearson Correlation Coefficient and its limitation. Section 4 proposed new similarity measure. Section 5 considers experimental result. Finally, in Section 6 we conclude our work.

II. SIMILARITY MEASURE

The core of Collaborative Filtering is to calculate similarity among items or users. A metric or a Similarity Measure determines the similarity between pairs of users (user to user CF) or the similarity between pairs of items (item to item CF).

Collaborative Filtering system using neighborhood-based algorithm for providing personalized prediction. That's used Pearson Correlation to weight user similarity, used all correlated neighbors, then computed a final prediction by performing a weighted average of deviations from the neighbor's mean[18,19]:

$$p_{a,i} = \bar{r}_a + \frac{\sum_{u=1}^{n} \left(r_{u,i} - \bar{r}_u\right) * w_{a,u}}{\sum_{u=1}^{n} w_{a,u}} \qquad (1)$$

$p_{a,i}$ Represent the prediction for the active user a for item i . n Is the number of neighbors and $w_{a,u}$ is the similarity weight between the active user and neighbor u as defined by pcc .

Many Statistical Coefficients can be used as similarity measures for Collaborative Filtering recommender system. The final goal in Collaborative Filtering is get a set of neighbors that are closed as possible as given active user by using similarity measure that enhanced the accuracy.

Traditionally, the series of statistical metrics have been used in Collaborative Filtering such as the Pearson Correlation Coefficient, cosine, constraint Correlation , and mean squared differences and Euclidean; the relatedness concept was introduced to provide the importance of the relationship between users and items [19-22].

Table1 shows a classification of the memory-based CF similarity measure .as Heuristic Similarity Measure that named (PIP) and outperforms the traditional statistical Similarity Measure (Pearson Correlation, cosine, etc.)[23].Predicts first actual ratings and subsequently identifies prediction errors for each user named (UERROR), and a metric based on neural learning (model-based CF) and adapted for new user cold-start situations, called (NCS) [6].

TABLE IX. TESTED COLLABORATIVE FILTERING SIMILARITY MEASURES

	Not based on models		**Model-based**
	No trust extraction	***Trust extraction***	
Traditional (only the ratings of both users or both items) Not tailored to cold-start users	JMSD,CORR,CCORR, COS,ACOS,MSD,EUC		GEN
Tailored to cold-start users	PIP	UERROR	NCS
Extended to all the ratings	SING	TRUST	

II. HOWEVER THERE ARE SEVERAL SIMILARITY METRICS TO CALCULATE SIMILARITY, BUT THREE COMMONLY USED SIMILARITY METRICS ARE: PCC, COS AND MSD [19, 20]. THE FORMULAS COS AND MSD ARE DEFINED AS FOLLOW:

$$\cos(u,u') = \frac{\sum_{i \in I} r_{ui} r_{u'i}}{\sqrt{\sum_{i \in I} \left(r_{ui}\right)^2} \sqrt{\sum_{i \in I} \left(r_{u'i}\right)^2}} \qquad (2)$$

In Equation 2 cosine similarity between two users is $\cos(u,u')$. I Represents the set of all items rated by both user u and u' . r_{ui} denotes the rating of Item i by user u and $r_{u'i}$ denotes the rating of Item i by user u' .

$$MSD(u,u') = \frac{\sum_{i \in I} \left(r_{u,i} - r_{u',i}\right)^2}{I} \qquad (3)$$

In Equation 3 Mean square difference between two users is $MSD(u,u')$, I represents the set of all items rated by both user u and u'. r_{ui} denotes the rating of Item i by user u and $r_{u'i}$ denotes the rating of Item i by user u'.

PEARSON CORRELATION COEFFICIENT AND LIMITATION

In Collaborative Filtering predictions for a user can be based on the similarity between the interest profile of that user and other users. Suppose that a database of user ratings items to exist, where users indicate their interest an item on a numeric scale. It is now possible to define similarity measures between two user profiles, as u and u' by Pearson Correlation Coefficient, $pcc(u,u')$. Once the similarity between profiles has been quantified, it can be used to compute personalized recommendations for users[18,21].

Pearson Correlation Coefficient is a statistical measurement of linear Correlation between two variables. Equation 4 gives the pcc formula of two users u and u' [19].

$$pcc(u,u') = \frac{\sum_{i \in I} \left(r_{u,i} - \bar{r}_u\right)\left(r_{u',i} - \bar{r}_{u'}\right)}{\sqrt{\sum_{i \in I} \left(r_{u,i} - \bar{r}_u\right)^2} \sqrt{\sum_{i \in I} \left(r_{u',i} - \bar{r}_{u'}\right)^2}} \qquad (4)$$

Here let $r_{u,i}$ and $r_{u',i}$ be the rating scores from two users, and $\bar{r}_u$ and $\bar{r}_{u'}$ denote the average ratings by the two users and $I = I_u \cap I_{u'}$ denotes the set of items rated by both users u and u'. Where $pcc(u,u') \in$ [-1, 1] is the similarity between two users u and u'. $pcc(u,u')=1$ is for the purpose of consistency. In particular, $pcc(u,u')>0$ indicate positive Correlation between users u and u'. $pcc(u,u')<0$ mean opposite Correlation and $pcc(u,u')=0$ implies no Correlation. Therefore, pcc value can capture the rating similarity between the two users.

So, by pcc measure, we can filter out some users' pairs that have more or less similarity to rating scores on the same items. Based on the assumption users with similar tastes on different types of products have higher probability to form a community and are likely to make associates to each other even if they don't know each other before.

Similarity predictions based on Pearson Correlation Coefficient suffer from several limitations:

First, Correlation between two user profiles can only be computed based on items that both users have rated, i.e. If users can select among thousands of items to rate, it is likely that overlap of rated items between two users will be small in many cases. Therefore, computed Correlation cannot be regarded as a trustworthy measure of similarity because computed Correlation Coefficients are based on just a few observations[24].

the Second, the Correlation approach induces one global model of similarities between users, rather than separate models for classes of ratings (e.g. positive rating vs. Negative rating)[24].

Third, two users can only be similar if there is overlap among the rated items, i.e. if users did not rate any common items, their user profiles cannot be correlated. Consider the following example: Users A and B are highly correlated, as are users B and C. This relationship provides information about the similarity between users A and C as well. However, in case users A and C did not rate any common items, a Correlation-based similarity measure could not detect any relation between the two users [24].

Forth, and perhaps most importantly, when the rating data for Collaborative Filtering are extremely sparse, it will be difficult to present accurate predictions using the Pearson correlation-based Collaborative Filtering [25].

In addition of listed above the other problems of using Pearson Correlation Coefficient don't get any number of results for similarity measure between two users. It happen by following reasons (*NAN* is a measure that used in matlab software):

1. If the users don't have common items with the other users, similarity measure can be considered *NAN* results.
2. Be zero the variance of the problems that they gives *NAN* similarity and occur for two bellow reasons:
   2.1. If the user has one rating in this condition mean rating is equal rating; therefore the result of this problem, it gives as zero variance and *NAN* similarity.

2.2. If all of the items have the same ratings, the mean of ratings will be equal with common rating, which it gives as zero variance and *NAN* similarity again.

III. NEW SIMILARITY MEASURE

One of the limitations of using Pearson Correlation Coefficient for similarity measure is given a set of *NAN* result that these reasons to mention in the previous section.

In this section, we will present the proposed method the basic principle of which is reduced *NAN* result in similarity measure for all of the items have the same ratings, and the mean of ratings is equal with common rating. Equation 5 gives the *newpcc* formula of two users u and u' for addresses this problem.

$$newpcc(u,u') = \frac{\left(-\left|\mu_u - \mu_{u'}\right| + \max rate\right) - meanrate}{meanrate} \tag{5}$$

μ_u Is the average rating of user u, $\mu_{u'}$ is the average rating of user u' and Mean rate is the middle of all ratings.

4.1. An example:

In this subsection we intend to exemplify step by step the use of *newpcc* to decrease a *NAN* similarity for a given users. Suppose there are five user and five items, denoted by u_k and i_k where $k, j \in [1,5]$. Each user may rate a few items by giving an integer rating rated in [1, 5] as shows in table 2.

The first step of *newpcc* is to identify the users that rate the common items. Second, peruse the proviso equal items rating with mean of all ratings. Third calculates the similarity measure for users with common rating for items and mean rating by Eq. (5) and other similarity user can be inferred by Eq. (4), as shows in table 3.

TABLE X. THE DATA SET CONSISTING OF USER- ITEM RATING MATRIX

	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
U_1		1	5			
U_2	3	5	1			
U_3				5	5	5
U_4				3	3	3
U_5						

TABLE XI. USER-USER SIMILARITY MATRIX

	U1	U2	U3	U4	U5
U1	1	-1	0	0	0
U2	-1	1	0	0	0
U3	0	0	1	-0.6	0
U4	0	0	-0.6	1	0
U5	0	0	0	0	1

IV. CASE STUDY AND EXPERIMENTAL RESULT

In order to verify the effectiveness of the new proposed method, we conduct experiments on Real word data set which namely film trust that contains user-item rating. Film trust is a trust-based social site in which users can rate and review movies. Its contain 1896 user, 2071 movies and 35497 rating.

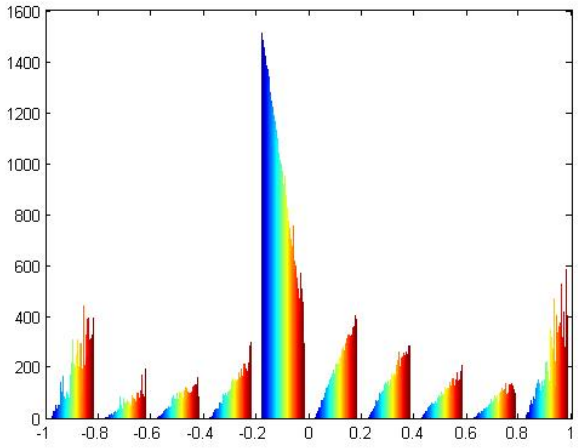


FIG.1. SIMILARITY OF FILM TRUST DATA SET BASED ON *pcc*

FIG. 1 SHOW THE HISTOGRAM PLOT OF *NAN* SIMILARITY MEASURE BASED ON TRADITIONAL PCC FOR FILM TRUST. IT IS THE EXTENT TO WHICH TWO USER LINEARLY RELATE WITH EACH OTHER AS WELL AS REPRESENTS A LOT OF USERS no Correlation.

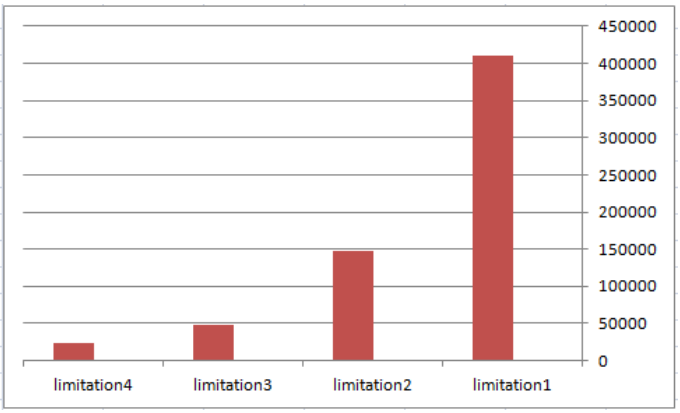


FIG.2. THE HISTOGRAM LIMITATION FOR TRADITIONAL PCC

FIG.2. SHOWS the reason that it gives the similarity of ON THE FILM TRUST DATA SET BY TRADITIONAL PCC. THE FIGURE HAS SEEN THE MOST OF USER DON'T HAVE INTERSECTED ITEM WITH OTHERS. IT IS THE FIRST AND MAIN LIMITATION OF RECOMMENDER SYSTEM BASED ON PCC TO ACCRUE ESPECIALLY WHEN DATA ARE SPARSE. THE SECOND LIMITATION HAPPENS WHEN TWO USERS HAVE ONLY RATED ONE ITEM IN COMMON AND ITS RATING IS EQUAL WITH THE MEAN ITEMS RATINGS BY USERS. THREE AND FOUR LIMITATION INCLUDE THE CONDITION OF ALL ITEMS THAT RATINGS AND MEAN RATINGS ARE EQUAL.

TO ADDRESS ABOVE LIMITATION AND PROPOSE A BETTER SIMILARITY MEASURE, WE DESIGN A NEW EQUATION FOR SIMILARITY MEASURE THAT PRESENT IN PREVIOUS SECTION. By using the new proposed measure the volume of useful information has been increased.

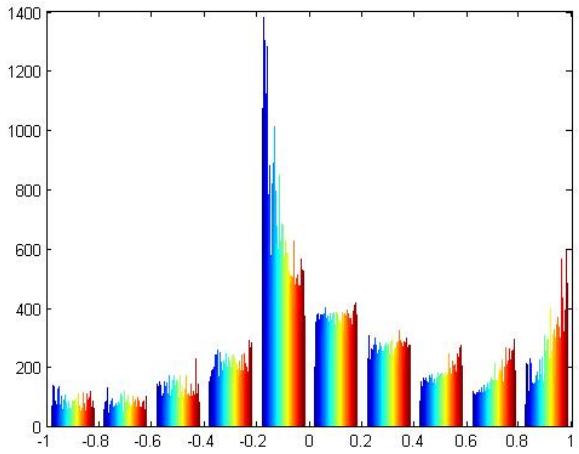


FIG.3. SIMILARITY FILM TRUST DATA SET BASED ON *pcc* and *newpcc*

FIG.3 SHOWS THE HISTOGRAM PLOT OF SIMILARITY MEASURE BASED ON TRADITIONAL *pcc* AND *newpcc* for similarity measure. Its result shows that using *newsim* to decrease *NAN* result for state all items has the same ratings with mean ratings. The result shows that it can be calculate the limitation of *pcc* and improve the correlation between users about 11.3%.

V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

At first using the review of papers related to Pearson correlation coefficient has a number of known limitations by other researchers in this paper were collected. Then according to the variance of the ratings is needed to calculate the PCC in the denominator of fraction; PCC does not exist for cases, this measure becomes zero. By considering this limitation, we have proposed a new modified version of PCC.

The result of applying PCC measure for Film Trust dataset demonstrated that PCC measure could not be calculated as a similarity measure for almost 30% of total dataset; but almost 11.3% of it can be calculated with the new measuring now. Therefore using the new proposed measure the volume of useful information has been increased potentially and it will be create a suitable platform for rising the recommender system.

In Future work, whereas mentioned the introduction has been a very comprehensive research to create a recommender system based on PCC similarity measure, this research creates the necessary of infrastructure to do more research in order to improve and enhance accuracy these systems too. Used the result of new similarity measure for by real dataset. recommender system and revise social CRM

REFERENCES

[1] S.K. Lee, Y.H. Cho and S.H. Kim, "Collaborative filtering with ordinal scale-based implicit ratings for mobile music recommendations," Information Sciences, 180 (11), pp: 2142–2155, 2010.

[2] K. Choi, D. Yoo, G. Kim and Y. Suh, "A hybrid online-product recommendation system: combining implicit rating-based Collaborative filtering and sequential pattern analysis," Electronic Commerce Research and Applications, 11(4), pp: 309-317, 2012.

[3] E.R. Núñez-Valdéz, J.M. Cueva-Lovelle, O. Sanjuán-Martı´nez, V. Garcı´ a-Dı az, P.Ordoñez and C.E. Montenegro-Marı´ n, "Implicit feedback techniques on recommender systems applied to electronic books," Computers in Human Behavior 28 (4) ,pp:1186–1193,2012.

[4] B. N. Miller, I.Albert, S.K.Lam, J.A. Konstan, and J. Riedl, "Movie Lens unplugged: Experiences with an occasionally connected recommender system,"In Proceedings of the 8th international conference on intelligent user interfaces, New York, pp: 263-266, 2003.

[5] Y. Koren, "Factorization meets the neighborhood: a multifaceted Collaborative filtering model," In Proceedings of the 14th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, pp: 426–434, 2008.

[6] J. Bobadilla, F. Ortega, A. Hernando, J. Bernal," A Collaborative filtering approach to mitigate the new user cold start problem", Knowledge Based System, 26,225–238, 2012.

[7] M. Khabbaz and L. V. S Lakshmanan."Top Recs: Top-k algorithms for item-based Collaborative filtering," In Proceedings of the 14th

International Conference on Extending Database Technology, pp: 213-224, 2011.

[8] J. Wang, A. P. deVries and M. J. T. Reinders, "Unifying user- based and item-based Collaborative filtering approaches by similarity fusion," 06 Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, 501-508, 2006.

[9] R. Jin, L. Si and C. Zhai," A study of mixture models for Collaborative filtering. Journal of Information Retrieval, "9(3), 357–382, 2006.

[10] J. B. Schafer, D. Frankowski, J. Herlocker, and S.Sen, "Collaborative filtering recommender systems," Lecture Notes in Computer Science, 4321,pp: 291–324, 2007.

[11] P. Resnick, N. Iacovou, M. Suchak, P. Bergstrom, J. Riedl, "GroupLens: an open architecture for collaborative filtering of netnews," in: Proceeding of the ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, pp. 175–186, 1994.

[12] Rajaraman, A., Leskovec, J., & Ullman, J. D. "Mining of massive datasets," Cambridge University Press, 2012.

[13] J.L. Herlocker, J.A. Konstan, A. Borchers, J. Riedl, "An algorithmic framework for performing collaborative filtering," in: Proceedings of the Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 230–237,1999.

[14] G. Xue, C. Lin, Q. Yang, W. Xi, H. Zeng, Y. Yu, Z. Chen, "Scalable collaborative filtering using cluster-based smoothing," in: Proceedings of the 28th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 114–121, 2005.

[15] G. Guo, J. Zhang, D. Thalmann, "Merging trust in collaborative filtering to alleviate data sparsity and cold start", Knowledge Based System. (KBS), 57 pp. 57–68, 2014.

[16] P. pirasteh, J. jung, D. Hwang," An Asymmetric Weighing Schema for Collaborative filtering," studies in computational intelligence, 572, 77-82, 2015.

[17] H.J. Ahn, "A new similarity measure for collaborative filtering to alleviate the new user cold-starting problem," Information Sciences. 178(1), 37–51, 2008.

[18] G. Adomavicius, A. Tuzhilin, "toward the next generation of recommender systems: a survey of the state-of-the-art and possible extensions," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 17 (6), 734–749, 2005.

[19] J. Bobadilla, F. Ortega, A. Hernando, "A Collaborative filtering similarity measure based on singularities," Information Processing and Management 48 (2), 204–217, 2012.

[20] D. Jannach, M. Zanker, A. Felfernig, G. Friedrich, "Recommender Systems: An Introduction," Cambridge, NY, 2010.

[21] J. Wang, A.P. Vries, M.J. Reinders, "Unified relevance models for rating prediction in Collaborative filtering," ACM Transactions in Information Systems (TOIS) 26 (3), 1–42, 2008.

[22] H.J. Ahn," A new similarity measure for Collaborative filtering to alleviate the new user cold-starting problem," Information Sciences. 178 (1), 37–51, 2008.

[23] Bobadilla, J., Ortega, F., Hernando, A., Guti´errez, A. Recommender Systems Survey. Knowledge-Based Systems 46, 109–132, 2013.

[24] Billsus, D. and M. Pazzani, "Learning Collaborative information filters," In International Conference on Machine Learning, Morgan Kaufmann Publishers, 1998.

[25] X. Su, T. M. Khoshgoftaar, X. Zhu, and R. Greiner, "Imputation-boosted collaborative filtering using machine learning classifiers," in Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC '08), pp. 949–950, 2008.

Attitude Estimation of an Accelerated Rigid Body with Sensor Fusion based-on Switching Extended Kalman Filter

Farid Edrisi
Department of Electrical Engineering
Tarbiat Modares University
Tehran, Iran
Email: Farid.edrisi@modares.ac.ir

Vahid Johari Majd
Department of Electrical Engineering
Tarbiat Modares University
Tehran, Iran
Email: majd@modares.ac.ir

***Abstract*—In this paper a new method is proposed for attitude estimation of an accelerated rigid body. The sensors are used consist of Inertial Measurement Unit (a 3-axis gyroscope with uncompensated bias and a 3-axis accelerometer) and a 3-axis magnetometer. To improve the accuracy of attitude estimation an extended Kalman filter (EKF) with a switching rule is used to fuse the sensory information. In practical applications, under the external acceleration, the output of accelerometer is not reliable due to its sensivity to vibration and non-separability the dynamic acceleration and gravity. To overcome this problem a switching rule is designed based on acceleration detection. If external acceleration is detected in rigid body movement, only magnetometer outputs will be used in EKF equations; otherwise, both of the accelerometer and magnetometer outputs will be employed. Through numerical simulations, the efficiency of the proposed method is illustrated under external acceleration.**

Keywords—Attitude estimation; IMU; magnetometer; uncompensated gyroscope bias; extended kalman filter; switching rule;

INTRODUCTION

Attitude estimation is the determination of the three dimensional orientation of a rigid body, from non-ideal sensors. It is a fundamental task and a crucial problem in a wide range of applications including mobile applications such as detection of unconstrained walking [1], pedestrian localization [2], indoor navigation [3], human body trackers [4] and setpoint tracking of robot manipulators [5].

For orientation (attitude) determination, there is no sensor that measures it directly. The earliest attempts to estimate the attitude may go back to the time when mechanical gyroscopes were used in an integration process in which the knowledge of an initial attitude would be sufficient in finding the attitude in any other time. Gyroscope is a good sensor to measure the angular rate but due to integration process to find the total change from the initial condition, any error such as uncompensated bias will cause an enormous error in attitude representation in long time. However, with the advances in electronic devices, micro electro mechanical systems (MEMS) have replaced those previous measurement devices. These components have provided low cost and light weight Inertial Measurement Units (IMUs) for both industrial and research applications. The use of body vector measurements sensors such as accelerometers and magnetometers have allowed researchers to design better attitude estimation algorithms.

Probably one of the first and yet most influential works in the attitude estimation field was a mathematical problem proposed by Wahba in [6]. The problem consists in finding the optimal attitude rotation matrix provided that a number of vectorial measurements are available. Several attempts to solve this problem resulted in the development of fast estimation methods, such as the Singular Value Decomposition (SVD) in [7], Quaternion Estimation (QUEST), and Filter QUEST. Various solutions to the Wahba's problem are categorized as a class of attitude estimators known as deterministic attitude estimators. Such assumption is not valid where significant external accelerations can be observed. In such cases, it becomes difficult to retrieve the attitude with high accuracy since it is not straightforward to dissociate external accelerations and the gravity.

Another class of attitude estimators, combines sensors outputs such as gyroscopes, accelerometers, and magnetometers, consists of classical filtering methods using either Kalman filters [8], and the nonlinear forms of kalman filters known as Extended Kalman Filters (EKFs) [9], the Unscented Kalman Filtering (UKF) [10] or nonlinear observers [11].

As noted in [12], two underlying concepts behind the inertial sensing-based attitude estimation problem are:

1) The accelerometer measurement can provide the fixed vertical reference, which is the gravitational acceleration. Note that the accelerometer signal is dominated by gravity only during static or quasi-static conditions.

2) The angular velocity from the gyroscope can be integrated to obtain the orientation or the attitude.

However, these concepts are faced with the two signal processing difficulties. First, during dynamic conditions, the accelerometer is sensitive to not only gravity but also the external acceleration of the body that the sensor is attached to. Therefore, the accelerometer signal is the summation of the gravitational acceleration and the external acceleration. However, since the accelerometer reading is inherently expressed with respect to the sensor reference frame, the gravity component with respect to the sensor frame changes according to the changes in the sensor orientation. Thus, one cannot distinguish the gravitational acceleration from the external acceleration. Also in dynamic conditions, the vibration of body is increased. Due to destructive effect of vibration on accelerometer output, it is not suitable to use accelerometer output in observer equations.

Second, when the gyroscope signal is integrated, its measurement errors (bias and noise) are also integrated and cause boundless orientation drift errors [12]. Therefore the error of gyroscope output is increased over the time and that's output will be useless.

To overcome these problems in this paper a magnetometer sensor along with accelerometer is used in measurement model. Also a switching rule is embedded in EKF equations to remove the accelerometer output from filter in dynamic conditions. In this condition magnetometer is used as aiding system. The purpose of this paper is proper data fusion of sensors to attain a drift free attitude estimation in presence of gyroscope bias and external acceleration.

This paper is organized as follows: In section II the state space model consist of linear process model and nonlinear measurement model are discussed. In section III, the binary switching rule based on accelerometer output is investigated to detect accelerated motion. Observer designing and stability of it examined in section IV. The efficiency of the proposed algorithm is illustrated with simulations in section V. The paper finally concludes in section VI.

STATE SPACE MODEL

Consider a rigid body moving in inertial space. The body is undergoing both rotations and translations and our aim is to, given a 3-axis rate gyroscope, a 3-axis accelerometer and a 3-axis magnetometer, estimate attitude. Now an important question arises and that is what representation is used to attitude exhibition. Usually it is better that state space equation is expressed in a manner that have numerical superiority such as quaternion and attitude representation is expressed in a method that have physical concept superiority such as Euler angles. For this reason in this paper quaternion is used to representation angular motions of rigid body.

There are two main frames used in this work. The inertial frame, denoted by $\imath$, is fixed in inertial space that vertical axis aligned with the gravitational vector. The effects due to the rotation of the earth are considered negligible in this work. The body frame, denoted by *b,* is attached to the body of accelerated rigid body. Transformation from b-frame to $\imath$ -frame is simply obtained by [13]:

$$ {}^{I}_{B}R = \begin{bmatrix} 1-2(q_2^2+q_3^2) & 2(q_1q_2-q_0q_3) & 2(q_1q_3+q_0q_2) \\ 2(q_2q_1+q_0q_3) & 1-2(q_1^2+q_3^2) & 2(q_2q_3-q_0q_1) \\ 2(q_3q_1-q_0q_2) & 2(q_3q_2-q_0q_1) & 1-2(q_1^2+q_2^2) \end{bmatrix} \quad (1) $$

where $q = [q_0 \ q_1 \ q_2 \ q_3]^T$ is the quaternion.

The values of quaternion are defined as:

$$ q_0^2 + q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 = 1 \quad (2) $$

To obtain the Euler angles from quaternion, equation (3) could be used [14]:

$$ \begin{bmatrix} \varphi \\ \theta \\ \Psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} atan2\,(2(q_0q_1+q_2q_3), 1-2(q_1^2+q_2^2)) \\ \arcsin(2(q_0q_2-q_3q_1)) \\ atan2\,(2(q_0q_3+q_2q_1), 1-2(q_2^2+q_3^2)) \end{bmatrix} \quad (3) $$

where φ, θ, Ψ are the roll, pitch and yaw angles.

Process model

The dynamic of the system is described by the following equation in continues space [13]:

$$ \dot{q}(t) = \frac{1}{2}\Omega(\omega_{meas})q(t) \quad (4) $$

where q is the quaternion and matrix $\Omega(\omega_{meas})$ is defined as:

$$ \Omega(\omega_{meas}) = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{meas}^T \\ \omega_{meas} & S(\omega_{meas}) \end{bmatrix} \quad (5) $$

where $\omega_{meas} = [\omega_{x,meas} \ \omega_{y,meas} \ \omega_{z,meas}]^T$ is the measured angular rate via gyroscope and involve ideal angular rate, ω, in addition to uncompensated bias and white Gaussian noise:

$$ \omega_{meas} = \omega + b_\omega + n_\omega \quad (6) $$

where $b_\omega, n_\omega \in \Re^3$ are the bias error and noise.

Also matrix $S(\omega_{meas})$ is defined as:

$$ S(\omega_{meas}) = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{z,meas} & \omega_{y,meas} \\ \omega_{z,meas} & 0 & -\omega_{x,meas} \\ -\omega_{y,meas} & \omega_{x,meas} & 0 \end{bmatrix} \quad (7) $$

Measurement model

The measurement model consist of three-axis an accelerometer and a magnetometer sensors outputs:

$$ y(t) = [a_{meas} \ \ m_{meas}]^T \quad (8) $$

where $a_{meas} = [a_{x,meas} \ a_{y,meas} \ a_{z,meas}]^T$ is the output of accelerometer sensor expressed in body frame. It consist of gravity vector in addition to external acceleration of the body. For notational simplicity define $a_{meas} \coloneqq {}^{a_{meas}}/_{g}$, $G \coloneqq {}^{G}/_{g}$ and $a_{ext} \coloneqq {}^{a_{ext}}/_{g}$ where g=9.81m/s^2 :

$$ a_{meas} = {}^{I}_{B}R^T(a_{ext} - G) \quad (9) $$

where $G = [0 \ 0 \ 1]^T$ denotes the gravity vector. ${}^{I}_{B}R$ is the transformation matrix and $a_{ext} = [a_{x,ext} \ a_{y,ext} \ a_{z,ext}]^T$ is a 3×1 vector that represent the external acceleration. $m_{meas} = [m_{x,meas} \ m_{y,meas} \ m_{z,meas}]^T$ is the output of magnetometer sensor expressed in body frame.

$$ m_{meas} = {}^{I}_{B}R^T m \quad (10) $$

where m is a 3×1 vector that represent Earth's magnetic field [15].

The state space model of system in continuous form is:

$$ \dot{q}(t) = \frac{1}{2}\Omega(\omega_{meas})q(t) + w \quad (11) $$

$$ y(t) = [a_{meas} \ \ m_{meas}]^T + v \quad (12) $$

where $q \in \Re^4$ is the states of system, $w \in \Re^4$ is the process white Gaussian noise with zero mean and

covariance matrix Q. $y \in \Re^6$ is the output of system and $v = [v_1 \; v_2]^T \in \Re^6$ is the measurement white Gaussian noise with zero mean and covariance matrices $R = [R_1 \; R_2]^T$. v_1 and v_2 are the accelerometer and magnetometer noises with matrices covariance R_1 and R_2.

In general , the discrete form can be found as follows:

$$q_k = f(q_{k-1}) + w_{k-1}$$

$$y_k = [y_{1k} \; y_{2k}]^T = h(q_k) + v(k)$$

$$= [h_1(q_k) \; h_2(q_k)]^T + [v_{1k} \; v_{2k}]^T \qquad (13)$$

where index 1 and 2 are related to accelerometer and magnetometer sensors.

SWITCHING RULE

As mentioned in the previous section, measurement model consist of accelerometer and magnetometer signals. In low or non-external acceleration both of the sensors have reliable output. But the problem is made when the external acceleration enters to the body. In this case, accelerometer output is corrupted and unreliable due to its sensitivity to vibration. Also in accelerated motions, dynamic acceleration of rigid body and gravity could not be separated together. In other words, the accelerometer sensor is a bad attitude sensor in practical application when the body is accelerated [8]. In this section an approach is investigated to the problem that is based on a switching architecture consisting of two modes, one for low accelerations and one for high.

In order to detect acceleration or rather non acceleration, the output of accelerometer sensor is used. According to the accelerometer output that is given in (9), in low or non external acceleration ($a_{ext} = 0$):

$$a_{meas} = {}^{I}_{B}R^T G = {}^{I}_{B}R^T_3 \qquad (14)$$

where ${}^{I}_{B}R^T_3$ is the third column of ${}^{I}_{B}R^T$.norm of $a_{meas}(t)$ is:

$$\|a_{meas}(t)\|^2 = 1 \qquad (15)$$

or

$$\sigma(t) = \|a_{meas}(t)\|^2 \quad 1 = 0 \qquad (16)$$

So when external acceleration is zero, accelerometer output is moving on a sphere of radius 1. It could be resulted that a necessary condition for acceleration free movements is equation (15) or (16).

It is then crucial to understand what kind of non-zero accelerations will result in the output $\|a_{meas}(t)\|^2 = 1$. According to (9) :

$$1 = \|a_{meas}(t)\|^2 = \left({}^{I}_{B}R^T(a_{ext} - G)\right)^T \left({}^{I}_{B}R^T(a_{ext} - G)\right) \qquad (17)$$

where $a_{ext} = [a_{x,ext} \; a_{y,ext} \; a_{z,ext}]^T$. By solving the (17), the following condition for false alarm is obtained as:

$$1 = a_{x,ext}{}^2 + a_{y,ext}{}^2 + (a_{z,ext} - 1)^2 \qquad (18)$$

The accelerations that might cause false alarms are those that satisfy (18) and therefore live on a sphere. It is quite clear that acceleration trajectories that move on this sphere are very rare. However, not only those acceleration trajectories that evolve on the sphere will produce false triggers, also those that pass through it will [8]. To overcome this problem, the time threshold ,T_0, should be chosen so that satisfying $\|a_{meas}(\tau)\| = 1$ is highly unlikely for acceleration trajectory in accelerated motion. Consequently, the switching rule with binary output is designed as:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & if\ c(\tau) = \|\|a_{meas}(\tau)\| - 1\| < \varepsilon \;\; \forall \tau \in (t - T_0, t) \\ 1 & otherwise \end{cases} \qquad (19)$$

where ε is the small positive constant that was chosen as three standard deviations of the accelerometer noise and T_0 is the time threshold.

Equation (19) states that if the rigid body move with low or non acceleration the $\delta(t)$ will be zero, otherwise (accelerated motion) it will be 1.

OBSERVER DESIGN

Extended kalman filter with switching rule

The Extended Kalman Filter simply relies on the model linearization, and uses the obtain Jacobian matrices in the Kalman filter. Considering the nonlinear discrete system (13) and switching rule (19), the extended kalman filter with switching rule for discrete system can be rewritten as follows:

$$\hat{q}_{k|k-1} = f(\hat{q}_{k-1|k-1}) \qquad (20)$$

$$P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_k \qquad (21)$$

$$e_k = (1 - \delta(k))\left(y_k - h(\hat{x}_{k|k-1})\right) + \delta(k)\left(y_{2k} - h_2(\hat{x}_{k|k-1})\right) \qquad (22)$$

$$K_k = (1-\delta(k))P_{k|k-1}H_k^T\left(H_kP_{k|k-1}H_k^T+R_k\right)^{-1} + \delta(k)P_{k|k-1}H_{2k}^T\left(H_{2k}P_{k|k-1}H_{2k}^T+R_{2k}\right)^{-1} \quad (23)$$

$$\hat{q}_{k|k} = q_{k|k-1} + K_k e_k \quad (24)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k[(1-\delta(k))H_k + \delta(k)H_{2k}])P_{k|k-1} \quad (25)$$

The filter design is performed in two steps: predict and update. Equations (20) and (21) provide the predicted state and covariance estimates and (22)-(25) are related to update step. These equations provides innovation or measurement residual, near-optimal kalman gain, updated state estimate and updated covariance estimate. F_k , H_k, H_{2k} matrices are defined to be the following Jacobians:

$$F_k = \frac{\partial f}{\partial x}|_{\hat{q}_{k-1|k-1}} \quad (26)$$

$$H_k = \frac{\partial h}{\partial x}|_{\hat{q}_{k|k-1}} \quad (27)$$

$$H_{2k} = \frac{\partial h_2}{\partial x}|_{\hat{q}_{k|k-1}} \quad (28)$$

The switching binary output is embedded in (22)-(25) equations so that when its value is zero (free acceleration), both of accelerometer and magnetometer outputs are utilized in EKF equations. And when the value of $\delta(t)$ in (19) is one (accelerated motion), only magnetometer output employed in EKF.

Stability of observer

If the system model upon which the extended Kalman filter is based is stochastically observable and stochastically controllable, then the filter is uniformly asymptotically globally stable , that is, the estimation errors go to zero. The covariance matrix of w_{k-1} in (13) is a tuning parameter and it can be taken as a diagonal matrix with non-zero entries. Then each state can be independently controlled and the system can easily be shown to be stochastically controllable [8]. As to observability, the system specified in equation (13) is stochastically observable if there exists a finite time t_N such that the state covariance matrix is bounded or less than a predefined threshold value, T_v, in the sense that [16]:

$$\sigma_{max}(P_k) \ll T_v \qquad t_k \geq t_N \quad (29)$$

where T_v , $t_N < \infty$ and σ_{max} refers to the largest singular value of the matrix (·).

SIMULATING RESULTS

In this section the performance of the designed filter is illustrated under external acceleration and uncompensated gyroscope bias error. The simulations have been run for 70 seconds and sample time is T=0.01 seconds. The switching rule (19) is shown in figure (1). In this figure the upper diagram is $c(\tau)$ that is defined in (19). The value of $\delta(t)$ (lower diagram of figure (1)) specified proportional with $c(\tau)$. After 8 seconds free acceleration movement, external acceleration in various magnitude enters to the system over 20 seconds and this sequence is repeated in next times. As seen from this figure, external acceleration well detected and proportional to it the $\delta(t)$ is generated. Therefore when the motion is free acceleration, value of $\delta(t)$ is zero and filter equations consist of accelerometer and magnetometer outputs. On other hand when the motion is accelerated the value of $\delta(t)$ is one, and filter equations are made of magnetometer outputs. In (19) the parameters is set to T_0=0.3 seconds that involve 30 samples and $\varepsilon = 0.04$.

Figure (2) shows the observer output (quaternion estimation) (red) and ideal quaternion (blue). The uncompensated bias of gyroscope in (6) is b_ω =[0.02 0.02 0.02]^T and covariance matrices are chosen $Q = 10^{-8}I_{4\times4}$ and $R_1 = R_2 = 10^{-1}I_{3\times3}$ in simulation. To demonstrate the stability of the filter as noted in previous section the filter should be stochastically observable and stochastically controllable. Stochastic controllability of the system could be guaranteed with the covariance matrix of w_{k-1} (Q), but to stochastic observability of the system, equation (29) must be satisfied. As seen in figure (3), $\sigma_{max}(P_k)$ for all times smaller than 1.2. Therefore (29) is satisfied by considering $T_v = 1.2$.

The reference Euler angles (roll, pitch and yaw) which is should be tracked by letting the output of observer in (3) is

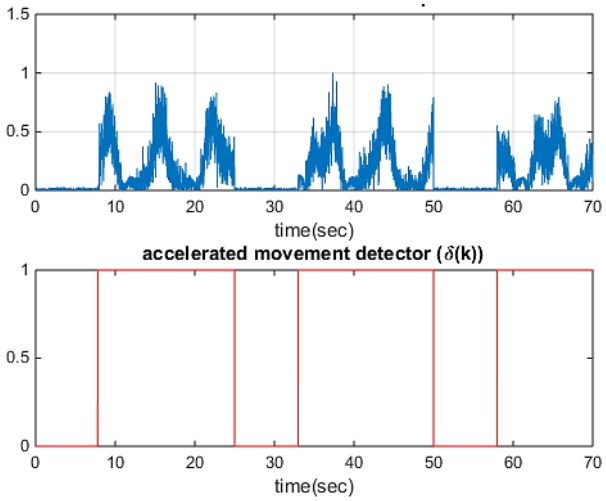


Fig.1: switching rule. $\sigma(\tau)$ is blue figure and $\hat{\sigma}(\tau)$ is the red figurre.

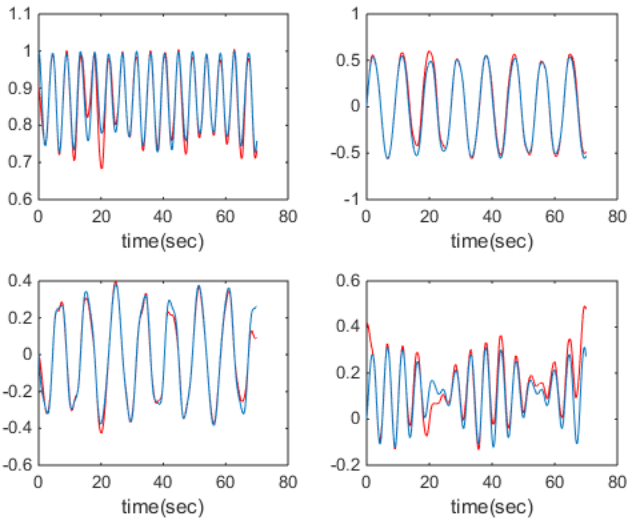


Fig.2:Estimations of quaternion (red) and ideal quaternion (blue).

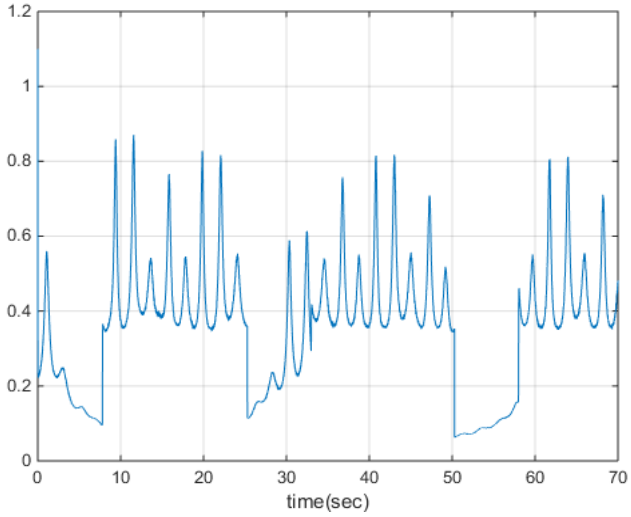


Fig.3: largest singular value of the state covariance matrix.

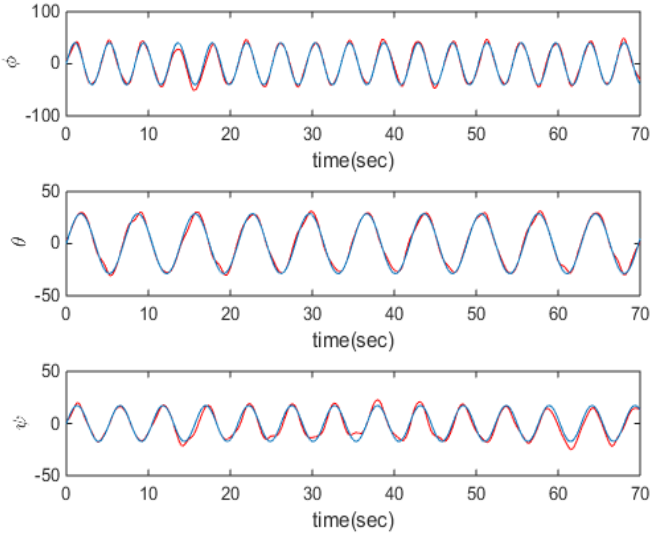


Fig.4: estimated (red) and true (blue) Euler angles. First diagram is roll angle, second is pitch and third is yaw angles.

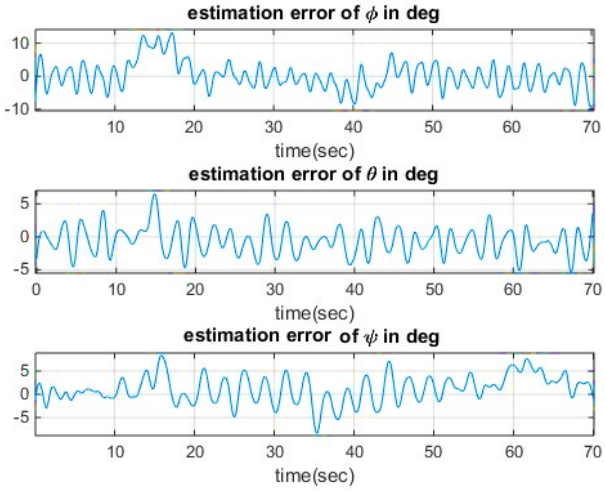


Fig.5: Estimation error of Euler angles in degree.

shown in figure (4) (blue). The red line in this figure shows the estimated Euler angles. As seen, the reference angles is tracked with reasonable accuracy. In figure (5), estimation error of Euler angles is shown.

To demonstrate the efficiency of the proposed algorithm, the estimated Euler angles and their errors displayed in figures (6) and (7) when the extended kalman filter is used without switching rule. In this case both of accelerometer and magnetometer are used in filter equations. As seen, when the motion is accelerated the error was increased due to unreliable accelerometer output.

CONCLUSIONS

In this paper, an attitude estimation algorithm has been proposed to use in practical application. In this algorithm a 3-axis gyroscope with uncompensated bias, a 3-axis accelerometer and a 3-axis magnetometer sensors were used by data fusion method for accurate attitude estimation. In accelerated motions of rigid body, the accelerometer output

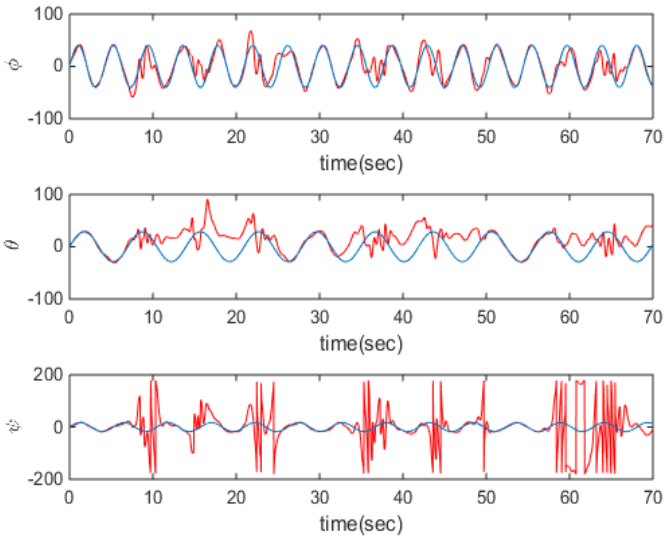


Fig.6: estimated (red) and true (blue) Euler angles without switching rule in EKF equation.

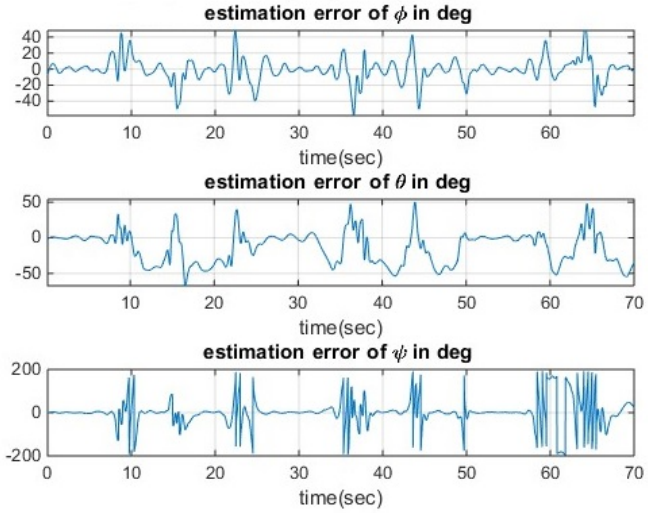


Fig.7: Estimation error of Euler angles in degree without switching rule in EKF equation.

be corrupted which increases the error of estimation. On the other hand bias error in gyroscope output makes it impossible to use in attitude estimation over long time. To overcome this problem, a switching rule with binary output was used and embedded in the EKF equations. Therefore filter works in two modes, non or low acceleration mode and high acceleration mode. These modes are detected by accelerometer output. When external acceleration was detected, output of the accelerometer is removed from the filter equations, and when the motion was detected as free acceleration, both of sensors equations will be used in the filter equations. Finally we have reasonable attitude estimation under external acceleration and uncompensated bias of gyroscope without modelling them. Future works will focus on a better way of using accelerometer output and estimate gyroscope bias to improve the attitude estimation and on experimental evaluation of the proposed schemes.

(1) REFERENCES

[1] J.-K. Lee and E. J. Park, "Quasi real-time gait event detection using shank-attached gyroscopes." Med. Biol. Engineering and Computing, vol. 49, no. 6, pp. 707–712, 2011.

[2] D. Roetenberg, P. J. Slycke, and P. H. Veltink, "Ambulatory position and orientation tracking fusing magnetic and inertial sensing," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 54, no. 5, pp. 883–890, 2007.

[3] E. Bachmann, I. Duman, U. Y. Usta, R. Mcghee, X. Yun, and M. Zyda,"Orientation tracking for humans and robots using inertial sensors,"in Computational Intelligence in Robotics and Automation, 1999, pp.187–194.

[4] E. Foxlin, "Inertial head-tracker sensor fusion by a complimentary separate-bias kalman filter," in Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1996, pp. 185–194.

[5] Shafiei, S. E., and S. Sepasi. "Incorporating sliding mode and Fuzzy controller with bounded torques for set–point tracking of robot manipulators." Electronics and Electrical Engineering.–Kaunas: Technologija 8 (2010): 104.

[6] G. Wahba, "A least squares estimate of satellite attitude," SIAM Review, vol. 7, no. 3, Jul. 1965.

[7] Markley, F. L. (1988). Attitude determination using vector observations and the Singular Value Decomposition. Journal of the Astronautical Sciences,36(3):245–258.

[8] H.Rehbindera,Xiaoming Hu,"Drift-free attitude estimation for accelerated rigid bodies", Automatica, Volume 40, Issue 4, Pages 653–659,(2004).

[9] S. Bonnabel, "Left-invariant extended kalman filter and attitude estimation," in 46th IEEE Conference on Decision and Control, 2007, pp. 1027–1032.

[10] VanDyke, M., Schwartz, J. L., and Hall, C. D. (2004). Unscented Kalman filtering for spacecraft attitude state and parameter estimation. Aerospace, 115:1–13.S.

[11] H. Fourati, N. Manamanni, L. Afilal, and Y. Handrich,"Complementary Observer for Body Segments Motion Capturing by Inertial and Magnetic Sensors," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 19, no. 1, pp. 149–157, Feb. 2014.

[12] Lee, Jung Keun, Edward J. Park, and Stephen N. Robinovitch. "Estimation of attitude and external acceleration using inertial sensor measurement during various dynamic conditions." Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on 61.8 (2012): 2262-2273.

[13] Kim, Anthony, and M. F. Golnaraghi. "A quaternion-based orientation estimation algorithm using an inertial measurement unit." Position Location and Navigation Symposium, 2004. PLANS 2004. IEEE, 2004.

[14] Diebel, James. "Representing attitude: Euler angles, unit quaternions, and rotation vectors." Matrix 58 (2006): 15-16.

[15] Aida, Makni, Hassen Fourati, and Alain Y. Kibangou. "Adaptive Kalman Filter for MEMS-IMU based Attitude Estimation under External Acceleration and Parsimonious use of Gyroscopes." European Control Conference ECC. 2014.

[16] Bageshwar, V. L., Gebre-Egziabher, D., Garrard, W. L., & Georgiou, T. T. (2009). Stochastic observability test for discrete-time Kalman filters. Journal of guidance, control, and dynamics, 32(4), 1356-1370.

Adaptive Fuzzy-PD Controller for 3D Walking of Biped Robots

Malihe Talebi
Department Electrical Engineering Department
Iran university of Science and Technology
malihe_talebi@iust.ac.ir
Iran, Tehran

Mohammad Farrokhi
Electrical Engineering
Iran university of Sceince and Technology
Iran, Tehran farrokhi@iust.ac.ir

***Abstract*— This paper proposes a control method for walking of biped robots in three dimensions, while most papers consider only walking in the sagittal plane and consider the frontal stabilization issues. The proposed method employs an adaptive fuzzy-PD control scheme to show the validity of the proposed model. Simulating results show good performance of the model and the control method as compared with recently proposed method in literature.**

Keywords*— biped robots, modeling, 3D walking , fuzzy-PD control

INTRODUCTION

During the last two decades, walking robots have been considered by many researchers as a challenging problem in the robotics area. This is mainly due to the advantages at walking that other robots (like wheeled robots) cannot perform. Legged robots can walk in unknown, irregular, rough, and sloppy terrains. They can cross over obstacles or pass through ditches, go up and down the stairs whereas wheeled robots are not able to do these tasks.

Vundavilli and Pratihar have used three different methods, namely fuzzy logic, neural networks, and analytical to generate the desired path and dynamically balance gaits for ditch crossing of a seven degree of freedom (DOF) biped robot in 3D walking [1].

Passive dynamic-based walking (PDBW) in 3D has been employed by Lou and Xu [2], where the authors have used a hybrid control method to generate the gaits from a two-point-foot walking pattern in the sagittal plane as well as the frontal plane.

In [3], the frontal plane balance control of a biped robot has been studied based on the balance strategy of the human body.

Zhou and Meng have used fuzzy systems for controlling of the biped robots [4]. Neural networks are utilized for adapting and increasing the motion velocity. The robot moves in both the sagittal plane as well as the frontal plane with good velocity. The zero moment point (ZMP) stability criterion is used to ensure the stability of the robot. Moreover, two fuzzy reinforcement learning (FRL) methods are employed to track the length and width coordinates of the ZMP.

Chevallereau *et al.* have present three feedback controllers to achieve asymptotically stable, periodic, and fast walking gait for a 3D bipedal robot [5]. The studied robot has eight DOF and six actuators.

In [6], Park *et al.* have proposed a balance control algorithm based on the fuzzy controller using 3D geometric information obtained from the sequential image. They fixed a camera on the head of the biped robot and obtained the pose information of the target during walking. For generating a stable walking pattern, the authors have used the ZMP trajectory.

In [7], Wang *et al.* have presented a three-decomposition control algorithm for controlling the 3D biped walking with a dynamic balance. The three-composition control means controlling the body orientation, the body height and the body velocity. The biped robot has six joints and every joint has an actuator. Every leg has one pitch joint in the knee and two rotational joints in the hip for the frontal and sagittal swings, respectively.

Zhou have designed a reinforcement learning-based neuro-fuzzy gait using the generalized approximate reasoning for intelligent control (GARIC) to ensure the dynamic balance of a five-link biped robot [8].

Ramazani *et al.* have developed feedback controller for walking in 3D with energy efficiency. They have designed a new 3D biped robot, named ATRIAS 2.1, for the study of walking. This robot has six actuators and

thirteen degree of freedom in the single support phase (SSP) [9].

The studied biped robot in [10] has 3DOF with only one actuator; the hip joint has a constraint mechanism to lock the angle. The authors have employed the Poincaré shooting method, in which a limit cycle on the level ground in obtained that is used as the reference trajectory. The discrete-time linear quadratic regulator (DLQR) is employed to solve the stabilization problem.

Sato *et al.* have proposed a real-time walking trajectory generation method at constant body height in the SSP for 3D biped robot. This robot has 4-DOF in the frontal plane and 6-DOF in the sagittal plane. Each joint has an actuator. The PD controller and the disturbance observer are used for controlling and observing the disturbances [11].

It should be mentioned that most papers consider only walking of the biped robots in the sagittal plane. References [7] and [10] have controlled the biped robots in 3D. However, they have considered an underactuated robot. In some other references, authors employ reduce-order control method, where the DOF of the robot has been reduced for the ease of controlling problem [12]. On the other hand, in this manuscript, a ten-DOF biped robot has been developed and controlled with dynamic walking and good stability. For controlling, an adaptive fuzzy-PD control method is used for stable walking of the robot in 3D. The gaits and the desired path are generated using the ZMP stability criterion. The proposed method is simple and at the same time is very effective and robust against changes in the system parameters. Moreover, the proposed method has good robustness against measurement noises.

This paper is organized as follows. In Section 2, the dynamic model of the robot is presented. The 3D walking generation is presented in Section 3. The structure of the Fuzzy-PD controller is given in Section 4. Section 5 shows the simulation results followed by conclusions in Section 6.

DYNAMIC BIPED ROBOT

The schematic diagram of the biped robot that is modeled in this paper is shown in Fig. 1. It walks in 3D; i.e., it can walk in the sagittal plane (the *x*-*z* coordinates) as well as in the frontal plane (the *y*-*z* coordinates). In the sagittal plane, the robot has six DOF. On the other hand, in the frontal plane, the robot has four DOF. One step comprises of three phases: 1) double support phase (DSP), 2) single support phase (SSP), and 3) impact. The DSP happens when both legs are on the ground. On the other hand, the SSP occurs when just one leg is on the ground. The SSP impact is after the SSP when the tip of the swinging leg contacts the ground. The DSP and SSP have different dynamics; hence, they must be considered separately.

Single Support Phase

The dynamic of SSP can be written as [13]

$$\begin{aligned}\mathbf{D}(\boldsymbol{\theta})\ddot{\boldsymbol{\theta}}+\mathbf{H}(\boldsymbol{\theta},\dot{\boldsymbol{\theta}})\dot{\boldsymbol{\theta}}+\mathbf{G}(\boldsymbol{\theta})=\boldsymbol{\tau}_{\theta}+\mathbf{J}_{ar}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{ar}+\mathbf{J}_{br}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{br}\\+\mathbf{J}_{cr}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{cr}+\mathbf{J}_{dr}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{dr}\end{aligned} \quad (1)$$

where $\mathbf{D}_{10\times10}$, $\mathbf{H}_{10\times1}$, $\mathbf{G}_{10\times1}$, $\mathbf{F}_{\mathrm{ar}(3\times1)}$, $\mathbf{J}^{T}_{\mathrm{ar}(10\times3)}$ and $\boldsymbol{\tau}_{\boldsymbol{\theta}(10\times1)}$ are the inertia matrix, the vector of centripetal and coriolis forces, the gravity vector, the force applied to the right foot at the point a, the Jacobian matrix, and the vector of joint torques, respectively, and $\boldsymbol{\theta}$ is the vector of joints position.

Double Support Phase

The dynamic of the DSP can be presented as [13]

$$\begin{aligned}\mathbf{D}(\boldsymbol{\theta})\ddot{\boldsymbol{\theta}}+\mathbf{H}(\boldsymbol{\theta},\dot{\boldsymbol{\theta}})\dot{\boldsymbol{\theta}}+\mathbf{G}(\boldsymbol{\theta})=\boldsymbol{\tau}_{\theta}+\mathbf{J}_{ar}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{ar}+\mathbf{J}_{br}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{br}+\mathbf{J}_{cr}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{cr}\\+\mathbf{J}_{dr}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{dr}+\mathbf{J}_{al}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{al}+\mathbf{J}_{bl}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{bl}+\mathbf{J}_{cl}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{cl}+\mathbf{J}_{dl}^{T}(\boldsymbol{\theta})\mathbf{F}_{dl}\end{aligned} \quad (2)$$

where $\mathbf{J}^{T}_{\mathrm{al}(10\times3)}$ and $\mathbf{F}_{al}$ are the Jacobian matrix and force applied to the left foot at point a, respectively.

Impact

At the end of the SSP, the robot lands its swinging leg. At this moment, a sudden impact between the

ground and the tip of the foot occurs. This impact affects the angular velocity. If the impact is large, the angular position and velocity may incur large changes to the robot position and hence, causing instability. Therefore, the control method should produce as little impact as possible. The angular velocity immediately after the contact is [13]

$$\dot{\boldsymbol{\theta}}^{+}_{\mathbf{impact}} = \dot{\boldsymbol{\theta}}^{-} + \mathbf{D}^{-1}\mathbf{J}^{\mathrm{T}}(\mathbf{J}\mathbf{D}^{-1}\mathbf{J}^{\mathrm{T}})^{-1}(-\mathbf{J}\dot{\boldsymbol{\theta}}^{-}) \quad (3)$$

where $\dot{\boldsymbol{\theta}}^{-}$ is the angular velocity right before the impact.

3D WALKING GENERATION

For the robot's walking, the first step is to design the trajectory of motion. In this paper, the three-dimensional linear inverted pendulum mode (3D-LIPM) in used for the trajectory generation of the SSP and a third-order polynomial function is employed for the DSP.

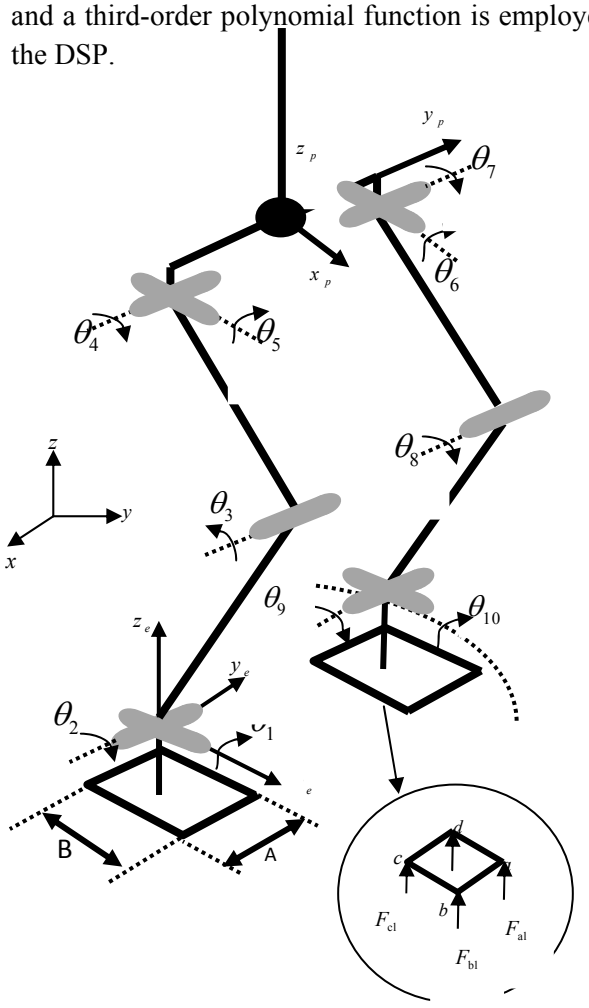


Fig. 1. Schematic diagram of ten-DOF biped robot.

Trajectory generation in SSP

When the biped robot is in the SSP, the trajectory is designed based on the 3D-LIPM. In this method, the motion is constrained to an arbitrarily-define plane. The trajectory must be designed separately for the sagittal (*x*-*z*) plane and the frontal (*y*-*z*) plane [14, 15].

Fig. 2 shows a 3D inverted pendulum. The position of the point mass is $p=(x_p, y_p, z_p)$ and the state variables are $q=(\theta_r, \theta_p, r)$.

Using the 3D inverted pendulum, the equation of motion in the frontal plane and in the y_{ca} direction is [14]

$$\ddot{y}_p = \frac{g}{z_c} y_p \quad (4)$$

where g is the gravity acceleration and z_c is the distance from the foot to the center of mass (COM) of the robot that is constant.

According to [13], the trajectory for the SSP with the initial condition $(y_i, \dot{y}_i)$ at time t_i can be calculated as

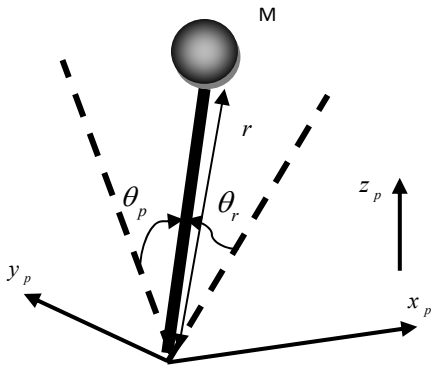


Fig. 2. 3D inverted pendulum

$$y_p(t) = y_i \cosh\left(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c}\right) + T_c \dot{y}_i \sinh\left(\frac{T_{ssp}}{T_c}\right)$$
$$\dot{y}_p(t) = \frac{y_i}{T_c}\sinh\left(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c}\right) + \dot{y}_i \cosh\left(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c}\right) \quad (5)$$

where $T_c \equiv \sqrt{z_c/g}$ and T_{sp} is the time duration for one step at the SSP phase.

Fig. 3 shows an ideal stepping motion of the robot in y_p direction and β is the point where the velocity is zero.

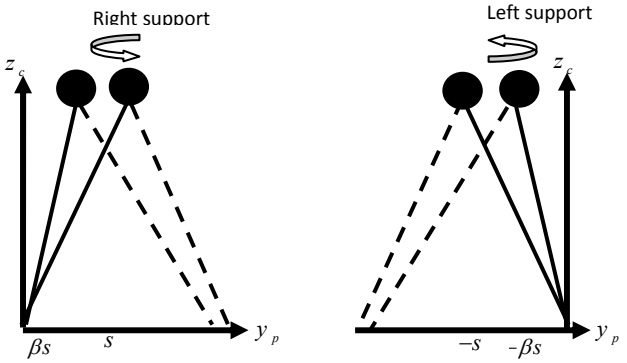


Fig 3. Motion in y_p direction

According to the 3D inverted pendulum (Fig. 2), the equation of motion in the sagittal plane and in x_{ca} direction is [14]

$$\ddot{x}_p = \frac{g}{z_c} x_p \quad (6)$$

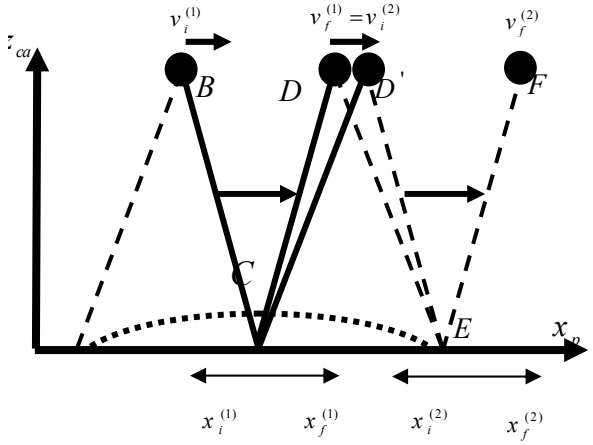
Assuming the initial state as $(x_i^{(n)}, v_i^{(n)})$, the final state of the body $(x_f^{(n)}, v_f^{(n)})$ can be written as [14]

$$x_f^{(n)}(t) = x_i^{(n)} \cosh(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c}) + T_c v_i^{(n)} \sinh(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c})$$
$$v_f^{(n)}(t) = v_i^{(n)} \cosh(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c}) + \frac{1}{T_c} v_i^{(n)} \sinh(\frac{T_{\text{ssp}}}{T_c}) \quad (7)$$

Fig. 4 shows two steps in the sagittal plane (x_p direction). Assuming $x_f^{(n)} = f(x_0, v_0)$ and $v_f^{(n)} = g(x_0, v_0)$, the cost function can be defined as follows:

$$J = \frac{1}{2}a_n\left(x_f^{(n)} - x_d\right)^2 + \frac{1}{2}b_n\left(v_f^{(n)} - v_d\right)^2$$
$$= \frac{1}{2}a_n\left(f(x_0, v_0) - x_d\right)^2 + \frac{1}{2}b_n\left(g(x_0, v_0) - v_d\right)^2 \quad (8)$$

where (x_d, v_d) are the desired state at the end of the SSP (point F in Fig. 4) and $a_n, b_n > 0$ are the design parameters.



4. Motion robot in x_p direction

Trajectory generation in DSP

In Fig. 4, the robot moves from point D to point D' in the DSP with constant velocity $v_f^{(1)}$. The ankle of the robot rotates in the frontal plane in the y_p direction. This movement is like a third-degree polynomial. In the x_p direction (i.e., in the sagittal plane) the robot moves with constant velocity. Hence, the trajectory is a linear equation. Therefore, the desired trajectory of point $p = (x_p, y_p, z_p)$ is as follows:

$$y_p(t) = c_1 t^3 + c_2 t^2 + c_3 t^4 + c_4$$
$$x_p(t) = x_0 + \frac{t}{T_{dsp}}(x_f - x_0) \qquad 0 < t < T_{dsp} \qquad (9)$$
$$z_p = h = cont$$

where T_{dsp} is the elapsed time during the DSP.

In order to solve (9) and find the coefficients, it is necessary to know the position and velocity of the last point of the first phase of the SSP as well as the position and velocity of the first point of the second phase of the SSP.

FUZZY-PD CONTROLLER

The Proportional-Derivative (PD) control method is a close-loop feedback controller that tries to correct the error between the output process and the reference signal input. One PD controller is designed for every joint of the robot. The PD gains are determined based on the fuzzy rules. Fig. 5 shows the block-diagram of the fuzzy-PD control method. The control signal of each joint can be defined as

$$\tau_i = k_p e_i + k_d \dot{e}_i \qquad i = 1, \ldots, n \qquad (10)$$

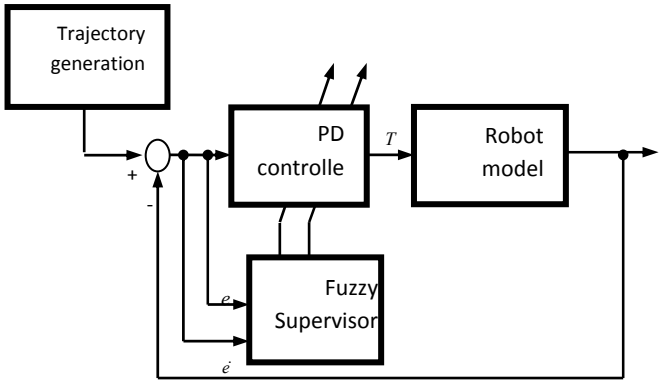


Fig. 5. Block diagram fuzzy-PD control

where e_i is the difference between the desired angle and the measured angle for each joint and $\dot{e}_i$ is the derivative of e_i.

The fuzzy supervisor, which has the task to adapt the PD coefficients to the changes in the system parameters and external disturbances, is on the second level of the control loop. Two fussy systems are need for every DOF of the robot, one for k_p and the other one for k_d. The inputs to the *i*th fuzzy system are e_i and $\dot{e}_i$; the outputs are k_{pi} or k_{di}. Hence, 20 fuzzy systems are needed for ten joints of the robot. The fuzzy rules for k_p and k_d are given in Tables I and II, respectively [16].

The construction of these fuzzy systems comprises of singleton fuzzifier, Mamdani product inference engine, and center average defuzzifier [16]. The output equation can be written as

$$f(e,\dot{e}) = \frac{\sum_{l=1}^{M} \bar{y}^l \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^l}(e_i)\, \mu_{B_i^l}(\dot{e}_i) \right)}{\sum_{l=1}^{M} \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^l}(e_i)\, \mu_{B_i^l}(\dot{e}_i) \right)} \qquad (10)$$

where $\bar{y}^l$ is the center of the membership functions of the consequent part of the fuzzy rules, $\mu_{A_i^l}(e_i)$ and $\mu_{B_i^l}(\dot{e}_i)$ are the membership functions of the premise part of the fuzzy rules, and M is the number of rules, which is equal to 49 for these fuzzy systems. The membership functions $\mu_{A_i^l}(e_i)$ and $\mu_{B_i^l}(\dot{e}_i)$ are shown in Fig. 6 and Fig. 7, respectively.

TABLE I. FUZZY RULES FOR k_d

e \ $\dot{e}$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	S	S	S	S	S	S	S
NM	B	B	S	S	S	B	B
NS	B	B	B	S	B	B	B
ZO	B	B	B	B	B	B	B
PS	B	B	B	S	B	B	B
PM	B	B	S	S	S	B	B
PB	S	S	S	S	S	S	S

TABLE II. FUZZY RULES FOR k_p

e \ $\dot{e}$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	B	B	B	B	B	B	B

e	**NM**	S	B	B	B	B	B	S
	NS	S	S	B	B	B	S	S
	ZO	S	S	S	B	S	S	S
	PS	S	S	B	B	B	S	S
	PM	S	B	B	B	B	B	S
	PB	B	B	B	B	B	B	B

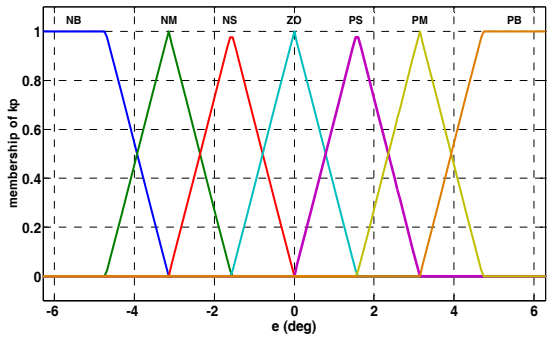


Fig. 6. Membership functions of e

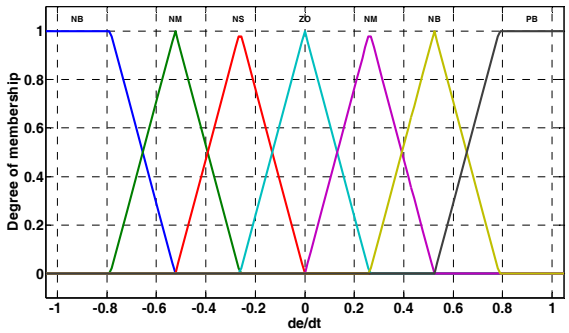


Fig. 7. Membership functions of $\dot{e}_i$

SIMULATION RESULT

The robot parameters for half of the robot are given in Table III. The robot is symmetric and the other half has the same parameters.

TABLE III. ROBOT PARAMETERS

Link	**Parameters**			
	Length (m)	**Mass (kg)**	**Inertia (kgm^2)**	**Location of COM (m)**
1	0.332	2.23	0.03	0.189
2	0.302	5.28	0.03	0.236
3	0.486	14.79	0.03	0.282
4	0.302	5.28	0.03	0.236
5	0.332	2.23	0.03	0.189

The mass of the sole is zero and the length of the robot's waist in the frontal plane is equal to 0.1 m. Other design parameters are as follows:

$T_{ssp} = 0.72$, $T_{dsp} = 0.14$, $s = 0.03$, $\beta = 0.15$, $a_n = 10$, $b_n = 1$

Figs. 8 to 10 show the position of COM in the x_p , y_p and z_p directions, respectively.

Assuming $k_p \in [0, 2300]$ and $k_d \in [0, 400]$, Figs. 11 and 12 show the changes of k_p and k_d for the right leg. Fig. 13 shows the angular positions of the right. As these figure show, the proposed method makes the robot to follow the desired values with a very high accuracy. Fig. 14 shows the angular velocities of the joints. The joint torques are shown in Fig. 15. The force are shown in Figs. 16 and 17. Fig. 18 shows ZMP position in the presence of up to 65NM disturbance. Figs. 19 and 20 show ZMP position in the presence of uncertainty parameters and measurement noise.

Fig. 21 shows the motion of the robot in 3D using Spatial Software [17].

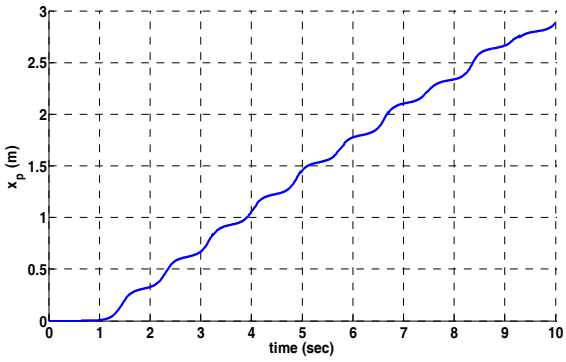


Fig. 8. Position of COM in x_p

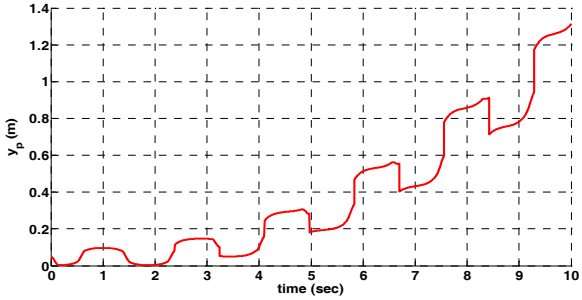


Fig. 9. Position of COM in y_p

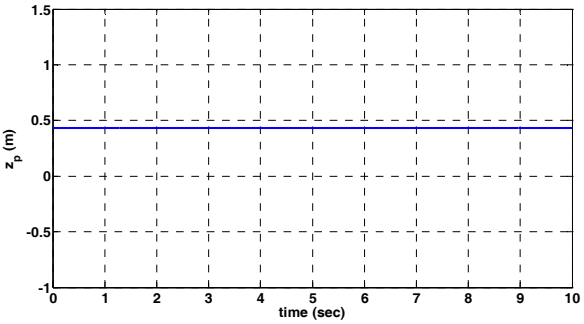


Fig. 10. Position of COM in z_p

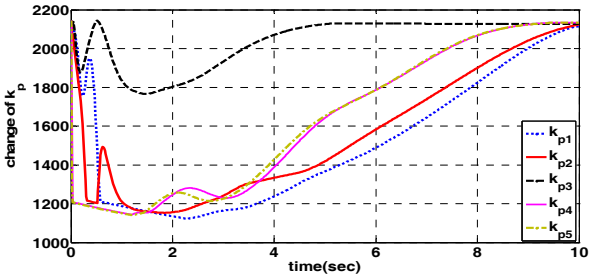


Fig. 11. Change of k_p

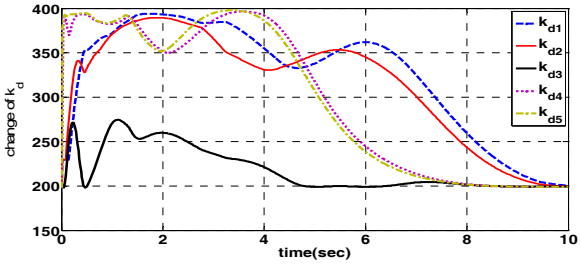


Fig. 12. Change of k_d

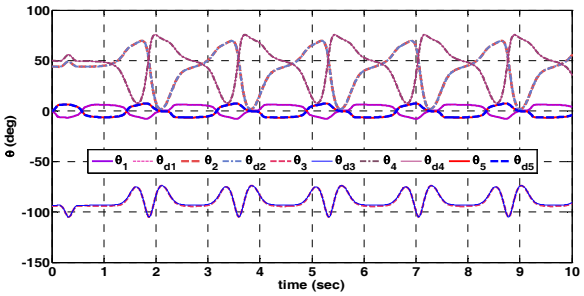


Fig. 13. Angular positions of right leg

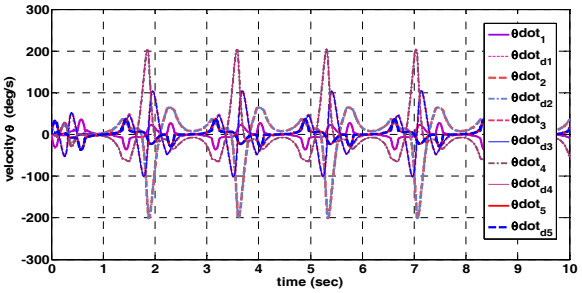


Fig. 14. Angular velocities of right leg

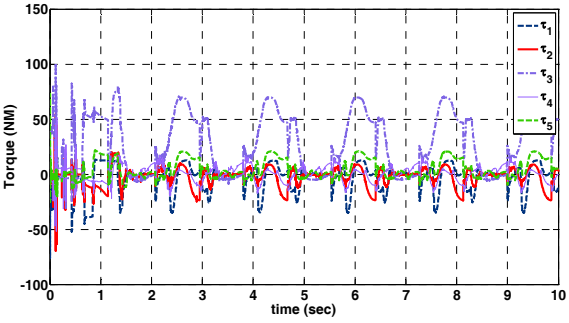


Fig. 15. Joint torques of right leg

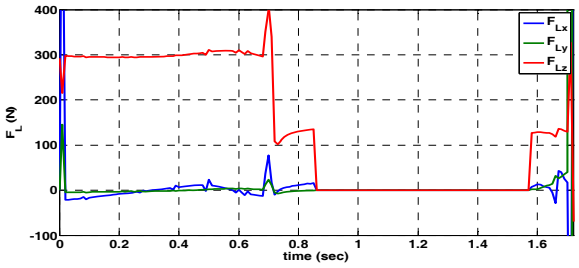


Fig. 16. Force of left leg

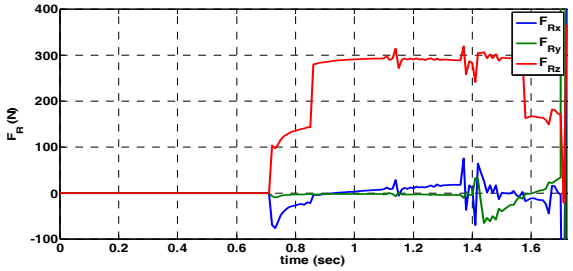


Fig. 17. Force of right leg

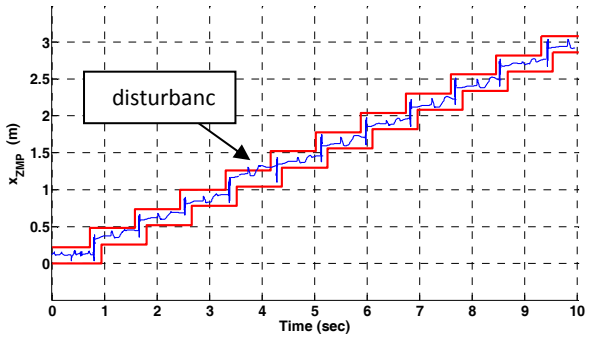


Fig. 18. ZMP position in the presence of up to 65NM disturbance

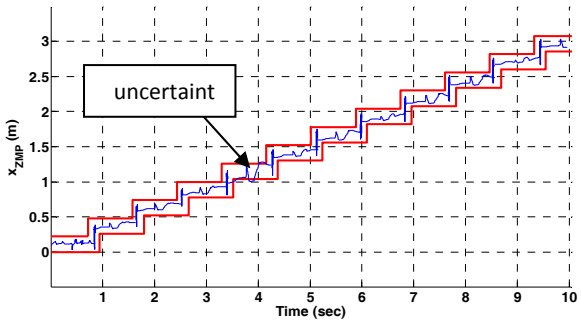


Fig. 19. ZMP position in the presence of uncertainty (30% of body mass)

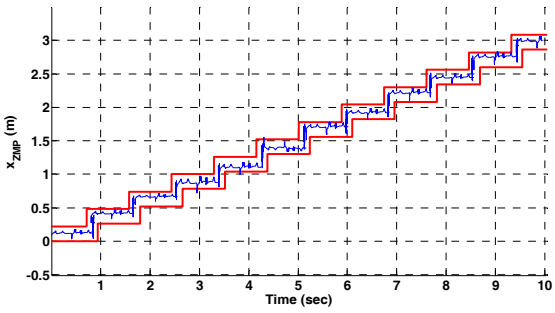


Fig. 20. ZMP position in the presence of measurement noise

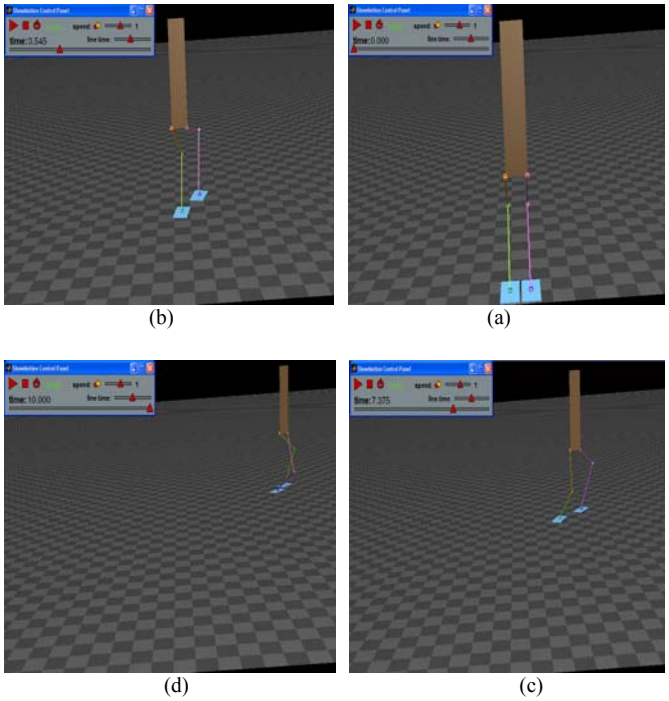


Fig. 21. Walking robot in 3D space

It should be noted that in most papers, walking of the biped robots are considered only in the sagittal plane. References [7] and [10] have controlled the biped robots in 3D; however, they have considered an underactuated robot. In some other references, authors employ reduce-order control method, where the DOF of the robot has been reduced for ease of controlling problem [12]. On the other hand, in this manuscript, a ten-DOF biped

robot has been considered and controlled with good stability for dynamic walking.

Reference [18] has employed a continuous-time optimal tracking controller to control a biped robot in 3D. As Fig. 22 shows, the robot moves very slowly, which can be considered as a static walking. Moreover, only the SSP has been considered. While in the proposed method in this manuscript, each step takes about 0.86 seconds, which signifies a fast and dynamic motion of the robot.

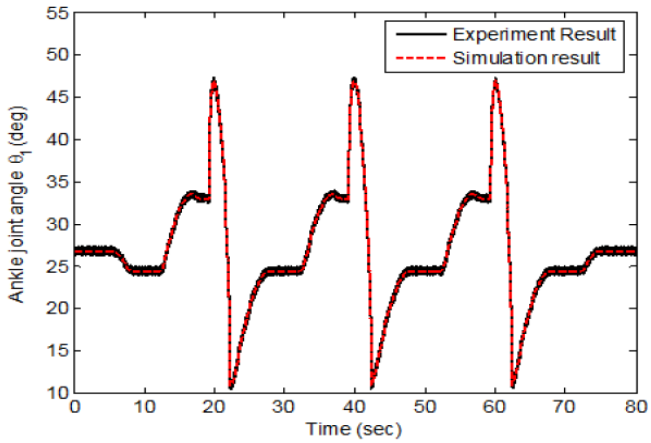


Fig. 22: The roll ankle joint [18]

CONCLUSION

Most papers in walking of biped robot have considered only the sagittal plane, and if 3D walking is considered, the control problem is underactuated. In this paper, a ten-DOF fully actuated biped robot was considered and controlled using fuzzy-PD controller. The robot was controlled with god accuracy in both sagittal and frontal planes. The trajectory was designed off-line using the inverted pendulum model and polynomial functions.

For controlling, an adaptive fuzzy-PD control method is used for stable walking of the robot in 3D. The gaits and the desired path are generated using the ZMP stability criterion. The proposed method is simple and at the same time is very effective and robust against changes in the system parameters. Moreover, the proposed method has good robustness against measurement noises.

References

[1] P. R. Vundavilli and D. K. Pratihar, "Dynamically balanced optimal gaits of a ditch-crossing biped robot," *International Journal of Robotic and Autonomous System*, vol. 65, no. 5, pp. 246–258, 2009.

[2] X. Lou and W. Xu, "Planning and control for passive dynamics based walking of 3D biped robot," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 143-155, 2012.

[3] M. Dehghani Tafti, "*Balance control of biped robot in frontal plane based on balance astratzhdy human body*," Master Thesis, Department of Mechanical Engineering, sharif university, 2012.

[4] C. Zhou and Q. Meng, "Dynamic balance of a biped robot using fuzzy reinforcement learning agents," *Fuzzy Sets and Systems,* vol. 134, no. 6, pp. 169-187, 2003.

[5] C. Chevallereau, J. Grizzle and C. Shih, "Asymptotically stable walking of a five link underactuated 3D bipedal walking," *IEEE Transactions on Robotic*, vol. 25, no. 1, pp. 37-50, 2009.

[6] S. Park, Y. Han and H. Hahn, "Fuzzy Controller based biped robot balance control using 3D image," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 11, no. 3, pp. 202-212, 2009.

[7] P. Wang, G. Liu, F. Zha, M. Li, W. Guo and H. Cai, "A three decomposition control algorithm for controlling biped walking with dynamic balance," *International Conference on Mechatronics and Automation,* pp. 137-144, Tianjin, China, August 3-6, 2014.

[8] C. Zhou, "Neuro-fuzzy gait synthesis with reinforcement learning for a biped walking robot," *Soft Computing*, vol. 4, no. 4, pp. 238-250, 2000.

[9] A. Ramezani, K. Akbari hamed, J. Hurst and J. Grizzle, "Perforamance analysis and feedback control of ATRIAS, a 3D bipedal robot," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 136, no. 2, 2013.

[10] Ch. Tang, G. Yan, Zh. Lin, Z. Wang and Y. Yi, "Stable walking of 3D compass-like biped robot with underactuated ankles using discrete transverse linearization," *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, pp. 1-10, 2014.

[11] T. Sato, Sh. Sakaino and K. Ohnishi, "Real-time walking trajectory generation method at constant body height in single support phase for three-dimensional biped robot," *IEEE International Conference on Industrial Technology*, pp. 1-6, Gippsland, VIC, 2009.

[12] R. Gregg, M. Spong, "Reduction-based control of the three-dimensional bipedal walking robots, " *The International Journal of Robots Research*, vol. 29, no. 6, pp. 680-702, 2010.

[13] M. W. Spong, S. Hutchinson and M. Vidyasagar, "*Robot Modeling and Control*, " John Willey & Sons, INC, 2005.

[14] Sh. Kajita, F. Kanehiro, K. Kaneko, K. Yokoi and H. Hirukawa, "The 3D linear inverted pendulum mode: a simple modeling for a biped walking pattern generation," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and Systems*, vol. 1, pp. 239-246, USA Maui, 2001.

[15] Sh. Kajita, H. Hirukawa, K. Harada and K. Yokoi, "Biped walking," *Springer Tracts in Advanced Robotics*, vol. 101, pp. 105-158, 2014.

[16] L. X. Wang, "*A Course in Fuzzy Systems and Control*," Prentice Hall, New Jercy, USA, 1996.

[17] R. Featherstone, "*Rigid Body Dynamics Algorithm*," Springer Science+Business Media, the Austrailian National University, 2008.

[18] T. Dinh, N. Thanh, H. Dacloc and N. Caocuong, "A simple walking control method for biped robot with stable gait," *Journal of Computer Science and Cybernetics*, vol. 29, no. 2, pp. 105-118, 2013.

Trajectory generation of a micro underwater robot in 3D space considering obstacles by anovel potential function

Amirmasoud Ghasemi-Toudeshki
Center of Advanced Systems and Technologies (CAST)
School of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Tehran
Tehran, Iran
Amir.ghasemi@ut.ac.ir

NiloufarJamali
School of Mechanical Engineering,
College of Engineering, University of Tehran
Tehran, Iran

Mohsen Imani
Department of Mechanical Engineering
University of University of California, San Diego

Mohammad Mahdavian
Center of Advanced Systems and Technologies (CAST)
School of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Tehran
Tehran, Iran
m.mahdavian@ut.ac.ir

Aghil Yousefi-Koma
Center of Advanced Systems and Technologies (CAST)
School of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Tehran
Tehran, Iran
aykoma@ut.ac.ir
California, USA

***Abstract*—In this paper, trajectory generation of a micro underwater robot in 3D space is discussed considering obstacles and applying a new and optimum potential function. For this purpose, an algorithm which is based on potential function is proposed. Moreover, in order to pass a planned trajectory, a feedback linearization controller is used to guide the robot. By the use of this method, an underwater robot would be able to predict and pass a safe trajectory by awareness of its own and obstacle's positions.**

Dynamic equations of 6 DOFs for anunderwater robotareproposedand trajectory optimization of a particle considering obstacles in trying to attain a fixed or moving target in 3D coordinate space is discussed. The common potential functions are modified in order to solve the problems of inertial and cycling trap and to increase chance of implementation. Afterward, the proposed optimization method is implemented on robot dynamic model. To this end, the coordinate space is meshed withsmall cubes. Also, in order to control the robot, feedback linearization controller is used. It is shown that the robot would appropriately reach the planned target by this method.

Keywords—Trajectory generation, potential function algorithm, feedback linearizing controller

INTRODUCTION

Object tracking by robots is a common challenge in robotics. Basically we demand robots to traverse an arbitrary path or track a moving object. This usually occurs for mobile robots, which move on the ground or in some cases for areal robotic systems[1-3]. However, few studies have been published for underwater chasing robots [4].

In order to enhance maneuverability of underwater robots in obstacle existence environment, it's necessary to optimize trajectory of these robots and increase the intelligence of them. Different methods have been proposed for this matter. Xiaoyong Tang et.al optimized trajectory of an UAV by Particle Swarm Optimization [5]. Genetic Algorithm had been used to find an optimized path in different references [6-8].Ding Fu-guang et.al optimized trajectory of an UAV by meshing the environment and applying GA algorithm [9].

PSO and GA normally are being used by the consideration of robot as a point object and they're not responsible for dynamic and inertia of 3D submarines. Furthermore, online trajectory generation for submarine by these methods is impossible. Hence, in order to optimize the trajectory of a submarine for this research, potential function has been developed.

Khatib introduced an optimization method based on potential function at 1980[10]. Since then, many papers have been published by applying this method foroptimization[11-15]. Among them, some researchers used this algorithm for path planning. Hogan et.al controlled a robot and avoided collision with obstacles using potential function [16]. Warren [17] also optimized trajectory of a submarine in order to determine a safe path to chase a specified target, considering obstacles.

The aim of this paper is to find a safe path toward a target in the presence of obstacles for an underwater robot in 3D environment. Cyclic movements are one of the challenging parts of using potential functions. Hence, in this paper, the novel potential function introduced. Moreover, most of the articles don't consider the inertia of submarine in the optimization and we try to enter this term into our function.

Simultaneous trajectory generation and control of submarine in order to reach a specific object were also discussed.

This paper is divided into the following parts. First, the dynamic model of submarine is explained. Next, trajectory of submarine is optimized by a modified potential function. Afterward, provided algorithm is implemented on a mass point and a fully dynamical submarine.

SUBMARIN DYNAMIC MODELING

In order to express a submarine locomotion, many theories have been provided. In this paper a specific case introduced in [18] is being discussed:

There is a general equation to describe dynamic motion of a submarine.

$$M_{RB}\dot{v} + C_{RB}(v)v = \tau_H + \tau_i \quad (14)$$

Where M_{RB} is mass matrix, C(v) demonstrates coriolis and centripetal terms and represent input vector included forces and torques provided by submarine actuators. By omitting external noises, becomes as equation 2.

$$\tau_H = \tau_{added\ mass} + \tau_{potential\ damping} + \tau_{restoring\ force} \quad (15)$$

Where:

$$\tau_{added\ mass} = -M_A\dot{v} - C_A(v \quad (16)$$

$$\tau_{potential\ damping} = -D(v)v \quad (17)$$

$$\tau_{restoring\ force} = -g(\eta) \quad (18)$$

In order to calculate hydrodynamic forces, the submarine has been estimated as ellipsoid [18].

DEFINING POTENTIAL FUNCTION FOR TRAJECTORY OPTIMIZATION CONSIDERING OBSTACLES

Obstacle collision is pretty common during submarine movement in real 3D environment, doing a specific mission. Submarine should be able to follow the target knowing its own, target and obstacles position and go through the most secure path.

In order to apply potential function, submarine movement environment is divided to small cubes. It is assumed that edge of each cube is about twice of submarine length and robot is only in one cube at a time. Depending on target and obstacles position, submarines adjacent cubes selected for the next step and it makes a suitable path towards the target. This algorithm is known as potential function method and the potential of each point can be calculated, using:

$$P_{i,j,k} = \sum \frac{\alpha}{r_{goal}} - \sum \frac{}{r_i} \quad (19)$$

Where α, β are two positive and constant parameters and r_i and are distance between middle of cubes and targets and obstacles respectively. This equation shows that each point in 3D space at the location of i, j and k in the x, y and z directions respectively has the potential inverse to distance of the point from targets and obstacles respectively. So, proximity to obstacles and targets will decrease and increase potential of point. α, β can be assigned arbitrary or being calculated by optimization methods. However, these values should be optimized for every problem and experimental environment separately.

Potential function may cause some problems same as cyclic motion of vehicle. Moreover, submarine tends to move in its previous velocity direction. These two problems were the main reason to represent a new definition for potential function in this paper.

In order to avoid cyclic motion, the potential of points have been reduced after the vehicle passes through them. In some cases, according to target motion, it may be necessary to pass again through some points. Hence, the potential of repeated points have been reduced exponentially. The potential of repetitive points are calculated as:

$$P_{i,j,k} = \sum \frac{\alpha}{r_{goal}} - \sum \frac{\beta}{r_{obs}} - \gamma(1 - e^{-} \quad (20)$$

As it was expressed previously, submarine tends to move in its own current velocity direction due to inertial concept. Therefore, the definition of potential should change until we can consider inertia in our decision for the next point. The velocity projection is multiplied to an arbitrary number and added to equation 7 and results in equation 8. Using this method, the potential of neighbor points are calculated according to velocity direction. Finally, the new potential function is expressed as:

$$P_{i,j,k} = \sum \frac{\alpha}{r_{goal}} - \sum \frac{\beta}{r_{obs}} - \gamma(1 - e^{-\tau}) + \xi \cos($$ (21)

IMPLEMENTATION OF OPTIMIZATION ALGORITHM REGARDLESS OF SUBMARINES DYNAMIC

At first, submarine's dynamic have not been considered and it is assumed as a physical point in 3D environment.

Static target

In first step, target is considered statically and environment is assumed as a cube with 10-unit edge. In order to show validity of algorithm, a specific situation is considered. In this test, an obstacle has been considered between the robot and target, with positions of (2,2,2) and (9,9,9) respectively. The results for movement of submarine in this test have been shown in figure1 and 2.

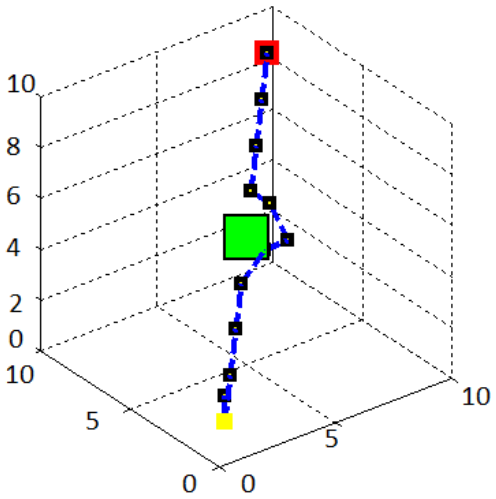


Fig. 1 The 3D trajectory of submarine optimization algorithm, regardless of submarine dynamic considering an obstacle

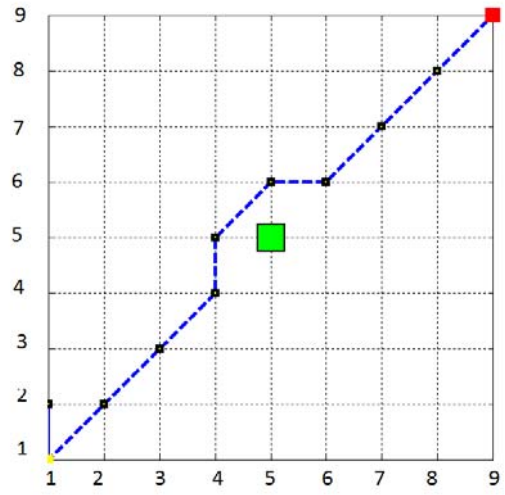


Fig. 2 X-Z trajectory of submarine optimization algorithm, regardless of submarine dynamic considering an obstacle

As it can be seen in figure 1, the robot reaches target in closest path by orbiting the obstacle. The distance between robot and obstacle depends on constant parameters, α and β, in potential function.

Dynamic target

In this step, we consider a more sophisticated problem in which the target of robot is a moving subject and there are several obstacles in the environment. In this situation, the robot should both follow the target and avoid all obstacles. Velocity of the underwater robot assumed to be more than target to ensure that it can reach the moving object. The results of this test is brought in figure 3-5.

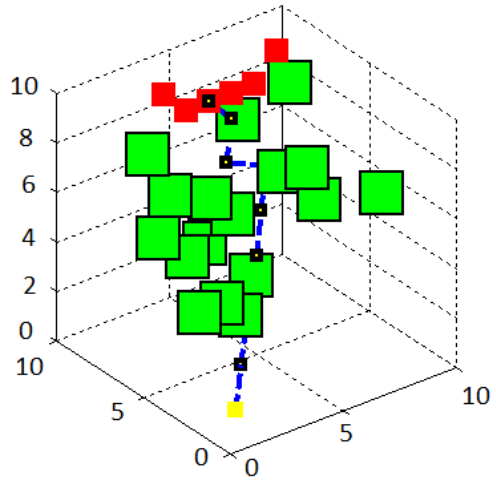


Fig. 3 The 3D trajectory of submarine optimization algorithm, regardless of submarine dynamic considering 17 obstacles

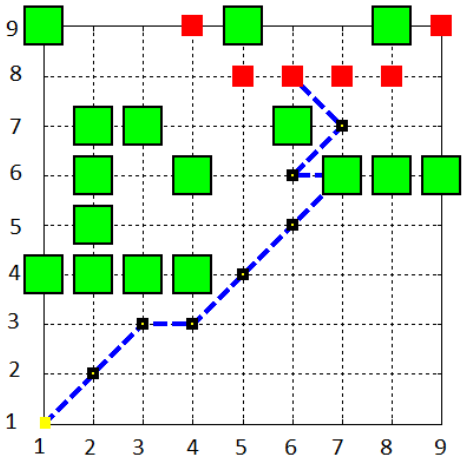


Fig. 4 X-Z trajectory of submarine optimization algorithm, regardless of submarine dynamic considering 17 obstacles

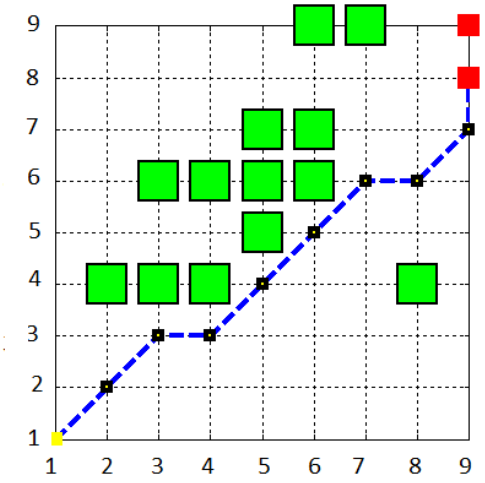


Fig. 5 Y-Z trajectory of submarine optimization algorithm, regardless of submarine dynamic considering 17 obstacles

As it can be seen from figures 3-5, despite existence of several obstacles, the robot reached the target.

IMPLEMENTATION OF POTENTIAL FUNCTION ON ROBOT DYNAMIC MODEL

In this section, the dynamic of the underwater robot has been considered and a feedback linearization control has been applied to robot in order to control the robot into the desired path. The environment is meshed and robot tries to reach the neighbor cube which has the higher potential value, calculated by Equation 8.

The proficiency of algorithm is illustrated by an example. In the example, 3 obstacles are inserted between the initial position of robot and the target. Robot should find the optimize path considering the obstacles. The result of trajectory is illustrated in figure 6.

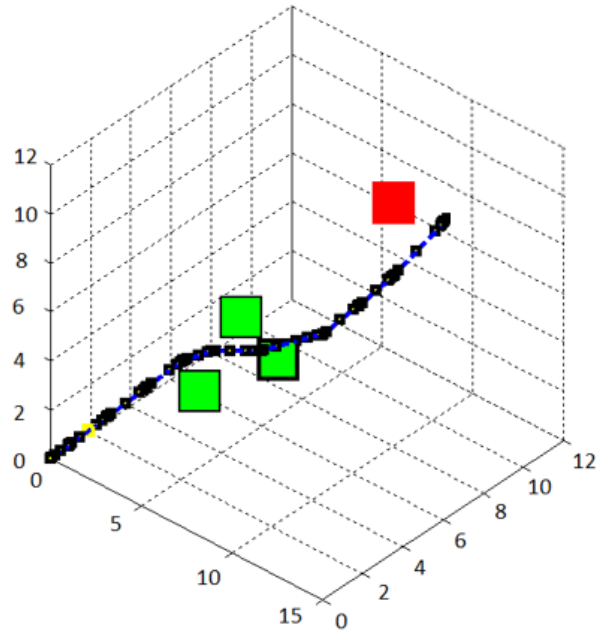


Fig. 6 The 3D trajectory of submarine optimization algorithm, considering dynamic of submarine and existence of 3 obstacles

As it has been shown in figure 6, the robot greatly moved among obstacles without any collision. However, at the end of the path, robot has a minor distance into the target. It is because of the inertia of the robot in this example and the restrictions of control algorithm.

CONCLUSION

In this paper, trajectory generation of a micro underwater robot in 3D coordinate space considering obstacleswas discussed by presentinga new potential function. For this goal, a potential function algorithm as an optimizer was proposed and feedback linearizing controller was used to guide the robot in order to pass a planned trajectory. Due to this method, an underwater robot would be able to predict and pass a safe trajectory by awareness of its own dynamic and obstacles' positions. The results showed that the proposed algorithm is able to make the robot reachthe sophisticated environment.

References

[1] Shima, J.Shinar and Tal.“Robust Missile Guidance Law against Highly Maneuvering targets” .Proceeding of the 7th Conference on control and Automation, 1999

[2] P.K Menon, E.J. Ohlmeyer.“Integrated Design of Agile Missile Guiadance And Autopilot Systems”. Mediterranian Control Conference. 1999.

[3] M.Breivik, Th.I. Fossen, “Applying Missile Guidance Concepts To Motion Control Of Marine Craft”. 2007.

[4] R.Filoktimon, E.Papadopoulos,“Trajectory Planning and Tracking Control Of Underactuated AUVs”. Barcelona, Spain : IEEE, April. International Conference on Robotics and Automation.2005

[5] Xiaoyong.T, Fei.Y, and Ruijuan.Ch, “Path Planning of Underwater Vehicle Based on Particle Swarm Optimization”. Dalian, China : s.n., August 13-15, International Conference on Intelligent Control and Information Processing.2010

[6]A.Faruq, Sh.Shah Bin Abdullah, M. F.Nor Shah,**“**Optimization of an Intelligent Controller for an Unmanned Underwater Vehicle”. August, TELKOMNIKA, Vol.9, No.2, pp. 245-256. 2011.

[7] Zhang, QiaoRong. “A Hierarchical Global Path Planning Approach”. Luoyang, China : IEEE Int., International Conference on Mechatronics and Automation, June 25 - 28, 2006.

[8] H.Suzuki, l.hlinam .“Fish Catching by Visual Servoing and Observed Intelligence of the Fish”.EPFL, Lausanne, Sw.lzerland : IEEE/RSJ. lntl Conference on Intelligent Robats and Systems,October. 2002.

[9] WANG .H, BIAN .X, ZHAO.J,DING.F, XIA.G. “A GA Path Planner Based on Domain Knowledge for AUV”. Harbin,150001, China : IEEE Int. 2004.

[10]Khatib, Oussama**.**, “Real-Time Obstacle Avoidance for Manipulators and Mobile Robots”. The International Journal of Robotics Research, Spring ,Vol. 5, No. I. 1986

[11]Elnagar, A. “A heuristic approach for local path planning in 3D environments”,Cambridge Journals, pp. volume 20, pp. 281–290. 2002.

[12]Krogh, B. H. Bethlehem. “A generalized potential field approach to obstacle avoidance control”. PA : SME,. Robotics Res. Aug. 1984.

[13]J. Barraquand, B. Langlois, and J. C. Latombe.“Robot motion planning with many degrees of freedom and dynamic constraints” .Tokyo : s.n., ,. 5th Int. Symp. Robotics Res. Aug. pp. 74-83. 1989.

[14]C. I. Connolly, J. B. Burns, and R. Weiss**.** “Path planning using Laplace’s equation”. Cincinnati, OH : IEEE,. Robotics Automat. May. pp. 2102-2106. **.**1990

[15] Latombe, J. Barraquand and J. C, “A Monte-Carlo algorithm for path planning with many degrees of freedom”,v. May. Cincinnati, OH : IEEE Int., Robotics Automat. pp. 1712- 1717. 1990.

[16]W. S. Newman and N.Hogan “High speed robot control and obstacle avoidance using dynamic potential functions”. Raleigh, NC : IEEE Int.,. Robotics Automat. . pp. 14-24. 1987

[17]Warren, C. W . “Global path planning using artificial potential fields”. Scottsdale, AZ : IEEE Int., Robotics Automat. May. pp. 316-321. 1989

[18]Fossen, Th. I.“Guidance and Control of Ocean Vehicles”. 1999

Model Free Robust Impedance Control of Robot Manipulators using Fourier Series Expansion

Mohammad Baradaran Fard
Dept. Electrical and Robotic Engineering
Shahrood University of Technology
Shahrood, Iran
Mbfard@yahoo.com

Saeed Khorashadizadeh
Dept. Electrical and Robotic Engineering
Shahrood University of Technology
Shahrood, Iran
S_Khorashadi@yahoo.com

***Abstract*—Impedance control is the most favorite control of robot manipulators in contact with environment. The dynamic behavior of robotic system in response to environment is prescribed by an impedance model. This model is certain and linear while the robot manipulator is uncertain and nonlinear. So the major challenge is overcoming uncertainty and nonlinearity to dominate the desired impedance model. This paper presents a robust impedance control strategy based on Variable Structure Model Reaching Control (VSMRC) and Function Approximation Techniques (FAT). FAT is based on Fourier series approximation. In contrast to other existing methods, the proposed approach includes two important properties. Firstly, it is robust against fast changes in uncertainty due to increased speed of convergence in Fourier series approximation. Secondly, it does not require uncertainties bound to be known. This scheme is simulated on an industrial selective compliance assembly robot arm (SCARA). Simulation results verify the theory and confirm the effectiveness of presented technique.**

Keywords*—Robust impedance control, Variable structure control, Fourier series expansion.*

XI. INTRODUCTION

Considerable effort has been focused on the control of manipulators during the execution of task in which the manipulators is in contact with environment [1-3]. Such tasks include assembly operation, parts deburring and grinding. Impedance control is one of main interaction control methods. Impedance model is realized by regulating the relationship between force and position error [4]. The advantage of impedance control is that it provides a uniform framework for controlling the robot both in free and contact spaces [5]. However, it is highly affected from uncertainties. The control problem is to design a suitable controller to overcome uncertainties and then to realize the desired impedance model both free motion and contact tasks.

Generally, there are two kinds of uncertainties in a system to be controlled. One is caused by a lack of enough information about robot structure and parameters, and the other is due to uncertainty in environment dynamic. Robot manipulator model is highly coupled nonlinear and multivariable. A prefect model is required to control system while in fact, it is not available. Therefore, a nominal model can be used. Nevertheless, the model inaccuracy degrades the system control performance. This uncertainty should be compensated by robust control techniques. Robust control is an effective approach in the presence of broad bound of uncertainties [6-8].

On the other hand, uncertainty in the location of the contact point and environment's properties [9] lead to, the system control experiences the impulse forces due to sudden collision with environment or unexpected stiffness in unknown environment [10]. As a result, the objective becomes to propose a control law that overcomes to the aforementioned uncertainties and then to govern desired impedance model in contact with the environment.

Many valuable robust interaction control approaches have been developed for control of robot manipulator [11-15]. There are many problems in use of these controllers. For example, the implementations of controllers are difficult because there are acceleration terms or derivative of force signals. Also depending to robot manipulator model or requiring to know upper bound uncertainty and assuming slow rate of change in systems parameters, are others challenges in their control laws.

To overcome such difficulties, we propose model free sliding mode controller (SMC) based on function approximation techniques (FAT). In order to realize impedance relation, a dynamic compensator is added to SMC. Consequently this structure is named as Variable structure model reaching control (VSMRC) has been introduced [16]. Also, recently, regressor free control of robot manipulators has been presented which is based on FAT [17-18]. In this approach, the lumped uncertainty has been estimated using Fourier series estimation or Legendre polynomials. Suppose that we are interested in approximating a nonlinear function which depends on some state variables using neural networks or Fourier series estimations. In comparison with observer-controller structures [19-20], the proposed method is superior, since there is no need to assume that the uncertainties vary slowly.

In this paper, based on the Model Free Torque Control Strategy (MFTCS), a robust impedance controller is proposed. To overcome various uncertainties, a hierarchical approach is adopted. Based on approximation capabilities of Fourier series estimation, the uncertainty in robot manipulator model is compensated and the dynamic compensator in VSMRC overcomes the unknown dynamics of the interaction between manipulator and environment so that the desired impedance model is dominated in the closed loop system. As well as, adaptive

PI control term that approximates the switching control to minimize chattering, is applied. This method not only attenuates chattering but guarantees asymptotically stability [21].

The rest of paper is organized as fellows: Section 2 describes the task-space model of system. Section 3 presents the proposed control law. Section 3 guarantees system stability. Section 4 illustrates simulation results. Section 5 concludes the paper.

XII. MODELLING

The dynamic model of a robot manipulator can be described by n generalized coordinates representing the degrees-of-freedoms of the n joints as [22]

$$D(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+G(q)+J^{T}(q)F_{e}+\varphi=\tau_{l} \tag{1}$$

Where $q\in R^{n}$ is the vector of joint positions, $D(q)$ the $n\times n$ matrix of manipulator inertia, $C(q,\dot{q})\dot{q}\in R^{n}$ the vector of centrifugal and Coriolis torques, $g(q)\in R^{n}$ the vector of gravitational torques, $\varphi\in R^{n}$ vector denotes external disturbance, $\tau_{l}\in R^{n}$ the joint torque vector of robot and $F_{e}\in R^{m}$ is the vector of contact forces. Also, $J(q)\in R^{m\times n}$ is the Jacobian matrix that relates the joint space and task space in the form of

$$\dot{x}=J(q)\dot{q} \tag{2}$$

Where $X\in R^{m}$ is the end-effector position vector. In order to obtain the relation between angular and linear accelerations, we can write

$$\ddot{x}=\dot{J}(q)\dot{q}+J(q)\ddot{q} \tag{3}$$

In other words,

$$\ddot{q}=J^{-1}(q)\left(\ddot{x}-\dot{J}(q)\dot{q}\right) \tag{4}$$

Matrix $J^{-1}(q)$ exists if the working space is nonsingular and $m=n$. If $m\neq n$ the pseudo inverse of Jacobian is used. Substituting (4) into (1) yields

$$\begin{aligned}&D(q)J^{-1}(q)\ddot{X}-D(q)J^{-1}(q)\dot{J}(q)\dot{q}\\&+C(q,\dot{q})\dot{q}+G(q)+J^{T}(q)F_{e}+\varphi=\tau_{l}\end{aligned} \tag{5}$$

The system dynamics can be written as:

$$\ddot{x}=\tau_{l}+H_{S} \tag{6}$$

Then one can express H_S by subtracting (6) from (5) to obtain:

$$\begin{aligned}H_{S}=&-D(q)J^{-1}(q)\ddot{X}+D(q)J^{-1}(q)\dot{J}(q)\dot{q}\\&-C(q,\dot{q})\dot{q}-G(q)-J^{T}(q)F_{e}-\varphi+\ddot{x}\end{aligned} \tag{7}$$

In fact, H_S is referred to as the uncertainty. It includes disturbance and manipulator's model uncertainty.

According to [23], the desired impedance model in the position subspace is given by

$$M_{d}(\ddot{x}-\ddot{x}_{d})+C_{d}(\dot{x}-\dot{x}_{d})+K_{d}(x-x_{d})=-F_{e} \tag{8}$$

Where F_e is expressed in (1) and the $m\times m$ diagonal matrices M_d, C_d and K_d are the inertia, damping, and stiffness of the desired impedance and x_d is the desired trajectory in the task-space.

Impedance control can be used for position control or force control; however, it is preferred for regulating the interaction between the system and environment. Determining matrices M_d, C_d and K_d, this purpose is realized.

XIII. CONTROL LAW

A. Variable structure model reaching control

Objective of impedance control (8) the following general desired impedance form, is defined:

$$M_{d}\ddot{e}+C_{d}\dot{e}+K_{d}e=-F_{e} \tag{9}$$

$$e=(x-x_{d}) \tag{10}$$

Robust impedance control requires designing a controller to realize the objective impedance (9) under various uncertainties. The first stage is defining the dynamic compensator:

$$\dot{z}=Az+K_{pz}e+K_{vz}\dot{e}+K_{fz}F_{e} \tag{11}$$

In which $z\in R^{n}$ is the state vector of dynamic compensator, $A\in R^{n\times n}$ is a semi-negative definite constant matrix, K_{pz}, K_{vz}, $K_{fz}\in R^{n\times n}$ are matrices that determines the structure of the sliding surface to realize the impedance model. Now, consider the following sliding surface.

$$S_{s}(e,\dot{e}_{l},z)=\dot{e}+F_{1}e+F_{2}z \tag{12}$$

When the system dynamics reaches the sliding surface and stays on it, we have $S_s=0$, $\dot{S}_s=0$. As a results,

$$\begin{cases}z=-F_{2}^{-1}(\dot{e}+F_{1}e)\\ \dot{z}=-F_{2}^{-1}(\ddot{e}+F_{1}\dot{e})\end{cases} \tag{13}$$

Substitution of (13) into (11) yields

$$\ddot{e}+(F_{1}-F_{2}AF_{2}^{-1}+F_{2}K_{vz})\dot{e}+(F_{2}K_{pz}-F_{2}AF_{2}^{-1}F_{1})e=-F_{2}K_{fz}F_{e} \tag{14}$$

Using (19) and (14), it follows that

$$\begin{cases}K_{vz}=F_{2}^{-1}(M_{d}^{-1}C_{d}-F_{1}+F_{2}AF_{2}^{-1})\\ K_{pz}=F_{2}^{-1}(M_{d}^{-1}K_{d}+F_{2}AF_{2}^{-1}F_{1})\\ K_{fz}=F_{2}^{-1}M_{d}^{-1}\end{cases} \tag{15}$$

Consequently, when the sliding surface (12) converges to zero, the objective impedance (9) will be realized.

B. The proposed control law

In this study, the control law is proposed based on TCS and the design procedure is free from manipulator dynamics. The sliding surface (12) can be rewritten as

$$S_s = \dot{x} - \dot{x}_{eq} \tag{16}$$

Where $\dot{x}$ is the linear velocity in task space and $\dot{x}_{eq}$ is defined as

$$\dot{x}_{eq} = \dot{x}_d - F_1 e - F_2 z \tag{17}$$

Differentiating (16) with respect to time obtains

$$\dot{S}_s = \ddot{x} - \ddot{x}_{eq} \tag{18}$$

Substituting $\ddot{x}$ form (6) into (18) yields

$$\dot{S}_s = \tau_l + T_S - \ddot{x}_{eq} \tag{19}$$

Consider the following control law

$$\tau_l = -H_s + \ddot{x}_{eq} - \rho S_s \tag{20}$$

In which $\rho \in R^{n \times n}$ is diagonal positive definite matrix with diagonal elements ρ_{ii} . Whenever there is a deviation from the sliding surface, this matrix returns the system states to the sliding surface. In (20), since the nonlinear functions H_s are not available, the following certainty equivalent control is proposed:

$$\tau_l = -\hat{H}_s + \ddot{x}_{eq} - \rho S_s \tag{21}$$

Applying the control law (21), into (19) obtains the close loop system:

$$\dot{S}_s + \rho S_s = H_s - \hat{H}_s \tag{22}$$

So long as $\hat{H}_s$ is accurate estimate of $\hat{T}_s$, error estimate converges to zero. This leads

$$\dot{S}_s + \rho S_s \square 0 \tag{23}$$

Obtained equation (23) is sufficient condition for to reach and to remain states of system on sliding surface. Therefor desired impedance model (9) is realized based on (23).

According to (23), the goal control system is that S_s converges to zero. This results to consider S_s as the input of approximation system (FAT).

C. Uncertainty estimation using Fourier series expansion

Uncertainty estimators are not confined to fuzzy systems and neural networks. It is well known that Fourier series can approximate periodic functions. A non-periodic function defined in limited time interval is assumed to be repeated; thereby it can be expanded by a Fourier series. According to Kreyszig [24], if the function $H_s(t)$ defined on $[t_1, t_2]$ satisfies the Dirichlet's conditions, then it can be expressed as

$$H_s(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(\omega_k t) + b_k \sin(\omega_k t) \tag{24}$$

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} H_s(t)dt \tag{25}$$

$$a_k = \frac{2}{T}\int_{t_1}^{t_2} H_s(t)\cos(\frac{2k\pi}{T}t)dt \tag{26}$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_{t_1}^{t_2} H_s(t)\sin(\frac{2k\pi}{T}t)dt \tag{27}$$

Where a_0 , a_k and b_k are the Fourier series coefficients and $T = t_2 - t_1$ is the fundamental period of $H_s(t)$ and $\omega_k = 2k\pi/T$. The truncation error is defined as

$$\varepsilon_{H_{s_m}}(t) = H_s(t) - H_{s_m}(t) \tag{28}$$

Where $H_{s_m}(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{m} a_k \cos(\omega_k t) + b_k \sin(\omega_k t)$ is the Fourier series approximation. Note that $H_{s_m}(t)$ can be written as

$$H_{s_m}(t) = P^T \xi(t) \tag{29}$$

In which P and $\xi(t)$ are given by

$$P = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & b_1 & \dots & a_m & b_m \end{bmatrix}^T \tag{30}$$

$$\xi(t) = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_1 t) & \sin(\omega_1 t) & \dots & \cos(\omega_m t) & \sin(\omega_m t) \end{bmatrix}^T \tag{31}$$

Suppose that $H_{s_i}(t)$ $1 \le i \le n$ is the i^{th} elements of $H_s(t)$. Thus, $H_{s_i}(t)$ is of the form

$$H_{s_i}(t) = P_{H_{s_i}}^{*\,T} \xi(t) + \varepsilon_{H_{s_i}}(t) \tag{32}$$

Where $\varepsilon_{H_{s_i}}(t)$ is the truncation errors of Fourier series. Also, $\hat{H}_{s_i}(t)$ can be represented by

$$\hat{H}_{s_i}(t) = \hat{P}_{H_{s_i}}^{\;T} \xi(t) \tag{33}$$

Substituting (32) and (33) in (22) yields

$$\dot{S}_{si} = \tilde{P}_{H_{s_i}}^T \xi + \varepsilon_{H_{s_i}} - \rho_{ii} S_{si} \tag{34}$$

In which $\tilde{P}_{H_{s_i}} = P_{H_{s_i}}^* - \hat{P}_{H_{s_i}}$. It is assumed that $\varepsilon_{H_{s_i}}$ is bounded by an unknown constant E_i as $\left|\varepsilon_{H_{s_i}}\right| < E_i$ According to [25], the robustifying control term τ_{c_i} can be proposed as

$$\tau_{c_i} = E_i \operatorname{sgn}(S_{si}) \tag{35}$$

However, the sign function makes the control law discontinuous and may cause the chattering phenomenon. To attenuate chattering problem, the following procedure is used to approximate the

discontinuous control (35). If $|S_{si}| < \delta_i$ (δ_i is the thickness of the boundary layer) a PI structure [25]

$$\tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i) = k_{1i} S_{si} + k_{2i} \int_0^t S_{si} d\tau = \alpha_i{}^T \psi_i(S_{si}) \tag{36}$$

With $\alpha_i = [k_{1i} \quad k_{2i}]^T$ and $\psi_i(S_{si}) = \left[S_{si} \quad \int_0^t S_{si} d\tau \right]^T$ is used, and when $|S_{si}| \geq \delta_i$, τ_{c_i} in (35) is used. In this paper, it is assumed that the vector α_i is unknown and should be estimated online. Consequently, final control law is proposed as follows:

$$\tau_f = \tau_l + \tau_c \tag{37}$$

Thus

$$\tau_f = \hat{P}_{H_{s_i}}{}^T \xi(t) - \tau_c + \ddot{x}_{eq} - \rho S_s \tag{38}$$

XIV. Stability analysis

The stability of each joint variables should be guaranteed by Lyapunov direct method. Therefore, consider the following positive definite function

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \left[S_{si}^2 + \frac{1}{\gamma_1} \tilde{P}_{H_{s_i}}^T \tilde{P}_{H_{s_i}} + \frac{1}{\gamma_3} \tilde{E}_i^2 + \frac{1}{\gamma_4} \tilde{\alpha}_i^T \tilde{\alpha}_i \right] \tag{39}$$

In which $\tilde{E}_i = E_i - \hat{E}_i$ and $\tilde{\alpha}_i = \alpha_i^* - \hat{\alpha}_i$ and α_i^* is the optimal value of $\hat{\alpha}_i$ defined as

$$\alpha_i^* = \arg\min_{\hat{\alpha}} \left[\sup_{S_{si}} | u_{ci}(S_{si} \mid \hat{\alpha}_i) - E_i \operatorname{sgn}(S_{si}) | \right] \tag{40}$$

The time derivative of (39) is given by

$$\dot{V} = \sum_{i=1}^{n} \left[S_{si} \dot{S}_{si} - \left(\frac{1}{\gamma_1} \tilde{P}_{H_{s_i}}^T \dot{\hat{P}}_{H_{s_i}} + \frac{1}{\gamma_3} \tilde{E}_i \dot{\tilde{E}}_i + \frac{1}{\gamma_4} \tilde{\alpha}_i^T \dot{\hat{\alpha}}_i \right) \right] \tag{41}$$

Substituting (34) in (41) and adding and subtracting $u_{ci}(S_{si} \mid \alpha_i^*)$ to the right hand side of (41) yields

$$\begin{aligned} \dot{V} = \sum_{i=1}^{n} [& S_{si} (\tilde{P}_{H_{s_i}}^T \xi + \varepsilon_{H_{s_i}} - \tau_{c_i}(S_{si} \mid \hat{\alpha}_i) + \tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) - \tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) - \rho_{ii} S_{si}) \\ & - \left(\frac{1}{\gamma_1} \tilde{P}_{H_{s_i}}^T \dot{\hat{P}}_{H_{s_i}} + \frac{1}{\gamma_3} \tilde{E}_i \dot{\tilde{E}}_i + \frac{1}{\gamma_4} \tilde{\alpha}_i^T \dot{\hat{\alpha}}_i \right)] \end{aligned} \tag{42}$$

We can simplify $\tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) - \tau_{c_i}(S_{si} \mid \hat{\alpha})$ as

$$\begin{aligned} \tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) - \tau_{c_i}(S_{si} \mid \hat{\alpha}) &= \alpha_i^{*T} \psi_i(S_{si}) - \hat{\alpha}_i^T \psi_i(S_{si}) \\ &= (\alpha_i^* - \hat{\alpha}_i)^T \psi_i(S_{si}) = \tilde{\alpha}_i^T \psi_i(S_{si}) \end{aligned} \tag{43}$$

Thus, (42) can be expressed as

$$\begin{aligned} \dot{V} = \sum_{i=1}^{n} [& S_{si} (\tilde{P}_{H_{s_i}}^T \xi + \varepsilon_{H_{s_i}} + \tilde{\alpha}_i^T \psi_i(S_{si}) - \tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) - \rho_{ii} S_{si}) \\ & - \left(\frac{1}{\gamma_1} \tilde{P}_{H_{s_i}}^T \dot{\hat{P}}_{H_{s_i}} + \frac{1}{\gamma_3} \tilde{E}_i \dot{\tilde{E}}_i + \frac{1}{\gamma_4} \tilde{\alpha}_i^T \dot{\hat{\alpha}}_i \right)] \end{aligned} \tag{44}$$

Consider the following adaptation laws

$$\dot{\hat{P}}_{H_{s_i}} = \gamma_1 S_{si} \xi \tag{45}$$

$$\dot{\hat{\alpha}}_i = \gamma_4 S_{si} \psi_i(S_{si}) \tag{46}$$

$$\dot{\hat{E}}_i = \gamma_3 |S_{si}| \tag{47}$$

Using the fact that $\tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*)$ lies in the first and third quadrants [25], so $\tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) = 0$ for $S_{si} = 0$ and $S_{si} \tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) \geq 0$ for all $S_{si} \neq 0$. Therefore, $S_{si} \tau_{c_i}(S_{si} \mid \alpha_i^*) = |S_{si}| \left| \tau_{ci}(S_{si} \mid \alpha_i^*) \right|$ and using (45-47), (44) can be simplified to

$$\dot{V} = \sum_{i=1}^{n} [S_{si} \varepsilon_{H_{s_i}} - E_i |S_{si}| - S_{si} \rho_{ii} S_{si}] \leq - \sum_{i=1}^{n} [|S_{si}| (E_i - \left| \varepsilon_{H_{s_i}} \right|) + \rho_{ii} |S_{si}|^2] \leq 0 \tag{48}$$

Which implies that $\dot{V}$ is negative-semi definite and S_{si}, $\hat{P}_{H_{s_i}}$, $\hat{\alpha}_i$ and $\hat{E}_i$ are bounded. As a result, using Barbalat's lemma [25], the control signal defined in (38) is bounded. Thus, all the closed loop signals are bounded. When the system states converge to $S_{si} = 0$ and remain on it, the desired impedance is realized in the interaction between manipulator and environment.

XV. Simulation results

The proposed robust impedance control law (38) is simulated on the arm of an SCARA robot. The manipulator symbolic representation, its dynamical and kinematical parameters are described in [10]. After contact, it is assumed that the manipulator should track a desired impedance model trajectory along the direction for which its movement is constrained. Simultaneously, the manipulator should track desired position trajectories along other directions. In the simulations, the arm which consists of the first three joints is used to perform the proposed impedance control and the fourth joint is locked. The desired position trajectory $x_d = [x_{d1} \quad x_{d2} \quad x_{d3}]^T$ is illustrated in Fig. 1 which is defined as

$$x_{d1} = x_{d2} = \begin{cases} 0.85 - 0.15\cos(\pi t/3) & 0 \leq t < 3 \\ 1 & 3 \leq t < 6 \end{cases} \tag{49}$$

$$x_{d3} = \begin{cases} -0.15 + 0.15\cos(\pi t/3) & 0 \leq t < 3 \\ -0.3 & 3 \leq t < 6 \end{cases} \tag{50}$$

The contact position vector is set to $x_e = [1 \quad 1 \quad -0.29]^T$. Suppose that the environment model is defined as

$$F_{e3} = 150000(x_3 - x_{e3}) \tag{51}$$

In order to study the controller robustness against external disturbances, a step disturbance with the 20% maximum amplitude of control torque has been applied to the first link at $t = 1\,\text{sec}$, the second link at $t = 2\,\text{sec}$ and the third link at $t = 3\,\text{sec}$ has been applied directly. The objective impedance model has been considered as $M_d = 10I_3$, $B_d = 500I_3$ and $K_d = 10000I_3$. Also, the matrices F_1 and F_2 in (12) have been set to $F_1 = 0.05I_3$ and $F_2 = 0.01I_3$. Other controller parameters are as follows

$$A = -300I_3 \qquad \rho = 300I_3 \tag{52}$$

The nonlinear vector functions $H_s(t)$ in (6) are approximated using (33) Fourier series expansions, respectively. The vector $\xi(t)$ is given by

$$\xi(t) = \left[1 \;\; \cos(\omega_1 t) \;\; \sin(\omega_1 t) \;\; \ldots \;\; \cos(\omega_m t) \;\; \sin(\omega_m t)\right]^T \tag{53}$$

Where $\omega_1 = \pi/3$ and $\omega_m = 4\pi/3$. The initial condition of all Fourier coefficients $\hat{P}_{H_{s_i}}$ have been set to zero. It has been assumed that the environment characteristics and the initial distance between manipulator and environment are unknown. The position tracking errors are illustrated in Fig. 2. As shown in this figure, the tracking performances along the x and y coordinates are excellent. Before the interaction, the position tracking error along the z axis is also acceptable. After the interaction, since the manipulator cannot penetrate the environment, position tracking error cannot converge to zero.

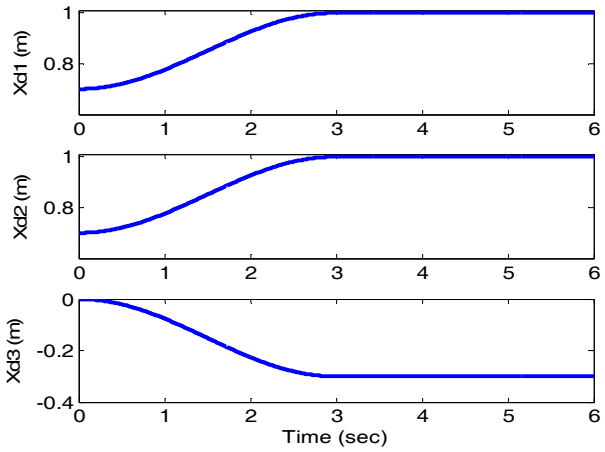


Fig. 22 The desired position trajectories

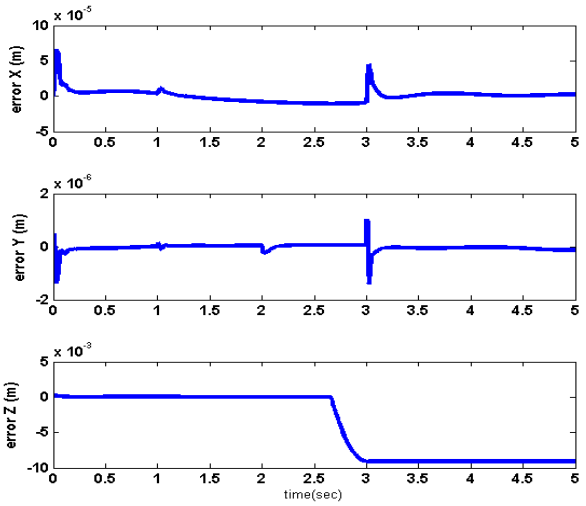


Fig. 23 Position tracking errors

After the interaction, the desired impedance model has been realized without any large interaction force. The final contact force for the aforementioned parameters is −93.75 Nm, which verifies the simulation result in Fig. 3.

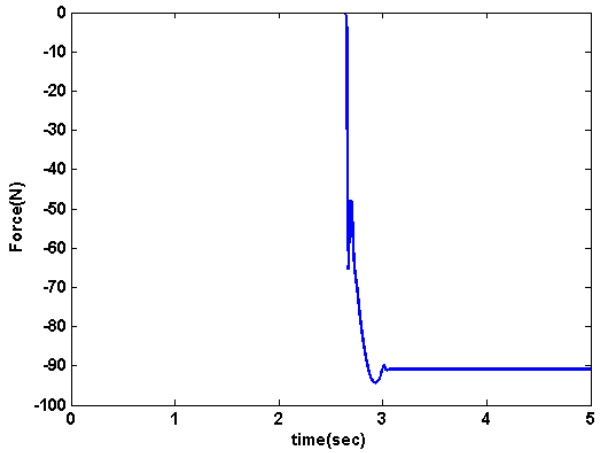


Fig. 24 Contact force

Torques as control efforts are plotted in Fig. 4. According to this figure, the control efforts are smooth, within the permitted range and without any chattering. Moreover, the control system is robust against the applied external disturbance which is large in comparison with the amplitude of control signal.

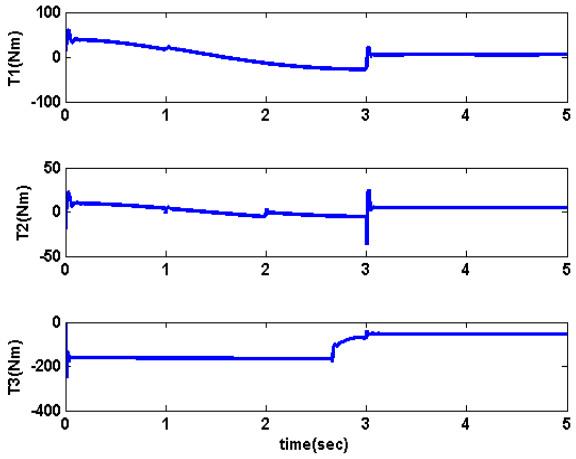


Fig. 25 Control efforts

The sliding surfaces are plotted in Fig. 5. As shown in this figure, after the interaction the third sliding surface considerably deviates from zero and then converges to zero rapidly.

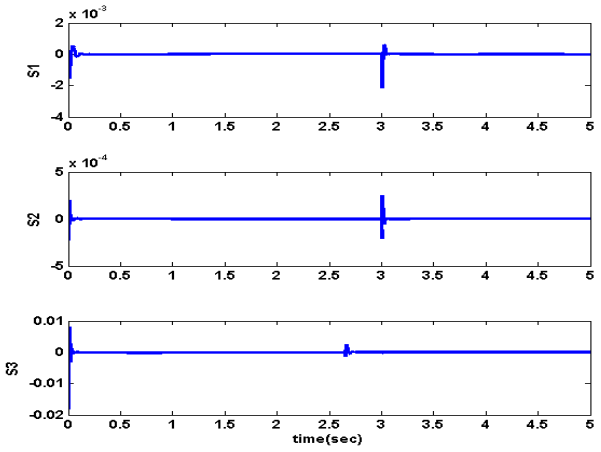


Fig. 26 Sliding surfaces

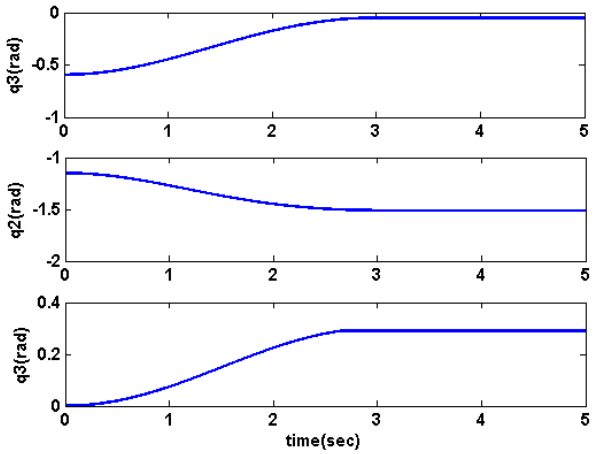


Fig. 27 Link angles

XVI. Conclusion

In this paper, robust impedance control of robot manipulators has been presented based on the MFTCS for the first time. Uncertainties such as manipulator models and external disturbances have been estimated using Fourier series expansion. The truncation errors of Fourier series have been also compensated. The design procedure is free from manipulator models. To copes with the unknown dynamics of the interaction between manipulator and environment, a variable structure model reaching control (VSMRC) has been designed. Since the design procedure is free from manipulator model due to applying MFTCS, it is simpler and less computational in comparison with previous related works. Simulation results verify that the control system shows acceptable robustness against large external disturbances. In addition, it can maintain the desired force when the robot is in contact with the environment by regulating of impedance model parameters.

References

[1] Ming-Chih Chien and An-Chyau Huang, “Regressor-free adaptive impedance control of flexible-joint robots using FAT”, Proceedings of the 2006 American Control Conference, pp. 3904-3909.

[2] J. J. GonzBlez and G. R. Widmann, "A force commended impedance control scheme for robots with hard nonlinearities", IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol3 no4, pp.398-408, Dec.1995.

[3] R. Carloni, R. G. Sanfelice, A. R. Teel, and C. Melchiorri. "A hybrid control strategy for robust contact detection and force regulation", In *American Control Conference, 2007. ACC'07*, pp. 1461-1466. IEEE, 2007.

[4] S. Jung, T. C. Hsia and R. G. Bonitz, "Force tracking impedance control of robot manipulators under unknown environment." *IEEE Trans. On Control Systems Technology,* vol. 12, no. 3, pp. 475–483, May 2004.

[5] H. Seraji and R. Colbaugh, "Force tracking in impedance control." in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation,* pp. 499–506, 1993.

[6] M. Corless and G. Leitmann, "Continuous state feedback guaranteeing uniform ultimate boundedness for uncertain dynamics systems". IEEE Transactions on Automatic Control, 26: 1139-1144, 1981.

[7] M.M Fateh, M.R Soltanpour, "Robust task-space control of robot manipulators under imperfect transformation of control space". Int. J. Innov. Comput. Inf. Control **5**(11A), 3949–3960 2009.

[8] R. Shahnazi and M. R. Akbarzadeh T., "Robust PI adaptive fuzzy control for a class of uncertain nonlinear systems." presented at the IEEE Int. Conf. Systems, Man, Cybernetics, 2005.

[9] A. Jafari, R. Monfaredi, M. Rezaei, A. Talebi, & S. S. Ghidary, "Sliding Mode Hybrid Impedance Control of Robot Manipulators Interacting With Unknown Environments Using VSMRC Method." ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. American Society of Mechanical Engineers, 2012.

[10] M. M. Fateh, & R. Babaghasabha, "Impedance control of robots using voltage control strategy." Nonlinear Dynamics, 74(1-2), 277-286, 2013.

[11] M. V UKOBRATOVIC, D. SURDILOVIC, "Dynamics and robust control of robot-environment interaction." Singapore, World Scientific, ch.3, 2009.

[12] C. CHIU, K. LIAN, T. Wu, "Robust adaptive motion/force tracking control design for uncertain constrained robot manipulators." Int. J. ELSEVIER, Automatica, vo140, 2111-2119, 2004.

[13] R. R. KELLY, "Unified approach to adaptive control of robotic manipulators" 29th IEEE Con! Decision and Control, 1988.

[14] Z. Lt, W. CHEN, J. Luo, "Adaptive compliant force-motion control of coordinated non-holonomic mobile manipulators interacting with unknown non-rigid environments" Int. J. ELSEVIER, Neurocomputing, Volume 71, Issues 7-9, Pages 1330-1344, March 2008.

[15] J. Seul, T.C. Hsia, "Robust neural force control scheme under uncertainties in robot dynamics and unknown environment." IEEE Trans. Ind. Electron. **47**, 403–412, 2000.

[16] S. P. CHAN, W. B. GAO, "Variable structure model reaching control strategy for robot manipulators" IEEE Inf. Conf. Robotics and Automation, 1989.

[17] S. Khorashadizadeh, and M. M. Fateh, "Robust task-space control of robot manipulators using Legendre polynomials for uncertainty estimation." Nonlinear Dynamics 79(2), 1151-1161, 2014.

[18] S. Khorashadizadeh, and M. M. Fateh, "Adaptive Fourier series-based control of electrically driven robot manipulators", The 3rd International Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA), 213-218, 2013.

[19] S. E. Talole, J. P. Kolhe, and S. B. Phadke, "Extended-state-observer-based control of flexible-joint system with experimental validation." IEEE Trans. Industrial Electronics, **57** (4), 1411-1419, 2010.

[20] W. H. Chen, D. J. Ballance, P. J. Gawthrop, and J. O'Reilly, "A Nonlinear Disturbance Observer for Robotic Manipulators." IEEE Trans. Industrial Electronics, 47 (4), 932-938, 2000.

[21] M. R. Akbarzadeh T. and R. Shahnazi, "Direct adaptive fuzzy PI sliding mode control for a class of uncertain nonlinear systems." in Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern.,Waikoloa, HI, Oct. 10–12, pp. 2548– 2553, 2005.

[22] M. W.Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, "Robot Modeling and Control" Wiley, Hoboken, 2006.

[23] N. Hogan, "Impedance control: An approach to manipulation: Part II—Implementation." Journal of dynamic systems, measurement, and control 107.1: 8-16, 1985.

[24] E. Kreyszig, Advanced Engineering Mathematics, John Wiley & Sons, 2007.

[25] R. Shahnazi, H. Modir Shanechi and N. Pariz, "Position Control of Induction and DC Servomotors: A Novel Adaptive Fuzzy PI Sliding Mode Control." IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 23, NO. 1, pp. 138-47, MARCH 2008.

Attitude Control and Trajectory tracking of an Autonomous Miniature Aerial Vehicle

Seyed Jamal Haddadi
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering,
Qazvin Branch,
Islamic Azad University
Soheil.hadadi@gmail.com

Omid Emamagholi
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering,
Qazvin Branch
Islamic Azad University
Emamgholi.omid@gmail.com

Farahnaz Javidi
Faculty of Electrical,
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering,
Qazvin Branch,
Islamic Azad University farahnaz.javidi@yahoo.com

Ahmad Fakharian
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering,
Qazvin Branch,
Islamic Azad University
ahmad.fakharian@qiau.ac.ir

***Abstract* – This paper introduces a Miniature Aerial Vehicle (MAV) which is Autonomous in outdoor environment. Main contributions of this research are both new trajectory tracking and attitude control scheme in real flight mode. This MAV is based on a traditional quadrotor. For stabilization of the quadrotor's attitude a PID controller is utilized. The proposed controller is designed such that to be able to attenuate effect of external wind disturbance and guarantee stability in this condition. For autonomous trajectory tracking, it is necessary to have a fixed altitude. Also an ARM cortex M4 microcontroller performs processing activities. Then, a trajectory is determined by a GPS in Mission Planner software for the outdoor environment. For real time communication between robot and ground station, HMTR module is used. Flight data is saved in Memory SD card and converts to MATLAB code for real time implementation. Experimental results of the proposed controller on the Autonomous Quadrotor in real conditions show the effectiveness of our approach.**

Keywords— Attitude Control, Quadrotor, Autonomous, PID Controller, Trajectory tracking, Stabilization

III. INTRODUCTION

Recently, Quadrotor is a popular robotic system which has become prevalent by researchers, [1-4]. Also unmanned aerial vehicles (UAVs) which quadrotor is one kind of them, have shown a growing interest thanks to the recent technological projections, especially those related to instrumentation, [5]. this vehicles (UAVs) are increasingly gaining popularity due to the considerable technological advances in the fields of microelectronics and MEMS (Micro Electro mechanical systems), providing a huge range of high-performance microcontrollers and sensors of several types, elements which are essential for an UAV, [6]. Implication of Quadrotor has been introduced during the time. It is reported in 1907 that Quadrotor (Gyroplane No.1) which was manufactured by Breguet-Richet, is reported to have lifted into the fight, [7]. The control of a quadrotor is accomplished by independently regulating the speed of each rotor. This Design of system is particularly suitable for small UAVs, because it reduces of mechanical convolution of rotor and simplifies the control algorithms [8]. In fact, these Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are commonly used for

military and civilian purposes such as traffic monitoring, patrolling for forest fires, surveillance, landslide and rescue, in which the pilot risks are often high. In addition, military applications currently represent the lion's part of the unmanned flying vehicle market, and this industrial sector is strongly growing. Also, UAVs can be also used in indoor and outdoor purposes. Moreover, they can be used to work in hazardous environments which represent a thread for humans, [9]. For these reasons, UAVs are recently aroused a great interest in the research and academic societies, and they are used as a platform for many applications such as pure academic researches. The Quadrotor can be also considered as a standard platform for the research on aerial robotics, such as implementations for complex and nonlinear controllers, [9-12], studies on the hardware and software architecture, [13-14], and simultaneous localization and mapping, [15-16].

A quadrotor flying robot consists of four rotors which must be appropriately controlled to maintain the flight stability and the attitude control in three axes. These rotors are fixed on the edges of a cross-shaped structure, [6]. A stable flight is required for the safety and the better flying experience and also, to achieve a successful mission, [17]. The Quadrotor is considered as an under-actuated system with six degrees of freedom (three translational and three rotational) and only four independent inputs (rotor speeds) in which the states are highly coupled. Since the Quadrotor has the nonlinear dynamics, so many controllers have been designed to deal with its attitude and position control, [18]. However, the investigation of open source and commercial robots reveal that Proportional Integral Derivative (PID) controllers are used in more than 90 percent of cases. For this reason, the attitude stabilization controllers are placed on a conventional PID controller. As carried out from a four-rotorcraft, [19], a PID controller and a Linear Quadratic Regulator (LQR) are implemented and proved to control the system attitude, [20-22]. However, these designed controllers rely on a linearized dynamic model of the aerial vehicle. The controllers effectively attain the system stability if the vehicle is in a configuration near to the point which the model is linearized about it. However, the performance deteriorates dramatically if the vehicle state significantly differs from this desired equilibrium. Accordingly, these controllers have difficulties in handling perturbations, and seem unlikely to allow for trajectory tracking, [23]. Also, Figure (1) shows the quadrotor that is made in this paper.



Figure 1: Considered quadrotor

In this paper, the development of an autonomous aerial vehicle is focused based on the designed Quadrotor with the capability of reconnaissance and mapping to achieve targets. To this end, the configuration of the overall platform is studied. Next, dynamics modelling of the Quadrotor is described. Then, an attitude control algorithm and its needed hardware are explained. Subsequently, implementation of the designed controller on a real autonomous rotorcraft is expressed. Finally, the obtained results are shown using MATLAB/Simulink.

IV. Dynamics Modelling of Quadrotor

The first stage before the controller development of a system is dynamics modelling of the system, [16]. The Quadrotor concept is basically the same with the very well-known concept of Quadrotor, [17]. All of the four propellers are immediately assembled to the motor without any gear set. Also, the propeller axes of rotation are separately fixed. Moreover, Figure (2) shows flight theory of Quadrotor.

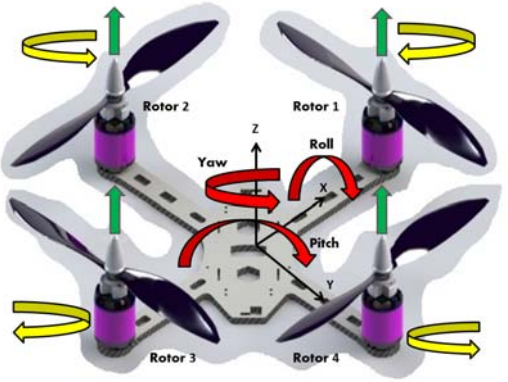


Figure 2: Flight theory of Quadrotor

According to this Figure, speed of forward direction propellers are ω_1 and ω_2, speed of right direction propellers are ω_3 and ω_4, speed of backward direction propellers are ω_5 and ω_6, and speed of left direction propellers are ω_7 and ω_8. In fact, Quadrotor is a 6-DOFs rigid body and its throttle is provided by four brushless DC motors. So, the Quadrotor is a four-input control system. Considering the gyroscope effect, gravitational vector and Quadrotor movement vector can be

calculated. So, the dynamic equations of the Quadrotor system can be extended.

Also, the kinematics of Quadrotor can be described as:

$$\mathbf{\Theta_E} = \mathbf{R}\mathbf{\Theta_B} \tag{1}$$

$$\mathbf{\Omega_E} = \mathbf{T}\mathbf{\Omega_B} \tag{2}$$

where, $\mathbf{\Theta_E}$ and $\mathbf{\Omega_E}$ are the position vector and the angular velocity vector in the inertial frame, $\mathbf{\Theta_B}$ and $\mathbf{\Omega_B}$ are the position vector and the angular velocity vector in the body-fixed frame respectively, and $\mathbf{R}$ is the rotation matrix and $\mathbf{T}$ is the transfer matrix. Moreover, the rotation matrix and the transfer matrix can be stated as:

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} c\theta c\psi & s\varphi s\theta c\psi - c\varphi s\psi & s\varphi s\psi + c\varphi s\theta c\psi \\ c\theta s\psi & s\varphi s\theta s\psi - c\varphi c\psi & c\varphi s\theta s\psi - s\varphi c\psi \\ -s\theta & s\varphi c\theta & c\varphi c\theta \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & \sin\varphi\tan\theta & \cos\varphi\tan\theta \\ 0 & \cos\varphi & -\sin\varphi \\ 0 & \sin\varphi\cos\theta & \cos\varphi\cos\theta \end{pmatrix} \tag{4}$$

Where c and s denote Cos and Sin functions respectively and g denotes the gravity constant. Base on the Newton-Euler equations, the dynamic equations of motion of the Quadrotor can be described as:

$$\begin{cases} \mathbf{m}\left(\dot{\mathbf{v}}_\mathbf{B} + \boldsymbol{\omega}_\mathbf{B} \times \mathbf{v}_\mathbf{B}\right) = \mathbf{F}_\mathbf{B} \\ \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}}_\mathbf{B} + \boldsymbol{\omega}_\mathbf{B} + \boldsymbol{\omega}_\mathbf{B} \times \left(\mathbf{I}\boldsymbol{\omega}_\mathbf{B}\right) = \boldsymbol{\tau}_\mathbf{B} \end{cases} \tag{5}$$

Since the distribution of the mass of the Quadrotor is symmetrical so, the inertia matrix is diagonal. Consequently, this can lead to the simplified dynamic model. The model is defined for the hover flight, so in this case, $\boldsymbol{\omega}_\mathbf{E}$ can be replaced with $\boldsymbol{\omega}_\mathbf{B}$. Considering the wind disturbance on the height axes $\mathbf{D}_z$, the translational and rotational dynamics of Quadrotor can be concluded as:

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} = \left(\frac{I_y - I_z}{I_x}\right)\dot{\theta}\dot{\psi} + \frac{J_{TP}}{I_x}\dot{\theta}\,\omega_r + \frac{U_2}{I_x} \\ \ddot{\theta} = \left(\frac{I_z - I_x}{I_y}\right)\dot{\psi}\dot{\varphi} - \frac{J_{TP}}{I_y}\dot{\varphi}\,\omega_r + \frac{U_3}{I_y} \\ \ddot{\psi} = \left(\frac{I_x - I_y}{I_z}\right)\dot{\varphi}\dot{\theta} + \frac{U_4}{I_z} \\ \ddot{x} = \frac{1}{m}\left(c\varphi\, s\theta\, c\psi + s\psi\, s\varphi\right)U_1 \\ \ddot{y} = \frac{1}{m}\left(c\varphi\, s\theta\, s\psi - s\varphi\, c\psi\right)U_1 \\ \ddot{z} = \frac{1}{m}\left(c\theta\, c\varphi\right)U_1 - g + D_z \end{cases} \tag{6}$$

Where J_{TP} is the total rotational moment of inertia around the propeller axis and ω_r is the total speed or propeller's residual speed which is implemented as:

$$\omega_r = -\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 \tag{7}$$

In addition, system inputs components or U_1, U_2, U_3, U_4 are defined as:

$$\begin{aligned} U_1 &= b\left(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2\right) \\ U_2 &= bl\left(-\omega_2^2 + \omega_4^2\right) \\ U_3 &= bl\left(-\omega_1^2 + \omega_3^2\right) \\ U_4 &= d\left(-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2\right) \end{aligned} \tag{8}$$

Where, ω_i is the angular velocity of the propeller, b is the thrust factor, and d is the drag factor. Each rotors are located at the end of bars, where l is the length from the centre to the rotor, [19]. Also, sensor measurement noise is considered as disturbances in the rotational mode.

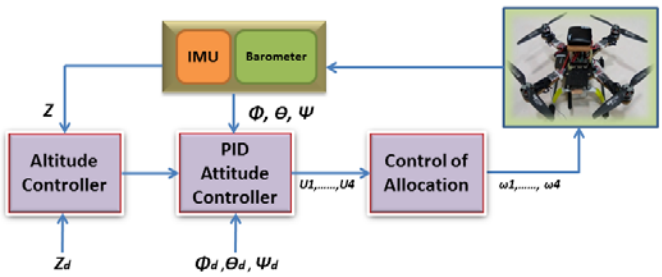


Figure 3: Assumed control algorithm architecture

V. CONTROLLER DESIGN

In this section, the controller design procedure is explained which consists an inner controller loop and an outer controller loop. Also, the hardware configuration for implementation the designed controller on the Quadrotor is studied in the next section. In fact, a PID controller is a well-known controller that can be used in different applications. Whenever the Quadrotor is not stable, the PID controller will determine how much to increase or decrease the motor speed and it can be stable again, [18]. The designed Quadrotor will also use a PID control system, which will be tuned to determine the optimum response and settling time. This classical PID controller is explained to stabilize the Quadrotor. As stated before, Quadrotor is an under-actuated system. So, it should be controlled by a closed-loop controller to ensure its stabilization and to be able to autonomously follow a given trajectory.

A. Inner Control Loop

There are two types of movements that occur on the Quadrotor which have six DOFs; three DOFs for the rotational and three DOFs for the translation movement. As seen from Eq. (6), the rotational motion does not depend on the translational motion while the opposite is not true. Thus, double-loop control architecture is designed for the flying robot's attitude control, as shown in Figure (3). The inner control loop is designed for the stability and tracking of the desired Euler angles, while the outer control loop is consider for regulating the robot altitude.

The inner control loop is an attitude control which controls Euler angles of the system. Also, the outer control loop is responsible for slow dynamics. To stabilize roll, pitch and yaw angle, attitude control contains of three separate PID controllers to induce system states to the rest at the equilibrium point which it can be selected as the origin. So, the control law can be described as:

$$\mathbf{U} = \mathbf{K_p}\,\mathbf{e}(t) + \mathbf{K_i}\int_0^t \mathbf{e}(\tau)\,d\tau + \mathbf{K_d}\frac{d\mathbf{e}(t)}{dt} \tag{9}$$

Where $\mathbf{K_p}, \mathbf{K_i}, \mathbf{K_d}$ the controller gains and the error signal are is the difference of the desired value of attitude angles and the measured output by sensors in each time step as:

$$\begin{aligned} e_\varphi(t) &= \varphi_d(t) - \varphi(t) \\ e_\theta(t) &= \theta_d(t) - \theta(t) \\ e_\psi(t) &= \psi_d(t) - \psi(t) \end{aligned} \tag{10}$$

So, the PID controller attempts to reduce the error until the stabilized attitude is achieved as:

$$\begin{aligned} U_1 &= K_{p\varphi}\,e_\varphi(t) + K_{i\varphi}\int_0^t e_\varphi(\tau)\,d\tau + K_{d\varphi}\frac{de_\varphi(t)}{dt} \\ U_2 &= K_{p\theta}\,e_\theta(t) + K_{i\theta}\int_0^t e_\theta(\tau)\,d\tau + K_{d\theta}\frac{de_\theta(t)}{dt} \\ U_3 &= K_{p\psi}\,e_\psi(t) + K_{i\psi}\int_0^t e_\psi(\tau)\,d\tau + K_{d\psi}\frac{de_\psi(t)}{dt} \end{aligned} \tag{11}$$

B. Outer Control Loop

The altitude control is designed as an outer loop to hold the Quadrotor in a hover mode flight and keep the height in a desired position of the z axis. Since its lower priority from the attitude control, height control is designed as a second control loop with a simple PD control law as:

$$\begin{aligned} T_z &= k_p(z_d - z) + k_d(\dot{z}_d - \dot{z}) - mg \\ T &= -T_z / c\varphi\, c\theta \end{aligned} \tag{12}$$

Then, the altitude control law can be presented as:

$$U_1 = -\frac{1}{c\varphi\, c\theta}\left(k_p(z_d - z) + k_d(\dot{z}_d - \dot{z}) - mg\right) \tag{13}$$

VI. CONTROLLER HARDWARE CONFIGURATION

A classical PID controller is implemented on the Quadrotor which its flight data is monitored in Mission Planner Software as online. Since the flight data is saved in micro SD memory which is on Microprocessor, the saved data is converted to MATLAB data file and then this data are exported to MATLAB/SIMULINK after end of flight. In order to process data, ARM Cortex M4 processor is used which is the main controller. Also, there is a MPU6000 Gyro-Accel sensor that combines a 3-axis gyroscope and a 3-axis accelerometer on the same silicon die together. This gyro-Accel sensor has an onboard Digital Motion Processor (DMP) with capability

for processing complex 9-axis motion fusion algorithms. Moreover, there is a HMC5883L compass on the Quadrotor to determine the direction changing. Also, RX R710 DSM2 receiver with 7 channel and 2.4 GH, four Pentium 30A ESC, Four BDC motors, and 11.1 Volt 2200 mAh Battery are placed on the considered Quadrotor. Also the controller input of the Quadrotor is RX R710 DSM2 receiver. Designed Electronic board is shown in Figure (4).

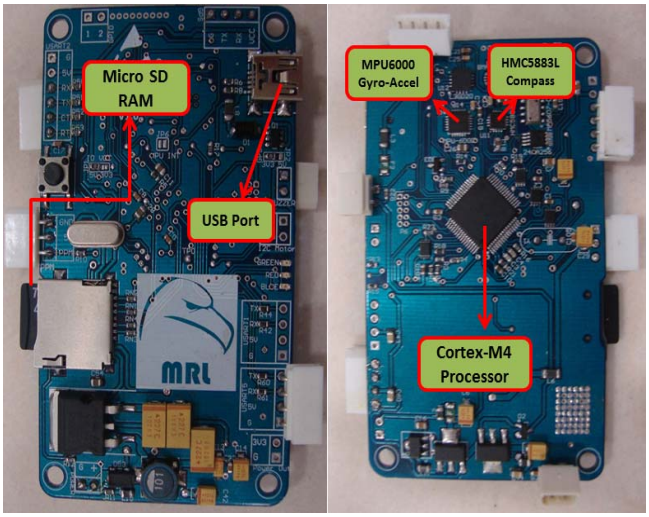


Figure 4: Designed electronic board

In addition, RX R710 DSM2 receiver will generate a PWM signal and the MPU6000 sensor will generate data as the digital input. These data enter to the slave processor and the slave processor will give all the data to the master processor via a universal asynchronous transfer from the TX of slave processor to the RX mast processor. When the Quadrotor will fly to the desired area, the Gyro-Accel will automatically stabilize the Quadrotor since the PWM output affects the stabilization of the Quadrotor system.

For the attitude control, all data is taken from the IMU, with 100 HZ frequency. Also, in order to effectually drive four Brushless Direct Current (BDC) motors, i2c speed controllers are selected. Also, a HMTR module with 414 MHZ wireless data is used to communicate between the grounds stations and the flaying robot. Figure (5) is shown the stated hardware architecture of the flight control system.

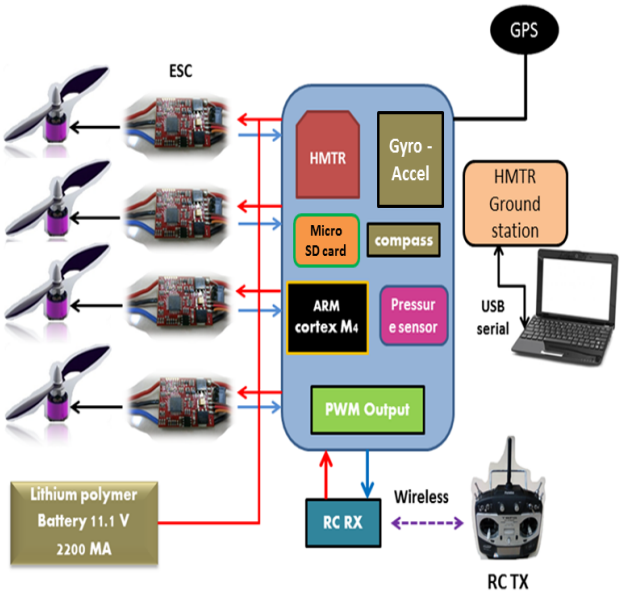


Figure 5: Controller hardware architecture

VII. Obtained Results and Discussions

The implementation results of the designed controller on the considered Quadrotor are obtained in this section. This robot is manufactured by Mechatronics Research Lab (MRL) team in Qazvin Islamic Azad University. Also, the proposed control strategy is initially tested by simulations in MATLAB and then it is implemented on the real system.

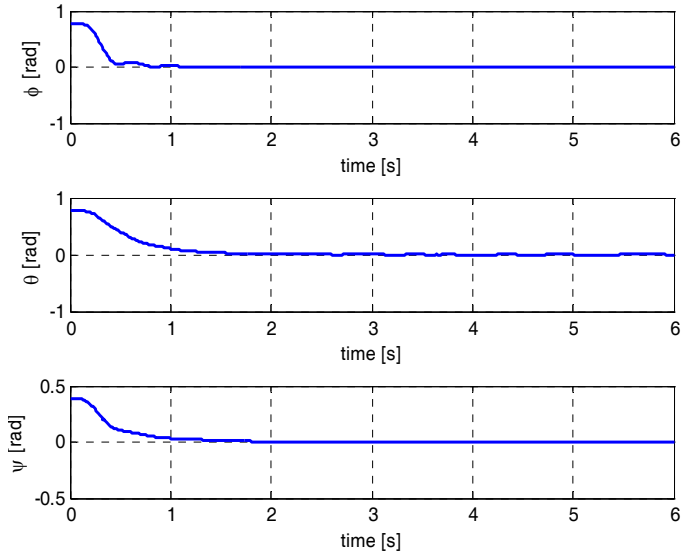


Figure 6: Attitude angles of Quadrotor for PID controller

As shown in Figure (6), the designed PID controller increases the regulation speed. It should be noted that the implemented controller tries to eliminate the measurement noise and disturbances. As a result of the implementation, input and output of attitude angles of the Quadrotor or the roll and pitch angles are similar (Figure (7)).

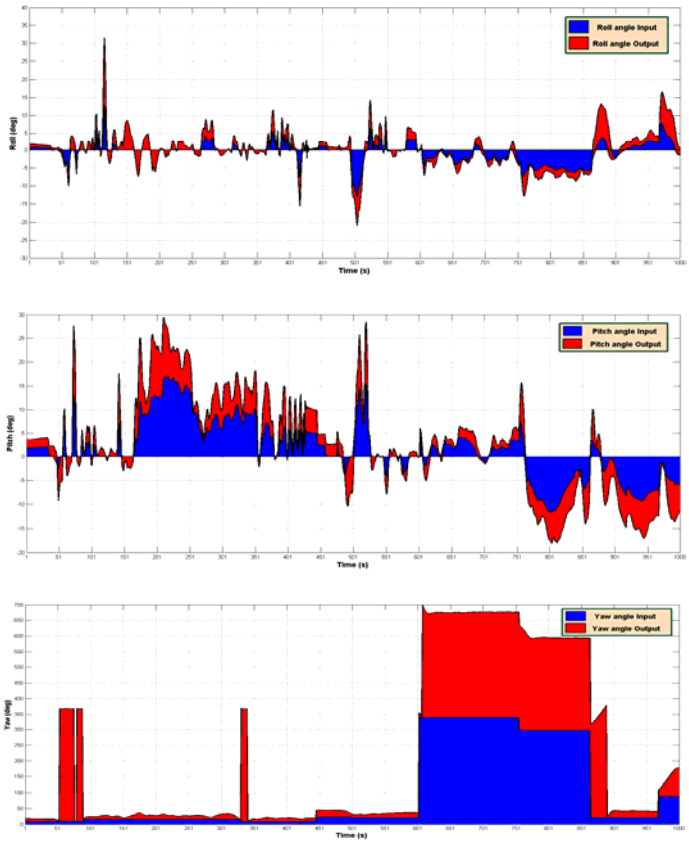


Figure 7: Input and Output of Attitude angles for PID controller

The situation of yaw angle changes slower due to the angular input which stimulates it smoother.

Moreover, the implemented altitude controller regulates the Quadrotor position to its desired set-point in 2 seconds as shown in Figure (8). By rejecting the wind disturbance force in the z axis, the PID controller performs its best manoeuvre for the considered Quadrotor.

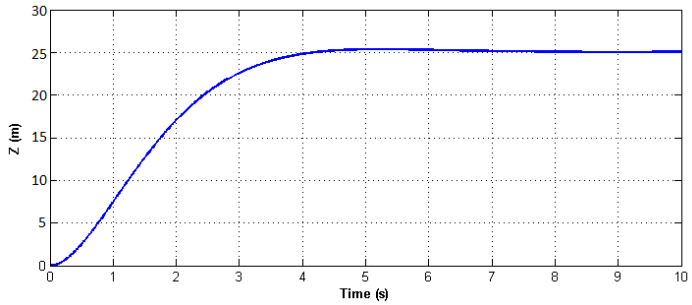


Figure 8: Altitude regulation of Quadrotor for PID controller

As shown in Figure (8), the system maintains the height in 25 meters although the noise exists on the sensors. Also for implementation of trajectory tracking in this paper, the robot has over 350 square meters. As shown in Figure (9), the stabilization and attitude control are carried out with the control law as possible without loss of the manoeuvrability.

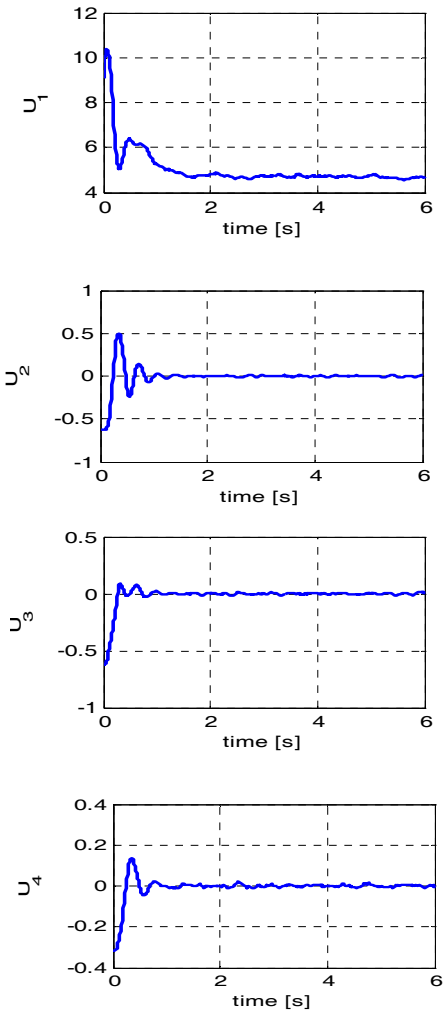


Figure 9: Control effort of Quadrotor for PID controller

In addition, the path plan of manoeuvre is shown in Figure (10).

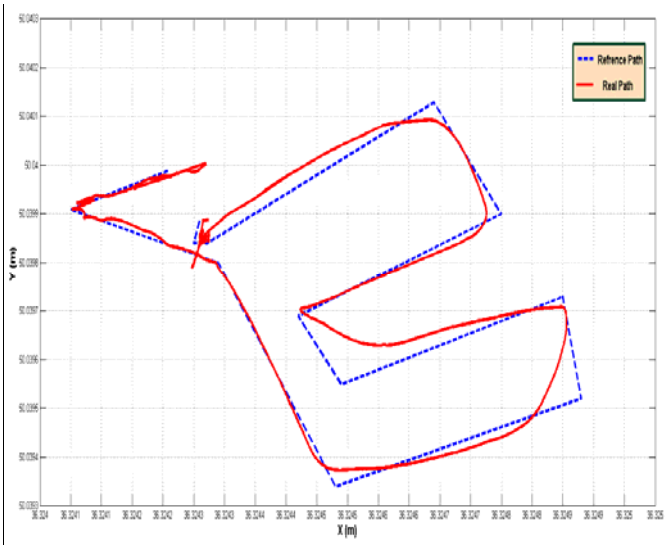


Figure 10: Trajectory tracking of Quadrotor for PID controller

VIII. CONCLUSION

In this paper, an autonomous quadrotor was introduced to work in the outdoor environments. Also, an attitude controller was proposed and implemented in real flight mode and relatively moderate weather conditions. To attain a successful manoeuvre, a PID controller was utilized to stabilize attitude and resist against external wind disturbance. Also for altitude control, a PD controller was used. As shown, it was necessary to accurately regulate the controller coefficients which are dependent to dynamic parameters of the aerial robot. Finally, it was shown that this controller was properly performed the desired manoeuvre for the designed Quadrotor. Effectiveness of proposed control scheme was justified by implementation of this controller in a real quadrotor and performing a typical trajectory tracking test.

REFERENCES

[1] Bouabdallah, S., Murrieri, Pierpaolo, and Sigwart, R. "Design and Control of an Indoor Micro Quadrotor", *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, New Orleans, LA, USA, (2004)

[2] Rawashdeh, Osamah A., Yang, Hong Chul, AbouSleiman, Rami D., and Sababha, Belal H., "Microraptor: A Low-Cost Autonomous Quadrotor System", *International Conference on Design Engineering Technical and Computers and Information in Engineering,* San Digo, California, USA (2009)

[3] Min, B. C., Cho, C. H., Choi, K. M. and Kim, D. H., "Development of a Micro Quad-Rotor UAV for Monitoring an Indoor Environment", *Proceedings of the FIRA RoboWorld Congress on Advances in Robotics*, Incheon, Korea, (2009)

[4] Fowers, S. G., Lee, D., Tippetts, B. J., Lillywhite, K. D., Dennis, A. W., and Archibald, J. K., "Vision Aided Stabilization and the Development of a Quad-Rotor Micro UAV", *Proceedings of the IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, JacKsonville, Florida, U.S.A, (2007)

[5] Atheer L. Salih, M. Moghavvemi Haider A. F. Mohamed and Khalaf Sallom Gaeid, "Flight PID controller design for a UAV quadrotor", Scientific Research and Essays Vol. 5(23), pp. 3660-3667, 4 December, 2010

[6] Jose C. V. Junior, Julio C. De Paula, Gideon V. Leandro, Marlio C. Bonfim, " Stability Control of a Quad-Rotor Using a PID Controller" *Brazilian Journal of Instrument and Control,2013,* ISSN: 2318-4531

[7] Mellinger, D., Michael, N., Shomin, M., and Kumar, V., "Recent Advances in Quadrotor Capabilities", *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Shanghai, China, (2011)

[8] Gigun Lee1, Dong Yan Jeon, Nguyen Dang Khoi, Taesam Kang, "Attitude Control System Design For a Quadrotor Flying Robot", *8th International Conference on* Ubiquitous *Robots and Ambient Intelligence (URAI),* Songdo ConventiA, Incheon, Korea, (2012)

[9] Ivan, G., "Attitude stabilization of a Quad-rotor based on rotor speed sensing with Accelerometer data estimation via Kalman filtering", *Proceedings of the Chinese Control Conference*, Hefei, China, (2012)

[10] Diao, C., Xian, B., Yin, Q., Zeng, W., Li, h., and Yang, Y., "A nonlinear adaptive control approach for Quadrotor *UAVs," 8th Asian Control Conference (ASCC)*, pp. 223–228, Splendor Kaohsiung, Taiwan, (2011)

[11] Colorado, J., Barrientos, A., Martinez, A., Lafaverges, B., and Valente, J., "Mini-Quadrotor attitude control based on hybrid backstepping and frenet-serret theory," *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 1617–1622, Anchorage, Alaska, (2010)

[12] Coza, C. and Macnab, C., "A new robust adaptive-fuzzy control method applied to Quadrotor helicopter stabilization," *NAFIPS. Annual meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*, pp. 454–458, (2006)

[13] Madani, T. and Benallegue, A., "Sliding mode observer and backstepping control for a Quadrotor unmanned aerial vehicles," *American Control Conference*, pp. 5887–5892, Concordia University Montreal, QC, Canada, (2007)

[14] Bhave, A., Krogh, B, Garlan, D., and Schmerl, B., "View consistency in architectures for cyber-physical systems," *IEEE/ACM International Conference on Cybernetic*, Chicago, IL, USA, (2011)

[15] Ilarslan, M., Bayrakceken, M., and Arisoy, A., "Avionics system design of a mini VTOL − UAV," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 26(10), pp. 35–40, (2011)

[16] Ghadiok, V., Goldin, J., and Ren, W., "Autonomous indoor aerial gripping using a Quadrotor," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 4645–4651, San Francisco, California, USA, (2011)

[17] Grzonka, S., Grisetti, G., and Burgard, W., "A fully autonomous indoor Quadrotor," *IEEE Transactions on Robotics*, 28(1), pp. 90–100, (2012)

[18] Hazry, D., S. Faiz, A., and A. Zul, A., "Adaptiveb Hybrid Control Algorithm Design for Attitude Stabilization of Quadrotor (UAV)", *Archives Des. Sciences,* 66(2); (2013)

[19] Rudin, K., Hua, M. D., Ducard, G., and Bouadbaallah, S., "A Robust Attitude Controller and its Application to Quadrotor helicopters", *International federation of automatic control*, Milano, Italy, (2011)

[20] Bouabdallah, S., Noth, A., and Sigwart, R., "PID vs. LQ control techniques applied to an indoor micro Quadrotor", *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 2451–2456, San Francisco, California, (2011)

[21] Zarafshan, P., Moosavian, S. Ali A., and Bahrami, M., "Comparative Controller Design of an Aerial Robot", *Aerospace Science and Technology Journal*, 14(4), pp. 276–282, (2010)

[22] Zarafshan, P., Moosavian, S. B., Moosavian, S. Ali. A., and Bahrami, M., "Optimal Control of an Aerial Robot*", Proceeding of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, Xian, China, (2008)

[23] Zarafshan, P., Moosavian, S. Ali A., and Bahrami, M., "Adaptive Control of An Aerial Robot using Lyapunov Design", *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics, Automation & Mechatronics (RAM)*, Chengdu, China, (2008)

Dynamics Modeling of Planar Continuum Robots by Finite Circular Elements for Motion Control

Mohammad Dehghani
Center of Excellence in Robotics and Control, Advanced Robotics and Automated Systems Lab, Dept. of Mechanical Engineering, K. N. Toosi Univ. of Technology, Tehran, Iran
mudehghani@yahoo.com

S. Ali A. Moosavian
Center of Excellence in Robotics and Control, Advanced Robotics and Automated Systems Lab, Dept. of Mechanical Engineering, K. N. Toosi Univ. of Technology, Tehran, Iran
moosavian@kntu.ac.ir

***Abstract*—Effective dynamics modeling and control of continuum robots have been a challenge for almost a couple of decades. The most important modeling challenge is to provide a model with good precision, which can be solved numerically in a reasonable time. Specifically, it is valuable if an accurate model can be solved in real-time, in order to be used in real-time control implementations. In this paper, using the proposed dynamics model of continuum robots, a model based control is introduced and simulated. This model is based on the assumption of circular arcs (a series of constant-curvature elements). This model is fast and accurate, and can be solved in real-time. Then, the model base controller is designed and simulated for some trajectory tracking tasks. The controller response is analyzed in two cases, one with consideration of model uncertainties, and the other without uncertainties. The results without uncertainties are appropriate, as discussed in the simulation results. However, the controller should be modified to provide better results when uncertainties are applied.**

Keywords: continuum robot, model based control, dynamics modeling, circulararcs.

INTRODUCTION

In contrast to typical robots, a continuum robot motion is based on body deformation, as depicted in Fig.14. Typically, the body is made of a flexible backbone, which may be bent, twisted and compressed, when external or actuation forces are applied. Dynamics modeling of continuum robots has been a challenge in recent years. In our previous works, we developed statics, [1, 2], and dynamics model, [3-5], for unextensible continuum robots. Using the statics model, some control algorithms were presented, [6, 7], and some approaches were introduced to achieve better accuracy and faster numerical calculations, [8, 9]. However, since continuum robots are deformable objects, it is vital to consider their dynamics in the controller designs, specifically, when the robot motion is not slow, [3].

In [10-12], position control were performed using potential functions. In [13], a closed form control is proposed, based on the electromagnetic sensors. In [14], neural network was used for robot modeling in the control loop. In [15, 16] some PID controllers were proposed for a trunk robot. In [17], two nonlinear controller were introduced. In [18], robot vibration modes were controlled using a PD controller. Motor control of a continuum robot is introduced in [19].

This paper presents dynamics model and control of planar continuum robots, using circular arcs, as a finite element method. The robot can have any number of actuation torques, and any number of external forces can be applied to the backbone. Then, a model base control method is proposed for robot tip position and trajectory tracking, to show the application of the proposed model in control applications. Using this model based controller, the robot can be controlled even in high speeds. The outline of this paper is as follows: in section II, the robot dynamics model is introduced, using the assumption of circular arcs.Then, in section III, the model-based control law is proposed and simulated. Once, the control simulations are presented without model uncertainties, and ones with model uncertainties. The conclusions and future works are discussed in section IV.

DYNAMICS MODEL USING CIRCULAR ARCS

In this section, the dynamics model of a continuum robot, using the assumption of circular arcs (constant curvature elements) is derived, [4, 5]. To this end, a continuum robot with a metallic backbone is considered as a series of n circular arcs, as depicted inFig.15. Therefore, the robot is considered to be inextensible, with a constant length L. As depicted in the figure, the $\mathbf{X}_i\mathbf{Y}_i$ coordinate is placed at the base of the i^{th}arc, while the Y-axis is tangent to the arc.

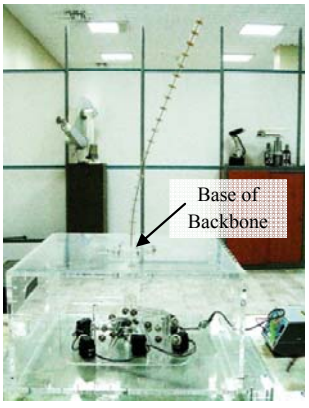


Fig.14.A tendon driven continuum robotic arm.

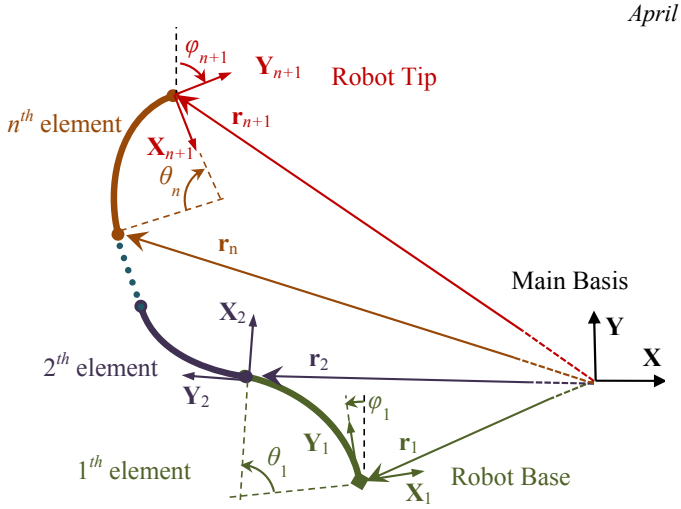


Fig.15. Kinematics of a continuum robot considered as *n*

As depicted in Fig.15, the base and the tip of i^{th} elements are the i^{th} and i+1th nodes. The length, position and orientation at the i^{th} node are represented by L_i, $\mathbf{r}_i$ and φ_i, respectively. The position of the i+1th node relative to the i^{th} node, is represented by $\mathbf{r}_{fi}$, which is defined as

$$\mathbf{r}_{fi} = \mathbf{r}_{i+1} - \mathbf{r}_i \,. \tag{1}$$

The base coordinate of the i^{th} arc is represented by $\mathbf{X}_i\mathbf{Y}_i$, which is considered as the local frame of the i^{th} element; the vectors represented on these local coordinates are specified by the super script l. From the geometry of a circular arc, the position of the i+1th node in the local $\mathbf{X}_i\mathbf{Y}_i$ coordinate is $\mathbf{r}_{i+1}$, determined as
In order to transform a vector from local coordinate to the main frame, the rotation matrix $\mathbf{R}$ is defined as

$$\mathbf{R}_i = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_i) & -\sin(\varphi_i) \\ \sin(\varphi_i) & \cos(\varphi_i) \end{bmatrix}_{2\times 2} . \tag{3}$$

Furthermore, the arc's mass center position vector is represented by $\mathbf{r}_{Gi}$, determined as

$$\mathbf{r}_{Gi}^{\ l} = \frac{L_i}{\theta_i^2}\begin{bmatrix} \sin(\theta_i) - \theta_i \\ 1 - \cos(\theta_i) \end{bmatrix}. \tag{4}$$

As depicted inFig.15, the element local basis $\mathbf{X}_i\mathbf{Y}_i$ can move relative to the main basis $\mathbf{XY}$, with the linear velocity $\mathbf{v}_i$, and the angular velocity $\boldsymbol{\omega}_i$, as

$$\mathbf{v}_i = \begin{bmatrix} \dot{x}_i & \dot{y}_i \end{bmatrix}^T , \quad \boldsymbol{\omega}_i = \dot{\varphi}_i \hat{\mathbf{k}} , \tag{5}$$

where$\mathbf{k}$ represents the unit vector along z-axis. The absolute velocity (relative to $\mathbf{XY}$) of each point of arc is determined by

$$\mathbf{v}(s) = \mathbf{v}_i + \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{r}(s) + \dot{\mathbf{r}}(s) . \tag{6}$$

Likewise, the angular velocity at each point is represented by $\boldsymbol{\omega}(s)$, for which we have

$$\boldsymbol{\omega}_{i+1} = \boldsymbol{\omega}_i + \dot{\theta}_i \ . \tag{7}$$

The four degrees of freedom considered for the i^{th} circular arc in this paper are chosen to be its bending angle θ_i, the base position x_i and y_i, and the base angle φ_i. Thus, the general coordinates of the i^{th} arc are represented by $\mathbf{q}_{arc,i}$, as

$$\mathbf{q}_{arc,i} = \begin{bmatrix} \varphi_i & \theta_i & x_i & y_i \end{bmatrix}^T . \tag{8}$$

The kinetic energy of the i^{th} arc is represented by $T_{arc,i}$. Consider the robot as a flexible rod, for which ρ is the rod density, A is the cross sectional area and I_c is the second moment of cross sectional area. Then, the kinetic energy $T_{arc,i}$ is

$$T_{arc,i} = \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}_{arc,i}^T \mathbf{M}_{arc,i} \dot{\mathbf{q}}_{arc,i} \ , \tag{9}$$

$$\mathbf{r}_{i+1}^{l} = \frac{L_i}{\theta_i}\begin{bmatrix} \cos(\theta_i) - 1 & \sin(\theta_i) \end{bmatrix}^T . \tag{2}$$

where, the arc inertia matrix$\mathbf{M}_{arc,i}$ is determined as

$$\mathbf{M}_{arc,i} = \begin{bmatrix} m_{\omega\omega} & m_{\omega\theta} & m_{\omega x} & m_{\omega y} \\ m_{\omega\theta} & m_{\theta\theta} & m_{\theta x} & m_{\theta y} \\ m_{\omega x} & m_{\theta x} & m_{xx} & 0 \\ m_{\omega y} & m_{\theta y} & 0 & m_{yy} \end{bmatrix}_{4\times 4} , \tag{10}$$

where for an arc with mass M, length L, bending angle θ, density ρ, moment of inertia I_C and cross section area A, we have

$$\begin{aligned}
m_{\omega\omega} &= \frac{2ML^2(\theta - \sin(\theta))}{\theta^3} + \rho L I_C \,, \\
m_{\omega\theta} &= ML^2\left(\frac{1-\cos(\theta)}{\theta^4} - \frac{\sin(\theta)}{\theta^3} + \frac{1}{2\theta^2} + \frac{I_C}{2AL^2}\right), \\
m_{\omega x} &= \frac{ML}{\theta^2}(\cos(\theta) - 1) \,, \quad m_{\omega y} = \frac{ML}{\theta^2}(\sin(\theta) - \theta) \,, \\
m_{\theta\theta} &= 2ML^2\left(\frac{1}{6\theta^2} + \frac{\cos(\theta)+1}{\theta^4} - \frac{2\sin(\theta)}{\theta^5} + \frac{I_C}{6AL^2}\right), \\
m_{\theta x} &= \frac{ML}{\theta^3}\left(\theta(\cos(\theta)+1) - 2\sin(\theta)\right), \\
m_{\theta y} &= \frac{ML}{\theta^3}\left(\theta\sin(\theta) - 2\cos(\theta) - 2\right), \\
m_{xx} &= M \ , \quad m_{yy} = M \ ,
\end{aligned} \tag{11}$$

As mentioned before, the i^{th} frame moves by $\mathbf{v}_i$ and $\boldsymbol{\omega}_i$. The position vectors, velocities and Jacobian matrices of all elements and nodes can be determined recursively, since the robot is considered as a series of circular elements. For the linear velocity, we have

$$\mathbf{v}_{i+1} = \mathbf{v}_1 + \sum_{j=1}^{i}\left(\mathbf{r}'_{fj}\dot{\theta}_j + \boldsymbol{\omega}_j \times \mathbf{r}_{fj}\right). \tag{12}$$

Likewise, the angular velocity at each node is

$$\omega_{i+1} = \dot{\varphi}_{i+1} = \omega_1 + \sum_{j=1}^{i} \dot{\theta}_j \,. \tag{13}$$

The general coordinates of the$n$+3-degree-of-freedom robot are represented by$\mathbf{q}$, as

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \varphi_1 & \theta_1 & \theta_2 & \cdots & \theta_n & x_1 & y_1 \end{bmatrix}^T . \tag{14}$$

To derive Jacobian matrices of the robot, the velocities must be resolved as linear functions of $\mathbf{q}$.For angular velocities, $\mathbf{J}_{\omega i}$ is defined as

$$\begin{aligned} &\omega_i = \mathbf{J}_{\omega i}\dot{\mathbf{q}} \,, \\ &\mathbf{J}_{\omega i} = \begin{bmatrix} \mathbf{1}_{1\times i} & \mathbf{0}_{1\times(n+3-i)} \end{bmatrix}_{1\times(n+3)} , \end{aligned} \tag{15}$$

where$\mathbf{1}$ and $\mathbf{0}$ are matrices whose all elements are respectively one and zero. Likewise, for linear velocities, we have

$$\mathbf{v}_i = \mathbf{v}_1 + \overset{\times}{\mathbf{r}}_{i,1}\dot{\varphi}_1 + \sum_{j=1}^{i-1}\left(\mathbf{r}'_{fj} + \overset{\times}{\mathbf{r}}_{i,j+1}\right)\dot{\theta}_j \,, \tag{16}$$

in which, the cross-product terms are represented by

$$\overset{\times}{\mathbf{r}}_{i,j} = \hat{\mathbf{k}} \times (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j) = \begin{bmatrix} y_j - y_i \\ x_i - x_j \end{bmatrix}, \tag{17}$$

Then, $\mathbf{J}_{vi}$ is defined as

$$\begin{aligned} &\mathbf{v}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{vi} \end{bmatrix}_{2\times(n+3)} \dot{\mathbf{q}} \,, \\ &i = 1 \;\Rightarrow\; \mathbf{J}_{v1} = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{2\times(n+3)} , \\ &i > 1 \;\Rightarrow\; \mathbf{J}_{vi} = \\ &\begin{bmatrix} \overset{\times}{\mathbf{r}}_{i,1} & \mathbf{r}'_{f1} + \overset{\times}{\mathbf{r}}_{i,2} & \cdots & \mathbf{r}'_{fi-1} + \overset{\times}{\mathbf{r}}_{i,i} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} & \cdots & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} \end{bmatrix}_{2\times(n+3)} . \end{aligned} \tag{18}$$

For each element,$\mathbf{q}_{arc,i}$ can be resolved as

$$\dot{\mathbf{q}}_{arc,i} = \mathbf{J}_{arc,i}\dot{\mathbf{q}} \,, \tag{19}$$

where

$$\begin{bmatrix} \mathbf{J}_{arc,i} \end{bmatrix}_{4\times(n+3)} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{\omega i}^T & \mathbf{J}_{\theta i}^T & \mathbf{J}_{vi}^T \end{bmatrix}^T . \tag{20}$$

Furthermore, for the first and the last nodes, we have

$$\begin{aligned} &\begin{bmatrix} \omega_i \\ \mathbf{v}_i \end{bmatrix} = \mathbf{J}_i\dot{\mathbf{q}} \,, \quad \mathbf{J}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{\omega i} \\ \mathbf{J}_{vi} \end{bmatrix}_{3\times(n+3)} , \\ &\mathbf{J}_{base} = \mathbf{J}_1 \,, \;\; \mathbf{J}_{tip} = \mathbf{J}_{n+1} . \end{aligned} \tag{21}$$

Also, the speed of the i^{th}elements mass centers, $\mathbf{v}_{Gi}$, is determined as

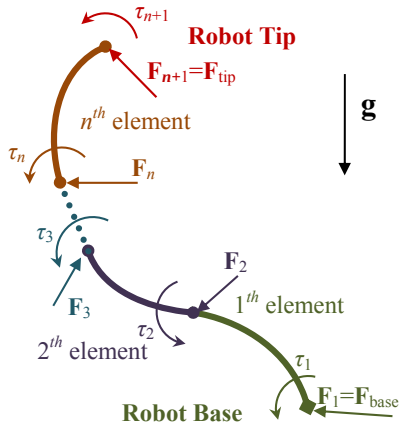


Fig.16. Forces and torques applied on the continuum robot.

$$\begin{aligned} &\mathbf{v}_{Gi} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{Gi} \end{bmatrix}_{2\times(n+3)} \dot{\mathbf{q}} \,, \\ &\mathbf{J}_{Gi} = \\ &\begin{bmatrix} \overset{\times}{\mathbf{r}}_{Gi,1} & \mathbf{r}'_{f1} + \overset{\times}{\mathbf{r}}_{Gi,2} & \cdots & \mathbf{r}'_{fi-1} + \overset{\times}{\mathbf{r}}_{Gi,i} & \mathbf{r}'_{Gi/i} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \end{matrix} & \cdots & \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} \end{bmatrix}. \end{aligned} \tag{22}$$

The robot base mass is represented as M_{base}, and its moment of inertia as I_{base}. Likewise, therobot tip or end effector mass and moment of inertia are indicated by M_{tip} and I_{tip}, respectively. Defined as

$$\mathbf{M}_{base} = \begin{bmatrix} I_{base} & 0 & 0 \\ 0 & M_{base} & 0 \\ 0 & 0 & M_{base} \end{bmatrix}, \mathbf{M}_{tip} = \begin{bmatrix} I_{tip} & 0 & 0 \\ 0 & M_{tip} & 0 \\ 0 & 0 & M_{tip} \end{bmatrix}, \tag{23}$$

Then, the kinetic energy of the robot is

$$T = \frac{1}{2}\dot{\mathbf{q}}^T\mathbf{M}_{robot}\dot{\mathbf{q}} \,. \tag{24}$$

where$\mathbf{M}_{robot}$ is the robot inertia matrix, determined as

$$\mathbf{M}_{robot} = \mathbf{J}_{base}^T\mathbf{M}_{base}\mathbf{J}_{base} + \mathbf{J}_{tip}^T\mathbf{M}_{tip}\mathbf{J}_{tip} + \sum_{i=1}^{n}\mathbf{J}_{arc,i}^T\mathbf{M}_{arc,i}\mathbf{J}_{arc,i} \,. \tag{25}$$

The variation of robot elastic potential energy, $\mathbf{G}_e \in \mathbb{R}$, is

$$\begin{aligned} &\mathbf{G}_e = \left(\frac{\partial V_e}{\partial \mathbf{q}}\right)^T \\ &= E\begin{bmatrix} 0 & I_{c,1}\dfrac{\theta_1 - \theta_1^*}{L_1} & I_{c,2}\dfrac{\theta_2 - \theta_2^*}{L_2} & \cdots & I_{c,n}\dfrac{\theta_n - \theta_n^*}{L_n} & 0 & 0 \end{bmatrix}^T . \end{aligned} \tag{26}$$

Likewise, the variation of robot gravitational potential energy, $\mathbf{G}_g$, is

$$\mathbf{G}_g = \left(\frac{\partial V_g}{\partial \mathbf{q}}\right)^T = -m_{base}\mathbf{J}_{v1}^T\mathbf{g} - \sum_{j=1}^{n} M\mathbf{J}_{Gj}^T\mathbf{g} - m_{tip}\mathbf{J}_{v(n+1)}^T\mathbf{g} \,. \tag{27}$$

For the centrifugal and Coriolis effects in Euler-Lagrange motion equations, using Christoffel symbols, the vector $\mathbf{V} \in \mathbb{R}$ is defined as

$$\mathbf{V} = [V_1 \quad V_2 \quad \cdots \quad V_{n+3}]^T ,$$
$$V_i = \sum_{j=1}^{n+3}\sum_{k=1}^{n+3} m^*_{ijk}\dot{q}(j)\dot{q}(k) , \tag{28}$$

where $q\square(j)$ is the j^{th} element of $\mathbf{q}\square$, and m^* is defined as

$$m^*_{ijk} = \frac{\partial \mathbf{M}_{robot}(i,j)}{\partial q(k)} - \frac{\partial \mathbf{M}_{robot}(j,k)}{2\partial q(i)} . \tag{29}$$

As depicted in Fig.16, the robot is subjected to a tip moment $\boldsymbol{\tau}_{tip}$, a tip force $\mathbf{F}_{tip}$, a base moment $\boldsymbol{\tau}_{base}$ and a tip force $\mathbf{F}_{base}$, and some actuation forces.Therefore, the work done by these none-conservative forces and moment on the robot, $W_{n.c}$, is considered as

$$W_{n.c.} = W_{ext} + W_{act} , \tag{30}$$

whereW_{ext} represents the work done by external forces and torques, andW_{act} represent the actuation work. For the variation of these works, we have

$$\mathbf{Q} = \left(\frac{\partial W_{n.c.}}{\partial \mathbf{q}}\right)^T = \left(\frac{\partial W_{ext}}{\partial \mathbf{q}} + \frac{\partial W_{act}}{\partial \mathbf{q}}\right)^T , \quad = \sum_{i=1}^{n+1} \mathbf{J}_i^T \begin{bmatrix} \tau_{ext,i} \\ \mathbf{F}_i \end{bmatrix} + \mathbf{J}_{act}^T \boldsymbol{\tau}_{act} , \tag{31}$$

where

$$\mathbf{J}_{act,i} = \mathbf{J}_{\omega k} - \mathbf{J}_{\omega 1} , \ (i^{\text{th}} \text{actuation torque is applied at the } k^{\text{th}} \text{element base})$$
$$\mathbf{J}_{act} = \begin{bmatrix} \mathbf{J}_{act,1}^T & \mathbf{J}_{act,2}^T & \cdots & \mathbf{J}_{act,n_{act}}^T \end{bmatrix}^T , \tag{32}$$

where,n_{act} is the number of actuation torques.

Finally, the Euler-Lagrange dynamicsmodel of the robot is

$$\mathbf{M}_{robot}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{V} + \mathbf{G}_e + \mathbf{G}_g = \mathbf{Q} . \tag{33}$$

A MODEL-BASED CONTROLLER DESIGN

In this section, the continuum robot is controlled using computed torque algorithm, which is a model-based method. Then, robot control is simulated in different cases. For the simulations, a continuum robot is considered with m_{tip}=0.64 gram. First, the control trajectory tracking algorithm is introduced. Then, the control performance is analyzed, with and without consideration of the model uncertainties.

Control Algorithm

The control loop is illustrated in Fig.17. The error $\mathbf{e}$ is defined as

$$\mathbf{e} = \mathbf{q}_d - \mathbf{q} , \tag{34}$$

where, $\mathbf{q}_d$ is the desired robot general coordinates. The controller law used for the computed torque method is

$$\ddot{\mathbf{q}}_c = \ddot{\mathbf{q}}_d + \mathbf{K}_v\dot{\mathbf{e}} + \mathbf{K}_p\mathbf{e} , \tag{35}$$

where, $\mathbf{K}_{\text{v}}$ and $\mathbf{K}_{\text{p}}$ are constant multipliers (gains), and $\mathbf{q}\square_{\text{c}}$ is

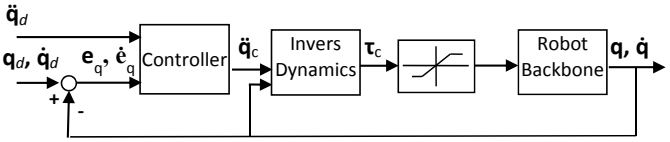


Fig.17. The control loop.

the control coordinate acceleration vector. Considering (34),(35)presents a second order system equation. Thus, the response of the control lawcan be determined by choosing $\mathbf{K}_{\text{v}}$ and $\mathbf{K}_{\text{p}}$.

In the diagram of Fig.17, $\boldsymbol{\tau}_{\text{c}}$ is the required motor torques to produce the acceleration $\mathbf{q}\square_{\text{c}}$. For instance, $\boldsymbol{\tau}_{\text{c}}$ can be determined from (31) and (33) as

$$\boldsymbol{\tau}_c = \mathbf{J}_\tau^{T\#} \times \left(\mathbf{M}_{robot}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{V} + \mathbf{G}_e + \mathbf{G}_g + \mathbf{C}_{str} + \mathbf{C}_{vis}\dot{\mathbf{q}} - \sum_{i=1}^{n+1}\begin{bmatrix} \tau_{ext,i} \\ \mathbf{F}_i \end{bmatrix}\mathbf{J}_i\right), \tag{36}$$

where, $^{\#}$ denotes Moore–Penrose pseudoinverse.

After determining $\boldsymbol{\tau}_{\text{c}}$ using the inverse dynamics model of (36), a saturation function of ±0.8 N.mis used, to make sure that the motor torques are practical. To run control simulations, the robot model (33) will be used to represent the real robot in the last block of the control loop.

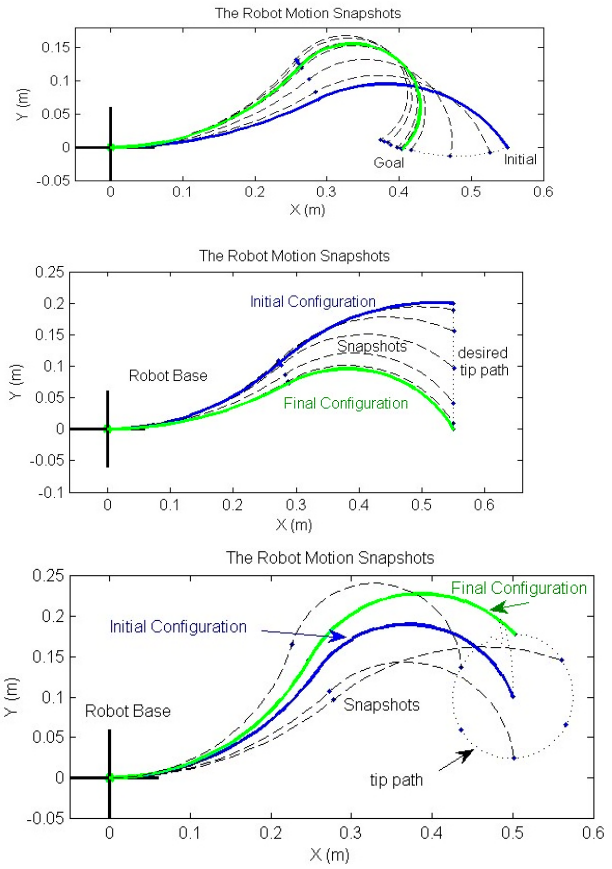


Fig.18. Control simulation results without uncertainties; (up) tip position control; (middle) line trajectory control; (down) circular trajectory control; (right) robot shape and

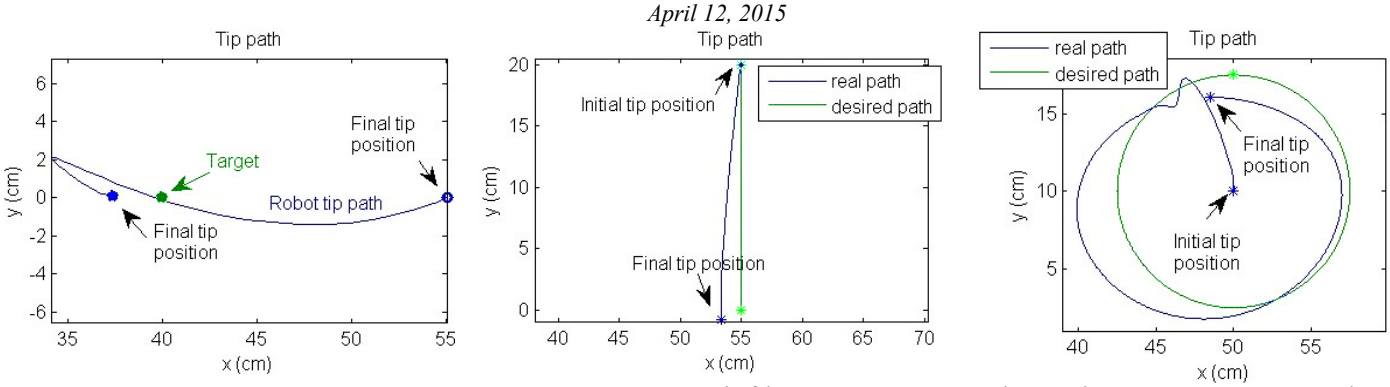


Fig.19. Robot tip pathes in control simulationswith uncertainties; (left) tip position control; (middle) line trajectory control; (right)

Control without Uncertainties

Here, our desired criteria for the controller are its frequency and its maximum overshoot error of the standard step response. Note that the natural frequency of the continuum backbone is around 2 Hz. Thus, we choose f_c=10 Hz for the controller. Also, the maximum overshoot is chosen to be 20%. For these two criteria, using classical system dynamics and control laws, the poles of the controller are -32.19±20πi. Thus, $\mathbf{K}_v$ and $\mathbf{K}_p$ are determined as

$$\mathbf{K}_v = \text{eye}(2)\times 64.37\,,\quad \mathbf{K}_p = \text{eye}(2)\times 4984\,, \tag{37}$$

where, eye(2) is the standard 2×2 identity matrix. The results of the three control simulations are depicted in Fig.18.

Control with Uncertainties

To consider model uncertainties, the model (33) can be considered as

$$\hat{\mathbf{M}}_{robot}\ddot{\mathbf{q}} + \hat{\mathbf{V}} + \hat{\mathbf{G}}_e + \hat{\mathbf{G}}_g = \hat{\mathbf{Q}}\ , \tag{38}$$

where, the superscript ˆ denotes that the parameters are approximations of the real robot. In this section, a 5% error is added to the module of elasticity of (38), as

$$\hat{E} = 1.05\,E\ . \tag{39}$$

The results of control simulation with this uncertainty are depicted in Fig.19. The diagrams show noticeable errors in the simulations.

CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

This paper presented a control algorithm, in which the dynamics model of robot was used for robot trajectory control. For modeling, first, the dynamics of a continuum robot considered as a series of circular arcs was presented. Then, the control law was introduced and the designed controller was simulated in different trajectory tracking samples. The presented control loop shows good performance when the model is ideal. However, adding some drastic model uncertainties to the control law, the controller performance becomes less desirable.

In future, the control law will be developed in order to achieve better performance in the presence of model uncertainties. Then, the proposed model will be used in real-time control of our continuum robotic arm. The model will be developed by including the dynamics of the manipulator actuation system. Furthermore, the three dimensional dynamics of continuum robots will be derived based on the proposed method.

References

[1] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Static Modeling of Continuum Robots by Circular Elements," in *Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE 2013)*, Mashhad, Iran, 2013, pp. 1-6.

[2] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Modeling of continuum robots with twisted tendon actuation systems," in *First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM 2013)*, Tehran, Iran, 2013, pp. 14-19.

[3] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Dynamics Modeling of a Continuum Robotic Arm with a Contact Point in Planar Grasp," *Journal of Robotics,* vol. 2014, p. 13, 2014.

[4] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Finite Circular Elements for Modeling of Continuum Robots," in *Second RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM 2014)*, Tehran, Iran, 2014, pp. 480-485.

[5] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Modeling of Continuum Manipulators by Constant-Curvature Elements without Numerical Singularities," *Modares Mechanical Engineering,* vol. 14, pp. 231-240, 2015.

[6] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Modeling and control of a planar continuum robot," in *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), 2011 IEEE/ASME International Conference on*, 2011, pp. 966-971.

[7] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Compact modeling of spatial continuum robotic arms towards real-time control," *Advanced Robotics,* vol. 28, pp. 15-26, 2014.

[8] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "Characteristics identification of continuum robots for exact modeling," in *First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM 2013)*, Tehran, Iran, 2013, pp. 26-31.

[9] M. Dehghani and S. A. A. Moosavian, "A new approach for orientation determination," in *First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM 2013)*, Tehran, Iran, 2013, pp. 20-25.

[10] M. Ivanescu and V. Stoian, "A variable structure controller for a tentacle manipulator," in *Proc. IEEE International Conf. Robot. Autom., Nagoya, Japan*, 1995, pp. 3155–3160.

[11] M. M. D. Braganza, D. M. Dawson, and I. D. Walker, "Whole arm grasping control for redundant robot manipulators," in *Proc. American Control Conf., Minneapolis, MN*, 2006, pp. 3194–3199.

[12] M. Ivanescu, "Position dynamic control for a tentacle manipulator," in *Proc. IEEE International Conf. on Robotics and Automation, Washington, A1-15*, 2002, pp. 1531-1539.

[13] R. S. Penning, J. Jinwoo, J. A. Borgstadt, N. J. Ferrier, and M. R. Zinn, "Towards closed loop control of a continuum robotic manipulator for

medical applications," in *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on*, 2011, pp. 4822-4827.

[14] D. D. D Braganza, ID Walker, N Nath,, "Neural Network Grasping Controller for Continuum Robots," in *Proceedings of the 45th IEEE Conference on Decision & Control, San Diego, CA, USA*, 2006.

[15] I. Gravagne, ID Walker,, "Uniform Regulation of a Multi-Section Continuum Manipulator," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington, A1-15*, 2002, pp. 1519-1524.

[16] K.XuandN. Simaan, "Actuation compensation for flexible surgical snakelike robots with redundant remote actuation," in *Proceeding of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Orlando, FL*, 2006, pp. 4148–4154.

[17] A. Salehi, F. Piltan, M. Mirshekaran, M. Kazeminasab, and Z. Esmaeili, "Comparative Study between Two Important Nonlinear Methodologies for Continuum Robot Manipulator Control," *IJITCS,* vol. 6, pp. 66-80, 2014.

[18] R. S. Penning and M. R. Zinn, "A combined modal-joint space control approach for continuum manipulators," *Advanced Robotics,* vol. 28, pp. 1091-1108, 2014/08/18 2014.

[19] N. S. A. Kapoor and P. Kazanzides, "A system for speed and torque control of DC motors with application to small snake robots," in *the IEEE Conf. Mechatron. Robot. (MECHROB). Aachen, Germany*, 2004.

Optimization of Dynamic Mobile Robot Path Planning based on Evolutionary Methods

Masoud Fetanat
Department of Electrical Engineering
Sharif University of Technology
Tehran, Iran
fetanat@ee.sharif.edu

Sajjad Haghzad
Department of Electrical Engineering Sharif University of Technology
Tehran, Iran
sajjad_haghzad@ee.sharif.edu

Saeed Bagheri Shouraki
Department of Electrical Engineering
Sharif University of Technology Tehran, Iran
bagheri_s@sharif.edu

***Abstract*- This paper presents evolutionary methods for optimization in dynamic mobile robot path planning. In dynamic mobile path planning, the goal is to find an optimal feasible path from starting point to target point with various obstacles, as well as smoothness and safety in the proposed path. Pattern search (PS) algorithm, Genetic Algorithm (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO) are used to find an optimal path for mobile robots to reach to target point with obstacle avoidance. For showing the success of the proposed method, first they are applied to two different paths with a dynamic environment in obstacles. The first results show that the PSO algorithms are converged and minimizethe objective function better that the others, while PS has the lower timecompared to other algorithms in the initial and modified environment. The second test path is in the z-type environment that we compare the mentioned algorithms on it. Also in this environment, the same result is repeated.**

Keywords: Mobile Robot, Dynamic Environment, Path Planning,Evolutionary Algorithms.

I. INTRODUCTION

Many researchers have interests on autonomous robots in the field of robotics and mechatronics. One of the most important fields in that area is path planning for robots. Mobile robot path planning is a problem to find an optimal feasible path between starting point and target point with some obstacles in the path. Mobile robot path planning can be run at static or dynamic environment. In static environment the optimal path should determine before starting of the path planning algorithm. But in dynamic environment re-planning and updating are expected in a short time (such as every iteration). The significant problem in mobile robot path planning is that the algorithm can reach to local minimum instead of global minimum in finding optimal path, so choosing the optimizing algorithm affect as a vital factor in path planning [1-2].Adem Tuncer proposed new mutation operator for the genetic algorithm and applied it to the path planning problem with mobile robots in dynamic environments. He showed path planning for a mobile robot can find a feasible path from a starting node to a target node in an environment with obstacles. GA is used to produce an optimal path by using the advantage of improved mutation operators to optimize the path planning [3].Hong Qu presents a co-evolutionary improved genetic algorithm in path planning of multiple mobile robots globally, which operate a co-evolutionary method for optimization of the paths. He presents an effective and accurate fitness function, improves genetic operators and proposes and genetic modification operator in his paper. Furthermore, the proposed improved GA is compared with conventional GA [4]. J. Tu compared traditional search algorithms and optimization methods, such as calculus-based and numerical strategies with the evolutionary algorithms that are robust, globally and more useful when there is little or no prior knowledge about the problem to be solved [5]. One method that has more speed to the others in path planning is the GA method because of its capacity to explore the solution space that has a practical implementationon the FPGA [6]. Chuangling proposed a path planningmethod for mobile robots based on an adaptive genetic algorithm[7]. Kala presented a co-evolutionary genetic programming method to solve multi-robot path planning that includes different source and goal for each robot [8]. Other intelligent planning methods are used in a path planning environment with obstacles such as fuzzy logic [9] and neural networks [10].Shirong Liu proposed a method with ant colony optimization algorithms in order to have distributed local navigation for multi-robot systems [11].

In this study, we use evolutionary algorithms for optimizing mobile robot path planning with dynamic environment. This approach could not have collided to obstacle in location of selected points and also the selected paths from starting to target point. The path planning should be optimized in the distance, smoothness and safety for proposed path globally in a grid-based environment. The

optimized path planning algorithmsare compared to each other in object function and time in some paths. The mentioned evolutionary methods are genetic algorithm, pattern searchalgorithm and particle swarm optimization.

II. PROBLEM DESCRIPTION

For solving the mobile robot path planning, first we should define an environment that robot moves on it and then formulate the objective function based on the environment, robot characteristics and obstacles.

A. Environment representation

In this paper, we use grid-based environment to represent the environment with feasible paths and infeasible paths. The grid-based environment includes obstacles and allowed locations in numbered grid. Our goal is to find locations on a grid-based environment in order that the robot can change its direction on those places only and minimize the object function between the starting point and target point. The important point that should be considered in path planning is neither selected position can choose on obstacle locations nor the selected path cross obstacle locations. In this paper grid-based environment includes 100 numbered grids with equality in width and length. Fig.1 illustrates the grid-based environment and shows a feasible path from the start point to target point. Also, we should say the obstacles can move on a grid-based environment this is the reason for dynamic environment path planning.

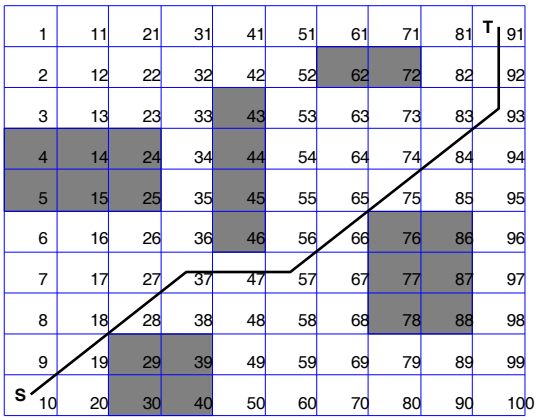


Fig.20. Grid-based environment

B. Objective function

The final goal in path planning problem is to find an optimal feasible path from starting point to target point. Optimality can interpret in various definitions like minimum fuel consumption, minimum energy consumption, minimum time spending, but here we usea combination of path distance, smoothness and safety for optimizing of the paths [4].

The objective function can compute in two manners as follows equations:

First for feasible paths:

$$f_{feas} = \alpha \sum_{i=1}^{n-1} d(P_i, P_{i+1}) + \beta \sum_{i=1}^{n-1} |\theta_i| + \gamma f_{semi} \quad (1)$$

$$f_{semi} = \begin{cases} C, & if\ \exists L_i, |L_i| < k, for\ i = 1, \dots, n-1 \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

Second for infeasible paths:

$$f_{infeas} = f_{feas} + penalty \quad (3)$$

Wheref_{feas} is the objective function(OF) of the feasible paths, f_{semi} is a term that we add it to the OF to avoidapproaching to the certain vicinity of the obstacles (as the mobile robot has a certain width and can't pass from the edge of the obstacles). $f_{infeas}$is the objective function of the infeasible paths.The feasible objective function is computed by the sum of distances between robot positions (points) in the path planning, sum of the angles that robot has in each point for smooth moving and an additional term for avoidance to the vicinity of the obstacle as an safety term. P_i (x_i, y_i) is the current position of the robot and P_{i+1} (x_{i+1}, y_{i+1}) is the next position of the robot.α, β and γ are constant weights for adjusting the importance of their factors. We usually choose γ higher than α and$\beta$to avoid approaching to the obstacles as an important practical issue.L_i is the minimum straight distance from ith path lines to the obstacles, C is chosen as a constant in the whole paths and k is selected as a parameter of safety margin from the obstacles. Penalty is added for obstacle avoidance and is chosen a large constant value in order to select feasible paths with the most chance (*penalty=1000*), *n* is the number of points for path planning.Also *d* is Euclidean distance as follows:

$$d(P_i, P_{i+1}) = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (4)$$

Where x_i and y_i is current horizontal and vertical positions of the robot and $x_{i+1}$and y_{i+1} is next horizontal and vertical positions of the robot. L_i is the shortest distance between ith line and the obstacles. The direction of the robot is defined as below that is computed for each point in order to calculate the fitness function, θ_i is an angle in radian:

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{(y_{i+1} - y_i)}{(x_{i+1} - x_i)} \quad (5)$$

III. EVOLUTIONARY METHODS

In this section we introduce the mentioned evolutionary algorithms. Indeed, these are derivative free algorithms that are suitable to solve a variety of optimization problems that are not standard. We should use an effective tool for solving

optimization problems in the absence of any information from the gradient of the objective function. Genetic algorithm, pattern search algorithm and particle swarm optimization are described as follows.

A. PATTERN SEARCH ALGORITHM

Pattern search algorithm is a direct method for optimization ofthe objective function that is not differentiable, continuous and stochastic inevitably. Pattern search algorithm in despite of other optimization methods that are gradient base algorithms, it searches a set of points around the current point. In fact, it searches for the point that the objective function is lower than the others at the current point. In despite of other heuristic algorithms such as GA, it has a flexible operator to increase and adapt the global search. The iterative algorithm starts with the creation of a set of points that are called mesh near the current point. The mesh is created by adding the current point to multiple of vectors that are called pattern. Then, if a point in the mesh minimizes the object function more than others, the pointat the first step of the pattern search algorithmbecomes the current point at a subsequent level. The current point can be as an initial point or it can be supposed as a result of the previous step. Fig. 2 shows the formation of the Initial point, pattern and mesh points at 1st step of the pattern search algorithm. The algorithm is explained completely as below [12-15]:

1. The pattern search algorithm begins with initial point x_0. Initial point is updated every iteration.
2. Pattern vectors are created as [0 1], [1 0], [0 -1], [-1 0]. We have a scalar = 1 (iteration number) that is called mesh size.
3. Adding multiple of pattern vectors to the initial point, these new vectors are called mesh points. The multiple is mesh size here.
4. Computing the objective function at the mesh points.
5. Polling mesh points (by computing the objective function

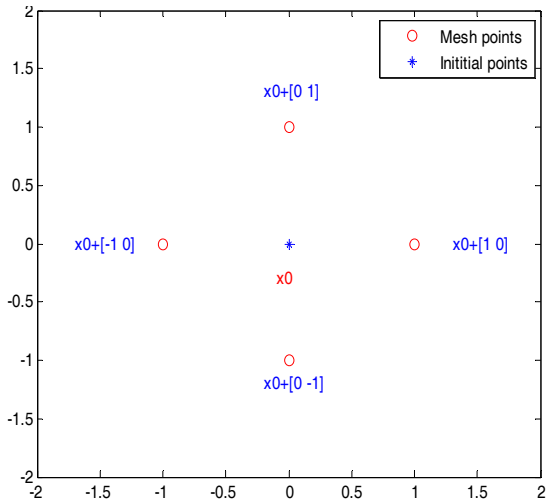


Fig.21. Initial point, pattern and mesh points

at the mesh point and find one that it has smaller objective function value than the objective function value at initial point). If there is such point, successful poll happened. Depend on a successful poll or unsuccessful poll go to the phase 6 or 7.

6. After the successful poll, if the termination rule is not reached, the algorithm steps go to the next iteration and mesh size = mesh size × 2 and go to phase 3 and update the initial point as a mesh point of minimum objective function, otherwise go to phase 8.
7. After unsuccessful poll and it means none of the mesh point has a smaller objective function value than the objective function value at the initial point. If the termination rule is not reached, the algorithm steps go to the next iteration and mesh size = mesh size × 0.5 and go to phase 3 and update the initial point as previous mesh point, otherwise go to phase 8.
8. Termination rule is reached and the global variablesare found based on minimizing the objective function.The patterns search algorithm terminates if the number of iterations reaches to max iteration or mesh size is less than mesh limit or the changing between the point that find at one successful poll and next successful poll is less than X limit or changing the objective function between one successful poll and next successful poll is less than the objective function limit [13].

B. GENETIC ALGORITHM (GA)

GA is an iterative random global search method that it can find the solution of the problems with inspired processes from the natural evolution. We can apply the GA to many difficult optimization problems perfectly. It shows its preferences over traditional optimization algorithms. If the problem has multiple optimum solutions, it can find the global solution. GA presents a large number of candidate solutions to a problem that are called as population at each iteration. Every solution is shown by a string, which is named as chromosome that is usually coded as a binary string. The chromosome has

been decoded to real numbers and after that the objective function of each chromosome is computed as performance function. The most important problems in GA are finding the correct function that is called as objective function or fitness function and the genetic coding in order to determine the problem specificationcorrectly.The initial population in GA is made randomly and theyare usedin the next iteration by genetic operators: selection method, crossover and mutation operator and termination conditions. The selection method chooses the chromosomes that havea higher fitness function. They appear with higher probability in the next iteration or generation.Crossover operator is executed between two selected chromosomes that are called as parents in order to exchange parts of their chromosomes. This operator starts from a random crossover point and tends to make possible the evolutionary process to move to the vast regions of the search solutions. Mutation operator is used in problem solutions to avoid local optimum, it changes zero to one or one to zero on the chromosomes in random places.Here, termination rule is the limited number of iterations that the algorithm is repeated [16-17].

C. *Particle Swarm Optimization*

Particle swarm optimization is a heuristic search method that first proposed by Kennedy and Eberhart in 1995. This evolutionary computational method is used for dealing with the optimization of continuous and discontinuous objective function. The PSO algorithm is inspired from the biological and sociological behavior of some animals such as groups of fishes and flocks of birds that are searching for their food. PSO is similar to GA in some part. It is also population-based search method that each solution is shown as a particle in a population, which is called swarm. Particles can change their positions in a multi-dimensional search space in order to reach their equilibrium and optimal points untiliterationlimitationis occurring. Swarm of N particles is initialized, which each particle is allocated a randomly. x is symbolized as a particle's position and v denote the particle's velocity over multi-dimensional solution space. Each individual x in the swarms is ranked by using an objective function that illustrates how well it solves the problem. The index ofthe best previous position of a particle is *Pbest*. The index of the best particle among all particles in the swarm until this iteration is *Gbest*. Each particle records its own personal best position by index of *Pbest*and it iscompared to the best positions that are found by all particles in the swarm by index of *Gbest*. Velocity and position of a particle are updated in each iteration as the follows [16,18]:

$$v_i(t) = w1.v_i(t-1) + c1\left(x_{Pbest_i} - x_i(t)\right) + c2\left(x_{Gbest} - x_i(t)\right) \quad (6)$$

$$x_i(t) = x_i(t-1) + v_i(t) \quad (7)$$

w1, *c1* and *c2* are as constant weights.

Short illustrations of the iterative evolutionary algorithms are shown as a flowchart in Fig. 3. GA, PS and PSO are the abbreviation of the genetic algorithm, pattern search algorithm and particle swarm optimization. The evolutionary algorithm will repeat the mentioned algorithm until it finds the optimal result that it minimizes the objective function globally.

IV. Simulation Results and Discussion

The grid-based environments include 5 obstacles (shaded area) and 10 × 10 grids. The proposed methods are coded in MATLAB in a PC with the specifications; CPU: Intel-Core 2 Duo-2.4GHz, RAM: 3GB in 32-bit operating system. The constants and weights of the equationsare chosen arbitrary. Two different examples of path planning in a grid - based environment are compared in order to show the success of the proposed algorithm. First, we demonstrate and compare the initial environment path planning with GA, PS and PSO in which environment is not changed in obstacles and then in a modified environment. Fig.4, Fig.5 and Fig.6 demonstrate a path planning for mobile robot using GA, PS and PSO algorithmsin the initial environment respectively. It is obvious that each algorithm chooses a different path for reaching to target point and paths do not cross obstacles. Since path planning of three algorithms has different, we should examine each path with a special obstacle moving as a dynamic environment. In order to have dynamic environment, we move the obstacle at location 62 and 72 to location 58 and 68 as shown in Fig.7. Thus, the mobile robot should change its default path planning and update it in order to avoid collision.Fig.7, Fig.8 and Fig.9 show path planning for mobile robot using GA, PS and PSO algorithms in the modified environment respectively. Fig.10 demonstrates the Path planning using evolutionary algorithms in z-type environment. It is obvious that we can compare the start-target distance, smoothness and safety in the three evolutionary algorithms as shown in Fig.10. Table 1 shows the comparison between the evolutionary algorithms in time and the objective function. It is obviously demonstrated the PSO has better results in both initial and modified environments in the objective function, although the PS has the minimum time for the initial and modified environment.GA has the worse results compared to PS and PSO. Table 2 illustrates the comparison of the mentioned algorithms in z-type environment. As it shows the PSO has the best objective function and the PS has the lowest in time.

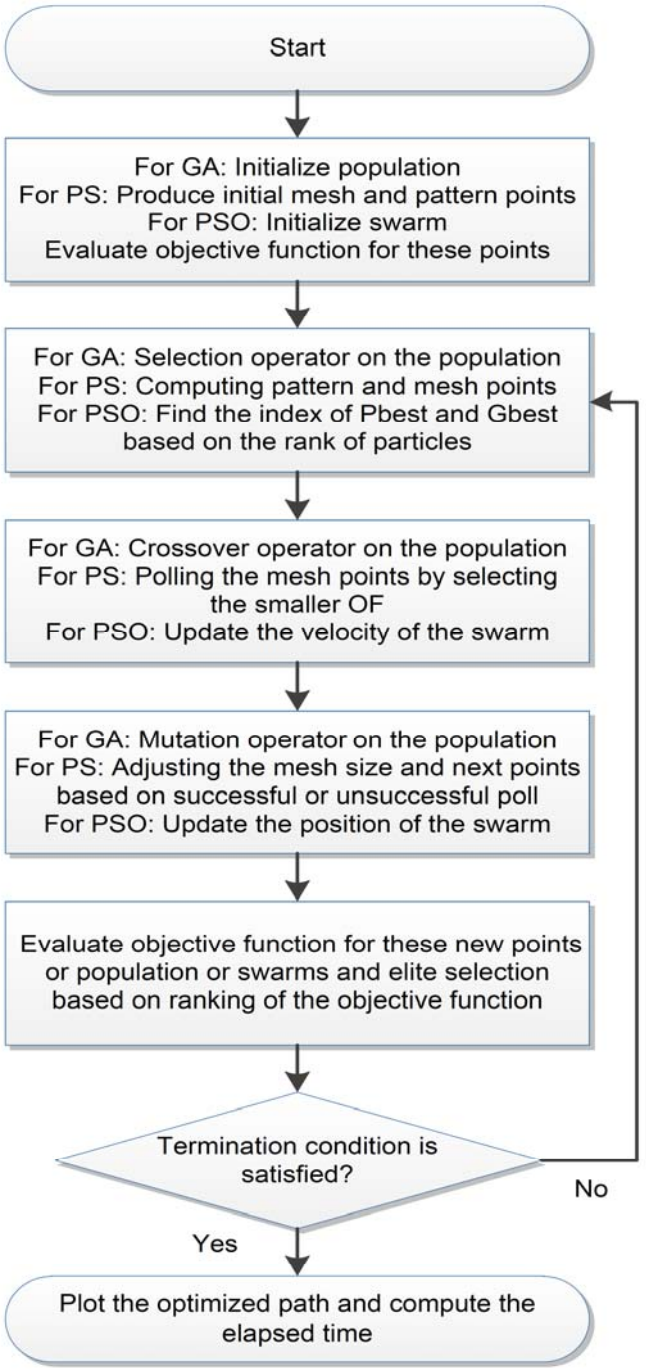


Fig.22.Flowchart of iterative evolutionary algorithms.

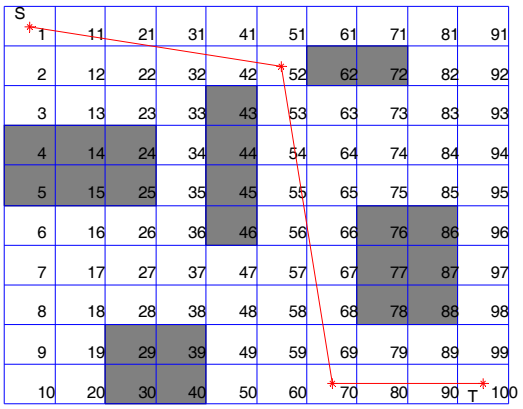


Fig.23. Path planning using GA in the initial environment

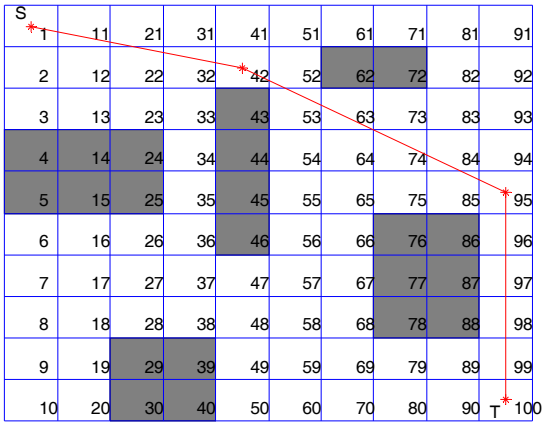


Fig.24. Path planning using PS in the initial environment

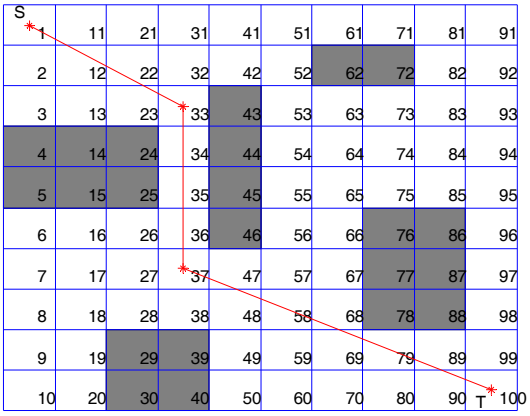


Fig.25. Path planning using PSO in the initial environment

V. CONCLUSION

In this research, we introduce evolutionary algorithms for optimization of path planning of mobile robots in a dynamic grid-based environment. In order to show the success of the method, three examples in the initial and modified environment are compared with each other. Both initial and modified environments PSOhas better results in the objective

functionthan the other algorithms. This result also is repeatedthe in the z-type environment. The results show PS is more useful in the reduction of the optimization time in the path planning problem. Therefore, this study shows the PSO is better in accuracy and minimization of the objective function, while the PS has more speed to converge. So PSO and PS can be effective methods for optimization of the path planning mobile robot in a suitable situation.

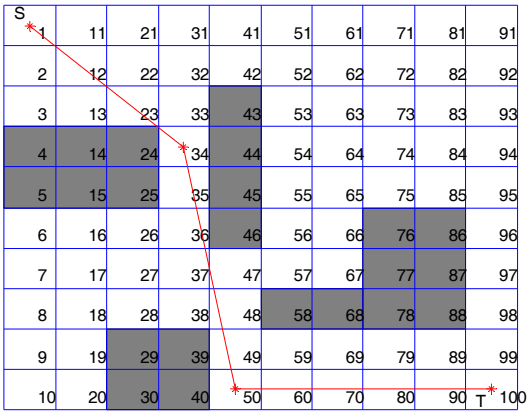


Fig.26. Path planning using GA in the modified environment

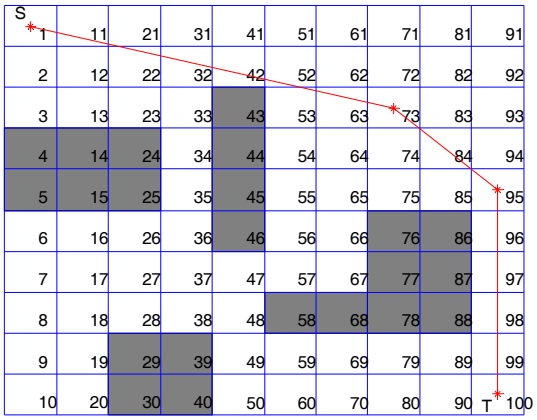


Fig.27. Path planning using PS in the modified environment

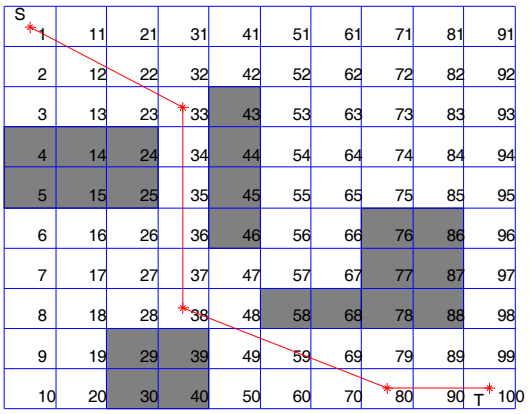


Fig.28. Path planning using PSO in the modified environment

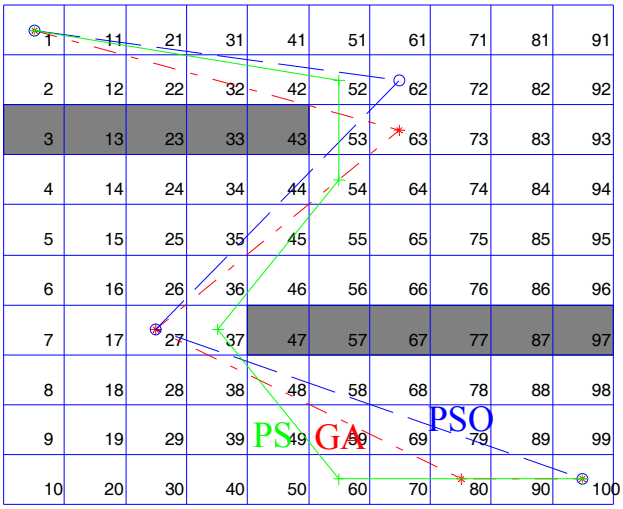


Fig.29. Path planning using evolutionary algorithms in z-type environment

Table 9. Comparison results in evolutionary methods for mobile robot path planning in the initial and modified environment

Algorithms	Objective function at initial environment	Objective function at modified environment	Time for initial environment (sec)	Time for modified environment (sec)
Genetic Algorithm	17.8051	18.4410	0.9310	1.1180
Pattern Search Algorithm	17.3103	17.7430	0.6800	0.8310
Particle Swarm Optimization	16.9362	17.7001	2.2300	2.5590

Table 10.Comparison results in evolutionary methods for z-type environment

Algorithms	Objective function	Time (sec)
Genetic Algorithm	22.4599	0.9310
Pattern Search Algorithm	22.0439	0.7879
Particle Swarm Optimization	21.9185	2.5920

References

[1] Mohanta JC, Parhi DR, Patel SK, "Path planning strategy for autonomous mobile robot navigation using Petri-GA optimization". Computers and Electrical Engineering, 2011, 37(6), pp. 1058–70.

[2] Willms AR, Yang SX, "An efficient dynamic system for real-time robot-path planning". IEEE Trans Syst, Man, Cybern, 2006, 36(4), pp. 755–66.

[3] Adem Tuncer, Mehmet Yildirim,"Dynamic path planning of mobile robots with improved genetic algorithm", Computers and Electrical Engineering, 38, (2012), pp.1564–1572.

[4] Hong Qu, KeXing , TakacsAlexander, "An improved genetic algorithm with co-evolutionary strategyfor global path planning of multiple mobile robots", Neurocomputing,120, (2013), pp. 509–517.

[5] Tu J, Yang SX, "Genetic algorithm based path planning for a mobile robot". In: Proceedings for the IEEE international conference on robotics andautomation, ICRA '03; 2003. p. 1221–6.

[6] Allaire FCJ, Tarbouchi M, Labonté G, Fusina G., "FPGA implementation of genetic algorithm for UAV real-time path planning". J Intell Robot Syst2009:495–510.

[7] Liu Chuangling, Liu Huaiwang, Yang Jingyu, "A path planning method based onadaptive genetic algorithm for mobile robot", J.Inf.Comput.Sci.8(May(5))

[8] Kala Rahul, "Multi-robotpathplanningusingco-evolutionarygenetic programming", ExpertSyst.Appl.39, February, 3, (2012)3817–3831.

[9] G.Z. Panagiotis,G.T.Spyros,Motioncontrolformobilerobotobstacle avoidanceandnavigation:afuzzylogicbasedapproach", Syst.Anal.Model.Simulat,43 December ,12, 2003, 1625–1637.

[10] HowardLi,SimonX.Yang,M.L.Seto,"Neural-network-basedpathplanningfora multi-robots systemwithmovingobstacles,IEEETrans.Syst.Man Cybern. Part C:Appl.Rev, 39(July,4, (2009), 410–419.

[12] ShirongLiu,LinboMao,JinshouYu,Pathplanningbasedonantcolonyalgorithmanddistributedlocalnavigationformulti-robotsystems",in: Proceedings ofthe2006IEEEInternationalConferenceonMechatronicsand Automation,Luoyang,China,June2006,pp.1733–1738.

[13] M.F. AlHajri, K.M. El-Naggar, M.R. AlRashidi , A.K. Al-Othman,"Optimal extraction of solar cell parameters using pattern search",Renewable Energy, 44 (2012), pp. 238-245.

[14] A.K. Al-Othman, Nabil A. Ahmed, M.E. AlSharidah, Hanan A. AlMekhaizim,"A hybrid real coded genetic algorithm – Pattern search approach for selective harmonic elimination of PWM AC/AC voltage controller", Electrical Power and Energy Systems, 44, (2013), pp. 123-134

[15] Kolda TG, Lewis RM, Torczon V. "Optimization by direct search: new perspectives on some classical and modern methods", SIAM Review 2003,45(3), pp. 385-482.

[16] LewisaRM, TorczonV, TrossetMW, "Direct search methods: then and now", Journal of Computational and Applied Mathematics, Dec 2000, 124(1-2), pp. 191-207.

[17] Andries P. Engelbrecht, "Computational intelligence : an introduction", 2nd edition, 2007, Chapter 9 and Chapter 16.

[18] A. M. Boroujerdian, M. Fetanat, V. Abolhasannejad, "Dynamic Segmentation Method for Identification, of Accident-Prone Road Segments using Genetic Algorithm", 14th International Conference, Traffic and On Transportation Engineering (ICTTE 2015).

[19] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. In: Proceedings of the IEEEinternational conference of neural networks; 1995

Trajectory Tracking via Adaptive Nonlinear Control Approach for a Quadrotor MAV

Farahnaz Javidi-Niroumand
Department of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
farahnaz.javidi@yahoo.com

Ahmad Fakharian
Department of Electrical, Biomedical and Mechatronics Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
Ahmad.fakharian@qiau.ac.ir

***Abstract*— this research describes an adaptive nonlinear trajectory tracking controller for a vertical take-off and landing flyer called quadrotor. The control objective is to stabilize the fast unstable dynamics of system while performing trajectory tracking maneuver in presence of external disturbances, measurement noises and uncertainty in model parameters. With an appropriate prediction and performing backstepping nonlinear control approach, the stability of flying robot assured during trajectory tracking maneuver, while tracking mission accomplished due to position and rate control. Adaptive backstepping technique utilizes to eliminate the effect of external disturbances, noise in measurements, and model uncertainties. Based on Lyapunov stability theory, adaptive control with tuning functions proposes an adaptation law, first to estimate unknown parameters of system and then developing a float construction system to annihilate the effect of wind disturbance. Simulation results achieved on a full nonlinear model, to simulate quadrotor trajectory tracking mission close to realistic conditions, and then verifies the effectiveness of designed controller.**

Keywords- Quadrotor; Nonlinear Control; Trajectory Tracking; Adaptive Backstepping; Parameter Estimation; Underactuated system.

INTRODUCTION

Micro Aerial Vehicles, or MAVs and flying robots have been quickly emerged as a popular vehicle du its vast range of applications such as video surveillance, payloads and etc. moreover it is an active and challenging topic in control researches. Among MAVs, we highlight the Quadrotors as an ideal platform for robotic systems, due to its simplicity, vertical flight and high maneuverability (Figure 1.). The dynamics of quadrotors are nonlinear and multivariate.

Due to the nonlinear nature of aerial vehicles, nonlinear control methods seems better choices for quadrotor to handle nonlinearities and have wider performance. Among all these methods, Backstepping is a well-known and powerful control technique extensively used for nonlinear systems. This recursive Lyapunov based control approach was first implemented in 1990 and in [1] fully developed by Krsti'c, Kanellakopoulos and Kokotovic in 1995. Bouabdallah et. Al. in [2] utilized and compared backstepping vs. sliding mode control in attitude stabilization of quadrotor. Also Madani and Benallegue in[3] and [4] divided the quad-rotor into three inter-connected subsystems and proposed a full-state backstepping and backstepping sliding mode control technique based on the Lyapunov stability theory for quadrotor to track the desired trajectories. Another backstepping control method was proposed by Castillo et al. in [5]. They used this controller with a saturation function and it performed well under perturbation.



Figure 17. Quadrotor MAV structure.

Flying objects must cope with numerous sources of uncertainty in the system model, external disturbances and faults in measurements. The problem is even worse in presence of wind disturbance where the flying robot, lost some of its control effectiveness and incapable of tracking references precisely. Adaptive control is an appropriate candidate for this type of aircraft because of its ability to generate high performance tracking in the presence of wind disturbances and parametric uncertainties. In [6], An adaptive control algorithm solving the trajectory tracking problem for quadrotor aerial vehicles is derived using a backstepping procedure. N. Metni et al. used backstepping techniques to derive an adaptive nonlinear tracking control law for a quadrotor system [7]. In [8] a new approach for the attitude control of a quad-rotor aircraft was proposed resting on the combination of the backstepping technique and a nonlinear robust proportional-integral (PI) controller. Also in [9], adaptive tracking control of an underactuated quadrotor is addressed using state feedback control system and an integrator backstepping approach with a projection-based adaptive scheme to estimate the unknown parameters.

In order to make the aircraft track the desired trajectory, in [10] a nested double-loops control system is adopted in this paper. A position error proportional-derivative (PD) controller is designed as the outer-loop controller based on the coupling action between rotational and translational movement, and an adaptive backstepping sliding mode control algorithm is used to stabilize the attitude. The work in [11] describes the application of direct and indirect model reference adaptive control to a lightweight low cost quadrotor.

Although nonlinear controllers perform well in simulation and experiments, but since they depend on accurate system model, the real-time performances of these control laws are generally even worse than linear controllers. Therefor due to the limited onboard computing resources of the quadrotor, designing a control law for even precisely attitude stabilization, but also has strong anti-disturbance manner[12]. Quadrotor disturbances can be used to represent both exogenous inputs such as constant wind and model mismatched uncertainties such as drifts in measuring latitudes and nonsymmetrical mass distribution.

In this work, we address the problem of trajectory tracking for quadrotor, using adaptive backstepping control approach. Design of the control law is done due to the nonlinear model of quadrotor, considering parametric uncertainties.

Following, in Section II we introduces a nonlinear comprehensive model of quadrotor MAV. Applying this nonlinear model, a step by step description of the control Design is presented in Section III. Results of simulations presented in Section IV, illustrating the performance of the proposed control law. This simulation includes the necessary steps to ensure disturbance rejection, and finally Section V conclude the contents of the paper.

SYSTEM MODELLING

Quadrotor, actually consisting of four individual fixed pitch-angle blades rotors in a "×" or "+" configuration. Thus the number of individual motion degrees of freedom is six and due to coupled dynamics, actuating systems cannot instantaneously set the accelerations in all directions of space, since it is four individual, the quadrotor is called an under-actuated system instead of fully- actuated. A concept of the flying quadrotor is space is shown in Fig. 2.

Before starting model extraction, we consider following assumptions:

- Quadrotor is solid structure with no elastic deformation.
- Inertial moment of body in rotation is time-invariant.
- Distribution of the mass of the quadrotor is symmetrical which simplify the equations.
- Thrust factor of rotors and drag factor of quadrotor body structure is constant.
- Air density around is constant.

A flying object in Euclidean space defines tow directional frame, first mounted on the center of object, body- fixed frame *B* and second as a reference frame known as inertial frame *I*. usually the inertial frame considered on center of earth and

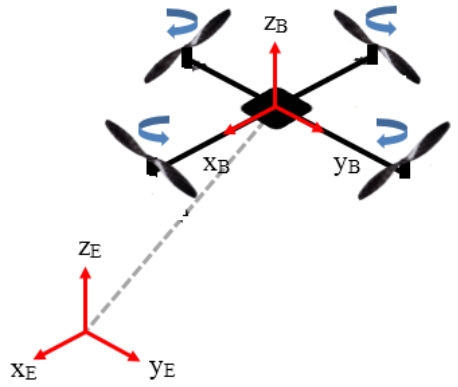


Figure 18. Quadrotor system configuration.

called *E*-frame. Every motions of the flyer, defines in *B*-frame with respect to *E*-frame.

Many researches on quadrotor modelling ([13]-[15]) being stated on the above assumption. The kinematic equations of a quadrotor in *B*-frame described in Eq. (1a-1c):

$$\dot{\mathbf{p}} = R\mathbf{v} \tag{1a}$$

$$\dot{\mathbf{\Theta}} = T\boldsymbol{\omega} \tag{1b}$$

$$\dot{R} = S(\boldsymbol{\omega})R \tag{1c}$$

where $\mathbf{v} = [v_x \quad v_y \quad v_z]^T \in \mathrm{P}^3$ and $\boldsymbol{\omega} = [\omega_x \quad \omega_y \quad \omega_z]^T \in \mathrm{P}^3$ defines the linear and rotational speed vectors of body with respect to *E*-frame are position vector and angular velocity vector in the inertial frame, also $\mathbf{\Theta}(t) = [\phi(t) \quad \theta(t) \quad \psi(t)]^T \in \mathrm{P}^3$ and $\mathbf{p}(t) = [x(t) \quad y(t) \quad z(t)]^T \in \mathrm{P}^3$ are attitude and position vector in *E*-frame, $R(\cdot) \in \mathrm{P}^{3\times3} \in \mathrm{SO}(3)$ is rotation matrix, $T(\cdot) \in \mathrm{P}^{3\times3}$ is translation matrix, and $S(\cdot) \in \mathrm{P}^{3\times3}$ is a is a general form of skew-symmetric matrix shown in Eq. (2), (3), and(4):

$$R(\mathbf{\Theta}) = \begin{bmatrix} c\phi\, c\psi & s\phi\, s\theta\, c\psi - s\psi\, c\phi & c\phi\, s\theta\, c\psi + s\psi\, s\phi \\ s\psi\, c\theta & s\phi\, s\theta\, s\psi + c\psi\, c\phi & c\phi\, s\theta\, s\psi - c\psi\, s\phi \\ -s\theta & c\theta\, s\phi & c\theta\, c\phi \end{bmatrix} \tag{2}$$

$$T(\boldsymbol{\Theta})=\begin{bmatrix}1 & s\phi\, t\theta & c\phi\, t\theta\\ 0 & c\phi & -s\phi\\ 0 & s\phi/c\theta & c\phi/c\theta\end{bmatrix} \tag{3}$$

$$S(\boldsymbol{\omega})=\begin{bmatrix}0 & -\omega_z & \omega_y\\ \omega_z & 0 & \omega_x\\ -\omega_y & \omega_x & 0\end{bmatrix} \tag{4}$$

Where c and s denote cosine and sine functions, respectively. Also based on the Newton-Euler formalism, dynamic equation of motions will be described in explicit form as follow:

$$m R^T \ddot{\mathbf{p}} + K_t R^T \dot{\mathbf{p}} + m R^T \mathbf{g} = \mathbf{f} \tag{5-a}$$

$$J T\,\ddot{\boldsymbol{\Theta}} + J\left(\frac{\partial T}{\partial \phi}\dot{\phi}+\frac{\partial T}{\partial \theta}\dot{\theta}\right)\dot{\boldsymbol{\Theta}} + K_r T\,\dot{\boldsymbol{\Theta}} + S(T\,\dot{\boldsymbol{\Theta}})J T\,\dot{\boldsymbol{\Theta}} = \boldsymbol{\tau} \tag{5-b}$$

Where, $J=\mathrm{diag}\{I_{xx}\quad I_{yy}\quad I_{zz}\}\in \mathrm{P}^{3\times3}$ is a constant matrix, representing body rotational moment of inertia around the propeller axis. Thanks to the even distribution of the mass of the quadrotor, the inertia matrix is diagonal, furthermore the effect of gravitational force on such body is considered as $\mathbf{g}=[0\quad 0\quad g]^T\in \mathrm{P}^3$ where g is gravity acceleration factor. $K_t\in \mathrm{P}^{3\times3}$ and $K_r\in \mathrm{P}^{3\times3}$ represent constants of diagonal aerodynamic forces in translational and rotational motion occurred in velocity terms.

$\mathbf{f}=[f_x\quad f_y\quad f_z]^T\in \mathrm{P}^3$ is the force vector but the only one we obtain is the consequent trust of four rotors called also throttle in z- axis. Also there are three rotational torque along roll, pitch and yaw, $\boldsymbol{\tau}=[\tau_\phi\quad \tau_\theta\quad \tau_\psi]^T\in \mathrm{P}^3$ which made system capable to move around, described by Eq. (6), where Ω denotes the angular speed of each rotor.

$$\begin{bmatrix}\mathbf{f}\\ \boldsymbol{\tau}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}b\,(\Omega_1^2+\Omega_2^2+\Omega_3^2+\Omega_4^2)\\ lb(\Omega_1^2-\Omega_3^2)\\ lb(\Omega_2^2-\Omega_4^2)\\ d(\Omega_1^2-\Omega_2^2+\Omega_3^2-\Omega_4^2)\end{bmatrix} \tag{6}$$

As stated previously, translation in x-y plane is made up of roll and pitch rotation considering position of the head of robot, or yaw angle.

$$\begin{cases}u_x = c\phi\, s\theta\, c\psi + s\phi\, s\psi\\ u_y = -c\phi\, s\theta\, s\psi + s\phi\, c\psi\end{cases} \tag{7}$$

Non-holonomic constraints demonstrate the coupling effect between rotation dynamics roll and pitch and translational dynamics of quadrotor system, i.e. to have a smooth movement in x-y plane we may need to define desired rotation profile in roll- pitch orientations.

$$\theta_d = \tan^{-1}\left(\frac{(\ddot{x}+\frac{K_{ftx}}{m}\dot{x})\cos\psi + (\ddot{y}+\frac{K_{fty}}{m}\dot{y})\sin\psi}{\ddot{z}+g+\frac{K_{ftz}}{m}\dot{z}}\right) \tag{8}$$

$$\phi_d = \sin^{-1}\left(\frac{(\ddot{x}+\frac{K_{ftx}}{m}\dot{x})\sin\psi - (\ddot{y}+\frac{K_{fty}}{m}\dot{y})\cos\psi}{\sqrt{(\ddot{x}+\frac{K_{ftx}}{m}\dot{x})^2+(\ddot{y}+\frac{K_{fty}}{m}\dot{y})^2+(\ddot{z}+g+\frac{K_{ftz}}{m}\dot{z})^2}}\right) \tag{9}$$

CONTROL DESIGN AND STABILITY ANALYSIS

Generally, all nonlinear systems demonstrated as a standard state space form like:

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x},\mathbf{u}) \tag{10}$$

Where the state vector $\mathbf{x}$ and input vector $\mathbf{u}$, the designed control strategy acts on quadrotor via four rotor actuated in angular velocity as follows:

$$\mathbf{x}=[\mathbf{p}^T\quad \boldsymbol{\Theta}^T]^T \tag{11}$$

$$\mathbf{u}=[\mathbf{f}^T\quad \boldsymbol{\tau}^T]^T \tag{12}$$

Without loss of generality due to force and moment equation obtained by Newton-Euler formalism, we properly assume our quadrotor system adopts a special class of nonlinear systems as below:

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}) + g(\mathbf{x})\,\mathbf{u} \tag{13}$$

Mentioned equation is an appropriate form of system dynamic equations, utilized in backstepping method called Strict-Feedback Form. If we consider $\mathbf{x}$ and $\mathbf{u}$ as following second order system:

$$\begin{cases}\dot{x}_1 = x_2 + \phi_1^T(x_1)\theta + \psi_1(x_1)\\ \dot{x}_2 = bu + \phi_2^T(x_1,x_2)\theta + \psi_2(x_1,x_2)\end{cases} \tag{14}$$

We define the first step tracking error as Eq. (15) and we begin to back-step to the full state quadrotor system of order 12.

$$\begin{cases}z_1 = x_1 - x_r\\ z_2 = x_2 - \alpha_1 - \dot{x}_r\end{cases} \tag{15}$$

Control design procedure of traditional backstepping approach will be constructed during the next steps. Starting as:

Step 1:

$$\begin{aligned}\dot{z}_1 &= \dot{x}_1 - \dot{x}_r\\ &= z_2 + \alpha_1 + \phi_1^T\theta + \psi_1\end{aligned} \tag{16}$$

We do not have the parameter θ due to system uncertainties, so we consider its estimation $\hat{\theta}$ and try to find θ through a proper adaptation rule. According to

traditional backstepping approach, we introduce a Lyapunov candidate function as:

$$V_1 = \tfrac{1}{2} z_1^2 + \frac{1}{2}\lambda\chi^2 + \frac{1}{2}\tilde{\theta}^T \Gamma^{-1}\tilde{\theta} \tag{17}$$

Where $\chi = \int_0^t z_1(\tau)d\tau$ and Γ is a positive definite matrix and $\tilde{\theta} = \theta - \hat{\theta}$. In the first step we represent the $\dot{V}_1$ as:

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 &= z_1\dot{z}_1 + \lambda\chi\dot{\chi} - \tilde{\theta}^T\Gamma^{-1}\dot{\hat{\theta}} \\ &= z_1(z_2 + \alpha_1 + \lambda\chi + \phi_1^T\hat{\theta} + \psi_1) - \tilde{\theta}^T(\Gamma^{-1}\dot{\hat{\theta}} - \phi_1 z_1) \end{aligned} \tag{18}$$

In each step we define stabilizing virtual control α and a tuning function respectively. we choose α_1 in a way to make $\dot{V}_1 \le 0$.

$$\alpha_1 = -c_1 z_1 - \lambda\chi - \phi_1^T\hat{\theta} - \psi_1 \tag{19}$$

$$\dot{\hat{\theta}} = \Gamma\phi_1 z_1 \tag{20}$$

Where, constant c_1 and positive nonzero λ are IBS coefficients. As it is said In [16], to overcome the over-parameterization problem caused by θ, this update law is not being used for to estimation of θ. Instead, a tuning function τ_1 will be defined as $\tau_1 = \phi_1 z_1$ to show this time derivative is negative definite:

$$\dot{V}_1 = -c_1 z_1^2 - \tilde{\theta}^T(\Gamma^{-1}\dot{\hat{\theta}} - \tau_1) + z_1 z_2 \tag{21}$$

By choosing $\dot{\hat{\theta}} = \Gamma\phi_1 z_1$, the term at right hand of $\tilde{\theta}$ become zero, and then to declare the stabilization we have:

$$\dot{V}_1 = -c_1 z_1^2 + z_1 z_2 \tag{22}$$

The next step to our stabilization and tracking control will be similar to first step.

Step 2:

The time derivative of second error of tracking determined as:

$$\begin{aligned} \dot{z}_2 &= bu + \psi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}(z_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}z_1 - \lambda\chi) \\ &+ (\phi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial x_1}\phi_1)^T\theta - \frac{\partial\alpha_1}{\partial\hat{\theta}}\dot{\hat{\theta}} - \frac{\partial\alpha_1}{\partial\chi}\dot{\chi} - \ddot{x}_r \end{aligned} \tag{23}$$

The control law will appear to us, using a second Lyapunov function and its time derivative in Eq.(24) and Eq.(25). By introducing such a Lyapunov function, we study convergence of tracking error signals (z_1 and z_2) and also declare boundedness of χ:

$$V_2 = V_1 + \tfrac{1}{2} z_2^2 \tag{24}$$

$$\dot{V}_2 = -c_1 z_1^2 - \tilde{\theta}^T(\Gamma^{-1}\dot{\hat{\theta}} - \tau_1) + z_1 z_2 + z_2\dot{z}_2 \tag{25}$$

Replacing $\dot{z}_2$ from Eq. (23) we have a step closer to stability analysis of system.

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = -c_1 z_1^2 + z_2\Big(& z_1 + bu + \psi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}(z_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}z_1 - \lambda\chi) \\ & + (\phi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}\phi_1)^T\theta - \frac{\partial\alpha_1}{\partial\hat{\theta}}\dot{\hat{\theta}} - \frac{\partial\alpha_1}{\partial\chi}\dot{\chi} - \ddot{x}_r \Big) \end{aligned} \tag{26}$$

We can eliminate the θ terms replacing it with $\tilde{\theta} + \hat{\theta}$ and absorbing the $\tilde{\theta}$ term in parenthesis of ϕ in Eq. (26). Now we can drive an update law from the mentioned procedure of adaptive integral backstepping, as below:

$$\dot{\hat{\theta}} = \Gamma\tau_2 \tag{27}$$

And τ_2 is called the second tuning function and is selected as:

$$\tau_2 = \tau_1 + (\phi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}\phi_1)z_2 \tag{28}$$

So we cancel the last term of $\dot{V}_2$, this time derivative now become:

$$\begin{aligned} \dot{V}_2 = -c_1 z_1^2 + z_2\Big(& z_1 + bu + \psi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}(z_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}z_1 - \lambda\chi) \\ & + \hat{\theta}^T(\phi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}\phi_1) - \frac{\partial\alpha_1}{\partial\hat{\theta}}\dot{\hat{\theta}} - \frac{\partial\alpha_1}{\partial\chi}\dot{\chi} - \ddot{x}_r \Big) \end{aligned} \tag{29}$$

The actual control input is selected to remove the residual terms and make a semi negative time derivative of Lyapunov Function.

$$\begin{aligned} u = \frac{1}{b}[& -z_1(1 + \lambda - c_1^2) - z_2(c_1 + c_2) + c_1\lambda\chi \\ & + \hat{\theta}^T(\phi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}\phi_1) + \frac{\partial\alpha_1}{\partial\hat{\theta}}\Gamma\tau_2 - \psi_2 + \ddot{x}_r] \end{aligned} \tag{30}$$

The resulting of time derivative of V_2 is:

$$\dot{V}_2 = -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 \tag{31}$$

Since the parameter b is also unknown, we have to estimate it with a second update law. Finally we are in this position to extract control u as below:

$$u = \hat{p}\,\bar{u} \tag{32}$$

$$\begin{aligned}\bar{u} = &-z_1(1+\lambda-c_1^2) - z_2(c_1+c_2) + c_1\lambda\chi \\ &+ \hat{\theta}^T(\phi_2 - \frac{\partial\alpha_1}{\partial z_1}\phi_1) + \frac{\partial\alpha_1}{\partial\hat{\theta}}\Gamma\tau_2 - \psi_2 + \ddot{x}_r\end{aligned} \tag{33}$$

Where $\hat{p}$ is the estimation of $p = 1/b$. We should consider this estimation in the last Lyapunov function, note that $\tilde{p} = p - \hat{p}$ we have:

$$bu = b\hat{p}\bar{u} = \bar{u} - b\tilde{p}\bar{u} \tag{34}$$

So according to [16] and the proposed formulation, the update laws of estimations are as

$$\begin{aligned}\dot{\hat{p}} &= -\gamma\ \mathrm{sign}(b)\bar{u}z_2 \\ \dot{\hat{\theta}} &= \Gamma\tau_2\end{aligned} \tag{35}$$

Where γ is a positive constant design parameter. Finally we can utilize the last Lyapunov function to clarify the stability and control performance:

$$V = V_2 + \frac{|b|}{2\gamma}\tilde{p}^2 \tag{36}$$

$$\begin{aligned}\dot{V} &= -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 + z_2\frac{\partial\alpha_1}{\partial\hat{\theta}}(\Gamma\tau_2 - \dot{\hat{\theta}}) \\ &+ \tilde{\theta}^T(\tau_2 - \Gamma^{-1}\dot{\hat{\theta}}) - \frac{|b|}{\gamma}\tilde{p}(\dot{\hat{p}} + \gamma\,\mathrm{sign}(b)\bar{u}z_2) \\ &= -c_1 z_1^2 - c_2 z_2^2 \le 0\end{aligned} \tag{37}$$

This Lyapunov function provides the proof of uniform stability and the proof of asymptotic tracking. By using tuning functions, only one update law is used to estimate unknown parameter θ. This avoids the over-parametrization problem and reduces the dynamic order of the controller to its minimum.

Due to analysis in [16] and From the LaSalle's Theorem, this Lyapunov function provides the proof of uniform stability, such that z_1, z_2, χ, $\hat{p}$ and $\hat{\theta}$, are bounded and $z_i \to 0$, i = 1, 2 This further implies that $\lim_{t\to\infty}(x_1 - x_r) = 0$. Since $x_1 = z_1 + x_r$, x_1 is also bounded from the boundedness of z_1 and x_r. The boundedness of x_2 follows from boundedness of $\dot{x}_r$ and α_1 in Eq.(19) and the fact that $x_2 = z_2 + \alpha_1 + \dot{x}_r$. Combining this with Eq.(32) we conclude that the control $u(t)$ is also bounded. Therefore boundedness of all signals and asymptotic tracking are ensured.

Attitude and Altitude control

Altitude control as an outer loop designed to hold quadrotor in a hover mode flight and keep the height in a desired position of z axis. As following we have:

$$\begin{aligned}u_1 = \frac{m}{cx_7cx_9}\Big[&-z_5(1+\lambda_3-c_5^2) - z_6(c_5+c_6) + c_5\lambda_3\chi_3 \\ &+ a_3x_6 + g + \ddot{x}_{rz}\Big]\end{aligned} \tag{38}$$

While attitude controller stabilizes the angels on desired roll and pitch value predefined by position controller, the altitude controller track movement along vertical axis. Attitude controller, similarly track desired yaw angles defined by path planner too.

$$\begin{aligned}u_2 = \hat{p}_1\,(&-z_7(1-c_7^2+\lambda_4) - z_8(c_7+c_8) - \hat{\theta}_1 x_{10}x_{12} \\ &+ c_7\lambda_4\chi_4 - J_{rot}\,x_{10}\,\Omega_r + \ddot{x}_{7r})\end{aligned} \tag{39}$$

$$\begin{aligned}u_3 = \hat{p}_2\,(&-z_9(1-{c_9}^2+\lambda_5) - z_{10}(c_9+c_{10}) - \hat{\theta}_2 x_8 x_{12} \\ &+ c_9\lambda_5\,\chi_5 + J_{rot}\,x_8\,\Omega_r + \ddot{x}_{9r})\end{aligned} \tag{40}$$

$$\begin{aligned}u_4 = \hat{p}_3\,(&-z_{11}(1-{c_{11}}^2+\lambda_6) - z_{12}(c_{11}+c_{12}) - \hat{\theta}_3 x_8 x_{10} \\ &- c_{11}\lambda_6\,\chi_6 + \ddot{x}_{11r})\end{aligned} \tag{41}$$

Where c_i and λ_i are positive non-zero and χ_i are integration of tracking errors. From Eq.(39-40), the rotational motions do not depend on translational motion while the opposite is not true.

Position Control

Trajectory tracking maneuver performed via a position controller, where a predefined trajectory in time domain followed by calculating desire roll and pitch angle as a function of time. There it seems a low level controller handle 2-D translation as an outer loop, while this position control cooperated with Altitude controller a 3-D path tracking will be achieved.

$$\begin{aligned}u_x = \frac{m}{u_1}(&-z_1(1+\lambda_1-c_1^2) - z_2(c_1+c_2) + c_1\lambda_1\chi_1 \\ &+ a_1x_2 + \ddot{x}_{1r})\end{aligned} \tag{42}$$

$$\begin{aligned}u_y = \frac{m}{u_1}(&-z_3(1+\lambda_2-c_3^2) - z_2(c_3+c_4) + c_3\lambda_2\chi_2 \\ &+ a_2x_4 + \ddot{x}_{3r})\end{aligned} \tag{43}$$

Where $a_1 = K_{ftx}/m$, $a_2 = K_{fty}/m$ and $a_3 = K_{ftz}/m$ are demonstrating effect of friction in each translational axis.

SIMULATIONS AND RESULTS

The simulation results are obtained based on the following real parameters of designed quadrotor in Mechatronic research center of Islamic Azad University of Qazvin, in Table 1. Simulations in this research have been performed to examine the application of Integral backstepping controller and its adaptive issue performance, in domain of initial condition attraction and effect of external disturbances while trajectory tracking.

Table 11. Quadrotor drone mechanical characteristics.

	Mechanical Constant Parameters of quadrotor hardware			
	Symbol	***Unit***	***Value***	***Description***
1	b	$N\,s^2$	54.2×10^{-6}	Thrust factor
2	d	$\frac{N\ m}{s^2}$	1.1×10^{-6}	Drag factor
3	g	$m\,s^{-2}$	9.81	Gravity acceleration
4	I_{xx}	$Kg.m^2$	0.186762	Moment of Inertia on x axis
5	I_{yy}	$Kg.m^2$	0.186762	Moment of Inertia on y axis
6	I_{zz}	$Kg.m^2$	0.091253	Moment of Inertia on z axis
7	J_{rot}	$Kg.m^2$	1.32×10^{-3}	Rotor Inertia
8	l	m	0.15	Arm length
9	m	kg	1.2	Mass
10	R	m	0.2032	Propellers radius

Desired trajectory in this study is a Lemniscate shape. This is a special curve of degree four and specified by parametric form equations **Error! Reference source not found.**. This reference path is piecewise continuous and sufficiently smooth up to second derivation. Further this trajectory as a reference input is a persistent excitation to reveal all system nonlinearities.

$$x(t) = \frac{a\cos t}{1+\sin^2 t} \qquad y(t) = \frac{a\sin t\cos t}{1+\sin^2 t} \qquad (44)$$

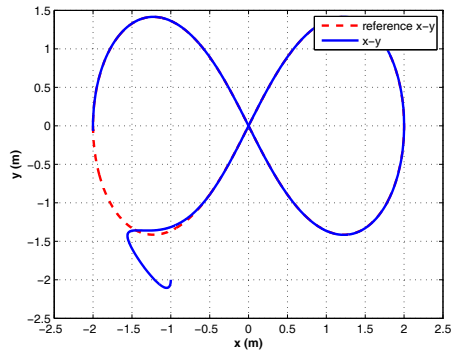


Figure 19. 2D view of indoor flight trajectory tracking via BS control approach while there is no disturbance.

IBS control method could outstand relatively hard initial conditions and perform the tracking mission very well with absolutely no error. To examine the efficiency of our proposed method, we associate a constant wind effect about 0.3N means constant acceleration about 0.25 m/s2 in our simulations.

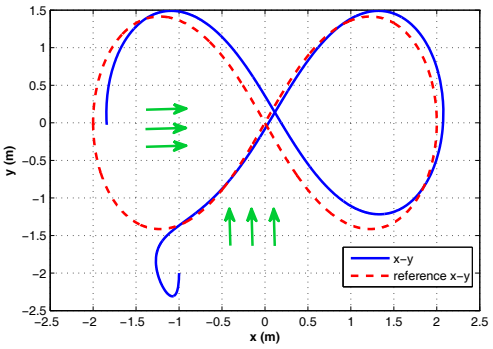


Figure 20. Bird-eye view of indoor flight trajectory tracking via BS control approach in presence of wind disturbance toward *x* and *y* directions.

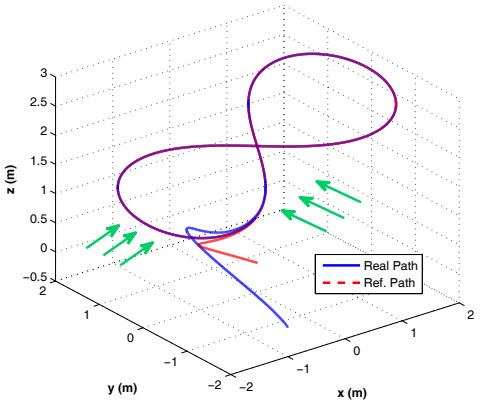


Figure 21. 3D view of quadrotor trajectory tracking via Adaptive IBS control approach in presence of wind disturbance toward *x* and *y* directions.

From the mathematical model, the quadrotor is a nonlinear, multivariate and strongly coupled under-actuated control system. And, the system model also has uncertainties of inertial moments. Therefore, as illustrated in Figure. 4 general backstepping control algorithm performs not very well in presence of parameter uncertainty and disturbances in windy environments, this problem is solved perfectively via adaptive IBS presented in Figure. 5.

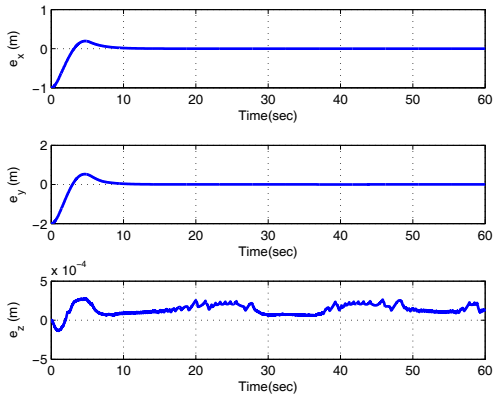


Figure 22. View of tracking error signal of quadrotor via Adaptive IBS.

Mechanical Parameter of body structure due to newton-Euler modelling are estimated via adaptive part are presented in Figure. 7.

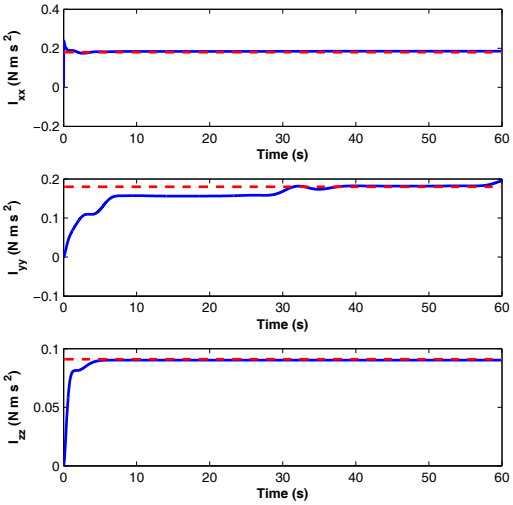


Figure 23. Estimation of constant body parameter I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} concluded from estimation of p via adaptive IBS control approach.

As illustrated in Figure. 8 adaptive IBS controller have reasonable control effort and consumes relatively low power which highlighted as a benefit of proposed control method in trajectory tracking.

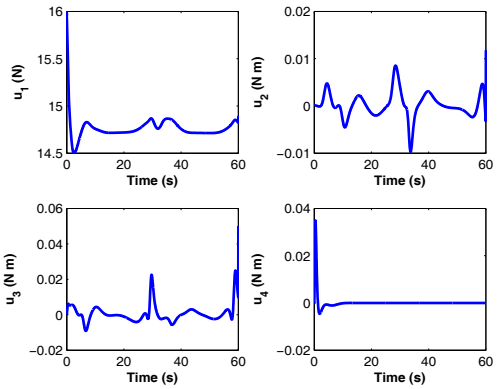


Figure 24. Control effort of adaptive IBS in presence of wind effect.

CONCLUSION

In this paper, we addressed problem of trajectory tracking control of a quadrotor. We start by developing dynamic nonlinear model of quadrotor taking into account the different physics phenomena which can influence the evolution of our system during trajectory tracking in autonomous flight conditions. Control method designed for such a rigorous nonlinear aircraft is an Integral Backstepping (IBS) which is a powerful Lyapunov based nonlinear control Method, and useful in controlling aerial vehicles. Robustness to external disturbances is either accomplished through integral backstepping.

The proposed control laws lead to a negative semi-definite time derivative Lyapunov function of closed-loop system regard to the tracking errors, rendering it inherently robust to small errors and noise. Also the initial conditions of quadrotor states have been considered while analyzing control performance in trajectory tracking. As it shown in results, Adaptive IBS eliminate the effect of constant wind on and perform the trajectory tracking with no drift. Moreover the control system can tolerate relatively large initial conditions too. As the quadrotor stirs along the path, the adaptive algorithm tries to estimate unknown parameters of body structure too. With employing tuning functions the parameters converge to their real values.

This controller will be discussed in real flight maneuver experiment In future, and as a completion to this control method a disturbance observer will be designed to reduce the difficulties of controller construction in experimental situation.

References

[1] M. Krsti'c, I. Kanellakopoullos, P. Kokotovi'c, Nonlinear and Adaptive Control Design, John Wiley and Sons, Inc, New York, NY, 1995.

[2] S. Bouadballah, R. Siegwart, "Backstepping and sliding-mode techniques applied to an indoor micro quadrotor", In *proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2247–2252, 2005.

[3] T. Madani, A. Benallegue, " Control of a quadrotor mini-helicopter via full state backstepping technique," Proc. Of 45th IEEE Conference on Decision and Control, pp. 1515-1520, 2006.

[4] T. Madani, A. Benallegue, " Backstepping sliding mode control applied to a miniature quadrotor flying robot", Proc. Of IEEE Industrial Electronics, the 32nd Annual Conference, pp. 700- 705, 2006.

[5] P. Costillo, P. Albertos, P. Garcia, R. Lozano, "Simple real- time attitude stabilization of a quadrotor aircraft with bounded signals", Proc. of the 45th IEEE Conference on Decision and Control, pp. 1533-1538, 2006.

[6] Y. Morel, A. Leonessa, "Direct Adaptive Tracking Control of Quadrotor aerial vehicles*", Florida Conference on Resent Advances in Robotics, FCRAR*, 2006.

[7] N. Metni, T. Hamel, " Visual tracking control of aerial robotic system with adaptive depth estimation", International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 5, no. 1, pp. 51-60, 2007.

[8] M. Bouchoucha, M. Tadjine, P. M¨ullhaupt, A. Tayebi. "Step by step robust nonlinear PI for attitude stabilisation of a four-rotor mini-aircraft", In *Proc. of the 16th Mediterranean Conf. on Control and Autom.,* IEEE, Ajaccio, France, pp. 1276–1283, 2008.

[9] D. Lee, C. Nataraj, T. C. Burg, and D. M. Dawson, "Adaptive Tracking Control of an Underactuated Aerial Vehicle", American Control Conf., San Francisco, USA, pp. 2326-2331, July 2011.

[10] X. Gong, Z. C. Hou, C. J. Zhao, Y. Bai, Y. T. Tian, "Adaptive Backstepping Sliding mode trajectory tracking control for a quad-rotor", Int. Journal of Autom. and Comp., vol.9, no. 5, pp. 555-560, October 2012.

[11] Z. T. Dydek, A. M. Annaswamy, E. Lavretsky, "Adaptive control of quadrotor UAVs: a design trade study with flight evaluations", IEEE Trans. on cont. sys. Technology, vol. 21, no. 4, pp. 1063-6536, July 2013.

[12] Z. Fang, W. Gao, "Adaptive bachstepping Control of an indoor micro-quadrotor", Research Journal ao Applied Scince, Engineering and Technology, Vol. 4, No. 21, pp. 4216- 4226, 2012.

[13] P. Castillo, R. Lozano and AE. Dzul, "Modelling and Control of Mini- Flying Machines", Springer- Verlag London Limited, 2005.

[14] S. Bouabdallah, "Design and Control of Quadrotors with Application to Autonomous flying", PHD Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne EPFL, 2007.

[15] L. Derafa, T. Madani, A. Benallegue, "Dynamic modelling and experimental identification of four rotor helicopter parameters", ICIT Mumbai, India, 2006.

[16] J. Zhou, and W. Changyun, "Adaptive Backstepping Control", In Adaptive Backstepping Control of Uncertain Systems, pp. 9-3, Springer Berlin Heidelberg, 2008.

[17] Cabecinhas, R. Cunha, and C. Silvestre. "A nonlinear quadrotor trajectory tracking controller with disturbance rejection." Control Engineering Practice, Vol. 26, pp. 1-10, 2014

Implementation of a Frequency FIR Filter as 2D-FIR Filter Based on FPGA

Ahmad Fakharian
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
ahmad.fakharian@qiau.ac.ir

Saeed Badr
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran
saeedbadr_95@yahoo.com,

Mohsen Abdi
Faculty of Electrical, Biomedical and Mechatronic Engineering
Qazvin Branch, Islamic Azad University
Qazvin, Iran

***Abstract*—In this paper, it is tried to transfer one of the powerful tools for image processing from the frequency domain to spatial domain. In which the frequency concepts is used in the field of image processing based on FPGA. The process is as follows that first a low-pass FIR filter in frequency domain is designed and then it is transferred from frequency domain to spatial domain and implemented as an IP Core standard structure in FPGA. The implemented IP CORE structure is streaming and the input and output images of type gray. Because the use of array and high-frequency processing in FPGA, it has wide applications in image processing field, especially for high-speed image processing. Finally, the implementation of 2D FIR filter and eyewitness in VGA's output and the comparison between the actual image and filtered image, it is obvious that high-frequency changes are decreased in the image.**

Keywords—FPGA; FIR Filter; Image Processing; 2D FIR Filter

INTRODUCTION

FIR filters are one of the most practical tools in the image processing and there are various tools for design it. FIR filters are digitally implemented in both software and hardware forms. The use of a DSP processor and C programming language is used to implement a FIR filter in [8] and [9] and a fir filter are implemented as hardware based on FPGA in [1] and [4] also.

The hardware implementation is used mainly as VHDL and Verilog programming languages, which have higher processing speed with respect to the algorithms which uses the software.

Now if a FIR filter as the above features could be used in the form of a 2D FIR filter for image processing [6], [7] and [10], we can utilize the specifications of FIR filters in image processing field.

Also In this paper, it is tried to apply the properties of this type of filters on image processing, in addition to hardware design of a filter based on FPGA, and use this type of filters and their properties in real time processing, based on FPGA.

The rest of the paper is organized as follow.

Section II. The structure of FIR filter in frequency domain

Section III. Design a FIR low-pass filter

Section IV. Implementation of 2D-FIR filter

Finally, conclusion of this study is explained in Section V.

Meanwhile the study of 2_D filter, implementation of these filters and digital image processing mask based on FPGA are presented.

THE STRUCTURE OF FIR FILTER IN FREQUENCY DOMAIN

FIR filters are one of the useful filters in signals processing field. These filters are used to cut one or a few frequency bands.

Fir filter is called finite impulse response filter, because of its response for an impulse in the input, which is some finite nonzero values in the output.

The filter design software is mainly used for filter designing, which included the pass band and cut off range and more accurate response.

There are a variety of methods for designing filters, as presented in [13] and [14].

The Transfer function of a FIR filter is stated as equation (1) [4], [7].

$$y[\mathrm{n}] = \mathrm{b}_0\, x[\mathrm{n}] + \mathrm{b}_1\, x[\mathrm{n}-1] + \ldots$$
$$+ b_N x[n - \mathrm{N}] = \sum_{i=0}^{N} b_i . x[\mathrm{n}-\mathrm{i}] \qquad (1)$$

Which in Equation 1, b is FIR filter's coefficients and n is order of designed filter. Digital structure of FIR filter's implementation Block in frequency domain is shown in Fig. 1 [3], [7].

FIR filters because of the simple and intelligible structure and variety of tools and techniques in the design [6] in the frequency domain have this advantage that can be used in the

field of image processing as a powerful tool for better understanding of the images.

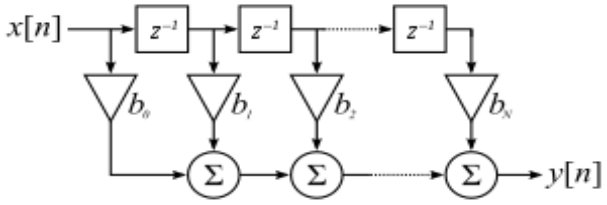


Figure 25. The structure of digital fir filter

DESIGN A FIR LOW-PASS FILTER

In many cases, we need to attenuation or amplification a specific frequency band. Which these attenuation and amplification are very useful in the field of image processing. such as sharpen images edges.

There are various method for design a 1_D filter. This paper offer Butterworth method according to equation2.

$$|B(w)|^2 = \frac{1}{1+(\frac{w}{w_c})^{2N}} \quad .(2)$$

Which in equation, w_c is the cut off frequency and N is the order of filter.

The greater value of N, the quickly reduce in the value of B(w) and more precision of filter.

Fig. 2 shows the frequency response of a second order low pass filter with Frequency bands defined within [0 .6 .6 1] and Pass band with in [1 1 0 0].

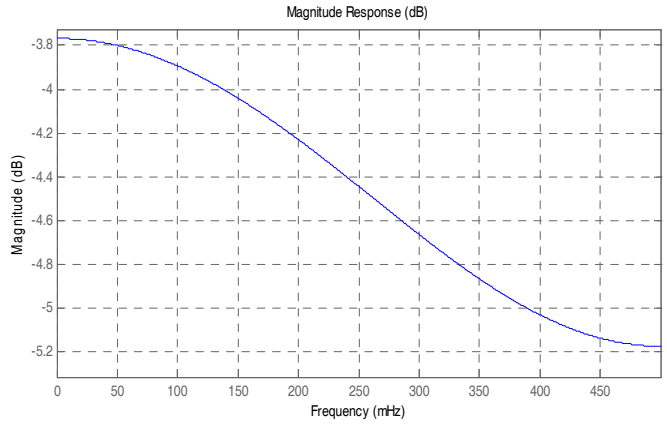


Figure 26. Frequency response of FIR filter

Equation 3 shows a 2_D filter that can obtain from generalized 1_D filter.

$$H(z_1, z_2) = \sum_{k=-N}^{N} \sum_{l=-N}^{N} L(k,l) Z_1^{-k} Z_2^{-l} \quad .(3)$$

And a 2_D filter can obtain from a generalized 2_D second order FIR low pass filter.

Table (1) shows generated filter's coefficients. [4]

TABLE XII. GENERATED FILTER'S COEFFICIENTS

0.0061	0.0121	0.0061
0.0121	0.5754	0.0121
0.0061	0.0121	0.0061

Fig. 3 shows three dimensional view of frequency response of a 2_D FIR filter, and Pass band and the intensity of changes in a two-dimensional neighborhood.

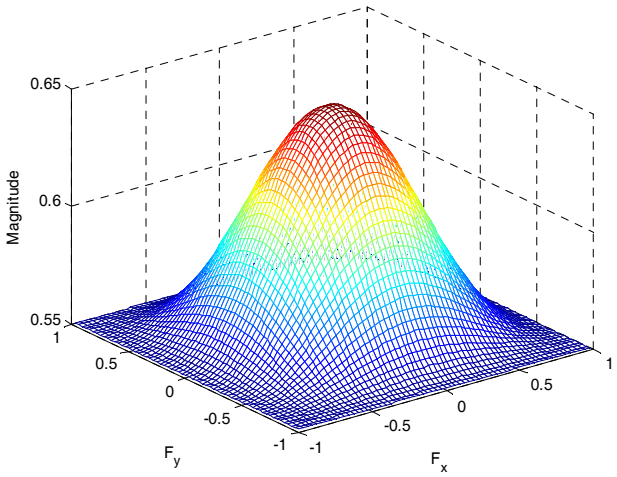


Figure 27. Diagram of generated 2D_FIR filter

IMPLEMENTATION OF 2D-FIR FILTER

We use VHDL hardware programming To Implementation 2D FIR filter in FPGA and then convert to IP CORE Using TCL language and add it to image processing hardware.

We use 3*3 or more matrix To Implementation 2D-FIR filter which the matrix size is depends to order of Filter Frequency which has changed to spatial filter and also depends on array memory which has a manner like FIFO With the exception that all the arrays of this FIFO are available.

In Fig. 4 a 3*3 mask is seen which has w coefficients. Indeed these coefficients are 2D FIR filter coefficients. [5]

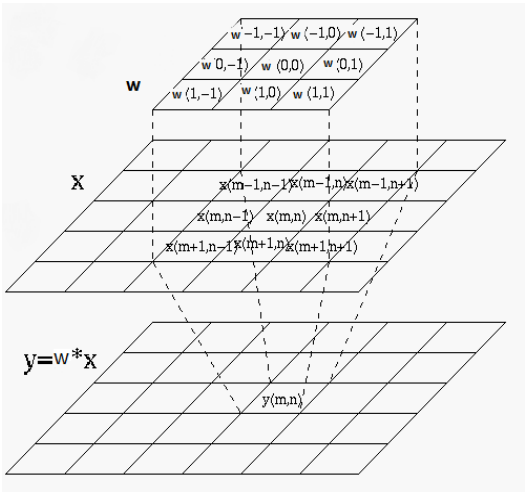


Figure 28. Image Processing 3 x 3 mask with a memory

And By equation (4) 2D FIR filter output to an image pixel size W * L achieved. [3]

$$y(n,m) = \sum_{k=-M}^{M} \sum_{l=-N}^{N} w_{k,l}\, x[n-k, m-l] \quad .(4)$$

To implementation 2D-FIR filter, a 3*3 matrix and a FIFO memory size L*3 are needed which L is the image length that Applied to 2D-FIR filter. In code1 a proposed VHDL code shown which shows Inputs and outputs 2D-FIR filter.

```
Library IEEE;

use IEEE.std_logic_1164.all;

useIEEE.std_logic_arith.all;

useIEEE.std_logic_unsigned.all;

libraryfp_lib;

usefp_lib.float_pkg.all;

ENTITY fir IS

GENERIC(W1,W2,W3: STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0):=(others=>'0');

W4,W5,W6: STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0):=(others=>'0');

W7,W8,W9:STD_LOGIC_VECTOR (31 DOWNTO 0):=(others=>'0');
 N_LENGTH_PICEL:INTEGER:=320);

PORT (clk : IN STD_LOGIC;

reset_n      : IN STD_LOGIC;

ast_sink_data          : IN STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0);

ast_sink_valid         : IN STD_LOGIC;

ast_source_ready       : IN STD_LOGIC;

ast_sink_error         : IN STD_LOGIC_VECTOR (1 DOWNTO 0);

ast_source_data        : OUT STD_LOGIC_VECTOR (7 DOWNTO 0);

ast_sink_ready         : OUT STD_LOGIC;

ast_source_valid       : OUT STD_LOGIC;

ast_source_error       : OUT STD_LOGIC_VECTOR (1 DOWNTO 0)

            );

END fir2D;

ARCHITECTURE SYN OF fir2D IS

COMPONENT FIFO_ARRAY

PORT (CLK:IN STD_LOGIC;

DATAIN:IN STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0);

POINT:IN INTEGER;

DATAOUT:IN STD_LOGIC_VECTOR(7 DOWNTO 0)

);
```

Code1. The proposed 2D-FIR filter VHDL code

In code1 Connection between input and output is streaming. In this connection we have no control over incoming and outgoing data and core will perform the settings. The connection is used in real speed time image processing with high-speed applications. In Fig. 5 IP CORE window made in the Qsys environment of Quartus software is shown.

In Fig. 5, 2D-FIR filter coefficients of floating point type is defined which need to convert the Decimal floating point numbers to binary floating-point numbers and this can be done by standard IEEE_754.

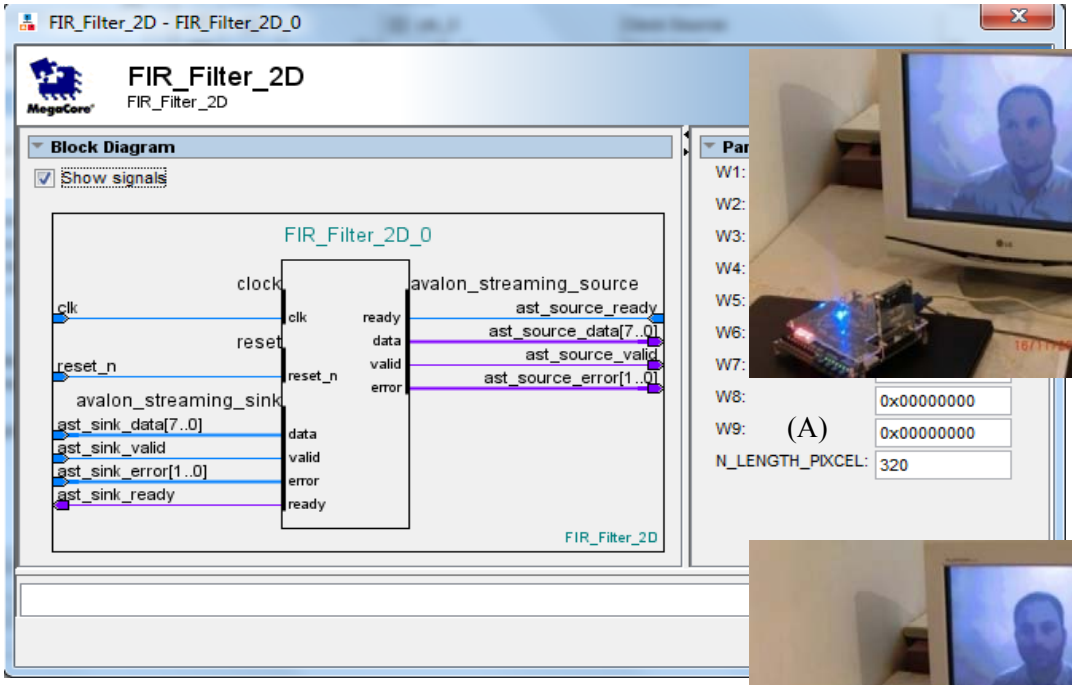


Figure 29. 2D-FIR filter IP CORE

(A)



(B)

Figure 30. VGA output

In Fig. 6, 2D_FIR filter is applied on an image with size of 320x240 pixels and its output is displayed in VGA and use Filter coefficients through a 2-degree low pass filter .

For image acquisition and image processing algorithms implementation, TRDB_DM camera with 5MP resolution and a DE1boardanda cyclone -II FPGA chip are used. [11], [12]

In Fig. 6 (A) original image with high frequency noises shown that randomly mixed with picture.

In Fig. 6 (B) output image obtained after the applying 2D_FIR filter which the image has been smooth changes. However, it is clear that increasing the size of the mask to 2D_FIR filter and filter order, increases the quality of output image, considerably.

CONCLUSION

2D_FIR filter in image processing is for transform the processing Implications from frequency domain to spatial domain.

Use of 2D-FIR filter, is the use of powerful tools of design and analysis in digital signal processing in the frequency domain. 2D-FIR filter has diverse uses in image processing such Remove high frequency changes and Sharpen image edges in the edge-finding.

In this study a long side Check FIR filter in the frequency domain and its Conversion to spatial domain, implement that for the purposes of image processing based on FPGA in form of 2D_FIR filter. which inside Reduce high frequency noise, has increased image quality considerably for a better understanding of image and image processing.

Reference

[1] Chou, C., Mohanakrishnan, S. and Evans, J.: "FPGA Implementation of Digital Filters," Proc. ICSPAT,1993.

[2] Pratt, W. *Digital Image Processing*, Wiley, New York, NY, 1978.

[3] Kang, H.J.,Kim, H. and Park, I.C., "FIR filter synthesis algorithms for minimizing the delay and the number of adders," presented at

Computer Aided Design, 2000, ICCAD-2000, IEEE/ACM International Conference on, 2000.

[4] Jiang,X. and Bao,Y., "FIR filter design based on FPGA," in International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM) , Taiyuan, 2010.

[5] Nosrat,A. and Kavian,Y. S., "Hardware Description of multi-Directional Fast Sobel Edge Detection Processor by VHDL for implementing on FPGA",International Journal of Computer Applications, Volume 47-No. 25, pp. 1-7, June 2012.

[6] Xu, X. and Lin, Y.,*Application of MATLAB in Digital Image Processing* [J]. Modern Computer, 2008, (05):66-78, 78

[7] Nianxi, X., *Application of MATLAB in Digital Signal Processing*, Qinhua University Press.75-140.

[8] Quanzhen, H.,Quanxi, L, and Zhongwei, C., "System Design and Application of TMS320C54X Based FIR Wave Filter,"Journal of Henan University of Science and Technology (natural Science), 27(2).314-318. 2008

[9] Ifeachor, E. C. and Jervis, B. W.,*Digital Signal Processing a Practical Approach*, New Delhi: Pearson Education, 2004.

[10] Xu, Z., "Design of Real-time Image Processing System Based on SOPC," Electro-Optic Technology Application, 26(2010) 4-7.

[11] Terasic, "TRDB-D5M Terasic D5M Hardware Specification", April 2008.

[12] Altera, "DE1 Education and Development Board User Manual", Version 1.4,2006.

[13] L. R. Rabiner "Linear programming design of finite impulse response (FIR) digital filters", *IEEE Trans. Audio Electroacoust.*, vol. AU-20, pp.280 -288 1972.

[14] S.-S. Jeng, H. C. Lin, and S. M. Chang, "FPGA implementation of FIR filter using M-bit parallel distributed arithmetic, " in Proc. IEEE Int. Symp. Circuits Systems (ISCAS), May 2006, p. 4

A New Approach for Kinematics-based Design of 3-RRRDeltaRobotswith a Specified Workspace

Mostafa Mahmoodi
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran
Khalil Alipour
Department of Mechatronics Engineering, Faculty of New Sciences and Technologies,University of Tehran, Tehran, Iran
Mahmood Ghafouri Tabrizi
Department of Mechatronics Engineering,Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

***Abstract*—One of the most significant issues in design of the parallel robots is to determine proper kinematic parametersleading to a desired workspace.The aim of this research is to propose a new approach for kinematics-based design of 3-RRR Delta robotsconsidering a specified workspace. To this end, a new concept, called the Maximum Surrounded Workspace (MSW),will be presented, which is the basis of the new design methodology utilized in this paper. Additionally, the kinematic parameters of some of the prominent industrial 3-RRR Delta robots and their relationships have carefully been examined which are then will be employed in the proposed design procedure. The obtained real-world results ofusing the proposed approach for designing a 3-RRR Delta robot sample,revealnot only the properperformance of the suggested method, but also its simplicity and efficiency.**

Keywords—Kinematics; Workspace; Manipulator Design; Delta robot;

INTRODUCTION

In recent years, a considerable amount of research has been focused on the design and development of parallel manipulators (PMs) due to their advantages over serial manipulators in terms of high precision, velocity, stiffness and payload capacity.These advantages encourage their wide range of exploitationsinindustrial applications, flight simulators and milling machines, etc. However, one of the major drawbacks of PMs is theirlimited workspace[1].A parallelrobot typically is a closed-loop kinematic chain mechanism whose end-effector is linked to the fixed base by some independent kinematic chains[2].In PMs' family, different types of architectures have been suggested for relevant applications[3].Clavel's3-RRR Delta robot is one of the most famous parallel platforms with high acceleration [4], [5] whose pluses resulted into its vast industrial employment. This robot, see Fig. 1, with three translational DOF has a wide range of applicationsas diverse aspackaging industry, production lines,medical and pharmaceutical industry, etc.

One ofthe most notable issues in the process of design of parallel robots is their workspace. In the literature, different methods to determinethe workspace of a parallel robot have been suggested using geometricaland/or algebraic approachesproviding results numerically or analytically [1], [6], [7], [8], [9].The first investigations of robot workspace were reported in [6] and [7]. Most of the numerical techniques to determineworkspace of PMs are based on the discretization of the pose parameters in order to determine the workspace boundary [8], [9]. With discretization method, the inverse kinematics are solved for each potential pose of the end-effector, and the designer verifies that all the constraints are satisfied.Moreover, some studies proposed optimization techniques to determine workspace.

Although deriving the workspace of a parallel robot is a hard problem, the design of a parallel robot for a given workspace is, however, more challenging. Therefore, any algorithmic technique to solve this topic is welcome, see[10], [11], [12] and [13].A GA-based method hasbeen proposed in [14] tooptimal dimensional synthesis of the Delta parallel robotswith a prescribed workspace. In [15] an approach to design of Delta robotsfor a desired workspace is suggested considering swing range of spherical joints. However, the proposed method is provided for 3-PPP Delta robot architecture.Analysis of a 3-RRR Deltarobot kinematic response, has been accomplished [16], in an attempt to reach the desired workspacethroughvariations of robot parameters and swing range of ball-joints.

In the most common industrial applications of Delta robot such as pick-and place for assembly and material handling, the desired workspace is a right circular cylinder with a specified heightand base radius. In this paper, a novel geometrical approach for kinematics-based design of 3-RRR Delta robot for a given cylindrical workspace is presented. Toward this goal, the geometric representation of the desired workspace for a 3-RRR Delta robot is discussed and a new concept, called the Maximum Surrounded Workspace (MSW)isproposed. The geometric parameters of the MSW is derived and the surrounded radius of the reachable workspace section is determined. Furthermore, a statistical analysis for some well-knownindustrial 3-RRR Delta robots is providedto explore therelationships exist between their design parameters. The

obtained relationships is then exploited in the proposed design methodology.

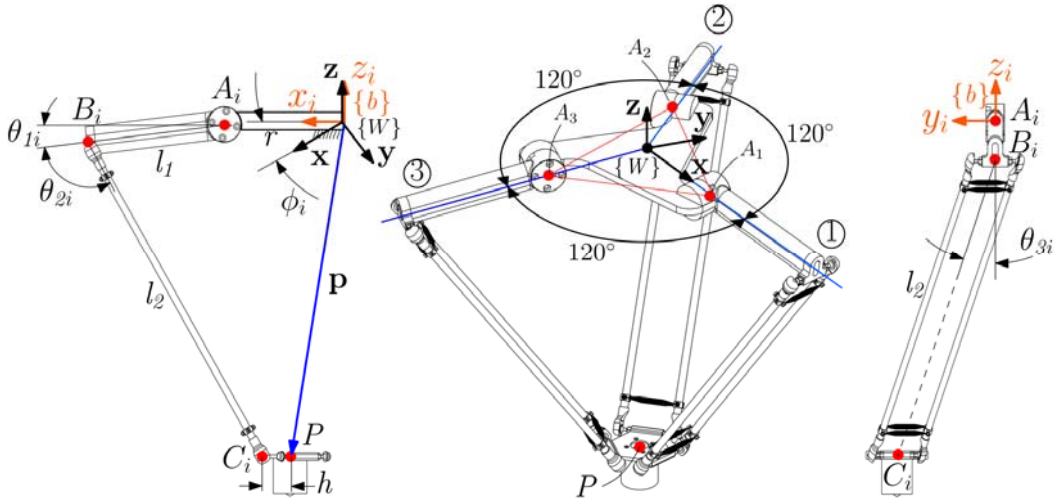


Fig.1. Scheme of geometric parameters of the3-RRR Delta robot

The remainder of this paper is organized as follows. After the above introduction, kinematic analysis of 3-RRR Delta robots will be discussed in Sec. II. The workspace analysis of the mentioned platform will then be introduced and the concept of the MSW will be proposed in Sec. III. Next, the design procedure of the robot with a desired workspace will be explained. After that, in order to illustrate the performance of the suggested approach, a real case study will be presentedin Sec. IV. Finally, the paper ends with some concluding remarks.

KINEMATIC ANALYSIS OF 3-RRR DELTA ROBOT

A Delta robot is a type of parallel robot which consists of a moving platform connected to a fixed base through three parallel kinematic chains. Each chain contains a rotativejoint actuated by rotational motors which are mounted in the base platform. Movements are transmitted to the moving end-effector platform through parallelograms formed by bars and spherical joints, as shown in Fig. 1.

Here, for convenience, the forward and inverse kinematics problems is briefly introduced.As it can be showed in Fig. 1, is the fixed world coordinate system located at the center of the regular triangle $A_1A_2A_3$ and {b} is the body coordinate system. Note that, all three chain of the Delta robot are identical in length. The geometric parameters of the robot are l_1, l_2, r, h and $\phi_i (i = 1,2,3)$ which are represented in Fig. 1. In addition, , $\theta_{2i} (i = 1,2,3)$, arethe joint angles that define the configuration of each chain.

Suppose that is a center point of the end-effector, then the position vector in frame can be written as follows:

$$ {}^{b}\mathbf{p} = \begin{Bmatrix} (r - h + l_1\cos\theta_{1i} + l_2\cos\theta_{2i}\cos(\theta_{1i} + \theta_{2i}))\cos\phi_i \\ (r - h + l_1\cos\theta_{1i} + l_2\cos\theta_{2i}\cos(\theta_{1i} + \theta_{2i}))\sin\phi_i \\ -l_1\sin\theta_{1i} - l_2\cos\theta_{2i}\sin(\theta_{1i} + \theta_{2i}) \end{Bmatrix}, i = 1,2,3 \quad (1) $$

Additionally, the position vector of in the world coordinate system, , can be represented as follows:

$$ {}^{w}\mathbf{p} = {}^{w}_{b}\mathbf{R}(\phi_i)\,{}^{b}\mathbf{p} = (X_P \quad Y_P \quad Z_P)^T \quad , i = 1,2,3 \quad (2) $$

where is the orthonormal rotational matrix from frame to . According to Eq. (2), by some mathematical manipulations to eliminatethe passive joint variables such as and , the constraint equation of each kinematic chain can be written as follows:

$$ (X_P^2 - X_i^2) + (Y_P^2 - Y_i^2) + (Z_P^2 - Z_i^2) = l_2^2 \quad , i = 1,2,3 \quad (3) $$

where

$$ \begin{cases} X_i = (r - h + l_1\cos\theta_{1i})\cos\phi_i \\ Y_i = (r - h + l_1\cos\theta_{1i})\sin\phi_i \\ Z_i = -l_1\sin\theta_{1i} \end{cases} , i = 1,2,3 \quad (4) $$

The Eq. (3) represents three spheres centered at (X_i, Y_i, Z_i) with same radius, . The intersection of these spheres is a point which defined the solution of this system of equations.These three constraint equations yield the kinematics equations for the 3-RRRDelta robot.

Forward Kinematics Problem

Forward kinematics (FK)refers to the use of the kinematics equations of a robot to compute the position of the end-effector from specified values for the joint parameters.The FK solution for parallel robots is generallyhard. It requires the solution of multiple coupled nonlinear algebraic equations which has been derived previously (Eq. (3)). In general, there are two valid solutions, which means that, for specified joint angles, the movingplatform can have two possible configurations with respect to the fixed base. For more details see[17].

Inverse Kinematics Problem

Inverse kinematics (IK) refers to the use of the kinematics equations of a robot to determine the joint parameters that provide a desired position of the end-effector.

Eq. (3) can be expressed as a function ofjoint space variable as follows:

$$D_i \sin\theta_{ai} + E_i \cos\theta_{ai} + F_i = 0 \tag{5}$$

where

$$\begin{cases} D_i = 2l_1 Z_P \\ E_i = 2(r-h)l_1 - 2l_1 X_P \cos\phi_i - 2l_1 Y_P \sin\phi_i \\ F_i = (r-h)^2 - 2(r-h)X_P \cos\phi_i - 2(r-h)Y_P \sin\phi_i \\ \quad + l_1^2 - l_2^2 + X_P^2 + Y_P^2 + Z_P^2 \end{cases} \tag{6}$$

The above equation is readilysolved using the tangent half-angle substitution. Then we have:

$$\theta_{ai} = 2\tan^{-1}\left(\frac{-D_i \pm \sqrt{D_i^2 + E_i^2 - F_i^2}}{F_i - E_i}\right) \tag{7}$$

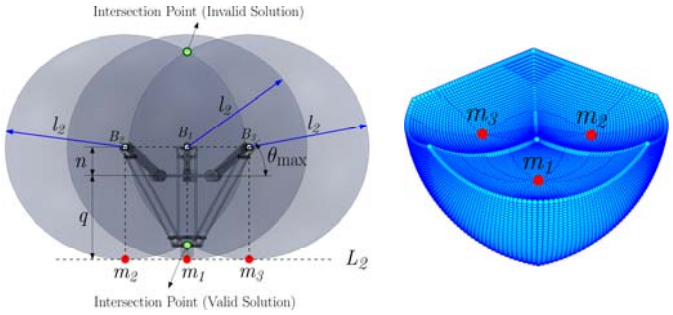


Figure 2. Scheme of the workspace of the 3-RRR Delta robot

from which one can see that there are eight IK solutions for agiven position of the moving platform. For our robot the valid configuration occurs when the sign "±" in Eq. (7) is " ", i.e., the configuration as depicted in Fig. 2. For more details on the IK model of the Delta robot see [17] and [18].

WORKSPACE ANALYSIS

The workspace of the parallel robot can be defined as areachable region of the point attached to the centerof the moving platform.As it can be observed in Fig. 2, the 3-RRR Delta robot'sworkspace have some irregular protuberances and dentswhich where the robot's configuration is permanently in or near the singular position.To dispel concerns about singularity and alsofacilitate in kinematic-based design of the Delta robot, the notion of *the Maximum Surrounded Workspace*(MSW) is suggested. The geometric parameters and characteristics of the MSW presented in what follows.

The Maximum Surrounded Workspace

As shown in Fig. 3, the MSW is a solid volume obtained by rotating the area around the axis of the robot.As it can be seen in Fig. 3, is the area in -plane(frame) which is enclosed by two lines and and an arc of circle as follows:

$$\begin{cases} L_{a1}: x = 0 \\ L_{a2}: z = -q \\ C_1: (x-e)^2 + (z+n)^2 = l_2^2 \end{cases} \tag{8}$$

where

$$\begin{cases} q - l_2 - l_1 \sin\theta_{max} \geq 0 \\ e = r - h + l_1 \cos\theta_{min} \geq 0 \\ n = l_1 \sin\theta_{min} \geq 0 \end{cases} \tag{9}$$

where and are the positive and negative rotational limits of the active arms' joints, respectively, due to mechanical interferences constraints. As depicted in Fig. 2, the line is the intersection of the -plane and the plane passing through points , and .These points are illustrated in Fig. 2. The surrounded radius of the reachable workspace section can be written as follows (see Fig. 3):

$$r_m = -e + \sqrt{l_2^2 - (z+n)^2} \quad , -n - \sqrt{l_2^2 - e^2} \leq z \leq -q \tag{10}$$

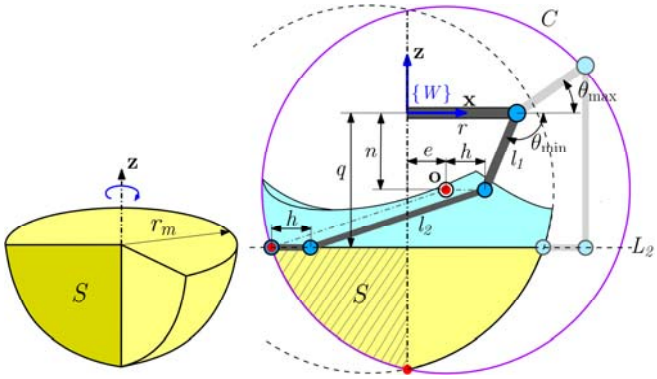


Figure 3. The MAXIMUM SURROUNDED WORKSPACE of the 3-RRR Delta robot

DESIGN OF THE DELTA ROBOT WITH A SPECIFIED WORKSPACE

Formulation of The Suggested Approach

As discussed earlier, the desired workspace is a right circular cylinder with a height and a base of radius which is inscribed in the MSW.In the suggested approach, the geometric parameters of the robot are extracted based on the dimensions of this cylinder. As illustrated in Fig. 4, we define angle to describe relationship between the desired workspace and the MSW as follows:

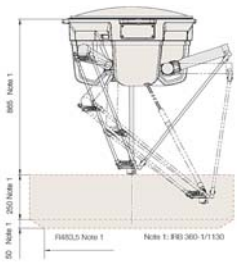
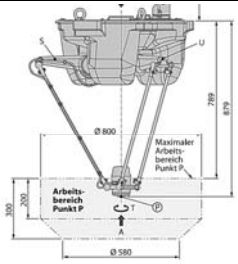
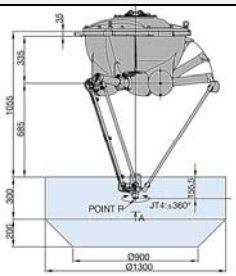
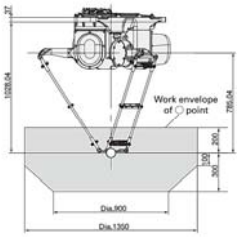
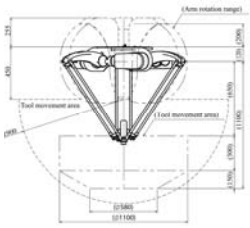
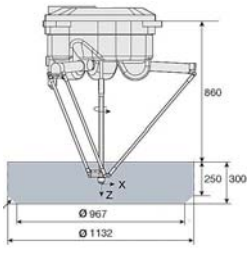
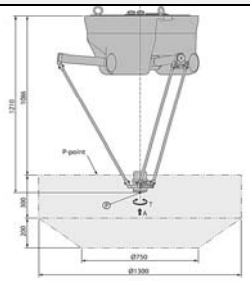
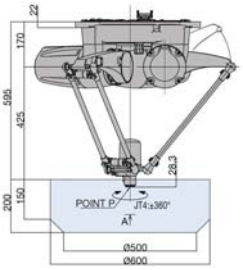
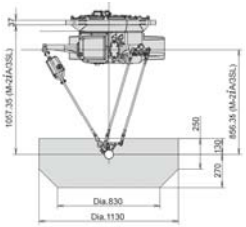
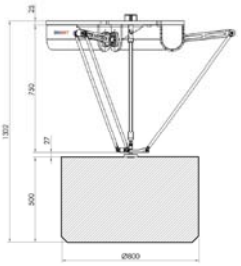
$$\begin{cases} R = l_2 \cos\alpha - q + r \\ R = l_2 \sin\alpha - e \end{cases} , 0 < \alpha < \pi/2 \tag{11}$$

Equation (11) is a linear system with two equations and four variables , , and .To ensure that this system of equations has one solution, another two auxiliary equations have been defined as follows:

$$\begin{cases} K_1 = l_2/l_1 \\ K_2 = r/h \end{cases} \tag{12}$$

and are two significant parameters in the kinematic-based design of the 3-RRR Delta robot. To find the design parameters of the robot, one should solve Eq. (11) and (12) simultaneously which leads to:

TABLE XIII. STATISTICAL ANALYSIS OF SOME PROMINENT INDUSTRAIL 3-RRR DELTA ROBOTS

	ABB-IRB 360/1	**YASKAWA-MPP3S**	**KAWASAKI-YF03N**	**FANUC-M3iA**	**OMRON-R6Y3**
					
K_1[a]	≅2.28	≅2.69	≅2.43	≅2.23	≅2.47
K_2	≅4.41	≅2.14	≅2.73	≅1.81	≅3.6
	ABB-IRB 340 IRC5	**YASKAWA-MPP3**	**KAWASAKI-YS02N**	**FANUC-M2iA/3SL**	**BONMET-BR-2-Delta-R800**
					
K_1	≅2.22	≅2.66	≅2.0	≅2.31	≅2.42
K_2	≅4.33	≅2.28	≅1.98	≅1.91	≅2.6

[b] All values are extracted from datasheets and CAD models of the depicted robots, available in their websites.

$$\begin{cases} l_1 = \dfrac{H}{U + K_1(\cos\alpha - 1)} \\ l_2 = \dfrac{K_2 H}{U + K_2(\cos\alpha - 1)} \\ h = -\dfrac{H\cos\theta_{min} + RU + K_2[R(\cos\alpha - 1) - H\sin\alpha]}{(K_2 - 1)[U + K_2(\cos\alpha - 1)]} \\ r = -\dfrac{K_2[H\cos\theta_{min} + RU + K_2[R(\cos\alpha - 1) - H\sin\alpha]]}{(K_2 - 1)[U + K_2(\cos\alpha - 1)]} \end{cases} \quad (13)$$

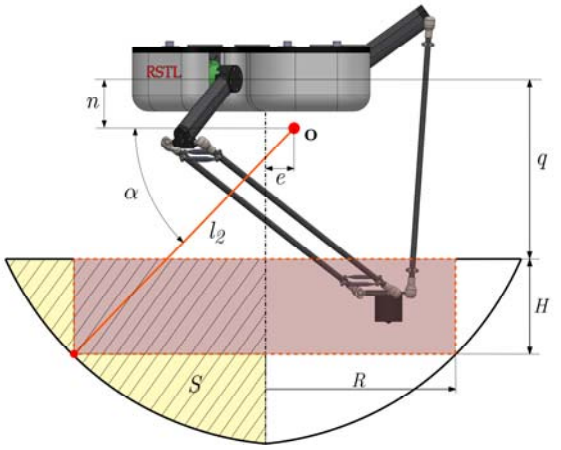


Figure 4. The Specified Workspace Parameters

where

$$V = \sin\theta_{max} + \sin\theta_{min} \quad (14)$$

According to Eq. (11), in Eq. (13) all angles in the interval $0 < \alpha < \pi$ which satisfy $e \geq 0$ are acceptable. As it can be observed in Eq. (13), if the value of is increased, then the geometric parameters , , and increase as well. Therefore, downsizing of the geometric parameters of the robot is obtained by selecting the smallest value of .

In Table 1 a statisticalanalysis for some famous industrial 3-RRR Delta robots has been presented based on and parameters. As it can be seen in Table 1, the interval changes for these parameters are $2 < K_1 <$ and $1.8 < K_2 <$. These intervals will be usedin the suggested design process.

Design Procedure by the Suggested Approach

Figure 5provides the design procedure by the suggested method to determine the geometric parameters of the robot.In order to clarify this approachprocedure, an application example has been presented in what follows.

Practical Design Example

As an application example to indicate advantages of the suggested method in the design of the Delta robot, a cylindrical workspace is given with radius $R = 550$ and height $H = 300$ as a desired workspace. The objective is to calculate the geometric parameters , , and .

Assuming the angle to be , i.e., $\alpha =$. Letting $K_1 = 2$, K3.6, $\theta_{max} =$ and $\theta_{min} =$, the geometric parameters of the robot will be reached from Eq. (13) as follows:

$$\begin{cases} l_1 = 262.56\ mm \\ l_2 = 684.53\ mm \\ h = -95.16\ mm \\ r = -126.58\ mm \end{cases} \quad (15)$$

The obtained results is not satisfied $e \geq$;then we select a new angle, i.e., $\alpha =$ which leads to:

$$\begin{cases} l_1 = 295.13\ mm \\ l_2 = 728.98\ mm \\ h = 0.064\ mm \\ r = 0.231\ mm \end{cases} \quad (16)$$

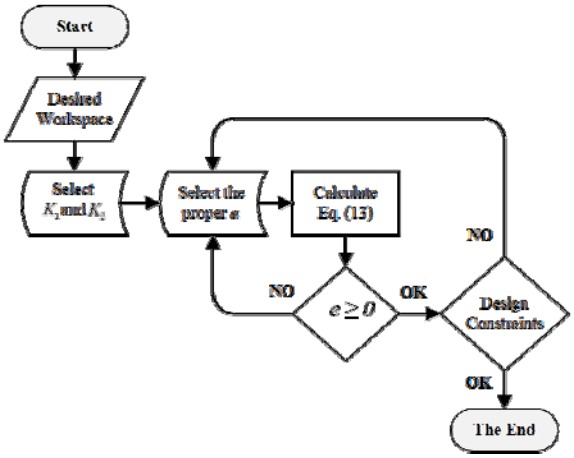


Figure 5. Design Flowchart by the Suggested Approach

The above results are the minimum admissible design parameters for the robot which $e \geq$ is fulfilled. The obtained results show the values of and are too small and these are not suitable for mechanical design by considering mechanical interferences and design constraints. For example, the minimum required base radius is $r = 200$, then by increasing to 5, i.e., $\alpha = 5$ we can reach below values:

$$\begin{cases} l_1 = 349.58\ mm \\ l_2 = 868.84\ mm \\ h = 56.07\ mm \\ r = 201.86\ mm \end{cases} \quad (17)$$

The above obtained values show that the design procedure has been done successfully. The workspace of the designed 3-RRR Delta robot is depicted in Fig. 6. Moreover, Fig. 14 shows theMSW, in which the desired workspace is included completely.

CONCLUSIONS

In the current study, anovel approach for kinematics-based design of the 3-RRR Delta robots with a given workspace was proposed. The foundation of the suggested design method is based on a new suggested concept called the Maximum Surrounded Workspace.Additionally, a statistical analysis for some prominentindustrial 3-RRR Delta robots was presented to findthe relationships exist between their kinematic parameters. The derived relationships were then augmented in the suggested design technique. The obtained results of a practical design example proved the merits of the suggested method in terms of good performance, and facility of the suggested design mannerfor 3-RRR Delta robot.

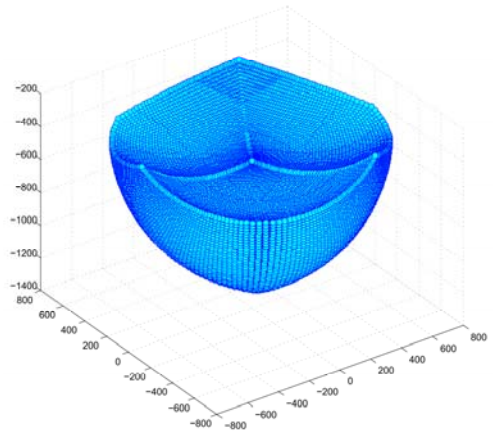


Figure 6. The workspace of the design example

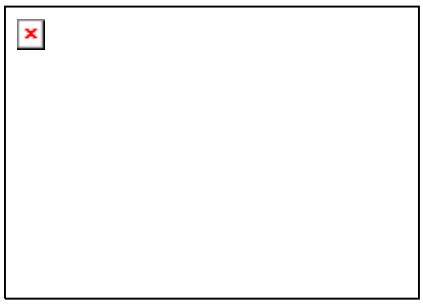


Figure 7. The Maximum Surrounded Workspace of the design example

(1) Acknowledgment

This research is supported by the Robotics and Smart Technology Laboratory (RSTL) inQIAU's Incubator Center of Technology Units.www.rstl.ir

(2) References

[1] M. Z. a Majid, Z. Huang, and Y. L. Yao, "Workspace analysis of a six-degrees of freedom, three-prismatic-prismatic-spheric-revolute parallel manipulator," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 16, pp. 441–449, 2000.

[2] J.-P. Merlet, *Parallel Robots*. Springer Science & Business Media, p. 422, 2006.

[3] F. Gao, W. Li, X. Zhao, Z. Jin, and H. Zhao, "New kinematic structures for 2-, 3-, 4-, and 5-DOF parallel manipulator designs," *Mech. Mach. Theory*, vol. 37, pp. 1395–1411, 2002.

[4] V. Nabat, M. De La O Rodriguez, O. Company, S. Krut, and F. Pierrot, "Par4: Very high speed parallel robot for pick-and-place," *2005 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. IROS*, pp. 1202–1207, 2005.

[5] L. Rey and E. I. Clave, "The Delta Parallel Robot," *Springer-Verlag London*, p. pp 401–417, 1999.

[6] C. Gosselin. "Determination of the workspace of 6-d.o.f. parallel manipulators". *ASME Journal of Mechanical Design*, vol. 112, no. 3, pp. 331–336, 1990.

[7] J. P. Merlet. "Determination of the orientation workspace of parallel manipulators". *Journal of intelligent and robotic systems*, vol. 13, pp. 143–160, 1995.

[8] K. Cleary and T. Arai. "A prototype parallel manipulator: Kinematics, construction, software, workspace results, and singularity analysis". *In Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*, pp. 566–571, Sacramento, California, April 1991.

[9] C. Ferraresi, G. Montacchini, and M. Sorli. "Workspace and dexterity evaluation of 6 d.o.f. spatial mechanisms". *In Proceedings of the ninth World Congress on the theory of Machines and Mechanism*, pp. 57–61, Milan, August 1995.

[10] M. Stock and K. Miller, "Optimal Kinematic Design of Spatial Parallel Manipulators: Application to Linear Delta Robot," *Journal of Mechanical Design*, vol. 125. p. 292, 2003.

[11] F. Hess-Coelho, T.A.; Malvezzi, "Workspace optimization of 3 RSS + CP parallel mechanisms," pp. 1–6, 2007.

[12] A. Kosinska, M. Galicki, and K. Kedzior, "Designing and optimization of parameters of Delta-4 parallel manipulator for a given workspace," *J. Robot. Syst.*, vol. 20, no. 9, pp. 539–548, 2003.

[13] Y. Lou, G. Liu, J. Xu, and Z. Li, "A general approach for optimal kinematic design of parallel manipulators," *IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*

[14] *2004. Proceedings. ICRA '04. 2004*, vol. 4, no. April, pp. 3659–3664, 2004.

[15] M. A. Laribi, L. Romdhane, and S. Zeghloul, "Analysis and dimensional synthesis of the DELTA robot for a prescribed workspace," *Mech. Mach. Theory*, vol. 42, pp. 859–870, 2007.

[16] X. J. Liu, J. Wang, K. K. Oh, and J. Kim, "A new approach to the design of a DELTA robot with a desired workspace," *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.*, vol. 39, pp. 209–225, 2004.

[17] H. J. Cha; J. H. Woo; B. J. Yi; C. Park, "Workspace analysis of the DELTA robot according to robot parameters and ball joints," *Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), 2013 10th International Conference on* , vol., no., pp.587,588, Oct. 30 2013-Nov. 2 2013

[18] F. Pierrot, C. Reynaud, and A. Fournier, "DELTA: a simple and efficient parallel robot," Robotica, Vol. 8, Issue 02, pp. 105-109, 1990.

[19] J. P. Lallemand, A. Goudali and S. Zeghloul (1997). The 6-Dof 2-Delta parallel robot. Robotica, 15, pp 407-416.

معرفی روشی جدید برای بهبود کیفیت تصاویر درموسکوپی به منظور تشخیص غیر تهاجمی سرطان پوست

سید وهاب شجاع الدینی
سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده برق و فناوری اطلاعات

رسول کسب گر حقیقی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکاترونیک

علی واصلی رضایی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی برق، پزشکی و مکاترونیک

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای بهبود کیفیت تصاویر درموسکوپی به منظور تشخیص دقیق تر ضایعات در آنها، ارائه می شود. در روش پیشنهادی این تحقیق تابع تخریب سیستم تصویربرداری با استفاده از تخمین کپستروم تابع تخریب که مبتنی بر تبدیل موجک مستقل از شیفت تخمین زده شده و سپس با الگوریتم دیکانولوشن کور تخمینی از تصویر اصلی حاصل شد. عملکرد روش پیشنهادی بر روی تصاویر درموسکوپی آزموده شده و با استفاده از معیار بیشینه نسبت سیگنال به نویز با برخی از روش های موجود مقایسه می شود. نتایج به دست آمده حاکی از برتری روش پیشنهادی این مقاله نسبت به روش های دیگر خصوصاً درچگالی نویزهای بالا می باشند، به گونه ای که با معیار پیشگفته، برتری فوق نسبت به روش های دیگر حداکثر به ۴.۱۲ دسیبل می رسد.

کلمات کلیدی

تصاویر درموسکوپی، تابع تخریب، کپستروم، دیکانولوشن کور

مقدمه

سرطان پوست از شایع ترین انواع سرطان در جهان است [۱] که اگر چه می‌تواند در همه نقاط بدن به وجود بیاید، اما معمولاً در نقاطی رخ می‌دهد که بیشتر از همه در معرض آفتاب هستند. دراین عارضهسلول‌های جدید وقتی پوست به آنها نیازی ندارد به‌وجود می‌آیند و سلول‌های پیر در زمانی‌که لازم است نمی‌میرند.این سلول‌های اضافه توده‌ای از بافت را تشکیل می‌دهند که به آن ضایعه سرطانی گفته می شود.تشخیص سرطان پوست در مراحل اولیه می تواند به طور چشمگیری از مرگ و میر ناشی از آن جلوگیری نماید.یکی از راههای تشخیص این عارضه، استفاده از بیوپسی است که در آن مقداری از بافت بدن خارج شده و برای بررسی به آزمایشگاه بافت شناسی ارسال می شود. بیوپسی علاوه بر تهاجمی بودن، دردناک، زمانبر و پرهزینه نیز می باشد و نیاز به رضایت بیمار و تخصصپزشک دارد.در سالیان اخیر روشهای تشخیص بر مبنای تکنیکهایاپتیکی،به دلیل غیر تهاجمی بودن مورد استقبال قرار گرفتهاند. یکی از این روش ها درموسکوپی می باشد که در آن از سطح پوست تصویر اخذ می گردد. مشکل مهم این تصاویر این است که معمولاً همراه مقداری نویز بوده و در مواردی نیز دارای مشکل مات شدگی مرزهای نمونه های داخل تصویر می باشند.این موضوع موجب کاهش وضوح تصویر دریافتی شده و تشخیص بیماری را مشکل می سازد [۲]،[۳].

به منظور حل مشکل فوق،بازسازی این تصاویر، حائز اهمیتبودهو الگوریتم هایمختلفیارائه شده اند که تصویر مشاهده شده را اصلاح و تا حد امکان مشابه تصویر اولیهمی نمایند. در این میان آنچه مساله تشخیص مات شدگی را مشکل تر می سازد، اضافه شدن نویز به تصویر است که با توجه به ماهیت تصادفیآن، باعث تغییر تصادفی در ساختار تصویر شده است، تخمین پارامترهای مدل و اصلاح تصویر را دشوار می سازد. تا کنون روش های مختلفیبدین منظور پیشنهاد شده اند که عمدتاً با محدودیتهایی نظیر نسبت سیگنال به نویز نامطلوب، کنتراست پایین و همچنین مات شدگی بیشتر جزئیات تصویر روبه رو بوده اند.

در گروهی از تحقیقات انجام شده روش های مختلفی مبتنی برفیلتر میانه برای حذف نویز و منفذهای کوچک روی پوست [۴]، [۵]، [۶]، [۳]، [۷] و همچنین موهای نازک یا حباب های کوچک هوا (حداقل سازی یا حذف کامل آنها) [۸]، [۹] مورد استفاده قرار گرفته است.یکی از معایباین روش هاآن است که علاوه بر نویز، برخی از جزئیات خوب تصویر را نیز حذف می کنند. روش های دیگری که در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته اند، مبتنی بر فیلتر وینرهستند که

در حوزه فرکانس عمل می کند. در [۱۰] از فیلتر وینر برای حذف نویز و حذف برخی از آرتیفکتهای تصاویر درموسکوپی استفاده شده است. در [۱۱]نشان داده شده است که فیلتر وینر در حوزه فوریه برای ارایه پدیده هایی از قبیل لبه ها، برآمدگی ها، مرزهای تیز تصاویر مناسب نیست.

در دسته دیگری از تحقیقات، از تبدیل موجک به منظور اصلاح تصویر استفاده شده است که توانسته است در بهبود کیفیت این تصاویر عملکرد مطلوبی داشته است. اولینگام های موثر در زمینهٔ حذف نویز در حوزه ویولت توسط دونوهو و جانستون [۱۲] با معرفی مفهوم آستانه گذاری ضرایب موجک برداشته شد، که در این روش ابتدا آستانه ای سراسری، که برای تمام ضرایب ویولت در زیرباندهای سیگنال مقداری واحد در نظر گرفته میشود، محاسبه شده سپس بر روی ضرایب ویولت، عمل آستانه گذاری انجام می شود. تاکنون در تحقیقات مختلفی از الگوریتم موجک برای حذف نویز تصاویر پزشکی و بهبود کیفیت این تصاویر استفاده شده است[۳]، [۱۱]، [۱۳]، [۱۴]، [۱۵].البته روش مزبور، باعث آرتیفکت های دیداری مانند پدیده گیبس در همسایگی ناپیوستگی ها نیز می شود.

در این مقاله روشی جدید برای بهبود کیفیت تصاویر درموسکوپی به منظور تشخیص دقیق تر ضایعات در آنها، ارائه می شود که بر اساس اعمال جداسازی کور بر روی تابع تخریب تخمین زده شده با استفاده از مؤلفه های موجک نابسته به شیفت عمل می نماید.در روش پیشنهادیدر ابتدا،به منظور تخمین تابع تخریب کپستروم تصویر تخریب شده با استفاده از مفهوم موجک مستقل از شیفت تخمین زده می شود. در گام بعدی با استفاده از الگوریتم تکرار شونده دیکانولوشن کور، تابع تخمینی فوق از تصویر تخریب شده جدا شده و حذف نویز انجام می گردد.

ساختار مقاله به صورت زیر است. در بخش ۲، نحوه تخمین تابع تخریب مبتنی بر موجک مستقل از شیفت و جداسازی آن از تصویر آلوده ارائه می شود. در بخش ۳، عملکرد روش پیشنهادی این مقاله روی تصاویر واقعی درموسکوپی آزموده می شود. در بخش۴، نتایج به دست آمده از شبیه سازی ها مورد بررسی قرار گرفته و کارایی روش پیشنهادی با کارایی روش های رقیب با استفاده از معیار بیشینه نسبت سیگنال به نویز مقایسه می شود. بخش پایانی مقاله نیز به نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲- روش پیشنهادی

فرض کنید که $g(x,y)$ تصویر درموسکوپی تخریب شده باشد و با رابطه زیر توصیف می شود:

$$g(x,y)=f(x,y)*h(x,y)+v(x,y) \qquad (۱)$$

که g تصویر تخریب شده، f تصویر اصلی، h تابع تخریب یا PSF و v نویز اضافه شده به تصویر می باشد. به منظور افزایش کیفیت، باید فرایند دیکانولوشن انجام بگیرد و برای انجام این هدف باید تابع تخریب تخمین زده شود.بدین منظور ابتدا با صرفنظر کردن از نویز به منظور ساده شدن محاسبات، معادله (۱) به صورت ساده تری در حوزه فرکانس و به صورت تبدیل فوریه تصویر اصلی و تابع تخریب، قابل حصول می باشد.

$$G(u,v)=F(u,v)H(u,v) \qquad (۲)$$

که F، H و Gبه ترتیب توابع فوریه تصویر اصلی، تابع تخریب و تصویر تخریب شده می باشند.سپس لگاریتم،به دو طرف معادله (۲) اضافه می شود:

$$log|G(u,v)|=\log|F(u,v)|+log|H(u,v)| \qquad (۳)$$

در نهایت،عکس تبدیل فوریه معادله (۳) رابطه زیر را به دست می دهد:

$$C_g(x,y)=C_f(x,y)+C_h(x,y) \qquad (۴)$$

که در رابطه اخیر C_g، C_f، C_h، به ترتیب، کپستروم تصویر تخریب شده، کپستروم تصویر اصلی و کپستروم تابع تخریب می باشند. پایهٔ نظریه های مرتبط با روش های مبتنی بر کپستروم و تخمین طیف تابع تخریب بر این اساس می باشد که معمولاً کپستروم تابع تخریب، تابع هموارتری نسبت به کپستروم تصویر اصلی می باشد.مشخصه مولفه تابع تخریب یک تصویر، معمولاً با تغییرات مکانی کُند تعیین می شود، در حالی که مولفه تصویر اصلی تمایل به تغییر سریع، به ویژه در محل برخورد اشیا ناهمگون دارد. این مشخصه ها موجب می شوند که فرکانس های پایین تبدیل فوریه لگاریتم یک تصویر را به تابع تخریب، و فرکانسهای بالا را به تصویر اصلی نسبت دهیم.

در این مقاله، از موجک نامتغیر با زمان برای تخمین این مؤلفهاستفاده شده است. کپستروم تصویر تخریب شده C_g را در نظر بگیرید کهآن را می توان به صورت افقی، عمودی یا هر دو شیفت داد. بر این اساس، یک فرایند شیفت دهی موسوم به CycleSpinning که کپستروم را به صورت های افقی و عمودی توسط پارامتر zدر

راستای قطری شیفت می دهد، انتخاب شده است. استفاده از الگوریتم مربوطهبا هدف تخمین کپستروم تابع تخریب، به صورت شکل ۱بیان می شود.

$\hat{f}$:Estimation of original image
D_z : Circular shift operator
T_λ :Universal thresholding operator
s : matrix of zeros the size of the image
$N = 8$, Create a grid of 8 shifts in both the x and y direction. This results in a total of 64 shifts.
Use cycle spinning denoising.

$$u^{(z)} = D_z\,(C_g)$$
$$U^{(z)} = DWT\ (u^{(z)})$$
$$\hat{X}^{(z)} = T_\lambda(U^{(z)})$$
$$\hat{x}^{(z)} = IDWT\,(\hat{X}^{(z)})$$
$$\hat{x} = D_{-z}\,(\hat{x}^{(z)})$$
$$s = s + \hat{x}$$
$$C_h = \frac{s}{K}$$

End for

شکل ۱شبه کد الگوریتم تخمین تابع تخریب مبتنی بر موجک مستقل از شیفت

تابع تخریب تخمین زده شده فوق در حوزه کپستروم را می توان با استفاده از معادله (۵) به حوزه زمان انتقال داد:

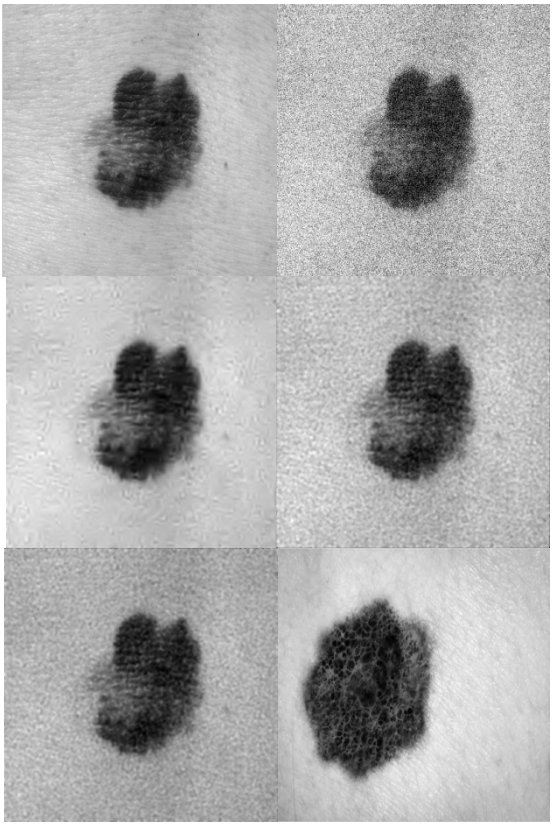
$$\hat{h}(x,y) = \mathrm{F}^{-1}[\exp[\ \mathrm{F}\ [C_h(x,y)]]\ ] \qquad (۵)$$

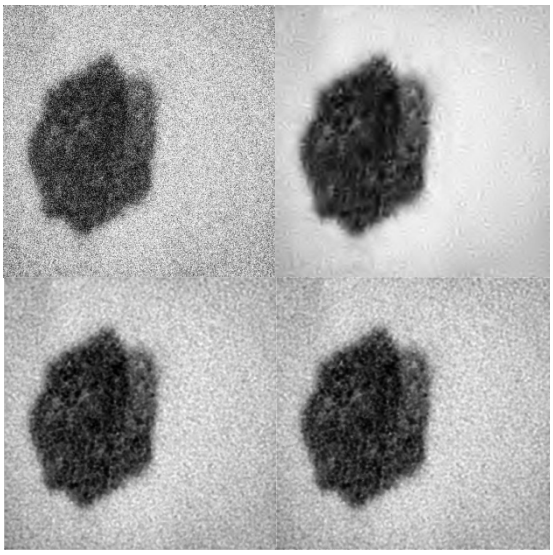
اکنون باید PSFتخمین زده شده را از تصویر تخریب شده با استفاده از دیکانولوشن کور جدا کرد تا تخمینی از تصویر اصلی به دست آید. بدین منظور با استفاده از الگوریتم تکرار شونده دیکانولوشن کور [۱۶] مبتنی بر تبدیل فوریه سریعتخمین تصویر اصلی بر اساس تابع حاصل از روش پیشنهادی حاصل می شود.

۳- آزمون

روش پیشنهادی بر روی تصاویر درموسکوپی از ضایعه های سرطانی پوست انسان اعمال شده است. لازم به ذکر است که کلیه شبیه سازی ها با استفاده از نرم افزارMatlab 2013 صورت گرفته است. تصاویر شبیه سازی شده از [۱۷]، [۱۸] برگرفته شده اند.به همراه روش پیشنهادی، دو روش بهبود کیفیت تصویر، هومومورفیک میانه و هومومورفیک وینر [۱۹]، [۲۰]، از میان تکنیک های موجود، پیاده سازی وآزموده شدند.آزمون ها در بازه های مختلف از نویز گوسین و با مات شدگی تا محدوده ۱۵ پیکسل فیلتر متوسط گیر دورانی مورد بررسی قرار گرفته اند.

شکل ۲ برخی نتایج حاصل شده از این آزمون ها را نشان می دهد. تصویر اصلی توسط فیلتر متوسط گیر دایروی تا محدوده ۱۵ پیکسل و با نویز گوسین به ترتیب با واریانس های ۰.۰۵ و ۰.۰۹ در شکل های ب، ه مات و نویزی شده است. شکل های ج، د، ر و همچنین ز، ح، ط به ترتیب نتیجه اعمال الگوریتم پیشنهادی، هومومورفیک میانه و هومومورفیک وینر را نشان می دهند.روش های هومومورفیک وینر و هومومورفیک میانه در حذف نویز نسبت به روش پیشنهادی بسیار ضعیف تر عمل کرده اند و تصاویر حاصله از آنها به دلیل عدم توانایی در پاکسازی نویز دارای کیفیت پائینتری می باشد و به همین دلیل جزئیات ضایعه سرطانی به سختی قابل مشاهده است. در تصویر مربوط به روش پیشنهادی نسبت به روش های دیگر علاوه بر اینکهنویز به خوبی حذف شده، آرتیفکتهای کمتری در آن دیده می شود، همچنین دارای لبه های تیزتری نیز می باشد وجزئیات ضایعه ملانوما در آن وضوح بهتری دارد.





شکل ۲از بالا چپ به راست :الف) تصویر اصلی ب) تصویر مات شده تا محدوده ۱۵ پیکسل و آلوده شده به نویز گوسین با واریانس ۰.۰۵ ج)تصویر بازسازی شده با الگوریتم پیشنهادی د)تصویر بازسازی شده با الگوریتم هوموورفیک میانه ر) تصویر بازسازی شده با الگوریتم هوموورفیک وینرو) تصویر اصلی ه) تصویر مات شده تا محدوده ۱۵ پیکسل و آلوده شده به نویز گوسین با واریانس ۰.۰۹ ز)تصویر بازسازی شده با الگوریتم پیشنهادی ح)تصویر بازسازی شده با الگوریتم هوموورفیک میانه ط) تصویر بازسازی شده با الگوریتم هوموورفیک وینر

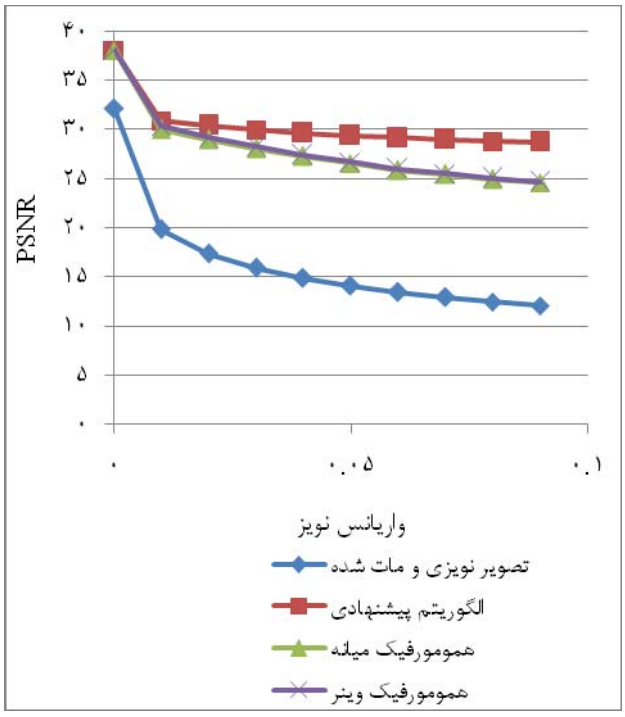
۴- تفسیر

دو روش به همراه روش پیشنهادی شبیه سازی و مقایسه شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که روش پیشنهادی این مقاله بهبود قابل توجهی نسبت به روشهای دیگر از خود نشان می دهد. مقایسه عملکرد این روشها با استفاده از معیار بیشینه نسبت سیگنال به نویز صورت پذیرفت. روابط ریاضی این معیار به صورت زیر می باشد:

$$PSNR = 10.log_{10}\left(\frac{MAX_f^2}{MSE}\right) = 20.log_{10}\left(\frac{MAX_f}{\sqrt{MSE}}\right) \quad (۶)$$

$$MSE = \frac{1}{mn}\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}\left[f(i,j) - \hat{f}(i,j)\right]^2 \quad (۷)$$

که MAX_f حداکثر مقدار ممکن پیکسل برای تصویر می باشد. به همراه روش پیشنهادی روش های بهبود کیفیت مبتنی بر تلفیق فیلتر هوموورفیک با فیلترینگ میانه و فیلترینگ وینر از میان تکنیک های موجود، پیاده سازی و آزموده شدند.شکل ۳ نمودار تغییرات میانگین مقادیر PSNR برای ۲۵ تصویر درموسکوپی برای روش پیشنهادی و دو روش دیگر، در بازه های مختلف نویز گوسین را نشان می دهد. منحنی های فوق حاکی از آن هستند که روش پیشنهادی، پارامتر فوق را برای تصویر بهبود یافته نسبت به تصویر نویزی حداقل ۱۱.۰۲ و حداکثر ۱۶.۶۵ دسیبل بهبود می دهد.



شکل ۳نمودار تغییرات میانگین مقادیر PSNR الگوریتم پیشنهادی با روشهای دیگر برای ۲۵ تصویر درموسکوپی

مقایسه میان نتایج این روش ها نشان می دهد که پارامتر PSNR در روش پیشنهادی از روش هوموورفیک میانه حداقل به میزان ۰.۸۴ و حداکثر ۴.۱۲ دسیبل و از روش هوموورفیک وینر حداقل به میزان ۰.۵۰ و حداکثر به میزان ۴.۰۳ دسیبل بهتر بوده است.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق بهبود کیفیت تصاویر درموسکوپی، به عنوان یکی از روشهای غیر تهاجمی تشخیص سرطان پوست مورد بررسی قرار گرفت. یکی از مشکلات این تصاویر، وجود نویز و مات شدگی در آن هاست که منجر به از بین رفتن جزئیات موجود در تصاویر فوق شده و تشخیص بیماری را مشکل می سازد. تا کنون روش های مختلفی برای بهبود کیفیت این تصاویر پیشنهاد شده اند که عمدتاً با محدودیتهایی نظیر نسبت سیگنال به نویز نامطلوب، کنتراست پایین و همچنین مات شدگی بیشتر جزییات تصویر روبه رو بوده اند.

در روش پیشنهادی این تحقیق تابع تخریب سیستم تصویربرداری با استفاده از تخمین کپستروم تابع تخریب که مبتنی بر تبدیل موجک

مستقل از شیفت تخمین زده شده و سپس با الگوریتم دیکانولوشن کور تخمینی از تصویر اصلی حاصل شد.

برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، تصاویر درموسکوپی شامل پوست سالم و پوست دارای ضایعاتی مانند ملانوم، کارسینوم سلولهای بازال و سنگفرشی مورد آزمایش قرار گرفتند. تصاویر فوق، آلوده به نویز گوسین با واریانس در محدوده ۰.۰۱ تا ۰.۰۹ بوده و با استفاده از فیلتر متوسط گیر دایروی تا محدوده ۱۵ پیکسل نیز دچار مات شدگی شدند. سپس عملکرد روش پیشنهادی و روش های رقیببه کمک معیار متداول PSNRمقایسه گردید. نتایج حاکی از آن بودند که برتری روش پیشنهادی نسبت بهروش های دیگر درچگالی نویزهای بالا حداقل به ۴.۰۳ و حداکثر به ۴.۱۲ دسیبل می رسد.

مراجع

[1] C. R. UK, "Skin cancer survival statistics." Cancer Research UK, 03-Apr-2014.

[2] M. J. M. Vasconcelos and L. Rosado, "No-reference Blur Assessment of Dermatological Images Acquired via Mobile Devices," in *Image and Signal Processing*, Springer, 2014, pp. 350–357.

[3] A. R. Sadri, M. Zekri, S. Sadri, and N. Gheissari, "Impulse noise cancellation of medical images using wavelet networks and median filters.," *J. Med. Signals Sens.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–37, Jan. 2012.

[4] V. J. Berenguer, D. Ruiz, and A. Soriano, "Application of Hidden Markov Models to melanoma diagnosis," in *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence 2008 (DCAI 2008)*, 2009, pp. 357–365.

[5] A. Chiem, A. Al-Jumaily, and R. N. Khushaba, "A novel hybrid system for skin lesion detection," in *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information, 2007. ISSNIP 2007. 3rd International Conference on*, 2007, pp. 567–572.

[6] D. Ruiz, V. Berenguer, A. Soriano, and B. Sánchez, "A decision support system for the diagnosis of melanoma: A comparative approach," *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 12, pp. 15217–15223, 2011.

[7] A. Khare, M. Khare, Y. Jeong, H. Kim, and M. Jeon, "Despeckling of medical ultrasound images using Daubechies complex wavelet transform," *Signal Processing*, vol. 90, no. 2, pp. 428–439, 2010.

[8] A. P. Dhawan, B. D'Alessandro, S. Patwardhan, and N. Mullani, "Multispectral optical imaging of skin-lesions for detection of malignant melanomas," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE*, 2009, pp. 5352–5355.

[9] E. Zagrouba and W. Barhoumi, "A prelimary approach for the automated recognition of malignant melanoma," *Image Anal. Stereol. J.*, vol. 23, no. 2, pp. 121–135, 2004.

[10] J. Blackledge and D. Dubovitskiy, "Object detection and classification with applications to skin cancer screening," *ISAST Trans. Intell. Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–45, 2008.

[11] S. Wan, B. I. Raju, and M. A. Srinivasan, "Robust deconvolution of high-frequency ultrasound images using higher-order spectral analysis and wavelets," *Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control. IEEE Trans.*, vol. 50, no. 10, pp. 1286–1295, 2003.

[12] R. Boostani and M. H. Moradi, "Evaluation of the forearm EMG signal features for the control of a prosthetic hand," *Physiol. Meas.*, vol. 24, no. 2, p. 309, 2003.

[13] A. Chavan, D. Kamat, and P. Patil, "Classification of skin cancers using image processing," *ijaeeca.com*, vol. 2, no. 2349, pp. 378–384, 2014.

[14] T. Mondal and M. Maitra, "Denoising and Compression of Medical Image in Wavelet 2D," *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun.*, vol. 2, no. 2, pp. 315 – 318, 2014.

[15] K. Sidh, B. Khaira, and I. Virk, "Medical image denoising in the wavelet domain using haar and DB3 filtering," *Int. Ref. J. Eng. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2012.

[16] G. R. Ayers and J. C. Dainty, "Iterative blind deconvolution method and its applications," *Opt. Lett.*, vol. 13, no. 7, pp. 547–549, 1988.

[17] "DermNet NZ. Facts about the skin." [Online]. Available: http://dermnetnz.org/. [Accessed: 27-Aug-2014].

[18] "Dermatology Education | Just another WordPress site." [Online]. Available: http://www.dermnet.com/. [Accessed: 04-Sep-2014].

[19] A. Mohanapreethi and V. SrinivasaRaghavan, "Performance Evaluation of Various Filtering Techniques for Speckle Suppression in Ultrasound Images," *Int. J. Res. Advent Technol. Vol. issue4*, 2014.

[20] A. Achim, A. Bezerianos, and P. Tsakalides, "Wavelet-based ultrasound image denoising using an alpha-stable prior probability model," in *Image Processing, 2001. Proceedings. 2001 International Conference on*, 2001, vol. 2, pp. 221–224.

طراحی کنترلر بهینه برای بهبود پایداری چرخشی خودرو با استفاده از دیفرانسیل فعال

امید حاج فتحعلی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی برق
omidhajfathali@yahoo.com

سید مهدی ابطحی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک
m.abtahi@qiau.ac.ir

چکیده

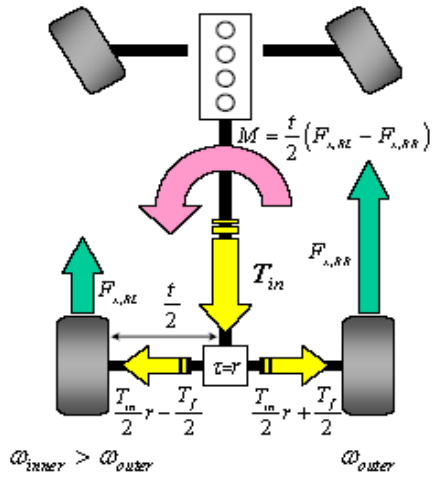
در این مقاله یک سیستم کنترل هوشمند دو لایه جهت کنترل گشتاور چرخشی مستقیم آن از طریق دیفرانسیل فعال جانمایی شده در محورعقب طراحی گردیده است. لایه فوقانی این کنترلر با استفاده از روش کنترلر بهینه مقادیر گشتاور انتقالی در دیفرانسیل عقب و گشتاور چرخشی تولید شده توسط سیستم ترمز چرخ‌های جلو را جهت تعقیب مقادیر مطلوب خودرو، به زیرسیستم‌ها اعلام می‌کند. در لایه دوم با توجه به این دو مقدار، گشتاور انتقالی در دیفرانسیل فعال و تورک ترمزی چرخ‌های جلو به خودرو اعمال می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کنترلر طراحی شده توانایی حفظ پایداری خودرو را در تمامی شرایط حرکتی و جاده دارا می‌باشد.

کلمات کلیدی

دیفرانسیل فعال، سیستم کنترل پایداری، کنترل بهینه

مقدمه

امروزه حجم قابل توجهی از تحقیقات و توسعه‌های ناشی از آن در صنعت خودرو در راستای حفظ پایداری و بهبود فرمان‌پذیری خودرو در شرایط بحرانی صورت می‌گیرد. تا پیش از ظهور سیستم‌های ایمنی فعال، حفظ و کنترل پایداری خودرو برعهده راننده بود و مهارت رانندگی تنها عامل جلوگیری از تصادفات بشمار می‌رفت. با توجه به اینکه بخش عمده نیروهای وارد بر خودرو از طریق تایرها ایجاد می‌شود و نیروی هر تایر حول مرکز جرم خودرو تولید گشتاور چرخشی می‌نماید، بنابراین کنترل گشتاور چرخشی خودرو، رابطه نزدیکی با ایجاد نیروهای طولی و عرضی در تایرها دارد. نیروی طولی در تایرها با اعمال تورک رانشی یا ترمزی و تولید لغزش طولی در تایرها ایجاد می‌گردد، در حالی‌که نیروی عرضی با اعمال زاویه فرمان و ایجاد زاویه لغزش در تایرها تولید می‌گردد. بنابراین برای کنترل گشتاور چرخشی در خودرو می‌توان از طریق ایجاد تورک ترمزی، رانشی و یا زاویه فرمان در هریک از تایرها عمل نمود. این سه روش اساس سیستم‌های کنترل پایداری چرخشی را تشکیل می‌دهند. از جمله سیستم‌های کنترل پایداری با استفاده از نیروی عرضی تایرها، سیستم فرمان فعال خودرو می‌باشد. فرمان فعال زاویه فرمان چرخ‌های جلو، عقب و یا هر دو را با توجه به دینامیک جانبی خودرو و خواست راننده کنترل می‌کند [1]. ترمزگیری نامتقارن به دلیل استفاده از زیر سیستم ترمز ضد قفل و موثر بودن آن در حفظ پایداری خودرو در شرایط بحرانی، موثرترین و متداول‌ترین روش در ایجاد گشتاور چرخشی در خودروها می‌باشد [2]. یکی دیگر از راه‌های تولید گشتاور چرخشی استفاده از سیستم دیفرانسیل فعال می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، اعمال تورک رانشی نامتقارن در چرخ‌های محرک نیز باعث ایجاد گشتاور چرخشی می‌شود. وجود این مکانیزم در هنگام شتاب‌گیری خودرو علاوه بر پایداری سیستم، باعث شتابگیری بیشتر خودرو نیز می‌شود. این نکته مهمترین مزیت دیفرانسیل فعال نسبت به سیستم‌های متداول کنترل پایداری را نشان می‌دهد که با ترمزگیری باعث افت سرعت طولی می‌شوند [3].



شکل(۱) کنترل پایداری خودرو با استفاده از دیفرانسیل فعال [۳]

Tomari و همکاران [4] در سال ۲۰۰۶ چگونگی استفاده هم‌زمان از ترمز و دیفرانسیل فعال برای اعمال نیروی رانشی و ترمزی در خودرو چهارچرخ محرک هوندا را شرح می‌دهند. در این خودرو دیفرانسیل مرکزی از نوع چرخدنده سیاره‌ای و دیفرانسیل عقب از نوع لغزش محدود الکتریکی است.

Rajesh Rajmani و همکاران [5] در سال ۲۰۰۶ برای کنترل دینامیکی خودرو از کوپلینک مرکزی و دیفرانسیل فعال عقب استفاده نموده‌اند. این تحقیق متمرکز بر مدلسازی دیفرانسیل در یک خودرو جلومحرک است که برحسب نیاز به چهارچرخ محرک تبدیل می‌شود. در واقع کنترل گشتاور چرخشی از طریق توزیع نیروی رانشی در هر چرخ انجام می‌پذیرد. کوپلینگ مرکزی و دیفرانسیل عقب که دارای کلاچ‌های الکتریکی هستند، نیروی ترکشن را به هر چرخ منتقل می‌کنند.

Lee [6] در سال ۲۰۰۶ یک سیستم چهار چرخ محرک با استفاده از دیفرانسیل مرکزی لغزش محدود بدون کلاچ CC-LSD، جهت بهبود کنترل نیروی رانشی معرفی نمودند. در این سیستم از یک چرخ‌دنده سیاره‌ای و یک Gerotor جهت تقسیم گشتاور بین محور جلو و عقب خودرو استفاده می‌گردد. از یک کنترلر PI جهت محاسبه ورودی کنترلی که در این سیستم فشار ورودی به پمپ است، استفاده شده است. شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که خودروهای مجهز به سیستم CC-LSD دارای نیروی رانشی بیشتری نسبت به خودروهای عقب محرک می‌باشند.

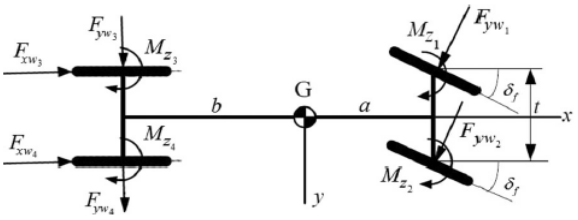
Canale و همکاران [7] در سال ۲۰۰۷، یک کنترل مقاوم برای سیستم کنترل پایداری چرخشی خودرو براساس روش کنترل داخلی موتور (IMC) معرفی نمودند. شبیه‌سازی‌ها با مدل چهارده درجه آزادی خودرو بهبود قابل توجهی را در پایداری خودرو در شرایط خطرناک مانند حرکت در جاده با اصطکاک پایین در خودرو مجهز به این سیستم نشان می‌دهد.

Rubin و همکاران [8] در تحقیقی در سال ۲۰۱۳ به طراحی کنترلر مد لغزشی برای سیستم دیفرانسیل فعال برای کنترل پایداری چرخشی خودرو پرداختند. شبیه‌سازی با نرم افزار CarSim نشان داد که کنترل طراحی شده، پایداری خودرو را در شتاب‌گیری در سر پیچ‌ها افزایش می‌دهد.

در این مقاله، هدف طراحی یک سیستم کنترل هوشمند یکپارچه برای گشتاور چرخشی مستقیم ناشی از دیفرانسیل فعال در چرخ‌های عقب و ترمزگیری در چرخ‌های جلو می‌باشد به‌طوری‌که این کنترلر بتواند مقادیر مطلوب سرعت زاویه‌ای چرخشی و زاویه لغزش جانبی خودرو را تعقیب نماید و در ضمن با برطرف نمودن ضعف‌های ناشی از دو سیستم کنترل فرمان فعال و گشتاور چرخشی مستقیم، عملکرد آنها و در نتیجه پایداری و فرمان‌پذیری خودرو را بهبود بخشد. سیستم کنترل یکپارچه که با استفاده از روش کنترل بهینه طراحی می‌گردد، با استفاده از سرعت زاویه‌ای چرخشی و زاویه لغزش جانبی واقعی و مطلوب خودرو به عنوان ورودی کنترلر، گشتاور انتقالی دیفرانسیل عقب و گشتاور ترمزی چرخ‌های جلو را برای تعقیب مقادیر مطلوب تعیین می‌کند. در واقع خودرو عقب‌محرک است و ترمزگیری اختلافی فقط در چرخ‌های جلو صورت می‌پذیرد. گشتاور رانشی چرخ‌های عقب با توجه به تورک موتور و تورک انتقالی در دیفرانسیل تعیین می‌شود. در واقع کلاچ نصب شده در دیفرانسیل امکان انتقال تمام تورک موتور را به چرخ چپ و یا راست میسر می‌سازد. در انتها کارایی کنترلر طراحی شده در تعقیب مقادیر مطلوب سرعت زاویه‌ای چرخشی مورد بررسی قرار می‌گیرد و در پایان، جمع بندی و نتیجه بدست آمده در این مقاله ارائه می‌گردد.

مدل‌سازی خودرو

جهت مدل سازی خودرو از یک مدل دینامیکی با ۹ درجه آزادی استفاده شده است. این مدل دارای درجات آزادی شامل: سرعت طولی خودرو، سرعت عرضی خودرو، سرعت دورانی چرخشی، زاویه رول بدنه، چهار درجه آزادی مربوط به سرعت دورانی هر چرخ و یک درجه آزادی سیستم فرمان می‌باشد. شکل (۱) شماتیک کلی خودرو را نشان می دهد. معادلات حرکت خودرو در مرجع [9] به تفصیل آورده شده است.



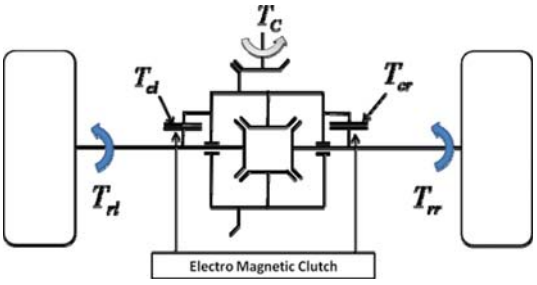
شکل (۲): مدل نه درجه آزادی خودرو

مدل‌سازی تایر

برای مدل سازی تایر از مدل غیرخطی فرمول جادویی با در نظر گرفتن لغزش ترکیبی که از بهترین مدل‌های غیرخطی برای مدل‌سازی تایر است با شرح جزئیات آن در مرجع [10] استفاده شده است. علت بکارگیری مدل ترکیبی اعمال محدودیت تولید نیروی تایر در هنگامی است که نیروهای طولی و جانبی تایر به طور هم‌زمان تولید می‌گردد.

مدل‌سازی دیفرانسیل

دیفرانسیل بکار رفته در این تحقیق یک دیفرانسیل معمولی به اضافه دو کلاچ خشک الکترومغناطیسی است. استفاده از این کلاچها دیفرانسیل را قادر می‌سازد که تورک هر محور را به طور مستقل تحت کنترل قرار دهد. شماتیک این سیستم در شکل (۲) دیده می‌شود. در این تحقیق اطلاعات مربوط به تورک-دور یک موتور بنزینی در کل حوزه کاری آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این اطلاعات بصورت منحنی های تورک در دریچه های مختلف در دست است.



شکل (۳): طرح شماتیک دیفرانسیل فعال

با توجه به شکل بالا، گشتاور وارد بر چرخ‌های عقب و گشتاور انتقالی بین دو چرخ را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$T_{rr} = \frac{T_c - T_{cl} + T_{cr}}{2} \qquad (۱)$$

$$T_{rl} = \frac{T_c + T_{cl} - T_{cr}}{2} \qquad (۲)$$

$$T_{diff} = T_{cl} - T_{cr} \qquad (۳)$$

طراحی کنترلر

برای طراحی کنترلر از مدل چهار درجه آزادی خطی استفاده شده است. درجه‌های آزادی مدل مورد استفاده عبارتند از: سرعت عرضی خودرو، سرعت دورانی چرخشی، دو درجه آزادی مربوط به سرعت دورانی چرخ‌های. ورودی کنترلی سیستم نیز گشتاور انتقالی دیفرانسیل فعال T_{diff} و گشتاور چرخشی مستقیم ناشی از ترمزگیری اختلافی M_{zb} می‌باشد. معادلات فضای حالت سیستم نیز به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$[\mathbf{M}]_{4\times4}[\dot{\mathbf{X}}]_{4\times1} = [\mathbf{A}]_{4\times4}[\mathbf{X}]_{4\times1} + [\mathbf{B}]_{4\times2}[\mathbf{U}]_{2\times1} \qquad (۴)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{U} = \begin{bmatrix} T_{diff} \\ M_{zb} \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} v & r & \omega_{rl} & \omega_{rr} \end{bmatrix}^T$$

کنترلر از نوع دو لایه‌ای است که لایه فوقانی با استفاده از تکنیک کنترلر بهینه مقادیر تورک کلاچ‌گیری دیفرانسیل عقب و گشتاور چرخشی تولید شده توسط سیستم ترمز چرخ‌های جلو را جهت تعقیب رفتار دینامیکی مطلوب خودرو، به زیرسیستم‌ها اعلام می‌کند. هدف کنترلر لایه اول انطباق حداکثری رفتار خودروی واقعی بر رفتار مطلوب می‌باشد. این مقصود از طریق کمینه کردن مقدار انتگرال زیر (اندیس عملکرد) که همان شکل ریاضی نمایش معیار سنجش دینامیک جانبی می باشد میسر می‌گردد:

(۵)

$$J = \frac{1}{2}\int_0^\infty \left((r - r_d)^2 + w_1 v^2 + w_2 T_{diff}{}^2 + w_3 M_{zb}{}^2 \right) dt$$

مقادیر مطلوب متغیرها پاسخ حالت پایای مدل ۲ درجه آزادی خودرو است. در لایه دوم با توجه به این دو مقدار ارسال شده، نیروی کلاچ‌گیری در دیفرانسیل فعال و تورک ترمزی چرخ‌های جلو به خودرو اعمال می‌شود.

شبیه‌سازی

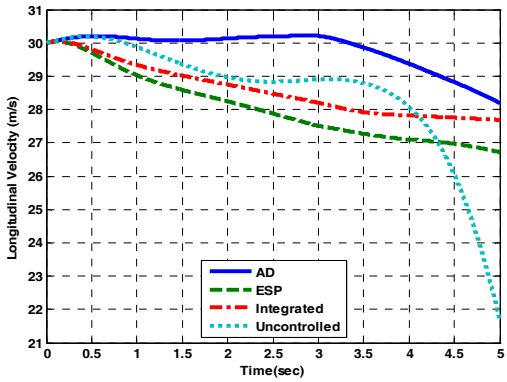
در این قسمت، شبیه‌سازی حرکت خودرو در حالت‌های بدون کنترلر، با کنترلر یکپارچه و کنترلرهای دیفرانسیل فعال (AD) و ترمزگیری اختلافی (ESP) بصورت مجزا، با سرعت طولی اولیه ۳۰ متر بر ثانیه و زاویه فرمان ثابت ۳۰ درجه انجام شده است. ۳ ثانیه بعد از شروع

شبیه‌سازی، خودرو بصورت ناگهانی از روی جاده خشک با ضریب اصطکاک $\mu = 0.9$ وارد جاده لغزنده با ضریب اصطکاک $\mu = 0.2$ می‌گردد که نتایج این شبیه‌سازی در شکل‌های (۴) تا (۷) نشان داده شده‌اند.

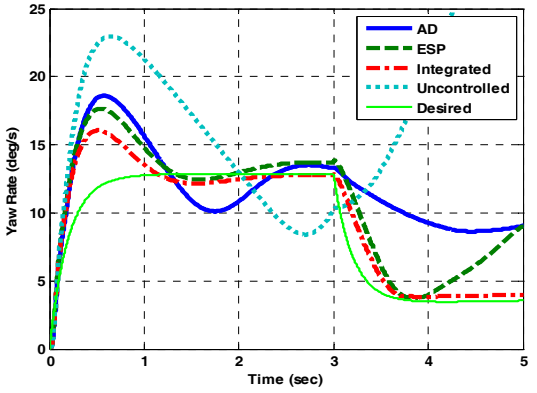
جدول۱: اطلاعات خودرو مورد استفاده در شبیه سازی

فاصله دو محور خودرو	L =2.5 (m)
فاصله محور جلو تا مرکز ثقل	L_f =1.2 (m)
فاصله محور عقب تا مرکز ثقل	L_r =1.3 (m)
سختی تایر جلو و عقب	C_{af} , C_{ar} =45000 (N/rad)
جرم خودرو	M =1300 (kg)
ممان اینرسی حول محور z	I_z =2500 (kg m2)

همان‌طور که در شکل (۵) ملاحظه می شود در خودرو فاقد کنترل به علت بالا رفتن لغزش طولی، سرعت افت پیدا کرده است. در حالی‌که در حالت کنترلر AD همچنان خودرو در حال شتاب‌گیری است. کنترلر ESP و یک‌پارچه به علت ترمزگیری روی چرخ‌های جلو باعث کاهش سرعت طولی شده‌اند.



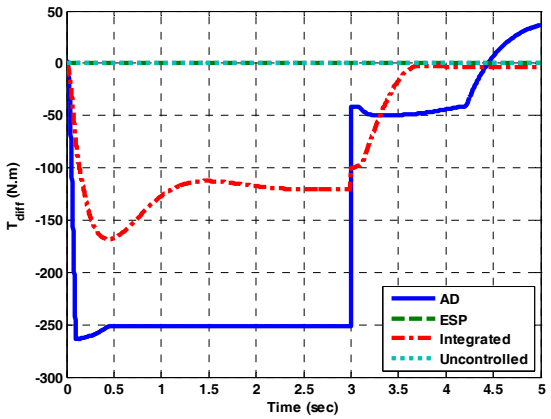
شکل(۴) سرعت طولی در مانور ورود ناگهانی به جاده کم اصطکاک



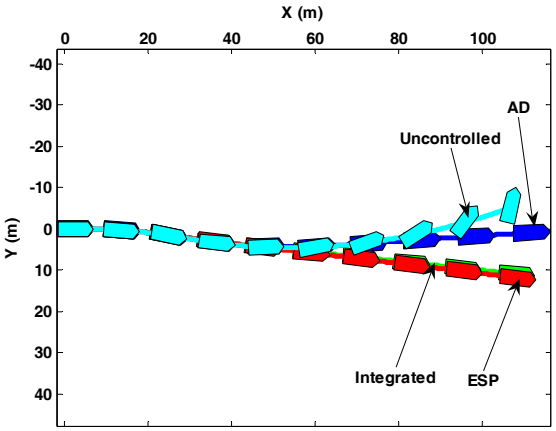
شکل(۵) سرعت زاویه‌ای چرخشی

با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌گردد که خودروی بدون کنترلر بعد از ورود ناگهانی به جاده کم اصطکاک، به دلیل اشباع شدن نیروی‌های عرضی تایر، ناپایدار می‌گردد و زاویه لغزش جانبی و سرعت زاویه‌ای چرخشی آن به سرعت افزایش می‌یابد در حالی‌که در خودروی با کنترلر یکپارچه، سرعت زاویه‌ای چرخشی و زاویه لغزش جانبی خودرو به مقادیر مطلوب همگرا می‌گردد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود ترمزگیری نسبت به دیفرانسیل فعال مقادیر واقعی خودرو را به مقادیر مطلوب نزدیک‌تر کرده‌است.

شکل (۶) تورک انتقالی دیفرانسیل فعال که منجر به توزیع نامتقارن تورک در چرخ‌های راست و چپ می‌شود را نشان می‌دهد. از آنجا که این تورک وابسته به تورک موتور می‌باشد، لذا نواحی صاف در این منحنی مبین اشباع شدن تورک کلاچ‌گیری می‌باشد.



شکل (۶) تورک انتقالی در دیفرانسیل فعال



شکل(۷) مسیر حرکت خودرو

شکل (۷) مسیر حرکت خودروی با کنترلر یکپارچه و بدون کنترلر را هنگام ورود ناگهانی به جاده لغزنده نشان می‌دهد. همانطورکه در شکل مشاهده می‌شود، خودروی بدون کنترل به علت لغزنده بودن جاده بدرستی قادر به تغییر خط نمی‌باشد و در سیکل دوم تغییر خط به سمت چپ منحرف می‌گردد. کنترلر AD از گردش خودرو به دورخود جلوگیری می‌کند، ولی قادر به اصلاح مسیر نیست در حالی‌که خودروی با کنترلرESP و یکپارچه، تغییر لاین را با کمترین انحراف از مسیر انجام می‌دهند.

نتیجه گیری

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در این تحقیق، نتیجه گرفته می‌شود که سیستم کنترل یکپارچه توانایی حفظ پایداری و تعقیب مقادیر مطلوب سرعت زاویه‌ای چرخشی و زاویه لغزش جانبی خودرو را داراست. با توجه به هزینه بالای سیستم فرمان فعال در خودرو و نقش نامحسوس این سیستم در بهبود رفتار دینامیک عرضی استفاده از این سیستم در عمل غیراقتصادی است. سیستم ESP هرچند قادر به پایدارسازی خودرو است، ولی موجب تخریب دینامیک طولی می شود. در حالیکه دیفرانسیل فعال این نقص را پوشش می‌دهد. علاوه بر این دیفرانسیل فعال تاثیر قابل ملاحظه‌ای در بهبود دینامیک طولی خودرو به خصوص در سرعت‌های بالا داراست. بنابراین استفاده از کنترلر یکپارچه به صورت ترکیب دیفرانسیل فعال و ESP می‌تواند علاوه بر بهبود دینامیک طولی و پایدارسازی خودرو در مانورهای سخت موثر باشد.

مراجع

[1] J. Ackermann, T. Bunte, and D. Odenthal “Advantagesof active steering for vehicle dynamics control,” *in Proceedings of the 32nd International Symposium on Automotive Technology and Automation*, Vienna, Austria, pp. 263-270, 1999.

[2] E. Esmailzadeh, A. Goodarzi, G.R. Vossoughi, “Optimal yaw moment control law for improved vehicle handling,” *Mechatronics*, Vol. 13, pp. 659-675, 2003.

[3] F. Resta, G. Teuschl, M. Zanchetta, and A. Zorzutti, “A new control strategy for a semi-active differential (Part II),” *16th International Federation of Automatic Control (IFAC) World Congress*, Prague, July 3-8 2005.

[4] T. Tomari, A. Mori, Y. Shibahata, “Development of SH-AWD Based on DC (Direct Yaw Control) Concept,” *8th International Symposium on Advanced Vehivle Control (AVEC)*, Taipei, Taiwan, August 20-24, 2006.

[5] R. Rajmani, D. Piyabongkarn, J. Grogg, Q. Yuan, and J. Lew, “Dynamic modeling of torque-biasing devices for vehicle yaw control,” *SAE Word Cingress*, Detroit, MI, USA, SAE paper 2006-01-1963, April 4, 2006.

[6] H. Lee,”Four-wheel drive control system using a clutchless centre limited slip differential”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 220, No. 6, pp. 665-682, 2006.

[7] M. Canale et al, “Robust Vehicle Yaw Control using an Active Differential and IMC techniques”, *Control Engineering Practice*, no.15, pp. 923-941, 2007.

[8] D. Rubin and S. Arogeti, “Vehicle Yaw Stability Control Using Rear Active Differential via Sliding Mode Control Methods”, *In Proc. of 21st Mediterranean Conference on Control & Automation (MED)*, Platanias-Chania, Crete, Greece, pp. 317-322, 2013.

[9] A. Lanzotti, F. Renno, M. Russo, R. Russo, M. Terzo “Design and development of an automotive magnetorheological semi-active differential”, *Mechatronics*, No. 24, pp 426-435, 2014.

[10] H. B. Pacejka, 2002, *Tyre and Vehicle Dynamics*. Oxford, UK: Elsevier, Butterworth-Heinemann

بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل جهت تعین ساختار شبکه عصبی مصنوعی

حسین باقری
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات، قزوین، ایران
h.bagheri7@gmail.com

بهروز معصومی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات، قزوین، ایران
Masoumi@Qiau.ac.ir

چکیده

دسته‌بندی داده‌ها یکی از شاخه‌های مهم داده‌کاوی است و تاکنون روش‌های متفاوتی در این زمینه ارائه شده‌اند. از رایج‌ترین روش‌های موجود در دسته‌بندی داده ها می‌توان شبکه‌های عصبی مصنوعی را نام برد. عملکرد شبکه‌های عصبی به میزان زیادی به پارامترهای ساختار شبکه وابسته است که تعداد نرون‌ها، تعداد لایه‌های مخفی و نحوه اتصال نرون‌ها از جمله پارامترهای آن محسوب می‌شوند. این پارامترها باید چنان تنظیم شوند که بالاترین کارایی را برای سیستم داشته باشند. تاکنون روش‌های متعددی جهت تنظیم ساختار شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده است. از آنجا که تنظیم ساختار و پارامترهای مربوط به آن به یک فرایند بهینه‌سازی ختم می‌شود، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در حل این مسائل بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل، جهت یافتن همزمان مجموعه بهینه وزن‌ها و ساختار شبکه عصبی پیشنهاد شده است . در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل علاوه بر تکنیک‌های بهینه‌سازی از ویژگی‌های سیستم‌های چندعامله برای بهبود عملکرد الگوریتم استفاده شده است. کارایی روش پیشنهادی از طریق آزمایش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه که در راستای دسته‌بندی استفاده می‌شوند، بررسی شده است. نتایج نهایی آزمایشات، نشان از کارایی بهتر این روش نسبت به روش‌های پیشین دارد.

کلمات کلیدی

شبکه عصبی، دسته بندی، بهینه سازی، سیستمهای چند عامله، الگوریتم ازدحام ذرات.

مقدمه

استفاده از شبکه‌های عصبی جهت حل یک مسئله، زمانی می‌تواند مفید واقع شود که شبکه دارای ساختار و وزن‌های مناسبی باشد[۱]. در گذشته معمولا از طریق رویه آزمون و خطا یک ساختار برای شبکه انتخاب کرده و وزن‌های آن را آموزش می‌دادند. از آن جهت که متد آزمون و خطا در یافتن ساختار بهینه روشی نا پایدار و تصادفی بوده و با توجه به این که تعیین ساختار مناسب برای شبکه عصبی یک فرایند بهینه‌سازی می باشد، در سالیان اخیر استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی در تعیین ساختار و وزن‌های شبکه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از این رو تاکنون الگوریتم‌های متفاوتی جهت تنظیم ساختار و وزن‌های شبکه‌های عصبی پیشنهاد شده است.

در[۲]، الگوریتمی بر مبنای آموزش شبکه عصبی توسط الگوریتم رقابت استعماری پیشنهاد شد. آنها از توانایی جستجوی محلی پس انتشار مبتنی بر گرادیان و توانایی جستجوی سراسری الگوریتم رقابت استعماری استفاده کرده‌اند. در[۳]، از دو الگوریتم بهینه‌سازی نیروی مرکزی و ازدحام ذرات جهت آموزش شبکه‌های عصبی استفاده کردند. آنها این دو روش را از نظر پیچیدگی محاسباتی، ساختار و طراحی شبکه مقایسه کردند. در [۴]، روشی جهت آموزش اکولایزر مبتنی برشبکه عصبی توسط الگوریتم ازدحام ذرات ارائه دادند. آنها نه تنها برای بهینه کردن مقدار وزن‌ها، بلکه برای بهبود توپولوژی شبکه و تابع انتقال نرون‌ها از الگوریتم ازدحام ذرات استفاده کردند. در [۵]، روشی جهت بهینه‌سازی وزن‌های شبکه عصبی توسط الگوریتم دسته میگوها ارائه دادند. در روش پیشنهادی آنها وظیفه به روز رسانی وزن‌های شبکه عصبی به عهده سه حرکت ایجاد شده توسط سایر موجودات، غذایابی و پراکندگی فیزیکی در الگوریتم میگوها می‌باشد.

در آموزش وزن‌های شبکه عصبی، فرایند آموزش وزن‌ها بر روی ساختار مشخصی در شبکه صورت می‌گیرد که این ساختار معمولا توسط متد آزمون و خطا انتخاب شده و هیچ تضمینی جهت بهینه بودن آن وجود ندارد. در این مقاله از الگوریتم بهینه-سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل جهت تعیین ساختار شبکه عصبی علاوه بر بهبود وزن‌های آن، استفاده شده است. ادامه‌ی مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است : در بخش دوم، الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل به صورت مختصر توضیح داده می‌شود. روش پیشنهادی در بخش سوم تشریح می‌گردد. بخش چهارم نیز، نتایج آزمایشات را نشان می‌دهد. نتیجه‌گیری نیز در بخش پنجم بررسی شده است.

الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل

hالگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات از رفتار اجتماعی پرندگان در حال حرکت به سوی هدف مشترک، الهام گرفته شده است. که در آن هر ذره دارای استقلال، هوش و سرعت محدودی می‌باشد. از طرفی سیستم‌های چندعامله از مجموعه‌ای از عامل‌ها مستقل تشکیل شده‌اند که با همکاری به یک هدف مشترک دست پیدا می‌کنند. ویژگی‌های یک عامل شامل: خود مختاری، قابلیت یادگیری و همکاری است. این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که عامل‌ها می‌توانند محیط را درک کنند و به یکدیگر کمک کنند.

در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل (APSO) هر ذره بعنوان یک عامل (عامل ذره) تعریف می‌شود و محیط هم نیز بعنوان یک عامل (عامل محیط) در نظر گرفته شده است که اطلاعات مربوط به محیط را در اختیار عامل ذرات قرار می‌دهد [۶]. در این الگوریتم به هر نقطه از فضای مسئله یک مقدار بولین اختصاص داده می‌شود که نشان می‌دهد این نقطه توسط عامل های دیگر ملاقات شده است یا خیر. هنگامی که جستجو را محدود به نقاطی می‌کنیم که هنوز ملاقات نشده، سرعت جستجو افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در این الگوریتم از روش خوشه بندی برای خوشه‌بندی کردن نقاط ملاقات شده استفاده می‌شود که باعث شناخت فضای مسئله توسط عامل محیط می‌شود. هر عامل علاوه بر برچسب زدن نقاط باید وظایف خود را هم انجام دهد که این وظایف شامل: گرفتن اطلاعات بهترین راه حل جاری از عامل همسایه، فرستادن بهترین راه حل خود برای عامل همسایه و درخواست اطلاعات خوشه‌ها از عامل محیط.

در الگوریتم APSO محیط مسئله به صورت n بعدی، به وسیله E نشان داده شده است که در رابطه (۱) مشاهده می‌کنید.

$$E=\{P, C, n, FF, \square, \square_d\} \quad (1)$$

در رابطه بالا متغیر P برابر مجموعه نقاط در مسئله است به‌طوری که : $\{\{p \in P, p = \{d1 \times d2 \times ... \times dn, tag\}\}$ و هر نقطه دارای یک مقدار بولین است که برچسب نامیده می‌شود.

متغیر C بیانگر مجموعه خوشه‌ها در E است که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$C=\{(p_1, p_2, ..., p_{center}, ..., p_m) , d \mid d \geq \square_d\} \quad (2)$$

متغیرFF بیانگرتابع هزینه است و بدلیل اینکه معیارهای مختلف نیازمند توابع هزینه مختلف هستند، درون محیط تعریف می-شوند. ε بیانگر حداقل معیار خطا برای پایان دادن به اجرای APSO است و ε_d بیانگر حداقل تراکم مورد نیاز برای عامل محیط است که مشخص می‌کند یک مجموعه از برچسب‌های نقاط غیربهینه می‌تواند بعنوان یک خوشه در فضای مسئله در نظر گرفته شود.

همانطور که اشاره شد هر نقطه P دارای یک برچسپ tag است که مشخص می‌کند که آیا توسط عامل‌های دیگر ملاقات شده است یا خیر. پس از آن عامل محیط از این اطلاعات برای ایجاد خوشه‌های جدید استفاده می‌کند. هر خوشه، C، شامل یک نقطه مرکزی، p_{center}، و تراکم فعلی آن خوشه، d، می‌باشد. این اطلاعات می‌تواند توسط هر عامل برای به‌روز رسانی موقعیت بعدی خود درخواست شود.

تابع بروزرسانی در PSO با بهره‌گیری از مزایای عامل‌ها و خوشه-بندی به صورت رابطه (۳) و (۴) در APSO تعریف می‌شود:

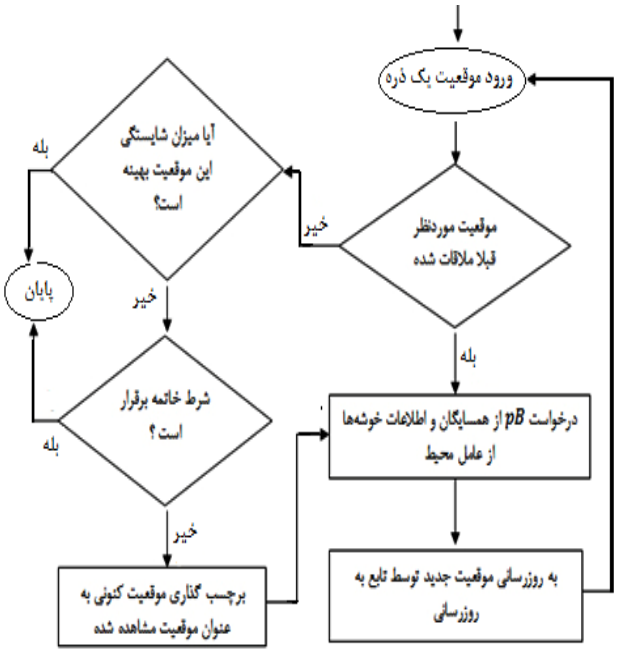
$$\begin{aligned} V^m_{d+1} &= V^m_d + R_{pBest}\left(pBest^{\,m} - X^m_d\right) \\ &+ R_{gBest}\left(gBest^{\,m} - X^m_d\right) \\ &- R_c \sum_{i=1}^{Nc}\left(C^m_{iCenter} - X^m_d\right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$X^m_{d+1} = X^m_d + V^m_{d+1} \quad (4)$$

در رابطه‌های بالا V^m_{d+1} بیانگر سرعت ذره عامل m در تکرار d+1 است که برای محاسبه موقعیت بعدی ذره عامل استفاده می-شود. X^m_d بیانگر موقعیت فعلی عامل ذره m در تکرار d می‌باشد. پارامترهای *pBest* و *gBest* نیز دو فاکتور اصلی در حرکت ذرات می‌باشند که به ترتیب بهترین موقعیتی که تاکنون هر ذره تجربه

کرده است و بهترین موقعیتی که کل مجموعه ذرات تا کنون داشته‌اند، می‌باشد. علاوه بر این R_{pBest} ، R_{gBest} و R_c اعداد تصادفی هستند که برای حفظ ویژگی‌های احتمالی الگوریتم استفاده شده‌اند. N_c نیز تعداد خوشه‌ها می‌باشد. عامل محیط با در اختیار قرار دادن اطلاعات خوشه‌ها به عامل‌ها، به بهبود در حرکت آنها کمک می‌کند.

هر عامل ذره در ابتدا موقعیت فعلی خود را برسی می‌کند، اگر موقعیت فعلی‌اش توسط عامل‌های دیگر ملاقات شده باشد، تابع هزینه را صدا نکرده و اطلاعات مورد نیاز را از عامل محیط و همسایگان دریافت می‌کند. سپس به منظور حرکت به نقطه جدید از رابطه (3) و (4) استفاده می‌کند. در غیر این صورت، اگر موقعیت فعلی عامل ذره قبلا ملاقات نشده باشد، فرایندی مشابه با فرایند ذره‌های موجود در الگوریتم PSO استاندارد انجام می‌شود و در صورتی که شرط خاتمه برقرار نباشد این نقطه نیز به عنوان نقاط ملاقات شده توسط عامل محیط شناخته شده و موقعیت آن با توجه به رابطه (3) و (4) بروزرسانی می‌شود. عملکرد کلی الگوریتم APSO را در شکل(۱) مشاهده می‌کنید.



شکل ۱ : عملکرد کلی الگوریتم APSO [6].

روش پیشنهادی

در این بخش روش پیشنهادی APSO-ANN-SW ارائه شده است، که در این متد ساختار شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون، علاوه بر وزن‌های آن، توسط الگوریتم APSO تعیین می‌شوند.

یک شبکه پرسپترون چندلایه(MLP)، ارتباط غیرخطی میان بردارهای ورودی و خروجی را نشان می‌دهد. این عمل از طریق اتصال نرون‌های هر گره به لایه‌های قبلی و بعدی انجام می‌شود. خروجی هر نرون در ضرایب وزنی ضرب و به تابع تحریک غیرخطی به عنوان ورودی داده می‌شود.

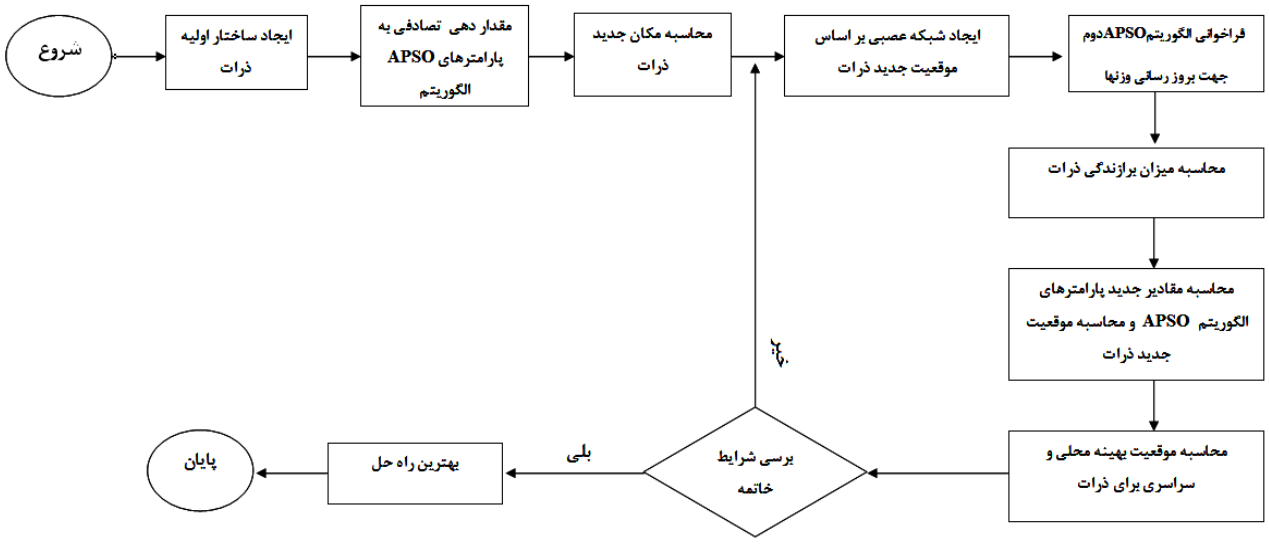
معمولاً در فرایند آموزش وزن‌های شبکه عصبی فرض می‌شود که ساختار یک شبکه از قبل تعیین شده و در حین آموزش وزن یال‌ها، این ساختار ثابت می‌ماند. یعنی تعداد لایه‌های پنهانی و تعداد نرون‌های هر لایه از ابتدا تا انتهای فرایند آموزش وزن‌ها ثابت است. حال نکته‌ای که در اینجا باقی می‌ماند، این است که به طور مثال اگر به جای ساختار انتخابی از پیش تعیین شده، ساختار متفاوت دیگری داشتیم، ممکن است دقت بیشتر یا کمتر می‌شد. بنابراین هیچ تضمینی جهت اثبات انتخاب بهترین ساختار از میان تمام ساختارهای ممکن وجود ندارد. زیرا ساختار انتخابی تصادفی و بر اساس تجربیات کم است و مشخص نیست که آن ساختار، بهترین ساختار موجود برای شبکه عصبی موردنظر است. ساختار یک شبکه تاثیر بسزایی روی قابلیت تحلیل اطلاعات شبکه دارد. از این حیث طراحی ساختار نقش حیاتی در موفقیت یک شبکه دارد. با فرض داشتن یک هدف برای یادگیری، یک شبکه عصبی مصنوعی با تعداد اتصالات کم و گره‌های خطی ممکن است که نتواند به خوبی وظیفه‌اش را انجام دهد. بر عکس یک شبکه عصبی مصنوعی با تعداد زیادی از اتصالات و گره‌های غیرخطی نیز ممکن است نویز موجود در داده های آموزشی را بیش از حد پردازش کند و نتواند قابلیت کلی خوبی به دست آورد. پس تعین ساختار مناسب برای شبکه عصبی به یک مسئله‌ی بهینه‌سازی ختم می‌شود. از طرفی، الگوریتم APSO یک روش هوشمند برای یافتن نقاط بهینه در فضای جستجو است. بنابراین می‌توان از آن برای یافتن ساختار بهینه در شبکه عصبی بهره برد.

در این فرایند برای دسته‌بندی داده‌ها از شبکه عصبی MLP استفاده می‌شود. شبکه عصبیMLP از لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی که هر یک شامل تعدادی نرون می‌باشد، تشکیل شده است. در این بخش ما علاوه بر بهینه کردن وزن‌های شبکه

عصبی، ساختار آن را نیز توسط الگوریتم APSO تعیین می‌کنیم. در شکل۲ روش پیشنهادی آورده شده است. در این روش، کار ما با الگوریتم APSO شروع می‌شود. در واقع یک الگوریتم APSO در بدنه داریم که فرایند بهینه‌سازی ساختار شبکه عصبی را انجام می‌دهد و یک الگوریتم APSO هم در داخل این بدنه داریم که فرایند بهینه‌سازی وزن‌های شبکه عصبی را انجام می‌دهد که روند کار آن در ادامه توضیح داده شده است.

طراحی ساختار برای یک شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان به شکل یک مساله جستجو، فرمول‌بندی کرد که در آن هر نقطه یک ساختار را نشان می‌دهد. بنابراین در ابتدا به تعداد لازم، جمعیتی از ذرات می‌سازیم. که تعداد ذرات در این بخش برابر با تعداد ساختارهایی است که طبق قرارداد می‌خواهیم ساختار بهینه را از بین آنها انتخاب کنیم.

طریقه تعریف مکان هر ذره بدین صورت است که تعداد ابعاد ذره در اینجا برابر با ماکزیمم تعداد لایه های پنهانی مجاز برای شبکه به علاوه یک است.



شکل ۲ : فلوچارت روش پیشنهادی APSO-ANN-SW

بعد اول در مکان ذرات را برابر با تعداد لایه‌های پنهانی برای شبکه در نظر می‌گیریم و ابعاد بعدی تعداد نرون در هر لایه را نشان می‌دهد. بنابراین در تعریف ساختار اولیه ذرات باید برای تعداد لایه‌های پنهانی و همچنین تعداد نرون در هر لایه یک محدودیت بگذاریم و مقدار عدد در هر بعد بین یک بازه مشخص تعریف شود. سپس با استفاده از الگوریتم APSO، مکان اولیه آنها را بدست آورده و با استفاده از موقعیت مکانی هریک از آنها شبکه‌های عصبی اولیه ساخته می‌شود. ساختار شبکه‌ها بدین صورت است که خانه اول مکان ذره نشان دهنده تعداد لایه‌های پنهانی شبکه و خانه‌های بعدی تعداد نرون در هر لایه را مشخص می‌کند.

در این مرحله یک ساختار برای شبکه عصبی مورد نظر ایجاد شده و حال نوبت به بهینه‌سازی وزن‌های آن ساختار می‌رسد که در اینجا یک الگوریتم APSO جداگانه جهت بهبود وزن‌ها فراخوانی می‌شود که روند کار آن در ادامه توضیح داده شده است.

در فرایند آموزش شبکه عصبی MLP جهت دسته‌بندی داده‌ها، هدف نهایی جستجوی بهترین وزن‌ها برای شبکه عصبی است. در این تحقیق الگوریتم APSO برای یافتن بهترین وزن‌ها برای شبکه عصبی پیشنهاد می‌شود.

مستقل از اینکه از چه الگوریتم بهینه‌سازی برای به‌روز رسانی وزن‌های شبکه عصبی استفاده می‌شود، لازم است که فرایند آموزش شبکه عصبی را به عنوان یک تابع در نظر بگیریم و هدفمان بهینه کردن آن در یک فضای n بعدی باشد. که n برابر

با تعداد وزن‌های شبکه عصبی و تعداد بایاس‌ها است. در شکل ۳ شبه‌کد مربوط به بهینه‌سازی وزن‌های شبکه عصبی توسط الگوریتم APSO نشان داده شده است.

1. Random Initialize Of Weights Of Neural Network
2. Calculate Number Of Weights (Dimension Of each particle)
3. Create each particle with their Dimension
   3.1 Optimize position of each particle
   3.2 Calculate fitness function of each particle
   3.3 If stop condition is not true go to step 3-1
   Else Select particle with maximum fitness function
   Its value is the optimum weights for neural network

شکل 3 : شبه کد بهینه‌سازی وزن‌های شبکه عصبی

هر عامل ذره در یک فضای چند بعدی قرار دارد و این ابعاد دقیقاً وزن‌های ANN را نشان می‌دهند. پس با به روزرسانی هر عامل ذره در هر تکرار، در واقع وزن‌های ANN به‌روز رسانی می‌شوند. روند کلی الگوریتم بهینه‌سازی وزن‌ها بدین صورت است که ابتدا وزن‌های شبکه به صورت تصادفی مقداردهی می‌شوند. سپس تعداد وزن‌ها و بایاس شبکه محاسبه شده و الگوریتم APSO فراخوانی می‌شود. در اینجا مجموعه‌ای از ذرات تولید شده که تعداد ابعاد هر ذره برابر با تعداد وزن‌ها و بایاس شبکه‌عصبی می‌باشد. سپس فرایند بهینه‌سازی مکان ذرات شروع شده که ابعاد هر عامل ذره با توجه به رابطه (3) و (4) که در بخش ۲ بیان شد به‌روز رسانی می‌شود. ذرات در فضا حرکت می‌کنند و سعی می‌کنند خطا را مینیمم سازند. تغیر موقعیت یک عامل ذره به معنای به‌روز رسانی وزن‌های شبکه در جهت کاهش میانگین مربعات خطا (MSE) در تکرار جاری است. در هر تکرار الگوریتم APSO، بهترین عامل ذره انتخاب می‌شود و مقدار ابعاد آن به عنوان وزن‌های ANN در نظر گرفته می‌شود. فرایند آموزش تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که خطای قابل قبول توسط یک عامل ذره به دست آید یا یک شرط خاتمه مانند تعدادی تکرار پیش فرض، برآورده شود. زمانی که فرایند آموزش خاتمه یافت، به ازای شایسته‌ترین عامل ذره(حداقل MSE)، بردار وزن متناظر با آن استخراج می‌شود .

نتایج آزمایشات

الگوریتم پیشنهادی برای حل مسائلی که بحرانی بوده و نیاز به دقت دسته‌بندی بالا دارند، مناسب می‌باشد. جهت بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی، چهار مجموعه‌داده از وب سایت مجموعه داده‌های یادگیری ماشین (UCI)[7] انتخاب شده است. مشخصات این مجموعه داده‌ها را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد. در این جدول Attributes برابر با تعداد ویژگی‌های هر مجموعه‌داده، Num.data، تعداد نمونه‌ها و Num.classes تعداد دسته‌های هر مجموعه داده می‌باشد.

به منظور نشان دادن اثر الگوریتم APSO بر روی تعین ساختار و وزن‌های ANN، روش پیشنهادی با روش‌های زیر مقایسه شده است :

۱. آموزش وزن‌های شبکه عصبی توسط الگوریتم PSO که در[12] ارائه شده است.

۲. الگوریتم MOPSO یا ازدحام ذرات چند هدفه در [8] ارائه شد. این الگوریتم برای دسته‌بندی عملیات تخلیه آتش پیشنهاد شده است. تنظیمات مطابق با [8] در نظر گرفته شده است.

۳. نسخه ی دیگری از الگوریتم MOPSO به نام MOPSO-A در [9] ارائه شد. تفاوت این روش با روش بالا در معادله‌ی به روز رسانی سرعت و نحوه به روز رسانی بهترین ذره برای هر ذره i ام است. تنظیمات مطابق با [9] در نظر گرفته شده است.

۴. الگوریتم MOANT یا برنامه نویسی مورچه چند هدفه در [10] ارائه شد. در این روش هر راه حل به عنوان یک مورچه نشان داده شده است. جهت انجام آزمایشات تنظیمات مطابق با [10] در نظر گرفته شده است.

۵. الگوریتم EMOGA یا ژنتیک چند هدفه نخبه‌گرا در [11] ارائه شد. در این روش از اپراتورهای بازترکیب و جهش جهت تغییر راه حل‌ها استفاده می‌کند. همچنین با استفاده از ارزیابی مبتنی بر پارتو به تعیین میزان شایستگی راه‌حل‌ها می‌پردازد. جهت انجام آزمایشات تنظیمات مطابق با [11] در نظر گرفته شده است.

Num	Dataset	Attributes	Num.data	Num.classes
1	Iris	4	150	3
2	Primary tumor	17	339	22
3	Balance scale	4	625	3
4	Breast-cancer	9	286	2

جدول ۱ : مجموعه داده‌های UCI

۷۰٪ از نقاط مجموعه داده‌ها به صورت کاملاً تصادفی انتخاب و به عنوان نقاط آموزشی برای شبکه عصبی در نظر گرفته می‌شوند و ۳۰٪ باقی مانده به عنوان نقاط آزمایشی استفاده خواهد شد. در این ارزیابی برای آموزش وزن‌های شبکه عصبی تمام نتایج برای ۶۰ بار تکرار الگوریتم ثبت می شود، همچنین با توجه به تصادفی بودن روش‌های فرا ابتکاری ، تمام آزمایشات برای ۱۰ مرتبه اجرا انجام می‌شود و میانگین نتایج به عنوان نتیجه نهایی در نظر گرفته شده است. مقدار بیشتر برای تکرارها منجر به آموزش بیش از حد و مقدار کمتر منجر به آموزش ناکامل می‌شود. تنظیمات روش PSO و APSO به شرح زیر است :

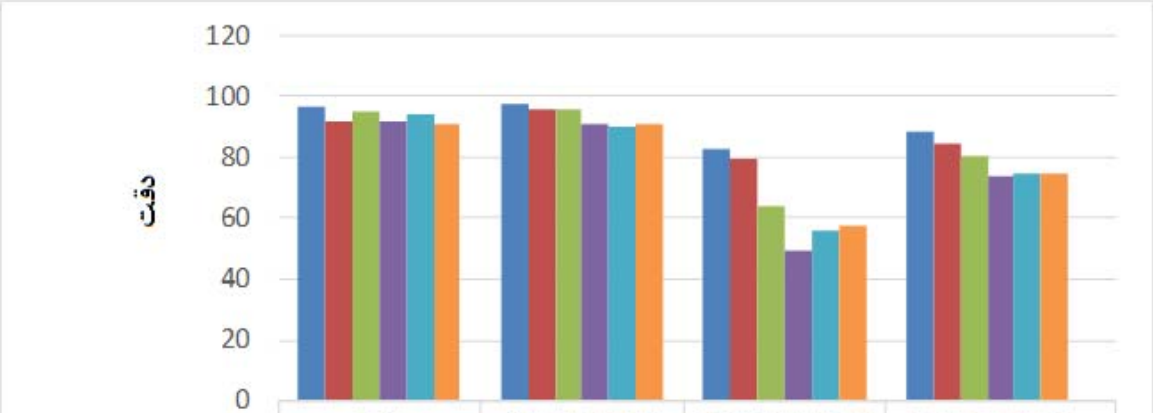
روش APSO

جمعیت اولیه عامل ذرات برای تعین ساختار شبکه عصبی، برابر با ۵۰ در نظر گرفته شده و برای آموزش وزن‌ها این تعداد برابر با 60 می‌باشد .در این روش فاکتورهای R_{pBest} ، R_{gBest} ، R_c اعداد تصادفی بین [۱،۰] فرض شده است. همچنین وزن اینرسی به صورت خطی از ۹٪ تا ۱٪ کاهش می‌یابد

روش PSO

جمعیت اولیه ذرات برای آموزش وزنهای شبکه عصبی برابر با 60 می‌باشد، در این روش فاکتورهای یادگیری C1 و C2 با هم برابر و مساوی ۲ فرض می‌شوند. همچنین وزن اینرسی به صورت خطی از ۹٪ تا ۱٪ کاهش می‌یابد.

جدول ۲ ساختار بهینه شده برای هر مجموعه‌داده را نشان می‌دهد. از آن جهت که شبکه عصبی مانند یک جعبه سیاه می‌باشد و نحوه‌ی بهینه شدن وزن‌های آن، فرآیند مشخصی



	Iris	Brest-cancer	Primarytumor	Balance scale
APSO-ANN-SW	96.78	97.86	83.19	88.43
PSO-ANN	92.12	96.13	79.92	84.87
MOPSO	95.36	96.54	64.3	80.66
MOPSO-A	91.77	91.31	49.15	73.58
EMOGA	94.39	90.6	55.85	74.73
MOANT	91.53	90.89	57.15	75.15

شکل ۵ : نتایج دقت بدست آمده بر روی مجموعه داده‌هایUCI

ندارد و از قانون خاصی پیروی نمی‌کند، دلیل به وجود آمدن این ساختارها نیز نامشخص است. اما بر اساس پیاده‌سازی روش پیشنهادی برای بدست آوردن ساختارهای بهینه، معماری بهینه برای داده مورد نظر طبق جدول ۲ بدست آمده است. این ساختارها منجر به رسیدن به بهترین نتیجه، دقت بیشتر و خطای کمتر می‌شود.

جدول 2- ساختار بهینه شده برای هر مجموعه داده

مجموعه داده‌ها	معماری بهینه
Iris	(۵، ۳، ۲، ۰، ۰)
Primary tumor	(6، 4، ۳، ۲، 0)
Balance scale	(۶، 3، ۳، 3، ۰)
Breast-cancer	(4، 3، 2، 0، ۰)

ماکزیمم تعداد لایه‌های پنهانی برابر با ۵ درنظر گرفته شده که هر عدد درون پرانتز نشان دهنده تعداد نرون در هر لایه می‌باشد. به عنوان مثال (۵، ۳، ۲، ۰، ۰) نشان دهنده یک ساختار با سه لایه پنهانی بوده که به ترتیب ۵، ۳ و ۲ نرون در لایه اول تا سوم دارد.

نتایج دقت بدست آمده بر روی مجموعه داده‌های نامبرده را می توان در شکل ۵ مشاهده کرد.

نتایج بدست آمده در شکل ۵، عملکرد بهتر ANN آموزش دیده بوسیله‌ی APSO برای تنظیم وزن‌ها و تعین ساختار را در مجموعه داده‌های بیان شده نسبت به سایر روش‌ها نشان می-دهد.

نتیجه گیری

در این مقاله از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات مبتنی بر عامل جهت تعین ساختار و وزن‌های شبکه عصبی استفاده شده است، در این الگوریتم از سادگی الگوریتم PSO و هوشمندی سیستم‌های چند عامله جهت بهبود حرکت ذرات استفاده شده است که منجر به تعیین ساختار مناسب و وزن‌های بهینه برای شبکه عصبی شده و در نهایت موجب بهبود دقت دسته‌بندی شبکه عصبی می‌شود.

روش ارائه شده بر روی چهار مجموعه‌داده‌های مشهور UCI مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دقت دسته‌بندی بالاتری نسبت به روش های ذکر شده دارد.

مراجع

[1] R. Parekh and J. Yang and V. Honavar, "Constructive neural-network learning algorithms for pattern classification," Neural Networks, IEEE Transactions on, pp. 436-451, 2000.

[2] S. M. Berneti and M. Shahbazian, "An Imperialist Competitive Algorithm Artificial Neural Network Method to Predict Oil Flow Rate of the Wells" International Journal of Computer Applications, pp. 47-50, 2011.

[3] R. C. Green and L. Wang and M. Alam, "Training neural networks using central force optimization and particle swarm optimization: insights and comparisons" Expert Systems with Applications, vol. 39, no. 1, pp. 555-563, 2012.

[4] G. Das and P. K. Pattnaik and S. K. Padhy, "Artificial Neural Network trained by Particle Swarm Optimization for non-linear channel equalization" Expert Systems with Applications, vol. 41, no. 7, pp. 3491-3496, 2014.

[5] N. Sadeghi and M. SanieeAbadeh, "Training Artificial Neural Network by Krill-Herd Algorithm," 2014 IEEE 7th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference, pp. 273-278, 2014.

[6] R. Ahmad and L. Yung-Chuan and S. Rahimi and B. Gupta, "A Multi-Agent Based Approach for Particle Swarm Optimization," in Integration of Knowledge Intensive Multi-Agent Systems, pp. 267-271, 2007.

[7] UCI Repository of Machine Learning Data Bases, Department of Information and Computer Science, University of California, Irvine,CA,http://www.ics.uci.edu/~mlearn/MLRepository.html.

[8] Y. J. Zheng and H. F. Ling and J. Y. Xue and S.Y. Chen, " Population Classification in Fire Evacuation: A Multiobjective Particle Swarm Optimization Approach," ieee transaction on evolutionary computation, pp. 70-81, 2014.

[9] P. G. Toracio and A. T. Pozo, "Multiple objective particle swarm for classification-rule discovery," Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. ieee Congress on, pp. 684–691, 2007.

[10] J. L. Olmo and J. R. Romero and S. Ventura, "Multi-objective ant programming for mining classification rules," Lecture Notes in Comput. Science, pp. 146–157, 2012.

[11] S. Dehuri and S. Patnaik and A. Ghosh and R. Mall, "Application of elitist multi-objective genetic algorithm for classification rule generation" Applied Soft Computing, pp. 477–487, 2008.

[12] V. G. Gudise and G. K. Venayagamoorthy, "Comparison of particle Swarm opti- mization and backpropagation as training algorithms for neural networks," proceedings of the ieee swarm intelligence symposium, pp. 110–117, 2003.

محاسبه همسایگی زمان ثابت درخت هشت‌تایی در حین تولید اول سطح مدل درخت و با استفاده از قانون همسایگی والدی با رویکرد استفاده در مسائل مسیریابی در فضای ۳ بعدی

محمد حسن نامداری
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشجوی کارشناسی ارشد،دانشکده مهندسی صنایع

سید رضا حجازی
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع

مازیار پالهنگ
دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای محاسبه همسایگی گره‌های درخت‌های هشت‌تایی ارائه شده‌است. محاسبه همسایگی در این روش در حین تولید درخت هشت‌تایی صورت می‌گیرد. با استفاده از اصل همسایگی والدی و ایجاد اول سطح درخت هشت‌تایی، تولید همسایگی در زمان ایجاد مدل درخت هشت‌تایی باعث افزایش پیچیدگی زمانی آن نمی‌شود. این موضوعدر مساله مسیریابیدر فضای ۳ بعدی که اطلاع از همسایه‌های گره مورد بررسی به تناوب موردنیاز است، زمان مسیریابی را کاهش وکارایی زمانی مسیریابی در کاربردهایی چون هدایت بازوهای ربات و یا ربات‌های پرنده را افزایش می‌دهد.روش پیشنهادی تمام همسایگی‌هاییک گره را بدون محدودیت در جهت همسایگی و اندازه همسایه‌ها نسبت به گره مورد بررسی تولید می‌نماید. روش پیشنهادی با تغییرات جزئی قابلیت استفاده برای محاسبه همسایگی درخت‌های چهارتایی را نیز دارد. آزمایش‌های عددی نشان‌گر این موضوع است که در مورد درخت‌های چهارتاییو هشت‌تایی، زمان مورد نیاز برای ایجاد مدل درخت و در همین حینمحاسبه و ذخیره اطلاعات همسایگی تقسیم بر زمان مورد نیاز برای ایجاد مدل درخت به تنهایی، به ۱ میل می‌کند. همچنین کارایی زمانی روش پیشنهادی برتری محسوسی بر آخرین روش زمان ثابت ارائه شده برای محاسبه همسایگی درخت‌های چهارتایی توسط آیزاوا و تاناکا دارد.

کلمات کلیدی

اصل همسایگی والدی، ایجاداول سطح درخت، درخت هشت‌تایی، محاسبه همسایگی.

مقدمه

مدل‌سازی محیطی که یک سیستم خودمختار در آن عمل می‌کند مساله‌ای مهم در کاربردهای رباتیک است. این موضوع در مساله مسیریابی در فضای سه بعدی و در کاربردهایی چون مسیریابی بازوهای ربات و یا ربات‌های پرنده اهمیت دارد.درخت‌های هشت‌تایی ساختار داده‌ای است که از آن برای نمایش و مدل کردن فضا و محیط سه‌بعدی استفاده می‌شود[۱]. به خاطر سادگی نمایش و به روز رسانی، درخت‌های هشت‌تایی تا به امروز به عنوان یکی از بسترهای قابل اعتماد برای مسیریابی بلادرنگ در مساله هدایت یک وسیله متحرک معرفی شده‌اند [۲] و یکی از زمینه‌های کاربردی رو به رشد درخت‌های هشت‌تایی مسیریابی و عدم برخورد در فضای ۳ بعدی است[۳].

بسیاری از اعمال مورد نیاز در تحلیل‌های فضای سه بعدی فرآیند محاسبه همسایگی را در بر دارند؛ این فرآیند عبارت است از بررسی گره‌هایی از درخت که مکعب متناظر آن‌ها در فضا با مکعب متناظر با گره مورد بررسی هم جوارند[۴]. پردازش تصویر،مدل سازی اجسام صلب، سیستم‌های اطلاعاتی جغرافیایی و مسیریابی از جمله کاربردهای درخت‌های هشت‌تایی هستند[۵]. در این بین برای مثال یافتن مسیر بین دو نقطه در درخت هشت‌تایی مستلزم اشراف بر روابط همسایگی بین واحد های (گره‌های) درخت هشت‌تایی جهت تشخیص مسیر آزاد از موانع محیط است.

سامت [۱] سهم بزرگی در تعیین چگونگی استفاده از ساختارهای مبتنی بر درخت دارد. روش کلاسیک محاسبه همسایگی پیشنهادی سامت مبتنی بر جستجوی یک سلول والد

مشترک بین سلول مورد بررسی و سلول دارای همسایگی با آن است.

شراک [۶] روش پیچیده‌ای برای انجام اعمال اولیه‌ای چون اضافه و کم کردن داده‌هایی بر روی درخت‌های هشت‌تایی خطی پیشنهاد کرده است. این اعمال جهت شناسایی همسایگان هم اندازه یک سلول در جهت مشخص، با استفاده از کد کردن داده‌های هندسی در هر سلولبا پیچیدگی زمانی ثابت استفاده می‌شوند.

گارگانتینی [۷] روش جدید کدهای محلی را برای نمایش درخت‌های چهارتایی ارائه می‌دهد. بر مبنای روش نمایش جدید، گارگانتینی روش محاسبه همسایگی خود را به دو دسته تقسیم می‌نماید؛ گره‌های همسایه متعلق به یک والد بلافصل مشترک، و سایر گره‌های همسایه.

هانتر و استیگلیتز [۸] پیشنهاد کردند که داده‌هایی در هر سلول درخت چهارتایی جهت شناسایی همسایه‌های سلول ذخیره شود. این دو نفر اطلاعات کمکی را ریسمان نامیدند. این اطلاعات در حین ساختن مدل درخت ذخیره می‌شود.

وروس [۴] از هر یک از روش های ارائه شده در [۱] و [۷] استفاده نموده و سعی نموده در روش پیشنهادی خود از نقاط قوت هر یک از دو روش استفاده نماید. وروس در مقاله‌اش به دو موضوع به عنوان موارد تعیین کننده در محاسبه همسایگی تکرار شونده اشاره کرده‌است: روشی سریع برای ایجاد همسایگی و نحوه نمایش منعطف درخت‌هشت‌تایی جهت به روزرسانی داده‌های مرتبط با هر گره.

آیزاوا و تاناکارا [۹] روشی مشابه شراک [۶] ولی با رویکردی متفاوت جهت محاسبه همسایگییک سلول در جهت مشخص در درخت‌های چهارتایی ارائه داده‌اند. روش پیشنهادی اطلاعات اختلاف عمق هر سلول با سلول‌های همسایه را در زمان ساخت مدل درخت در هر سلول ذخیره و از آن برای محاسبه همسایگی‌های درخت استفاده می‌نماید. آن‌ها روش پیشنهادی‌شان را زمان ثابت دانسته و در [۱۰] با ارائه نمونه‌های عددی و مقایسه عملکرد روش پیشنهادی‌شان با روش‌های شراک [۶] و سامت [۱] این مساله را مورد تایید قرار دادند.

عدم ذخیره اطلاعات همسایگی هر گره جهت بهره‌برداری در زمان استفاده از درخت، در مسائلی چون مسیریابی که الگوریتم‌های جستجوی گراف به تناوب به اطلاعات همسایگی تعداد متنابهی از گره‌های درخت نیاز دارند، منجر به افزایش زمان محاسبه مسیر بدون برخورد در فضای ۳ بعدی مورد بررسی می‌گردد.

در صورتی که بتوان بدون این که کلاس پیچیدگی زمانی الگوریتم تولید مدل درخت به رده‌ی بالاتر منتقل شود، محاسبه تمام همسایگی‌های هر گره را در حین تولید مدل درخت هشت‌تایی انجام داد، و این اطلاعات را در هر گره ذخیره نمود، کارایی زمانی مسائلی چون مسیریابی که فضای ۳ بعدی را به صورت درخت هشت‌تایی مدل کرده‌اند افزایش می‌یابد.

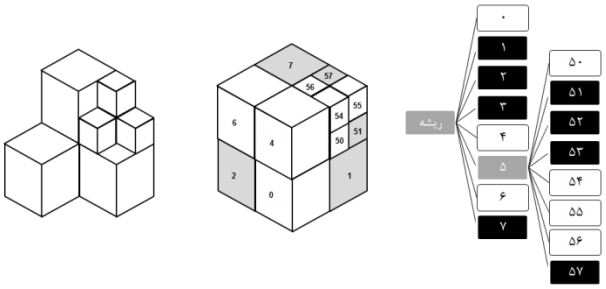
در مقاله حاضر روشی جهت محاسبه همسایه‌های بزرگتر،کوچکتر و مساوی که دارای همسایگی راسی،یالی و یا وجهی با هر گره از درخت هشت‌تایی هستند، در زمان ایجاد مدل درخت هشت‌تایی ارائه شده‌است. در این روش با استفاده از اصل همسایگی والدی، بدون افزایش کلاس پیچیدگی زمانی الگوریتم تولید مدل درخت، اطلاعات همسایگی هر گره را در آن به صورت مستقیم ذخیره می‌نماید.

بخش دوم مقاله به معرفی برخی تعاریف،تبیین روش ایجاد مدل درخت هشت‌تایی و نحوه محاسبه همسایگی در حین تولید درخت،بررسی پیچیدگی روش ارائه شده و نهایتا ارائه نمونه‌های عددی برای بررسی عملکرد زمانی روش پیشنهادی می‌پردازد. بخش سومشامل نتیجه‌گیری است.

روش پیشنهادی

تعاریف

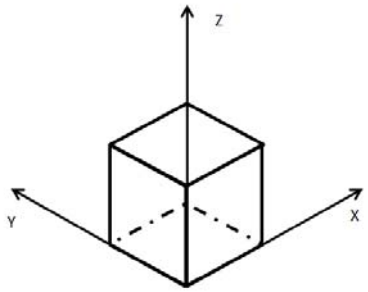
در درخت هشت‌تایی گره ریشه‌ای معادل تمام شی مورد نظر است و گره‌های برگ معادل مکعب‌هایی از فضا هستند که به علت یکپارچگی نیازی به تقسیم بیشتر آن‌ها نیست. این گره‌ها بسته به اینکه حاوی واحدهای فضاییپریاخالی هستند، گره‌های سفیدیا سیاه نامیده می‌شوند. تمام گره‌های غیر برگ ، گره‌های خاکستری نامیده می‌شوند (شکل).



شکل ۱ –به ترتیب از سمت چپ؛ جسم سه بعدی، بلوک‌های درخت هشت‌تایی متناظر، نمایش درختی درخت هشت‌تایی

سیستم مختصات به کار رفته در این مقاله در شکل به نمایش

درآمده است.



شکل ۲- سیستم مختصات سه بعدی

در روش پیشنهادی این مقاله، تمام همسایگی‌های وجهی،یالی و راسی در مورد گره‌های بزرگ‌تر، مساوی و کوچک‌تر گره مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود.

اصل همسایگی والدی: همسایه‌هاییک گره، چه گره برگ باشد چه نباشد، یا عضوی از همسایه‌های والد بلافصل آن گره هستند، و یا عضوی از فرزندان والد بلافصل. این فرزندان تنها شامل فرزندان بلافصل نیستند و تمامی گره‌های منشعب از گره والد بلافصل را شامل می‌شود (معادله ۱).

(۱)

$$N(V) \subseteq \{N(PV) \cup TC(PV)\}, PV = P(V)$$

در معادله ۱ N(X)نمایان‌گر مجموعه گره‌های همسایه گره X است، TC(X) مجموعه تمام فرزندان منشعب از گره X را نمایش می‌دهد و P(X) نماد والد بلافصل گره X است.

همسایگی‌های تا عمق برابر: گره‌های همسایه گره مورد بررسی، به صورتی که تنها گره‌های دارای عمق برابر با و یا کمتر از عمق گره مورد بررسی، در نظر گرفته شوند (معادله ۲).

(۲)

$$UEDN(V) = \{n \in N(V) \perp D(n) \leq D(V)$$

در معادله ۲ UEDN(X) مجموعه همسایگی‌های تا عمق برابر گره X است و D(X)عمق گره X در درخت را نشان می‌دهد.

همسایگی‌های تا یک عمق بیشتر: گره‌های همسایه گره مورد بررسی، به صورتی که تنها گره‌های داراییک عمق بیشتر، عمق برابر و یا کمتر از عمق گره مورد بررسی، در نظر گرفته شوند (معادله ۳).

(۳)

$$UODN(V) = \{n \in N(V) \perp D(n) \leq D(V)+1$$

در معادله ۳UODN(X) مجموعه همسایگی‌های تا یک عمق بیشتر گره X است.

محاسبه همسایگی مستقیم/غیرمستقیم: در صورتی که ذخیره اطلاع همسایه بودن گره X با گره Y در گره X در زمان بررسی گره X رخ دهد، محاسبه همسایگی مستقیم و در صورتی که در گره Y ذخیره شود، غیر مستقیم بوده‌است.

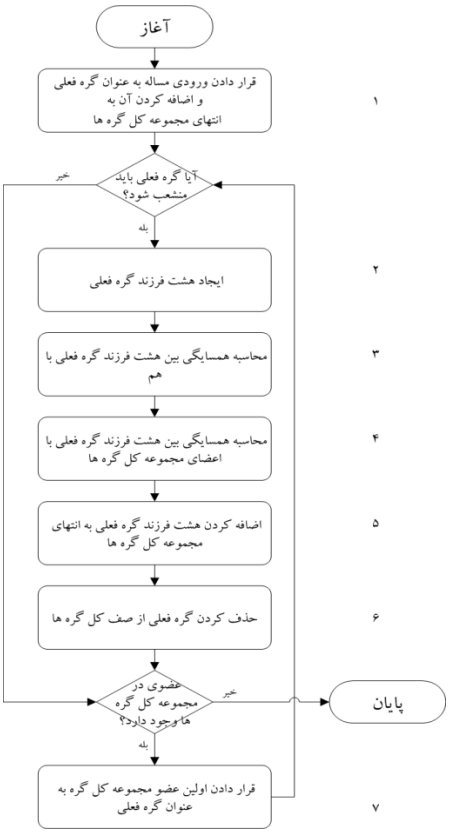
ایجاد مدل درخت و محاسبه همسایگی

اطلاعات ورودی به صورت آرایه‌ی $2^3 * 2^3$ از واحدهای فضایی که n در آن حداکثر عمق درخت هشت‌تایی است، می‌باشد. ریشه درخت معادل با مکعب اولیه است و M به عنوان طول یال مکعب که در هر یک از راستاهایx، y و z دارای واحد با طول k است، در نظر گرفته می‌شود. این آرایه معادل با مدل ۳ بعدی محیط و شی مورد بررسی است.

قضیه ۱: در صورت ذخیره‌سازی اطلاعات همسایگی به صورت متقابل و ایجاد مدل درخت به صورت اول سطح، در هر عمق از درخت، محاسبه همسایگی‌های مستقیم تنها شامل همسایگی‌های تا عمق برابر خواهد بود.

اثبات: با توجه به تعریف همسایگی مستقیم و غیر مستقیم، در صورت پیمایشاول سطح درخت، اگر عمق مورد بررسی عمق i درخت باشد، تنها گره‌هایی با عمق i و کمتر در درخت تولید شده‌اند و تنها گره‌های با عمق i در این مرحله مورد بررسی قرار می‌گیرند، از این رو بررسی همسایگی گره‌های عمق i و یا به عبارتی محاسبه همسایگی‌های مستقیم تنها شامل همسایگی‌های تا عمق برابر خواهد بود. ■

فرآیند کلی ایجاد مدل درخت و در همین حین محاسبه همسایگی گره‌های عمق مورد بررسی به صورت به نمایش درآمده در شکل خواهد بود.



شکل ۳- روند کلی ایجاد درخت و محاسبه همسایگی با استفاده از روش اول سطح

گام سوم الگوریتم به نمایش درآمده در شکل برای تمام سطوح درخت از قوانین ثابتی پیروی می‌کند. در تقسیم هر گره به هشت اکتان یا فرزند مستقیم خود، هر فرزند، با ۳ فرزند دیگر همسایگی وجهی، با ۳ فرزند دیگر همسایگییالی و با یک فرزند دیگر همسایگی راسی دارد.

گام چهارم نمودار شکل در هر گام شامل بررسی نوع همسایگی گره مورد بررسی با هر یک از همسایگان والد بلافصل گره مورد بررسی است. در این گام برای هر همسایه والد بلافصل و گره مورد نظر، به بررسی نوع همسایگی دو گره با داشتن کد محلی آن دو می‌پردازد؛ گره aوگره bدر هر یک ازجهات x، y و z از لحاظ تداخل بازه‌ای مورد بررسی قرار گرفته وامتیاز متناظر با هر جهت محاسبه می‌شود. در هر یک از جهات، مماس بودن امتیاز ۱، تداخل بازه‌ها امتیاز ۲ و فراق بازه‌ها امتیاز ۵- می‌گیرد.

در این مرحله در صورتی که مجموع امتیاز تداخل در جهات x، y و z برابر ۵ باشد، همسایگی از نوع وجهی، برابر ۴ باشد همسایگی از نوع یالی و برابر ۳ باشد همسایگی از نوع راسی است. منفی بودن مجموع امتیازات بیان‌گر عدم همسایگی دو گره است.

پیچیدگی

قضیه ۲: طبق روش پیشنهادی،محاسبه همسایگی تمام گره‌های برگ در زمان ایجاد مدل درخت کلاس پیچیدگی الگوریتم ایجاد مدل درخت را افزایشنمی‌دهد.

اثبات: با توجه به شکل تنها گام‌های سوم و چهارم در روش پیشنهادی به الگوریتم جستجویاول سطح اضافه شده‌اند. پیچیدگی زمانی گام سوم از رده زمان ثابت است. در گام چهارم، با توجه به قضیه ۱، هر گره پدر در یک درخت هشت‌تایی که یکی از اکتان‌های آن به عنوان گره فعلی مورد بررسی است، چهار همسایه در هر یک از وجوه خود، دو همسایه در هر یک از یال‌های خود و یک همسایه در هر یک از رئوس خود و مجموعا ۵۶ همسایه خواهد داشت. بررسی همسایگی گره فعلی در بدترین حالت تنها با ۵۶ همسایه والد بلافصل صورت خواهد پذیرفت،و از لحاظ پیچیدگی زمانی از رده زمان ثابت است. ■

بررسی عملکرد زمانی

با توجه به این که تنها مقایسه عددی در ادبیات موضوع محاسبه همسایگی درخت‌های چهارتایی و هشت تایی در [۱۰] و بر روی درخت‌های چهارتایی ارائه شده‌است، جهت بررسی عملکرد زمانی روش پیشنهادی، درخت‌های چهارتایی به عنوان بستر آزمایش‌های عددی به کار گرفته شده‌اند.در این مرحله درخت‌هایی با عمق ۳ تا ۱۰ مورد بررسی بوده‌اند.

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی در درخت‌های هشت‌تایی که زمینه اصلی مورد بررسی در این مقاله هستند، زمان ایجاد مدل درخت به علاوه زمان مورد نیاز برای محاسبه همسایگیتمام گره‌های برگ درخت نسبت به زمان ایجاد مدلدرخت مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

در هر دو نوع درخت، واحد اعداد ارائه شده در تمام عمق‌هامیلی ثانیه بوده و جهت محاسبه میانگین زمان اجرا، در هر عمق ۳۰ تکرار صورت پذیرفته است.

روش آیزاوا و تاناکا نیز همچون روش پیشنهادی ما در زمینه درخت‌های چهارتایی و هشت‌تایی در محیط زیر اجرا شد:

واحد پردازنده مرکزی: Intel® Core™ i5 CPU M480 @ 2.67GHz 2.67 GHz

حافظه داخلی: GB۴

سیستم عامل: Windows 7 Home Premium 64-bit 2009

زبان برنامه‌نویسی: Microsoft Visual C# 2010

روش ارائه شده توسط آیزاوا و تاناکا تنها محاسبه همسایگی‌هاییالی در درخت‌های چهارتایی را ممکن می‌سازد.

جهت ایجاد شرایطیکسان در مقایسه زمانی، محاسبه همسایگی راسی در درخت چهارتایی در روش پیشنهادی صورت نپذیرفته و تنها همسایگی‌هاییالی مورد محاسبه قرار می‌گیرند.

زمان ارائه شده در مورد هر دو روش شامل تولید مدل درخت و عملیات مورد نیاز در هر روش برای محاسبه تمام همسایگی‌هاییالی تمام گره‌های برگ درخت است. جدول1 زمان‌های مورد نیاز دو روش برای محاسبه همسایگی و شکل نمودار نسبت زمان کل به زمان ایجاد درخت روش آیزاوا و تاناکا به زمان کل به زمان ایجاد درخت روش پیشنهادی در این مقاله را نمایش می‌دهد.

در جدول1TCT معادل زمان مورد نیاز برای ایجاد مدلدرخت، NFT معادل زمان مورد نیاز برای محاسبه همسایگی،SDT معادل زمان مورد نیاز برای ذخیره‌سازی اطلاعات کمکی و TT معادل مجموع زمان صرف شده‌است.



شکل ۴- نسبت زمان کل به زمان ایجاد مدل درخت در درخت‌های چهارتایی

جدول1- مقایسه روش پیشنهادی و روش آیزاوا در درخت‌های چهارتایی

	روش پیشنهادی			روش آیزاوا			
سطوح	TCT	NFT	TT	TCT	SDT	NFT	TT
۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۱۴	۰٫۰۹	۰٫۲۶
۴	۰٫۳۰	۰٫۱۵	۰٫۴۶	۰٫۳۶	۱٫۰۸	۰٫۵۷	۲٫۰۱
۵	۱٫۸۹	۰٫۴۱	۲٫۳۰	۲٫۱۲	۴٫۲۹	۲٫۴۸	۸٫۸۸
۶	۹٫۶۳	۱٫۴۲	۱۱٫۰۵	۹٫۹۱	۱۵٫۲۴	۶٫۹۷	۳۲٫۱۱
۷	۳۹٫۳۶	۳٫۵۸	۴۲٫۹۴	۳۷٫۵۵	۵۱٫۲۲	۱۹٫۳۵	۱۰۸٫۱۲
۸	۲۳۰٫۳۰	۱۲٫۶۶	۲۴۲٫۹۶	۲۱۱٫۴۸	۲۵۹٫۲۵	۶۹٫۴۸	۵۴۰٫۲۰
۹	۱۳۲۵٫۳۰	۲۸٫۰۵	۱۳۵۳٫۳۵	۱۳۰۵٫۱۸	۱۹۰۰٫۶۳	۲۹۸٫۰۹	۳۵۰۳٫۹۰
۱۰	۳۵۵۶٫۵۹	۴۱٫۸۷	۳۵۹۸٫۴۵	۳۶۴۹٫۰۳	۸۷۸۵٫۴۴	۷۲۵٫۲۰	۱۳۱۵۹٫۶۷

اطلاعات شکل و جدول1 بیان‌گر زمان کمتر مورد نیاز در روش پیشنهادی برای محاسبه همسایگی نسبت به روش آیزاوا و تاناکا است. همچنین شیب نزولی و مجانب ۱ شدن نسبت زمان کل به زمان ایجاد مدل درخت در روش پیشنهادی، بیان‌گر این موضوع است که در صورت استفاده از روش پیشنهادی، محاسبه همسایگی تمام گره‌های برگ در زمان بسیار کمی نسبت به زمان مورد نیاز برای ایجاد مدل درخت امکان‌پذیر است.

در درخت‌های هشت‌تایی نیز روش پیشنهادی شامل دو قسمت ایجاد مدل درخت و در همین حین محاسبه همسایگی تمام گره‌های برگ است.

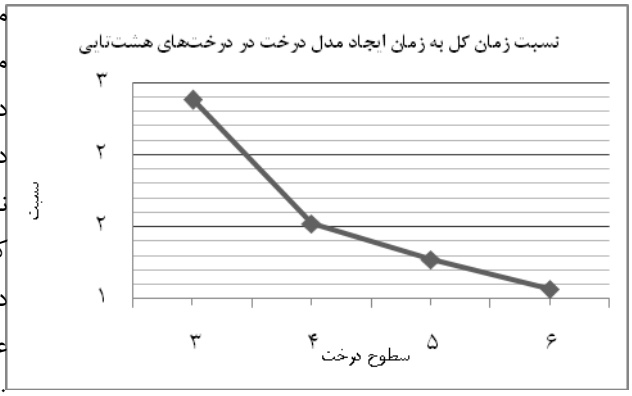
در این قسمت نتیجه محاسبه همسایگی برای درخت‌هایی با عمق ۳ تا ۶ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول2قابل مشاهده است.

-نتایج عددی درخت‌های هشت‌تایی از عمق ۳ تا ۶جدول

	روش پیشنهادی		
سطوح	TCT	NFT	TT
۳	۰،۳۹	۰،۵۴	۰،۹۳
۴	۱۲،۰۴	۶،۲۹	۱۸،۳۳
۵	۱۰۴،۰۶	۲۸،۱۸	۱۳۲،۲۴
۶	۲۲۹۸،۲۸	۱۵۴،۰۷	۲۴۵۲،۳۴

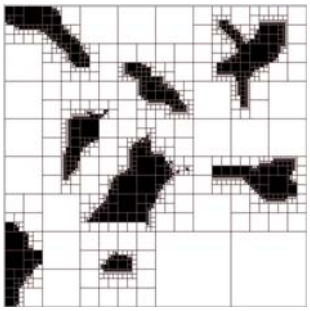
نسبت زمان کل مورد نیاز به زمان ایجاد مدل درخت در شکل نمایش داده شده‌است.

اطلاعات این شکل نمایان‌گر این موضوع است که استفاده از روش پیشنهادی منجر به محاسبه همسایگی تمام گره‌های برگ یک درخت‌هشت‌تاییدر نسبتزمانی کمی از زمان مورد نیاز جهت ایجاد مدل درخت می‌شودو این نسبت در درخت‌های هشت‌تایی نیز همچون درخت‌های چهارتایی با افزایش عمق و سطوح درخت کاهش می‌یابد.

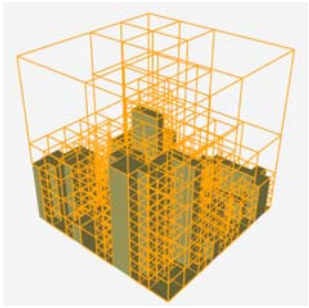


شکل ۵- نسبت زمان کل به زمان ایجاد مدل درخت در درخت‌های هشت‌تایی

درخت چهارتایی با عمق ۷ و درخت هشت‌تایی با عمق ۴ به کار گرفته شده در آزمایش‌های عددی برای نمونه به ترتیب در شکل و شکل به نمایش درآمده‌اند.



شکل ۶- نمایش هندسی درخت چهارتایی با عمق ۷



شکل ۷- نمایش هندسی درخت هشت‌تایی با عمق ۴

نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید برای محاسبه همسایگی گره‌های درخت‌های هشت‌تایی ارائه شد. تولید همسایگی در این روش در حین تولید درخت هشت‌تایی صورت می‌گیرد و با استفاده از اصل همسایگی والدی و ایجاداول سطح درخت هشت‌تایی، تولید همسایگی در زمان ایجاد مدل درخت هشت‌تاییباعث افزایش پیچیدگی زمانی نمی‌شود. این امر به خصوص در کاربردهایی نظیر مسیریابی که اطلاع از همسایه‌های گره برگ مورد بررسی به تناوب مورد نیاز است، زمان مسیریابی در فضای ۳ بعدی را کاهش می‌دهد.

مقایسه‌های عددی نشان‌گر این موضوع است که با صرف زمانی معادل با ۱ یا ۲ درصد زمان مورد نیاز برای ایجاد مدل درخت در درخت‌های چهارتایی، تمام همسایه‌های تمام گره‌های برگ درخت‌های با عمق بیشتر از ۸ قابل محاسبه‌اند. این سهم که نسبت به افزایش عمق درختان نزولی است، نشان‌گر افزایش کارایی روش پیشنهادی با افزایش عمق درخت است. این موضوع در درخت‌های هشت‌تایی نیز صادق است. همچنین مقایسه‌های عددی سرعت بین ۲ تا ۳ برابری روش پیشنهادی نسبت به روش زمان ثابت ارائه شده توسط آیزاواو تاناکا برای محاسبه تمام همسایگی‌هاییالی تمام گره‌های برگ درخت‌های چهارتایی را

تایید می‌کند. همچنین روش پیشنهادی تمام همسایگی‌هاییک گره را بدون محدودیت در جهت همسایگی و اندازه همسایه‌ها نسبت به گره مورد بررسی تولید می‌نماید.

مراجع

[1] Samet, H., Neighbor finding in images represented by octrees. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1989. 46(3): p. 367-386.

[2] Jaewoong, K. and L. Sukhan, Fast Neighbor Cells Finding Method for Multiple Octree Representation, in 2009 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation (CIRA). 2009, IEEE: Daejeon p. 540 - 545

[3] Goerzen, C., Z. Kong, and B. Mettler, A survey of motion planning algorithms from thr perspective of autonomous UAV guidance. 2010(100).

[4] Voros, J., A strategy for repetitive neighbor finding in octree representations. Image and Vision Computing, 2000. 18: p. 1085-1091.

[5] Yoder, R. and P. Bloniarz. A Practical Algorithm for Computing Neighbors in Quadtrees, Octrees, and Hyperoctrees. in Proceedings MSV. 2006.

[6] Schrack, G., Finding Neighbors ofEqual Size in Linear Quadtrees and Octrees io Constant Time. Compuler Vision Graphics and Image Processing, 1992. 55(3): p. 231-239.

[7] Gargantini, I., Linear oct-trees for fast processing of three-dimensional objects. Computer Graphics and Image Processing, 1982(20): p. 365-374.

[8] Hunter, G. and K. Steiglitz, Operations on Images Using Quad Trees, in Pallem Analysis andMachine Intelligence I. 1979, IEEE. p. 145-163.

الگوریتم بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات تعاونی مبتنی بر یادگیری فراگیر با ضریب اینرسی فازی

مجتبی غلامیان
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، قزوین، ایران
Mojtaba.Gholamian@qiau.ac.ir

محمد رضا میبدی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، تهران، ایران
MMeybodi@aut.ac.ir

چکیده

تاکنون روش‌های مختلفی برای بهینه‌سازی ارائه شده است و الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش جمعی از رایج‌ترین آنهاست و یکی از موفق‌ترین این الگوریتم‌ها، الگوریتم بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات است. پیشتر با به کارگیری منطق فازی در بهبود نقاط ضعف الگوریتم PSO از جمله گرفتار شدن در نقاط بهینه محلی و همگرایی زودرس اقداماتی صورت گرفته است. همچنین برای غلبه بر مشکل ناکارآمدی الگوریتم PSO در فضای جستجو با ابعاد بالا، برخیاز الگوریتمها از جمله الگوریتم بهینه سازی هوش جمعی ذرات تعاونی، ارائه گردیده است.در همین راستا، در مقاله پیش‌رو برآنیم، به‌منظور تکامل و بهبود الگوریتم هوش جمعی ذرات با بهره گرفتن از برخی روش‌ها از جمله بهینه‌سازی هوش جمعی تعاونی، بهینه سازی هوش جمعی مبتنی بر یادگیری فراگیر و منطق فازی، ضمن برخورداری از مزایای الگوریتم بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات و الگوریتم یادگیری فراگیر، الگوریتمCLCFPSO-IW (Comprehensive Learning Cooperative Particle Swarm Optimization with Fuzzy Inertia Weight) را مطرح نماییم و با ارائه این الگوریتم سعی در بهبود نقایص الگوریتم PSO، از جمله همگرایی زودرس، گیر افتادن در نقاط بهینه محلی و عملکرد بهتر در ابعاد بالا، داریم.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات، کنترلر فازی، وزن اینرسی، هوش جمعی ذرات تعاونی، یادگیری فراگیر

مقدمه

یکی از رایج ترین روش‌های بهینه سازی، الگوریتم‌های تکاملی می‌باشند که از آنها معمولا برای حل مسائل دشواری که راه حل قطعی سریع ندارد، استفاده می‌شود. تا کنون الگوریتم‌های تکاملی بسیاری برای بهینه سازی مسائل مختلف پیشنهاد شده است که الگوریتم بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات یکی از مطرح‌ترین و کارامدترین آنهاست. با عنایت به کاربرد روز افزون الگوریتم بهینه سازی هوش جمعی ذرات، از زمان ابداع این الگوریتم تا کنون ویرایش‌ها و نسخه‌های مختلف آن ارائه شده است که ضمن بهره‌مندی از مزایای آن، سعی در بهبود کاستی‌ها و نقاط ضعف این الگوریتم داشته‌اند. در کمتر از دو دهه، صدها مقاله‌ی گزارشی از کاربرد PSO منتشر شده است[1].

با عنایت به مطرح بودن مسائل گوناگون با پیچیدگی و ابعاد بالای محیط و رشد روز افزون این گونه مسائل، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مطرح در این گونه مسائل فائق آمدن بر پیچیدگی‌های این دست مسائل و کارامدتر کردن الگوریتم های موجود در مواجهه با آنها می‌باشد. از این رو راه کارهایی جهت غلبه بر مشکل بلای ابعاد مطرح شدهاست که یکی از مطرح‌ترین آنها الگوریتم های تعاونی و مشارکتی می‌باشند. از سوی دیگر مباحث مربوط به الگوریتم‌های مبتنی بر مشارکت و تعاون گروه‌های ذرات، به دلایلی چون امکان بهره‌مندی از مزایای پردازش موازی و الگوریتم‌های موازی مورد توجه است. لذا بهبود و افزایش کارایی الگوریتم هایی چون بهینه سازی هوش‌جمعی ذرات تعاونی می‌تواند در حل برخی از مسائل به خصوص مسائل با پیچیدگی و ابعاد بالا، مفید و مورد اقبال واقع شود.

با علم بر اینکه تنظیم پارامترهای PSO تاثیر بسزایی بر روی کارایی این الگوریتم دارد، تلاش های زیادی جهت تنظیم مناسب پارامترها در PSO صورت گرفته است، چنانچه در برخی از مقاله ها از جمله [2] ،[3] و [4] محققان پیشنهاد کاهش خطی وزن اینرسی را از ۰.۹ تا ۰.۴ در حین پیشرفت الگوریتم مطرح نموده‌اند. در سال ۲۰۰۱، Shi و[5]Eberhart ، روش Adaptive Fuzzy PSO را پیشنهاد نمودند. همچنین برای بهبود عملکرد PSO از الگوریتم های ترکیبی نیز بهره گرفته شده است، مانند مقاله‌ی [6] که در آن از منطق فازی جهت تنظیم تطبیقی

پارامترها استفاده شده است. یکی از ضعف‌های اصلی الگوریتم-های بهینه‌سازی احتمالی از جمله PSO این است که به سادگی در پاسخ‌های محلی گیر می‌کنند و این مشکل با افزایش ابعاد فضای جستجو وخیم‌تر می‌شود[7]. برای مقابله با این مشکل تاکنون مدل‌های اصلاح شده‌ای از الگوریتم PSO از جمله[8]CPSO (Cooperative PSO) ارائه شده است.

در ادامه ساختار مقاله ارائه شده به شرح ذیل است: در بخش‌های دوم تا چهارم اجزای الگوریتم پیشنهادی شامل الگوریتم بهینه سازی ذرات با ضریب اینرسی فازی، الگوریتم هوش جمعی ذرات تعاونی و یادگیری فراگیر تشریح شده است. در بخشپنجم به ارائه الگوریتم پیشنهادی و در بخش ششم به ارزیابی های صورت گرفته بر روی الگوریتم پیشنهادی و در بخش هفتم به نتیجه حاصل از مقاله پرداخته شده است.

بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات فازی

می‌دانیم که درنسخه اصلی PSO، هر جز با دو اجبار حرکت، یکی جذب به بهترین حالت یکه جز تاکنون داشته است و دیگری جذب به بهترین موقعیت یکه توسط گروه کسب شده است، مواجه است. الگوریتم PSO شامل گروهی از اجزا است که در یک فضای جستجوی چند بعدی با مقادیر حقیقی از راه حلهای ممکن مساله، حرکت می‌کنند. PSO به سادگی قابل پیاده سازی است و از دیدگاه محاسباتی کم هزینه است. همچنین PSO، برای حل بسیاری از مسائل بهینه سازی سراسری کاراستو در برخی موارد به مشکلاتی که بر دیگر تکنیک های محاسبات تکاملی (Evolutionary Computation) وارد است، دچار نمی‌شود. دشواری تنظیم PSO برای رسیدن به کارایی خوب از معایب این روش است و در صورت عدم انتخاب مناسب پارامترها PSO به سوی بهینه محلی متمایل شده و دچار همگرایی زود رسمی شود. از آنجا که در این الگوریتم ذرات به تدریج به سمت بهترین راهحل پیدا شده تا به حال میل می‌کنند، اگر این راه حل، یک بهینه محلی باشد ذرات همگی به سمت آن می‌روند و الگوریتم استاندارد PSO راهکاری برای خروج از این بهینه محلی ارائه نمی‌دهد. این بزرگترین مشکل PSO استاندارد است که سبب می‌شود در حل مسایل چند قلهای مخصوصا با فضای حالت بزرگ ناتوان باشد. مشکل دیگر الگوریتم مذکور این است که این الگوریتم دچار همگرائی زود رسمی شود. همانطورکه اشاره شد، الگوریتم استاندارد PSO در پاسخ‌های محلی گیر می‌کند و این مشکل برای مسائلی با ابعاد بالاتر وخیم‌تر می‌شود. برای حل مشکلات الگوریتم پایه PSO، راهکارهای مختلفی از جمله بهره گیری از الگوریتمهای ترکیبی، پیشنهاد شده‌اند. یک نمونه از این الگوریتمهای پیشنهادی ترکیبی، الگوریتم Fuzzy PSO می‌باشد که از ترکیب منطق فازی با الگوریتمPSO ایجاد شده است. یک گام قبل از به روز رسانیPSO، سیستم فازی مقادیر پارامترها را مشخص می‌کند تا پارامترها با مقادیر تعیین شده جدید در به روز رسانی شرکت کنند.در این الگوریتم یک گام قبل از به روز رسانیPSO، سیستم فازی مقادیر پارامترها را مشخص می‌کند تا پارامترها با مقادیر تعیین شده جدید در به روز رسانی شرکت کنند. در این مقاله ما از نوعی الگوریتم FPSO (Fuzzy PSO) بهره می‌گیریم که در آن یک سیستم کنترل کننده فازی(Fuzzy Logic Controller) با یک ورودی و یک خروجی به PSO معرفی شده، طوریکه پارامتر ورودی این سیستم کنترل کننده فازی، تعداد تکرار الگوریتم و خروجی آن پارامتر وزن اینرسی می‌باشد. در مورد این سیستم فازی که خروجی آن وزن اینرسی می‌باشد، ایده‌ی اصلی روش به کار رفته مبتنی بر ایجاد تعادل بین جستجوی انتفاعی و جستجوی اکتشافی در فرآیند جستجو است[9]. نمونه ای از ساختار کلی قوانین فازی مورد استفاده به شرح روابط (۱) است.

[Rules]

If Itr = L then ω = H

If Itr = M then ω = M (۱)

If Itr = H then ω = L

بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات تعاونی

برای غلبه بر مشکل ناکارآمدی الگوریتم PSO در فضای جستجو با ابعاد بالا، برخی از الگوریتم ها از جمله هوش تجمعی ذرات تعاونییا همان Cooperative PSO ارائه گردید. یادگیری تعاونی جهت غلبه بر مشکل " بلای ابعاد"، بدین صورت استفاده می‌شود که جمعیتی با ابعاد بالا به چندین جمعیت با ابعاد کوچک‌تر تقسیم می‌شود که این جمعیت‌ها از طریق مبادله اطلاعات برای تعیین شایستگی ترکیبی کل سیستم با یکدیگر همکاری می-کنند. در بسیاری از موارد این جمعیت با ابعاد بالا به زیر جمعیت های تک بعدی تقسیم می‌شود. بنابراین در یادگیری تعاونی برای حل یک مسئله D بعدی به جای تشکیل یک جمعیت مرکب از S ذره، ما D جمعیت یک بعدی تشکیل می‌دهیم، که هر کدام دارایS ذره است. با این وجود، مقدار تابع هدف پاسخ سراسری به دست آمده توسط الگوریتم، با الحاق تمام پاسخ‌های GBest بدست آمده از هر جمعیت منحصر به فرد و سپس محاسبه تابع هدف ترکیبی، محاسبه می‌شود. نکته مهم این است که صرفا

انتخاب بهترین پاسخ از هر جمعیت مستقل، برای تشکیل بردار بهترین پاسخ ترکیبی، ممکن است برای ما پاسخ بهینه را فراهم نکند. از این رو برای یک الگوریتم PSO تعاونی، ارزیابی شایستگی توسط معرفی "بردار مفهومی" (ContextVector) (باCV نشان داده می‌شود) انجام می‌شود که این بردار بیانگر مفهوم همکاری بین جمعیت‌های مستقل است. در یک مساله D بعدی، ابعاد بردار زمینه نیز D است. در اینجا، زمانی که جمعیت مفروض j ام فعال است، بردار زمینه توسط ذرات GBest(D-1) جمعیت دیگر (که در طی ارزیابی جمعیت j ام ثابت نگه داشته می‌شوند) شکل می‌گیرد و سطر j ام بردار زمینه به ترتیب با هر یک از ذرات جمعیت j ام پر می‌شود. بردار زمینه‌ای که بدین شکل تشکیل می‌شود، برای محاسبه شایستگی مرکب ارزیابی می‌شود. بنابراین پاسخ PBest ذره i ام و نیز پاسخ GBest برای جمعیت j ام (که با $x_j^{i,PBest}$ و x_j^{GBest} نشان داده می‌شوند)، باتوجه به مفهوم بردار زمینه تعیین می‌شوند و فقط به عملکرد مستقل جمعیت j ام وابسته نیستند[8]، [10].

الگوریتم هوش جمعی ذرات با یادگیری فراگیر

الگوریتم PSO مبتنی بر یادگیری فراگیر معمولا بدلیل عملکرد خوبش در مورد مسائلی با فضای جستجوی چند بعدی پیچیده، شناخته شده است. در این جا، می‌توان مسأله ایستایی را که به علت همگرایی زودرس اتفاق می‌افتد، کنترل کنیم، به این صورت که به هر ذره اجازه دهیم، سرعت خود (و در نتیجه موقعیت خود) را بر اساس اطلاعات PBest هر ذره دیگر داخل جمعیت تعیین کند. در نتیجه، این روش به حفظ تنوع داخل جمعیت و متعاقب آن به حل مشکل همگرایی زودرس کمک می‌کند. انتخاب ذره‌ای که می‌خواهیم از اطلاعات PBest آن برای به روز رسانی سرعت هر ذره‌ی مفروض داخل جمعیت داده شده، استفاده کنیم بر طبق منطق زیر انجام می‌شود:

مرحله ۱: یک عدد تصادفی در بازه [0,1] تولید می‌کنیم، اگر این عدد از (که به عنوان احتمال انتخاب مشخص می‌شود) بزرگتر باشد، ذره از PBest خودش استفاده می‌کند. در غیر اینصورت، ذره از PBest یک ذره‌ی دیگر (که از طریق روال انتخاب مسابقه انتخاب خواهد شد همانطور که در مراحل ۲ تا ۴ بیان شده) برای به روز رسانی سرعت و موقعیت خود استفاده می‌کند.

مرحله ۲: ذره فعلی را کنار گذاشته، دو ذره را به صورت تصادفی از جمعیت انتخاب می‌کنیم.

مرحله ۳: مقادیر شایستگی PBest این دو ذره را با هم مقایسه کرده و ذره‌ای با شایستگی بالاتر را انتخاب می‌کنیم.

مرحله ۴: ذره‌ای که با شایستگی بالاتر تعیین و انتخاب شده و PBest آن برای به روز رسانی سرعت ذره‌ی فعلی مطرح شده، استفاده می‌شود.

از این رو رابطه‌ی به روز رسانی سرعت با یادگیری فراگیر، برای هر ذره در جمعیت داده شده به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود:

$$v_j^i[t+1] = wv_j^i[t] + c_1 r_1 \left(f_j^{i,PBest}[t] - x_j^i[t]\right) + c_2 r_2 \left(x_j^{GBest}[t] - x_j^i[t]\right) \quad (۲)$$

که ، PBest ذره‌ایکه ذره‌ی فعلی بایست دنبالکند، می‌باشد[11].

الگوریتم پیشنهادی CLCFPSO-IW

در اینجا با توجه به شرح اجزای الگوریتم پیشنهادی تشریح شده در بخش های دوم تا چهارم به توضیح نحوه تلفیق این اجزا و ساختار این الگوریتم، می‌پردازیم. هدف ما از ارائه این الگوریتم بهره‌گیری از مزایای هر کدام از این الگوریتم‌ها در کنار یکدیگر جهت کم رنگ کردن مشکلات موجود در آنها می‌باشد. در شکل (۲) شبه کد الگوریتم پیشنهادی که مبین نحوه قرار گرفتن اجزای تشریح شده این الگوریتم می‌باشد، ارائه گردیده است. چنانچه در این شبه کد آمده است پس از تعریف متغیرهای محیطی و متغیرهای محلی و سراسری، به تعریف جمعیت اولیه با توجه به تعداد ذرات، مشخصات، پارامترها و ابعاد آنها به شکل تصادفی و نیز تعریف دامنه فضای آزمون تابع محک مورد استفاده و ارتباط تابع محک مورد نظر به برنامه می‌پردازیم. سپس در هر دور اجرا ضریب اینرسی را با استفاده از موتور استنتاج فازی مقداردهی نموده و سپس وارد قسمت شبیه سازی یادگیری فراگیر می‌شویم. با اجرای یادگیری فراگیر (به روز رسانی سرعت و موقعیت ذرات با انتخاب دو و یا چند ذره به طور تصادفی و انتخاب بهترین ذره بین آنها با روش انتخاب مسابقه‌ای و استفاده از بهترین موقعیت ذره انتخاب شده به جای بهترین موقعیت ذره فعلی در به روز رسانی سرعت و موقعیت ذره فعلی) و یا عدم اجرای آن (به روز رسانی سرعت و موقعیت ذرات به روش معمول الگوریتم PSO) تصمیم گیری می‌کنیم. سپس براساس مقادیر PBest تولید شده ذرات جهت به‌روزرسانی وارزیابی بردار زمینه مورد استفاده در الگوریتم بهینه سازی تعاونی

```
Algorithm: Pseudocode for CLCFPSO-IW
  Environment Variable Definition
  Global & Local Variables Definition
  Search Domain Variable Definition Base on Benchmark Function
  For Each Particle                    // Population Definition
     Initialize Particle
  End For
  For Each Iteration
      Evaluate W Coefficient for Current Iteration by Fuzzy Inference System (FIS)
      For Each Dimension  //Separate Swarms to Number of Dimension for Using Cooperative Method
         For Each Particle
                 // Comprehensive Learning Section
            Generate Seed Randomly Between 0 and 1
            If Seed <= Threshold
              Selecting Two Particles (P1,P2) from Swarm Randomly
              Selecting Better Particle Between (P1,P2) as PS by Tournament Selection Method
              Update Velocity of Each Dimension of Particles By Using PS_PBest Instead of Particle PBest
              Update Position of Each Dimension of Particles By Using PS_PBest Instead of Particle PBest
            Else
               Update Velocity of Each Dimension of Particles
               Update Position of Each Dimension of Particles
            End If              // End of If Seed <= Threshold
            Examine&Evaluate Context Vector (CV) of Cooperative Method
            Update Personal Best (PBest) of Each Dimension of Particles
            Update Global Best (GBest) of Each Dimension of Particles
         End For          //End of For Each Particle
         Update Context Vector (CV) of Cooperative Method
      End For          //End of For Each Dimension
  End For              //End of For Each Iteration
  Display Results
  Return GBest
```

شکل (۱): شبه کد الگوریتم پیشنهادی CLCFPSO-IW

ذراتمی‌پردازیم و در ادامه به روزرسانی PBest و GBest ابعاد ذرات صورت می‌پذیرد تا در نهایت پس از پایان دورهای معین شده اجرای الگوریتم، بهترین مقدار GBest به دست آمده به عنوان خروجی برگردانده شود.

ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

برخی توابع به دلیل فضای حالت بسیار بزرگ و پیچیدگی زیادشان، مسائل بسیار مناسبی برای محک زدن میزان توانایی الگوریتم های بهینه سازی می‌باشند. بر اساس ویژگی های این توابع، آنها را به گروه های مختلفی تقسیم می‌نمایند. یکی از این دسته بندی‌ها بر اساس تعداد بهینه های تابع می‌باشد. توابعی که تنها یک بهینه در فضای مسئله داشته باشند، توابع تک قله‌ای و توابعی با بیشتر از یک بهینه محلی را توابع چندقله‌ای می‌نامند. توابع چند قله‌ای به منظور سنجش قابلیت الگوریتم ها برای گریز از بهینه محلی استفاده می‌شوند. در صورتی که فرایند اکتشاف الگوریتم ضعیف عمل نماید، نمی‌تواند کل فضای مساله را به طور کامل جستجو کند، بنابراین در بهینه محلی گیر خواهد کرد. از معروفترین این توابع می‌توان به تابع اسفیر (Sphere)، روزنبراک (Rosenbrock)، اکلی(Ackley)، گریوانک (Griewank) و رستریجین (Rastigin) اشاره نمود که همگی دارای بهینه سراسری با مقدار صفر هستند. توابع اسفیر و روزنبراک نمونه‌ای از توابع تک قله‌ای هستند و توابع آکلی، گریوانک و رستریجن جز توابع چند قله ای محسوب می‌شوند. ما برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی می‌توانیم از نحوه عملکرد آن بر روی توابع محک بهره گیریم و به مقایسه نحوه عملکرد آن بر روی توابع محک از لحاظ دقت و سرعت یافتن پاسخ های بهینه، نسبت به سایر الگوریتم های تکاملی در شرایطمشابه بپردازیم. در جدول (۱) تعداد ذرات و تعداد دورهای تکرار در هر بار اجرا برای هر بعد جهت آزمون الگوریتم پیشنهادی آورده شده است.

همچنین برای اینکه نتایج گزارش شده، از نتایج احتمالی تاثیر نپذیرند، الگوریتم را ۲۰ بار به طور مستقل بر روی چندین تابع محک اجرا نموده و سپس اقدام به استخراج نتایج می‌نماییم. در شکل‌های (۲)، (۳)، (۴)، (۵) و (۶) نتایج مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم تکاملی دیگر، در شرایط مقایسه ای عادلانه نشان داده شده است. نتایج حاکی از موفق بودن الگوریتم پیشنهادی در یافتن نقاط بهینه سراسری هم از لحاظ کیفیت پاسخ و هم از لحاظ سرعت همگرایی در مقایسه با سه الگوریتم بهینه سازی تکاملی مطرح به لحاظ کارایی بالا و کاربرد گسترده شامل PSO،GA(Genetic Algorithm) و ICA (Imperial Competition Algorithm) می‌باشد. لازم به ذکر است، هر سه الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده در ارزیابی‌ها، نسخه های بهبود یافته آنها می‌باشند. در جداول (۲) و (۳) مقادیر پارامترهای به کار رفتهاین الگوریتم‌ها در ارزیابی‌ها آورده شده است.

جدول (۳) : ابعاد ذرات و جمعیت استفاده شده در هر بعد جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی

نوع بُعد	بُعد ذرات	دورهای تکرار در هر بار اجرا	دفعات اجرای برنامه شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی توابع محک	جمعیت ذرات
ابعاد پایین	۱۰	۱۰۰۰	۲۰	۴۰
	۳۰	۱۰۰۰	۲۰	۸۰
ابعاد بالا	۷۰	۱۰۰۰	۲۰	۸۰
	۹۰	۱۰۰۰	۲۰	۱۲۰

جدول (۲): مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک به کار رفته در ارزیابی‌ها

پارامتر	مقدار
Crossover %	0.8
Mutation %	0.1
Mutation Rate %	1
Selection Procedure	Roulette Wheel
Iteration	1000

جدول (۳): مقادیر پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری در ارزیابی‌ها

پارامتر	مقدار
Number of Empires/Imperialists	10
Assimilation Coefficient (β)	2
Revolution Probability	0.1
Revolution Rate	0.05
Selection Pressure (α)	1
Colonies Mean Cost Coefficient (ξ)	0.1
Iteration	1000

Benchmark Function is Sphere							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
3.90E-137	CLCFPSO-IW	2.04E-136	CLCFPSO-IW	1.14E-139	CLCFPSO-IW	3.20E-137	CLCFPSO-IW
1.95E-07	ICA	2.04E-08	ICA	3.23E-17	ICA	2.72E-21	ICA
6.88E+00	GA	3.07E+00	GA	1.80E-03	PSO	4.40E-11	PSO
2.44E+02	PSO	2.34E+02	PSO	6.41E-02	GA	2.92E-03	GA

شکل (۲): مقایسه میانگین مقادیر GBest نتایج الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم تکاملی بر روی تابع محک اسفیر در ابعاد ۱۰، ۳۰، ۷۰ و ۹۰

Benchmark Function is Rosenbrock							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
6.48E+01	CLCFPSO-IW	4.47E+01	CLCFPSO-IW	2.52E+00	CLCFPSO-IW	6.09E-03	CLCFPSO-IW
2.43E+02	ICA	1.71E+02	ICA	3.04E+01	ICA	2.61E+00	ICA
4.27E+02	GA	3.34E+02	GA	7.70E+01	GA	7.23E+00	PSO
1.62E+03	PSO	1.11E+03	PSO	9.34E+01	PSO	7.90E+00	GA

شکل (۳): مقایسه میانگین مقادیر GBestنتایج الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم تکاملی بر روی تابع محک روزنبراک در ابعاد ۱۰، ۳۰، ۷۰ و ۹۰

Benchmark Function is Ackley							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
1.06E-13	CLCFPSO-IW	7.27E-14	CLCFPSO-IW	3.62E-14	CLCFPSO-IW	1.35E-14	CLCFPSO-IW
2.61E-04	ICA	5.27E-05	ICA	5.54E-10	ICA	2.07E-13	ICA
1.26E-01	GA	1.03E-01	GA	1.79E-02	GA	5.93E-03	GA
3.43E+00	PSO	3.54E+00	PSO	4.14E+00	PSO	7.23E-01	PSO

شکل (۴): مقایسه میانگین مقادیر GBestنتایج الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم تکاملی بر روی تابع محک آکلی در ابعاد ۱۰، ۳۰، ۷۰ و ۹۰

تابع	شاخص	*PSO*	*CPSO*	*CLCFPSO-IW*
اسفیر	بهترین	7.32E-25	1.46E-71	1.94E-138
	متوسط	4.40E-11	2.60E-70	3.20E-137
	انحراف از معیار	1.92E-10	4.25E-70	4.60E-137
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
روزنبراک	بهترین	1.23E-01	4.51E-06	2.90E-03
	متوسط	7.23E+00	1.23E+00	6.09E-03
	انحراف از معیار	1.39E+01	2.36E+00	1.38E-03
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
آکلی	بهترین	1.32E-12	4.44E-15	4.44E-15
	متوسط	7.23E-01	1.47E-14	1.35E-14
	انحراف از معیار	8.67E-01	6.82E-15	4.96E-15
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
گریوانک	بهترین	2.46E-02	0.00E+00	0.00E+00
	متوسط	1.78E-01	8.27E-02	1.72E-01
	انحراف از معیار	1.38E-01	1.11E-01	1.86E-01
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	5	5
رستریجن	بهترین	3.98E+00	0.00E+00	0.00E+00
	متوسط	9.20E+00	0.00E+00	0.00E+00
	انحراف از معیار	4.38E+00	0.00E+00	0.00E+00
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	418	376
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	20	20

Benchmark Function is Griewank							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
5.27E-16	CLCFPSO-IW	4.43E-02	ICA	9.09E-03	CLCFPSO-IW	8.93E-02	ICA
3.72E-02	ICA	2.00E-01	GA	4.94E-02	ICA	9.05E-02	GA
2.51E-01	GA	3.39E-01	CLCFPSO-IW	5.14E-02	GA	1.72E-01	CLCFPSO-IW
3.43E+00	PSO	2.80E+00	PSO	3.17E-01	PSO	1.78E-01	PSO

شکل (۵): مقایسه میانگین مقادیر GBestنتایج الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم تکاملی بر روی تابع محک گریوانک در ابعاد ۱۰،۳۰،۷۰ و۹۰

Benchmark Function is Rastrigin							
Dimension is D=90		Dimension is D=70		Dimension is D=30		Dimension is D=10	
Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm	Average of GBest	Algorithm
0.00E+00	CLCFPSO-IW	0.00E+00	CLCFPSO-IW	0.00E+00	CLCFPSO-IW	0.00E+00	CLCFPSO-IW
2.66E+01	GA	1.99E+01	GA	3.35E-02	GA	2.94E-26	ICA
1.78E+02	PSO	1.17E+02	ICA	1.64E+00	ICA	1.88E-03	GA
2.08E+02	ICA	1.50E+02	PSO	3.78E+01	PSO	9.20E+00	PSO

شکل (۶): مقایسه میانگین مقادیر GBestنتایج الگوریتم پیشنهادی با سه الگوریتم تکاملی بر روی تابع محک رستریجن در ابعاد ۱۰،۳۰،۷۰ و۹۰

در ادامه در جداول(۴)، (۵)، (۶) و (۷) نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی را بر روی پنج تابع محک در۲۰ بار اجرای مستقل الگوریتم‌ها بر روی ذرات ۱۰،۳۰،۷۰و۹۰ بُعدی نمایش داده ایم. برای درک بهتر عملکرد الگوریتم های پیشنهادی چنانچه پیشتر اشاره شد، در این جداول نتایج با الگوریتم های پایه آن یعنی PSO و CPSO در پنج شاخص مقایسه گردیده است و نتایج حاصله به شکل نماد علمی نشان داده شده اند.چنانچه در جداول و اشکال این بخش مشاهده می‌شود در اکثر موارد الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم های پایه‌شان بهبود داشته است. میزان این بهبود بسته به تابع محک مورد استفاده در آزمون، متغیر است. به عبارت دقیق‌تر ما در توابع محک اسفیر که جز توابع محک تک قله ای و تابعی یکنواخت است (تابع اسفیر به‌دلیل اینکه تابعی با تنها یک بهینه است، معیاری برای سرعت همگرایی نیز می‌باشد) و رستریجن که جز توابع محک چند قله‌ای وتابعی پیچیده با تعداد زیادی بهینه محلی است، با بکارگیری الگوریتم پیشنهادیبهبود چشمگیرتری را نسبت به سه تابع محک دیگریعنی روزنبراک، اکلی وگریوانک در نتایج مشاهده می‌کنیم. ممکن است بسیاری الگوریتم ها در هنگام آزمون بر روی تابع رستریجن، در بهینه‌های محلی آن گیر کنند، در نتیجه الگوریتم هایی‌که قابلیت جستجوی سراسری ویا محلی

جدول (۴): نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی پنج تابع محک در۲۰ بار اجرا با ذرات ۱۰ بُعدی

جدول (۵): نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی پنج تابع محک در ۲۰ بار اجرا با ذرات ۳۰ بُعدی

اکتشاف بهتری داشته باشند، جواب‌های بهتری بدست می‌آورند،لذا موفقیت چشمگیر الگوریتم پیشنهادی بر روی این تابع محک می‌تواند، تاییدی بر ویژگی مطلوب این الگوریتم در جستجویسراسری و اکتشافی باشد.در مورد توابع چند قله‌ای اکلی و گریوانک، گرچه الگوریتم پیشنهادی توانسته در بسیاری از موارد نسبت به سایر الگوریتم های مورد مقایسه جواب های بهتری به

جدول (۶): نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی پنج تابع محک در ۲۰ بار اجرا با ذرات ۷۰ بُعدی

دست‌آورد، ولی این بهبود نسبت به بهبود به دست آمده از اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی اسفیر و رستریجن کمتر است. تابع اکلی، یک تابع چند قله‌ای است که دارای یک کمینه سراسریدر یک دره بسیار کوچک و چندین کمینه محلی می‌باشد و با توجه به اینکه کمینه های محلی آن چندان عمیق نمی‌باشند و خارج شدن از کمینه محلی به راحتی صورت می‌گیرد.

جدول (۷): نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی بر روی پنج تابع محک در ۲۰ بار اجرا با ذرات ۹۰ بُعدی

تابع	شاخص	PSO	CPSO	CLCFPSO-IW
اسفیر	بهترین	1.06E-04	1.44E-74	1.86E-140
	متوسط	1.80E-03	6.53E-74	1.14E-139
	انحراف از معیار	1.54E-03	3.77E-74	1.84E-139
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
روزنبراک	بهترین	3.05E+01	2.93E-05	1.31E+00
	متوسط	9.34E+01	8.82E-01	2.52E+00
	انحراف از معیار	3.40E+01	9.34E-01	6.83E-01
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
اکلی	بهترین	2.59E+00	2.22E-14	2.22E-14
	متوسط	4.14E+00	4.10E-14	3.62E-14
	انحراف از معیار	8.53E-01	1.58E-14	1.06E-14
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
گریوانک	بهترین	1.14E-01	0.00E+00	0.00E+00
	متوسط	3.17E-01	2.06E-02	9.09E-03
	انحراف از معیار	1.20E-01	3.00E-02	3.42E-02
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	8	12
رستریجن	بهترین	2.61E+01	0.00E+00	0.00E+00
	متوسط	3.78E+01	0.00E+00	0.00E+00
	انحراف از معیار	9.18E+00	0.00E+00	0.00E+00
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	377	381
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	20	20

نتیجه گیری

در الگوریتم پیشنهادی، ما مفهوم ضریب اینرسی فازی را که از سیستم استنتاج فازی جهت تنظیم تطبیقی پارامتر وزن اینرسی

تابع	شاخص	PSO	CPSO	CLCFPSO-IW
اسفیر	بهترین	7.49E+01	5.59E-71	4.84E-137
	متوسط	2.34E+02	3.78E-70	2.04E-136
	انحراف از معیار	5.92E+01	2.15E-70	1.41E-136
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
روزنبراک	بهترین	6.39E+02	5.58E-10	4.27E+01
	متوسط	1.11E+03	8.74E-01	4.47E+01
	انحراف از معیار	2.85E+02	1.51E+00	6.99E-01
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
اکلی	بهترین	2.81E+00	5.77E-14	5.06E-14
	متوسط	3.54E+00	7.37E-14	7.27E-14
	انحراف از معیار	5.07E-01	1.36E-14	1.62E-14
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
گریوانک	بهترین	1.86E+00	3.33E-16	4.84E-137
	متوسط	2.80E+00	4.35E-02	2.04E-136
	انحراف از معیار	5.39E-01	1.04E-01	1.41E-136
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
رستریجن	بهترین	9.70E+01	0.00E+00	0.00E+00
	متوسط	1.50E+02	0.00E+00	0.00E+00
	انحراف از معیار	2.89E+01	0.00E+00	0.00E+00
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	391	403
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	20	20

استفاده می‌کند به الگوریتم هوش جمعی ذرات تعاونی، همراه با روش یادگیری فراگیر جهت به روز رسانی سرعت و موقعیت ذرات، اضافه نمودیم. با این کار هم از مزایای الگوریتم بهینه‌سازی ذرات با ضریب اینرسی فازی همچون عدم گیر افتادن در نقاط بهینه محلی و از سویی از مزایای الگوریتم بهینه‌سازی هوش جمعی ذرات تعاونی همچون استفاده از مزایای پردازش موازی و فائق آمدن بر مسائل با ابعاد بالا و از طرف دیگر از ویژگی های مطلوب الگوریتم بهینه سازی هوش جمعی ذرات مبتنی بر یادگیری فراگیر جهت مواجهه با مسائل چند بعدی پیچیده و عبور از مشکل ایستایی، یکجا بهره‌مند می‌شویم.

تابع	شاخص	PSO	CPSO	CLCFPSO-IW
اسفیر	بهترین	1.70E+02	6.44E-72	7.85E-138
	متوسط	2.44E+02	1.44E-71	3.90E-137
	انحراف از معیار	4.52E+01	6.36E-72	3.88E-137
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
روزنبراک	بهترین	9.76E+02	1.70E-06	6.35E+01
	متوسط	1.62E+03	6.06E-01	6.48E+01
	انحراف از معیار	4.31E+02	1.39E+00	5.31E-01
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
اکلی	بهترین	2.91E+00	6.84E-14	6.84E-14
	متوسط	3.43E+00	9.49E-14	1.06E-13
	انحراف از معیار	3.17E-01	1.65E-14	3.86E-14
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
گریوانک	بهترین	2.91E+00	4.44E-16	3.33E-16
	متوسط	3.43E+00	2.82E-02	5.27E-16
	انحراف از معیار	3.17E-01	4.63E-02	1.21E-16
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	Doesn't Exist	Doesn't Exist
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	0	0
رستریجن	بهترین	1.22E+02	0.00E+00	0.00E+00
	متوسط	1.78E+02	0.00E+00	0.00E+00
	انحراف از معیار	2.72E+01	0.00E+00	0.00E+00
	اولین دور با مقدار بهینه سراسری (صفر) در تمام دفعات اجرا	Doesn't Exist	379	396
	تعداد اجراهایی که به مقدار بهینه سراسری دست یافته	0	20	20

با توجه به نتایج ارائه شده، آنچه که در مجموع استنباط می‌شود این است که عملکرد الگوریتم پیشنهادی در ابعاد پایین و بالا مطلوب است و در بسیاری از مواقع نسبت به الگوریتم‌های مورد مقایسه برتری دارد. این الگوریتم علاوه بر بهبود نقایص الگوریتم پایه PSO، نسبت به سایر الگوریتم‌های مطرح مورد مقایسه در حوزه پردازش تکاملی، کارایی خوبی از لحاظ دقت و سرعت جستجوی نقاط بهینه دارد و می‌توان از آن در کاربردهای مختلف که برای الگوریتم‌های تکاملی متصور است به خصوص برای مسائل با پیچیدگی محیط و ابعاد بالا بهره گرفت.

مراجع

[1] R. Poli, "**An Analysis of Publications on Particle Swarm Optimization Applications**", *Artificial Evolution and Applications*, Vol. 1, pp. 1–10, 2008.

[2] D. P. Tian, N. Q. Li, "**Fuzzy Particle Swarm Optimization Algorithm**", *International JointConference on Artificial Intelligence*, pp. 263-267, 2009.

[3] X. Meng, L. Jia, "**A New Kind of PSO Convergent Fuzzy Particle Swarm Optimization and Performance Analysis**", *4th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management*, pp. 102- 107, 2008.

[4] A. M. Abdelbar, S. Abdelshahid and D. C. Wunsch, "**Fuzzy PSO: A Generation of Particle Swarm Optimization**", *In Proceeding of International Joint Conference on Neural Networks*,pp. 1086–1091, 2005.

[5] Y. Shi and R. C. Eberhart, "**Fuzzy Adaptive Particle Swarm Optimization**", *In Proceedings of Congress on Evolutionary Computation*, Vol. 1, pp. 101–106, 2001.

[6] M. H. Noroozibeyrami and M. R. Meybodi, "**Improving Particle Swarm Optimization Using Fuzzy Logic**", *InProceedings of the Second Iranian Data Mining Conference*, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran, Sept. 21–22, 2008.

[7] I. Boussaid, J. Lepagnot and P. Siarry, "**A Survey on Optimization Metaheuristics**",*Information Sciences,* Vol. 237, pp. 82–117, 2013.

[8] R. C. Eberhart and J. Kennedy, "**A New Optimizer Using Particle Swarm Theory**", *In Proceedings of IEEE 6th International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pp. 39–43, 1995.

[9] S. Kumar, D. K. Chaturvedi, "**Tuning of Particle Swarm Optimization Parameter Using Fuzzy Logic**", *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2011.

[10] M. A. Potter and K. A. de-Jong, "**A Cooperative Coevolutionary Approach to Function Optimization**", *3rd Parallel Problem Solving from Nature Springer*, pp. 249–257, 1994.

[11] J. J. Liang, A. K. Qin, P. N. Suganthan and S. Baskar, "**Comprehensive Learning Particle Swarm Optimizer for**

952, 2006 **Global Optimization of Multimodal Functions**", *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 10, pp. 935–

طبقه بندی تصاویرسنجش ازراه دور با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی فازی مبتنی بر وزن

مریم محمودی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

امیرمسعود افتخاری مقدم
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

چکیده:

مدل خوشه‌بندی فازی یک ابزار ضروری برای پیداکردن ساختار خوشه مناسب مجموعه داده‌های مشخص شده در طبقه‌بندی تصویر و الگو می‌باشد. در این مقاله، یک الگوریتم *C-Means* فازی وزن‌دار برای بهینه‌سازی الگوریتم موجود *NW-FCM* در جهت مسائل تشخیص الگوی چند کلاسه با ابعاد بالا معرفی شده است و نتایج آن با نتایج الگوریتم خوشه بندی‌فازی *FCM* ، *NFCC* و *NW-FCM* نیز مقایسه گردیده است. روش استفاده شده در الگوریتم معرفی شده مفهوم میانگین وزنی از استخراج ویژگی وزن غیر پارامتری *NWFE* و میانگین خوشه از استخراج ویژگی آنالیز تفکیک کننده *DAFE* می‌باشد. این دو مفهوم در الگوریتم جدید برای خوشه‌بندی بدون نظارت ترکیب شده‌اند. ویژگیهای اصلی این الگوریتم هنگامی که با سه الگوریتم فوق مقایسه می‌شود شامل متوسط وزنی برای افزایش دقت می‌باشد. محرک این کار، اصلاح الگوریتم *NW-FCM* بوده است. یافته این مقاله این است که الگوریتم جدید معرفی شده دقت طبقه‌بندی بیشتری را نسبت به *NW-FCM* نشان می‌دهد. نتایج تجربی روی هر دو داده‌های واقعی و مصنوعی نشان می‌دهد که الگوریتم خوشه‌بندی معرفی شده نتایج دقت خوشه‌بندی بهتری را نسبت به *NW-FCM* به طور ویژه برای تصاویر ابرطیفی تولید می‌کند.

کلمات کلیدی:

استخراج ویژگی آنالیز تفکیک کننده(DAFE)، استخراج ویژگی وزن غیرپارامتری(NWFE)، خوشه‌بندی میانگین فازی (FCM)، خوشه‌بندی فازی وزندارجدید(NW-FCM)، خوشه بندی فازی مرکزثقل جدید(NFCC).

مقدمه

ما در یک دنیای سرشار از داده‌ها زندگی می‌کنیم. هر روز مردم با مقدار زیادی اطلاعات روبرو می‌شوند که بایستی برای مدیریت و تحلیل بیشتر، ذخیره و یا ارائه شوند. یکی از راه‌های اصلی برای دقت پذیری با این شرایط، خوشه‌بندی این اطلاعات می‌باشد. در واقع به عنوان یکی از کارهای بدوی بشر، خوشه‌بندی نقش مهم و غیرقابل انکاری در توسعه تاریخ بشری دارد. خوشه‌بندی یکی از فعالیتهای مهم انسانی است. طبق تعریف، خوشه مجموعه‌ای از اشیاء یا داده‌ها است که به یکدیگر شبیه‌اند و با اشیاء موجود در خوشه دیگر متفاوتند. خوشه‌بندی روشی است که تلاش می‌کند روابط را در مجموعه داده توسط سازماندهی الگوهای داده به داخل گروه‌های متفاوت ارزیابی کند به طوری که الگوهای داده در داخل یک گروه بیشتر به یکدیگر شبیه هستند تا گروه‌های متفاوت متعلق دیگر و یا خوشه‌بندی فرایند تخصیص نقاط داده‌ای به گروه‌های مجزایی است که خوشه نامیده می‌شود. اکثر الگوریتم‌ها و روش‌های موجود از روش های سنتی استفاده می‌کنند که در برخی موارد از دقت وکارآیی لازم برخوردار نیستند. لذا درجهت افزایش دقت وکارآیی می بایستی به روشهای نوین و جدیدتری روی آورد[۱].

تکنیکهای خوشه‌بندی می‌توانند به دو روش با نظارت و بدون نظارت طبقه‌بندی شوند. روش خوشه‌بندی بدون نظارت برای تشخیص ساختار اساسی در مجموعه داده برای طبقه‌بندی، بازیابی الگو و کاهش مدل و بهینه سازی است در حالی که روش خوشه‌بندی با نظارت معمولاً با تعامل بشر درگیر می‌باشد. الگوریتم‌های خوشه‌بندی بدون نظارت با توجه به فقدان دانش درباره مجموعه داده‌ای که روی آن کار می‌شود محبوبتر و معمولتر هستند. در خوشه‌بندی فازی هر نمونه درخوشه‌های مختلف با درجه عضویتهای متفاوت قرارداده میشود و وزنهای متفاوتی می‌توان برای هرنمونه در نظر گرفت. الگوریتم FCM که از معروفترین الگوریتمهای فازی می‌باشد منطق فازی را در هر نقطه داده که توسط درجه بین ۰ و ۱ مشخص شده است استفاده می کند[۱].

FCM یک مجموعه از نقاط داده را به داخل تعدادی از خوشه‌ها تقسیم می‌کند. تابع هدف کلاسیک FCM بر اساس اندازه فاصله داده تا مراکز خوشه اعضاء فازی آنها مشخص شده است. محدودیت استفاده شده برای جلوگیری از راه حل ساده همه اعضاء برابر با صفر می باشد

(در FCM نقاط نویزی ممکن است در فاصله برابری نسبت به مرکز خوشه‌ها باشند اما در واقع برای عضویت در خوشه این نقاط نویزی خیلی ضعیف و یا حتی صفر فرض می‌شوند)[۱].

FCM مفهوم متوسط وزن را که می‌تواند دقت طبقه‌بندی را افزایش دهد ندارد[۳].

این مقاله به بخشهای زیر تقسیم می‌شود: بخش ۱ مقدمه می‌باشد. در بخش۲ توضیحاتی راجع به کارهای انجام شده گذشته داده می‌شود. در بخش ۳ الگوریتم بهبود یافته جدید معرفی می‌شود. در بخش ۴ نتایج تجربی بر روی الگوریتم جدید و مقایسه آن با سه الگوریتم FCM، NFCC و NW-FCM نشان داده می‌شود ودر بخش ۵ نیز نتیجه گیری ارائه خواهد شد

[۱] کارهای انجام شده

الگوریتم‌های خوشه‌بندی به صورت معمول به دو گروه مدلهای فازی و غیرفازی که به عنوان خوشه‌بندی سخت شناخته شده‌اند تقسیم می‌شوند. الگوریتم خوشه‌بندی K-Means یک مثال معمولی از یک روش غیرفازی است. این الگوریتم‌های خوشه‌بندی سخت اگر ساختار مجموعه داده خوب توزیع شده باشد خیلی خوب کار می‌کنند. در هر حال زمانی که مرز بین خوشه‌ها در یک مجموعه داده خوب مشخص نشده باشد به مفهوم خوشه‌بندی فازی نیاز می‌باشد. FCM یکی از روشهای شناخته شده در میان مدلهای مرتبط فازی است که در مقاله نیز بیان شده است.

در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بسیاری از سیستم‌های سنسور تعداد زیادی از باندهای طیفی را که بیشتر از نیاز برای هر کاربرد خاص می‌باشد جمع آوری می‌کنند. ضروری است که یک مجموعه بهینه از باندهای طیفی را مشخص کنیم که می‌تواند به طور موثر برای طبقه‌بندی این نوع تصاویراستفاده شود.

a الگوریتم FCM

با توجه به اینکه الگوریتم FCM یکی از الگوریتمهای اصلی فازی می‌باشد در این بخش به صورت خلاصه مراحل آن نشان داده شده است.الگوریتم خوشه‌بندی FCM تابع هدف را می‌نیمم می‌کند(یک نسخه فازی از الگوریتم خوشه‌بندی K-Means)

$$J_{FCM}=\sum_{i=1}^{c}\sum_{j=1}^{n}u_{ij}^{m}\|x_j-c_i\|^2 \qquad (۱) \qquad [۲]$$

با توجه به درجه عضویت u_{ij}, در جایی که C_i مرکز خوشه فازی i و n تعداد نقاط داده و C تعداد خوشه‌ها است و m متعلق به حد $[1,\infty)$ یک درجه فازی است. تفاوت بین FCM و K-Means این است که نقاط داده به نواحی فازی با استفاده از درجه‌های عضویت فازی تقسیم شده‌اند. یک درجه عضویت ماتریس u برای همه نقاط داده و خوشه‌ها ایجاد شده است. محدودیت برای FCM، جمع همه درجه‌های عضویت نقاط داده متعلق به همه خوشه‌ها است که باید برابر با "۱" باشد. این محدودیت شبیه به آن است که در کسری از اعضاء انتهایی برای تصاویر چند طیفی و روی احتمالات استقرایی حداکثر احتمال طبقه‌بندی استفاده می‌شود. FCM یک الگوریتم تکراری است که در زیر مراحل آن توضیح داده شده است[۳].

مرحله اول: اعضاء ماتریس را با مقادیر تصادفی بین ۰ و ۱ مقداردهی اولیه می‌کند به طوری که عنصر u_{ij} محدودیت را شامل باشد.

$$U=[u_{ij}] \quad 1\,i \le c, 1 \le j \le n \qquad (۲) \qquad [۳]$$

$$\sum_{i=1} u_{ij} = 1, \quad j = 2, \dots, n \qquad (۳) \qquad [۴]$$

مرحله دوم: مراکز فازی خوشه c_i را با استفاده از فرمول(۴) محاسبه می‌کند.

$$= \sum_{j=1}^{n}\frac{u_{ij}^{m}}{\sum_{k=1}^{n}u_{ik}^{m}}x_j \quad j = 1,2,\dots,n \qquad (۴) \qquad [۵]$$

مرحله سوم : درجه اعضاء u_{ij} را با استفاده از فرمول (۵) بروز می‌کند.

$$\| = \frac{\|x_j - c_i\|^{-1/(m-1)}}{\sum_{k=1}^{c}\|x_j - c_i\|^{-1/(m-1)}} \qquad (۵) \qquad [۶]$$

مرحله چهارم : مراحل ۲ و ۳ را تا همگرایی الگوریتم تکرار می‌کند.

این بدین معنی است که تفاوت ماتریس اعضاء فعلی نسبت به ماتریس اعضاء قبلی کوچکتر از یک مقدار تلورانس است و یا اینکه تعداد تکرارها به مقدار ماکزیمم مشخص شده می‌رسد.

در هرحال معیار، فقط فاصله داده تا مرکز خوشه اعضاء فازی‌اش را در نظر می‌گیرد. اگر دوخوشه متمایز یک میانگین مشترک داشته باشد پس کارآیی FCM ضعیف است. بنابراین ایده میانگین مبتنی بر وزن در الگوریتم NW-FCM برای بهبود کارآیی خوشه‌بندی بکار گرفته شده است.

a الگوریتم FCM مبتنی بر وزن (NW-FCM)

در مقایسه روشهای DAFE، NAFE و NWFE، DAFE مفهوم مرکز ثقل را در محاسبه هر دو ماتریسهای پراکنده بین کلاس و درون کلاس بدون متوسط وزنی استفاده می‌کند. NAFE یک ترکیبی از مرکز ثقل را برای ماتریسهای پراکنده درون کلاس و متوسط وزنی را برای ماتریسهای پراکنده بین کلاس استفاده می‌نماید و NWFE متوسط وزن را برای هر دو ماتریسهای پراکنده بین کلاسی و درون کلاسی بدون مرکز ثقل استفاده می‌نماید. در الگوریتم معرفی شده این مقاله می‌توان انتظار داشت که این متوسط وزنی بدون نظارت اخیر M_{ij} حتی نزدیکتر به $x_j^{(i)}$ باشد (نسبت به C_i ای که مرکز خوشه i می‌باشد). یک الگوریتم FCM مبتنی بر وزن(NW-FCM) برای حل مسائل تشخیص الگوی چند کلاسه در سالهای اخیر معرفی شده است.

این روش مرکز جرم هرخوشه را در DAFE, همانطور که درFCM استفاده شده است و میانگین وزنی را که موثرتر و ثابت‌تر ازمرکز ثقل در FCM می‌باشد ترکیب می‌کند. از طرف دیگر NW-FCM دقت

طبقه‌بندی داده بیشتری را نسبت به FCM بدست می‌آورد. در NW-FCM متوسط وزنی بر اساس مرکز خوشه و مابقی نقاط نمونه محاسبه شده است. این مسئله NW-FCM را در منتسب کردن یک نقطه نمونه به یک خوشه خاص نسبت به الگوریتم‌های قبلی دقیق‌تر می‌نماید زیرا متوسط وزنی از مراکز خوشه محاسبه شده است[۳]. الگوریتم NW-FCM به صورت زیر فرموله شده است.

مرحله اول - ماتریس اعضاء با مقادیر تصادفی بین ۰ و ۱ مقداردهی اولیه می‌شود.

$$U = [u_{ij}] \quad 1 \le i \le c, 1 \le j \le n \qquad (۶) \qquad [۷]$$

$$\sum_{i=1} u_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \ldots n \qquad (۷) \qquad [۸]$$

مرحله دوم - مرکز خوشه فازی C_i با فرمول (۸) بدست می‌آید.

$$= \sum_{j=1} \frac{u_{ij}^{m}}{\sum_{k=1} u_{ik}^{m}} \quad x_j \ , j = 1 \ , 2 \ , \ldots , n \qquad (۸) \qquad [۹]$$

مرحله سوم - متوسط وزنی M_{ij} با استفاده از فرمول (۹) بدست می‌آید.

$$= \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}} \frac{\|c_i - x_k\|^{-1} u_{ik}}{\sum_{\substack{t=1 \\ t \neq j}} \|c_i - x_t\|^{-1} u_{it}} \quad x_k \qquad (۹) \qquad [۱۰]$$

مرحله چهارم - در این مرحله ضریب لاگرانژ بروز می‌شود.

$$= \left(\sum_{j=1} (\|x_j - M_{ij}\|^{2} m \sum_{j=1} u_{ij}^{m-1}) \right)^{1/(1-m)} \qquad [۱۱]$$

$$(۱۰) \qquad [۱۲]$$

مرحله پنجم - درجه عضویت u_{ij} با استفاده از فرمول (۱۱) بروز می‌شود.

$$= \xi_j^{1/(m-1)} (\|x_j - M_{ij}\|^{2} m \sum_{j=1} u_{ij}^{m-1})^{\frac{1}{1-m}} \qquad [13]$$

$$(۱۱)$$

مراحل ۲ تا ۵ زمانی که میانگین مربع تفاوت بین درجه عضویت فعلی نسبت به قبلی از تلورانس تعیین شده کمتر شود ویا تعداد تکرارها به مقدار تعیین شده برسد الگوریتم متوقف می‌شود.

[۱۴] الگوریتم بهبود یافته جدید

همانطور که در بخشهای قبلی مطرح شد نتایج الگوریتم FCM توسط الگوریتم NW-FCM بهینه‌تر شده و دقت و ثبات آن نیز بیشتر شده است و الگوریتم پیشنهادی این مقاله نیز با دیتاستهای یکسان و تعداد تکرارهای برابر در کنار سه الگوریتم دیگر مقایسه گردیده است.

لذا با توجه به معادلات موجود در الگوریتم NW-FCM هنگامی که متوسط میانگین وزنی را ایجاد می‌نماییم می‌توانیم برای صورت معادله که در توان آن عدد "۱" در نظر گرفته شده است نیز مقدار متغیری قرار دهیم که الگوریتم پس از اجرا با مقادیر متفاوت موجود بتواند بهترین پاسخ را انتخاب نموده و آن را به عنوان پاسخ خروجی برای مراحل بعدی در نظر بگیرد البته با این تغییر، زمان اجرای الگوریتم برای پیدا کردن بهترین پاسخ و متغیر بهینه دررابطه متوسط میانگین وزنی بیشتر خواهد شد ولی پاسخ بهینه‌تر و متوسط میانگین وزنی بهتری را می‌توانیم برای طی مراحل بعدی بدست آوریم که در جدول ۲ مقادیر متغیر متفاوتی با نام گاما به طور فرضی قرارداده شده است و پاسخهای آن نیز درج گردیده است و با توجه به پاسخهای بدست آمده مقادیر متوسط، ماکزیمم و واریانس نیز به ازای حلقه‌های ۱۰۰ تایی نشان داده شده است.

الگوریتم معرفی شده به صورت زیر نشان شده است.

مرحله اول: اعضاء ماتریس را با مقادیر تصادفی بین ۰ و ۱ مقداردهی اولیه می‌کند به طوری که عنصر u_{ij} محدودیت را شامل باشد

$$U=[u_{ij}] \quad 1 \le i \le c, 1 \le j \le n \qquad (۱۲) \qquad [۱۵]$$

$$\sum_{i=1} u_{ij} = 1, \quad j = 1,2, \ldots \ldots, n \qquad (۱۳) \qquad [۱۶]$$

مرحله دوم: مراکز فازی خوشه C_i را با استفاده از فرمول (۱۴) محاسبه می‌کند

$$= \sum_{j=1} \frac{u_{ij}^{m}}{\sum_{k=1} u_{ik}^{m}} x_j \quad j = 1,2, \ldots ., n \qquad (۱۴) \qquad [۱۷]$$

مرحله سوم: میانگین وزنی M_{ij} را با فرمول (۱۵) محاسبه می‌کند

$$= \left(\sum_{j=1} (\|x_j - M_{ij}\|^{2} m \sum_{j=1} u_{ij}^{m-1}) \right)^{1/(1-m)} \qquad [۱۸]$$

$$l_{ij} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}} \frac{\|c_i - x_k\|^{-gamma} u_{ik}}{\sum_{\substack{t=1,t \neq j}} \|c_i - x_t\|^{-gamma} u_{it}} x_k \qquad (۱۵) \qquad [۱۸]$$

مرحله چهارم : ضرایب لاگرانژ را با استفاده از فرمول (۱۶) بروز می‌کند

$$(۱۶) \qquad [۱۹]$$

$$= \left(\sum_{j=1} (\|x_j - M_{ij}\|^{2} m \sum_{j=1} u_{ij}^{m-1}) \right)^{1/(1-m)}$$

مرحله پنجم : درجه عضویت u_{ij} را با استفاده از فرمول (۱۷) بروز می‌کند.

$$(۱۷) \qquad [۲۰]$$

$$= \xi_j^{1/(m-1)} (\|x_j - M_{ij}\|^{2} m \sum_{j=1} u_{ij}^{m-1})^{\frac{1}{1-m}}$$

مرحله ششم : مراحل ۲ و ۴ و ۵ تا زمانی که میانگین مجذور تفاوتها بین درجه‌های عضویت تکرار فعلی و تکرار بعدی از یک مقدار تلورانس کمتر باشد ویا کاهش پیدا نکند تکرار می‌شود

[۲۱] نتایج تجربی روی مثالهای عددی، عکس‌ها و مجموعه داده الگو

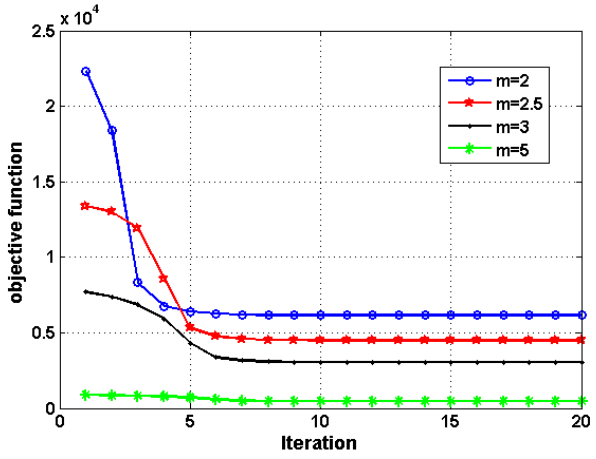
اثر الگوریتم معرفی شده جدید توسط آزمایشات وسیع در مثالهای عددی مجموعه داده‌های الگوی واقعی (شامل Iris و Wine) و تصاویر طبیعی و ابرطیفی نشان داده شده است.

مثالهای عددی نشان می‌دهند که چگونه الگوریتم‌های مطرح شده در این مقاله به صورت بصری کار می‌کنند. اعتبارسنجی از طریق طبقه بندی ارزیابی دقت و صحت می‌باشد. برای رسیدن به هدف، فقط دقت کلی و عدد واقعی خوشه‌ها در نظر گرفته می‌شود در زمانی که همه نتایج خوشه‌بندی الگوریتم‌های استفاده شده در آزمایشات را مقایسه می‌کنیم. مقادیر فازی استفاده شده در آزمایشات ۲، ۲/۵ و ۳ هستند . همان شرایط خاتمه یکسان برای هر چهار الگوریتم استفاده شده است مثلاً تفاوت بین دو درجه عضویت ماتریسی که باید کمتر از ۰/۰۰۱ باشد یا عدد جمع تکرارها که نباید از ۱۰۰ بیشتر شود. لطفا توجه کنید که اندازه‌گیری اثر الگوریتم‌ها توسط دقت کلی و عدد واقعی خوشه‌ها ممکن است کافی نباشد. خیلی از معیارهای ارزیابی مانند دقت کاربر و تولید کننده، ضریب کاپا و ضریب تاو معرفی و استفاده شده‌اند. در استفاده از معیارهای مختلف نتایج خوشه‌بندی باید به صورت متفاوت مورد ارزیابی قرارگیرد. یک خلاصه از دیتاست‌های استفاده شده در جدول(۱) آورده شده است . هر کدام از الگوریتم‌ها برای دیتاست های الگو و تصاویر ابرطیفی اجرا شده و کارآیی آنها مقایسه گردیده است.

[۲۲] جدول ۱: ۳ نمونه دیتاست با تعداد و ویژگیها

مجموعه داده	کلاسها	تعداد نمونه ها	ویژگیها
Iris	۳	۱۵۰	۴
Wine	۳	۱۷۸	۱۳
Indian Pines	۴	۴۰۰	۲۲۰

نمودار زیر از دیتاست Iris تهیه شده که با الگوریتم معرفی شده اجرا گردیده است و نشان می‌دهد که با تغییردرجه فازی روند همگرایی نیز تغییر می‌کند.

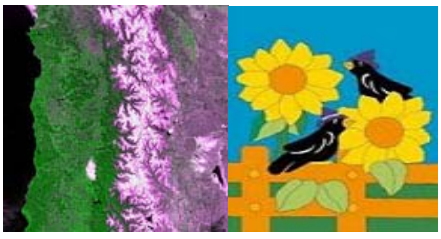


[23]

[۲۴] شکل ۱ : مقایسه همگرایی با درجه فازی متفاوت در مجموعه داده Iris

a تصاویر ماهواره‌ای و مصنوعی

تصایر گل و ماهواره‌ای نشان داده شده در شکل ۲، می‌تواند به ۵ و۸ خوشه به ترتیب تقسیم شود. شکلهای ۳و۴ نتایج بدست آمده از FCM, NFCC و NW-FCM را نشان می‌دهد. در آن می‌توان به صورت بصری مشاهده نمود که درنتایج طبقه بندی تصویر ماهواره‌ای، تصویر با FCM برای درجه فازی ۲/۵ و ۲ به درستی تقسیم بندی نشده است. برای تصویر گل اکثریت پیکسلها به درستی توسط NW-FCM در خوشه‌های مناسب طبقه‌بندی شده‌اند و FCM نیز پیکسلهای چمن را به داخل خوشه آسمان با m برابر با ۳، ۲/۵ و۲ طبقه‌بندی کرده است. آزمایشات نشان می‌دهد که NW-FCM به صورت قابل ملاحظه‌ای بهتر از FCM و NFCC کار می‌کند.



[25]

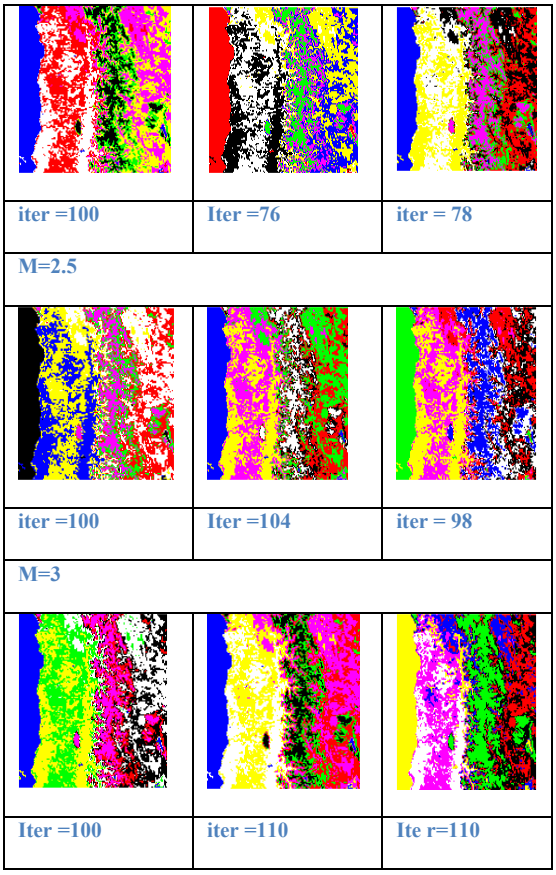
[۲۶] شکل ۲ : تصاویر مصنوعی و ماهواره‌ای آزمایش شده

تصاویر فوق به صورت مصنوعی و ماهواره‌ای تهیه شده است که در شکلهای شماره ۳ و۴ اجرای آنها با سه الگوریتم NFCC,FCM و NW-FCM نمایش داده شده است.

[۲۷]

[۲۸]

FCM	NFCC	NW-FCM
M=2		
Max Iter=100، C=5		



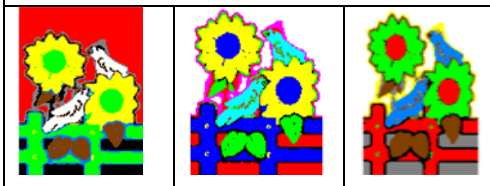
[۲۹]

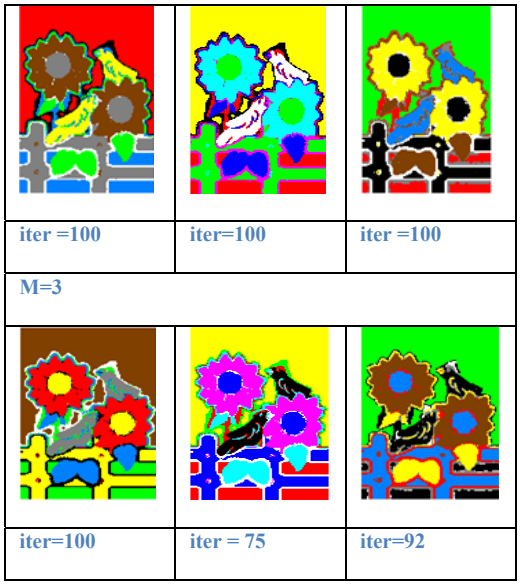
[۳۰] شکل۳ : مقایسه الگوریتم‌های NFCC,FCM و NW-FCM درتصویر ماهواره‌ای

آزمایشات نشان می دهند که با الگوریتم NW-FCM، جزئیات تصاویر بهتر خوشه بندی می‌شوند با توجه به اینکه زمان بیشتری نیز صرف می شود.

[۳۱]

[۳۲]

FCM	NFCC	NW-FCM
M=2		
Max Iter=100 و C= 8		
		
iter =100	iter = 100	iter =58
M=2.5		



[۳۳] شکل ۴ : مقایسه الگوریتم NFCC ,FCM و NW-FCM در تصویر پرندگان

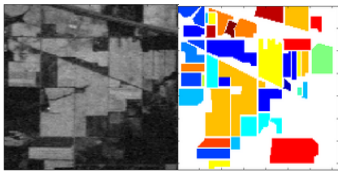
a تصاویر ابر طیفی

یک تصویر ابر طیفی در آزمایشات استفاده شده است . جنگل کاج مخلوط هند/سایت کشاورزی در هند. این مجموعه داده توسط حسگرهای شناخته شده‌ای به عنوان هوابرد قابل رویت با طیف سنج تصویربرداری مادون قرمز جمع‌آوری شده‌اند[۲].

در آزمایشات انجام شده تصاویری از دیتاست Indianpines با چهار الگوریتم FCM, NFCC ,NW-FCM و الگوریتم معرفی شده در این مقاله نمایش داده شده است.

لازم به توضیح است با توجه به اینکه در هر اجرا رنگها به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند لذا رنگهای متفاوت مشهود می‌باشد.

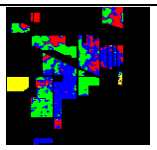
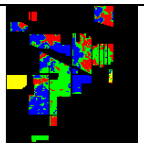
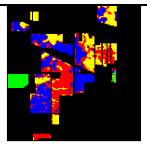
[34]



[۳۵] شکل ۵ : تصویر ابر طیفی(Indianpines)

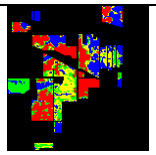
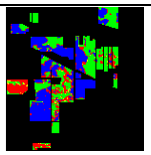
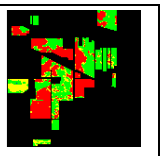
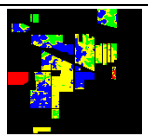
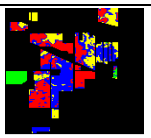
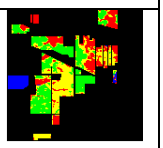
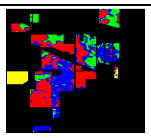
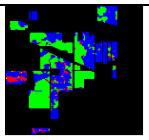
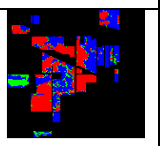
[۳۶]

[۳۷]

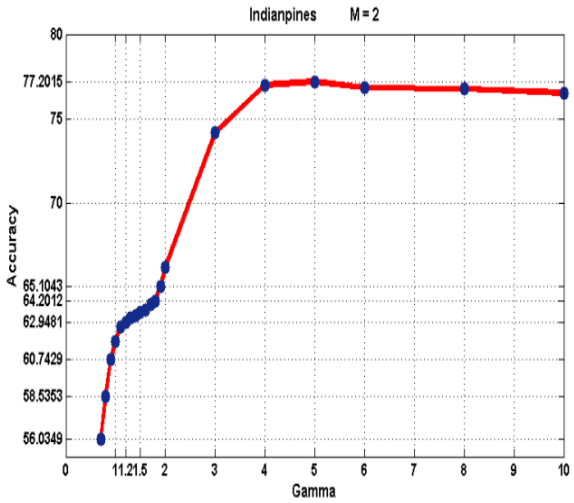
FCM			
M	M = 2	M = 2.5	M =3
Accuracy	45.2604	43.2746	41.4575

M = ۲				
New-Method	۵۸.۵۸۶۲	۵۸.۵۳۵۳	۱.۲۹۷۱e$^{-۰۰۰۴}$	۰.۸
	۶۰.۷۶۰۵	۶۰.۷۴۲۹	۹.۲۸۴۲e$^{-۰۰۰۵}$	۰.۹
	۶۱.۸۰	۶۱.۷۹	۱.۳۷۸۹*۱۰$^{-۴}$	۱
	۶۲.۶۶۶۷	۶۲.۶۵۰۰	۸.۷۳۴۷e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۱
	۶۲.۹۶۴۴	۶۲.۹۴۸۱	۸.۷۷۳۷ e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۲
	۶۳.۲۳۲۵	۶۳.۲۲۴۲	۷.۱۴۶۶ e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۳
	۶۳.۳۵۱۷	۶۳.۳۴۲۲	۷.۷۱۳۸ e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۴
	۶۳.۵۶۰۲	۶۳.۵۵۰۳	۷.۸۳۷۸ e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۵
	۶۳.۶۷۹۴	۶۳.۶۶۹۹	۷.۷۱۳۸ e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۶
	۶۴.۰۶۶۶	۶۳.۹۷۸۲	۳.۱۵۸۵ e$^{-۰۰۰۵}$	۱.۷
	۷۲.۳۱۶۹	۶۴.۲۰۱۲	۰.۵۲۹۳	۱.۸
	۷۲.۵۸۴۹	۶۵.۱۰۴۳	۲.۲۱۱۶	۱.۹
	۷۲.۹۴۲۳	۶۶.۱۸۸۱	۲.۷۰۹۴	۲
	۷۴.۱۹۳۳	۷۴.۱۷۲۸	۷.۵۸۲۶ e$^{-۰۰۰۵}$	۳
	۷۶.۹۹۳۱	۷۶.۹۹۳۱	۱.۸۳۵۹e-^{۲۷}	۴
	۷۷.۲۰۱۵	۷۷.۲۰۱۵	۱.۸۳۵۹ e$^{-۰۰۲۷}$	۵
	۷۶.۸۱۴۴	۷۶.۸۱۴۴	۲.۰۳۹۹ e$^{-۲۸}$	۶
	۷۶.۷۵۴۸	۷۶.۷۵۴۸	۴.۵۸۹۷ e$^{-۲۸}$	۸
	۷۶.۵۱۶۴	۷۶.۵۱۶۴	۲.۴۹۸۹ e$^{-۰۰۲۷}$	۱۰

در شکل ۸ مقایسه ای از روشهایی که با متوسط میانگین وزنی، خوشه‌بندی را انجام می دهند در کنار الگوریتم پیشنهادی در سه نمودار با رنگهای متفاوت نمایش داده شده است.

NW-FCM			
M	**M = 2**	**M = 2.5**	**M =3**
Accuracy	**61.80**	**60.075**	**63.56**
NFCC			
M	**M = 2**	**M = 2.5**	**M = 3**
Accuracy	**49.9063**	**49.6066**	**48.6324**
New-method			
M	**M = 2**	**M = 2.5**	**M = 3**
Accuracy	**77.0824**	**63.0538**	**64.1262**

[۳۸] شکل۶ : مقایسه الگوریتم‌هایNew-Method , NW-FCM ,NFCC ,
FCM [۳۹]

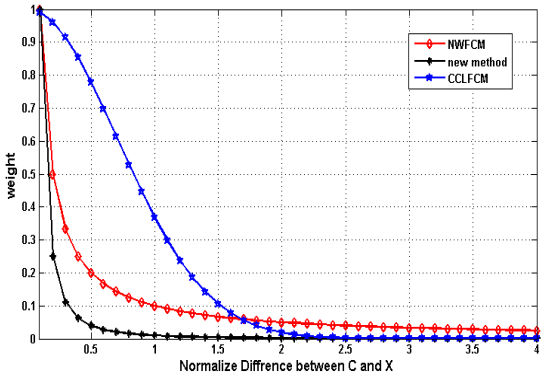


[40]

[٤١] شکل ۷ : نمودار مربوط به جدول ۲
[٤٢]
[٤٣]

[٤٤] جدول۲ : مقادیرنمونه انتخابی برای الگوریتم پیشنهادی با دیتاست Indianpines

INDIANPINES Dataset				
درجه فازی	**دقت کلی**			**گاما**
	بالاترین	**متوسط**	**واریانس**	



[45]

[٤٦] شکل ۸ : نمودار مقایسه ای الگوریتمهای پیشنهادی NW-FCM, CCLFCM,

در نمودار فوق شباهت ۳ روش به این صورت است که وزنی که نسبت داده شده :

اگر عدد انتخاب شده دقیقا با مرکز خوشه یکسان باشد وزن ۱ را می‌گیرد و اگر هرچقدر از مرکز خوشه دورتر باشیم وزن نسبت داده شده به صفر میل می‌کند البته در مقایسه بین NW-FCM و CCLFCM در نقاط بزرگتر از ۱.۷ روش CCLFCM وزن کمتری را نسبت می‌دهد در روش جدید معرفی شده روش وزن دهی بر اساس نمودار نشان داده شده تغییر کرده است که این تغییرات حول نقطه شباهت بسیار زیاد است ودر ستون y به سمت صفر میل می کند

نتیجه گیری

در این مقاله، یک الگوریتم فازی جدید وزن دار برای بهبود کارآیی الگوریتم NW-FCM در جهت مسائل تشخیص الگوی چند کلاسه با ابعاد سطح بالا معرفی شده است. روش استفاده شده در این الگوریتم مفهوم میانگین وزنی از استخراج ویژگی وزن غیر پارامتری(NWFE) و میانگین خوشه از استخراج ویژگی آنالیز تفکیک کننده (DAFE) می‌باشد. این دو مفهوم در الگوریتم معرفی شده برای خوشه‌بندی بدون نظارت ترکیب شده‌اند. محرک این کار، اصلاح الگوریتم NW-FCM می‌باشد. یافته مقاله این است که الگوریتم معرفی شده دقت طبقه‌بندی بیشتر و ثبات بیشتری را در نتایج تجربی روی هر دو داده‌های واقعی و مصنوعی نسبت به NFCC, FCM و NW-FCM بدست می‌دهد.

هدف ما افزایش دقت و ماندگاری الگوریتم NW-FCM بود. نتایج کلی ثابت می‌کندکه دقت الگوریتم معرفی شده جدید بهتر از FCM, NFCC و NW-FCM است در حالی که زمان اجرای بدست آمده توسط FCM بهترین است. می‌توان نتیجه گرفت که یک موازنه بین دقت و زمان اجرا هنگام استفاده از FCM و الگوریتم معرفی شده وجود دارد. الگوریتم NW-FCM مفهوم فازی بین و درون ماتریس پراکنده را به کار نمی‌گیرد. حال با توجه به مطالب فوق در این مقاله ایده ای مطرح شد که تغییراتی نیز در معادله میانگین وزنی در الگوریتم NW-FCM انجام گردد و به این نتیجه رسیدیم که اگر متوسط میانگین وزنی را بتوانیم با توان متغیر در صورت آن محاسبه کنیم می‌توانیم دقت خوشه‌بندی را نیز در الگوریتم NW-FCM افزایش دهیم.

مراجع

[1] A-K. Jain , M-N. Murty , P-J. Flynn, "Data Clustering: A Review", ACM Computing Surveys, Vol. 31, No. 3, September 1999

[2] R.Xu, D. Wunsch Ii,"Survey Of Clustering algorithms", IEEE Transactions On Neural Networks, Vol. 16, No. 3, May 2005

[3] C.C. Hung, S. Kulkarni , B.C. Kuo, " A New Weighted Fuzzy C-Means Clustering Algorithm for Remotely Sensed Image Classification", IEEE journal of selected topics in signal processing, Vol. 5, no. 3, june 2011

[4] C.H. Genitha, Dr. K.Vani, " Classification of Satellite Images Using New Fuzzy Cluster Centroid for Unsupervised Classification Algorithm ", IEEE conference on information and communication Technologies (ICT 2013)

[5] IT. Tou, R.c. Gonzalez, Pattern Recognition Principles, AddisonWesley, London, 1974

[6] L.Gu, "An Initialization Method based on The Core Clusters for Locality-weight Fuzzy C-Means Clustering", Software Engineering and Service Science (ICSESS), 2013 4th IEEE International Conference on, 853 – 856

[7] G.Fung, "*A Comprehensive Overview of Basic Clustering Algorithms*", June 22, 2001

[8] M.W.Berry, M.Castellanos, "*Survey of Text Mining:Clustering, Classification, and Retrieval, Second Edition*", September 30, 2007

[9] P.Berkhin, "Survey of Clustering Data Mining Techniques", Accrue Software, Inc

[10] S. Thilagamani , N. Shanthi, " A Survey on Image Segmentation Through Clustering", International Journal of Research and Reviews in Information Sciences Vol. 1, No. 1, March 2011

[11] N.Grira, M.Crucianu, N.Boujemaa, "Unsupervised and Semi-supervised Clustering:a Brief Survey", August 15, 2005

[12] O.A.Abbas, " Comparisons between Data clustering Algorithms" The international Arab Journal of information Technology, Vol.5, No.3, july 2008

[13] Guojun Gan, Chaoqun Ma, Jianhong Wu, "*Data clustering : theory, algorithms, and applications*", Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, Pennsylvania, 2007

[14] P.N.TAN, M.Steinbach, V.Kumar, "*Introduction to Data mining*", 2006

[15] J.Han, M.Kamber, "*Data Mining:Concepts and Techniques*", 2006

[16] D. Tuia, Member, M. Volpi, L. Copa, M. Kanevski, J. Muñoz-Marí," A Survey of Active Learning Algorithms for Supervised Remote Sensing Image Classification", IEEE Journal of selected topics in signal processing, Vol. 5, no. 3, june 2011

[17] A. Gulhane, P. L. Paikrao, D. S. Chaudhari, " A Review of Image Data Clustering Techniques", International Journal of

Soft Computing and Engineering (IJSCE), Vol-2, Issue-1, March 2012

[18] D. LU, Q. WENG, " A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance", International Journal of Remote Sensing Vol. 28, No. 5, 10 March 2007, 823–870

[19] Xizhao Wang a,*, Yadong Wang b, Lijuan Wang," Improving fuzzy c-means clustering based on feature-weight learning", Pattern Recognition Letters 25 (2004)

[۲۰] مهدی غضنفری، محمود رضایی, مقدمه ای بر نظریه مجموعه‌های فازی, نشر دانشگاه علم و صنعت,سال۱۳۸۵

[۲۱] منصور مومنی، خوشه‌بندی داده‌ها(تحلیل خوشه‌ای)،سال ۱۳۹۰

ارائه یک سیستم پیشنهاد دهنده آگاه از اعتماد مبتنی بر وزن‌دهی برچسب‌ها

حسین منشی زاده نایین
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
monshizadeh@qiau.ac.ir

ابوالفضل طرقی حقیقت
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
haghighat@qiau.ac.ir

چکیده

سیستم‌های پیشنهاد دهنده با هدف پیش بینی منابع و محتویات درون یک شبکه اجتماعی که هر کاربر ممکن است به آن‌ها علاقه‌مند باشد استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها با استفاده از امتیازاتی که کاربران به منابع می‌دهندیا با استفاده از برچسب‌هایی که کاربران به آیتم‌های مختلف نسبت می‌دهند پیش بینی‌ها را انجام می‌هند. رشد حجم اطلاعات در این سیستم‌ها بسیار سریع می‌باشد و این مسئله باعث ایجاد نیاز به امکاناتی شده است که بتوانند پیش بینی‌هایی برای کاربران صورت دهد و اطلاعاتی که ممکن است مورد علاقه آنها باشد به آنها پیشنهاد دهد. یکی از مسائلی که در این سیستم‌ها مطرح است این است که چقدر کاربران با رفتار مشابه یک کاربر که ما برای پیشنهادات از آن‌ها استفاده می‌کنیم قابل اعتماد هستند. در این مقاله ما علاوه بر این که سلایق کاربران را بر اساس شباهت رفتاریشان با دیگر کاربران در پیشنهادات در نظر می‌گیریم میزان اعتماد کاربران را بر اساس رفتار برچسب‌گذاری آن‌ها بدست آورده و تاثیر آنرا در ارائه پیشنهادات بررسی می‌کنیم. نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن اعتماد به عنوان معیاری در کنار شباهت بین کاربران در بهبود معیارهای ارزیابی شده به ویژهمعیار پوشش تاثیرگذار بوده است.

کلمات کلیدی

سیستم پیشنهاد دهنده، شبکه برچسب‌گذاری اجتماعی، اعتماد، پالایش مشارکتی.

مقدمه

امروزه بسیاری از سایت‌های اجتماعی به کاربران این امکان را می‌دهند که محتویات دلخواه خود را به سیستم اضافه، منابع موجود را جستجو، مشاهده و به اشتراک‌گذاری کنند و بر اساس دانش قبلی خود برچسب‌های دلخواه خود را به منابع درون سیستم اضافه کنند [1] و یا در بعضی از این سیستم‌ها می‌توانند نظر خود را نسبت به محتوایت درون سایت با استفاده از امتیاز دهی بیان کنند. اما با توجه به رشد روز افزون محبوبیت این سایت‌ها و در نتیجه افزایش حجم داده‌های درون این سایت‌ها، جستجو و پیدا کردن اطلاعات مفید به اشتراک گذاری شده در زمان مناسب دشوار شده است. به این مسئله گرانبار شدن اطلاعات نیز می‌گویند؛ وب جهانی منبعی عظیم از اطلاعات را فراهم آورده است. در بررسی‌های گوناگون انجام شده در زمینه‌ی گسترش وب تخمین زده شده است که روزانه بیش از یک میلیون صفحه به وب اضافه می‌شود و بیش از ۶۰۰ گیگابایت از صفحات در هر ماه تغییر می‌کنند[2,3]. سیستم‌های پیشنهاد دهنده به عنوان یک پاسخ مهم نسبت به مسئله افزایش حجم اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی ارائه شده‌اند. یک سیستم پیشنهاد دهنده سیستمی‌است که اطلاعات دلخواه یا مورد نیاز کاربران بدون درخواست صریح آن‌هافراهم می‌کند. که این کار را با استفاده از اطلاعاتی که از مشخصات و ویژگی‌های اقلام موجود است یا محیط اجتماعی کاربر انجام می‌دهند.

در این مقاله ما به طور کلی از یکی از روش‌های معروف و پرکاربرد سیستم‌های پیشنهاددهنده به نام پالایش مشارکتی(Collaborative Filtering) استفاده می‌کنیم و به طور خاص به یکی از مسائل مهم این سیستم‌هایعنی "اعتماد" می‌پردازیم و سعی می‌کنیم نتایج قابل اطمینان‌تری را به کاربران ارائه دهیم، به این صورت که بر اساس رفتار کاربران درون شبکه، به هر کدام درجه ای از اعتماد را نسبت می‌دهیم. همسایه یک کاربر از لحاظ منابعی که برچسب گذاری کرده‌اند شباهت داشته دارند، ولی ممکن است آن همسایه برای مشارکت در پیشنهادات قابل اعتماد نباشد. به طور خلاصه منظور این است که عامل شباهت به تنهایی برای انتخاب همسایگانی که کاربر قابل اتکا نیست و علاوه بر اینکه یک کاربر باید سلیقه مشابهی با کاربر مورد نظر داشته باشد باید از لحاظ اعتماد نیز بررسی شود. نکته ای که این مقاله را از کارهای مشابه متمایز می‌کند این است که ما معیار اعتماد را برای هر کاربر فقط بر اساس رفتار کاربر درون شبکه و بر اساس برچسب‌گذاری‌هایی که در سیستم انجام داده است تعیین می‌کنیم و نیاز به هیچ اطلاعات اضافی دیگری نیست. اگر برچسب‌هایی که یک کاربر به روی آیتم‌های مختلف می‌گذارد با برچسب‌هایی که دیگر کاربران روی آن آیتم‌ها گذاشته اند مشابه باشد میزان اعتبار این کاربر در سیستم بالا می‌باشد و بالعکس اگر کاربر برچسب‌هایی که برای آیتم‌ها انتخاب می‌کند، با

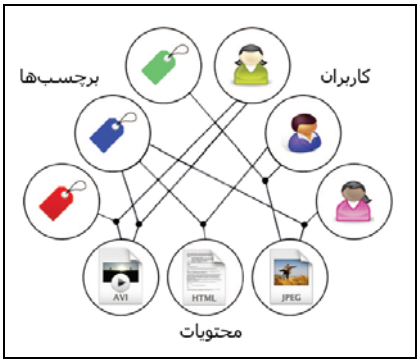
نظرات جامعه کاربرانی که منابع مشترکی را در سیستم برچسب گذاری کرده‌اند واگرایی داشته باشد میزان اعتماد به کاربر پایین می‌آید.

تشریح مسأله

از میان روش‌های مختلف پیاده سازی سیستم‌های پیشنهاد دهنده، روش پالایش مشارکتی در برنامه‌های تجارت الکترونیک و شبکه‌های برچسب‌گذاری اجتماعی به طور گسترده‌ای استفاده شده‌اند[4].این سیستم‌ها به کاربران کمک می‌کند که اقلامی را که دوست دارند در یک سایت تجاری پیدا و خریداری کنند یا منابع مورد علاقه خود را در یک سیستم اجتماعی مشاهده کنند. این سیستم‌ها روش‌های پیاده سازی مختلفی دارند. در نوع مبتنی بر حافظه این سیستم‌ها که ما در این مطالعه بر روی شبکه‌های برچسب‌گذاری اجتماعی به کار گرفته ایم اینکار را با استفاده از ماتریس رتبه بندی انجام می‌دهند. ماتریس رتبه‌بندی به عنوان یک بخش پایه در سیستم‌های پالایش اجتماعی عمل می‌کند[5]. محاسبه شباهت بین کاربران و همچنین دادن پیشنهادات براساس همین ماتریس صورت می‌گیرد.

سیستم‌های برچسب گذاری اجتماعی

برای برچسب‌گذارییکی از روش‌های محبوب برای مدیریت حجم زیاد داده‌های چندرسانه ای می‌باشد. برچسب گذاری در واقع فرایندی می‌باشد که کاربران متن‌های کوتاهی را (در فرم کلمات کلیدی) به منابع و آیتم‌های درون سایت نسبت می‌دهند تا به این وسیله آن‌ها را توصیف کنند و اطلاعات بیشتری را به دیگر کاربران که ممکن است به آن محتویات علاقه داشته باشند ارائه کنند. موفقیت این نوع سایت‌ها نشان داده است که کاربران علاقه دارند برچسب‌های دلخواه خودشان را به صورت دستی وارد کنند. کاربران متفاوت که یک آیتم مشترک را برچسب می‌زنندممکن است کلمات متفاوتی را به آن آیتم نسبت دهند که باعث می‌شود اطلاعات بیشتری نسبت به محتوای آن آیتم بدست آید. موجودیت‌هایی که مدل یک سیستم برچسب گذاری اجتماعی را تشکیل می‌دهد در شکل (۱) آمده است[6].



شکل ۱: اجزای تشکیل دهنده یک سیستم برچسب‌گذاری اجتماعی

این مدل شامل کاربرانی می‌شود که با سیستم در تعاملند، محتویات (منابع یا سندها) می‌توانند هر نوعی از اطلاعات را شامل شوند (مانند فیلم، عکس، داده‌های متنی، صفحه وب و غیره)، و برچسب‌ها توصیفاتی هستند که به محتویات توسط کاربران الصاق شده اند. عمل تخصیص دادن یک برچسب به یک منبع توسط یک کاربر معمولا با عنوان انتصاب برچسب(Tag Assignment) شناخته می‌شود[7]. بسته به سیستم مورد کاربرد یک کاربر می‌تواندیک برچسب یا چندین برچسب به هر محتوایی نسبت دهد.

اعتماد

عرض یک محتوای به اشتراک گذاری شده گاهی اوقات به دلایل مختلف با برچسب‌های غیر مناسب برچسب گذاری می‌شوند. اولین دلیل این است که کاربران انسان هستند و ممکن است دچار اشتباه شوند. علاوه بر آن ممکن است برچسب‌های غلط عمدا توسط اشخاصی به منظور تبلیغات، خودنماییبا به منظور افزایش رتبه یک برچسب در موتورهای جستجو صورت گیرد. در نتیجه این سیستم‌ها ریسک وجود برچسب‌های غلط یا نامرتبط را به همراه خود دارند. به عنوان مثال در تحقیقی روی سایت فلیکر به این نتیجه رسیده اند که فقط حدود ۵۰ درصد از برچسب‌ها واقعا به هر عکس مرتبط است [8]. بنابر اینیک چالش مهم در بحث برچسب گذاری مشخص کردن مناسب‌ترین برچسب‌ها برایک آیتم می‌باشد و اینکه در عین حال برچسب‌های نویزیا فریبکارانه را حذف کرد.

در سیستم پیشنهادی ما دنبال این هستیم که علاوه بر شباهت بین کاربران از معیار اعتماد نیز بین آنها استفاده کنیم. روشی که ما برای محاسبه اعتماد استفاده می‌کنیم به این صورت است که با استفاده از برچسب‌هایی که کاربران به منابع مختلف می‌زنند درجه‌ای از اعتماد کل شبکه اجتماعی نسبت به آن کاربر را بدست آوریم و در نهایت با استفاده از این مقادیر اعتماد بدست آمده برای کاربران در انتخاب کاربران همسایه یک کاربر، همسایگان با درجه اعتماد کم را انتخاب نکنیم.

مطالعات گذشته

سیستم‌های پیشنهاد دهنده از جنبه‌های مختلفی قابل بررسی هستند و با توجه به رشد روز افزون این سایت‌ها و علاقه مند شدن کاربران بیشتر و افزایش حجم اطلاعات، مطالعات مختلف از دیدگاه‌های متفاوتی این سیستم‌ها را بررسی کرده اند که ما در ادامه به مرور برخی از کارهای مرتبط می‌پردازیم.

کارهای مبتنی بر متن و برچسب

در گذشته تعداد زیادی از مقالات روی مشخصه‌هایی که در یک سیستم اجتماعی وجود دارند برای پیش بینی یا پیشنهادات متمرکز

می‌شدند مانند [9,10,11]، اما هیچکدام از آنها روی برچسب‌ها به عنوان یک مشخصه برای سیستم‌های پیشنهاد دهنده استفاده کار نمی‌کردند. تعدادی از مقالات مانند [12,13]روی اطلاعات بدست آمده از برچسب‌ها برای پیشنهاد دادن برچسب به کاربران یا پیش بینی برچسب برای محتویات سایت کار کرده‌اند.

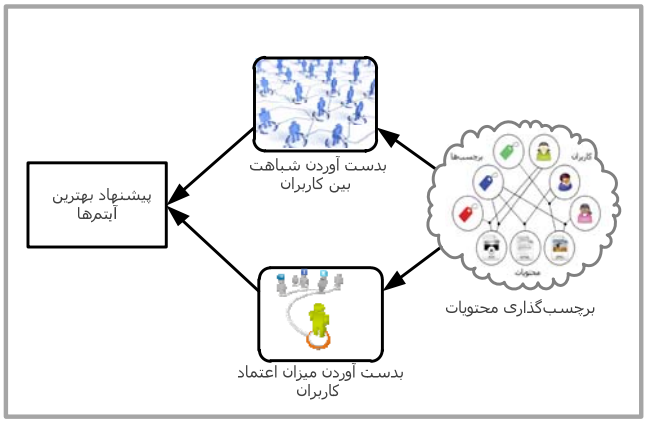
توجه به برچسب‌ها برای دخالت دادن آن در سیستم‌های پالایش مشارکتی در سالهای اخیر بیشتر شده است؛ پیش از این بیشتر کارهای انجام شده در زمینه سیستم‌های پیشنهاد دهنده روی سیستم‌هایی کار کرده اند که بر اساس امتیازدهی می‌باشند. آدامویچ و همکارانش در [14] نشان داده اند که اطلاعات متنی برای سیستم‌های پیشنهاد دهنده مفید می‌باشند. در [15] برچسب‌ها را به ماتریس رتبه بندی کاربر-آیتم اضافه کرده است. یعنییک بار برچسب‌هایی را که به آیتم‌ها داده شده را در بُعد کاربرها و یک بار برچسب‌هایی که کاربران استفاده کرده اند در بعد آیتم‌ها اضافه کرده و سپس بر اساس دو الگوریتم استاندارد پالایش مشارکتی به نام‌های روش مبتنی بر کاربر و روش مبتنی بر آیتم پیشنهادات خود را می‌دهد. آن‌ها نهایتا روشیارائه کرده‌اند برای ترکیب این دو روش پایه، که آنرا همجوشی(Fusion) نامیده‌اند و نشان داده‌اند که پیشنهاداتبهتری را بدست آورده‌اند.روش آن‌ها تا حدی مشکل کاربران جدیدیا کم کار را کم می‌کند ولی به نظر می‌رسد این مدل مشکلات مقیاس پذیری را افزایش می‌دهد، زیرا از آنجا که برچسب‌ها به هر دو بعد ماتریس اضافه می‌شوند ماتریس رشد زیادی پیدا می‌کند که به آن در مقاله اشاره ای نشده است. در مطالعه دیگرییک سیستم پالایش مشارکتی مبتنی بر برچسب ارائه کرده اند که از همپوشانی برچسب‌ها برای محاسبه شباهت بین کاربران استفاده کرده است[16]. اما در مورد مشکلات عدم همپوشانی برچسب‌ها که در بسیاری از موارد پیش می‌آید صحبتی نشده است.

کارهای مبتنی بر اعتماد

در بحث اعتماد تحقیقاتی بر اساس ساختار و اطلاعات موجود در شبکه اجتماعی صورت گرفته است به این معنی که بر اساس امکانات سیستم اجتماعی پیاده سازی شده به دنبال راه حل‌هایی برای مشخص کردن میزان اعتماد بین کاربران یا محتویات درون شبکه بوده اند. در یک سیستم برچسب گذاری اجتماعی اعتماد را در سه سطح مختلف می‌توان در نظر گرفت: محتویات ، برچسب‌ها و کاربران [17]. مدلی که می‌توان برای اعتماد در هر یک از این سطوح تعریف کرد ممکن است هر کدام جداگانه در سیستم اعمال شوند یا می‌توان سطوح مختلف را به صورت ترکیبی با هم به عنوان یک مدل اعتماد شناخت، برای مثال برای بدست آوردن قابلیت اعتماد یک کاربر ممکن است نه تنها پروفایل کاربر را در نظر گرفت بلکه حتی آیتم‌هایی را که کاربر به سیستم اضافه کرده است را نیز برای بدست آوردن میزان اعتماد کاربران در نظر گرفت(مانند [18]). در [19] بر حسب امتیازات داده شده به آیتم‌ها (و نه برچسب‌ها) دو سطح از اعتماد یکی در سطح کاربران یکی در سطح محتوایی که کاربران به سایت اضافه می‌کنند تعریف کرده اند. از این دو معیار برای پیشنهادات مبتنی بر اعتماد از سه روش مختلف، یعنی وزن دهی به مقادیر اعتماد، فیلتر کردن کاربرانیا آیتم‌هایی که که مقدار اعتماد بدست آمده در آنها از یک حد آستانه کمتر بوده و نیز ترکیب این‌دو روش استفاده شده است و نهایتا به این نتیجه رسیده اند که معیار خطای پیشبینی در روش‌های استفاده از اعتماد کمتر شده است. در مقاله دیگر [20] کاربران به همان صورتی که به آیتم‌ها از ۱ تا ۵ امتیاز می‌دهند می‌توانند به دیگر کاربران درجه‌ای از اعتماد بین ۱ تا ۵ نسبت دهند و سپس با بسط دادن این مقادیر اعتماد بین کاربران درون سیستم،یعنی کاربری که میزان اعتمادش را به کاربر دیگری بیان نکرده است را با استفاده از شبکه اعتمادمیزانی از قابلیت اعتماد بین آنها استنتاج می‌کند. با استفاده از این روش علاوه بر در نظر گرفتن مسئله اعتماد مشکل کاربران کم‌کار را هم تا کمی پوشش می‌دهد. البته در این روش کاربران نیاز دارند که صریحا میزان اعتماد خود را نسبت به بعضی از دیگر کاربران اعلام کنند که این ویژگی در همه سیستم‌های اجتماعی پشتیبانی نمی‌شود. جین و همکارانش [21] از شباهت بین دوستان در شبکه‌های اجتماعی به عنوان عامل اعتماد استفاده کرده‌اند و سپس با استفاده از یک الگوریتم گام تصادفی تغییریافته روی شبکه اعتماد دوستان، k آیتم را به هر کاربر پیشنهاد می‌دهند که البته این روش ارائه شده نیاز دارد که در سایت امکان اضافه کردن دوستان برای کاربران وجود داشته باشد.

سیستم پیشنهادی

در شکل ۲ شمای سیستم پیشنهادی را نشان داده‌ایم. همانطور که در سمت راست شکل می‌بینید کاربران برچسب‌های مختلف را به محتویات درون شبکه نسبت می‌دهند. سپس برای دادن پیشنهادات کار خود را در دو بخش مجزا ادامه می‌دهیم. در یک بخش شباهت‌های بین کاربران را بر اساس ماتریسuser-item بدست می‌آوریم و در بخش دیگر میزان اعتماد کاربران را بر اساس رفتارشان در برچسب زدن‌ها بدست می‌آوریم و در نهایت با ترکیب این مقادیر بدست آمده طبق آنچه در ادامه خواهیم گفت پیشنهادات خود را می‌دهیم.



شکل ۲: شمای سیستم پیشنهادی

ایجاد ماتریس کاربر – آیتم

می‌خواهیم مقادیر درون ماتریس را به جای اینکه به روش پایه و با مقادیر ۰ و ۱ پر کنیم با وزن دادن به آیتم‌ها بر اساس برچسب‌هایی که یک کاربر به آیتم‌های مختلف می‌زند بدست آوریم. به طور کلی می‌توان گفت هرچه یک برچسب خاص توسط یک کاربر بیشتر استفاده شده باشد کاربر نسبت به آن منبع مورد نظر علاقه بیشتری دارد. بنابراین با این فرض شروع می‌کنیم که یک کاربر با احتمال بیشر منابعی را ترجیح می‌دهد که با برچسب‌هایی علامت خورده باشند که توسط آن کاریر به دفعات بیشتری به کار رفته است، و همچنین فرض می‌کنیم که یک کاربر برای منابع مشابه برچسب‌های مشابه استفاده می‌کند. به این ترتیب وزن یک برچسب را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$W_{tag}(u,r) = \sum_{t_a \in tag(u,r)} W_{u,t_a} \quad (۱)$$

$tag(u,r)$ مجموعه برچسب‌هایی می‌باشد که کاربر u به منبع r اختصاص داده است، W_{u,t_a} مقدار وزن هر برچسب t_a را در $tag(u,r)$ مشخص می‌کند، وزن بدست آمده از فرمول مشخص می‌کند که چقدر یک کاربر یک منبع r را می‌پسندد. W_{u,t_a} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{u,t_a} = \frac{freq(u,t_a)}{\sum_{i=1}^{k} freq(u,t_i)} \quad (۲)$$

که $freq(u,t_a)$ تعداد دفعاتی را که برچسب t_a توسط u استفاده شده است را نشان می‌دهد و k تعداد کل برچسب‌هایی است که این کاربر به عنوان برچسب برای هر منبعی به کار برده است.

با توجه به تعریف مقدار $W_{tag}(u,r)$ عددی حقیقی بین ۰ و ۱ بدست می‌آید و هرچه این مقدار به ۱ نزدیکتر باشد علاقه کاربر با آن آیتم بیشتر می‌باشد. مزیت این روش این است که ما مشکلات زبان طبیعی مانند ابهام و کلمات مترادف را که از مشکلات اصلی در مواجه با برچسب‌ها می‌باشد[22] را نداریم زیرا وزن دهی در این روش برای هر کاربر به طور مستقل صورت می‌گیرد. لازم به توضیح است که هرگاه کاربر برچسب‌گذاری جدیدی انجام می‌دهد پروفایلش به روز می‌شود به این معنی که مقادیر $W_{tag}(u,r)$ به ازای rهای مختلف به صورت پویا می‌باشد و تغییر می‌کند.

محاسبه شباهت

برای محاسبه شباهت بین دو کاربر ما از روش شباهت کسینوسی استفاده می‌کنیم:

$$sim(u,v) = \frac{\sum_{x \in X(u,v)} W_{tag}(u,x) \times W_{tag}(v,x)}{\sqrt{\sum_{x \in X(u,v)} W^2_{tag}(u,x)} \times \sqrt{\sum_{x \in X(u,v)} W^2_{tag}(v,x)}} \quad (۳)$$

$X(u,v)$ که برچسب‌گذاری کرده v و u منابعی هستند که کاربران شبیه‌ترین همسایه استفاده kاند واز فرمول بالا برای پیدا کردن ها همان وزن‌های بدست آمده از فرمول (۱) می‌باشد. W_t می‌شود. در نهایت از فرمول (۴) برای محاسبه ارزش آیتم‌های پیشنهادی استفاده می‌کنیم:

$$Score(u,r) = \frac{\sum_{v \in neighbor(u)} W_{tag}(v,r) \times sim(u,v)}{\left|\sum_{v \in neighbor(u)} sim(u,v)\right|} \quad (۴)$$

که در آن $Neighbor(u)$ مجموعه همسایگان کاربر u می‌باشد.

محاسبه اعتماد

همانطور که در [23] اشاره شده است اگر تعداد مناسبی کاربر فعال وجود داشته باشند، در طی زمان یک توزیع قابل اعتمادی از تعدادی محدود برچسب در شبکه به وجود می‌آید. این توزیع را می‌توان به عنوان همگرایی برچسب‌ها تفسیر کرد. بنابراین می‌توان از دانش جمعی که به صورت غیرصریح در شبکه‌های اجتماعی وجود دارد استفاده کرد و میزانی از قابلیت اعتماد برای کاربران بدست آورد.

آ)**اعتماد در سطح تراکنش:** اگر یک تراکنش در شبکه برچسب‌گذاری اجتماعی را به صورت سه‌گانه (u,T_{TR},r) درنظر بگیریم که u کاربر، r منبعی که توسط آن کاربر برچسب گذاری شده و T_{TR} مجموعه برچسب‌هایی باشد که کاربر به منبع r زده است، ارزش اطلاعاتی یا قابلیت اعتماد آن تراکنش را به صورت میانگین ارزش برچسب‌های مختلفی که کاربر به منبع مورد نظر زده است تعریف می‌کنیم:

$$V_{TR} = \frac{\sum_{t \in T_{TR}} V_r(t)}{|T_{TR}|} \quad (۵)$$

که $V_r(t)$ ارزش برچسب t می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$V_r(t) = \frac{S_r(t)}{\sum_{t' \in T_r} S_r(t')} \quad (۶)$$

که $Sr(t)$ تعداد دفعاتی است که برچسب t توسط کاربران مختلف به منبع r نسبت داده شده است و T_r مجموعه تمام برچسب‌های زده شده به آن منبع می‌باشد. همانطور که در فرمول (۵) مشاهده می‌کنید، ارزش اطلاعاتی یک تراکنش، دانشی را که همراه با آن تراکنش می‌باشد را نشان می‌دهد. یک تراکنش با ارزش اطلاعاتی کم به معنی واگرایی از جمعیت است و همچنین نشان دهنده ارزش کم اطلاعاتی

برچسب‌های زده شده در آن تراکنش می‌باشد.

ب) اعتماد در سطح کاربر: برای آنکه ما میزانی از قابلیت اعتماد به یک کاربر را بدست آوریم ساده ترین راه حل ممکن است که میانگین ارزش تراکنش‌هایی که در قسمت قبل بدست آورده ایم را برای کاربر مربوطه حساب کنیم، اما این کار اهمیتمنابع را در نظر نمی‌گیرد. از آنجا که محبوبیت منابع در سیستم‌های اجتماعی مهم است ما برای هر کدام از منابع درون ماتریس کاربر-آیتم برایبک کاربر u درجه ای از اهمیت را تعریف می‌کنیم:

$$I(r) = \frac{|U_r|}{|U|} \quad (۷)$$

که U_r مجموعه کاربرانی است که r را برچسب‌گذاری کرده‌اند. نهایتا میزان اعتماد هر کاربر به صورت میانگین وزن دار شده ارزش تراکنش‌های آن کاربر می‌باشد که I(r) را به عنوان وزن در نظر می‌گیریمو TR_u مجموعه تراکنش‌های کاربر u می‌باشد:

$$Trust(u) = \frac{\sum_{TR^t \in TR_u} I(r) \times}{|TR_u|} \quad (۸)$$

شباهت و اعتماد

تصمیم گرفتیم برای ترکیب معیارهای شباهت و اعتماد بدست آمده توسط فرمول‌های ارائه شده وزن یکسانی برای هر دو معیار در انتخاب همسایگان با امتیاز بالا در نظر بگیریم. به این منظور در دو گام این کار را انجام می‌دهیم. در گام اول مقادیر بدست آمده برای شباهت و اعتماد بین کاربران را نرمال سازی می‌کنیم. نرمال سازی بازه‌ها معمولا برای تنظیم مقادیر با مقیاس‌های متفاوت به منظور میانگین گیری استفاده می‌شود. برای این منظور ما ابتدا میزان شباهت نزدیک ترین همسایه و دورترین همسایه به کاربر مورد نظر را پیدا کرده $\{Max_u(similarity), Min_u(similarity)\}$ و با استفاده از فرمول نرمال سازی مینیمم-ماکزیمم زیر مقادیر همسایگان را به اعداد صحیحی بین ۰ و ۱ تبدیل می‌کنیمبه طوریکه نزدیک‌ترین همسایه مقدار ۱ و دورترین همسایه مقدار ۰ را می‌گیرد.

(۹)

$$A.\ Value_n = \frac{Sim(u,n) - Min_u(similarity)}{Max_u(similarity) - Min_u(similarity)}$$

و به همین صورت این کار را برای مقادیر اعتماد انجام می‌دهیم:

$$A.\ T_n = \frac{Trus_u(n) - Min_u(Trus}{Max_u(Trust) - Min_u(Tr} \quad (۱۰)$$

که $Max_u(Trust)$ و $Min_u(Trust$ به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر اعتماد همسایگان کاربر u می‌باشد و $Trus_n$ میزان اعتماد بدست آمده از فرمول (۸) برای همسایه nام او می‌باشد.

در نهایت در گام بعد برای محاسبه ارزش نهایی همسایگان از میانگین بین مقادیر اعتماد و شباهت نرمال شده استفاده می‌کنیم:

$$RankValue_u(n) = \frac{Value_n}{2} \quad (۱۱)$$

که $RankValue_u(n)$ به معنی ارزش همسایه nام برای کاربر u می‌باشد. و در نهایت با انتخاب k همسایه با بیشترین وزن با استفاده از فرومول (۴) به ارائه پیشنهادات می‌پردازیم.

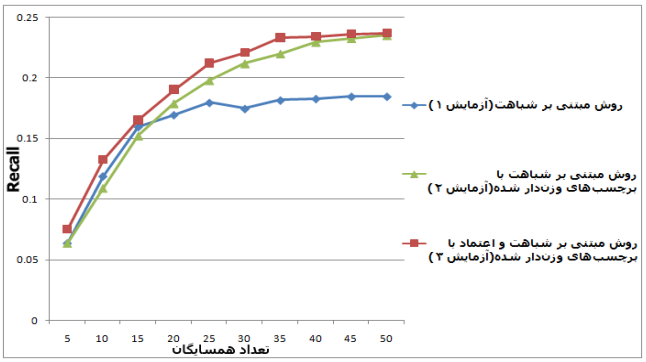
پیاده سازی و نتایج

دیتاست: برای بررسی کار خود از دیتاست سایت معتبر Movielens استفاده کردیم. در این سایت کاربران به امتیازدهی،برچسب‌گذاری و جستجو برای فیلم‌های مورد علاقه‌شان می‌پردازند. این دیتاست که در سال ۲۰۱۱ منتشر شده است توسط گروه تحقیقاتیgrouplens منتشر شده که شامل ۲۱۱۳ کاربر، ۱۰۱۹۷ فیلم مختلف می‌باشد. در آن ۱۳۲۲۲ برچسب مختلف و در کل شامل ۴۷۹۵۷ رکورد می‌باشد. کاربران به طور میانگین ۲۲/۶۹۶ برچسب مختلف را استفاده کرده اند و به هر فیلم به طور میانگین ۸/۱۱۷ برچسب متفاوت نسبت داده شده است. برای پیاده سازی داده‌ها را به دو دسته "مجموعه آموزش" و "مجموعه تست" تقسیم کردیم به طوری که به ازای هر کاربر ٪۸۰ تراکنش‌هایش را به طور تصادفی انتخاب و در مجموعه آموزش و ٪۲۰ دیگر را در مجموعه تست قرار دادیم. فیلم‌هایی را که بیشتر از یک کاربر مشاهده نکرده اند را نیز از دیتاست حذف کردیم زیرا اطلاعات مفیدی را برای ما ارائه نمی‌دهند.

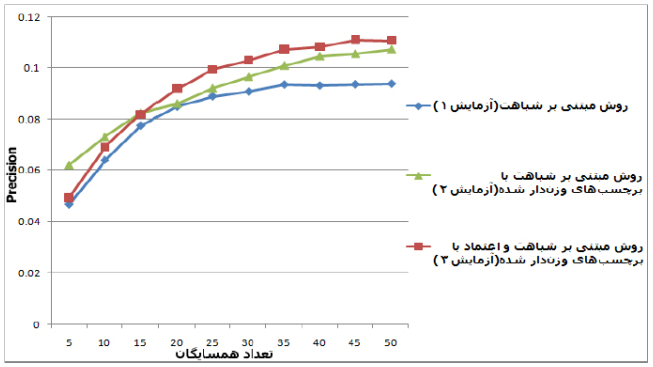
اجرا و نتایج:تحقیق خود رادر سه آزمایش مختلف، یعنییکبار با استفاده از روش مبتنی بر شباهت بدون وزن دار کردن برچسب‌ها(که روش پایه برای سیستم‌های پالایش مشارکتی می‌باشد)،و در آزمایش دوم با معیار شباهت بدست آمده از وزن دار کردن برچسب‌ها و در نهایت به روش ترکیب دو معیار اعتماد و شباهت با برچسب‌های وزن دار شده بین کاربران پیاده سازی کردیم. برای هر کاربر به ازای ۵ تا ۵۰ تا از نزدیک ترین همسایگان انتخاب شده با افزایش ۵ تایی در هر بار محاسبات را انجام شده و ۱۰ آیتم به هر کاربر پیشنهاد شده است. برای ارزیابی نتایج از سه معیارRecall، Precision و پوشش (coverage) استفاده می‌کنیم. معیارRecallیک پارامتر عمومی برای ارزیابی سودمند بودن الگوریتم پیشنهادی به کار می‌رود و Precisionبرای اندازه‌گیری مفید بودن الگوریتم پیشنهادی به کار می‌رود که از این دومعیار برای ارزیابی دقت سیستم در ۱۰ آیتم پیشنهاد شده به هر کاربر استفاده کرده ایم. در ارزیابی خود هر آیتمی که پیشنهاد شده و با هر آیتم موجود در مجموعه تست برابر بود آنرا به عنوان برخورد در نظر می‌گیریم. که نتایج را در (شکل‌های ۳ و ۴) مشاهده می‌کنیم.

برای "پیدا کردن تمام آیتم‌های خوب" ازمعیارپوشش استفاده می‌کنیم. در واقع پوشش درصدی از دیتاست را که سیستم پیشنهاد دهنده قادر به پیشگویی برای آن است را حساب می‌کند(شکل ۵).برای

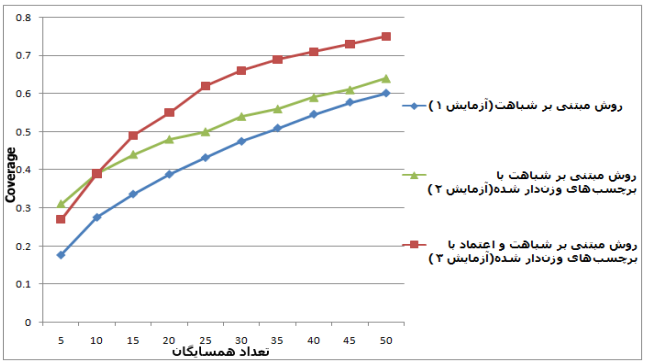
مطالعه جزئیات بیشتر مورد معیارهای ارزیابی شده می‌توانید بـه [24] مراجعه کنید.



شکل ۳: نتایجRecall بدست آمده به ازای تعداد مختلف همسایگان



شکل ۴: نتایج Precision بدست آمده به ازای تعداد مختلف همسایگان



شکل ۵: نتایجCoverage بدست آمده به ازای تعداد مختلف همسایگان

با مقایسه نتایج بدست آمده همانطور که انتظار می‌رفت روش‌هایی کـه از برچسب‌های وزن‌دار شده اسـتفاده مـی‌کننـد یعنـی آزمـایش ۲ و ۳ نتایج بهتری از روش پایه دارند. Recall در روش مبتنی بر اعتمـاد در تمامی نقاط نسبت به روشی که فقط مبتنی بر شباهت با آیتم‌های وزن دار شده می‌باشد بهبود داشـته اسـت. بـا مقایسـه نتـایج Precision دیده می‌شود که در دو روش ۲ و ۳ نتایج مبتنی بر اعتماد برای نقاطی که تعداد همسایگان بیشتر از ۲۰ می‌باشد بهبود کمی داشـته اسـت. از مقایسه نتایج بدست آمده از معیار پوشـش مشـاهده مـی‌شـود بـین دو روش ۱ و ۲ که هر دو مبتنی بر شـباهت هسـتند روش وزن‌دار کـردن آیتم‌ها بهبود نسبی داشته است ولـی آزمـایش ۳ بهبـود قابـل تـوجهی داشته است که می‌توان گفت اعتماد در پیدا کردن همه آیتم‌های خوب نقش چشمگیری داشته است و همچنین مـی‌تـوان ایـن را در انتخـاب همسایگان بهتر در این زمینه نسبت به روش‌هـای مبتنـی بـر شـباهت تفسیر کرد.

نتیجه گیری

در سیستم ارائه شده ما معیار اعتماد را به همراه معیـار شـباهت بـرای انتخاب همسایگان به کـار گـرفتیم و اینکه اعتمـاد را تنهـا بـا اسـتفاده از برچسب‌هایی که کاربران به محتویات درون شبکه مـی‌زننـد و مقایسـه آن با برچسب‌های دیگر کاربران محاسبه می‌کنـیم. مزیـت دیگـر روش پیاده سازی شده این است که برای هر کاربر بدون توجه به دیگر اعضا میزان علاقه کاربران به آیتم‌های مختلف را محاسبه و مقادیر لازم را در ماتریسکاربر-آیتم را بدست آوریم که این کار باعث می‌شـود مشـکلات زبان طبیعی مانند کلمات مترادف یا ابهام در کلمات را نداشـته باشـیم. در نهایت همانطور که در نتایج بدست آمده مشاهده شد، این نتیجـه را میگیریم کـه اطلاعـات درون دیتاسـت انتخـاب شـده دارای داده‌هـای نویزیاخرابکارانه قابل توجهی نبوده اسـت ولـی در کـل روش پیشـنهاد شده همسایگان بهتری را انتخاب می‌کند زیرا مجموعه تمام آیـتم‌هـای خوب پیشنهاد شده بهبود قابل توجهی داشته است. به عنـوان کارهـای آینده می‌توان به دنبال روش بیهنه‌ای برای ترکیب دو معیار شـباهت و اعتماد بین کاربران بود و همچنین می‌توان روی پیـداکردن روش‌هـایی برای کاهش حجم محاسبات بـا کوچـک کـردن مـاتریس کـاربر-آیـتم تحقیق کرد.

مراجع

[1] Z. Xu, Y. Fu, J. Mao, D. Su, "Towards the semantic web: Collaborative tag suggestions" In Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web (WWW 2006), Edinburgh, Scotland, 2006.

[2] O. Nasraoui, M. Soliman, E. Saka, A. Badia and R. Germain, "A Web Usage Mining Framework for Mining Evolving User Profiles in Dynamic Web Sites", IEEE TRANSACTIONS ON KNOWLEDGE AND DATA ENGINEERING, 2008, vol. 20, 1041-4347.

[3] P. Achananuparp, H. Han, O. Nasraoui and R. Johnson, "Semantically Enhanced User Modeling", Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Applied Computing (Seoul, Korea, March 11 - 15, 2007). SAC '07. ACM, New York, NY, 1335-1339.

[4] N. Zheng, Q. Li, "A recommender system based on tag and time information for social tagging systems", Expert Systems with Applications, journal homepage: www.elsevier.com/locate/eswa. 2011.

[5] B. Sarwar, G. Karypis, J. Konstan, J. Reidl, "Item-based collaborative filtering recommendation algorithms", In Proceedings of the 10th Intl. World Wide Web (WWW2001), New York, NY, USA: ACM, 2001.

[6] C. Marlow, M. Naaman, D. Boyd, and M. Davis, "HT06, tagging paper, taxonomy, Flickr, academic article, to read," in Proc. ACM HT, Aug. 2006, pp. 31–40.

[7] K. Liu, B. Fang, and Y. Zhang, "Detecting tag spam in social tagging systems with collaborative knowledge," in Proc. IEEE FSKD, Aug. 2009, pp. 427–431.

[8] L. S. Kennedy, S.-F. Chang, and I. V. Kozintsev, "To search or to label?: Predicting the performance of search-based automatic image classifiers," in Proc. ACM MIR, Oct. 2006, pp. 249–258.

[9] M. Balabanovic, Y. Shoham. Fab, "Content-based, collaborative recommendation", Commun. ACM, 40:66–72, 1997.

[10] M. Claypool, A. Gokhale, T. Miranda, P. Murnikov, D. Netes, M. Sartin, "Combining content-based and collaborative filters in an online newspaper", In Proceedings of ACM SIGIR Workshop on Recommender Systems, August 1999.

[11] K.H.L. Tso, L. Schmidt-Thieme, "Evaluation of attribute-aware recommender system algorithms on data with varying characteristics", In Proceedings of the 10th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD 2006), pages 831–840, Springer, 2006.

[12] L. Marinho, L. Schmidt-Thieme, "Collaborative tag recommendations", In Proceedings of 31st Annual Conference of the Gesellschaft fr Klassifikation (GfKl), Freiburg, Springer, 2007.

[13] G. Mishne, "Autotag: a collaborative approach to automated tag assignment for weblog posts", In WWW '06: Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web, pages 953–954, New York, NY, USA, ACM Press, 2006.

[14] G. Adomavicius, R. Sankaranarayanan, S. Sen, A. Tuzhilin, "Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach", ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 23, 103–145, 2005.

[15] K.H.L. Tso-Sutter, L.B. Marinho, L Sch.Thieme, "Tag-aware Recommender Systems by Fusion of Collaborative Filtering Algorithms", The Symposium On Applied Computing(SAC) supported by ACM, March 2008.

[16] R. Nakamoto, S. Nakajima, J. Miyazaki, S. Uemura, "Tag-based contextual collaborative filtering", In Proceedings of 18th IEICE data engineering workshop, 2007.

[17] B. Markines, C. Cattuto, and F. Menczer, "Social spam detection," in Proc. ACM AIRWeb, Apr. 2009, pp. 41–48.

[18] B. Krause, C . Schmitz, A. Hotho, and G. Stum, "The anti-social tagger: Detecting spam in social bookmarking systems," in Proc. ACM AIRWeb, Apr. 2008, pp. 61–68.

[19] J. O'Donovan, B. Smyth, "Trust in Recommender Systems", ACM Press, 10th International Conference on Intelligent User Interfaces, 167-174, Jan. 2005.

[20] P. Massa, P. Avesani,"Trust-aware Recommender Systems", RecSys-ACM Conference On Recommender Systems, Oct. 2007.

[21] J. Jin, Q. Chen, "A Trust-based Top-k Recommender System Using Social Tagging Network" IEEE 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery(FSKD), pp. 1270-1274, 2012.

[22] M. Degemmis, P.L.G. Semeraro, P. Basile, "Integrating tags in a semantic content-based recommender", In Proceedings of the 2008 ACM conference on recommender systems (RecSys'08), Lausanne, Switzerland (pp. 163–170), 2008.

[23] H. Halpin, V. Robu, and H. Shepherd, "The complex dynamics of collaborative tagging", in Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web. ACM New York, NY, USA, pp. 211–220, 2007.

[24] J. L. Herlocker, J. A. Konstan, L. G. Terveen, J. T. Riedl, "Evaluating Collaborative Filtering Recommender Systems" ACM Transactions on Information Systems, Vol. 22, No. 1, Pages 5–53, January 2004.

استفاده از یادگیری Q برای تعیین قیمت فروش محصول در محیط TACSCM

آرمن معتدل
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
A.Motadel@qiau.ac.ir

بهروز معصومی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
Masoumi@qiau.ac.ir

چکیده

مدیریت زنجیره تأمین یکی از مسائل چالش برانگیز در تجارت الکترونیک مبتنی بر عامل می‌باشد. عامل‌های شرکت‌کننده در مسابقات TACSCM با سه وظیفه اصلی؛ تأمین قطعات، فروش محصولات و مدیریت فرایندهای تولید خود مواجه هستند. فروش محصولات نیاز به تعامل عامل با خریداران دارد و عامل بایستی استراتژی ویژه‌ای برای تعیین قیمت پیشنهادی داشته باشد. در این مقاله از روش‌های یادگیری در بخش فروش محصولات استفاده می‌کنیم. در محیط TACSCM اطلاعات مربوط به کمترین و بیشترین قیمت فروش هر نوع محصول مربوط به روزهای قبل در دسترس می‌باشد و هدف این مقاله بکارگیری یادگیری Q برای تعیین قیمت فروش مناسب در بازه‌ای میان این دو قیمت می‌باشد. تحلیل و مقایسه نتایج بدست آمده، نشان از سودآوری و رقابتی بودن روش پیشنهادی قیمت‌دهی دارد.

کلمات کلیدی

پیشنهاد قیمت فروش، رقابت عامل‌های تجاری در مدیریت زنجیره تأمین(TACSCM)، مدیریت زنجیره تأمین مبتنی بر عامل، یادگیریQ

مقدمه

مذاکره با مشتریان برای فروش محصولات یکی از مسائلی است که عامل‌های شرکت‌کننده در مسابقات TACSCM با آن مواجه می‌باشند. عامل‌ها بایستی قیمتی را پیشنهاد دهند که از قیمت رزرو مشتری کمتر باشد و مشتریان قیمتی را می‌پذیرند که در میان تمامی قیمت‌های پیشنهادی توسط عامل‌ها کمترین باشد.

سناریوی TACSCM، محیط مناسبی را برای آزمایش روش‌های ارائه شده در زنجیره تأمین فراهم می‌کند. در این محیط شبیه‌سازی اقتصاد محور، عامل‌ها برای تأمین قطعات، مدیریت کارخانه و انبار و فروش محصولات تولیدی به مشتریان به رقابت می‌پردازند. از آنجایی که در این محیط، قطعات و محصولات تولیدی محدود شده‌اند، نیازی به توجه به مسائلی نظیر طراحی محصول جدید نمی‌باشد و تغییرات بازار همچون تورم و نوسان نرخ ارز بر آن تأثیری ندارند.

اطلاعات محدودی از گزارش‌های بازار در طول اجرای مسابقات وجود دارد و عامل‌های تولیدکننده تنها با تأمین‌کنندگان و مشتریان در ارتباط هستند و هیچ‌گونه اطلاعاتی به طور مستقیم از یکدیگر دریافت نمی‌کنند. استفاده از این اطلاعات گزارش شده در تصمیم‌گیری عامل‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

تعیین اینکه محصول تولیدی به چه قیمتی به مشتری فروخته شود یکی از مسائل مطرح در زنجیره تأمین می‌باشد. تاکنون روش‌هایی همچون شبکه‌های عصبی و برنامه‌نویسی ژنتیک، استدلال فازی [1]، قیمت‌گذاری پویا [2] برای پیش‌بینی قیمت مورد بررسی قرار گرفته‌اند.[3]به بررسی مسأله پذیرش یا عدم پذیرش سفارش‌ها و تنظیم قیمت‌ها پرداخته‌است.در [4]، روش‌های یادگیری برای توسعه استراتژی‌های فروشنده موفق در مدیریت زنجیره تأمین پویا، مسأله پیش‌بینی قیمت سفارش مشتری و انتخاب استراتژی فروش که می‌تواند به سود بیشتری در زمینه مدیریت زنجیره تأمینمنجر شود مورد بررسی قرار گرفته است.[5]با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه K، قیمت‌های فعلی و آتی کامپیوترها را پیش‌بینی نموده است.[6] با بکارگیری نوعی از درخت رگرسیون به نام درخت توزیع که می‌تواند توزیعی از قیمت‌های برنده را با استفاده از داده‌های بازی‌های قبلی پیش‌بینی کند، به پیش‌بینی قیمت کامپیوترها پرداخته است.[7]بر روی وظیفه فروش یک عامل تولید کننده در TAC SCMتمرکز کرده است.

در این مقاله، روشی مبتنی بر یادگیری Q برای تعیین قیمت فروش محصول ارائه شده است که با ایجاد مقادیر Q سعی در انتخاب این قیمت از بازه میان کمترین و بیشترین قیمت فروش گزارشی روز قبل دارد.

در ادامه مقاله، در بخش دوم به معرفی محیط TACSCM می‌پردازیم. سپس به ترتیب در بخش سوم مروری بر یادگیری Q خواهیم داشت و در بخش چهارم روش پیشنهادی بر پایه الگوریتم یادگیری Q ارائه خواهد شد. در بخش پنجم نتایج حاصل از اجرای

روش پیشنهادی در محیط TACSCM را ارائه می‌کنیم. در بخش ششم نیز به نتیجه‌گیری از پژوهش انجام شده خواهیم پرداخت.

محیط TAC SCM

در این محیطرقابتی-تجاری که توسط سرور بازی مدیریت می‌شود،شش عامل به عنوان تولیدکننده کامپیوتر با هم به رقابت می‌پردازند و عاملی برنده خواهد بود که در پایان بازی، بیشترین موجودی را در حساب بانکی خود داشته باشد. وظیفه این عامل‌ها خرید قطعات از هشت تأمین‌کننده، مونتاژ ۱۶ نوع مختلف از کامپیوترهای شخصی و فروش آنها به مشتریان می‌باشد. مدت زمان مسابقه برابر ۲۲۰ روز شبیه‌سازی شده است که هر یک از این روزها معادل ۱۵ ثانیه از زمان واقعی می‌باشد. در شروع هر روز، عامل‌ها پیام‌هایی از سرور بازی دریافت می‌کنند که اطلاعاتی درباره وضعیت مسابقه همانند درخواست‌های مشتریان برای قیمت را در اختیار آنها قرار می‌دهد.

مشتریان برای خرید کامپیوتر درخواست قیمت خود (RFQ) را به تمامی شش عامل شرکت‌کننده ارسال می‌کنند که این RFQها حاوی اطلاعاتی همچون نوع کامپیوتر درخواستی، تعداد، تاریخ تحویل، قیمت رزرو و جریمه تأخیر در تحویل می‌باشند. عامل‌ها پس از دریافت RFQها، قیمت پیشنهادی خود را به مشتریان ارسال می‌کنند و عاملی که پایین‌ترین قیمت را پیشنهاد داده باشد سفارش را دریافت خواهد نمود. در هر روز گزارش مربوط به کمترین و بیشترین قیمت فروش هر محصول در روز قبل برای عامل‌ها ارسال می‌شود که می‌تواند به عامل‌ها در انتخاب قیمت مناسب کمک نماید.

یادگیری Q

روش یادگیری Q، یک تکنیک یادگیری مستقل از محیط است که براساس دریافت پاداش های عددی از محیط کار می کند. در این روش به هر عملی که عامل ممکن است انجام دهد، یک مقدار Q نسبت داده می شود که نمایانگر میزان خوب بودن آن عمل است. در طی فرایند یادگیری، عامل عملی را انتخاب و در ازای آن پاداشی را که نشان دهنده میزان خوب بودن آن عمل است دریافت می‌کند، سپس به کمک این پاداش‌ها مقادیر Q بروز می‌شوند. با گذشت زمان از شروع یادگیری عامل مقادیر متناسب با هر عمل را یاد می‌گیرد و در نهایت قادر خواهد بود در هر حالت، مناسب‌ترین عمل را انتخاب کند [8].

روش پیشنهادی

در محیط TAC SCM، بیشترین و کمترین قیمت سفارش روز قبل مربوط به هر نوع کامپیوتر در هر روز قابل دستیابی می‌باشد. این قیمت‌ها را در روش پیشنهادی قیمت‌دهی با استفاده از یادگیری Q مورد استفاده قرار داده‌ایم. با توجه به اینکه هر نوع کامپیوتر یک قیمت پایه دارد، می‌توانیم با تقسیم نمودن بیشترین و کمترین قیمت سفارش روز قبل بر این قیمت پایه، اعدادی را بدست آوریم. این اعداد را به عنوان کران بالا و پایین برای بازه‌ای که می‌خواهیم به کمک یادگیری Q، از آن عددی را به عنوان Pr انتخاب کنیم، در نظر می‌گیریم.

$$Z = \frac{lowPrice}{BasePrice} \qquad (1)$$

$$X = \frac{HighPrice}{BasePrice}$$

$Pr \in [Z, X]$ می‌باشد. بازه $[Z, X]$ را به پنج زیر بازه تقسیم می‌نماییم. با انتخاب Pr از بین یکی از این پنج زیربازه به کمک یادگیری Q و ضرب آن در قیمت پایه کامپیوتر قادر به پیشنهاد قیمتی متعادل به مشتری خواهیم بود که قیمتی میان بیشترین و کمترین قیمت سفارش روز قبل می‌باشد.

$$OfferPrice = Pr * BasePrice \qquad (2)$$

برای انتخاب Prاز دو نوع یادگیری Q با حالت و مستقل از حالت استفاده می‌نماییم. در روش با حالت نیاز به تعریف حالت (State)داریم.حالت روز جاری به کمک Reward متعلق به امروز که از رابطه زیر حاصل می‌شود بدست می‌آید:

$$Reward = \frac{TodayTotalOrder}{YesterdayTotalOffer} * 100 \qquad (3)$$

در رابطه (۳)، Today Total Order، مقدار کل سفارش دریافتی حاصل از پیشنهادهای ارائه شده توسط عامل در روز قبل(Yesterday Total Offer) می‌باشد. با توجه به Reward بدست آمده پنج حالت خواهیم داشت:

$$0 \leq Reward < 50 \rightarrow State0$$

$$50 \leq Reward < 70 \rightarrow State1$$

$$70 \leq Reward < 80 \rightarrow State2$$

$$80 \leq Reward < 90 \rightarrow State3$$

$$90 \leq Reward \leq 100 \rightarrow State4$$

(۴)

در هر حالت، با انتخاب یک عمل یعنی انتخاب یکی از زیر بازه‌ها برای تعیین مقدار Pr، خروجی عمل با احتمال همراه خواهد بود لذا با یک مسأله MDP غیر قطعی مواجه خواهیم بود. دریک MDP غیرقطعی، با توجه به رابطه (۵) نیاز به اطلاعاتی چون تعداد مشاهده حالت (s,a) ، مقدار Q پیشین حالت (s,a) و آخرین روزی که حالت (s,a) رخ داده است داریم که این مقادیر در آرایه‌هایی جداگانه ثبت می‌شوند. پس از انتخاب یکی از زیربازه‌ها به کمک یکی از روش‌های انتخاب عمل، مقادیر Q زیربازه‌ها بروز رسانی می‌شود.

$$\tilde{Q}_n(S,a) \leftarrow (1-\alpha_n)\tilde{Q}_{n-1}(s,a) + \alpha_n[r(s,a) + \gamma max_{a'}\tilde{Q}_{n-1}(s',a')]$$

(۵)

در رابطه (۵)، α_n از طریق زیر محاسبه می‌شود که $visitS_n(s,a)$برابراستبامجموعدفعاتیکهزوج(s,a)مورداستفادهقرار گرفته‌اند:

$$\alpha_n = \frac{1}{1 + visitS_n(s,a)}$$

(۶)

R(s,a)، برای حالت (s,a) فعلی با توجه به آخرین روزی که حالت (s,a) رخ داده تعیین می‌شود. بدین معنا که ابتدا آخرین روزی که حالت (s,a) رخ داده مشخص می‌شود و سپس اطلاعات مربوط به تعداد سفارش‌های دریافتی (Total Order) حاصل از پیشنهادهای ارائه شده در روز قبل (Yesterday Total Offer)آن بازیابی می‌شود.

$$R(s,a) = \frac{TotalOrder}{YesterdayTotalOffer}$$

(۷)

در روش مستقل از حالت، مقادیر Q با توجه به رابطه (۸) بروز رسانی می‌شوند:

$$Q_{a_i}(n) \leftarrow Q_{a_i}(n-1) + \alpha[r_i(n-1) + \gamma max_j Q_{a_j}(n-1) - Q_{a_i}(n-1)]$$

(۸)

که مقدارr_iهمانند$R(s,a)$ بدون در نظر گرفتن حالت محاسبه می‌شود.αنرخ یادگیریو γنرخ کاهش می‌باشد. برای انتخاب عمل در هر دو نوع یادگیری Q با حالت و مستقل از حالت از روش‌های بولتزمن، ε-Greedy ثابت و ε-Greedyکاهشی استفاده می‌نماییم و نتایج آنها را مورد مقایسه قرار می‌دهیم. در روش بولتزمن عمل a در بازی با احتمال زیر انتخاب می‌شود:

$$P(a|s) = \frac{e^{Q(s,a)/T}}{\sum_b e^{Q(s,b)/T}}$$

(۹)

وقتی از الگوریتم نوع Q همراه با روش انتخاب عمل توزیع بولتزمن استفاده می‌کنیم، مقدار اولیه دما و سرعت کاهش آن جستجوگری و بهره‌برداری الگوریتم را در خلال مراحل مختلف یادگیری تنظیم می‌کند.در رابطه (۹)، پارامتر T از دستور زیر بدست می‌آید:

$$T = Max\left(\frac{FactorT * T[Date-1]}{log[Date+1]}, T_{min}\right)$$

(۱۰)

Date معرف روز بازی و T[Date-1] دمای روز قبل و T_{min} مقدار کمینه دما می‌باشد که در طول آزمایش‌ها برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. FactorT ضریبی تعیین‌کننده می‌باشد که تعداد روزهای جستجو و بهره‌برداری را مشخص می‌کند. مقادیر در نظر گرفته شده برای این ضریب ۱/۳، ۱/۵، ۱/۶ و ۱/۷ می‌باشد که به ترتیب موجب می‌شوند تا عامل تا روز ۵۸، ۹۴، ۱۱۹ و ۱۵۱ رفتار جستجوگرانه داشته باشد و پس از آن رفتاری بهره‌بردارانه در پیش گیرد. در روش ε-Greedy ثابت، مقادیر ε در طول اجرا ثابت خواهند بود. مقدار ε ثابت یکی از روش‌های متداول در سیاست ε-Greedy می‌باشد. مقادیر زیاد ε به این معناست که عامل موارد دیگر را جستجو خواهد کرد و از آنها یاد خواهد گرفت اما نه به جای آنچه قبلاً یاد گرفته است در حالیکه مقادیر کم برای ε به معنای این خواهد بود که عامل در اغلب موارد انتخاب‌های دیگر را جستجو نخواهد کرد. مقادیر در نظر گرفته شده برای εدر این روش ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ می‌باشد.

در روش ε-Greedyکاهشی، مقدار ε در طول اجرا کاهش می‌یابد. این روش بدان جهت حائز اهمیت است که در ابتدای شروع بازی، عامل چیز زیادی در مورد بازی نمی‌داند. بنابراین عمل‌های کاملاً تصادفی برای رفتاری جستجوگرانه در آغاز بازی مناسب خواهند بود. همزمان با یادگیری عامل در طول بازی، توانایی عامل در تخمین عملِ بهتر، بیشتر خواهد شد و در نتیجه بهتر خواهد بود که مقدار ε کاهش

پیدا کند. مقدار ε بر اساس رابطه (۱۱)، تعیین و کاهش پیدا می‌کند.

$$\varepsilon = \frac{c}{c + Date} \quad (11)$$

Date بیانگر روز بازی می‌باشد و نرخ کاهش ε به ثابت C وابسته است. مقادیر در نظر گرفته شده برای ثابت C، ۱، ۱۶، ۵۰ و ۱۰۰ می‌باشد.

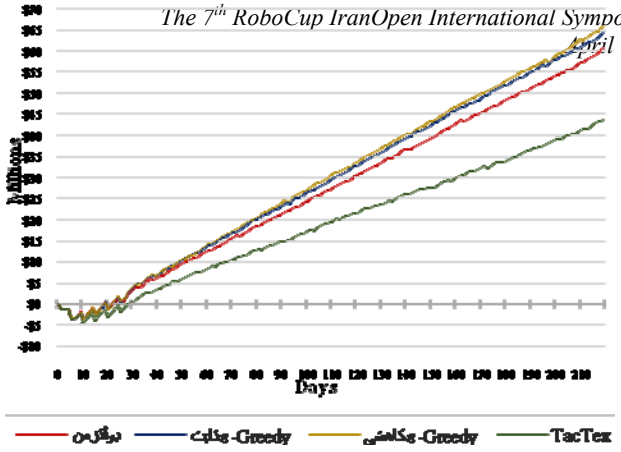
تحلیل و بررسی نتایج تجربی

جهت اعمال روش پیشنهادی قیمت‌دهی نیاز به عاملی داشتیم که بتوانیم بخش مربوط به پیشنهاد قیمت آن را تغییر دهیم. از این رو عامل TacTexرا به عنوان بستری برای پیاده‌سازی، آزمون و تحلیل نتایج روش پیشنهادی انتخاب نمودیم. در طراحی این عامل دو ماژول اصلی وجود دارد، مدیر تأمین و مدیر تقاضا.مدیر تقاضا، تمامی برنامه‌های مرتبط با تولید و فروش کامپیوترها را ساماندهی می‌کند و روش قیمت‌دهی پیشنهادی در ساختار این ماژول پیاده‌سازی می‌شود. برای مطالعه بیشتر در زمینه طراحی این عامل می‌توانید به [9] مراجعه نمایید.

در آزمایش نخست، بهبود حاصل از بکارگیری روش قیمت‌دهی به کمک یادگیری Q نسبت به نتایج عامل TacTex بررسی می‌شود. در آزمایش دوم نیز دو روش یادگیری Q مستقل از حالت و با حالت با هم مقایسه می‌شوند. در تمامی اجراها، هزینه انبار کالا برابر ۴۱ درصد از قیمت پایه هر قطعه، نرخ بهره بدهی بانکی ۱۱ درصد و نرخ سود سپرده بانکی ۵ درصد بوده است و مقدار γ برابر ۰/۸ در نظر گرفته شده است.

آزمایش اول

در این آزمایش انواع یادگیری Q با حالت با توجه به روش انتخاب عمل و مقادیر ذکر شده برای پارامترهای آنها در اجراهایی جداگانه در رقابت با عامل‌های محیط TACSCM مورد بررسی قرار گرفته‌اند. عامل یادگیر Q با روش انتخاب عمل بولتزمن با FactorT = 1.5، عامل یادگیر Q با روش انتخاب عمل ε-Greedy ثابت با ε = 0.2 و عامل یادگیر Q با روش انتخاب عمل ε-Greedy کاهشی با C = 1بهترین نتایج را داشته‌اند که شکل (۱)، درآمد این عامل‌ها و عامل TacTex در طول اجرا را نشان می‌دهد.



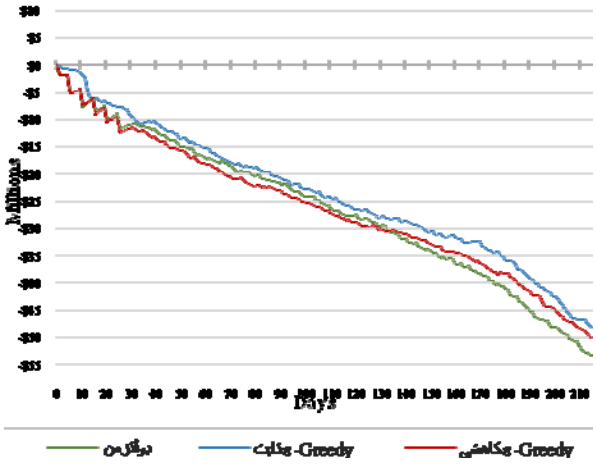
شکل ۱:مقایسه درآمد عامل‌های یادگیر Q و عامل TacTex–آزمایش اول

همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود عامل‌های با روش انتخاب عمل ε-Greedy نتایجی نزدیک بهم داشته‌اند که در این بین عامل ε-Greedy کاهشی موفق به کسب درآمد بیشتری شده است. درآمد عاملTacTex برابر با ۴۳/۸۶ میلیون دلار بوده حال آنکه عامل ε-Greedy کاهشی توانسته درآمدی معادل با ۶۵/۷۵ میلیون دلار کسب نماید که به نسبت عامل TacTex حدود ۴۹/۹ درصد بهبود داشته استکه این موضوع سودآوری قیمت فروش پیشنهادی را تصدیق می‌کند.

آزمایش دوم

در این آزمایش قصد داریم انواع عامل‌های یادگیر Q با روش‌های انتخاب عمل ذکر شده را با هم در مسابقه‌ای شرکت دهیم تا بتوانیم بهترین عامل یادگیر Q در قیاس با یکدیگر را مشخص کنیم. تفاوت این آزمایش این است که عامل‌های یادگیر Q در یک بازی در کنار هم اجرا می‌شوند و نتایج بدست آمده مقداری منفی نیز خواهند بود که به دلیل نزدیکی استراتژی عامل‌ها کاملاً بدیهی می‌باشد.

در ابتدا در هر نوع از عامل‌های یادگیر Q به عنوان مثال عامل یادگیر Q با روش انتخاب عمل ε-Greedy کاهشی با پارامتر Cهای ذکر شده را در بازی‌های جداگانه‌ای اجرا نمودیم تا عامل با بهترین پارامتر را مشخص کنیم کهعامل با روش انتخاب عمل بولتزمن با FactorT = 1.6، عامل با روش انتخاب عمل ε-Greedy ثابت با ε = 0.5 و عامل با روش انتخاب عمل ε-Greedy کاهشی با C = 50 عامل‌های ممتاز از هر نوعمی‌باشند.حال این سه عامل را در اجرای نهایی برای مشخص کردن بهترین عامل یادگیر Q شرکت دادیم که در شکل (۲) درآمد نهایی این عامل‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۲: مقایسه درآمد عامل‌های یادگیر Q در طول روزهای مسابقه-آزمایش دوم

درآمد عامل یادگیر Q با روش انتخاب عمل بولتزمن با FactorT = 1.6 در رقابت با عامل‌های یادگیر Q با روش انتخاب عمل ε-Greedyدر طول روزهای بازی بیشتر بوده است. درآمد عامل‌های یادگیر Q با روش انتخاب عمل ε-Greedy کاهشی و ثابت نیز در روزهای پایانی بازی بسیار نزدیک بهم می‌باشد. این آزمایش برای عامل‌های یادگیر Q مستقل از حالت نیز انجام شد که عامل‌های با روش انتخاب عمل بولتزمن با FactorT = 1.6، ε-Greedy ثابت با ε = 0.8 و ε-Greedy کاهشی با C = 100عامل‌های ممتاز در هر گروه بوده‌اند که شکل (۳) مقایسه درآمد نهایی این عامل‌ها در رقابتی مشترک را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسه درآمد عامل‌های یادگیر Qمستقل از حالت در طول روزهای مسابقه – آزمایش دوم

آنچنانکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود، برترین عامل یادگیر Qمستقل از حالت، عامل با روش انتخاب عمل ε-Greedy ثابت با ε = 0.8 می‌باشد که این عامل را در رقابتی با عامل یادگیر Qبرتر با روش انتخاب عمل بولتزمن با FactorT = 1.6 شرکت دادیم که نتایج آن در شکل (۴) مشاهده می‌شود.



شکل ۴: مقایسه درآمد عامل‌های یادگیر Qبا حالت و مستقل از حالت در طول روزهای مسابقه – آزمایش دوم

عامل یادگیر Q دارای حالت نسبت به عامل یادگیر Q مستقل از حالت عملکرد بهتری داشته و توانسته در پایان بازی درآمد بیشتری بدست آورد. با شروع روز ۱۳۳ عامل یادگیر Q مستقل از حالت از عامل دیگر برتری یافته اما این برتری تنها تا روز ۲۰۳ بازی حفظ شده است.

مقایسه‌های صورت گرفته، نشان می‌دهد که استراتژی پیشنهادی قیمت‌دهی با استفاده از یادگیری Qدر دریافت سفارش‌هایی که منجر به سودآوری و افزایش موجودی حساب بانکی عامل می‌شود، موفق بوده است و این تفاوت تنها با بکارگیری روش پیشنهادی قیمت‌دهی ایجاد شده است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، یادگیری Q جهت پیشنهاد قیمت بهینه به مشتریان در محیطرقابتی - تجاریTAC SCMمورد استفادهقرار گرفت. روش قیمت‌دهی مطرح شده سعی در حفظ دو ویژگی سودآوری و جذب سفارش مشتری دارد. با توجه به نتایج بدست آمده، موفقیت‌آمیز بودن روش پیشنهادی در قیمت‌دهی و ماکزیمم کردن سود حاصله قابل ملاحظه می‌باشد. روش ارائه شده این قابلیت را دارد تا با تلفیق شدن با استراتژی‌های موفق در سایر بخش‌ها، عاملی بسیار کارا تولید نماید که توان یادگیری، مزیت و برتری آن باشد. این روش قیمت‌دهی تنها مختص به محیط TAC SCM نبوده و می‌تواند در سایر محیط‌های رقابتی - تجاری که اطلاعاتی در مورد بیشترین و کمترین قیمت

سفارش روز قبل وجود دارد، مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[1] M. He, A. Rogers, X. Luo, and N. Jennings, "Designing a successful trading agent for supply chain management", in: Proceedings of 5th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi agent Systems (AAMAS-06), 2006, pp.1159-1166.

[2] D. A. Burke, N. Browna, S. ArmaganTarima, and B. Hnich, "Learning market prices in real-time supply chain management", Computers & Operations Research 35, 2008, pp. 3465-3478.

[3] X. Li, J. Wang, and R.Sawhney, "Reinforcement learning for joint pricing, lead-time and scheduling decisions in make-to-order systems", European Journal of Operational Research 221, 2012, pp. 99-109.

[4] M. Fasli, and Y. Kovalchuk, "Learning approaches for developing successful seller strategies in dynamic supply chain management", Information Sciences 181, 2011, pp. 3411-3426.

[5] K. Christopher, M. Jason, R. Patrick, F. Lee, and P. Wellman, "Forecasting market prices in a supply chain game", Electronic Commerce Research and Applications 8, 2009, pp. 63-77.

[6] M. Benish, J. Andrews, A. Sardinha, and N. Sadeh, "CMieux: Adaptive Strategies for Competitive Supply Chain Trading", Electronic Commerce Research and Applications 8, 2009, pp. 78-90.

[7] X. Zhang, S. Sibdari, and S. Singh, "An Optimization Method for Agent's Bidding Strategy in TAC-SCM Game", Springer, 2010, pp. 172-183.

[8] R. S. Sutton, and A. G. Barto, "Reinforcement Learning: An Introduction," The MIT Press, March 1998.

[9] W. Ketter, J. Collins, and M. Gini, "A Survey of Agent Designs for TAC SCM", In: Workshop for Trading Agent Design and Analysis, Chicago, USA, 2008.

شناسایی پیامک های هرزه با استفاده از ویژگی های متنی و دسته بند تقویت کننده

فاطمه اکبری
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

هدیه ساجدی
دانشگاه تهران، واحد پردیس علوم، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر

چکیده

استفاده از سرویس پیام کوتاه روز به روز در حال افزایش است و امروزه تبدیل به یک مشکل اساسی برای مشترکین تلفن های همراه شده است. به همین دلیل به دنبال یافتن روشی برای فیلترکردن پیامک های هرزه می باشیم. برای شناسایی و تفکیک پیامک های هرزه، در سال‌های اخیر اقدامات بسیاری صورت گرفته است و اکثر روش های ارائه شده از الگوریتم های یادگیری ماشین برای دسته بندی پیامک ها استفاده می کنند. در این مقاله، سعی بر این است که از دسته بند تقویتی استفاده شود چرا که استفاده از آن ها در اکثر مواقع به خصوص زمانی که داده های نامتوازن و دسته بندهای ضعیفی داشته باشیم، منجر به افزایش کارایی و تبدیل روش های ضعیف، به روش های قوی تر می شود. همچنین، روش پیشنهادی در مقایسه با روش مشابه، اگر چه به طور میانگین دقت را حفظ کرده، اما به دلیل نحوه انتخاب ویژگی ها و بهینه سازی آن ها، به طور چشمگیری تعداد ویژگی ها و حالات کلمه را کاهش داده است. به نحوی که تعداد ویژگی ها در مقایسه با روش مشابه، به طور میانگین از ۲۵۰۰ ویژگی به ۳۲ ویژگی کاهش یافته است.

کلمات کلیدی

پیامک هرزه، دسته بند تقویت کننده، ماشین بردار پشتیبان.

مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی و محبوبیت روز افزون تلفن های همراه بخصوص در دهه اخیر، سرویس پیام کوتاه به دلیل سادگی استفاده و هزینه کم تبدیل به یکی از مهمترین ابزارهای ارتباطی و تبلیغاتی شده است. برای مثال در سال ۲۰۱۰ تعداد پیامک- های هرزه در آمریکای شمالی کمتر از ۱ ٪ بوده است، در حالیکه در کشورهای آسیایی بیش از ۳۰ ٪ پیامک ها را پیامک های هرزه تشکیل می دادند و یا در کشوری مانند هند طبق گزارش های ارسال شده، هر کاربر در هر ماه به طور تقریبی حدود ۲۹ پیامک هرزه دریافت می کرد، همچنین در سال ۲۰۰۸ در کشور چین هر کاربر در هر هفته به طور میانگین ۱۰/۳۵ پیامک هرزه دریافت می کرد.

در سال های اخیر، محققان روش های بسیاری برای دسته- بندی و شناسایی پیامک‌های هرزه معرفی کرده اند که بعضی از آن ها روش های موفق و کارآمدی می باشند. اما هر یک از روش های ارائه شده، در کنار ویژگی های خوب و منحصر به فردشان، دارای معایبی نیز هستند که باعث می شود همیشه نتوان از آن ها برای حل مسائل استفاده کرد. به عنوان مثال یکی از روش های موفق معرفی شده، استفاده از روش مبتنی بر متن برای شناسایی پیامک های هرزه از پیامک های غیرهرزه است. این روش اگر چه دقت بالایی دارد اما محرمانگی اطلاعات کاربر را به خطر می اندازد [1]. روش دیگری که توسط Zhang و همکارانش معرفی شد، استفاده از لیست سیاه و سفید است. این روش اگر چه روشی ساده و موثر است اما از آنجاییکه کاربر به صورت دستی شماره های ناشناسی را که پیامک ارسال می- کنند، برچسب دار می کند و آن ها را در پوشه های جداگانه قرار می دهد، روش بسیار دقیقی نمی باشد و همیشه نمی توان از این روش استفاده کرد [2]. روش تقویتی AdaBoost برای دسته بندی کلاس های اسمی مناسب است و باعث افزایش کارایی می شود، اما نسبت به داده های نویز دار و پرت حساس است. روش موفق دیگری که امروزه برای شناسایی کاربر انسانی از کاربر غیرانسانی و احراز هویت استفاده می شود استفاده از روش CAPTCHA[a] می باشد. تمرکز اصلی این روش بر روی سوالی است که از کاربر پرسیده می شود، حال آنکه کاربر انسانی به سادگی قادر به پاسخگویی می باشد اما ماشین های اتوماتیک از پاسخ به این سوال عاجز هستند. این روش علیرغم سادگی و قابلیت فهم آن برای کاربر انسانی و دقت بالایی که دارد، روشی هزینه بر می باشد و برای نگهداری تصاویر، صداها و متن های نوشته شده در کتابخانه خود، نیاز به فضای بسیار زیادی دارد که این حجم بالا، پر هزینه می باشد. به همین دلیل در مسائلی که محدودیت فضای ذخیره سازی داریم نمی توان از این روش استفاده کرد [3,4].

روش دیگری که توسط Nuruzzaman و همکارانش معرفی شد، روشی است که از جهاتی مشابه روش پیشنهادی ما در این مقاله می باشد و از آن روش به عنوان روشی مستقل که برای به روز رسانی نیاز به سیستم کامپیوتری دیگری ندارد یاد شده است. در این روش، از الگوریتم Naive Bayes برای دسته بندی استفاده شده است. همچنین ویژگی ها را به نحوی استخراج کرده اند، که به طور میانگین ۲۵۰۰ ویژگی به دست آورده اند و در نهایت به دقتی برابر با ۹۸/۲ ٪

دست یافته اند [5]. حال آنکه در روش پیشنهادی به منظور افزایش کارایی و همچنین به دلیل داشتن پایگاه داده ای با داده های نامتوازن، از الگوریتم تقویتی Vote و همچنین دسته بندهای Naive Bayes و ماشین بردار پشتیبان استفاده کرده ایم چرا که یکی از مهمترین دلایل مطرح شدن الگوریتم های تقویتی، رفع مشکل داده های نامتوان بوده است. همچنین با بهینه سازی روش، تعداد ویژگی ها را به ۳۲ ویژگی کاهش داده ایم که این تعداد در مقایسه با ۲۵۰۰ ویژگی که در روش مشابه Nuruzzaman و همکارانش وجود داشت، به طور چشمگیری کاهش یافته است.

در ادامه، ابتدا در بخش ۲ شرح مختصری در مورد مفاهیم اولیه ارائه می شود؛ در بخش ۳ روش پیشنهادی، نحوه استخراج ویژگی ها و همچنین نحوه ساخت مدل را بیان می کنیم؛ بخش ۴ اختصاص به معرفی پایگاه داده مورد استفاده و نحوه انجام آزمایشات دارد؛ بخش ۵ مربوط به بحث و بررسی روش پیشنهادی و مقایسه آن با سایر روش های پیشین است و در نهایت بخش ۶ به نتیجه گیری و مطالعات آینده اختصاص دارد.

مفاهیم اولیه

روش های متعددی برای دسته بندی داده ها وجود دارد که هر یک عملکرد متفاوتی دارند. بنابراین تحلیل گر می بایست با توجه به ماهیت داده ها و همچنین برنامه کاربردی خود، روش مناسب را از میان روش های مختلف دسته بندی انتخاب کند. یکی از راهکارهای موجود جهت افزایش دقت مدل، استفاده ترکیبی از چندین مدل به جای استفاده از یک مدل است. عملگر Vote کمک می کند تا از چندین مدل استفاده کنیم. که در ادامه بیشتر به نحوه عملکرد هر یک از دسته بندهای مورد استفاده در روش پیشنهادی می پردازیم اما قبل از آن ابتدا با مفهوم کلی پیامک های هرزه آشنا خواهیم شد.

پیامک هرزه

منظور از پیامک هرزه، هر "پیامک ناخواسته" ای است که از طرف افراد و یا شرکت های ناشناس برای مشترکین تلفن های همراه فرستاده می شود. اکثر پیامک های هرزه، پیامک های تبلیغاتی هستند که توسط شرکت های تبلیغاتی برای مشترکین فرستاده می شوند و همچنین بعضی از آن ها نیز قصد کلاهبرداری دارند.

الگوریتم Vote

الگوریتم Vote، که به عنوان یکی از الگوریتم های تقویتی به شمار می رود، در اواسط دهه ۱۹۵۰ معرفی شد. ابتدا از این الگوریتم برای تحمل خطا در سیستم های کامپیوتری استفاده می شد. اما به طور کلی از الگوریتم Vote، برای افزایش دقت و سازگاری داده ها استفاد می شود [6].

ایده اصلی این عملگر انتخاب رأی اکثریت برای دسته بندی است. در واقع عملگر Vote دارای زیرپردازشی است که حاوی حداقل دو عملگر مدل سازی می باشد. جهت تخمین برچسب یک نمونه جدید، هر یک از مدل های موجود در زیرپردازش عملگر Vote، برچسب کلاس پیشنهادی خود را به عنوان رأی اعلام می کند و در نهایت با شمارش آراء، رأی اکثریت به عنوان برچسب کلاس نمونه مورد نظر انتخاب می شود. اغلب، استفاده از این عملگر باعث افزایش قابل ملاحظه ای در دقت مدل می- شود و همین مدل در مواجهه با مجموعه داده های دارای نویز یا مقادیر مفقود شده نیز مقاوم تر خواهد شد.

دسته بند ماشین بردار پشتیبان

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، از جمله الگوریتم های یادگیری با ناظر است که از آن برای دسته بندی و رگرسیون استفاده می کنند. این روش از جمله روش هایی است که در سال های اخیر کارایی خوبی نشان داده است و در حال حاضر به صورت گسترده برای مسائل دسته بندی مورد استفاده قرار می- گیرد.

مبنای کار دسته بندی کننده ماشین بردار پشتیبان، دسته- بندی خطی داده ها است و در تقسیم خطی داده‌ها، سعی می‌شود خطی را انتخاب کند که حاشیه اطمینان بیشتری داشته باشد. مزیت ماشین بردار پشتیبان این است که احتیاج به انتخاب خصیصه ندارد و با استفاده از یک سری پارامتر پیش فرض، رسیدن به بهترین کارایی را میسر می سازد [7].

دسته بند Naive Bayes (NB)

روش بیز، روشی برای دسته بندی بر پایه احتمال وقوع یا عدم وقوع است. شیوه یادگیری در روش Naive Bayes از نوع یادگیری با ناظر است. بزرگترین ویژگی این روش این است که حجم آموزش اندکی برای شروع کار و تخمین پارامترها نیاز دارد[8].

روش پیشنهادی

در این بخش روش پیشنهادی برای مقابله با پیامک های هرزه توضیح داده می شود. همان طور که پیش تر گفته شد، در دهه اخیر روش های متعددی برای شناسایی پیامک های هرزه معرفی شده است، اما هر یک از روش ها در کنار مزایایی که داشتند، از نقاط ضعفی نیز برخوردار بودند. برای مثال بعضی از آن ها نیاز به فضای زیادی برای ذخیره سازی اطلاعات داشتند و یا محرمانگی اطلاعات کاربر را به خطر می انداختند و نیز دارای پیچیدگی محاسباتی بودند. به منظور رفع بعضی معایب روش- های پیشین، بر آن شدیم تا روشی دقیق، ساده با پیچیدگی محاسباتی کم تر و همچنین کم هزینه تر که برای ذخیره سازی اطلاعات نیز به فضای زیادی نیاز نداشته باشد، معرفی نماییم.

بنابر آن چه گفته شد، در روش پیشنهادی باید ویژگی ها و دسته

بندها را به نحوی انتخاب نماییم که تا حد امکان معایب روش های پیشین را برطرف کرده و بهبودی در آن ها ایجاد نماییم. برای این منظور از بین دسته بندهای مختلف، دسته بند ماشین بردار پشتیبان و Naive Bayes را انتخاب می کنیم زیرا در دهه اخیر، این دو عملگر در اکثر آزمایشات انجام شده بر روی پایگاه داده های مربوط به پیامک های هرزه بهترین عملکرد را داشته اند. از طرفی دیگر، بررسی های انجام شده نشان می دهند که روش های دسته بندی متون مانند Bayesian و حتی ماشین بردار پشتیبان، نمی توانند کیفیت دسته بندی را از یک حدی بیشتر افزایش دهند اما با بهره گیری از روش های تقویتی که متشکل از تعدادی دسته بند است، می توان کیفیت روش را ارتقا بخشید [9]. بنابراین به دنبال یافتن الگوریتم مناسبی از میان دسته بندهای تقویتی می باشیم، که از این بین دسته بند Vote را انتخاب کردیم چرا که کارایی اصلی این الگوریتم بر روی دسته بندهای خطی همچون ماشین بردار پشتیبان است. به علاوه اینکه، الگوریتم Vote، مانند برخی روش ها از جمله AdaBoost نسبت به داده های نویزدار و پرت حساس نمی باشد. همچنین، براساس آزمایشات و بررسی های انجام شده در سال های اخیر، الگوریتم Vote بر روی دسته بندهای خطی، دقت و کارایی بهتری در مقایسه با الگوریتم هایی از جمله AdaBoost و Bagging داشته است [10]. در روش پیشنهادی به علت استفاده از دسته بند ماشین- بردار پشتیبان، سرعت به روز رسانی سیستم در مرحله آموزش، نسبت به روش هایی که از دسته بند KNN استفاده می کنند بالاتر می باشد [11]. همچنین بکارگیری جدول هم رخدادی کلمات برای ذخیره سازی اطلاعات باعث شده تا روش پیشنهادی در مقایسه با برخی روش ها مانند روش هایی که از پروتکل CAPTCHA و یا از جدول برداری استفاده می کنند، نیاز به فضای کمتری برای ذخیره سازی اطلاعات داشته و در نتیجه کم هزینه تر می باشد [3, 5].

اگر چه روش های KNN و درخت تصمیم در فرآیند به روز- رسانی با سرعت بالا عمل می کنند، اما در مقابل، فرآیند آموزشی آن ها زمان بر و دارای پیچیدگی است. به علاوه اینکه، هزینه تولید و هرس کردن درخت تصمیم بالا می باشد و همچنین در مواقعی که تعداد دسته ها زیاد و نمونه آموزشی کم است، احتمال خطا در این روش بالا می رود و عملکرد ضعیفی خواهد داشت [12, 13].

بنا به دلایل ذکر شده، می توانیم بیان کنیم روش معرفی شده در این مقاله، می تواند به عنوان یک روش موفق و کارآمد در شناسایی پیامک های هرزه مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین در مقایسه با روش مشابه که توسط Nuruzzaman و همکارانش معرفی شد، نیز با حفظ دقت، به علت نحوه استخراج ویژگی ها ، به طور چشمگیری تعداد ویژگی ها را کاهش داده است. در ادامه بیشتر درباره نحوه استخراج ویژگی ها و مدلسازی توضیح خواهیم داد.

استخراج ویژگی ها

در این قسمت به نحوه استخراج ویژگی ها می پردازیم. برای این منظور از محتوای پیامک ها استفاده خواهیم کرد و کلماتی که در پیامک های هرزه بیشترین تعداد تکرار را دارند استخراج می کنیم. بعد از استخراج کلمات پر تکرار در پیامک های هرزه، حالات کلمه اولیه به دست می آیند اما تمامی این کلمات نمی- توانند ویژگی مناسبی باشند چرا که در بین این کلمات، کلماتی وجود دارند که در پیامک های غیرهرزه نیز به دفعات تکرار شده اند. برای رفع این مشکل و تشخیص درست تعداد حالات کلمه باید از قانون احتمال استفاده کنیم. به این صورت که ابتدا برای هر کلمه احتمال هرزه بودن و احتمال غیرهرزه بودن را محاسبه کرده، سپس اگر احتمال هرزه بودن برای آن کلمه خاص بیشتر از ده برابر احتمال غیرهرزه بودن است، آن گاه آن کلمه می تواند یک ویژگی مناسب باشد، در غیر این صورت آن کلمه را از مجموعه ویژگی ها حذف خواهیم کرد. در این مرحله تعداد حالات کلمه تقریبا زیاد است و در بین ویژگی های به دست آمده، کلماتی هستند که غیر قابل استفاده می باشند و بودن یا نبودن آن ها تاثیری در دقت روش ندارد، بنابراین برای حذف این گونه کلمات نیاز به بهینه سازی روش خواهیم داشت. به همین دلیل، برای هر حالت کلمه باید مجموع تعداد پیامک های هرزه ای که فقط شامل این کلمه خاص می باشد را به دست آوریم. اگر مقدار به دست آمده بزرگتر و یا مساوی عدد یک بود، آن گاه آن کلمه را به عنوان ویژگی مناسب در نظر می گیریم در غیر- این صورت آن کلمه را حذف می کنیم.

در حالت کلی برای هر حالت کلمه، سه پارامتر را محاسبه می کنیم: ۱) S_{spam} که بیانگر مجموع پیامک های هرزه ای است که شامل این کلمه است. ۲) S_{ham} که بیانگر مجموع پیامک های غیرهرزه ای می باشد که شامل این کلمه است و ۳) S_{unique} که بیانگر مجموع پیامک های هرزه ای می باشد که فقط شامل این کلمه است.

در رابطه (۱) و (۲) نحوه انتخاب حالات کلمه بیان شده است. در این عبارت F(a) عمل پیدا کردن حالات کلمه و O(a) عمل بهینه سازی و کاهش تعداد حالات کلمه را انجام می دهد.

$$F(a):\begin{cases}\text{Kept} & \text{If } P(S_{spam}) > 10 * P(S_{ham})\\ \text{Deleted} & \text{Otherwise}\end{cases} \quad (1)$$

$$O(a):\begin{cases}\text{Kept} & \text{If } S_{unique} \geq 1\\ \text{Deleted} & \text{Otherwise}\end{cases} \quad (2)$$

بعد از استخراج ویژگی ها براساس آنچه گفته شد، جدول (۱) بدست

می آید که شامل ۳۲ حالت کلمه می باشد.

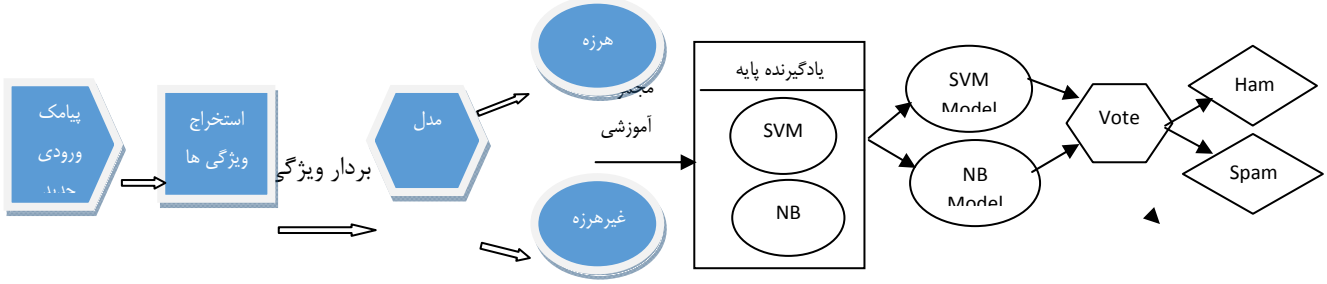
جدول (۱) : حالات کلمه

WWW, www	service	video	Msg
Reply, reply	winner	sexy	800
Text, text	mobile	Cost	870
PRIVATE	STOP	http	871
POUND	FREE	Call	90
Txt, txt	claim	win	@
ringtone	New	won	£

بر طبق جدول (۱)، بعد از استخراج ویژگی ها بر روی پایگاه داده Tiago[b] که خود شامل ۵۵۷۲ پیامک است، تنها ۳۲ ویژگی به دست آوردیم که این تعداد در مقایسه با روش مشابه Nuruzzaman و همکارانش که در حدود ۲۵۰۰ ویژگی داشته اند، به طرز چشمگیری کاهش یافته است.

مدل سازی

در این بخش نحوه ساخت مدل، عملکرد دسته بندها و رابطه آن ها با یکدیگر، را بیان می کنیم. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، ابتدا مجموعه داده آموزشی به عنوان ورودی به یادگیرنده پایه داده می شود. یادگیرنده پایه، خود زیرپردازش Vote می باشد و شامل دو دسته بند ماشین بردار- پشتیبان و Naive Bayes است، که مجوعه داده دریافتی را به این دو دسته بند می دهد. سپس هر یک از این دسته بندها، برچسب کلاس پیشنهادی خود را به عنوان رأی اعلام می کنند و مدل پیشنهادی خود را ساخته و آن را به Vote ارسال می کنند. در نهایت الگوریتم Vote با شمارش آراء، رأی اکثریت را به عنوان برچسب کلاس نمونه مورد نظر انتخاب می کند.

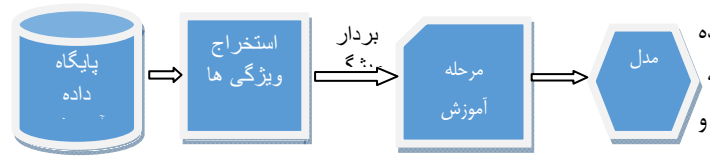


شکل (۲.آ) دیاگرام کلی مرحله آموزش

شکل (۱) : نحوه عملکرد و ارتباط دسته بندهای مورد استفاده در روش پیشنهادی

در شکل (۱) نحوه عملکرد دسته بندها توضیح داده شد، حال آنکه در شکل (۲)، به نحوه عملکرد داده ها در مراحل آموزش و آزمایش می پردازیم. همان گونه که از شکل نیز مشخص است در مرحله آموزش ابتدا سیستم بخشی از داده های موجود در پایگاه داده آموزش را به عنوان ورودی دریافت می کند و بر اساس آنچه درمورد نحوه استخراج ویژگی ها گفته شد، ویژگی های داده های دریافتی را استخراج می کند، آنگاه هر یک از دسته بندها با اعمال الگوریتم خود بر روی داده ها، مدل پیشنهادی خود را می سازند و یا به عبارت دیگر داده ها را برچسب دار می کنند و در نهایت الگوریتم Vote از بین مدل- های ساخته شده توسط دسته بندهای ماشین بردار پشتیبان و Naive Bayes بر اساس رأی اکثریت تصمیم می گیرد و مدل نهایی را انتخاب خواهد کرد. این مدل به عنوان خروجی مرحله آموزش خواهد بود. از این پس پیامک ورودی جدیدی که به سیستم وارد می شود وارد مرحله آزمایش شده و با مدل ساخته شده مورد مقایسه قرار می گیرد. سیستم بر اساس مدل استخراج شده از مرحله آموزش، تصمیم می گیرد که پیامک ورودی جدید پیامک هرزه و یا غیرهرزه می باشد.

شکل (۲) دیاگرام کلی مرحله آموزش و آزمایش و ارتباط بین بخش های مختلف را نشان می دهیم.



شکل (۲.ب) : دیاگرام کلی مرحله آزمایش

آزمایشات

در این بخش ابتدا به معرفی پایگاه داده مورد استفاده برای انجام آزمایشات در روش پیشنهادی می پردازیم، سپس نحوه انجام آزمایشات را بیان می کنیم. در ابتدا قبل از استخراج ویژگی ها، چندین الگوریتم موفق که در سال های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است را بر روی پیامک ها اعمال کرده و نتایج اولیه را به دست آوردیم. اما همان طور که در جدول (۲) مشاهده می کنید، دقت به دست آمده از این روش کم می باشد، اکنون باید به نحوی ویژگی ها را استخراج کنیم که به دقت بالاتر و قابل قبول تری دست یابیم. برای این منظور آزمایش دوم را انجام می دهیم. در ادامه، دقیق تر به بیان جزئیات آزمایشات و نتایج به دست آمده می پردازیم.

پایگاه داده برای شناسایی پیامک های هرزه

وجود پایگاه داده جامع و قابل دسترس برای انجام آزمایشات و تحقیقات یک نیاز اساسی است. حال آنکه اخیرا شخصی به نام Tiago سعی در جمع آوری و ارائه یک پایگاه داده جامع در زمینه پیامک های هرزه کرده است. طبق بررسی های انجام شده تا به امروز، این پایگاه داده به عنوان جامع ترین پایگاه داده موجود در زمینه پیامک های هرزه و غیرهرزه می باشد. پایگاه داده ارائه شده توسط Tiago، مربوط به کشور انگلستان بوده و دارای ۵۵۷۲ پیامک، که خود شامل ۷۴۷ پیامک هرزه و ۴۸۲۵ پیامک غیرهرزه است، می باشد [14].
همه آزمایشات انجام شده در این مقاله با استفاده از پایگاه داده Tiago صورت گرفته است.

رشته پیامک ها

در آزمایش اول، قبل از استخراج ویژگی ها، به اعمال چندین الگوریتم موفق بر روی تمامی پیامک های پایگاه داده می پردازیم. همان طور که از نتایج به دست آمده در جدول (۲) مشخص است، دقت به دست آمده پایین و به طور میانگین برابر با ۸۸/۲۲ ٪ می باشد. همچنین پردازش تمام پایگاه داده کاری زمان بر بوده، به همین دلیل نیاز به استخراج ویژگی ها و در نتیجه افزایش دقت روش داریم. برای این منظور آزمایش دوم را انجام می دهیم.

استخراج ویژگی ها

در آزمایش اول، همان طور که مشاهده کردید دقت روش پایین می باشد به همین دلیل آزمایش دوم را انجام می دهیم. در ابتدا به توکن کردن پیامک ها می پردازیم و سپس ویژگی ها را استخراج می کنیم. همان طور که در بخش ۲ اشاره شد، برای استخراج ویژگی ها ابتدا برای تمامی کلمات پرتکرار در پیامک- های هرزه، احتمال هرزه بودن و یا غیرهرزه بودن را محاسبه می کنیم و اگر احتمال هرزه بودن برای آن کلمه خاص ده برابر بیشتر از احتمال غیرهرزه بودن باشد، آن کلمه را به عنوان ویژگی مناسب در نظر می گیریم، در غیراین صورت آن کلمه را از مجموعه حالات کلمه یا ویژگی ها حذف می کنیم. با اعمال این روش بر روی پیامک ها، در ابتدا به ۱۲۴ حالت کلمه دست یافتیم سپس سعی در بهینه سازی روش کردیم تا با حذف ویژگی های نامناسب و کلمات بدون استفاده، تا حد امکان سرعت پردازش و دقت را افزایش دهیم. برای این منظور، بهینه سازی روش را انجام دادیم و بعد از آن تنها ۳۲ ویژگی باقی ماند. بعد از بهینه سازی، الگوریتم هایی که پیش تر در آزمایش اول بر روی داده ها اعمال شده بود، اکنون بر روی پیامک ها اعمال کرده و به این ترتیب به بهینه ترین و کمترین حالات کلمه دست یافتیم. همان طور که در جدول (۲)، مشخص است دقت تمامی روش ها در آزمایش دوم افزایش یافته و به طور میانگین برابر با ۹۷/۲۰ ٪ می باشد.
مطابق نتایج حاصل از جدول (۲)، مشخص است، زمانی که از الگوریتم تقویتی استفاده می کنیم و دسته بندهای ماشین- بردار پشتیبان و Naive Bayes را به عنوان زیرپردازش آن بکار می گیریم، دقت روش در مقایسه با زمانی که هر یک از دسته- بندهای ماشین بردار پشتیبان و Naive Bayes را به تنهایی بکار گرفته ایم، افزایش یافته است و به بیشترین دقت که برابر با ۹۸/۰۶ ٪ می باشد دست یافتیم همچنین زمان اجرا نیز به طور میانگین کاهش یافته و برابر با ۶ ثانیه می باشد بنابراین همانطور که گفتیم روش پیشنهادی روشی سریع و دقیق می باشد.
جدول (۲)، نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده را قبل و بعد از استخراج ویژگی ها نشان می دهد. در آزمایشات انجام شده برای اعتبارسنجی از روش 10-Fold Validation استفاده شده است. همچنین تمامی آزمایشات با استفاده از نرم افزار RapidMiner انجام شده اند و در آزمایشاتی که الگوریتم KNN را بکار گرفته ایم، مقدار K=1 در نظر گرفته شده است.

جدول (۲) : نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم های موفق قبل و بعد از استخراج ویژگی ها("-" به معنای عدم پشتیبانی است.)

شماره سطر	الگوریتم ها	نتایج			
		رشته پیامک		استخراج ویژگی ها	
		دقت (%)	زمان اجرا (ثانیه)	دقت (%)	زمان اجرا (ثانیه)
1.	Naive Bayes	89.39	0	97.09	1
2.	Support Vector Machine	-	-	97.36	32
3.	Ada Boost and NB	89.39	4	97.09	6
4.	Ada Boost, Vote and NB	89.39	12	97.09	10
5.	Vote, SVM and KNN	-	-	97.51	42
6.	Vote, SVM and NB	-	-	98.06	6
7.	Vote, SVM and Decision Tree	-	-	96.79	16
8.	Vote, SVM, KNN, NB and Decision Tree	-	-	97.88	57
9.	Vote, KNN and Decision Tree	86.59	8	96.41	42
10.	Vote, NB, KNN and Decision Tree	86.59	7	97.70	41
11.	Vote, NB and KNN	89.39	7	97.33	34
12.	Bagging and NB	89.39	2	97.16	4
13.	Bagging and Decision Tree	86.59	3	96.73	93

بحث

همان طور که انتظار می رفت، روش های ماشین بردار- پشتیبان و Naive Bayes در اکثر مواقع بهترین عملکرد را نشان داده اند اما براساس نتایج به دست آمده در جدول (۲)، بهترین نتیجه مربوط به زمانی است که از الگوریتم های ماشین بردار- پشتیبان، Naive Bayes و Vote بهره برده ایم و دقتی برابر با ۹۸/۰۶ ٪ ، به همراه زمان اجرایی برابر با ۶ ثانیه به دست آورده ایم.

در جدول (۳)، لیستی از روش های موفق که در سال های اخیر برای شناسایی و تفکیک پیامک های هرزه ارائه شده، نشان داده شده است که در تمام روش های موجود برای انجام آزمایشات، پایگاه داده Tiagoمورد استفاده قرار گرفته است. براساس نتایج قابل مشاهده در جدول (۳)، بالاترین دقت مربوط به روش های Bayesian, Hybrid Graph-based, KNN, Independent و روش پیشنهادی ما می باشد که تمامی این روش ها دقت قابل قبولی دارند اما علاوه بر دقت، معیارهای دیگری در انتخاب روش مناسب تر وجود دارد. برای مثال روش Bayesian اگرچه دقت بالایی دارد اما زمانی که به تنهایی به کار می رود در مقایسه با روش های تقویتی، پیچیدگی بیشتری دارد. همچنین روش Independent که توسط Nuruzzaman و همکارانش معرفی شد، دارای تعداد ویژگی های بسیار زیادی می باشد و یا روش Hybrid نیز از پروتکل CAPTCHA استفاده می کند که این روش نیز برای ذخیره کردن تصاویر، صداها و یا متن های نوشته شده در کتابخانه خود، نیاز به فضای بسیار زیادی دارد. همچنین روش Graph-based KNN که دارای پیچیدگی محاسباتی می باشد و اگر تعداد داده های مجموعه آموزش زیاد باشد آن گاه سرعت این مرحله کاهش خواهد یافت و زمان بر خواهد بود. اما در روش پیشنهادی سعی بر آن داشتیم تا مشکلات موجود در روش های پیشین را تا حد امکان برطرف نماییم.

نتیجه گیری و مطالعات آینده

براساس نتایج به دست آمده از آزمایشات، مشخص است که روش پیشنهادی، به علت داشتن ویژگی هایی چون دقت بالایی برابر با ۹۸/۰۶ ٪ ، کاهش چشمگیر تعداد حالات کلمه در مقایسه با روش مشابه و همچنین کاهش هزینه به علت استفاده از جدول هم رخدادی کلمات، می تواند به عنوان یکی از بهترین و کارآمدترین روش ها برای شناسایی و تفکیک پیامک های هرزه از پیامک های غیرهرزه بکار رود. برای مطالعات آینده باید سعی در شناسایی و انتخاب ویژگی های بهتر شود و همچین سعی در افزایش دقت و کاهش زمان اجرا داشته باشیم تا به روشی دقیق تر و سریع تر دست یابیم.

جدول (۳) : ارزیابی و مقایسه روش های مختلف ("ت.ن" به معنای تعریف نشده بودن است.)

دقت (٪)	معایب	مزایا	الگوریتم ها	شماره مرجع
۹۸/۲	پیچیدگی کار در مقایسه با بعضی الگوریتم ها	۱. دقت بالا ۲. کاربردی بودن	**Naive Bayes**	[10]
۹۴/۳	۱. دقت کافی ندارد ۲. افزایش نویز در داده های آموزشی	سادگی پیاده سازی و تغییر	K-Nearest Neighbor	[10]
ت.ن	۱. کاربر محور است ۲. دقت کافی ندارد	۱. ساده و کارآمد ۲. سادگی پیاده سازی	Black/White List	[2]
۹۷/۰	بیشتر برای دسته-بندهای خطی مناسب می باشد	۱. ساده برای دسته-بندهای خطی ۲. سادگی پیاده سازی	Vote Perception	[10]
۹۶/۸	۱. دقت کافی ندارد ۲. حساس نسبت به داده های نویز دار	۱. افزایش کارایی ۲. داشتن حساسیت کمتر در مقابل over-fitting	AdaBoost	[10]
ت.ن	۱. هزینه بر است ۲. برای ذخیره سازی تمام پایگاه داده نیاز به فضای زیادی دارد	۱. سادگی کار برای کاربر انسانی ۲. دقت بالا	CAPTCHA	[3]
۹۸/۶۳	۱. هزینه بر است ۲. برای ذخیره سازی تمام پایگاه داده نیاز به فضای زیادی دارد	۱. سادگی کار برای کاربر انسانی ۲. دقت بالا	Hybrid	[4]
۹۸/۹	۱. پیچیدگی محاسباتی ۲. سرعت پایین مرحله آموزش	۱. دقت بالا ۲. زمان پردازش کم ۳. کارآمد بودن	Graph-based KNN Algorithm	[13]
ت.ن	زمان بر است	۱. افزایش کارایی ۲. قابلیت به روز	Latent	
		رسانی کردن به صورت اتوماتیک	Dirichlet Allocation	[15]
۹۷/۲	۱. افزایش هزینه سخت افزاری ۲. افزایش هزینه ارتباطی بین موبایل و سیستم کامپیوتری	۱. ایمن و حفظ محرمانگی اطلاعات کاربر ۲. قابل به روزرسانی ۳. دقت بالا	Independent Method	[5]
۹۸/۰۶	-	۱. دقت بالا ۲.کاهش پیچیدگی ۳. نیاز به فضای کمتری برای ذخیره سازی اطلاعات دارد	روش پیشنهادی	-

مراجع

[1] J.M.G. Hidalgo, G.C. Bringas, E.P. Sánz and F.C. García, "Content Based SMS Spam Filtering", *In Proceedings of ACM Symposium on Document Engineering*. New York, pp. 107-114, 2006.

[2] H. Zhang and W. Wang, "Application of Bayesian Method to Spam SMS Filtering", *International Conference on Information Engineering and Computer Science*. 2009.

[3] H. Shirali-Shahreza and M. Shirali-Shahreza, "An Anti-SMS-Spam Using CAPTCHA", *IEEE Trans. Computing, Communication, Control, and Management*. Vol. 2, pp. 318-321, 2008.

[4] W. Yoon, H. Kim and J. Huh, "Hybrid spam filtering for mobile communication", *Journal of Computers and Security*. Vol. 29, pp. 446–459, 2009.

[5] M. Nuruzzaman, C. Lee and D. Choi, "Independent and Personal SMS Spam Filtering", *IEEE Trans. Computer and Information Technology*. Pafos, pp. 429-435, 2011.

[6] D.R. Gifford, "Weighted voting for replicated data", *In Proceedings of 7th ACM SIGOPS Symp. Operating System Principles*. Pacific Grove, pp. 150-159, 1979.

[7] H. William, S. Teukolsky, V. William and B. Flannery, "Support Vector Machines", *The Art of Scientific Computing*. New York, 2007.

[8] P. Langley and K. Thompson. "An Analysis of Bayesian Classifiers", *In Proceedings of 10th International Conference on Artificial Intelligence*. pp. 223–228, 1992.

[9] D. Giorgetti and F. Sebastiani, "Multiclass text categorization for automated survey coding", *In Proceedings of 18th ACM Symposium on Applied Computing*. New York, pp. 798-802.

[10] M. Kuruvilla and I. Biju, "Intelligent Spam Classification for Mobile Text Message", *International Conference on Computer Science and Network Technology*. Vol. 1, pp. 102-105, 2011.

[11] H. Zhang, A.C. Berg, M. Maire and J. Malik, "SVM-KNN: Discriminative Nearest Neighbor Classification for Visual Category Recognition", *IEEE Trans.* Computer Vision and Pattern Recognition,Vol. 2, pp. 2126 – 2136, 2006.

[12] M. Taufiq, M.F. Abdullah, D. Choi and G. Lee, "Filtering SMS Spam on Smart Phone*", In Proceedings of International Conference on Internet.* Korea, pp. 1-4, 2010.

[13] H. Tran, K. Ho-Seok and K. Sung-Ryul, "Graph-based KNN Algorithm for Spam SMS Detection", *Journal of Universal Computer Science.* Vol. 19, pp. 2404-2419, 2013.

[14] A. Tiago, J.M.G. Hidalgo and Y. Akebo, "Contributions to the Study of SMS Spam Filtering: New Collection and Results", Mountain View California USA, 2011.

[15] M. Abiodun, O. Oludayo and O. Sunday, "Filtering of Mobile Short Messaging Service Communication Using Latent Dirichlet Allocation with Social Network Analysi", *IEEE Trans. Engineering Technologies.* pp. 671-686, 2014.

حداکثرسازی جرم قابل حمل برای بازوهای متحرک چرخ‌دار با در نظر گرفتن ملاحظات پایداری دینامیکی

پریسا دائمی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی برق و رایانه و فن آوری اطلاعات

خلیل عالی‌پور
دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، گروه مهندسی سیستم و مکاترونیک، ایران، تهران

آرمان حسن‌پور
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی برق و رایانه و فن آوری اطلاعات

چکیده

ظرفیت حمل بار یک ربات معمولاً بیشینه باری است که ربات می‌تواند آن را تا رسیدن به انتهای مسیر درخواست شده جابه‌جا کند. در این مطالعه، هدف یافتن بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی بازوهای پایه متحرک، بین دو نقطه با در نظر گرفتن قیود عدم واژگونی می‌باشد. برای حل این مساله از روش کنترل بهینه بهره برده شده است. روش حل، بر مبنای الگوریتم کنترل بهینه‌ی حلقه باز است که برای حل مساله به روش غیر مستقیم، ابتدا مساله به فرم مساله بولزا ارایه می گردد. سپس با تشکیل تابع هامیلتونین، شرایط بهینگی از اصل مینیمم‌یابی پانتریاگین استخراج می‌گردد. قیود پایداری در مقابل واژگونی نیز با استفاده از معیار پایداری گشتاور- ارتفاع، به صورت قیود نامساوی به مساله افزوده می‌شوند. پس از استخراج شرایط لازم جهت بهینگی، با توجه به قیود حاکم بر سیستم، حل مسأله‌ی بهینه به حل یک مساله مقدار مرزی دو نقطه‌ای منجر می‌شود. در این پژوهش، برای حل مساله‌ی مقدار مرزی دو نقطه‌ای تولید شده از روش عددی شبه طیف گوس استفاده شده است. نتایج به دست آمده، صحت رویکرد پیشنهادی را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی

روش شبه طیف گوس، ظرفیت حمل بار دینامیکی، کنترل بهینه، مسائل شرایط مرزی دو نقطه‌ای، معیار گشتاور- ارتفاع.

مقدمه

یک گروه مهم از ربات‌ها، بازوهای پایه متحرک هستند که در بردارنده یک یا چند بازوی نصب شده روی پلت‌فرم متحرک می‌باشند. متحرک بودن پایه‌ی ربات باعث شده تا ربات‌های پایه متحرک نسبت به ربات‌های پایه ثابت دارای محدوده عملکرد وسیعتری باشند. این ربات‌ها در محیط‌های زیرآب، روی زمین و در هوا کاربردهای متفاوتی دارند و می‌توانند در محیط‌های سخت و خطرناک جهت اکتشاف، جابجایی بار و غیره مورد استفاده قرار گیرند. تعیین بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی مجاز، می‌تواند بهروری و کارایی بازوهای پایه متحرک را افزایش دهد. تعریف‌های مختلفی برای ظرفیت حمل بار دینامیکییک ربات ارایه شده است.براساس یک تعریف، ظرفیت حمل بار یکبازوی صلب، معمولاًبه صورتبیشینه باری که ربات می‌تواند، مکرراً در حالت پیکربندی کاملاً بازش جابه‌جا کند گفته می‌شود. برطبقتعریف دوم،ظرفیت حمل بار ربات، بیشینه باری است که یکربات در امتداد یک مسیر دلخواه، می‌تواند حمل کند. این تعریف بر مبنای در نظر گرفتن اثرات اینرسی و حرکت بازو در امتداد مسیر مطلوب می‌باشد. مطابق تعریف سوم، ظرفیت حمل بار، بیشینه باری است که یک بازو بین دو نقطه داده شده در فضای کاری خود می‌تواند حمل کند [۱]. محققان راه کارهای متفاوتی جهت محاسبه‌ی ظرفیت حمل بار دینامیکی ربات‌ها به کار گرفته‌اند که در اغلب مطالعات انجام شده از روش برنامه‌ریزی خطی بازگشتی بهره برده شده است. این روش توسط وانگ و روانی به منظور بدست آوردن مسیر بهینه‌ی بار بیشینه ارایه شد [۲]. کورایم و غریبلو از این روش جهت تعیین بار بیشینهیک بازوی متحرک صلب و بازوی متحرک انعطاف‌پذیر استفاده نمودند[۳ و ۴]. وانگ و روانی نشان دادند که بیشینه بار مجاز یک بازو در امتداد یک مسیر مشخص به گشتاور موتورها و مشخصه‌های سرعت مفاصل وابسته است [۵]. کورایم و باسو در [۶] الگوریتم جدیدی برای محاسبه‌ی بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی بازوهای الاستیکی با در

نظر گرفتن انعطاف‌پذیری مفاصل و میله‌های ربات ارایه نمودند. در سال‌های اخیر، بسیاری از تحقیقات انجام شده به منظور تعیین بیشینه ظرفیت حمل بار ربات بر پایه‌ی روش کنترل بهینه بوده است. روش کنترل بهینه می‌تواند برای استراتژی‌های حلقه باز و حلقه بسته مورد استفاده قرار گیرد. دِسای و کومار با بهره‌گیری از قضیه‌ی بنیادین حساب تغییرات در کنترل بهینه، به حل مشکل برنامه‌ریزی حرکت برایربات‌های متحرک همکار در حضور مانع پرداخته‌اند [۷]. نیکوبین و کورایم در [۸]، الگوریتمی جهت تعیین مقدار بار بیشینه در یک حرکت نقطه به نقطه با بهره‌گیری از روش کنترل بهینه‌ی حلقه باز ارایه نمودند. در الگوریتم پیشنهاد شده، حل بر مبنای روش غیرمستقیم پانتریاگین می‌باشد. رزمی و کشتی‌بان در [۹]،یک کنترل‌کننده‌مبتنی بر PIDبا استفاده از شبکه‌های عصبی تطبیقی آنالوگ، برای کنترل حرکت نقطه به نقطه و نیز ردیابی یک بازوی صلب دو لینکی طراحی نمودند. آن‌ها همچنین برای هر دو مورد، بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی بازو را نیز با در نظر گرفتن قیود دقت و محدودیت موتورها محاسبه کرده و نشان داده‌اند استفاده از این کنترل‌کننده به جایPID معمولی، باعث افزایش حداکثر بار قابل حمل توسط ربات می‌شود.کورایم و پیله‌چیان روشی به منظور تعیین بیشینه بار قابل حمل توسط ربات‌هایی با مفاصل انعطاف‌پذیر، با اعمال قیود دقت و محدودیت گشتاورهای ورودی معرفی نمودنند. این روش بر پایه‌ی الگوریتم کنترلی مد لغزشی به‌عنوان یک کنترل مقاوممی‌باشد [۱۰].

از سویی دیگر واژگونی در بازوهای متحرک که به علت عوارض زمینیا حرکت بر روی سطوح شیب‌دار یا به علت تحمیل نیروهای بزرگ ناخواسته رخ می‌دهد، باعث افتادن بازوی متحرک و آسیب دیدن آن یا بار مورد حمل می‌شود. بنابراین حفظ تعادل دینامیکی ربات‌های پایه متحرک نیز از اهمیت فراوانی برخوردار است. از این‌رو پیش‌بینی ناپایداری و اجتناب از واژگونی در ربات‌های پایه متحرک بسیار مهم است. برای این منظور استفاده از یک معیار پایداری غیر قابل اجتناب است. معیارهای دینامیکی مختلفی در خصوص ارزیابی پایداری دینامیکی ربات‌ها ارایه شده است. معیار پایداری نقطه‌ممان‌صفر (ZMP)، برای اولین بار توسط هوانگ و سوگنو برای اجتناب از واژگونی بازوی متحرک به کار برده شده است[۱۱]. در این معیار محدوده پایدار معتبر برای بازوی متحرک استخراج می‌شود. معیار دیگری به نام معیار نیرو-زاویه توسط ری و پاپادوپولوس ارایه شده است[۱۲] که در این معیار از کمترین زاویه‌ی بین بردارهای عمود بر محورهای واژگونی و تصویر بردار نیروی برآیند در صفحه‌ی عمود بر محورهای واژگونی استفاده شده است. اخیراًیک سنجه‌ی موثر توسط موسویان و عالی‌پور به نام معیار پایداری گشتاور-ارتفاع (MHS) پیشنهاد شده است[۱۳]. این معیار بر پایه گشتاورهای پایدارساز و ناپایدارساز وارده به پایه متحرکی که باعث جابه‌جایی سیستم می‌گردد، می‌باشد. در این مقاله از این معیار، به‌عنوان معیار پایداری بازوی پایه متحرک بهره برده شده است.

هدف از این مقاله یافتن بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی بازوی‌های پایه متحرک بین دو نقطه‌ی مشخص، با در نظر گرفتن ملاحظات پایداری می‌باشد که برای این منظور از کنترل بهینه حلقه باز، روش مستقیم بهره برده شده است. در گام اول، مساله به فرم مساله‌ی بولزا مطرح می‌گردد بدین ترتیب که، یک تابع هزینه متناسب با اهداف مساله مشخص می‌گردد. سپس معادلات دینامیکی بازو استخراج و در قالب قیود دینامیکی مساله بازنویسی می‌شوند. قیود پایداری نیز به عنوان یک قید جدید به مساله‌ی حداکثرسازی بار، افزوده می‌شود که این قیود با استفاده از معیار پایداری MHS در قالب قیود نامساوی به مساله اضافه می‌شوند. با نوشتن شرایط مرزی مساله تکمیل می‌گردد. در گام بعدی، برای حل مساله‌ی ایجاد شده از روش عددی شبه طیف گوس بهره برده شده است. لازم به ذکر است که برای حل مساله مطرح شده از روش حل غیرمستقیم نیز استفاده شده ولی مساله مقدار مرزی دو نقطه‌ای(Two-Point Boundary Value Problem, TPBVP) که در روند حل ایجاد می‌شود به راحتی و با روش‌های متداول موجود قابل حل نمی‌باشد.

فرمولاسیون مساله بولزا

هدف از یک مساله‌ی کنترل بهینه تعیین سیگنال‌های کنترلی لازم برای یک سیستم، در ضمن ارضای قیود طراحی، هندسی و فیزیکی آن سیستم و با هدف کمینه یا بیشینه نمودن یک تابع هزینه معرفی می‌شود [۱۴].

معادلات دینامیکی بازوی پایه متحرک

قالب کلی معادلات دینامیکیک بازوی پایه متحرک را می‌توان به صورت رابطه (۱) توصیف کرد.

$$\mathbf{u} = \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{V}(\mathbf{q},\dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{G}(\mathbf{q}) \qquad (1)$$

که در آن، $\mathbf{q} = [q_1, \ldots, q_n]$ متغیرهای تعمیم‌یافته‌ی سیستم مکانیکی، $\mathbf{M}(\mathbf{q}) \in \mathbb{R}^{n\times n}$ ماتریس اینرسی مربوط به بازوی

مکانیکی، $\mathbf{V(q,\dot{q})} \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ بردار نشان‌دهنده نیروهای گریز از مرکز و کوریولیس، بردار $\mathbf{G(q)} \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ شامل عبارات مربوط به گرانی و بردار $\mathbf{u} \in \mathbb{R}^{n\times 1}$ شامل گشتاور مفاصل است. N نیز تعداد درجات آزادی سیستم را مشخص می‌کند.

به منظور بازنویسی معادلات دینامیکی بازوی متحرک به فرم مساله‌ی بولزا، با تعریف بردار حالت $\mathbf{x} = [\mathbf{x_1 x_2}]^T = [\mathbf{q \dot{q}}]^T$، که $\mathbf{x_1, x_2} \in \mathbb{R}^n$ هستند، معادله (۱) در فرم فضای حالت به صورت رابطه (۲) بازنویسی می‌شود.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) \quad , \quad t \in [t_0, t_f] \qquad (۲)$$

که در آن $\mathbf{f} = [\mathbf{f_1 f_2}]^T$ به شکل رابطه (۳) تعریف می‌شود:

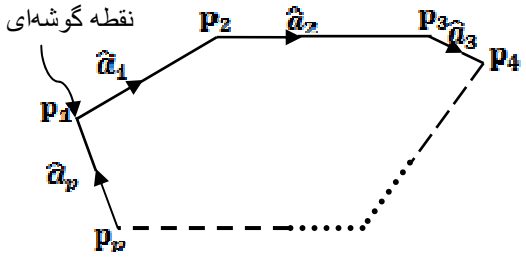
$$\mathbf{f_1} = \mathbf{x_2} \qquad ۳)$$

$$\mathbf{f_2} = -\mathbf{M^{-1}(x_1)}[\mathbf{V(x_1, x_2)x_2} + \mathbf{G(x_1)}] + \mathbf{M^{-1}}($$

بدین ترتیب معادلات دینامیکی بازوی متحرک بهفرم قیود مساوی، در قالب مساله بولزا نوشته می‌شود.

اعمال قید پایداری به مساله‌ی تعیین بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی

در این تحقیق جهت بررسی پایداری سیستم از معیار پایداریMHS برای بازوی پایه متحرک استفاده شده است. توضیحات مبسوط در خصوص این معیار در مرجع [۱۳] آمده است. در این مقاله، به صورت فشرده نحوه‌ی محاسبه این معیار بررسی خواهد شد. اولین قدم در خصوص محاسبه‌ی معیارMHS تشکیل چند ضلعی استقرار است. چند ضلعی استقرار از اتصال دورترین نقاط تماس چرخ با زمین ایجاد می‌شود که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: چند ضلعی استقرار و بردارهای واحد متناظرش

در ادامه نیروها و کوپل‌های وارده به پایه‌ی متحرک محاسبه می‌شود، سپس با استفاده از رابطه (۴) معیار MHS که با α تعریف شده است، بدست می‌آید.

این گشتاورها حول لبه‌های p،...،۲، ۱ چند ضلعی استقرار به ترتیب با نام‌های $M_1, M_2, \ldots, M_p$ مشخص شده است.

$$\alpha = \min\{\alpha_i\} \quad , \quad i = \{1, 2, \ldots, p\} \qquad (۴)$$

که در آن، α_i نشان دهنده حاشیه پایداری دینامیکی حول i امین لبه مرزی است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_i = (I_{gi})^{\sigma_i}.(M_i.\hat{a}_i) \quad , \quad i = \{1, 2, \ldots, p\} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) $\hat{a}_i$ بردار واحد برای هر لبه چند ضلعی استقرار و I_{gi} مشخص‌کننده‌ی ممان اینرسی پایه حول i امین لبه مستطیل مرزی است:

$$\sigma_i = \begin{cases} +1 & (M_i.\hat{a}_i) > 0 \text{ اگر} \\ -1 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}, i = \{1, 2, \ldots, p\} \qquad (۶)$$

مقادیر مثبت α نشان‌دهنده‌ی پایداری سیستم و مقادیر منفی آن مشخص‌کننده‌ی این است که ناپایداری واژگونی در حال پیشرفت است. همچنین پایداری واژگونی بحرانی زمانی اتفاق می‌افتد که α برابر صفر شود. بنابراین قیود پایداری بازوی پایه متحرک را می‌توان به صورت قیود نامساوی مسیر به مساله بولزا افزود. بدین ترتیب به تعداد لبه‌های چند ضلعی استقرار (p)، قیود نامساوی $\mathbf{M_i} \geq 0, i = 1, \ldots, p$ به مساله‌ی کنترل بهینه اضافه می‌شود. این قیود را می‌توان به فرم رابطه (۷) بازنویسی نمود.

$$\mathbf{C(x(t), u(t), t)} \geq \mathbf{0} \quad , \quad t \in [t_0, t_f] \qquad (۷)$$

که در آن $\mathbf{C}$ یک بردار l مولفه‌ای $(l \leq n)$ است. به منظور حل قیود نامساوی تولید شده که برحسب متغیرهای حالت و کنترل هستند، روشی به کار برده شده که قیود نامساوی را به قیود مساوی تبدیل می‌کند [۱۴]. برای این منظور یک متغیر جدید $x_{n+1}(t)$، مطابق رابطه (۸) برای سیستم تعریف می‌شود.

$$\mathbf{u(t), t)]^2 1(-C_2)} + \cdots + [C_i(\mathbf{x(t), u(t), t})]^2 1(-C_i) \quad ۸$$

در رابطه (۸)، $\mathbb{1}(-C_i)$ تابع تبدیل پله‌ی واحد است و به شکل رابطه (۹) در نظر گرفته می‌شود.

$$\cdot C_i) = \begin{cases} 0 & \text{for} C_i(\mathbf{x(t), u(t), t}) \geq 0 \\ 1 & \text{for} C_i(\mathbf{x(t), u(t), t}) < 0 \end{cases}, \quad i = 1, 2, \ldots, l \quad ۹$$

لازم به ذکر است به ازاء هر t، $x_{n+1}(t) \geq 0$ می‌باشد و فقط زمانی که تمام قیود موجود در رابطه (۷) برقرار گردند

$\dot{x}_{n+1}(t) = 0$ می‌شود. اکنون فرض شده، متغیر $x_{n-1}(t)$ که توسط رابطه (۱۰) مشخص می‌شود، در دو شرط حدی $x_{n+1}(t_0) = 0$ و $x_{n-1}(t_f) = 0$ صدق می‌کند.

$$x_{n+1}(t) = \int_{t_0}^{t} \dot{x}_{n+1}(t)dt + x_{n+1}(t_0) \quad (۱۰)$$

از آنجا که به ازای هر t، $\dot{x}_{n+1}(t) \geq 0$ برقرار است، لذا برقراری شرایط حدی مذکور، ایجاب می‌کند که $\dot{x}_{n-1}(t)$ در تمام فاصله زمانی $[t_0, t_f]$ صفر باشد، لیکن این فقط هنگامی اتفاق می‌افتد که قیود (۷) به‌ازاء هر $t \in [t_0, t_f]$ برقرار گردند [۱۴].بنابراین بدین صورت قیود نامساوی رابطه(۷)، به فرم قیود مساوی رابطه(۸) تبدیل می‌شوند.

مساله کنترل بهینه

به منظور تعیین بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی به روش کنترل بهینه، ابتدا بایستی یک تابع هزینه متناسب با اهداف مد نظر، انتخاب شود. هدف مطرح در این پژوهش، تعیین ورودی کنترلی $\mathbf{u}(t)$و مسیر حرکت مفاصل $\mathbf{x}_1(t)$ به گونه‌ای است که تابع هزینه‌ی مشخص شده را کمینه نماید. با توجه به این موضوع می‌توان تابع هزینه را به صورت رابطه (۱۱) تعریف نمود [۱۴].

$$(\mathbf{u}, \mathbf{m_p}) = \mathbf{h}(\mathbf{x}(t_f), t_f) + \int_{t_0}^{t_f} \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{m_p})dt \quad ۱۱$$

که در آن توابع h و g به فرم روابط (۱۲) و (۱۳) تعریف می‌شوند.

$$\mathbf{h}(\mathbf{x}(t_f), t_f) = \frac{1}{2}\|\mathbf{e_p}(t_f)\|^2_{\mathbf{W_p}} + \frac{1}{2}\|\mathbf{e_v}(t_f)\|^2_{\mathbf{W_v}} \quad (۱۲)$$

$$\mathbf{e_p}(t_f) = \mathbf{x_1}(t_f) - \mathbf{x_{1f}}, \mathbf{e_v}(t_f) = \mathbf{x_2}(t_f) - \mathbf{x_{2f}}$$

$$t), \mathbf{u}(t), \mathbf{m_p}) = \frac{1}{2}\|\mathbf{x_1}\|^2_{\mathbf{W_1}} + \frac{1}{2}\|\mathbf{x_2}\|^2_{\mathbf{W_2}} + \frac{1}{2}\|\mathbf{u}\|^2_{\mathbf{R}} \quad (۱۳)$$

در روابط (۱۱) تا (۱۳)، t_0 و t_f زمان‌های ابتدا و نهایی معلوم می‌باشند و $\mathbf{g}$یک تابع مشتق‌پذیر هموار بر حسب مقادیر گشتاورها، حالت‌ها و $\mathbf{m_p}$ است که $\mathbf{m_p}$ نشان‌دهنده‌ی بار حمل شده توسط مجری نهایی می‌باشد. نکته قابل ذکر در اینجا آن است که با وجود اینکه $\mathbf{m_p}$ مستقیماً در تابع هزینه ظاهر نشده ولی اثر آن در معادلات دینامیکی سیستم و در نتیجه در تابع هزینه کاملاً محسوس می‌باشد.

$\|\mathbf{X}\|^2_{\mathbf{K}} = \mathbf{X}^T\mathbf{K}\mathbf{X}$ نُرم مربعی تعمیم یافته‌ی بردار X نسبت به تابع وزنی K می‌باشد. $\mathbf{W_1}$ و $\mathbf{W_p}.\mathbf{W_2}.\mathbf{W_1}$ ماتریس‌های وزنی $n \times n$ متقارن مثبت نیمه معین و R ماتریس وزنی $n \times n$ متقارن مثبت معین هستند. $\mathbf{e_p}$ خطای موقعیت در نقطه‌ی نهایی و $\mathbf{e_v}$ خطای سرعت در نقطه‌ی نهایی است. همچنین $\mathbf{x_{1f}}$ و $\mathbf{x_{2f}}$ مقادیر مطلوب موقعیت و سرعت میله‌ها، در زمان نهایی می‌باشند[۱].

از آنجا که برای مقادیر گشتاور موتورها نیز محدودیتی در نظر گرفته شده است بنابراین به منظور محاسبه‌ی مقادیر کنترل در محدوده‌ی قابل قبول می‌بایست رابطه (۱۴) نیز برقرار باشد.

$$\mathbf{u} = \begin{cases} \mathbf{u_{max}} & \mathbf{u} > \mathbf{u_{max}} \\ \mathbf{u} & \mathbf{u_{min}} \leq \mathbf{u} \leq \mathbf{u_{max}} \\ \mathbf{u_{min}} & \mathbf{u} < \mathbf{u_{min}} \end{cases} \quad (۱۴)$$

که در این رابطه محدوده‌های بالا و پایین گشتاور براساس مشخصه سرعت-گشتاور موتورهای الکتریکی جریان مستقیم به صورت رابطه (۱۵) تعریف می‌شود.

$$\mathbf{u_{max}} = \mathbf{K_1} - \mathbf{K_2}\mathbf{x_2}\ ,\ \mathbf{u_{min}} = -\mathbf{K_1} - \mathbf{K_2}\mathbf{x_2} \quad (۱۵)$$

که $\mathbf{K_1} = [\tau_{s1}\tau_{s2} \ldots \tau_{sn}]^T$ و $\mathbf{K_2} = \mathrm{dig}[\tau_{s1}/\omega_{m1} \ldots \tau_{sn}/\omega_{mn}]$، τ_{si} گشتاور اِستال موتور i- ام و ω_{mi} حداکثر سرعت موتور i- ام در حالت بی‌باری می‌باشد [۸].

در ادامه، به منظور حل معادلات به دست آمده از روش عددی شبه طیف گوس استفاده شده است. از سویی برای تعیین بار بیشینه از الگوریتم ارایه شده در [۱] استفاده شده است.

تعیین بیشینه ظرفیت حمل بار به روش حل مستقیم

نویسندگان ابتدا تلاش کردندمساله محاسبه بیشینه بار قابل حمل توسط بازوی متحرک چرخدار با ملاحظات پایداری را با بهره‌گیری از روش حل غیرمستقیم حل نمایندوTPBVP به دست آمده را با استفاده از حلال‌های مسایل شرایط مرزی نرم‌افزار MATLAB حل کنند ولی متاسفانه نتایج به دست آمده از به کارگیری دستورهای bvp4c، bvp5c و bvp6c همگی ناموفق بود. حلالهای خانواده‌ی bvp نرم‌افزار MATLAB از روش عددی ایستگاهی برای حل مسائل بهره می‌برد [۱۵]. از اینرو برای حل مساله در این پژوهش از روش حل مستقیم و روش عددی دیگری تحت عنوان شبه طیف گوس استفاده شده است. در ادامه، توضیح مختصری از این روش ارایه می‌گردد. روش شبه طیف گوس برای حل اینگونه از مسائل نیاز به یک بازه زمانی

ثابت دارد که عموماً بازه $[-1,1]$ انتخاب می‌شود. لذا با استفاده از نگاشت رابطه (۱۶) می‌توان محدوده‌ی زمانی مساله را از $t \in [t_0, t_f]$ به $\tau \in [-1,1]$ تبدیل نمود.

$$\tau = \frac{2t}{t_f - t_0} - \frac{t_f + t_0}{t_f - t_0} \quad (۱۶)$$

با بهره‌گیری این نگاشت، تابع هزینه به صورت رابطه (۱۷) بازنویسی می‌شود.

$$\|\mathbf{x}(\tau_f)\|^2_{\mathbf{W_p}} + \frac{1}{2}\|\mathbf{e_v}(\tau_f)\|^2_{\mathbf{W_v}} + \int_{\tau_0}^{\tau_f} \mathbf{g}(\mathbf{x}(\tau), \mathbf{u}(\tau), \mathbf{m_p})\, d\tau \quad ۱۷$$

اکنون در روش شبه طیف گوس برای تخمین پارامترهای $\mathbf{x}$ در بازه زمانی $\tau \in [-1,1]$، این بازه زمانی گسسته‌سازی می‌شود. برای این منظور بازه زمانی τ به K نقطه تقسیم می‌گردد که به نقاط لژاندر-گوس (LG) معروف می‌باشد. در ادامه با تشکیل مجموعه نقاط گسسته‌سازی $\mathcal{K}_0$، که شامل K نقطه‌ی گسسته‌سازی LG به همراه نقطه‌ی ابتدای بازه $\tau_0 = -1$ و نقطه‌ی انتهای بازه $\tau_f = 1$ می‌باشد، به تقریب پارامترهای حالت با استفاده از $K+1$ چندجمله‌ایلاگرانژ L_i، که $i = 0,1,\ldots,K$ است، می‌پردازد. مقدار L_i به فرم رابطه (۱۸) می‌باشد[۱۶].

$$L_i(\tau) = \prod_{j=0, j\neq i}^{k} \frac{\tau - \tau_j}{\tau_i - \tau_j} \quad (۱۸)$$

سپسمقادیربردار$\mathbf{x}$بهشکلرابطه (۱۹)تخمینزدهمی‌شود.

$$\mathbf{x}(\tau) \approx \mathbf{X}(\tau) = \sum_{i=0}^{k} L_i(\tau)\mathbf{x}(\tau_i) \quad (۱۹)$$

که $\mathbf{X}(\tau)$ تقریبی از $\mathbf{x}(\tau)$ است. ویژگی این تقریباً است که مقدارتقریب بردار حالت در نقاط مجموعه $\mathcal{K}_0$ با مقدار واقعی آن در این نقاط یکسان است. بردار کنترل نیز توسط K چندجمله‌ای لاگرانژ به شکل رابطه (۲۰) تخمین زده می‌شود.

$$\mathbf{u}(\tau) \approx \mathbf{U}(\tau) = \sum_{i=1}^{k} L_i(\tau)\mathbf{U}(\tau_i) \quad (۲۰)$$

در رابطه (۲۰) $\mathbf{U}(\tau)$، تقریبی از $\mathbf{u}(\tau)$ است. در ادامه قیود دینامیکی به فرم رابطه (۲۱) بازسازی می‌گردد.

$$\mathbf{f}(\mathbf{X}(\tau_k), \mathbf{U}(\tau_k), \tau_k; t_0, t_f) = 0\,, \quad (k = 1,\ldots,K) \quad (۲۱)$$

در این رابطه ماتریس D، یک ماتریس $K \times (K+1)$ بعدی از تقریب مشتق‌گیری می‌باشد. این ماتریس شامل هریک از مشتقات چندجمله‌ای‌های لاگرانژ L_i مربوط به پارامترهای $\mathbf{x}$ در نقاط LG می‌باشد. این ماتریس به صورت رابطه (۲۲) محاسبه می‌شود [۱۶].

$$D_{k,i} = \frac{\prod_{j=0, j\neq i,k}^{k} \tau_k - \tau_j}{\prod_{j=0, j\neq i}^{k} \tau_i - \tau_j}\,, \quad k = 1,\ldots,K\,,\ i = 0,\ldots,K \quad ۲۲$$

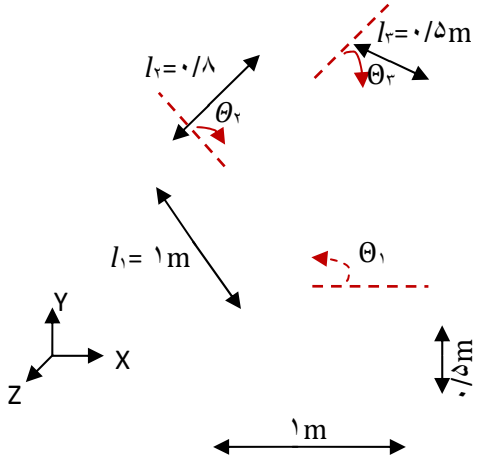
نکته قابل بیان این است که رابطه (۲۲) به صورتی کسری قیود جبری می‌باشد. حال مجموعه معادلات تولید شده تشکیل یک مساله برنامه‌ریزی غیرخطی را می‌دهند. برای حل این مساله بهینه‌سازی، از حل کننده SNOPT شرکت نرم‌افزاری استنفورد استفاده شده است. در حل‌کننده SNOPT با اعمال تکنیک برنامه‌ریزی مربعی متوالی از روش شبه نیوتن، با فضای ذخیره‌سازی محدود برای حل مساله برنامه‌ریزی غیرخطی، بهره برده می‌شود [۱۶].

شبیه‌سازی

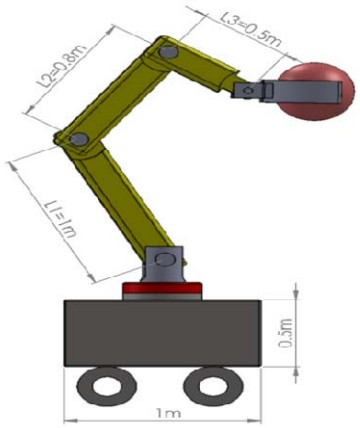
بازوی پایه متحرک مد نظر، مطابق شکل ۲، از یک پایه‌ی متحرک با قابلیت حرکت در راستای محور طولی و یک بازوی رباتیکی سری با سه درجه آزادی که روی پایه‌ی متحرک نصب شده تشکیل گردیده است. ساختار بازوی پایه متحرک به‌گونه‌ای است که تمام اجزای آن صلب و همگن فرض شده است. مختصات تعمیم یافته‌ی سیستم در رابطه (۲۳) آورده شده که یکی از متغیرها، مختصات موقعیت اینرسی پایه‌ی متحرک (موقعیت مرکز جرم پایه‌ی متحرک در راستای محور طولی (x_b)) و سه متغیر دیگر مربوط به زوایای مفاصل بازو است.

$$\mathbf{q} = [x_b, \theta_1, \theta_2, \theta_3] \quad (۲۳)$$

معادلات دینامیکی این بازوی پایه متحرک با بهره‌گیری از روش نیوتن-اویلر، در نرم افزار MAPLE استخراج شده و معادلات بدست آمده توسط نرم‌افزار MATLAB/SimMechanicsصحت-



سنجی شده است. مشخصات فیزیکی ربات نیز در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۲: نمای کلی بازوی پایه متحرک صفحه‌ای

جدول ۱: پارامترهای فیزیکی بازوی پایه متحرک صفحه‌ای[۱۷]

پارامترها	مقدار	واحد
طول میله‌ها	$l_1 = 1, l_2 = 0.8, l_3 = 0.5$	m
جرم	$2.321, m_2 = 2.15, m_3 = 2.923$	Kg
ممان اینرسی	$1147, I_2 = 0.0609, I_3 = 0.1925$	$Kg.m^2$
بیشینه سرعت بی‌باری	$_{s1} = 5.6, \omega_{s2} = 5.6, \omega_{s3} = 5.6$	Rad/s
گشتاور اِستال موتور	$_{s1} = 150, \tau_{s2} = 150, \tau_{s3} = 150$	N.m

جهت اهداف شبیه‌سازی، در این جا وضعیت مجری‌نهایی در زمان اولیه $t_0 = 0$ (s) و در زمان نهایی $t_f = 1.2$ (s) به صورت رابطه (۲۴) فرض شده است.

$$\mathbf{q}(t_0) = \mathbf{q}(t_f) = [0,0,0,0]^\circ, [120^\circ, -60^\circ, 50^\circ] \quad (۲۴)$$

همچنین مقادیر دقت و ماتریس‌های جریمه در محاسبه بار و حل مساله به صورت $\mathbf{W_p} = \mathbf{W_r} = \mathrm{diag}(1)$ ،$\mathbf{R} = \mathrm{diag}(1)$، $\mathbf{W_1} = \mathbf{W_2} = [0]$، $e = 0.1$ و $\varepsilon = 0.01$ انتخاب می‌شوند. میزان دقت مطلوب در محاسبه $\mathbf{m_p}$ و ε دقت مطلوب برای جواب مساله، در الگوریتمبه کار گرفته شده که شبه‌کد آن در شکل ۳ نشان داده شده است،می‌باشد. بر طبق الگوریتم[۱]، $\mathbf{m_p}$ از یک مقدار مینیمم به تدریج افزایش می‌یابد تا به بیشینه مقدار ظرفیت حمل بار برسد. به منظور اعمال قیود پایداری، از آنجایی که بازوی متحرک صفحه‌ای است امکان واژگونی فقط حول لبه‌های جلو و عقب چند ضلعی استقرار وجود دارد بنابراین دو قید پایداری بدین صورت به مساله‌ی کنترل بهینه افزوده می‌شود، که گشتاورهای وارده به لبه‌های جلو و عقب چند ضلعی استقرار در تمام طول مسیر بهینه‌ی تولید شده باید مثبت باشند.ظرفیت حمل بار بازوی پایه متحرک صفحه‌ای به ازای مقادیر انتخاب شده برای ماتریس‌های $\mathbf{W_1}$، $\mathbf{W_2}$ و $\mathbf{R}$، با در نظر گرفتن قیود حاکم بر مساله برابر $\mathbf{m_p} = 6.5\mathrm{Kg}$ است. در شکل ۴ موقعیت مجری‌نهایی در صفحه xy به ازای مقادیر مختلف $\mathbf{m_p}$ نشان داده شده است.

Select $\mathbf{W_1}, \mathbf{W_2}, \mathbf{R}, \varepsilon, e, n$ and $\mathbf{m_{pMax}}$

Set $t = 1, s = 1, \mathrm{flag} = 0, \mathbf{m_p}^{(1,1)} = \mathbf{m_{pMax}}$

While $(s \leq n)$

If $(\mathrm{flag} \neq 0)$ **then**

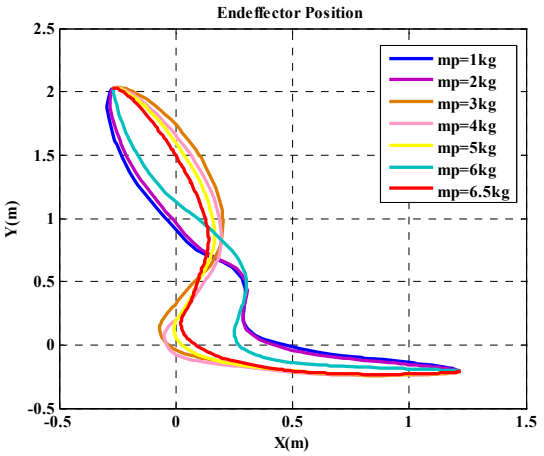
Set $= t + 1$, Set
$\mathbf{m_p}^{(s,t)} = \mathbf{m_p}^{(s,t-1)} + e \times$ n/s

End if

$^{(s,t)}$

شکل ۳:شبه‌کد محاسبه بار بیشینه

در اشکال ۵ و ۶، به ترتیب نمودار موقعیت مفاصل بازو و پایه‌ی متحرک رسم گردیده است. در اشکال ۷-۱۰ گشتاور مفاصل بر حسب زمان به ازای مقدار بیشینه آورده شده است. در نمودار گشتاور مفاصل، حدود بالا و پایین گشتاور موتورها که مطابق رابطه (۱۴) محاسبه و نشان داده شده است. با افزایش بار مجری‌نهایی مقادیر گشتاور نیز افزایش می‌یابد و روی حدود گشتاور پیش‌رفته تا به بیشترین مقدار خود برسد و اگر در این مورد از مقدار بیشتر شود مستلزم این است که گشتاورها از حدودشان تجاوز کنند که این امکان‌پذیر نمی‌باشد.



شکل ۴: موقعیت مجری نهایی به ازای مقادیر مختلف m_p با در نظر گرفتن قیود پایداری

با توجه به مطالب بیان شده در رابطه با معیار پایداری MHS، اگر گشتاورهای وارده بر چند ضلعی استقرار مثبت باشند بازوی متحرک پایدار در غیر اینصورت سیستم ناپایدار، یا در آستانه‌ی واژگونی قرار دارد. همانطور که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود گشتاورهای وارده بر لبه‌های جلو و عقب چند ضلعیاستقرار در بازوی پایه متحرک صفحه‌ای در حین طی نمودنِ مسیر بهینه‌ی استخراج شده برای $mp = 6.5\ kg$ مثبت هستند که گویای پایداری مسیر بهینه‌ی محاسبه شده برای جرم بیشینه حاصله، می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، قید جدیدی تحت عنوان قید پایداری دینامیکی به مساله تعیین بیشینه ظرفیت حمل بار دینامیکی بازوی پایه متحرک افزوده شده است. سپس با بهره‌گیری از روش کنترل بهینه‌ی مستقیم به حل مساله پرداخته می‌شود. یکی از چالش‌های مطرح در روند حل مساله، حل مساله کنترل بهینه ایجاد شده است.که در این پژوهش برای حل آن از روش عددی شبه طیف گوس استفاده شده است.

مراجع

[1] M. H. Korayem, A. Nikoobin, “Maximum Payload for Flexible Joint Manipulators in Point-to-Point Task Using Optimal Control Approach,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 38, Issue. 9-10, pp. 1045-1060, 2008.

[2] L. T. Wang, B. Ravani, “Dynamic Load Carrying Capacity of Mechanical Manipulators—Part I: Problem Formulation,” *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*,Vol. 110, No. 1, pp. 46-52, 1988.

[3] H. Ghariblu, M. H. Korayem, “Trajectory Optimization of Flexible Mobile Manipulators,” *Robotica*, Vol. 24, No. 03, pp. 333-335, 2006.

[4] M. H. Korayem, H. Ghariblu, A. Basu, “Maximum Allowable Load of Mobile Manipulators for Two Given End Points of End Effector,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 24, No. 9-10, pp. 743-751, 2004.

[5] L. T. Wang and B. Ravani. “Dynamic Load Carrying Capacity of Mechanical Manipulators—part II: Computational procedure and applications,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, Vol. 110, No. 1, pp. 53-61, 1988.

[6] M. H. Korayem, A. Basu, “Dynamic Load Carrying Capacity of Robotic Manipulators with Joint Elasticity Imposing Accuracy Constraints,” *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 13, No. 3, pp. 219-229, 1994.

[7] J. P. Desai and V. Kumar, “Nonholonomic Motion Planning for Multiple Mobile Manipulators,” *In Robotics and Automation Proceedings, IEEE International Conference on*, vol. 4, pp. 3409-3414. IEEE, 1997.

[۸] امین نیکوبین، و محرم حبیب نژاد کورایم"محاسبه ماکزیمم ظرفیت حمل بار منیپولاتور در حرکت نقطه به نقطه به روش کنترل بهینه" پانزدهیمن کنفرانس مهندسی برق، ایران، ۱۳۸۶، صفحات ۵۶-۵۱.

[9] H. Razmi and A. M. Kashtiban, “Nonlinear PID-based Analog Neural Network Control for a Two Link Rigid Robot Manipulator and Determining the Maximum Load Carrying Capacity,” *International Journal of Soft Computing and Engineering* 2, No. 1, pp. 228-234, 2012.

[10] M. H. Korayem and A. Pilechian, “Maximum Dynamic Load Carrying Capacity in Flexible Joint Robots Using Sliding Mode Control,” *In international congress on manufacturing engineering (TICME2005)*, pp. 12-15, 2005.

[11] H. Qiang, S. Sugano and K. Tanie, “Stability Compensation of a Mobile Manipulator by Manipulator Motion: Feasibility and Planning,”*In Intelligent Robots and Systems,IROS '97., Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3, pp. 1285-1292, 1997.

[12] E. Papadopoulos and D. A. Rey, “The Force-Angle Measure of Tipover Stability Margin for Mobile Manipulators,”*Vehicle System Dynamics,* Vol. 33, No. 1, pp. 29-48, 2000.

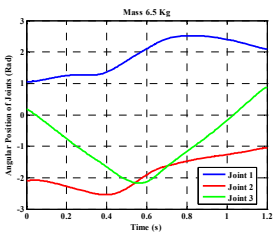
[13] S. A. A. Moosavian and K. Alipour, “Moment-Height Tip-Over Measure for Stability Analysis of Mobile Robotic Systems,” In *Intelligent Robots and Systems, 2006 IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 5546-5551, 2006.

[14] D. E. Kirk, Optimal control theory: an Introduction. *Courier Dover Publications*, 2012.

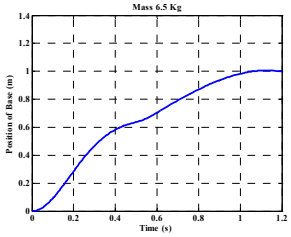
[15] L. F. Shampine, M. W. Reichelt, J. Kierzenka, “Solving Boundary Value Problems for Ordinary Differential Equations in MATLAB with bvp4c,” *Available at* http://www.mathworks.com/bvp_tutorial.

[16] A. V. Rao, D. A. Benson, C. Darby, M. A. Patterson, C. Francolin, I. Sanders and G. T. Huntington, “Algorithm 902: Gpops, a Matlab Software for Solving Multiple-Phase Optimal Control Problems Using the Gauss Pseudo Spectral Method,” *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, Vol. 37, No. 2, pp. 22, 2010.

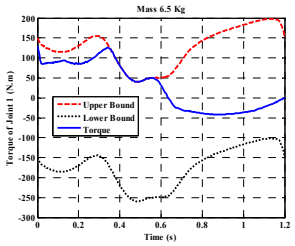
[17] L. Yu, Q. Cao, C. Li, C. Qiu, “On-line Planning of Nonholonomic Mobile Manipulators Based on Stability Twist Constraint, ” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 32, pp. 165-170, 2010.



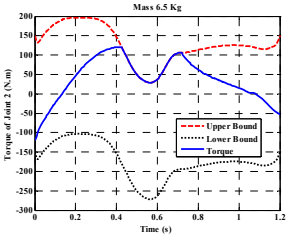
شکل ۵: تراژکتوری بهینه‌ی مفاصل بازوی ربات.



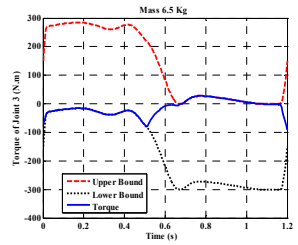
شکل ۶: تراژکتوری بهینه‌ی پایه‌ی متحرک.



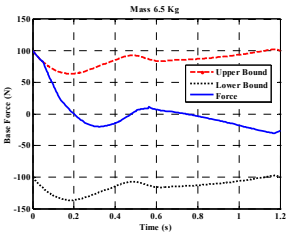
شکل ۷: گشتاور مفصل اول بازو.



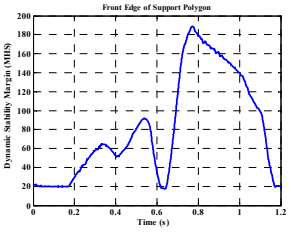
شکل ۸: گشتاور مفصل دوم بازو.



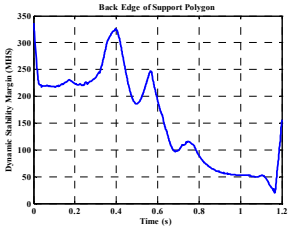
شکل ۹: گشتاور مفصل سوم بازو.



شکل ۱۰: نیروی وارده به پایه‌ی متحرک.



شکل ۱۱: گشتاور حول لبه‌ی جلو چند ضلعی استقرار.



شکل۱۲: گشتاور حول لبه‌ی عقب چند ضلعی استقرار.

الگوریتم مد رقابتی (CFA): روشی نوین برای بهینه‌سازی

اکرم آقامحسنی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

رسول رمضانیان
دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده علوم ریاضی، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله، روش بهینه‌سازی جدیدی با الهام از پدیده گسترش مد در جوامع بشری پیشنهاد شده است. الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم مد رقابتی یا *Competitive Fashion Algorithm* (*CFA*) نامیده می‌شود. در پدیده مدگرایی افراد سعی می‌کنند ظاهر خود را همانند طبقات بالای جامعه جلوه دهند و متعاقب این قضیه، قشر بالا برای حفظ موقعیت و فاصله قبلی به سرعت معیارها و ارزش‌های خود را تغییر می‌دهند تا برتریشان از بین نرود. تداوم این جریان، چرخه‌ای دائمی را سبب می‌شود که قشر پایین و متوسط همواره در حال تقلید از قشر بالا و قشر بالا نیز در حال تغییر معیارهای خود است. در این جریان صاحبان مد میل دارند بیش از سایرین دیده شوند و به این دلیل علاوه بر رقابت با یکدیگر، به سرعت در تلاشند که بعد از یک بازه زمانی کوتاه، پدیده جدید دیگری را پیشنهاد کنند. در این مقاله با الهام از تکامل این رفتار اجتماعی-فرهنگی انسان، روشی کارا برای جستجوی فضای مسائل بهینه‌سازی پیشنهاد شده است. نتایج بدست آمده از الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با نتایج حاصل از چندین الگوریتم شناخته شده دیگر، نشان دهنده عملکرد بهتر و سرعت بالاتر این الگوریتم در یافتن راه‌حل بهینه است.

کلمات کلیدی

مدگرایی، ستاره، دنباله‌رو، رفتار رقابتی

مقدمه

بهینه‌سازی به فرآیند بهتر کردن هر چیزی اطلاق می‌شود. یک مهندس و یا یک محقق ایده جدیدی را خلق می‌کند و عمل بهینه‌سازی به ایده خلق شده، کیفیت می‌بخشد [1]. بهینه‌سازی را می‌توان شامل طیف گسترده‌ای از مسائل دانست. در بسیاری از این مسائل بویژه مسائل بزرگ، انتخاب بهترین پاسخ از طریق جستجوی همه جانبه اگر چه غیرممکن نیست، ولی کاری بسیار مشکل است.

به طور کلی، می‌توان روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی را به دو دسته الگوریتم‌های قطعی و الگوریتم‌های احتمالی تقسیم کرد [2]. الگوریتم‌های قطعی قادر به یافتن پاسخ بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل بهینه‌سازی سخت کارایی ندارند و زمان حل آنها در این مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. در مقابل، الگوریتم‌های احتمالی قادر به یافتن پاسخ‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند اما تضمینی برای یافتن پاسخ بهینه نمی‌دهند. امروزه با پیچیده‌تر شدن مسائل، استقبال از روش‌های احتمالی به طور چشم‌گیری افزایش یافته، به طوری که هر روزه شاهد ارائه الگوریتم‌های جدیدی در این زمینه هستیم [3]، [4]، [5].

در این مقاله با مدلسازی ریاضی مدگرایی، الگوریتم احتمالی جدیدی به نام الگوریتم مد رقابتی (CFA) برای حل مسائل بهینه‌سازی پیشنهاد شده است. همانند دیگر الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت، الگوریتم پیشنهادی نیز با یک جمعیت اولیه شروع می‌شود. جمعیت اولیه، در حقیقت افراد مختلف یک جامعه هستند که به دو دسته تقسیم می‌شوند: ستاره‌ها و دنباله‌روها؛ همه آنها با یکدیگر تعدادی گروه را تشکیل می‌دهند. در راس هر گروه یک ستاره قرار دارد که با نوآوری و ترویج مد در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، دنباله‌روها را به سمت خود می‌کشد. علاوه بر آن، به منظور هدفمند ساختن عمل جستجو و سرعت بخشیدن به آن، ستاره‌ها به رقابت با یکدیگر می‌پردازند. ظهور مد جدید و دمده شدن، هسته‌ی اصلی الگوریتم CFA را تشکیل می‌دهد و باعث می‌شود، دنباله‌روها به سمت نقاط بهینه تابع حرکت کنند.

این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: دربخش دوم مروری مختصر بر پدیده مد ومدگرایی خواهیم داشت. سپس در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش چهارم نتایج تجربی به دست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی با نتایج چندین الگوریتم دیگر مقایسه شده و نتایج را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهیم و در بخش آخر به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

می‌پردازیم.

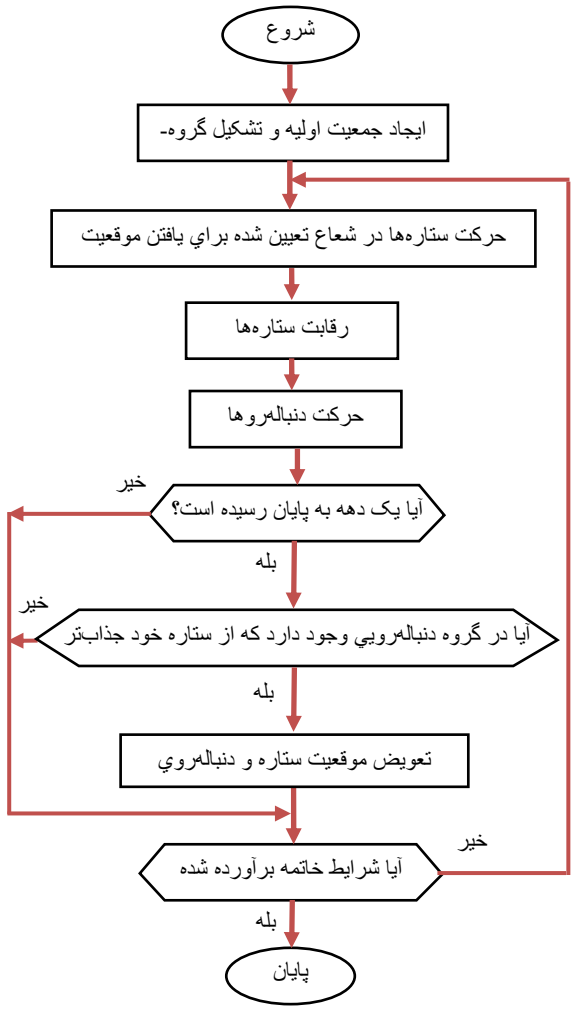
مد و مدگرایی

مد واژه‌ای فرانسوی است و در زبان فرانسه به معنی طرز، اسلوب، عادت، شیوه، رسم و باب روز آمده است. در زبان انگلیسی نیز برای مد دو تعاریف ارائه شده است: اول، مد شیوه رفتاری است که به دلیل مقتضی بودن برای زمان و مکانی خاص، به طور موقت توسط بخش مشخصی از اعضاء یک گروه اجتماعی اتخاذ می‌شود و دوم، مد نوع لباسی است که اخیرا رایج شده است. درحالت کلی، مد الگویی فرهنگی است که توسط بخشی از جامعه در یک دوره زمانی کوتاه، پذیرفته و سپس فراموش می‌شود. بنابراین مدگرایی آن است که فرد، سبک لباس پوشیدن و طرز زندگی و رفتار خود را طبق آخرین الگوها تنظیم کند و به محض آنکه الگوی جدیدی درجامعه رواج یافت، از آن پیروی نماید [6].

مد و مدسازی ریشه در نابرابری‌های اجتماعی دارد. از آنجا که منابع اقتصادی و منزلتی محدود هستند، افراد همواره به دنبال حداکثر نمودن سود و اتخاذ رفتاری مناسب برای جذب این منابع هستند. ثروتمندانی که از دارایی ومنابع مالی و اجتماعی بیشتری نسبت به دیگران برخوردارند سعی دارند تا با طرح اشکال جدید لباس، خوراک، گفتمان‌های زبانی، تفریحات، اوقات فراغت و مواردی نظیر آن خود را از سایر اقشار و طبقات اجتماعی متمایز سازند. بدین ترتیب، با تفکیک و تمایزی که بر اثر اتخاذ این شیوه عینی رفتار رخ می‌دهد افراد طبقه بالای اجتماع قدرت، منزلت و حتی شرایط کسب منابع بیشتری را برای خود بازتولید می‌کنند. از همین مجرا، شرایط برای احترام بیشتر و بهره‌مندی بهتر از مناسبات و روابط میان فردی نیز، فراهم می‌گردد. افراد طبقه پایین‌تر نیز به همین نحو و با انگیزه مشابه به شناسایی اشکال و صورت‌های پذیرفته شده در منش طبقات ثروتمند روی آورده و در همگون‌سازی خود با آنها و مرفه‌نمایی می‌کوشند. این امر سبب می‌گردد که این تمایز از میان افراد طبقات مختلف برچیده شود و شرایط بهره‌مندی و برخورداری از منابع محدود برای افراد دیگر طبقات نیز فراهم شود. در این گیر و دار ثروتمندان نیز از پا ننشسته و به طرح اشکال جدیدتر سبک‌ها و صورت‌های زندگی روی آورده و سعی در تفکیک مجدد خود با اقشار فرودست دارند. این صور جدید نیز اغلب پس ازمدتی به همان ترتیب، توسط اقشار پایین‌تر بازسازی شده و خنثی می‌گردند.

الگوریتم پیشنهادی

شکل (۱)، فلوچارت الگوریتم پیشنهادی، CFA، را نشان می‌دهد.



شکل ۱: فلوچارت الگوریتم مد رقابتی (CFA)

جمعیت اولیه

به منظور حفظ قابلیت جستجوی اکتشافی الگوریتم، مطابق با بسیاری از الگوریتم‌های هوش جمعی، ایجاد جمعیت اولیه در الگوریتم پیشنهادی به صورت تصادفی با توزیع نرمال خواهد بود و تعداد آن بستگی به نوع فضای جستجو دارد. جمعیت اولیه به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$Population = [p_1, p_2, ..., p_{N_{pop}}] \qquad (۱)$$

در رابطه فوق p_i شخص i–ام در جمعیت و N_{pop} تعداد جمعیت را بیان می‌کند. جمعیت اولیه شامل افراد مختلف است که هر یک از این افراد، پاسخی برای مسئله و دارای خصوصیات خاص خود مانند سطح تحصیلات، زیبایی، موقعیت اقتصادی و غیره است. اگر N_{var} بیان‌گر ابعاد فضای جستجو باشد، فرد i–ام در

جمعیت طبق رابطه (۲) تعریف می‌شود.

(۲)

$$p_i = [properties_{i1}, properties_{i2}, ..., properties_{iN_{\text{var}}}]$$

محاسبه میزان جذابیت افراد

در مسائل بهینه‌سازی با در نظر گرفتن تابع $f(x)$، سعی بر آن است تا آرگومان x به گونه‌ای یافت شود که مقدار تابع هدف متناظر با آن، بهینه باشد. در الگوریتم مد رقابتی مقدار تابع هدف به ازای هر فرد، متناظر با میزان جذابیت آن فرد است و برای فرد i-ام به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$f(p_i) = f([properties_{i1}, properties_{i2}, ..., properties_{iN_{\text{var}}}]) \quad (۳)$$

انتخاب ستاره‌ها و تخصیص دنباله‌روها به آنها

پس از محاسبه میزان جذابیت افراد با استفاده از تابع هدف $f(x)$، N_{Stars} تا از جذاب‌ترین افراد (۵ الی ۱۰ درصد از جمعیت) به عنوان ستاره انتخاب و باقیمانده که تعداد آنها برابر $N_{Followers} = N_{pop} - N_{Stars}$ است، دنباله‌روهایی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک ستاره تخصیص می‌یابد. هنگام تقسیم دنباله‌روها بین ستاره‌ها، تعداد دنباله‌روهای ستاره i-ام با توجه به میزان جذابیت آن طبق رابطه (۴) تعیین می‌شود.

(۴)

$$NumFollowers_{star_i} = round\left(\frac{f(Star_i)\times 100}{\sum_{i=1}^{N_{Stars}} f(Star_i)} \times N_{follwers}\right), \quad i \in \{1,...,N_{Star}\}$$

سپس به منظور افزایش قابلیت جستجوی اکتشافی الگوریتم، دنباله‌روهای هر ستاره به تعداد مشخص شده برای آن به صورت تصادفی از بین جمعیت دنباله‌روها انتخاب می‌شوند.

حرکت ستاره‌ها

در الگوریتم CFA، ستاره‌ها تلاش می‌کنند تا با جستجوی تدریجی در فضای مسئله و یافتن موقعیت بهتر، مد جدیدی را ارائه دهند. برای این منظور، هر ستاره با شعاع کوچکی در فضای جستجو شروع به اکتشاف کرده و در صورت یافتن مکانی با مقدار بهتر تابع هدف به آن نقطه جدید تغییر مکان می‌دهد. اگر این موقعیت در شعاع جستجو وجود نداشت، به دنبال موقعیت بهتر در همسایگی با شعاع بیشتر می‌گردد و در صورت عدم دریافت چنین موقعیتی این شعاع را تا حداکثر میزان تعریف شده برای آن گسترش می‌دهد و در نهایت اگر چنین نقطه بهتری پیدا نشد، موقعیت قبلی خود را حفظ می‌کند. اگر موقعیت فعلی ستاره i-ام را با $Star_i.Position$، موقعیت جدید آن را با $Star_i.NewPosition$ ، شعاع جستجو در هر تکرار را با β_S و حداکثر شعاع جستجو برای هر ستاره را با R_{Star} نشان دهیم، حرکت ستاره i-ام در هر تکرار الگوریتم به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود.

$$Star_i.NewPosition = \beta_s \times rand \times Star_i.Position, \quad \beta_s \in (0, R_{star}]. \quad (۵)$$

در رابطه فوق، $rand$ بیانگر برداریست که ابعاد آن با ابعاد موقعیت ستاره یکسان است و عناصر آن اعداد تصادفی توزیع شده به صورت یکنواخت در بازه‌ی [۰,۱] می‌باشد. علت استفاده از این بردار افزایش قابلیت جستجوی اکتشافی الگوریتم است.

رقابت ستاره‌ها

همانطور که در دنیای واقعی طراحان، برندها و همچنین ستاره-های دنیای مد به صورت دائمی با یکدیگر رقابت دارند در الگوریتم پیشنهادی نیز عملگری برای رقابت بین ستاره‌ها طراحی شده است.

در طی اجرای الگوریتم پیشنهادی، زمانی که نوبت به اجرای عملگر رقابت بین ستاره‌ها می‌رسد، ابتدا ستاره‌های مربوط به کل گروه‌ها در یک ساختار همسایگی قرار می‌گیرند. تاکنون ساختارهای همسایگی زیادی پیشنهاد شده است [7]، [8]. ساختار پیشنهادی در این مقاله، یک شبکه‌ی دایره‌ای تصادفی است. در این ساختار هر ستاره می‌تواند با دو ستاره دیگر که در همسایگی آن قرار گرفته‌اند، تبادل اطلاعات داشته باشد. مشکلی که در ساختار دایره‌ای وجود دارد این است که مثلا ستاره i-ام تنها می‌تواند با دو ستاره دیگر که دارای اندیس‌های (i+1) و (i-1) هستند، همسایه باشد. در حالی که این مشکل در ساختار دایره‌ای تصادفی حل شده است. به این صورت که پس از روند تکامل هر نسل در نسل بعد، همسایگی هر ستاره می‌تواند به صورت تصادفی انتخاب شود.

فرض کنید n گروه داریم و ستاره‌های مربوط به گروه‌های {1,2,..,n} به ترتیب در آرایه‌ی A قرار گرفته‌اند. همچنین در نظر بگیرید که A' ساختار دایره‌ای تصادفی است. بدین شکل در هر تکرار الگوریتم و زمانی که نوبت به اجرای عملگر رقابت ستاره‌ها می‌رسد، در ابتدا یک جایگشت تصادفی از عناصر

{1,2,...,n} تولید می‌شود و در آرایه‌ی SortOrder قرار می‌گیرد. سپس ستاره‌ها طبق این ترتیب تصادفی تولید شده، در موقعیت‌های جدید خود در آرایه 'A قرار می‌گیرند. برای مثال فرض کنید n برابر با ۸ باشد. در ابتدای کار داریم:

A	Star1	Star2	Star3	Star4	Star5	Star6	Star7	Star8
	1	2	3	4	5	6	7	8

جایگشت تصادفی تولید شده برای اعداد {1,2,...,8} برابر خواهد بود با:

SortOrder	6	2	8	3	1	5	7	4

و در نهایت ساختار تصادفی که به صورت $A'=A([SortOrder])$ ایجاد می‌شود برابر خواهد بود با :

A'	Star6	Star2	Star8	Star3	Star1	Star5	Star7	Star4
	1	2	3	4	5	6	7	8

برای اینکه دایره‌ای بودن ساختار حفظ شود، می‌بایست فرض شود خانه ابتدایی و انتهایی آرایه‌ی 'A به یکدیگر متصلند. به این ترتیب همسایگی Star4 برابر با {Star7,Star6} و همسایگی Star6 برابر با {Star4,Star2} خواهد بود.

پس از تشکیل ساختار، در یک حلقه هر ستاره با دو ستاره دیگری که در همسایگی آن قرار گرفته است، رقابت می‌کند. فرض کنید ستاره فعلی را با Stari و همسایگی آن را با {Stari+1, Stari-1} نشان دهیم. رقابت به این صورت است که ابتدا همسایه‌ای که دارای بهترین مقدار تابع هدف است مشخص و BestNeigbour نامیده می‌شود. در مرحله بعد مقدار تابع هدف Stari با BestNeigbour مقایسه می‌شود. اگر در این رقابت Stari برنده شود، تغییری نکرده و می‌تواند موقعیت فعلی خود را حفظ کند اما اگر بازنده شود، سقوط می‌کند و جای آن را یک ستاره جدید می‌گیرد. موقعیت ستاره جدید از رابطه (۸) به دست می‌آید.

(۸)

$$Star_i.NewPosition = BestNeigbour.Position + rand * (BestNeigbour.position - Star_i.Position)$$

در رابطه فوق، rand بیانگر برداریست که ابعاد آن با ابعاد موقعیت ستاره یکسان و عناصر آن اعداد تصادفی توزیع شده به صورت یکنواخت در بازه‌ی [۰,۱] است. این رابطه، علاوه بر اینکه به صورت موثری از اطلاعات برنده و بازنده استفاده می‌کند، تاکید بیشتری بر قابلیت جستجوی محافظه‌کارانه الگوریتم دارد زیرا تا حدودی مشابه عملگر نوترکیبی در الگوریتم ژنتیک است.

به این ترتیب علاوه بر این که ستاره‌ها می‌توانند توسط رقابت با یکدیگر مقدار جذابیت خود را افزایش دهند، اطلاعات به آرامی در بین گروه‌ها منتشر می‌شود و به این ترتیب مشاهده می‌شود که مفهوم همکاری نیز در این رقابت مستتر خواهد بود. در انتهای فرآیند رقابت ستاره‌ها (زمانی‌که همه ستاره‌ها در یک رقابت با همسایگی خود شرکت کردند)، هر ستاره به گروه خود بازگردانده خواهد شد.

حرکت دنباله‌روها

به منظور شبیه‌سازی گسترش مد در بین عوام، دنباله‌روها در الگوریتم CFA به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته اول دنباله-روهای معمولی هستند که به طور مستقیم از ستاره مورد علاقه-شان تقلید می‌کنند. این دسته از دنباله‌روها طبق رابطه (۶) با ضریبی مانند آلفا به سمت ستاره مورد نظرشان حرکت می‌کنند.

$$Follower_{S_i}^{j}.NewPosition = \alpha * Star_i.Position + (1-\alpha) * Follower_{S_i}^{j}.Position$$

(۶)

در رابطه فوق $Follower_{S_i}^{j}.Position$ موقعیت فعلی دنباله‌روی j-ام متعلق به ستاره i-ام و $Follower_{S_i}^{j}.NewPosition$ موقعیت جدید آن است. همچنین α به صورت ضریبی تعریف شده که هر چه مقدار آن بیشتر در نظر گرفته شود، احتمال همگرایی زودرس الگوریتم نیز بیشتر می‌شود و اگر مقدار آن را کم در نظر بگیریم، الگوریتم بسیارکند خواهد شد. در الگوریتم پیشنهادی، مقدار α به صورت تصادفی و در بازه [۰,۱] انتخاب می‌شود.

دسته‌ی دوم دنباله‌روهای هستند که در طی فرآیند جستجو می-توانند نسبت به ستاره متناظرشان به موقعیت بهتری برسند. بنابراین، این دنباله‌روها مستعد ستاره شدن هستند. برای این گونه دنباله‌روهای جذاب حرکت مستقیم به سمت ستاره را نداشته و در واقع همانند ستاره‌ها به آنها فرصت نوآوری و خلاقیت داده می‌شود. موقعیت دنباله‌روی جذاب j-ام متعلق به ستاره i-ام در هر تکرار الگوریتم طبق رابطه (۷) به روز رسانی می‌شود.

(۷)

$$Follower_{S_i}^{j}.NewPosition = \beta_f * rand * Follower_{S_i}^{j}.Position, \quad \beta_f \in (0, R_{follower}].$$

در رابطه فوق β_f، بیانگر شعاع جستجوی دنباله‌روها در هر تکرار الگوریتم و $R_{follower}$ حداکثر مقدار تعریف شده برای آن است.

دهه

مد یک انگیزش کوتاه مدت اجتماعی است و ما در طی دهه‌های مختلف شاهد ظهور مدهای جدید و دمده شدن مدهای قدیمی بوده‌ایم. با توجه به این مطلب در الگوریتم CFA، پارامتری به نام دهه، *Decade*، تعریف می‌شود به طوری که بسیاری از تغییرات الگوریتم از جمله تلاش یک فرد برای ستاره شدن و حذف یک ستاره در طول یک دهه صورت می‌گیرد. یک دهه به صورت چندین تکرار متوالی الگوریتم تعریف می‌شود که تعداد این تکرارها بستگی به فضای جستجوی مسئله دارد.

در واقع با این کار، یک دهه به ستاره‌ها و دنباله‌روهای جذاب فرصت کشف موقعیت بهتر داده می‌شود و به نوعی از گیرافتادن در بهینه‌های محلی جلوگیری می‌شود (در طی یک دهه شعاع جستجو افزایش داده می‌شود تا در پایان یک دهه به حداکثر میزان خود برسد). پس از پایان یک دهه، اگر در هر گروه دنباله-رویی وجود داشت که از ستاره خود جذاب‌تر بود، موقعیت آنها با یکدیگر تعویض می‌شود و به این ترتیب شاهد سقوط یک ستاره و به اوج رسیدن ستاره جدید خواهیم بود.

تحلیل و بررسی نتایج تجربی

در این بخش از مقاله برای ارزیابی عملکرد الگوریتم CFA، چندین تابع محک معروف تک-قله‌ای (Unimodal) و چند-قله‌ای (Multimodal) مورد ارزیابی قرار گرفت . این توابع در جدول (۱) آورده شده‌اند. برای توابع تک-قله‌ای سرعت همگرایی الگوریتم مهم‌تر از پاسخ نهایی به دست آمده است در حالی که برای توابع چند-قله‌ای، دقت مهم‌تر از سرعت الگوریتم است. در حقیقت، توابع چند قله‌ای به منظور سنجش قابلیت الگوریتم‌ها برای گریز از بهینه محلی استفاده می‌شوند. توابع F1، F2، F3، F6، F9 و F10 توابع تک قله‌ای و توابع F4، F5، F7 و F8 توابع چند قله‌ای هستند. در مورد همه توابع مورد آزمایش، هدف یافتن نقطه مینیمم سراسری است.

در بخش اول آزمایشات، عملکرد الگوریتم مد رقابتی (CFA) بر روی توابع F1 تا F5 با عملکرد چندین الگوریتم دیگر از جمله الگوریتم ژنتیک حقیقی (RGA)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با ضریب اینرسی پویا (Iw-PSO) [9] و الگوریتم رقابت استعماری (ICA) [10] در ابعاد ۱۰ و ۳۰ مقایسه خواهد شد. تنظیمات پارامترهای الگوریتم‌های مورد آزمایش در جدول (۲) آورده شده است. هر آزمایش به ازای هر الگوریتم و هر تابع محک ۲۰ بار به صورت مستقل انجام شده و نتایج بدست آمده حاصل میانگین‌گیری از این ۲۰ بار اجرای مستقل است. در این مجموعه آزمایشات، شرط خاتمه الگوریتم رسیدن به حداکثر تکرار ۱۰۰۰ و تعداد عامل‌های جستجو برای همه الگوریتم‌های مورد آزمایش ۸۰ در نظر گرفته شده است.

جدول ۸. توابع محک مورد آزمایش

تابع	حدود متغیرهای تصمیم
$F1=\sum_{i=1}^{D}(x_i+0.5)^2$	[-100,100]
$F2=\sum_{i=1}^{D-1}(100(x_i^2-x_{i+1})^2+(x_i-1)^2)$	[-100,100]
$F3=\sum_{i=1}^{D-1}ix_i^4+random[0,1)$	[-1.28,1.28]
$F4=-20\exp\left(-0.2\sqrt{\frac{1}{D}\sum_{i=1}^{D}x_i^2}\right)-\exp\left(\frac{1}{D}\sum_{i=1}^{D}\cos(2\pi x_i)\right)+20+e$	[-32,32]
$F5=\frac{\pi}{n}\left(10\sin(\pi y_1)+\sum_{i=1}^{D-1}(y_i-1)^2[1+10\sin^2(\pi y_{i+1})]+(y_n-1)^2\right)+\sum_{i=1}^{D}u(x_i,10,100,4).$ $y=1+\frac{x_i+1}{4}$ $u(x_i,a,k,m)=\begin{cases}k(x_i-a)^m, & x_i>a\\0, & -a<x_i<a\\k(-x_i-a)^m, & x_i<-a\end{cases}$	[-50,50]
$F6=\sum_{i=1}^{D}x_i^2$	[-100,100]
$F7=\sum_{i=1}^{D}(x_i^2-10\times\cos(2\pi x_i)+10)$	[-100,100]
$F8=\frac{1}{4000}\times\sum_{i=1}^{D}x_i^2-\prod_{i=1}^{D}\cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}+1\right)$	[-600,600]
$F9=(x_1+2x_2-7)^2+(2x_1+x_2-5)^2$	[-10,10]
$F10=\sum_{i=1}^{D}x_i^2+(\sum_{i=1}^{D}0.5ix_i)^2+(\sum_{i=1}^{D}0.5ix_i)^4$	[-5,10]

جدول ۲. پارامترهای الگوریتم‌های مورد آزمایش

الگوریتم	پارامترها
CFA	Decade=5, N_{Star}=8, R_{stars}=$R_{followers}$=1.5
ICA	NumOfImperialist=8, AssimilitionCoefficient=2, Zeta=0.02,
Iw-PSO	C1=C2=2, $w_{initial}$=0.9, W_{iter}=$w_{initial}$-$(2.5\times10e^{4})\times iter$
RGA	CrossoverRate=0.8, MutationRate=0.1, SelectionMode=RouletteWheelSelection

نتایج عددی آزمایشات بخش اول، برای ابعاد ۱۰ و ۳۰ به ترتیب در جداول (۲) و (۳) آورده شده است. در این جداول، Ave بیانگر میانگین مقادیر تابع هدف به دست آمده، Best بیانگر بهترین مقدار تابع هدف به دست آمده و Std بیانگر انحراف معیار استاندارد در ۲۰ بار اجرای مستقل هر آزمایش است. همچنین، بهترین مقدار میانگین دست آمده (Ave) در بین همه الگوریتم‌ها به ازای هر تابع با قلم مشکی پر رنگ مشخص شده است.

جدول (۲) : مقایسه نتایج الگوریتم‌های مورد آزمایش در ابعاد ۱۰

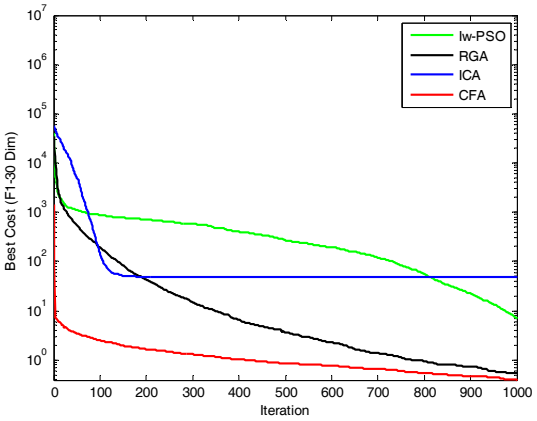
		F1	F2	F3	F4	F5
CFA	Ave	**$1.24e^{-7}$**	**6.24**	**$1.47e^{-5}$**	**0**	**$1.2e^{-8}$**
	Best	$7.44e^{-14}$	5.31	$3.11e^{-7}$	0	$5.3e^{-8}$
	Std	$5.4e^{-7}$	0.52	$1.2e^{-5}$	0	$3.4e^{-8}$
ICA	Ave	$2.7e^{-2}$	$3.4e^{1}$	$7.3e^{-2}$	$1.5e^{-14}$	$3.8e^{-8}$
	Best	$5.3e^{-9}$	$3.3e^{-1}$	$2.6e^{-2}$	$6.6e^{-15}$	$9.6e^{-16}$
	Std	$9.6e^{-2}$	36.8	$3.0e^{-2}$	$3.1e^{-14}$	$3.3e^{-7}$
Iw-PSO	Ave	$1.2e^{-6}$	$2.9e^{1}$	$9.7e^{-4}$	$4.8e^{-15}$	$6.4e^{-8}$
	Best	$4.5e^{-8}$	$6.1e^{-1}$	$6.2e^{-4}$	$4.4e^{-15}$	$4.3e^{-9}$
	Std	$1.5e^{-6}$	55.7	$2.3e^{-4}$	$1.1e^{-16}$	$8.7e^{-8}$
RGA	Ave	$7.1e^{-4}$	$4.2e^{1}$	$8.2e^{-4}$	$2.8e^{-2}$	$3.1e^{-3}$
	Best	$1.3e^{-4}$	2.5	$1.8e^{-4}$	$1.2e^{-2}$	$4.4e^{-7}$
	Std	$4.9e^{-4}$	36	$1.2e^{-3}$	$1.4e^{-2}$	$5.8e^{-3}$

جدول (۳) : مقایسه نتایج الگوریتم‌های مورد آزمایش در ابعاد ۳۰

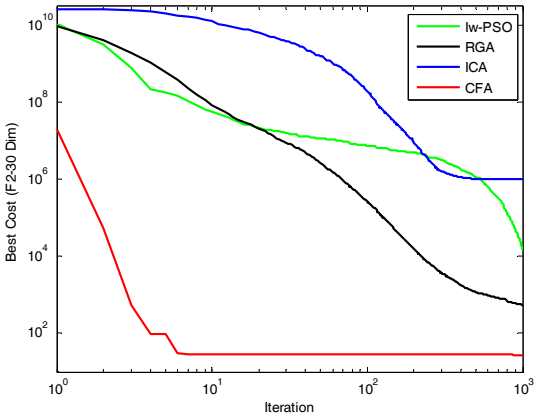
		F1	F2	F3	F4	F5
CFA	Ave	**0.39**	**27.65**	**$1.63e^{-5}$**	**0**	**$1.6e^{-2}$**
	Best	0.008	26.70	$2.54e^{-6}$	0	$2e^{-3}$
	Std	0.25	0.57	$1.62e^{-5}$	0	$1.2e^{-2}$
ICA	Ave	47.5	$9.9e^{5}$	$8.1e^{-1}$	$3.3e^{-9}$	1.27
	Best	12.9	$2.3e^{2}$	$4.0e^{-1}$	$9.8e^{-10}$	$2.3e^{-6}$
	Std	31.3	$2.6e^{6}$	0.3	$4.1e^{-9}$	3.8
Iw-PSO	Ave	7.05	$1.5e^{4}$	$2.1e^{-2}$	$2.7e^{-8}$	$8.6e^{-2}$
	Best	2.01	$3.7e^{3}$	$1.1e^{-2}$	$2.3e^{-9}$	$1.0e^{-2}$
	Std	3.9	$1.5e^{4}$	$7.5e^{-3}$	$2.2e^{-9}$	$9.0e^{-2}$
RGA	Ave	0.53	$5.5e^{2}$	$2.0e^{-2}$	$9.3e^{-1}$	$3.0e^{-2}$
	Best	0.14	$1.6e^{2}$	$1.3e^{-2}$	$1.7e^{-1}$	$5.1e^{-4}$
	Std	0.3	840	$5.5e^{-2}$	$7.1e^{-1}$	$4.7e^{-2}$

همانطور که در جداول (۲) و (۳) مشاهده می‌شود، الگوریتم CFA علاوه بر اینکه برای توابع F1 تا F5 در ابعاد ۱۰ و ۳۰ پایدارترین الگوریتم است (هر چه مقدار انحراف معیار کم‌تر باشد الگوریتم پایدارتر است)، توانسته بهترین مقادیر تابع هدف را نیز به دست آورد.

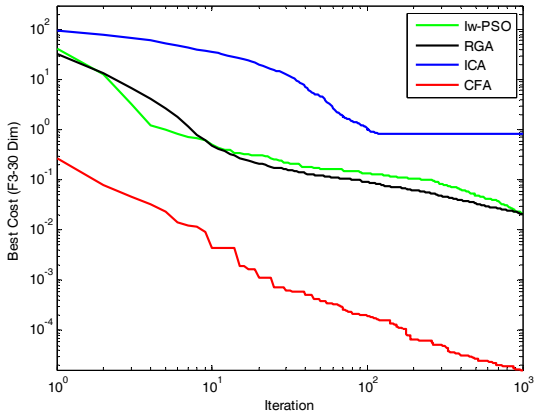
روند همگرایی الگوریتم‌های مورد آزمایش برای توابع تک قله‌ای F1، F2 و F3 در ابعاد ۳۰ به ترتیب در شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) رسم شده است.



شکل (۲) : روند همگرایی الگوریتم‌ها برای تابع F1



شکل (۳) : روند همگرایی الگوریتم‌ها برای تابع F2



شکل (۴) : روند همگرایی الگوریتم‌ها برای تابع

همانطور که در شکل‌های (۲) تا (۴) مشاهده می‌کنید، الگوریتم CFA سرعت همگرایی بسیار بالاتری نسبت به الگوریتم‌های RGA، ICA و Iw-PSO دارد.

در بخش دوم آزمایشات، عملکرد الگوریتم پیشنهادی با عملکرد روش جدید بهینه‌سازی حرکت براونی گاز (GBMO) [11] بر روی توابع F2، F4 و F6 تا F10 مقایسه می‌شود. هر آزمایش به ازای هر الگوریتم و هر تابع محک ۳۰ بار به صورت مستقل انجام شده و نتایج بدست آمده حاصل میانگین‌گیری از این ۳۰ بار اجرای مستقل است. مطابق با مرجع [11] تعداد عامل‌های جستجو ۸۰ و شرط خاتمه الگوریتم رسیدن به حداکثر تکرار ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است. نتایج مقایسه بر روی توابع F2، F4، F6، F7 و F8 برای ابعاد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ در جدول (۴) و مقایسه عملکرد دو الگوریتم بر روی توابع F9 و F10 برای ابعاد ۲ در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۴. مقایسه نتایج الگوریتم‌های CFA و GBMO برای ابعاد ۱۰،۲۰ و ۳۰

		GBMO[11]	CFA
F2	10-dim	8.01	**5.9**
	20-dim	18.37	16.67
	30-dim	28.082	27.6
F4	10-dim	$1.7e^{-11}$	0
	20-dim	$2.56e^{-11}$	0
	30-dim	$2.56e^{-5}$	0
F6	10-dim	$4e^{-9}$	0
	20-dim	$8e^{-9}$	0
	30-dim	$1.2e^{-9}$	0
F7	10-dim	$7.93e^{-9}$	0
	20-dim	$1.58e^{-9}$	0
	30-dim	$2.38e^{-8}$	0
F8	10-dim	0.0987	0
	20-dim	0.722	0
	30-dim	2.37	0

جدول ۵. مقایسه نتایج الگوریتم‌های CFA و GBMO برای ابعاد ۲

	GBMO[11]	CFA
F9	0.008	0
F10	0	0

همانطور که در جداول (۴) و (۵) مشاهده می‌کنید، به استثنای تابع F10 که هر دو الگوریتم توانسته‌اند به نقطه بهینه سراسری دست یابند، در مورد تمام توابع دیگر الگوریتم CFA برتری قابل توجهی نسبت به الگوریتم GBMO دارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله با مدلسازی ریاضی مدگرایی و رفتار رقابتی موجود در صنعت مد، روشی موثر برای جستجوی فضای مسائل بهینه-سازی پیشنهاد شد. در الگوریتم پیشنهادی دنباله‌روها می‌توانند با تقلید از ستاره مورد علاقه خود، به سمت نقاط بهینه تابع حرکت کنند. به علاوه ستاره‌ها توسط رقابت با یکدیگر، کیفیت پاسخ به دست آمده را بهبود بخشند و نیز یک سیستم انتشار اطلاعات ضمنی بین گروه‌ها تشکیل میدهند که به صورت تدریجی اطلاعات بهترین ستاره را بین گروه‌ها منتشر می‌کند. نتایج تجربی حاصل از آزمایشات، برتری عملکرد الگوریتم پیشنهادی را نسبت به الگوریتم‌های مورد آزمایش دیگر هم از لحاظ دقت و هم از لحاظ سرعت رسیدن به بهینه سراسری نشان می‌دهد. از الگوریتم پیشنهادی به علت سرعت همگرایی بالا و دقت خوب آن می‌توان در کاربردهایی که زمان اجرا مهم است، بهره برد.

مراجع

[1] R. L. Haupt, S. E. Haupt, *Practical genetic algorithms*, 2th ed., New Jersey, John Wiley & Sons, 2004.

[2] X. S. Yang, *Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications*, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2010.

[3] I. Boussaïd, J. Lepagnot and P. Siarry, "A survey on optimization metaheuristics," *Infor mation Sciences,* vol. 237, pp. 82-117, 2013.

[4] E. Cuevas, D. Oliva, D. Zaldivar, M. Pérez-Cisneros and H. Sossa, "Circle detection using electro-magnetism optimization," *Information Sciences,* vol. 182, no. 1, pp. 40-55, 2012.

[5] M. Ghaemi, M. R. Feizi-Derakhshi, "Forest Optimization Algorithm," *Expert Systems with Applications,* vol. 41, pp. 6676-6687, 2014.

[6] ا. غروی زاده، *درآمدی بر تئوری‌ها و مدل‌های تغییرات اجتماعی*، جهاد دانشگاهی، ص. ۱۵۸، تهران، ۱۳۷۳.

[7] F. Yue-wen, Z. Feng-xing, X. Xiao-hong, C. Qing-zhu, W. Jia-hua, "Hybrid flow-shop scheduling method based on multi-agent particle swarm optimization," *in Information and Automation*, 2011.

[8] Y. Can-zhong, Y. Jian-mei, "PSO Algorithm Based on Network Neighborhood Topology," *Computer Engineering*, Vol. 36, No.19, 2010.

[9] A. Chatterjee, P. Siarry, "Nonlinear inertia weight variation for dynamic adaptation in particle swarm optimization," *Computers & Operations Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 859-871, 2006.

[10] E. Atashpaz-Gargari, C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," *in Evolutionary Computation, Singapore*, 2007.

[11] M. Abdechiri, M. R. Meybodi, H. Bahrami, "Gases Brownian motion optimization: an algorithm for optimization (GBMO) ," *Applied Soft Computing,* Vol. 13, No. 5, pp. 2932-2946, 2013.

Persistent K-Means:خوشه‌بندی پایدار داده‌ها مبتنی بر الگوریتم K-Means

رسول عظیمی
دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

هدیه ساجدی
دانشگاه تهران، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر

چکیده

خوشه‌بندی به عنوان یک قالب مفهومی و الگوریتمی غنی جهت تحلیل و تفسیر داده‌ها، به دنبال کشف ساختار در داده‌های جمع‌آوری شده می‌باشد. الگوریتم K-Means به عنوان یکی از شناخته‌شده‌ترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی بر جزءبندی، به صورت تکراری با استفاده از روش اختصاص مجدد داده‌ها سعی در بهینه‌سازی تقسیم‌بندی داده‌ها دارد. این الگوریتم با وجود ویژگی‌هایی مانند سادگی و سرعت عملکرد، کاملاً نسبت به مراکز اولیه خوشه‌ها که در فاز اول اجرای الگوریتم به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، حساس است و به موجب این انتخاب تصادفی، قادر به تضمین ارائه یک نتیجه منحصربفرد و دقیق نمی‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای حل این مسئله ارائه شده است که علیرغم ایجاد بهبود نسبی در نتایج الگوریتم، قادر به ارائه نتایج قطعی نمی‌باشند و حتی ممکن است هیچ یک از نتایج ارائه داده شده، نتیجه‌ی بهینه‌ای نیز نباشد. در این مقاله، یک نسخه پایدار از الگوریتم K-Means پیشنهاد شده است که با رویکردی نوین به منظور همگرایی صحیح الگوریتم K-Means، نتایج دقیق و قطعی را ارائه می‌دهد و نتایج ارزیابی، دقت بالای این روش پیشنهادی را در مقایسه با روش‌های پیشین نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی

داده‌کاوی، خوشه‌بندی، **K-Means**، فاصله اقلیدسی.

مقدمه

یکی از جنبه‌های مهم ارزیابی داده‌ها در شناسایی خوشه‌ها می‌باشد. خوشه‌بندی، داده‌ها را به گروه‌هایی (خوشه‌هایی) از داده‌ها تقسیم می‌کند، به گونه‌ای که شباهت داده‌های درون‌خوشه‌ای بیشینه و شباهت داده‌های میان‌خوشه‌ای کمینه باشد [19,15,11,6,4,1]. الگوریتم خوشه‌بندی K-Means یکی از شناخته‌شده‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی مبتنی بر جزءبندی می‌باشد. علت شهرت این الگوریتم، سادگی تفسیر و پیاده‌سازی، قابلیت مقیاس‌پذیری، سرعت همگرایی آن می‌باشد [9-7,2,1]. - با این وجود، این الگوریتم کاملاً حساس به مراکز اولیه خوشه‌ها است که در فاز اول اجرای این الگوریتم، به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و با توجه به این انتخاب تصادفی، نتایج غیر قطعی ارائه داده و به طور کلی احتمال اینکه به نتایج غیر صحیحی همگرا شود، بسیار زیاد است [16]. تاکنون راه‌حل‌های مختلفی برای حل این مسئله ارائه شده است. از جمله اینکه می‌توان مقدار K را بیش از مقدار واقعی آن، در نظر گرفت و یا اینکه مراکز اولیه را با تکنیک‌های خاصی انتخاب کرد که الگوریتم به نتایج صحیح‌تری همگرا شود. تاکنون روش‌های مختلفی به منظور حل مسئله انتخاب مراکز خوشه اولیه الگوریتم K-Means پیشنهاد شده است. در [18] چهار رویکرد برای انتخاب مراکز خوشه اولیه در الگوریتم K-Means ارائه شده است که این رویکردها عبارتند از رویکرد تصادفی، رویکرد فورگی، رویکرد مک‌کوئین و رویکرد کافمن. در رویکرد تصادفی، K مرکز خوشه اولیه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می‌شوند. در رویکرد فورگی K نمونه از پایگاه داده (دانه‌ها) به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و بقیه‌ی نمونه‌ها به خوشه‌هایی که نزدیک‌ترین دانه نماینده‌ی آن‌ها می‌باشد، انتصاب می‌یابند. در رویکرد مک‌کوئین، تعداد K عدد از نمونه‌های پایگاه داده (دانه‌ها) به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. با توجه به ترتیب نمونه‌ها، بقیه‌ی نمونه‌ها به خوشه‌ای با نزدیک‌ترین مرکز خوشه انتصاب می‌یابند. بعد از هر انتصاب، بایستی محاسبات دوباره برای مرکز خوشه انجام شود. در روش کافمن، خوشه‌بندی اولیه توسط انتخاب متوالی نمونه‌های نماینده به دست می‌آید. اولین نماینده به‌عنوان نمونه‌ای که در مرکزی‌ترین نقطه پایگاه داده است انتخاب می‌شود. بقیه نمونه‌های نماینده بر طبق قاعده‌ای ابتکاری در قالب نمونه‌ای که متعهد می‌شود تعداد بیشتری از نمونه‌ها را در اطرافش داشته باشد و تا حد امکان دور از نماینده‌های قبلی انتخاب‌شده قرار داشته باشد، انتخاب می‌شوند. تفاوت‌های بین این ۴ روش بدین صورت است که روش‌های تصادفی و فورگی، بخش‌بندی اولیه را مستقل از ترتیب نمونه‌ها تولید می‌کنند. در مک‌کوئین بخش‌بندی اولیه وابسته به ترتیب نمونه‌ها است و کافمن در تعیین مراکز خوشه اولیه مبتنی بر روش حریصانه می‌باشد. به طور کلی هیچ کدام از این چهار روش دارای نتایج خوشه‌بندی نهایی قطعی نمی‌باشند. در [17] به منظور ارائه تکنیکی برای تعیین مراکز خوشه اولیه، ابتدا چند بار K-Means بر روی مجموعه داده

اجرا شده و نتایج آن ذخیره می‌گردد و سپس بر روی این نتایج ذخیره شده (از مراکز خوشه بدست آمده)، مجدداً K-Means اجرا شده و با این عمل اصطلاحاً مراکز خوشه اولیه تصفیه شده ایجاد می‌شوند و سپس بر روی کل مجموعه داده به کمک این مراکز خوشه بدست آمده، عمل خوشه‌بندی توسط K-Means انجام می‌شود. این روش با وجود دقت و ثبات نسبی بهتر نسبت به K-Means، از نظر زمانی و محاسباتی رویکردی هزینه‌بر است. در [20] رویکردی دیگر به منظور بهینه‌سازی مراکز خوشه اولیه برای K-Means ارائه شده است. بدین صورت که محل استقرار مراکز خوشه اولیه، به صورتی انجام می‌شود که مکان هر یک از مراکز خوشه در فضای داده در دورترین نقطه (تا حدی که در توزیع داده‌ها امکان‌پذیر است) نسبت به سایر مراکز باشد. ذکر این نکته ضروری است که در نظر نگرفتن یک پارامتر مناسب برای تشخیص داده‌های تُنُک در این روش، در مواردی منجر به انتخاب مراکز خوشه اولیه از میان این داده‌های تُنُک گردید و موجب افت کارایی K-Means می‌شود. در [21] رویکردی به منظور بهینه‌سازی مراکز خوشه اولیه ارائه شده است که رویکرد کلی آن مشابه رویکرد ارائه شده در [20] است، اما دارای مکانیزمی برای جلوگیری از انتخاب داده‌های تُنُک به عنوان مراکز خوشه اولیه می‌باشد و دارای پیچیدگی‌های محاسباتی و زمانی کمتری نسبت به رویکرد پیشنهادی در [20] می‌باشد. به طور کلی این روش‌های پیشنهادی با وجود ایجاد بهبود در نتایج الگوریتم، نتایج قطعی را ارائه نمی‌دهند و ممکن است در دو اجرای مختلف، دو نتیجه متفاوت را ارائه دهند که در مواردی حتی هیچ یک از نتایج ارائه شده، نتیجه‌ی بهینه‌ای برای خوشه‌بندی نباشد و این مشکل، نیاز به اجرای چندباره الگوریتم به منظور دستیابی به بهترین نتیجه ممکن را می‌طلبد. در این مقاله نسخه‌ای بهبود یافته از K-Means با عنوان Persistent K-Means ارائه شده است که با انجام تغییراتی در شیوه همگرایی K-Means، نتایج خوشه‌بندی قطعی و دقیقی را ارائه می‌دهد. ساختار این مقاله به این صورت است که بخش دوم اختصاص به بررسی روند کار K-Means دارد. در بخش سوم به معرفی الگوریتم پیشنهادی Persistent K-Means پرداخته می‌شود. در بخش چهارم نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی و در بخش پنجم نتیجه‌گیری و کار آینده ارائه خواهد شد.

۱- الگوریتم خوشه‌بندی K-MEANS

الگوریتم خوشه‌بندی مبتنی بر جزءبندی K-Means از ۴ بخش اصلی تشکیل شده است: ۱) آغاز: به صورت تصادفی، K نمونه داده به عنوان مراکز خوشه‌های اولیه انتخاب می‌شوند. ۲) محاسبه فاصله: برای هر داده، فاصله اقلیدسی آن تا مراکز خوشه‌ها محاسبه شده و نزدیک‌ترین مرکز خوشه به داده مربوطه اختصاص داده می‌شود و بدین ترتیب خوشه‌ی داده مورد نظر تعیین می‌شود. ۳) محاسبه مجدد مراکز خوشه: در این مرحله برای هر خوشه، میانگین داده‌های اختصاص یافته به آن خوشه، به عنوان مرکز جدید آن خوشه محاسبه می‌شود و سپس مجدداً داده‌ها به نزدیک‌ترین مرکز خوشه جدید اختصاص داده می‌شوند. ۴) همگرا شدن: مراحل ۲ و ۳ به صورت تکراری انجام می‌شوند تا زمانی که دیگر هیچ تغییری در مراکز خوشه‌ها حاصل نشود و الگوریتم همگرا گردد. تعداد دفعات تکرار این مراحل تا همگرا شدن این الگوریتم، بسیار وابسته به مراکز خوشه‌های انتخابی اولیه است که به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و به همین دلیل ممکن است الگوریتم به نتیجه مطلوبی همگرا نگردد [10]. در بخش بعدی به معرفی الگوریتم پیشنهادی در این مقاله پرداخته خواهد شد.

۲- الگوریتم PERSISTENT K-MEANS

الگوریتم Persistent K-Means با بهره‌گیری از رویکردی مبتنی بر تکرار، سعی در کشف بهترین نتیجه در طول اجراهای تکراری K-Means، دارد. طبق رویکرد K-Means، اگر یک ماتریس با نام $Best_Dist_{K\times N}$ شامل K سطر و N ستون را در نظر بگیریم که K، تعداد خوشه‌ها و N، تعداد کل داده‌ها باشد و هر یک از درایه‌های این ماتریس، برابر فاصله اقلیدسی هر یک از داده‌ها از هر یک از مراکز خوشه کشف شده باشند، به کمک این ماتریس می‌توان هر یک از داده‌ها را به نزدیک‌ترین مرکز خوشه اختصاص داد. حال ماتریس دیگری با نام $M_Dist_{K\times 3}$ در نظر می‌گیریم، که ستون اول این ماتریس، برابر تعداد داده‌های اختصاص داده شده به هر یک از مراکز خوشه می‌باشد. ستون دوم، برابر مجموع فاصله اقلیدسی کل داده‌های اختصاص داده شده به هر یک از مراکز خوشه ۱ تا K به تفکیک سطر به سطر در این ماتریس است و ستون سوم، مطابق رابطه (۱)، برابر متوسط فاصله یک داده از مرکز خوشه مربوط به آن می‌باشد.

$$M_Dist_{(K,3)} = (M_Dist_{(K,2)} / M_Dist_{(K,1)}) \qquad (۱)$$

چنانچه مقدار متوسط عناصر ستون دوم ماتریس $M_Dist_{K\times 3}$ را با Ave_Dist نشان دهیم، در طول اجراهای متوالی K-Means، هر چه مقدار Ave_Dist کمینه‌تر باشد، نشان دهنده این مهم است که K-Means به نتایج دقیق‌تری همگرا شده است. این شرط به عنوان "شرط اولیه" پیشنهادی در این مقاله به منظور دستیابی به مناسب‌ترین نتیجه در طول اجراهای تکراری الگوریتم مطرح است. به طور کلی به منظور دست‌یابی به نتیجه‌ای بهینه از K-Means، نیاز به اجرای تکراری این الگوریتم بین ۱ تا R تکرار متوالی می‌باشد که با توجه به تعداد تکرار مد نظر توسط کاربر، نتایج مربوط به تکراری از اجرای الگوریتم که دارای کمینه‌ترین مقدار Ave_Dist باشد، به عنوان نتیجه نهایی خوشه‌بندی برگشت داده می‌شود. در ادامه با ذکر یک مثال به تشریح این مسئله می‌پردازیم. داده‌های مصنوعی مورد استفاده در ارزیابی الگوریتم پیشنهادی شامل داده‌های ۲-بعدی تولید شده با توزیع گوسی می‌باشد. لازم به ذکر است که تمامی داده‌های مصنوعی مورد استفاده در این مقاله در [11,15] نیز به کار گرفته شده است. مجموعه داده مورد استفاده در این بخش شامل ۲۵۶۲۰ داده ۲-بعدی و مشتمل بر ۱۰ خوشه می‌باشد.

جدول ۹: نتایج ۱۰ دور اجرای K-Means

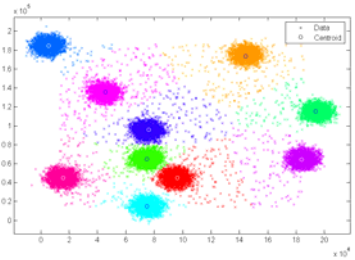
شماره تکرار	مقدار Ave_Dist	دقت AC
1	655401294525.546	80.12
2	338521198628.016	90.00
3	327507683280.353	90.06
4	349949420687.898	90.04
5	827217507568.969	70.24
6	327507683280.353	90.06
7	2117958554025.93	79.48
8	242094107823.816	99.96
9	321337928867.259	90.01
10	349517225397.660	90.05

در جدول ۱، نتایج ۱۰ دور اجرای تکراری الگوریتم نشان داده شده است و کمترین مقدار متغییر Ave_Dist مربوط به تکرار ۸ از اجراهای الگوریتم است و نتایج ارزیابی دقت بر اساس معیار AC، نشان می‌دهد که دقت خوشه‌بندی در این تکرار از سایر تکراها بالاتر است.

	1	2	3
1	2588	2.5637e+11	9.9062e+07
2	2643	3.5393e+11	1.3391e+08
3	2664	3.5780e+11	1.3431e+08
4	2514	1.5339e+11	6.1015e+07
5	2524	2.2803e+11	9.0343e+07
6	2496	1.4762e+11	5.9145e+07
7	2470	1.5017e+11	6.0796e+07
8	2607	3.0104e+11	1.1548e+08
9	2571	2.8451e+11	1.1066e+08
10	2543	1.8807e+11	7.3956e+07

شکل ۴: ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ در تکرار هشتم اجرای الگوریتم

در شکل ۱ نتایج ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ در تکرار ۸ و در شکل ۲ نمایی از نتایج خوشه‌بندی تکرار مربوطه نشان داده شده است.



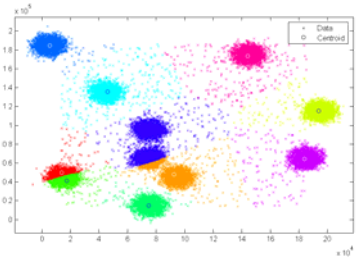
شکل ۵: نتایج دور هشتم اجرای تکراری K-Means

جزئیات بیشتر نتایج ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ در دور هشتم از اجرای K-Means بر روی مجموعه داده مصنوعی مورد آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۰: نتایج ماتریس M_ Dist در تکرار ۸ K-Means

K	$M_Dist_{(K,1)}$	$M_Dist_{(K,2)}$	$M_Dist_{(K,3)}$
1	2588	256373187510.78	99062282.654861
2	2643	353934790719.30	133914033.56765
3	2664	357797992679.24	134308555.81052
4	2514	153390625395.99	61014568.574379
5	2524	228026460091.37	90343288.467262
6	2496	147624903712.54	59144592.833550
7	2470	150166385057.56	60796107.310754
8	2607	301044717531.40	115475534.15090
9	2571	284512324697.62	110662125.51444
10	2543	188069690842.32	73955835.958446

همچنین برای نمونه، در شکل ۳ نتایج خوشه‌بندی در تکرار ۱۰ الگوریتم (که دارای دقت ۹۰.۰۵ درصد می‌باشد) نشان داده شده است.



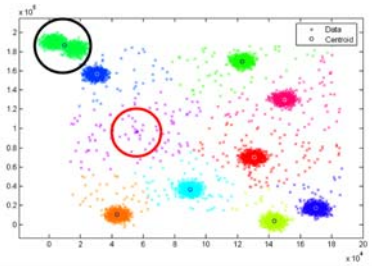
شکل ۶: نتایج دور (۱۰) اجرای تکراری K-Means

برقراری "شرط اولیه" در طول اجراهای تکراری K-Means، منجر به ارائه نتایج دقیق‌تر این الگوریتم می‌گردد. اما در موارد محدودی که فواصل برخی از خوشه‌ها بسیار نزدیک به یکدیگر و فواصل برخی از دیگر خوشه‌ها دور از یکدیگر است، امکان اشتباه الگوریتم در کشف خوشه‌ها افزایش یافته و حتی با در نظر گرفتن "شرط اولیه" نیز امکان ارائه دقیق‌ترین نتیجه الگوریتم وجود ندارد. به عنوان مثال یک مجموعه داده مصنوعی شامل ۱۰۷۵۲ داده ۲-بعدی و مشتمل بر ۱۰ خوشه را در نظر می‌گیریم. جدول ۳ نشان دهنده‌ی نتایج ۱۰ دور اجرای الگوریتم بر روی این مجموعه داده می‌باشد.

جدول ۱۱: نتایج ۱۰ دور اجرای K-Means

شماره تکرار	مقدار Ave_Dist	دقت AC
1	110170616864.106	90.30
2	343677320109.839	79.28
3	204069771177.445	70.36
4	167025068278.392	79.99
5	233767050297.790	79.97
6	86531408864.7107	99.90
7	117312819963.335	80.67
8	199513262433.238	80.16
9	205711134156.617	70.35
10	76159749961.1842	90.33

طبق جدول ۳ با وجود اینکه کمینه‌ترین Ave_Dist مربوط به تکرار ۱۰ است، اما دقت خوشه‌بندی در این تکرار کمتر از تکرار ۶ می‌باشد.



شکل ۷: نتایج دور دهم اجرای تکراری K-Means

با توجه به مقادیر Ave_Dist، نتیجه تکرار ۱۰ الگوریتم می‌بایست به عنوان نتیجه نهایی برگشت داده شود، اما مطابق شکل ۴ در تکرار ۱۰، الگوریتم در کشف برخی مراکز خوشه دچار اشتباه شده است و بنا بر نتایج دقت AC، بهترین نتیجه مربوط به تکرار ۶ الگوریتم می‌باشد. دلیل عدم ارائه نتیجه صحیح در تکرار دهم، کشف اشتباه یکی از مراکز خوشه در مناطق کم تراکم داده‌ای می‌باشد که در ادامه راه حلی برای حل این مسئله ارائه خواهد شد.

جدول ۱۲: نتایج ماتریس M_Dist در تکرار دهم

K	$M_Dist_{(K,1)}$	$M_Dist_{(K,2)}$	$M_Dist_{(K,3)}$	Ave
1	1124	108927851257.2	96910899.69504	0.66
2	1057	51326998672.24	48559128.35595	0.33
3	1039	33126823778.59	31883372.26043	0.21
4	1080	74642337439.19	69113275.40665	0.47
5	2052	163558171755.2	79706711.38171	0.54
6	1086	55592604154.58	51190243.23626	0.35
7	1067	56332747047.03	52795451.77791	0.36
8	1046	36021771024.52	34437639.60279	0.23
9	105	95117399331.34	905879993.6318	6.24
10	1096	86950795151.80	79334667.10931	0.56

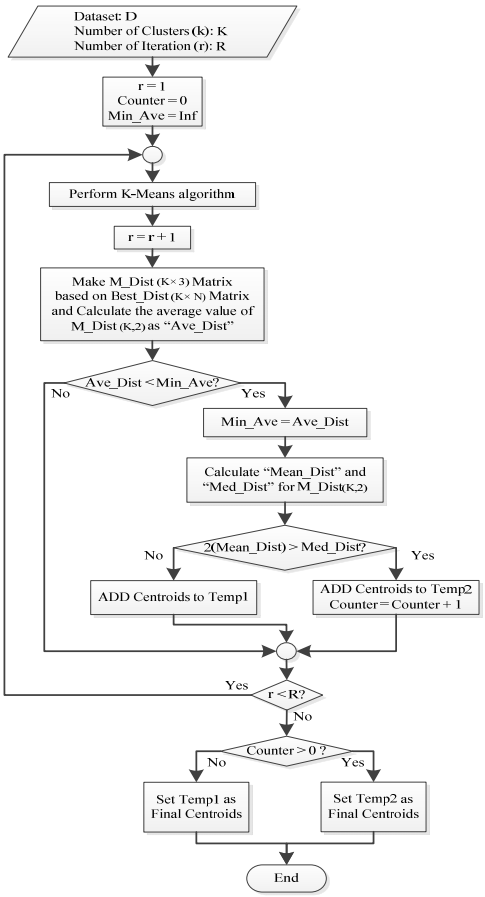
در جدول ۴ نتایج مربوط به ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ در تکرار ۱۰ الگوریتم نشان داده شده است. مطابق این نتایج، با وجود اینکه خوشه‌ها در مجموعه داده‌های مربوطه می‌بایست دارای اندازه‌هایی تقریباً برابر باشند، اما در نتایج تکرار ۱۰ مطابق جدول ۴ در خوشه پنجم (K=5) تعداد داده‌های اختصاص داده شده به مرکز خوشه مربوطه تقریباً دو برابر مقدار مورد انتظار می‌باشد که این مسئله به دلیل انتخاب یک مرکز خوشه برای دو خوشه نزدیک به یکدیگر مطابق شکل ۴ می‌باشد و همچنین در خوشه نهم (K=9) تعداد داده‌های اختصاص داده شده به مرکز خوشه مربوطه بسیار محدود می‌باشد و دلیل این اشتباه، انتخاب مرکز خوشه مربوطه از نقطه‌ای دور از مکان‌های پرتراکم در فضای داده‌ای می‌باشد. می‌دانیم که ستون سوم ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ شامل مقادیر مربوط به متوسط فاصله یک داده از مرکز خوشه مربوط به آن می‌باشد که این مقادیر در ستون چهارم جدول ۴ نشان داده شده است. در مواردی که مراکز خوشه به اشتباه از مناطق دور از نقاط پرتراکم داده‌ای انتخاب شود، متوسط فاصله داده‌هایی که به این مراکز خوشه اختصاص داده شده‌اند، بسیار بیشتر نسبت به مراکز خوشه‌ای است که از مناطق پرتراکم داده‌ای انتخاب شده‌اند. به منظور نمایش بهتر این میزان اختلاف فاصله، هر یک از عناصر ستون چهارم جدول ۴ را بر مقدار متوسط عناصر این ستون تقسیم کرده و نتایج حاصل، در ستون پنجم جدول ۴ نشان داده شده است، که این اختلاف بین عنصر مربوط به خوشه نهم (K=9) و عناصر مربوط به سایر خوشه‌ها در ستون پنجم جدول ۴، به دلیل اختلاف زیاد بین میانگین و میانه عناصر ستون سوم ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ می‌باشد. به منظور جلوگیری از بروز مشکل در چنین مواردی، شرطی با عنوان "شرط ثانویه" پیشنهاد می‌کنیم. بدین صورت که در صورت برقراری رابطه (۲) در نتایج یکی از تکرارهای الگوریتم، نتیجه آن تکرار به نتایج تکرارهایی که تنها "شرط اولیه" در آنها برقرار است، ترجیح داده می‌شود و در مواردی که در چند تکرار پیش‌شرط ثانویه برقرار باشد، نتیجه مربوط به تکراری به عنوان نتیجه نهایی الگوریتم انتخاب می‌شود که مقدار متغییر Ave_Dist در آن تکرار کمینه‌تر از سایر تکراهای مورد نظر باشد. در واقع "شرط ثانویه" مقدم بر "شرط اولیه" در تعیین مراکز خوشه نهایی می‌باشد.

$$(2 \times Mean_Dist) > (Med_Dist) \qquad (۲)$$

با توجه به اینکه ستون سوم ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ شامل مقادیر متوسط فاصله یک داده از مرکز خوشه مربوط به آن، برای هر یک از خوشه‌های 1 تا K است، در رابطه (۲) متغییر Mean_Dist برابر مقدار متوسط عناصر ستون سوم ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ و متغییر Med_Dist برابر میانه عناصر ستون سوم ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ می‌باشد. مقادیر Mean_Dist و Med_Dist مربوط به تکرار دهم الگوریتم K_Means در مثال قبلی عبارتست از:

Med_Dist = 468881682.9461516
Mean_Dist = 144981138.2457970

این نتایج نشان از عدم برقراری رابطه (۲) در این تکرار از K-Means را می‌دهد. در نتیجه، لازم است که شرایطی برای الگوریتم لحاظ شود که در تمامی موارد بهترین نتیجه به عنوان نتیجه نهایی الگوریتم برگزیده شود. روند کاری الگوریتم Persistent K-Means در شکل ۵ آمده است. مطابق شکل ۵، بعد از تعیین مجموعه داده (D) و تعداد خوشه‌ها (K) و تعداد تکرار مورد نظر کاربر (R)، تکرار اول K-Means اجرا شده و با توجه به نتایج ماتریس $Best_Dist_{K\times N}$ (به عنوان یکی از خروجی‌های K-Means) ماتریس $M_Dist_{K\times3}$ تشکیل شده و مقدار متغییر Ave_Dist براساس نتایج آن محاسبه می‌شود و در ابتدا با یک مقدار پیش‌فرض (بینهایت) که برای متغییر Min_Dist مقدار دهی اولیه شده است، مقایسه شده و طبیعتاً نتیجه آن به عنوان نتیجه کمینه‌تر به عنوان مقدار جدید متغییر Min_Dist ثبت می‌شود. لازم به ذکر است که در تکرارهای بعدی، تنها در صورتی که مقدار متغییر Ave_Dist در تکرار مربوطه از مقدار Min_Dist کمتر باشد، مقدار آن در متغییر Min_Dist به عنوان مقدار کمینه جدید، ثبت می‌شود و در غیر این صورت نتایج الگوریتم در آن تکرار نادید گرفته شده و الگوریتم وارد تکرار بعدی می‌شود. پس از بروزرسانی Min_Dist، شرط ثانویه در تکرار مربوطه بررسی می‌شود، در صورت برقراری شرط، نتیجه مورد نظر در Temp2 ذخیره می‌شود و مقدار متغییر Counter



شکل ۸: فلوچارت الگوریتم Persistent K-Means

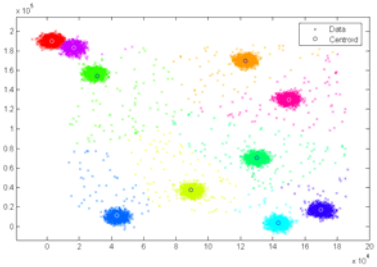
یک واحد افزایش می‌یابد و در صورت عدم برقراری شرط ثانویه، نتیجه خوشه‌بندی در تکرار مربوطه در Temp1 ذخیره می‌شود. سپس الگوریتم بررسی می‌کند که آیا تعداد دفعات تکرار به اتمام رسیده است یا خیر، در صورت عدم اتمام دفعات تکرار، الگوریتم وارد تکرار بعدی می‌شود و در غیر این صورت ابتدا مقدار متغییر Counter را بررسی می‌کند و در صورتی که این مقدار بیش از (۰) باشد، نشان دهنده این است که در یکی از تکرارها شرط ثانویه برقرار بوده است و نتیجه آن تکرار، در قالب آخرین نتیجه ذخیره شده در Temp2 به عنوان خروجی نهایی الگوریتم برگزیده می‌شود و در غیر این صورت، آخرین نتیجه‌ی ذخیره شده در Temp1 به عنوان نتیجه نهایی برگزیده شده و الگوریتم وارد حالت پایان می‌شود.

جدول ۱۳: نتایج ۱۰ دور اجرای الگوریتم Persistent K-Means

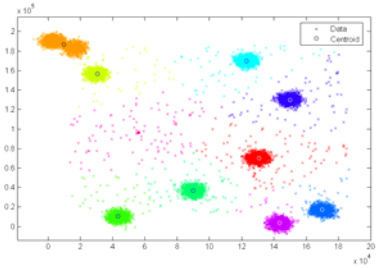
شماره تکرار	مقدار Ave_Dist	دقت AC
1	317873556933.486	79.50
2	238935794873.245	70.50
3	256760408954.824	79.51
4	255168615089.361	79.82
5	86531408864.7107	99.90
6	163652149307.042	79.98
7	428409853900.782	78.98
8	259409970278.423	80.03
9	278407541804.449	79.37
10	76159749961.1842	90.33

در جدول ۵ نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی (با فرض $r = 10$) بر روی مجموعه داده مربوطه نشان داده شده است.

کمترین مقدار Ave_Dist مربوط به تکرار ۱۰ است، اما به دلیل اینکه شرط ثانویه در این تکرار برقرار نیست، تکرار ۵ الگوریتم به عنوان نتیجه نهایی برگشت داده شده است. زیرا در تکرار ۵، مطابق جدول ۵، علاوه بر کمینه بودن مقدار Ave_Dist (نسبت به تکرارهای پیشین آن)، شرط ثانویه نیز برقرار بوده و چون برقراری شرط ثانویه مقدم بر شرط اولیه می‌باشد، نتیجه این دور از تکرار الگوریتم به عنوان نتیجه نهایی انتخاب شده است و نتایج ارزیابی صورت گرفته بر اساس معیار دقت AC، بر روی نتایج ۱۰ دور اجرای تکراری الگوریتم پیشنهادی، صحت خوشه‌بندی این تکرار منتخب الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. در شکل‌های ۶ و ۷ نمایی از نتایج خوشه‌بندی الگوریتم پیشنهادی به ترتیب در تکرارهای ۵ و ۱۰ نشان داده شده است، که نتیجه تکرار ۵ به عنوان نتیجه نهایی الگوریتم برگزیده شده است.



شکل ۹: نتایج الگوریتم Persistent K-Means در **(r = 5)**



شکل ۱۰: نتایج الگوریتم Persistent K-Means در **(r = 10)**

مطابق جدول ۵ دقت خوشه‌بندی در تکرار پنجم، بر اساس معیار دقت AC برابر (۹۹.۹) درصد می‌باشد که بالاترین دقت ممکن در طول ۱۰ دور اجرای مکرر K-Means بوده است. مطابق شکل ۷ نتایج تکرار دهم علارغم در اختیار داشتن کمینه‌ترین مقدار Ave_Dist در طول

۱۰ دور اجرای تکراری الگوریتم، در کشف برخی مراکز خوشه عملکرد چندان قابل قبولی نداشته است و با انتخاب یک مرکز خوشه از مناطق کم‌تراکم داده‌ای و همچنین انتخاب یک مرکز برای دو خوشه مجزا، براساس معیار AC دارای دقت (۹۰.۳) درصدی می‌باشد که کمتر از دقت تکرار ۵ الگوریتم می‌باشد و دلیل این انتخاب اشتباه، عدم برقراری شرط ثانویه می‌باشد.

جدول ۱۴: نتایج ماتریس M_Dist در **(r = 5)**

K	$M_Dist_{(K,1)}$	$M_Dist_{(K,2)}$	$M_Dist_{(K,3)}$	Ave
1	1019	21799480091.22	21393012.84712	0.27
2	1083	82748709007.44	76406933.52488	0.96
3	1113	123911945535.1	111331487.4529	1.40
4	1110	201863624709.5	181859121.3599	2.30
5	1134	144924755005.2	127799607.5883	1.61
6	1039	33126823778.59	31883372.26043	0.40
7	1070	101072219006.8	94460017.76343	1.19
8	1047	37120242601.35	35453908.88381	0.44
9	1039	25739118546.10	24772972.61415	0.31
10	1098	93007170365.61	84705983.93953	1.07

بنا بر جدول ۶، مقادیر Mean_Dist و Med_Dist در تکرار ۵ عبارتست از:

Med_Dist : 101626067.103523

Mean_Dist: 79006641.8234663

این نتایج نشان‌دهنده برقراری شرط ثانویه در تکرار ۵ می‌باشد.

۳- ارزیابی الگوریتم PERSISTENT K-MEANS

در این قسمت به ارزیابی کارایی الگوریتم Persistent K-Means پرداخته خواهد شد. روند ارزیابی بدین صورت است که نتیجه اجرای الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با پیش‌فرض (r = 10) با نتایج خوشه‌بندی سایر الگوریتم‌ها بر روی داده‌های واقعی معرفی شده در جدول ۷، بر اساس معیار دقت AC مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۳-۱- معیار دقت AC (Accuracy)

در صورتی که مراکز خوشه صحیح را با C نشان دهیم، در پایان هر دور اجرای عملیات خوشه‌بندی، K خوشه‌ی $C^P = \{C_1^P, C_2^P, C_3^P, ..., C_K^P\}$ استخراج می‌شود که این خوشه‌ها را خوشه‌های محاسبه شده (C^P) می‌نامیم. معیار AC مطابق رابطه (۳) عددی در بازه‌ی (0,1) ارائه می‌دهد که هرچه به (۱) نزدیکتر باشد، به معنای دقت بالای الگوریتم خوشه‌بندی مورد نظر است.

$$AC = \frac{\sum_{d \in D} \delta(C(d), map(C^P(d)))}{|D|} \qquad (۳)$$

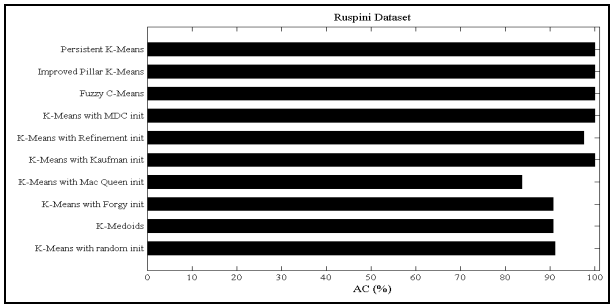
در رابطه (۳) تابع map(c) برای نگاشت یک خوشه محاسبه شده C^P به یک خوشه متناظر واقعی C مورد استفاده قرار می‌گیرد، |D| تعداد کل داده‌ها است و تابع $\delta(x,y)$ در صورتی که x و y برابر باشند، مقدار (۱) و در غیر این صورت مقدار (۰) را بر می‌گرداند [5,11].

۳-۲- ارزیابی الگوریتم با داده‌های واقعی

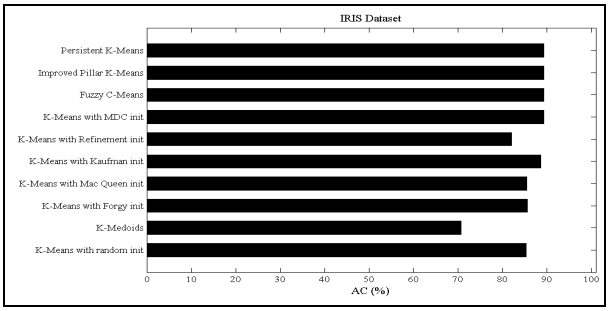
در این بخش به ارزیابی و قیاس دقت خوشه‌بندی الگوریتم Persistent K-Means با نسخه‌ی کلاسیک K-Means، با عنوان K-Means with random init و دو الگوریتم شناخته شده خوشه‌بندی مبتنی بر جزءبندی با عنوان K-Medoids [12] و Fuzzy C-Means [3] و همچنین چند نسخه بهبود داده شده از الگوریتم K-Means شامل Forgy، MacQueen، Kaufman [18]، Refinement [17]، MDC [20] و الگوریتم Improved Pillar K-Means [21] بر اساس معیار دقت AC، به ترتیب بر روی مجموعه داده‌های واقعی Ruspini، IRIS، Wine و NewThyroid به ترتیب در شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ پرداخته می‌شود.

جدول ۱۵: مجموعه داده‌های واقعی مورد آزمایش

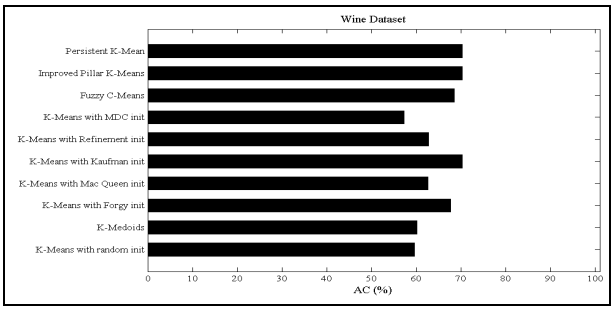
مرجع	نام مجموعه داده	تعداد داده	تعداد ابعاد	تعداد خوشه
[22]	Ruspini	75	2	4
[13]	IRIS	150	4	3
[13]	NewThyroid	215	5	3
[13]	Wine	178	13	3



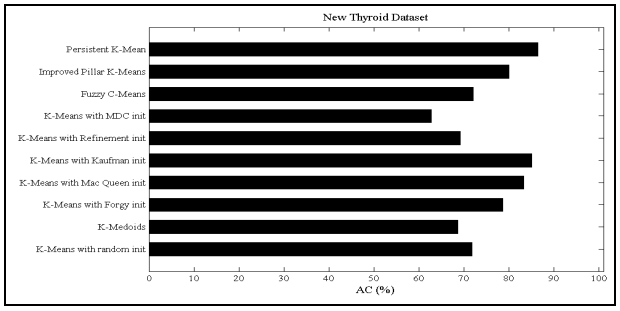
شکل ۱۱: ارزیابی دقت بر روی مجموعه داده Ruspini



شکل ۱۲: ارزیابی دقت بر روی مجموعه داده IRIS



شکل ۱۳: ارزیابی دقت بر روی مجموعه داده Wine



شکل ۱۴: ارزیابی دقت بر روی مجموعه داده New Thyroid

نتایج ارزیابی دقت خوشه‌بندی الگوریتم پیشنهادی در این مقاله بر روی مجموعه داده‌های واقعی، نشان دهنده برتری مطلق نتایج این الگوریتم در مقایسه با نسخه کلاسیک K-Means و همچنین نسخه‌های بهبود یافته این الگوریتم می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با پیش‌فرض ($r = 10$) می‌باشد و همانطور که پیش‌تر اشاره شد، به طور کلی هر چه میزان متغییر (R) افزایش یابد، امکان افزایش دقت نتایج نهایی الگوریتم وجود داشته، اما این کار کمی از سرعت همگرایی الگوریتم می‌کاهد. همچنین برخلاف دیگر الگوریتم‌هایی که برای بهبود الگوریتم K-Means ارائه شده‌اند، مزیت مهم دیگر الگوریتم پیشنهادی در این مقاله ثبات و قطعیت نتیجه نهایی آن می‌باشد.

۴- نتیجه

با توجه به مشکلات الگوریتم خوشه‌بندی K-Means در دستیابی به نتیجه نهایی قطعی و بهینه، به دلیل حساسیت این الگوریتم نسبت به مراکز خوشه اولیه‌ای که در فاز نخست اجرای این الگوریتم به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، در این مقاله یک رویکرد جدید از الگوریتم خوشه‌بندی K-Means، در جهت دستیابی به نتیجه نهایی بهینه و قطعی، از این الگوریتم ارائه شد. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با تغییر در شیوه همگرایی K-Means و ارائه رویکردی جدید جهت همگرایی K-Means در راستای ارائه بهترین نتیجه در طول اجراهای تکراری این الگوریتم به عنوان نتیجه نهایی عملیات خوشه‌بندی، موجب ارائه نتایج خوشه‌بندی دقیقی گردیده است. همچنین این الگوریتم برخلاف K-Means متضمن ارائه نتایج خوشه‌بندی قطعی می‌باشد. برای کار آینده قصد داریم تکنیکی تلفیقی از روش خوشه‌بندی مبتنی بر جزءبندی و روش خوشه‌بندی مبتنی بر چگالی برای تعیین مراکز خوشه اولیه K-Means ارائه دهیم که منجر به ارائه عملکرد بهتری نسبت به رویکرد پیشنهادی در این مقاله گردد.

مراجع

[1] J., Han and M., Kamber, "*Data Mining: Concepts and Techniques, 2nd ed,*" Morgan Kaufmann Publishers, 2006.

[2] A. M., Fahim, A. M., Salem, F. A., Torkey, and M. A., Ramadan, "*An Efficient enhanced k-Means clustering algorithm,*" journal of Zhejiang University, Vol 7, Issue 10, pp 1626-1633, 2006.

[3] J., Bezdek, R., Ehrlich, and W., Full, "*Fcm: The fuzzy c-Means clustering algorithm*," Computers, Geosciences, Vol. 10, No. 2–3, pp. 191-203, 1984.

[4] M. H., Dunham "*Data Mining-Introductory and Advanced Concepts*," Pearson Education, 2006.

[5] W., Xu, X., Liu, Y., Gong, "Document clustering based on non-negative matrix factorization," Conf. on Research and Development in Information Retrieval, pp. 267-273, 2003.

[6] S., Deelers, and S., Auwatanamongkol, "*Enhancing K-Means Algorithm with Initial Cluster Centers Derived from Data Partitioning along the Data Axis with the Highest Variance*," Proceedings of world Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 26, Dec 2007.

[7] F., Yuan, Z. H., Meng, H. X., Zhangz and C. R., Dong, "*A New Algorithm to Get the Initial Centroids,*" proceedings of the 3rd International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp. 26-29, August 2004.

[8] K., Arai, and A. R., Barakbah, "*Hierarchical K-Means: an algorithm for Centroids initialization for k-Means*," Reports of The Faculty of Science and Engineering Saga University, vol. 36, No. 1, 2007.

[9] J., McQueen, "*Some methods for classification and analysis of multivariate observations,*" In Proc. 5th Berkeley Symp Mathematics, statistics and probability, pp. 281-296, 1967.

[10] X., Wu, V., Kumar, J., Ross Quinlan, J., Ghosh, Q., Yang, H., Motoda, G. J., McLachlan, A., Ng, B., Liu, P. S., Yu, Z.-H., Zhou, M., Steinbach, D. J., Hand, D., Steinberg, "Top 10algorithms in data mining," Knowledge and Information Systems, Vol. 14, No, 1, pp. 1-37, 2008.

[11] H., Mashayekhi, J., Habibi, T., Khalafbeigi, S., Voulgaris, and M., van Steen, "GDCluster: A General Decentralized Clustering Algorithm," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2015.

[12] L., Kaufman and P. J., Rousseeuw, "*Clustering by Means of Medoids, in Statistical Data Analysis Based on the L_1–Norm and Related Methods*," edited by Y. Dodge, North-Holland, pp. 405-416,1987.

[13] UCI Machine Learning Repository. http://archiv.ic.uci.edu/ml

[14] G., Sathiya and P., Kavitha, "*An Efficient Enhanced K-Means Approach with Improved Initial Cluster Centers*," Middle-East Journal of Scientific Research, Vol. 20, No. 4, pp. 485-491, 2014.

[15] H., Mashayekhi, J. Habibi, S., Voulgaris, and M., van Steen, "*GoSCAN: Decentralized scalable data clustering*," Computing, Vol. 95, No. 9, pp. 759–784, 2013.

Review," International Conference on Advances in Computing, Electronics and Electrical Technology (CEET), 2014.

[20] A. R., Barakbah, and Y., Kiyoki, "*A Pillar Algorithm for K-Means Optimization by Distance Maximization for Initial Centroid Designation*," IEEE Symposium on Computational Intelligence and Data Mining, 2009.

[21] B. B., Bhusare, and S. M., Bansode, "*Centroids Initialization for K-Means Clustering using Improved Pillar Algorithm,*" International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), Vol. 3, No. 4, April 2014.

[22] E. H., Ruspini, "A new approach to clustering, Inform and C ontrol," Vol. 15, No. 1, PP. 22-32, 1969

[16] F., Yang, T., Sun, and C., Zhang, "*An efficient hybrid data clustering method based on K-harmonic Means and Particle Swarm Optimization,*" Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 9, pp. 847–852, 2009.

[17] P. S., Bradley, and U. M., Fayyad, "*Refining Initial Points for K-Means Clustering*," the Fifteenth International Conference on Machine Learning, pp. 91-99, 1998.

[18] J. M., Pena, J. A., Lozano, and P., Larraiiaga, "*An empirical comparison of the initilization methods for the K-Means algorithm,*" Pattern Recognition Letters, Vol. 20, No. 10, pp.1027–1040, 1999.

[19] R., Azimi, and H., Sajedi, "*Distributed Data Clustering in Peer-to-Peer Networks: A Technical*

ارائهٔ یک الگوریتم جدید مبتنی بر روش بهینه سازی دستهٔ ذرات برای مسائل بهینه سازی پویا

احمد قربانی راد
دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات واحد قزوین، دانشکده برق، رایانه و فناوری اطلاعات
a.ghorbanirad@gmail.com

محمدرضا میبدی
[۲]دانشگاه فنی امیرکبیر، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده

بهینه‌سازی یکی از مهمترین مسائل در حوزهٔ مهندسی، صنعت و اقتصاد می‌باشد. یکی از راه‌حل‌های حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده که دارای پارامترهای زیادی هستند، استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی می‌باشد. اخیراً با توجه به اینکه بیشتر مسائل دنیای واقعی پویا هستند، توجه خاصی به حل مسائل بیهنه‌سازی پویا شده است. مسائل بهینه‌سازی پویا دارای چالش‌های مختلفی هستند که باعث شده تا کنون روش‌های متعددی توسط محققان برای رفع آنها ارائه شود. در این مقاله، یک الگوریتم جدید برای بهینه‌سازی در محیط‌های پویا بر پایهٔ الگوریتم بهینه‌سازی دستهٔ ذرات پیشنهاد شده است. در الگوریتم پیشنهادی از مکانیزم چنددستگی برای پوشش قله‌های مختلف موجود در فضای مسئله استفاده شده است. همچنین در روش پیشنهادی یک مکانیزم کنترل دسته‌های جدید برای افزایش کارایی ارائه شده است. در این مکانیزم سعی شده تا با فعال نگه داشتن بهترین دسته در هر محیط، کارایی افزایش یابد از طرفی با دادن فرصت به سایر دسته‌ها از عقب ماندن آنها از قلهٔ تحت پوششان اجتناب شود. کارایی الگوریتم پیشنهادی بر روی بنچمارک قله‌های متحرک تست شده و با کارایی چندین الگوریتم شناخته شدهٔ دیگر در این زمینه مقایسه گردیده. نتایج آزمایشات نشان دهندهٔ برتری و کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

کلمات کلیدی

بهینه سازی دستهٔ ذرات، چنددستگی، مسائل بهینه سازی پویا، هوش جمعی.

مقدمه

بهینه سازی یکی از مهمترین مسائل موجود در اقتصاد، صنعت و مهندسی بشمار می‌رود و به نوعی قلب بسیاری از فرآیندهایی است که در طبیعت رخ می دهند. مسائل بهینه سازی در برگیرندهٔ بسیاری از مسائل سادهٔ روزمره مانند انتخاب بهترین مسیر به مقصد، تا کنترل های صنعتی بسیار پیچیده می باشد. در واقع در تمام مسائل بهینه سازی ما به دنبال رسیدن به بهترین نتیجه با صرف کمترین هزینه هستیم. به طور معمول برای حل مسائل بهینه سازی، ابتدا یک تابع هزینه طراحی می شود، سپس با استفاده از روش های ریاضی و یا روش های هوشمند مقادیر این تابع به گونه ای تنظیم می شوند که مقدار تابع هزینه کمینه یا بیشینه (بسته به نوع مسئله) شود. هنگامی که پیچیدگی مسائل بهینه سازی زیاد باشد، استفاده از روش های ریاضی بسیار بسیار سخت و یا حتی غیرممکن می شود. برای چنین مسائلی از روش های هوشمند برگرفته شده از طبیعت استفاده می شود.

مسائل بهینه سازی بر اساس چندین دیدگاه به دسته های مختلفی تقسیم می شوند. بر اساس یکی از این دیدگاه ها، مسائل بهینه سازی بر اساس محیطی که توسط تابع هزینه ساخته می شود، به دو دستهٔ مسائل با محیط ایستا و مسائل با محیط پویا تقسیم می شوند. در مسائلی که محیط آنها ایستا است، فضای مسئله در طول زمان بدون تغییر باقی می ماند در حالیکه در مسائل پویا، فضای مسئله در طول زمان دستخوش تغییرات می شود. با این حال، از آنجایی که بیشتر مسائل دنیای واقعی دارای پارامترهایی هستند که در طول زمان تغییر می‌کنند، می‌توان به این نتیجه رسید که بهینه سازی در محیط های پویا از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

باتوجه به اهمیت بهینه سازی در محیط های پویا، امروزه محققان و دانشمندان بسیار زیادی در زمینهٔ طراحی الگوریتم هایی برای حل این مسائل تلاش می کنند. به طور علمی تر مسائل بهینه سازی در محیط های پویا بدین صورت تعریف میشود:

"یک مسئلهٔ بهینه سازی پویا (DOP) به نام f_t ، یک الگوریتم بهینه سازی G برای حل آن و یک بازه زمانی $[t^{begin}; t^{end}]$ را در نظر

بگیرید. f_t یک مسئلهٔ بهینه سازی پویا در بازهٔ $[t^{begin}; t^{end}]$ است اگر در طول این بازهٔ زمانی فضای مسئلهٔ f_t تغییر کند و G مجبور به یافتن راه حل های بهینه جدید پس از این تغییر باشد [۱]".

تا کنون روش های بسیار زیادی برای حل DOPها پیشنهاد شده است که یک دسته بزرگ از این روشها مربوط به روشهای متاهیورستیک و بصورت دقیقتر محاسبات تکاملی و هوش جمعی می باشد. الگوریتم های مبتنی بر روش های متاهیورستیک طراحی شده برای بهینه سازی در محیط های پویا دارای مکانیزم ها و توابعی در ساختار خود هستند که بتوانند با چالش های مربوط به بهینه سازی در این محیط ها روبرو شوند و توانایی یافتن قله ها و تعقیب کردن آنها را در طول فرآیند بهینه سازی را نیز داشته باشند.

در این مقاله یک الگوریتم جدید برای حل DOP بر اساس الگوریتم بهینه سازی دستهٔ ذرات (PSO) [۲] ارائه می شود. الگوریتم پیشنهادی دارای مکانیزم های مختلفی برای رفع چالش های محیط های پویا و همچنین برآورده کردن ملزومات آنها می‌باشد. کارایی الگوریتم پیشنهادی بر روی بنچمارک قله‌های متحرک (MPB) [۳]که معروف ترین بنچمارک در این زمینه است، تست شده است. MPB دارای پارامترهای مختلفی در ساختار خود است که با استفاده از آنها می‌تواند محیط‌های پویای مختلفی را ایجاد کند. کارایی الگوریتم پیشنهادی با چندین الگوریتم شناخته شدهٔ دیگر در این زمینه مقایسه شده است. نتایج آزمایشات و تحلیل ها نشان دهنده کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم ها می باشد. ادامه این مقاله بدین ترتیب پیکربندی شده است: در بخش ۲، الگوریتم پیشنهادی تشریح می شود. بخش سوم شامل آزمایشات و نتایج آنها می باشد و بخش نهایی به بیان نتیجه گیری می پردازد.

الگوریتم پیشنهادی

در این بخش یک الگوریتم جدید بر پایهٔ الگوریتم PSO برای بهینه سازی در محیط های پویا ارائه می شود. در این الگوریتم از PSO با ضریب انقباض[۴] استفاده شده است. از این نسخه از الگوریتم PSO در بسیاری از الگوریتم های ارائه شده برای محیط های پویا استفاده شده است و دلایل اصلی آن ساختار ساده و همچنین سرعت همگرایی بسیار بالای آن است. با توجه به ماهیت خاص محیط های پویا و اینکه تمام قله ها یک بهینهٔ بالقوه حساب می شوند در نتیجه الگوریتم ارائه شده در این بخش یک الگوریتم مبتنی بر چند-دستگی می باشد تا هر یک از قله ها توسط یک دسته پوشش داده شود.
برای این منظور در الگوریتم پیشنهادی یک دسته برای یافتن قله های موجود در دسته وجود خواهد داشت که آنرا دستهٔ مادر می نامیم. در طول اجرای فرآیند بهینه سازی، هرگاه دستهٔ مادر قله ای را کشف کند، یک دستهٔ فرزند در آن ایجاد می کند و خود مجددا مقداردهی اولیه میشود تا به جستجوی قله های احتمالی دیگر در فضای مسئله بگردد. بدین ترتیب الگوریتم پس از مدتی با کمک دستهٔ مادر می تواند تمامی قله های موجود در فضای مسئله را کشف کند و هر یک از آنها را با استفاده از یک دستهٔ فرزند تحت نظر بگیرد.
با توجه به روند گفته شده، دو مسئله به ذهن می رسد که شامل چگونگی تعیین این امر است که چه وقت دستهٔ مادر یک قله را یافته است و اینکه چگونه از ایجاد دو دستهٔ فرزند در یک قله بپرهیزیم یعنی دستهٔ مادر متوجه شود که قله ای که در حال حاضر آنرا یافته است، قبلا توسط آن یافته شده و یک دستهٔ فرزند در آن وجود دارد. برای رفع مسئلهٔ اول، از یک حدآستانه به نام r_{conv_limit} در الگوریتم پیشنهادی استفاده می شود و مطابق با آن در صورتی که فاصلهٔ اقلیدسی موقعیت Gbest دستهٔ مادر در K تکرار قبل با تکرار موجود کمتر از r_{conv_limit} باشد، فرض می شود دستهٔ مادر به یک قله همگرا شده است بنابراین یک دستهٔ فرزند را به جای موقعیت خود ایجاد می کند و پس از آن مقداردهی اولیه می شود.

با این حال ممکن است دستهٔ مادر به یک قلهٔ پوشش داده شده همگرا شود و یا به اشتباه فرض کند قله ای را پیدا کرده و دستهٔ فرزندی را ایجاد کند که این امر می تواند سبب ایجاد دو دستهٔ فرزند در یک قله شود. در این حالت دستهٔ اضافی هیچ عمل مثبتی را انجام نمی دهد و تنها بار محاسباتی افزوده ای را به الگوریتم تحمیل می کند. برای رفع این مسئله از مکانیزم انحصار [۵] در الگوریتم پیشنهادی استفاده می شود. در مکانیزم انحصار در هر تکرار از اجرای الگوریتم، ابتدا فاصلهٔ اقلیدسی Gbest دستهٔ مادر با Gbest تمامی دسته های فرزند محاسبه می شود و در صورتی که فاصلهٔ آن حتی با یک دستهٔ فرزند کمتر از یک حدآستانه به نام rexcl بود، دستهٔ مادر مقداردهی اولیه خواهد شد زیرا فرض می شود به قله ای همگرا شده که قبلا کشف شده و تحت پوشش قرار گرفته شده.
حال این نکتهٔ اساسی پیش می آید که چطور می توان تغییر محیط را کشف نمود. برای این منظور راه حل های متفاوتی وجود دارد که یکی از بهترین آنها بررسی مقدار شایستگی موقعیت Gbest دسته های فرزند می باشد. در این حالت موقعیت Gbest دسته های فرزند مجددا ارزیابی خواهد شد و در صورت مشاهدهٔ تغییر در مقدار شایستگی و با توجه به اینکه تغییری در موقعیت Gbest اعمال نشده، تغییر در محیط کشف می گردد.
پس از کشف تغییر در محیط، الگوریتم باید به تغییر محیط عکس العمل مناسبی را نشان دهد تا بتواند با استفاده از دانشی که از محیط قبلی داشته، فرآیند بهینه سازی را در محیط جدید به خوبی انجام

دهد. برای این منظور ابتدا باید با چالش کاهش شدید تنوع در دسته های فرزند روبرور شویم. در الگوریتم پیشنهادی، پس از کشف تغییر در محیط، موقعیت Gbest هر یک از دسته های فرزند در نظر گرفته می شود و پس از آن تمامی ذرات دسته در شعاعی به اندازهٔ طول گام حرکت قله ها پخش می شوند. دلیل انجام این عمل این است که فرض می شود، موقعیت Gbest در محیط قبلی منطبق بر نوک قلهٔ تحت پوشش دستهٔ فرزند بوده و از آنجایی که موقعیت جدید هدف، در محدودهٔ گام حرکت قله ها می باشد، بنابراین گسترش دسته در این شعاع می تواند کمک شایانی به افزایش سرعت همگرایی دستهٔ فرزند در محیط جدید نماید. رابطهٔ تعیین موقعیت جدید ذرهٔ jام در دستهٔ فرزند i ام بر اساس روند گفته شده بدین ترتیب می باشد:

$$X_{i,j} = Gbest_i + \left(Rand^D(-1,1) \times Severity\right) \qquad (۱)$$

که در آن D برابر با ابعاد مسئله می باشد، Severity برابر با طول گام حرکت قله ها در هر تغییر محیط می باشد و تابع D Rand عدد تصادفی با توزیع یکنواخت را در محدودهٔ داده شده تولید می کند. همچنین برای افزایش افزایش سرعت همگرایی دسته، مقدار سرعت ذره j ام در دسته فرزند iام نیز مطابق با رابطهٔ زیر و با استفاده از مقدار گام حرکت قله ها تعیین می گردد.

$$V_{i,j} = Rand^D(-1,1) \times Severity \qquad (۲)$$

دلیل تعیین مقدار بردار سرعت ذرات بر اساس طول گام حرکت قله ها این است که با توجه به دو رابطهٔ ۱ و ۲، موقعییت جدید ذرات و همچنین بردار سرعت آنها حداکثر به اندازهٔ طول گام حرکت قله ها تعیین می شود بنابراین ممکن است مقادیر آنها به صورت تصادفی کم باشد و یا حتی در جهت خلاف حرکت قله ها باشد. بنابراین با در اجرای هر دو مورد روابط ۱ و ۲ ذرات توانایی بیشتر برای یافتن موقعیت جدید قله ها و همگرایی به سمت آنها خواهند داشت.

نکتهٔ قابل توجه دیگر پس از کشف تغییر محیط، نامعتبر بودن مقادیر ذخیره شده در حافظه می باشد. با توجه به تغییر موقعیت ذرات در دسته های فرزند و تعیین مقادیر جدید Pbest و Gbest، مشکل حافظهٔ نامعتبر برای دسته های فرزند پیش نخواهد آمد. از سوی دیگر، دستهٔ مادر دسته ای است که پس از کشف تغییر محیط نیازی به تغییر در ساختار موقعیتی ذرات خود ندارد زیرا تنوع این دسته با توجه به بازنشانی شدن آن پس از همگرایی همواره در سطح قابل قبولی قرار دارد با این حال باید موقعیت ذرات آن و همچنین موقعیت Pbest تمامی ذرات آن مجددا در محیط جدید مورد ارزیابی قرار بگیرند و پس از آن بروز شوند. بدین ترتیب الگوریتم مشکلی از بابت حافظهٔ نامعتبر نخواهد داشت.

در الگوریتم پیشنهادی مکانیزم جدیدی بر پایهٔ فعال و غیرفعال کردن دسته های فرزند طراحی شده است. از آنجایی که یکی از معیار های تعیین زمان در مسائل بهینه سازی پویا تعداد ارزیابی شایستگی تابع هزینه است، بنابراین هدر ندادن آنها یک امر حیاتی در طراحی الگوریتم های پویا می باشد.

در مکانیزم ارائه شده، دستهٔ مادر همواره بیدار خواهد بود یعنی در تمامی تکرارهای اجرای الگوریتم این دسته فعال است و فضای مسئله را برای یافتن قله های احتمالی جدید کاوش می کند. در میان دسته های فرزند، همواره در هر تکرار از اجرای الگوریتم، بهترین دسته بیدار خواهد بود یعنی به جستجوی محلی برای دقیق تر کردن نتیجهٔ بدست آمده خواهد پرداخت. بیدار نگه داشتن بهترین دسته از آنجا از اهمیت بالایی برخوردار است که تاثیر اصلی را بر نتیجهٔ نهایی بدست آمده خواهد گذاشت. در کنار بهترین دسته فرزند، دستهٔ فرزند دیگری نیز بیدار نگه داشته می شود که انتخاب آن بر اساس یک روند تصادفی انجام می شود و همواره دسته های بهتر شانس بیشتری برای انتخاب شدن در هر تکرار خواهند اشت. نحوهٔ انتخاب دستهٔ فرزند بیدار دوم بدین ترتیب است که هر یک از فرزندان بر اساس رتبهٔ آنها بر اساس مقدار شایستگی Gbset آنها مرتب می شود و هر دسته دوبرابر دستهٔ بعدی خود در این لیست شانس انتخاب شدن خواهد داشت. پس از انتخاب دستهٔ فرزند دوم، این دسته به همراه دستهٔ مادر و بهترین دستهٔ فرزند در محیط جاری روند خود را اجرا می کنند و دیگر دسته های فرزند در این تکرار به خواب خواهند رفت یعنی روند PSO برای آنها اجرا نخواهد شد بنابراین ارزیابی شایستگی انجام نخواهند داد. این روند در هر تکرار انجام می شود و بهترین دسته فرزند در هر تکرار مشخص شده و پس از آن دسته فرزند دوم نیز بر اساس روند توضیح داده شده انتخاب خواهد شد. این مکانیزم به گونه ای طراحی شده که هر یک از دسته های فرزند فرصت تعقیب قلهٔ تحت پوششان را داشته باشند تا بتوانند فاصلهٔ خود را با آن کمتر کنند. شبه کد کامل الگوریتم پیشنهادی در شکل۱ نشان داده شده است.

Proposed Algorithm:

Initialize Mother_swarm
Repeat
    Calculate r_{excl}
    Mother_swarm movement based on PSO procedure()
    For each Child_swarm i *//Mother_swarm_exclusion()*
        Calculate Euclidian distance between Mother_Gbest and $Gbest_i$
        If the distance< r_{excl} **Then** Re-Initialize Mother swarm
    If Mother_swarm is converged **Then**
        Create new Child_swarm in place of Mother_swarm
        Update r_{excl}
        Re-Initialize Mother_swarm
    Choose one non_best Child_swarm randomly based on their probabilities
    Execute PSO procedure on *Best* Child_swarm and chosen *non_best* Child_swa
    For each Child_swarm i *//Childs_exclusion()*
        For each Child_swarm j
            If Euclidian distance between $Gbest_i$ and $Gbest_j$ < r_{excl} **Then**
                Kill weaker Child_swarm
                Update r_{excl}
    For each Child_swarm i *//Test for change*
        Re_Evaluate $Gbest_i$
        if $F(Gbest_i)$ is different from saved value in memory **Then**
            Change is occurred
    If Change is occurred **Then**
        Re_evaluate all particle positions in Mother_swarm and update their Pb
        Update Shift severity
        For each Child_swarm i
            Execute equations (1) and (2)
Until number of performed function evaluations == max

شکل۱: شبه کد الگوریتم پیشنهادی

آزمایشات

در ایـن بخـش کـارایی الگـوریتم پیشـنهادی بـر روی معـروف تـرین بنچمارک موجود در زمینـهٔ مسـائل بهینـه سـازی پویـا یعنـی MPB امتحان شده است و کارایی آن با چندین الگوریتم شناخته شـدهٔ دیگـر در این زمینه مقایسه گردیده است. معیـار سـنجش کـارایی offline error مـی باشـد[۶]. پارامترهـای MPB بـر اسـاس جـدول ۱ بـرای آزمایشات مختلـف تنظـیم شـده انـد. آزمایشـات ۵۰ بـار بـا سـیدهای تصادفی مختلف هم برای بنچمارک و هم برای الگوریتم تکرار شده انـد و متوسط مقدار offline error به همراه standard error الگوریتم پیشنهادی در جداول مقایسه آمده است. نتایج آمده از سـایر الگـوریتم ها از مرجع مربوط به آنها استخراج شده است.

Parameter	**Value**
Number of peaks, M	1,5,10,20,30,50,100,200
Change frequency	500,1000,2500,5000,10000
Height change	7.0
Width change	1.0
Peaks shape	Cone
Basic function	No
Shift length	1,2,3
Number of dimensions, D	2,3,4,5
Correlation Coefficinet, λ	0
peaks location range	[0 – 100]
Peak height	[30.0 – 70.0]
Peak width	[1 – 12]
Initial value of peaks	50.0

جدول ۱: مقادیر پارامترهای MPB

مقدار پارمترهای مختلف الگوریتم پیشنهادی در جـدول ۲ نشـان داده شده است. شایان ذکر اسـت مقـادیر آمـده در ایـن جـدول بـر اسـاس آزمایشات بسیار زیاد بدست آمده است و کارایی الگوریتم با این تنظـیم پارامترها بهترین نتایج را در بر داشته است.

پارامتر	مقدار اولیه
c1 , c2	2.05 [4]
χ	0.729843788 [4]
جمعیت دسته فرزند	5 [40]
جمعیت دسته مادر	10
r_{conv_limit}	1
r_{excl} (for Exclusion)	$0.5\times(100/(Peak_number^{1/n}))$ [39]
CF_{min} (in Eq. (10))	0.8
L (in Sleep_ nechanism))	0.4
شرط خاتمه	رسیدن به ۱۰۰ تغییر محیط

جدول۲: مقادیر پارامترهای الگوریتم پیشنهادی

جدول ۳، کارایی الگوریتم پیشنهادی را برای MPB با تعداد قله هـای مختلف و فرکانس هـای تغییـر ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ نشـان مـی‌دهـد. همـانطور کـه مشـاهده مـی‌شـود، کـارایی الگـوریتم پیشنهادی در تمامی موارد بهتر از سایر الگوریتم های مقایسه شده می باشد. یکی از مهمتـرین دلایـل افـزایش کـارایی الگـوریتم پیشـنهادی، استفاده از مکانیزم پیشنهادی کنترل دسته ها می باشد. همـانطور کـه در بخش ۲ گفته شد، در الگوریتم پیشـنهادی همـواره بهتـرین دسـته فرزند فعال می باشد که با توجه به اینکه در هر تکرار تنها یـک دسـته فرزند دیگر فعـال مـی باشـد، بنـابراین، بهتـرین دسـته فرزنـد فرصـت بیشتری تا تغییر محیط بعدی بـرای بهبـود موقعیـت خـود در اختیـار خواهد داشت.

ALG.	C-F	NUMBER OF PEAKS							
		1	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**	**200**
QSO(5,5q)[5]		67(3.42)	91(0.76)	2(0.34)	7(0.25)	0(0.21)	2(0.20)	4(0.16)	9(0.17)
nQSO[7]		2(0.32)	7(0.56)	7(0.42)	2(0.34)	0(0.39)	7(0.32)	4(0.31)	8(0.19)
SO[8]		1(0.48)	9(0.26)	9(0.23)	1(0.19)	3(0.17)	6(0.18)	1(0.17)	8(0.14)
nPSO[9]	)	3(0.49)	0(0.31)	6(0.27)	1(0.20)	3(0.18)	3(0.17)	5(0.16)	5(0.16)
SO [10]		1(0.14)	5(0.11)	6(0.11)	1(0.08)	3(0.07)	5(0.06)	8(0.06)	0(0.04)
AFSA[11]									
الگوریتم پیشنه		**4(0.08)**	**6(0.14)**	**6(0.18)**	**5(0.19)**	**1(0.15)**	**1(0.21)**	**9(0.12)**	**5(0.09)**
QSO(5,5q)[5]		60(1.63)	6(0.38)	1(0.22)	5(0.15)	1(0.15)	7(0.13)	3(0.13)	4(0.11)
nQSO[7]		3(0.31)	0(0.32)	6(0.40)	6(0.47)	0(0.38)	6(0.14)	7(0.45)	5(0.26)
SO[8]		4(0.24)	3(0.16)	7(0.18)	7(0.13)	5(0.12)	3(0.10)	0(0.09)	8(0.09)
nPSO[9]	00	6(0.26)	7(0.08)	1(0.07)	6(0.12)	3(0.09)	6(0.03)	4(0.08)	5(0.08)
SO [10]		2(0.04)	9(0.09)	7(0.08)	3(0.06)	2(0.04)	1(0.03)	6(0.04)	1(0.02)
AFSA[11]									
الگوریتم پیشنه		**8(0.03)**	**4(0.03)**	**8(0.09)**	**9(0.09)**	**8(0.11)**	**8(0.10)**	**0(0.07)**	**5(0.07)**
QSO(5,5q)[5]		4(0.64)	6(0.21)	2(0.14)	8(0.13)	3(0.10)	3(0.10)	8(0.08)	0(0.06)
nQSO[7]		7(0.11)	6(0.19)	9(0.10)	3(0.11)	4(0.18)	8(0.15)	3(0.14)	7(0.12)
SO[8]		9(0.10)	4(0.12)	6(0.16)	7(0.11)	5(0.08)	6(0.07)	1(0.05)	6(0.05)
nPSO[9]	00	5(0.10)	2(0.11)	9(0.16)	6(0.09)	7(0.05)	5(0.05)	2(0.04)	1(0.04)
SO [10]		6(0.03)	5(0.05)	7(0.07)	1(0.05)	1(0.02)	6(0.02)	2(0.02)	4(0.01)
AFSA[11]		5(0.06)	0(0.05)	3(0.08)	6(0.09)	4(0.09)	9(0.08)	0(0.07)	1(0.06)
الگوریتم پیشنه		**6(0.02)**	**8(0.05)**	**1(0.02)**	**2(0.03)**	**6(0.05)**	**0(0.05)**	**7(0.05)**	**5(0.05)**
QSO(5,5q)[5]		4.92(0.21)	1.82(0.08)	1.85(0.08)	2.48(0.09)	2.51(0.10)	2.53(0.08)	2.35(0.06)	2.24(0.05)
nQSO[7]		0.51(0.04)	1.01(0.09)	1.51(0.10)	2.00(0.15)	2.19(0.17)	2.43(0.13)	2.68(0.12)	2.62(0.10)
SO[8]		0.90(0.05)	1.21(0.12)	1.61(0.12)	2.05(0.08)	2.18(0.06)	2.34(0.06)	2.32(0.04)	2.34(0.03)
nPSO[9]	00	0.87(0.05)	1.18 (0.04)	1.42(0.04)	1.50(0.06)	1.65(0.04)	1.66(0.02)	1.68(0.03)	1.71(0.02)
SO [10]		0.53(0.01)	1.05(0.06)	1.31(0.03)	1.69(0.05)	1.78(0.02)	1.95(0.02)	1.95(0.01)	1.90(0.01)
AFSA[11]		0.38(0.06)	0.55(0.04)	0.90 (0.03)	1.25 (0.06)	1.47(0.05)	1.68(0.05)	1.83(0.05)	1.84(0.05)

الگوریتم پیشنهـ		**5(0.02)**	**2(0.004)**	**0(0.04)**	**3(0.05)**	**1(0.06)**	**6(07)**	**0(0.05)**	**7(0.04)**
QSO(5,5q)[5]		0(0.18)	3(0.06)	0(0.07)	4(0.08)	0(0.09)	9(0.07)	5(0.05)	1(0.04)
nQSO[7]		9(0.02)	5(0.04)	6(0.06)	8(0.12)	8(0.09)	5(0.08)	9(0.14)	2(0.10)
PSO[8]		7(0.02)	0(0.10)	7(0.04)	4(0.08)	3(0.05)	7(0.04)	0(0.03)	8(0.02)
nPSO[9]	000								
PSO [10]		5(0.01)	7(0.03)	2(0.02)	3(0.02)	9(0.02)	6(0.01)	8(0.01)	6(0.01)
NAFSA[11]		2(0.03)	9(0.03)	5(0.02)	2(0.03)	0 (0.03)	3 (0.04)	3(0.04)	1(0.04)
الگوریتم پیشنهادی		**7(0.01)**	**8(0.03)**	**4(0.03)**	**8(0.02)**	**6(0.03)**	**0(0.04)**	**8(0.04)**	**9(0.05)**

جدول۳: مقادیر خطای آفلاین و استاندارد بدست آمده از الگوریتم ها بر روی MPB با تعداد قله های مختلف و فرکانس های تغییر ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰

همچنین دستهٔ مادر نیز همواره در طول اجرا فعال می باشد یعنی به خواب نمی رود. به همین دلیل این دسته با توجه به فعال بودن تعداد محدودی از دسته ها یعنی دو دسته فرزند، فرصت بیشتری برای یافتن قله های احتمالی کشف نشدهٔ دیگر خواهد داشت. از طرفی از آنجا که در الگوریتم پیشنهادی، دسته های فرزند دیگر نیز به صورت تصادفی در هر تکرار شانسی برای اجرا شدن دارند، بنابراین می توانند با انجام جستجوی محلی، هر چند کم، فاصلهٔ خود را با موقعیت جدید قلهٔ تحت پوشش شان کم کنند که این امر باعث می شود، تا آنها از مهمترین وظیفه شان یعنی تعقیب قله تحت پوشش شان عقب نمانند. مکانیزم جدید کنترل دسته های فرزند فعال به عنوان نقطهٔ قوت الگوریتم پیشنهادی و همچنین سایر مکانیزم های به کار رفته در این الگوریتم باعث شده اند که الگوریتم به نتایج بسیار مناسبی دست یابد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم جدید برای بهینه سازی در محیط های پویا بر پایهٔ الگوریتم بهینه سازی دستهٔ ذرات ارائه گردید. در الگوریتم پیشنهادی که به صورت چند دستگی می باشد، هر دسته، یک دسته از ذرات می باشد که از روند الگوریتم بهینه سازی دستهٔ ذرات تبعیت می کنند. در این الگوریتم یک دسته از ذرات به نام دستهٔ مادر وجود دارد که وظیفهٔ آن یافتن قله ها و ایجاد دسته هایی به نام دسته فرزند در هر یکی از قله ها است. بدین ترتیب الگوریتم با قرار دادن دسته های فرزند در قله ها، قادر به پوشش دادن بهینه های محلی می شود تا در صورتی که پس از تغییر محیط تبدیل به بهینه سراسری شدند، به سرعت آنها رابیابد. همچنین در الگوریتم پیشنهادی، مکانیزم هایی برای رفع چالش های محیط های پویا استفاده شده است. یکی از این مکانیزم ها، مکانیزم جدیدی است که بر اساس آن الگوریتم قادر به مدیریت منابع محاسباتی برای دسته های فرزند می باشد. بدین ترتیب الگوریتم فرصت بیشتری در اختیار دستهٔ مادر قرار می دهد تا تمامی قله های موجود در فضای مسئله را بیابد. از طرفی فرصت بیشتری در اختیار بهترین دستهٔ فرزن که تعیین کننده مهمی در کارایی الگوریتم می باشد قرار می دهد تا بتواند جستجوی محلی بهتری را اجرا کند. از طرفی با دادن فرصت به دیگر دسته های فرزند برای حرکت به سمت موقعیت جدید قله های تحت پوششان، از عقب افتادن آنها در تعقیب قله ها جلوگیری می کند. کارایی الگوریتم پیشنهادی بر روی حالت های مختلف یکی از معروف ترین بنچمارک های محیط های پویا یعنی بنچمارک قله های متحرک سنجیده شده و با چندین الگوریتم معروف دیگر در این زمینه مقایسه گردیده است. نتایج آزمایشات و مقایسات نشان دهندهٔ صحت و کارایی بالای الگوریتم پیشنهادی است.

با این حال شایان ذکر است که محیط پویای بررسی شده در این مقاله، تنها بخشی از مسائل بهنیه سازی پویا را تحت پوشش قرار می دهد. این مسئله در حالی است که محیط های پویای مختلف ممکن است دارای شرایط و چالش های مختلفی باشند که باعث شوند نتوان از الگوریتم پیشنهادی برای حل آنها استفاده کرد. بنابراین طراحی مکانیزم های جدید و تغییر الگوریتم پیشنهادی برای حل مسائل بهینه سازی پویا با خواص و چالش های متفاوت می تواند گزینه ای مناسب برای کارهای آتی باشد.

مراجع

[1] T.T. Nguyen, "Continuous dynamic optimisation using evolutionary algorithms", Ph.D. Thesis, The University of Birmingham, 2010.

[2] J. Kennedy, R.C. Eberhart, Particle swarm optimization, in: IEEE International Conference on Neural Networks, 1995. Proceedings., 1995, pp. 1942-1948.

[3] J. Branke, Memory enhanced evolutionary algorithms for changing optimization problems, in: IEEE Congress on Evolutionary Computation, vol. 3, 1999, pp. 1875–1882.

[4] R.C. Eberhart, Y. Shi, Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization, in: IEEE Congress on Evolutionary Computation, Vol. 1, 2001, pp. 84-88.

[5] T. Blackwell, J. Branke, Multiswarms, exclusion, and anti-convergence in dynamic environments, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol. 10, 2006, pp. 459-472.

[6] S. Yang, C. Li, A clustering particle swarm optimizer for locating and tracking multiple optima in dynamic environments, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.14, No. 6, 2010, pp. 959-974.

[7] T. Blackwell, J. Branke, X. Li, Particle swarms for dynamic optimization problems, Swarm Intelligence: Introduction and Applications, 2008, pp. 193-217.

[8] M. Kamosi, A.B. Hashemi, M.R. Meybodi, A new particle swarm optimization algorithm for dynamic environments, in: Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, 2010, pp. 129-138.

[9] M. Kamosi, A.B. Hashemi, M.R. Meybodi, A hibernating multi-swarm optimization algorithm for dynamic environments, in: Proceedings of World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC2010), Kitakyushu, Japan, 2010, pp. 370-376.

[10] Rezazadeh, M.R. Meybodi, A. Naebi, Adaptive particle swarm optimization algorithm for dynamic environments, in: Advances in Swarm Intelligence, 2011, pp. 120-129.

[11] D. Yazdani, B. Nasiri, A.Sepas-Moghadam, M. R. Meybodi, M. R. Akbarzadeh-Totonchi, "mNAFSA: a novel approach for optimization in dynamic environments with global changes", Swarm and Evolutionary Computation, Elsevier, 2014.

بهبود کارایی الگوریتم بهینه سازی دسته جمعی ذرات برای بهینه سازی در محیط پویا با بهره گیری از الگوریتم بهینه سازی حدی

مرضیه نخبه الفقهایی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین دانشکده مهندسی رایانه و فناوری اطلاعات

بابک نصیری
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین دانشکده مهندسی رایانه و فناوری اطلاعات

محمد رضا میبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیر کبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

چکیده

بسیاری از مسائل دنیای واقعی به صورت یک مسئله بهینه سازی با ماهیتی پویا هستند. در این گونه مسائل، بهینه در طول زمان تغییر می‌کند، بنابراین علاوه بر پیدا کردن بهینه سراسری می‌بایست آن را در طول زمان دنبال کرد. در این مقاله، الگوریتم ترکیبی جدیدی مبتنی بر الگوریتم دسته جمعی ذرات و الگوریتم بهینه سازی حدی برای حل مسائل بهینه سازی در محیط پویا پیشنهاد شده است. جستجوی بهینه سراسری با استفاده از الگوریتم دسته جمعی ذرات صورت می‌گیرد. ایده اصلی مطرح شده در این مقاله استفاده از الگوریتم بهینه سازی حدی برای جستجوهای محلی و نزدیک بهینه می‌باشد و می‌تواند بهترین جواب را از میان جواب‌های محلی بدست آورد. لذا با ترکیب این دو الگوریتم می‌توان تعاملی بین دو مفهوم اساسی مطرح در الگوریتم‌های تکاملی، اکتشاف و بهره برداری، ایجاد نمود و جواب‌های بهتری بدست آورد. نتایج حاصل از این الگوریتم ترکیبی پیشنهادی، بر روی معیار قله‌های متحرک که از معروف‌ترین معیارهای محیط‌های پویا است ارزیابی شده و با نتایج حاصل از چندین الگوریتم معتبر مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده بیانگر کارایی بالای الگوریتم ترکیبی پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی، محیط پویا، الگوریتم بهینه‌سازی دسته جمعی ذرات، الگوریتم بهینه سازی حدی، معیار قله‌های متحرک.

مقدمه

تعداد زیادی از مسائل بهینه سازی در جهان واقعی پویا می‌باشند. از آن‌جا که بهینه این مسائل با تغییرات محیطی در طول زمان جابجا می‌شوند، بنابراین در حل آنها یافتن بهینه سراسری کافی نیست بلکه پیگیری بهینه در طول تغییرات اهمیت دارد. در سال‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های هوش جمعی برای حل این مسائل توجه زیادی را به خود جلب کرده است. یکی از این الگوریتم‌های هوش جمعی الگوریتم بهینه سازی دسته جمعی ذرات می‌باشد. ولی مشکل این الگوریتم‌ها این است که پیش از موعد به یک بهینه همگرا می‌شوند و همچنین در صورت تغییر در محیط همگرا شدن به نقطه بهینه جدید بسیار زمان‌گیر است. این همگرایی زودرس باعث از دست دادن تنوع و گیر افتادن در بهینه محلی می‌شود. یک روش مناسب برای حل این مشکل و بی اثر کردن وقوع تغییر در محیط و نیز میزان آن، بهبود جستجوی محلی این الگوریتم به کمک الگوریتم بهینه سازی حدی می‌باشد.

الگوریتم بهینه سازی دسته جمعی ذرات یا PSO، در سال ۱۹۹۵ توسط Kennedy و Eberhart معرفی شد [۱]. این یک الگوریتم بهینه سازی است که از روی زندگی جمعی و گروهی پرندگان الهام می‌گیرد تا به راه حل بهینه برسد. تاکنون نسخه‌های متعددی از آن برای بهینه‌سازی در محیط‌های ایستا و پویا معرفی شده است. یک مشکل اساسی این الگوریتم از دست دادن تنوع پس از مدتی است که باعث همگرایی زودرس می‌شود و مشکل دیگر به خصوص برای محیط‌های پویا، بلا استفاده شدن حافظه پس از تغییر محیط می‌باشد. راه حل‌های متنوعی برای حل این دو مشکل پیشنهاد شده است که در بخش‌های بعدی به آن‌ها اشاره می‌شود.

الگوریتم بهینه سازی حدی (EO) که یک الگوریتم جستجوی محلی است برای ممانعت از راه حلهای بد و یافتن راه حلهای خوب می‌باشد. به عبارتی دیگر، این الگوریتم بر خلاف سایر الگوریتم‌های تکاملی و هوش جمعی بدنبال همگرایی نبوده و همواره سعی در بهبود راه حل یافت شده دارد. این ویژگی الگوریتم بهینه سازی حدی را یک انتخاب مناسب برای محیط‌های پویا می‌سازد و سبب می‌شود الگوریتم توانایی تطبیق پذیری بسیار بالایی را با محیط پیدا کند که این امر بدون در

نظر گرفتن شدت و فرکانس تغییرات می‌باشد [۲].

در این مقاله با ترکیب این دو روش به گونه‌ای که بهترین فرد بدست آمده با الگوریتم بهینه‌سازی دسته جمعی ذرات، توسط الگوریتم بهینه‌سازی حدی دوباره بهبود می‌یابد نتایج بهتری حاصل می‌کند.

الگوریتم پیشنهادی بر روی سناریوهای مختلف معیار قله‌های متحرک (MPB) [۳]، که از معروف‌ترین معیارهای محیط‌های پویا است به کار رفته و کارایی آن با الگوریتم‌های mQSO [۴] و Adaptive mQSO [۵] و mPSO [۶] مقایسه شده است. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی از کارایی قابل قبولی برخوردار است.

این مقاله شامل شش بخش می‌باشد: در بخش دوم مروری بر الگوریتم PSO و کارهای انجام شده قبلی برای انطباق با محیط‌های پویا مطرح می‌شود. در بخش سوم به الگوریتم بهینه‌سازی حدی پرداخته می‌شود. در بخش چهارم الگوریتم پیشنهادی طرح می‌گردد. نتایج آزمایشات و همچنین نتیجه‌گیری این مقاله به ترتیب در بخش‌های پنجم و ششم ارائه شده است.

۲- الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌جمعی ذرات

این الگوریتم با یک گروه از جواب‌های تصادفی شروع به کار می‌کند. سپس برای یافتن جواب بهینه در فضای مساله با به روز کردن موقعیت و سرعت هر ذره به جستجو می‌پردازد. هر ذره به صورت چند بعدی با دو مقدار و که به ترتیب مکان و سرعت مربوط به بعد jام از i امین ذره هستند تعریف می‌شود. در هر مرحله از حرکت جمعیت، هر ذره با توجه به دو مقدار بهترین به روز می‌شود. اولین مقدار بهترین جواب از لحاظ شایستگی است که تاکنون برای هر ذره به طور جداگانه به دست آمده است. این مقدار بهترین تجربه فردی است که pbest نامیده می‌شود. مقدار بهترین دیگر که توسط PSO به دست می‌آید، بهترین مقداری است که تاکنون توسط تمام ذره‌ها در میان جمعیت به دست آمده است. این مقدار بهترین تجربه گروهی است که gbest نامیده می‌شود. پس از یافتن دو مقدار pbest و gbest هر ذره سرعت و مکان جدید خود را با دو رابطه زیر به‌روز می‌کند:

(۱)

$$v_{i,j}^{t+1} = wv_{i,j}^{t} + c_1 r_1 (p_{i,j}^{t} - x_{i,j}^{t}) + c_2 r_2 (g_j^{t} - x_{i,j}^{t})$$

(۲)

$$x_i^{t+1} = x_i^{t} + v_i^{t+1}$$

به طوری که w وزن اینرسی، c_1 و c_2 ضرایب شتاب و r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازه (۱و۰) می‌باشند. همچنین p و g به‌ترتیب pbest و gbest می‌باشند.

B. ۲-۱- الگوریتم بهینه‌سازی دسته‌جمعی ذرات در محیط‌های پویا

تحقیقات زیادی در رابطه با بهینه‌سازی PSO در محیط‌های پویا انجام شده است.

Blackwell و Branke در مرجع [۴] mQSO را مطرح کردند که در آن کل جمعیت به چند گروه تقسیم می‌شود و شامل سه عملگر تنوع با نام‌های ذرات کوانتوم، دفع و ضد همگرایی می‌باشد. ذرات کوانتوم در موقعیت‌های تصادفی قرار می‌گیرند تا تنوع گروه‌ها را حفظ کنند. عملگر دفع هنگامی که دو گروه همپوشانی پیدا می‌کنند، گروه بدتر را مقداردهی اولیه مجدد می‌کند. عملگر ضد همگرایی هنگامی که تمام گروه‌ها همگرا می‌شوند، گروه بدتر را مقداردهی اولیه مجدد می‌کند. سپس Blackwell و همکاران در مرجع [۵] Adaptive mQSO را مطرح کردند که در آن تعداد گروه‌ها از ابتدا معین نیست و با پیدا کردن قله‌های جدید افزایش می‌یابد، به این‌صورت که در آن عملگر ضد همگرایی هرگاه که همه گروه‌ها همگرا شدند یک گروه آزاد جدید ایجاد کرده که به پیدا کردن بهینه محلی جدید کمک می‌کند.

Parrott و Li در منبع [۷] PSO مبنی بر جزء (SPSO) را برای حل مسائل بهینه‌سازی پویا مطرح کردند. مرکز یک جزء که دانه جزء نامیده می‌شود ذره‌ای است که همواره بهترین برازش را در آن جزء دارد. همه ذراتی که در شعاع از پیش تعریف شده دانه جزء واقع شوند در همان جزء قرار می‌گیرند. این الگوریتم گروه‌ها را بجای همگرایی به یک بهینه سراسری به سمت چند بهینه محلی همگرا می‌کند، از اینرو چند زیر جمعیت بطور موازی توسعه می‌یابند.

Li و Yang یک روش چند گروهی سریع را معرفی کرده‌اند که پراکندگی ذرات را در حین اجرا حفظ می‌کند [۸]. در این روش گروهی از ذرات والد میزان پراکندگی ذرات را حفظ می‌نمایند و نواحی نوید بخش فضای جستجو را با استفاده از الگوریتم برنامه‌ریزی تکاملی سریع شناسایی می‌کنند و دسته‌ای از گروه‌های ذرات فرزند ناحیه‌ای محلی را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات سریع با هدف یافتن بهینه‌ی مساله جستجو می‌کنند. علاوه بر این، آنها در [۹] یک روش خوشه‌بندی را معرفی کرده‌اند که گروه ذرات را به زیر گروه‌های مختلفی افراز می‌کند و هر یک از آنها به جستجوی یک ناحیه محلی در فضای جستجو می‌پردازند.

کاموسی و همکاران در [۶] الگوریتم mPSO را ارائه دادند که از یک گروه والد برای اکتشاف فضای جستجو و چند گروه فرزند برای بهره برداری از نواحی امید بخش یافته شده توسط گروه والد استفاده می‌کند.

یزدانی و همکاران در منبع [۱۰] یک الگوریتم جدید مبتنی بر روش بهینه‌سازی ذرات مطرح کردند که در آن از یک روش چند گروهی بهبود یافته استفاده شده است که در آن گروهها به دودسته یابنده و دنبال کننده تقسیم می‌شوند. علاوه براین یک روش نوین مبتنی بر تغییر در بردار سرعت و موقعیت ذرات برای افزایش تنوع گروهها مطرح شد. الگوریتم برای جستجوی محلی از ذره کوانتوم قابل تطبیق اطراف بهترین موقعیت یافت شده استفاده می‌کند و مکانیزم خواب-بیدار نوین که برای تمرکز بر روی فشار کلی الگوریتم بر روی قله بهینه جهانی می‌باشد نیز استفاده شده است.

۳- الگوریتم بهینه‌سازی حدی

الگوریتم بهینه سازی حدی یک الگوریتم تکاملی است که برای حل مسائل بهینه سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر خلاف بسیاری از الگوریتم‌های تکاملی که در هر لحظه از چندین جواب تشکیل شده‌اند این الگوریتم تنها از یک جواب تشکیل شده است که در هر مرحله آن را بهبود می‌دهد. این الگوریتم برای تولید جوابهای بهتر، در هر مرحله یکی از اجزای آخرین جواب ایجاد شده را انتخاب و مقدار آن را با مقداری جدید جایگزین می‌کند. انتخاب یک جزء از بین اجزای جواب با توجه به شایستگی محلی آنها انجام می‌گیرد [۲]. شبه کد این الگوریتم بصورت زیر می‌باشد:

۱. یک راه‌حل به عنوان راه‌حل اولیه تولید شده و به عنوان راه‌حل جاری و همچنین به عنوان بهترین راه‌حل در نظر گرفته می‌شود.

۲. برای این راه حل:

الف) برازش را برای هر متغیر راه‌حل محاسبه می‌کنیم.

ب) همه برازش‌ها را مرتب کرده و متغیری که دارای کمترین برازش است را انتخاب می‌کنیم.

پ) مقدار متغیر انتخابی با مقدار دیگری در همسایگی آن جایگزین می‌شود.

ت) راه‌حل ایجاد شده به عنوان راه‌حل جاری در نظر گرفته می‌شود.

ث) در صورتی که راه‌حل جاری بهتر از بهترین جواب باشد به عنوان بهترین راه‌حل نیز انتخاب می‌شود.

۳. مرحله ۲ را تا رسیدن به راه‌حل مطلوب تکرار می‌کنیم.

۴. بهترین راه‌حل برگردانده می‌شود.

طبق نتایج موجود در [۱۱] الگوریتم بهینه سازی حدی به تنهایی برای مساله قله های متحرک خوب کار نمی‌کند. بنابراین در [۱۲] یک الگوریتم بهینه سازی حدی چند فردی چند مرحله ای ارائه شد که در حل مساله قله های متحرک خوب کار کرد و عمده دلیل موفقیت آن مربوط به بخش جستجوی محلی در آن است. این الگوریتم متشکل از چندین مرحله EO، مرحله تپه نوردی، مرحله چک کردن جواب‌های تکراری، مرحله بهینه‌سازی مجدد و مرحله میزان سازی دقیق می‌باشد. سپس در [۱۳] بخش جستجوی محلی، به الگوی جستجوی HJ که یک جستجوی محلی خیلی ساده است و نیز جستجوی محلی بهبود یافته ارتقا داده شد.

۴- الگوریتم پیشنهادی

با توجه به مزایا و معایب گفته شده در مورد الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و برای رفع معایب آن، الگوریتم مذکور را با الگوریتم بهینه سازی حدی ترکیب می‌کنیم. برای اینکار بهترین فرد بدست آمده با الگوریتم بهینه‌سازی دسته جمعی ذرات ، توسط الگوریتم بهینه‌سازی حدی دوباره بهبود می‌یابد.

در این الگوریتم پیشنهادی به دلیل چالش‌های بیان شده در الگوریتم PSO استاندارد، از الگوریتم PSO چند گروهی مطرح شده در [۵] تحت نام Adaptive mQSO به جای حالت استاندارد آن استفاده می‌شود. در این الگوریتم در ابتدای کار تنها یک دسته وجود دارد. یک دستهٔ جدید هنگامی ایجاد می‌شود که تمام دسته‌های موجود در فضای مسئله همگرا شده باشند. در این الگوریتم تنها یک دسته می‌تواند در فضای مسئله به صورت آزاد حرکت کند. در صورتی که بیش از یک دسته آزاد باشد تنها بهترینِ آنها در فضای مسئله باقی می‌ماند و بقیهٔ آنها از بین می‌روند. اجزای اصلی و تنظیمات پارامترهای این الگوریتم نیز مطابق با [۵] می‌باشد.

در هر دور از اجرای الگوریتم Adaptive mQSO، چندتا از بهترین گروه‌ها انتخاب شده و gbest مربوط به این گروه‌ها به کمک الگوریتم بهینه‌سازی حدی دوباره بهبود می‌یابد. چون تعداد گروه‌ها در هر دور از اجرای الگوریتم Adaptive mQSO متغیر می‌باشد بنابراین تابع انتخاب gbest ها برای اعمال بهینه‌سازی حدی بر روی آنها در الگوریتم پیشنهادی بصورت انتخاب n تا gbest بهتر است که n بصورت زیر محاسبه می‌شود:

(۳)

$$n = round((swarmnumber + 1)/4$$

شبه کد این الگوریتم در شکل ۱ نشان داده شده است.

```
//Initialization
Begin with a single free swarm, M = 1
FOR EACH particle ni
    Randomly initialize v_ni , x_ni
    pbest_ni=x_ni
    Evaluate f(pbest_ni)
    FOR EACH swarm n
        gbest_n:=argmax{f(pbest_ni)}
Initialize Test_point
REPEAT
    Adapt number of swarms() [5]
    Test for Change() [5]
    Select some of best swarms
    FOR EACH swarm n
        Update particles based on particles type() [5]
```

FOR gbest of each selected swarm

Extremal Optimization()

FOR EACH swarm *n*

Evaluate $f(x_{ni})$

IF $f(x_{ni}) > f(pbest_{ni})$ THEN

$pbest_{ni} := x_{ni}$

IF $f(x_{ni}) > f(gbest_{n})$ THEN

$gbest_{n} := x_{ni}$

Exclusion() [5]

UNTIL number of function evaluations performed > *max*

شکل ۱. شبه کد الگوریتم پیشنهادی

شبه کد تابع بهینه‌سازی حدی فراخوانی شده در الگوریتم پیشنهادی بصورت زیر می‌باشد:

۱- در نظر گرفتن gbest به عنوان راه حل جاری.

۲- نمونه برداری فضا در هر بعد از راه حل جاری به روش پیشنهادی و تولید تعدادی کاندید. انتخاب بهترین کاندید از نظر شایستگی به عنوان راه حل جاری.

۳- استفاده از الگوی حرکت پیشنهادی به تعداد دفعات معین بر روی هریک از ابعاد راه حل جاری.

۴-ذخیره راه حل بهینه شده نهایی حاصل از مرحله قبل در ذره مربوط به آن از جمعیت.

در این الگوریتم متغیر طول گام اولیه در ابتدای برنامه مقداردهی اولیه می‌شود. این مقدار طی اجرای برنامه برای gbest هر گروه و برای هر بعد آن با توجه به الگوی حرکت پیشنهادی تغییر می‌کند. پس از کشف هر تغییر در محیط، طول گام‌های حرکت در الگوریتم پیشنهادی به اندازه شدت تغییر جهش می‌یابند. اینکار در یافتن سریعتر پاسخ با حرکت دادن راه‌حل در مسیر تغییر نقش بسزایی ایفا می‌کند. همچنین طی اجرای برنامه، طول گام حرکت برای gbest هر گروهی که تصادفی‌سازی بر روی آن انجام شود به مقدار اولیه تغییر می‌یابد.

نمونه برداری فضا برای تولید کاندیدها با روش پیشنهادی به اینصورت است که بر روی هر بعد از راه حل جاری، با ثابت نگه داشتن بقیه ابعاد، یک جهش انجام می‌دهیم. اگر مقدار k امین بعد از راه حل جاری i را با $x_{i,k}$ و مقدار جدید حاصل از جهش آن را با $x'_{i,k}$ نشان دهیم، آنگاه جهش بصورت زیر انجام می‌شود:

(۴)

$$x'_{i,k} = x_{i,k} \pm steplength_{i,k} * rand$$

که در آن rand ∈ ( ) steplength می‌باشد و طول گام مربوط به k امین بعد از راه حل جاری i می‌باشد. آنگاه مقدار برازش کاندیدها را محاسبه کرده و بهترین کاندید را به‌عنوان راه حل جاری در نظر می‌گیریم.

بعد از این کار وارد مرحله جستجوی محلی یا به عبارتی تغییر هر یک از ابعاد راه حل جاری با استفاده از الگوی حرکت پیشنهادی می‌شویم. به اینصورت که مقادیر ابعاد راه حل جاری به‌ترتیب و به تعداد دفعات معینی با طول گام مربوط به آن بعد حرکت داده می‌شوند. پس از هر حرکت در صورتیکه برازش بهتری حاصل شد مقدار جدید را به عنوان راه حل جاری در نظر می‌گیریم و حرکت بعدی را با همان طول گام انجام می‌دهیم، در غیر اینصورت مقدار قبلی آن بعد را با طول گام جدید که منفی نصف طول گام قبلی است جمع می‌کنیم.

۵- ارزیابی

برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم همراه با سه الگوریتم شناخته شده به نام‌های mQSO [۴] و Adaptive mQSO [۵] و mPSO [۶] مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج با توجه به پارامترهای جدول ۱ که با نام سناریو ۲ در مساله MPB معروف است، آورده شده است [۳]. تنها پارامترهای متفاوت، تعداد قله‌ها و فرکانس تغییر می‌باشد که برای ارزیابی بهتر بین الگوریتم‌ها از ۱ قله تا ۲۰۰ قله در فرکانس‌های تغییر ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ در نظر گرفته شده است. آزمایشات ۳۰ بار تکرار شده‌اند و متوسط مقدار خطای برون‌خطی و خطای استاندارد [۳] الگوریتم پیشنهادی به همراه سه الگوریتم دیگر در جداول ۲ تا ۵ ارائه شده‌اند. در این جداول، خطای استاندارد در کنار خطای برون خطی درون پرانتز نشان داده شده است. برای مقایسه بهتر، نتایج برتر پررنگ‌تر و بصورت مورب نمایش داده شده است.

همانطور که در جداول ۲ تا ۵ مشاهده می‌شود، نتایج الگوریتم پیشنهادی همواره از سه الگوریتم دیگر بهتر است بجز برای فرکانس ۲۵۰۰ و ۲۰۰ قله که الگوریتم mPSO دارای پاسخ بهتری است.

جدول ۱۶: پارامترهای MPB

پارامتر	مقدار پیش فرض
P تعداد قله ها	۱۰
fفرکانس تغییرات	هر ۵۰۰۰ ارزیابی
میزان تغییر ارتفاع	7.0
میزان تغییر پهنا	1.0
شکل قله ها	Cone
S طول تغییر	1.0
λ	۰
D تعداد ابعاد	5
H مقدار مینیمم و ماکزیمم ارتفاع	[30.0, 70.0]
W مقدار مینیمم و ماکزیمم پهنا	[1, 12]
A محدوده فضای جستجو	[0, 100]

جدول ۱۷: مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در فرکانس ۵۰۰

M \	MQSO(5,5q)	Adaptive mQSO	mPSO	الگوریتم پیشنهادی
1	17.04(1.31)	1.72(0.11)	8.88(0.14)	***0.70(0.05)***
5	8.90(0.35)	4.16(0.15)	8.91(0.17)	***2.40(0.14)***
10	7.83(0.35)	5.11(0.20)	8.76(0.18)	***3.85(0.20)***
20	7.95(0.35)	5.44(0.19)	8.43(0.17)	***4.68(0.18)***
30	7.63(0.24)	5.96(0.16)	8.01(0.19)	***5.40(0.19)***
50	7.84(0.35)	6.23(0.18)	7.19(0.23)	***5.52(0.19)***
100	8.55(0.29)	6.20(0.16)	6.69(0.26)	***5.98(0.20)***
200	7.83(0.29)	6.40(0.19)	8.71(0.48)	***5.71(0.14)***

جدول ۱۸: مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در فرکانس ۱۰۰۰

M \	MQSO(5,5q)	Adaptive mQSO	mPSO	الگوریتم پیشنهادی
1	7.17(0.43)	2.33(0.31)	5.78(0.09)	***0.39(0.02)***
5	5.06(0.27)	2.90(0.32)	5.60(0.09)	***1.25(0.09)***
10	4.40(0.19)	4.56(0.40)	5.33(0.10)	***1.92(0.14)***
20	5.17(0.23)	5.36(0.47)	5.15(0.12)	***2.91(0.11)***
30	5.67(0.21)	5.20(0.38)	4.97(0.13)	***3.06(0.12)***
50	5.73(0.15)	6.06(0.14)	4.57(0.18)	***3.54(0.09)***
100	5.13(0.19)	4.77(0.45)	3.93(0.16)	***3.53(0.08)***
200	4.95(0.13)	5.75(0.26)	4.44(0.24)	***3.73(0.10)***

جدول ۴: مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در فرکانس ۲۵۰۰

M \	MQSO(5,5q)	Adaptive mQSO	mPSO	الگوریتم پیشنهادی
1	3.65(0.21)	0.87(0.11)	3.36(0.05)	***0.17(0.01)***
5	2.81(0.16)	2.16(0.19)	3.31(0.05)	***0.63(0.09)***
10	2.50(0.12)	2.49(0.10)	3.26(0.07)	***1.07(0.09)***
20	3.60(0.14)	2.73(0.11)	3.15(0.08)	***1.67(0.12)***
30	3.39(0.13)	3.24(0.18)	3.07(0.11)	***1.93(0.10)***
50	3.56(0.14)	3.68(0.15)	2.66(0.16)	***2.17(0.10)***
100	3.39(0.12)	3.53(0.14)	2.04(0.12)	***2.02(0.09)***
200	3.36(0.08)	3.07(0.12)	***1.79****(0.10)*	2.07(0.07)

جدول ۵: مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در فرکانس ۵۰۰۰

M \	MQSO(5,5q)	Adaptive mQSO	mPSO	الگوریتم پیشنهادی
1	2.05(0.10)	0.87(0.11)	0.90(0.05)	***0.08(0.00)***
5	1.81(0.11)	2.16(0.19)	1.21(0.12)	***0.29(0.04)***
10	1.63(0.09)	2.49(0.10)	1.61(0.12)	***0.52(0.04)***
20	2.62(0.10)	2.73(0.11)	2.05(0.08)	***1.10(0.08)***
30	2.60(0.09)	3.24(0.18)	2.18(0.06)	***1.50(0.08)***
50	2.63(0.13)	3.68(0.15)	2.34(0.06)	***1.50(0.07)***
100	2.54(0.08)	3.53(0.14)	2.32(0.04)	***1.50(0.06)***
200	2.42(0.06)	3.07(0.12)	2.34(0.03)	***1.47(0.05)***

مشاهده می‌شود که با افزایش فرکانس تغییر، کارایی الگوریتم‌ها بهبود می‌یابد چون فرصت بیشتری برای رسیدن به اهداف تا تغییر محیطی بعدی دارند. همچنین در الگوریتم پیشنهادی با افزایش تعداد قله‌ها، تعداد گروه‌ها و در نتیجه تعداد کلی ذرات نیز بیشتر می‌شود و این باعث افزایش تعداد ارزیابی برازش شده و در نتیجه سرعت همگرایی و

نیز کارایی با افزایش تعداد قله‌ها کاهش می‌یابد.

یکی از دلایل برتری این الگوریتم نسبت به سه الگوریتم دیگر، استفاده از تابع بهینه‌سازی حدی می‌باشد. افزودن این تابع به الگوریتم PSO اگرچه باعث افزایش تعداد ارزیابی برازش در هر دور می‌شود اما با نزدیک‌تر کردن بهینه سراسری به پاسخ، سرعت همگرایی را قبل از هر تغییر افزایش می‌دهد. همچنین تابع بهینه‌سازی حدی فقط بر روی چندتا از بهترین گروه‌ها انجام می‌شود تا ارزیابی برازش کمتری برای قله‌های غیر بهینه هدر رود.

دلیل دیگر بهتر بودن این الگوریتم، انطباق تعداد گروه‌ها با تعداد قله‌ها است که این باعث هدر رفتن تعداد ارزیابی برازش کمتری شده و بخصوص برای تعداد قله‌های کمتر که تعداد کلی ذرات نیز در آن کمتر است پاسخ‌های بسیار خوبی مشاهده می‌شود.

در الگوریتم پیشنهادی، برای یافتن تغییرات محیطی، فقط یک ارزیابی برازش برای Test_point در هر دور از اجرای الگوریتم انجام می‌شود که این تعداد در الگوریتم‌های دیگر خیلی بیشتر و مساوی با تعداد گروه‌های موجود در مساله می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

برای رفع معایب الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، الگوریتم مذکور را با الگوریتم بهینه سازی حدی ترکیب می‌کنیم. با ترکیب این دو الگوریتم از قدرت مکاشفه کل فضای جستجوی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (برای یافتن بهینه سراسری) و نیز قدرت بهره برداری الگوریتم بهینه‌سازی حدی در یافتن جوابهای دقیق در قسمتی از فضای جستجو استفاده می‌کنیم. در این الگوریتم پیشنهادی به دلیل چالش‌های بیان شده در الگوریتم PSO استاندارد، از الگوریتم Adaptive mQSO به جای حالت استاندارد آن استفاده شد. نتایج بر روی معیار قله‌های متحرک با چند الگوریتم شناخته شده دیگر مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایشات بیانگر کارایی بهتر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر می‌باشد. در کار بعدی با بهبود بیشتر الگوریتم PSO و همچنین جستجوی محلی در EO می توان به نتایج بهتری رسید.

مراجع

[1] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", in IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942-1948, Perth, November 1995.

[2] S.Boettcher, and A.G. Percus, "Extremal optimization: an evolutionary local-search algorithm." In Computational Modeling and Problem Solving in the Networked World, pp. 61-77. Springer US, 2003.

[3] J. Branke. The Moving Peaks Benchmark Website. http://www.aifb.unikarlsruhe.De/jbr/movpeaks.

[4] T. Blackwell and J. Branke, "Multiswarms, exclusion, and anti-convergence in dynamic environments." Evolutionary Computation, IEEE Transactions on 10.4 (2006): 459-472.

[5] T. Blackwell and J. Branke, and X. Li, "Particle swarms for dynamic optimization problems." Swarm Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2008. 193-217.

[6] M. Kamosi and B. Hashemi, and M. Meybodi. "A new particle swarm optimization algorithm for dynamic environments." Swarm, evolutionary, and memetic computing. Springer Berlin Heidelberg, 2010. 129-138.

[7] D. Parrott and X. Li, "Locating and tracking multiple dynamic optima by a particle swarm model using speciation." Evolutionary Computation, IEEE Transactions on 10.4 (2006): 440-458.

[8] Li, Changhe, and Shengxiang Yang. "Fast multi-swarm optimization for dynamic optimization problems." Natural Computation, 2008. ICNC'08. Fourth International Conference on. Vol. 7. IEEE, 2008.

[9] Yang, Shengxiang, and Changhe Li. "A clustering particle swarm optimizer for locating and tracking multiple optima in dynamic environments." Evolutionary Computation, IEEE Transactions on 14.6 (2010): 959-974.

[10] Yazdani, Danial, et al. "A novel multi-swarm algorithm for optimization in dynamic environments based on particle swarm optimization." Applied Soft Computing 13.4 (2013): 2144-2158.

[11] Moser, Irene. "Applying extremal optimisation to dynamic optimisation problems." PhD in information technology, Swinburne University of Technology. Faculty of Information and Communication Technologies (2008).

[12] Moser, Irene, and Tim Hendtlass. "A simple and efficient multi-component algorithm for solving dynamic function optimisation problems." Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on. IEEE, 2007.

[12] Moser, Irene, and Raymond Chiong. "Dynamic function optimisation with hybridised extremal dynamics." Memetic Computing 2.2 (2010): 137-148.

یک روش مبتنی بر آتاماتای یادگیر سلولی برای حل مسئله شبه‌کلیک وزن‌دار بیشینه

فرناد بزرگی
دانشگاه آزاد اسلامی، علوم و تحقیقات واحد قزوین، دانشکده برق، رایانه و فناوری اطلاعات
F_Bozorgi@qiau.ac.ir

علیرضا رضوانیان
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
A.Rezvaninan@aut.ac.ir

محمدرضا میبدی
استاد تمام، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
MMeybodi@aut.ir

چکیده

در این مقاله، الگوریتمی مبتنی بر اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم برای حل مسئله شبه‌کلیک وزن‌دار بیشینه پیشنهاد می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی، برای ساخت اتوماتون‌های یادگیر معادل با گراف وزن‌دار و بدون جهت G، به ازای هر رأس معادل با آن یک اتوماتون یادگیر سلولی در نظر گرفته می‌شود، که هر سلول آن مجهز به یک اتوماتون یادگیراست ودر ابتدا احتمال انتخاب اقدام هر یک از اتوماتون‌های یادگیر به طور مساویمقداردهی می‌شود.در مراحل بعدی بردار احتمال با توجه به الگوریتم یادگیری بروزرسانی می‌شود. در این مسئله فرض بر این است که وزن‌ها بر روی رئوس می‌باشند. بر اساس نتایج انجام شده، الگوریتم پیشنهادی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

کلمات کلیدی

اتاماتای یادگیرسلولی، اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم، اقدام، گراف وزن‌دار

مقدمه

مسئله شبه کلیک (k- پلکس) توسط سیدمن و فوستر در [۱] در مفاهیم آنالیز شبکه‌های اجتماعی معرفی شده است، ماکزیمم k-پلکس به عنوان یکی از مسائل بنیادی در نظریه گراف جزء مسائل NP-کامل می‌باشد که در کاربردهای مختلف مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

گراف ساده و بدون جهت G(V,E)به نمایندگی از یک شبکه اجتماعی است. طول کوتاهترین مسیر میان رئوس u,v در G توسط فاصله $d_G(u,v)$ نشان داده می‌شود.$deg_G(v) = |\{u:(u,v) \in E\}|$ نشان‌دهنده درجه v درگراف G می‌باشد و $diam(G) = max_{u,v \in V} d_G(u,v)$ به معنی قطر G می‌باشد. زیر گراف ناشی از $S \subseteq V$ توسط $G(S) = (S, E \cap (S \times S))$ نشان داده می‌شود. زیر مجموعه‌ای از رئوس $S \subseteq V$ یک k–کلیک است اگر $d_G(u,v) \leq K$ برای همه $u,v \in S$ باشد. هر k-کلاب در G یک k-کلیک است اما عکسش صادق نیست. n-کلیک، تعمیم و ریلکس کردن مفهوم کلیک می‌باشد. کلیک، زیر گرافی است که بین هر راس آن یالی وجود دارد. هر n-کلیک، مجموعه‌ای از نودهایی است که در آن هر نود می‌تواند به نود دیگری با n مرحله دست یابد و مجموعه‌ای ماکزیمال می‌باشد که هیچ نود دیگری در گراف از دیگر نودها در زیرگراف فاصله‌اش کمتر از n نباشد. یک- کلیک همان کلیک معمولی است[۳].

به طور کلی در دنیای واقعی مسائل زیادی با گراف وزن‌دار مطرح می‌شود، یک گراف وزن‌داربه صورت $G = (V, E, W)$ نشان داده می‌شود، که به هر راس یک وزن اختصاص می‌یابد. این وزن می‌تواند فاصله، نوع ارتباطات، ترافیک یا هرچیز دیگری تعریف شود. به طوری که $E=\{e_1,...e_k\} \subseteq V \times V$مجموعه رئوس، $V \subseteq \{v_1 ,... v_j\}$ مجموعه یال‌های گراف و W وزن مربوط به راس در مجموعه اعداد حقیقی است. شبه کلیکی با حداکثر وزن از میان تمام شبه کلیک‌های موجود را شبه‌کلیک با وزن بیشینه می‌گویند به طوری که در حالتی که وزن‌ها بر روی رئوس باشند:$W(y) = \sum_{i \in y} w_i$ که به شبه‌کلیکی با حداکثر وزن رئوس اطلاق می‌شود[۴-۶].از الگوریتم‌های مورد استفاده برای k-پلکس می‌توان به[۶-۸] اشاره نمود که از بهبود الگوریتم‌های اکتشافی برای پیدا کردن k- پلکس استفاده می‌کنند و همچنین الگوریتم پیدا کردن ماکزیمم کاردینالیتی k-پلکس در[۷]معرفی شده است که از معایب این الگوریتم زمان محاسباتی بالا در شناسایی k- پلکس می‌باشد. از کارهای مرتبط با مفاهیم خوشه‌بندی مبتنی بر گراف برای مسئله k-پلکس می‌توان به [۹] اشاره نمود که از یک روش خوشه‌بندی برای حل این مسئله استفاده می‌کند، با استفاده از روش خوشه بندی به پیدا کردن k- پلکس‌ها می‌پردازد. در [۱۰] الگوریتمی برای شمارش همه ماکزیمال k- پلکس‌ها در گراف همراه با مطالعات آزمایشی ذکر شده است، نقطه قوت این الگوریتم اجرای موازی می‌باشد و از یک استراتژی هرس کردن قطبی برای سرعت بخشیدن به هرس کردن گراف برای شمارش همهk-پلکس‌ها استفاده می‌کند که این استراتژی تعداد ماکزیمال k- پلکس‌های

کوچک را کاهش می‌دهد و کارایی الگوریتم را بهبود می‌دهد و از موازی‌سازی جهت بررسی شبکه‌های بزرگ استفاده می‌کند.

در این مقاله، الگوریتمی مبتنی بر اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم برای حل مسئله شبه‌کلیک وزن‌دار بیشنه پیشنهاد می‌گردد. الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های ارائه شده در [۷, ۱۱]مقایسه می‌گردد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی نتایج بهتری را تولید می‌کند.

ادامه مقاله به این صورت سازمان‌دهی شده است: در بخش۲ به معرفی اجمالی اتاماتای یادگیر سلولی و اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم می‌پردازیم. در بخش۳ الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم شرح داده می‌شود و در بخش ۴ الگوریتم ارائه شده با الگوریتم‌های [۷, ۱۱] در حالت بدون وزن مقایسه می‌گردد.بخش ۵ ازیابی الگوریتم پیشنهادی در حالت وزن‌دار می‌باشدو بخش نهایی مقاله نتیجه گیری می‌باشد.

اتاماتای یادگیر سلولی

اتوماتای یادگیر سلولی ، یک مدل ریاضی برای سیستم‌هایی با اجزای ساده است، بطوریکه رفتار هر جزء براساس رفتار همسایگانش و نیز تجربیات گذشته‌اش تعیین و اصلاح می‌شود. اجزای ساده تشکیل دهنده این مدل، از طریق کنش و واکنش با یکدیگر رفتار پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهند، بنابراین از آن می‌توان در مدل‌سازی بسیاری از مسائل بهره برد. این مدل در [۱۲] بصورت ریاضی مورد تحلیل قرار گرفته و رفتار همگرایی آن مطالعه شده است. هر اتاماتای یادگیر سلولی، از یک اتاماتای سلولی تشکیل شده است که هر سلول آن به یک یا چند اتاماتای یادگیر مجهز می باشد که حالت این سلول را مشخص می‌سازد. قانون محلی در محیط حاکم است و این قانون تعیین می‌کند که آیا عمل انتخاب شده توسط یک اتاماتا در سلول باید پاداش داده شود و یا اینکه جریمه شود. دادن پاداش و یا جریمه باعث به هنگام رسانی ساختار اتاماتای یادگیر سلولی به‌منظور نیل به یک هدف مشخص می‌گردد. ایده اصلی اتاماتای یادگیر سلولی، که زیر مجموعه ای از اتاماتای یادگیر سلولی تصادفی محسوب می‌شود، استفاده از اتاماتای یادگیر برای محاسبه احتمال انتقال حالت در اتاماتای سلولی تصادفی می‌باشد.

اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم

اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم[۱۳]، یک اتاماتای یادگیر سلولی است با حذف این محدودیت که اتاماتای یادگیر سلولی در این نوع، دارای ساختار شبکه‌ای نمی‌باشد. این نوع اتاماتای یادگیر سلولی، برای کاربردهایی مثل شبکه‌های حسگر بیسیم، سیستم‌های شبکه‌ای آزاد و کاربردهای مبتنی بر گراف که بر اساس یک شبکه‌ی مستطیلی نمی‌توانند مدل شوند، بسیار مؤثر است. یک اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم، به‌صورت یک گراف بدون جهت تعریف می‌شود، بطوری که هر رأس آن منتاظر با یک سلول است که دارای یک اتاماتای یادگیر می‌باشد. اتاماتای یادگیر که در هر سلول وجود دارد، حالت(عمل) آن سلول را بر اساس بردار احتمال عمل مربوط به آن سلول، تعیین می‌کند. شبیه اتاماتای یادگیر سلولی، قانونی وجود دارد که اتاماتای یادگیر سلولی نامنظم، تحت آن عمل می‌کندو قانون اتاماتای یادگیر سلولی و اعمال انتخاب شده بوسیله‌ی اتاماتاهای یادگیر همسایه برای یک اتاماتای یادگیر خاص، بردار احتمال اعمال مربوط به آن اتاماتای یادگیر را بروز می‌کند.

الگوریتم پیشنهادی

ساخت اتوماتون‌های یادگیر سلولی

جهتنگاشتن یک گراف به اتوماتای یادگیر سلولی، ما برای حل این مسئله از اتوماتای یادگیر سلولی نامنظم استفاده می‌کنیم و برای ساخت اتوماتون‌های یادگیر معادل با گراف وزن‌دار و بدون جهت G، به ازای هر رأس معادل با آن یک اتوماتون یادگیر سلولی در نظر گرفته می‌شود، که هر سلول آن مجهز به یک اتوماتون یادگیر است. اتوماتای یادگیر در هر سلول از نوع L_{RP} با ضریب پاداش و جریمه ۰.۰۱ است. تعداد اقدام هر یک از اتوماتون‌های یادگیر در اتوماتای یادگیر سلولیi برابر تعداد نودها در گراف می‌باشد و هرکدام از اقدام‌ها $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k\}$ ، برای اتاماتای یادگیر برابر با انتخاب یکی از رئوس در نظر گرفته می‌شوند. سیگنال تقویتی β تابعی متناظر با پیدا کردن شبه کلیک وزن‌دار بیشینه را بررسی می‌کند. وضعیت CLA هم به صورت یک رشته از اعداد مشخص شده که مشخص کننده شبه کلیک است و در تمام CLAها همه اتاماتاها به طور همزمان فعالیت می‌کنند. در ابتدا احتمال انتخاب اقدام هر یک از اتوماتون‌های یادگیر مساوی و برابر یک تقسیم بر تعداد کل (نودها منها یک) می‌باشد و برای هر اتوماتون یادگیر مقادیر اولیه‌ای به هر احتمال اقدام تخصیص می‌دهد، به این صورت که احتمال اقدام‌های اتوماتون‌های یادگیر بر روی یال‌ها قرار می‌گیرد.

حال با در نظر گرفتن گراف $G = (V, E, W)$ و $n = |V|$، بردار احتمال به صورت $P_i(k)$ نشان داده می‌شود که k برابر شماره تکرار الگوریتم است، بنابراین $P_i(1)$ برابر بردار احتمال اولیه راس iام است. مقدار بردار احتمال اولیه برابر $\frac{1}{n-1}$ است، به طوری که n برابر تمام نودهای موجود در گراف است. در مراحل بعدی بردار احتمال با توجه به الگوریتم یادگیری بروزرسانی می‌شود.

پیدا کردن شبه کلیک توسط اتوماتون‌های یادگیر

پس از ساخته شدن اتوماتون‌های یادگیر در این مرحله نحوه پیداکردن شبه کلیک با وزن بیشینه ارائه می‌شود. در مسئله شبه کلیک همه سلول‌ها در اتوماتای یادگیر سلولی با سلول‌های دیگر همسایه اند. در طول اجرای الگوریتم هر اتوماتای یادگیر به طور همزمان و متناسب با بردار احتمال انتخاب عمل خود، یکی از اقدام‌هایش را انتخاب می‌نماید و این انتخاب را در رشته خود ذخیره می‌کند، اگر وزن رشته ایجاد

شده بزرگترین وزن را در میان تمام رشته‌هایتولید شده توسط سایر LAها داشت، این اقدام در رشته ایجاد شده توسط LA باقی می‌ماند و در غیر این صورت از رشته تولید شده حذف می‌شود. این کار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که دیگر انتخابی برای LAها باقی نماند، لازم به ذکر است ما شرایطی را فراهم می‌کنیم که رشته بدست آمده همواره شبه کلیک باشد، به این صورت که اگر یک LA اقدامی را انتخاب کند، آن را در رشته خود قرار می‌دهد و اقدام‌هایی از مجموعه انتخاب حذف می‌شوند که تعداد اتصال‌هایشان با گره‌های درون رشته از n-k کوچکتر باشند، n تعداد نودها است. این موضوع باعث می‌شود که رشته انتخابی توسط هر LA همواره شبه کلیک باقی بماند. در مرحله بعد برایCLA هایی که در مرحله قبلی انتخاب خوبی نداشته‌اند و موفق نشده‌اند اقدامی به رشته‌ی خود اضافه کنند، حال اگر بخواهند انتخاب جدیدی داشته باشند فقط می‌توانند اقدام‌هایی را انتخاب کنند که از بهترین انتخاب فعلی یا بهتر باشد یا مساوی، یعنی اقدام‌هایی که باعث تولید وزن کمتری از بهترین وزنCLA فعلی می‌شوند از مجموعه انتخاب‌های خود حذف می‌شوند. این روند تا زمانی ادامه پیدا می‌یابد که دیگر اقدامی برای هیچ یک از CLAها باقی نمانده باشد.

بروزرسانی بردار احتمالات

در این مرحله بعد از اتمام حلقه الگوریتم، هر کدام از LA ها یک رشته تولید کرده‌اند که این رشته نماینده شبه کلیک است و وزن شبه کلیک بدست آمده توسط هرCLA محاسبه می‌شود.CLAای که بیشترین وزن را تولید کرده به عنوان شبه کلیکی با وزن بیشینه در این تکرار انتخاب می‌شود و اگر وزنش از وزن شبه کلیک بدست آمده در تکرار قبلی بزرگتر بود،با توجه به حالت وزنی مبتنی بر رأس رابطه (۱)محاسبه می‌شود:

$$W(\gamma) = \sum_{i \in \gamma} w_i \qquad (۱)$$

به طوری که در رابطه‌های بالا، $W(\gamma)$مجموع وزنی شبه کلیک کاندید γ می‌باشد و w_i وزن رأس iام است. در این صورت کلیه اقدام‌هایی که باعث شده‌اند این مقدار وزنی حاصل شود پاداش می‌گیرند به این ترتیب که مقدار احتمالاتشان در بردار احتمال افزایش می‌یابد و در غیر این صورت اگر وزن رشته کوچکتر از وزن قبلی باشد، کلیه اقدام‌هایی که باعث شده‌اند این مقدار وزنی حاصل شود جریمه می‌شوند. این روند تا زمانی که شرط توقف فرا برسد ادامه پیدا می‌کند. نحوه گرفتن پاداش وجریمه به صورت زیر در معادله ۲ و۳ توضیح داده شده است.

پاسخ مطلوب از محیط:

$$\begin{aligned} P_i(n+1) &= P_i(n) + a[1 - P_i(n)] \\ P_j(n+1) &= (1-a)P_j(n) \forall_j, \quad j \neq i \end{aligned} \qquad (۲)$$

پاسخ نامطلوب از محیط:

$$\begin{aligned} P_i(n+1) &= (1-b)P_i(n) \\ P_j(n+1) &= \frac{b}{r-1} + (1-b)P_j(n) \quad \forall_j, \quad j \neq i \end{aligned} \qquad (۳)$$

که درروابط فوق،متغیر r تعداد اقدام‌های اتاماتای یادگیر، متغیر a به عنوان پارامتر پاداش و متغیر b به عنوان پارامتر جریمه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به مقادیر a و b سه حالت را می‌توان در نظر گرفت. اگر مقادیر a وb برابر باشند، اتوماتای یادگیر L_{RP}، چنانچه b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم $L_{RεP}$ اگر b صفر باشد، الگوریتم L_{RI}نامیده می‌شود.

معیار توقف

در تمام الگوریتم‌های یادگیری بخشی که دارای اهمیت است، این است که الگوریتم چطور متوقف می‌شود. در این راستا راهکارهای متنوعی در دست است، یکی از راهکارها مشخص نمودن، تعداد تکراری مشخص برای توقف الگوریتم است. از دیگر راهکارها که در اتوماتای سلولی یادگیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، میانگین‌گیری بردار احتمالات است، به این صورت که اگر در یک تعداد گام مشخص، مثلا ۲۰ گام، میانگین احتمال‌های الگوریتم بهبودی نداشت، حلقه خارجی این الگوریتم متوقف می‌شود.

میانگین احتمالات از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$MeanProb = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} P_{clique(i)}}{n_c} \qquad (۲)$$

$P_{clique(i)}$: جمع احتمال‌های اقدام‌های شرکت کننده در تولید شبه کلیک CLAiام.

n_c : تعداد CLAها

الگوریتم پیشنهادی شامل هفت مرحله است:

۱. ساخت اتوماتون‌های یادگیر سلولی نامنظم
۲. اختصاص یافتن یک سلول به هر نود و به هر سلول یک LA
۳. همه سلول‌ها بطور موازی اقدامی انتخاب می‌کنند
۴. پیدا کردن شبه کلیک توسط هرکدام از اتوماتون‌های یادگیر با توجه به بردار احتمال اقدام‌های آنها
۵. بررسی بزرگترین وزن و بروزرسانی بردار احتمالات (پاداش و جریمه)
۶. بازگشت به مرحله ۲ تا رسیدن به شرط توقف
۷. شرط توقف (رسیدن به یک حد از همگرایی)

نتایج شبیه سازی الگوریتم در حالت بدون وزن

پس از ارائه الگوریتم پیشنهادی جهت محاسبه شبه کلیک بیشینه حال برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از ۱۲ مجموعه داده‌ی مختلف پایگاه داده استانداردDIMACS (از گراف‌های استاندارد مرکز ریاضیات گسسته و علوم کامپیوتر) استفاده شده است. به دلیل اینکه الگوریتم

وزن‌داری برای مسئله K-پلکس با اتاماتای یادگیر هنوز ارائه نشده است، ابتدا برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی آن را در حالت بدون‌وزن پیاده‌سازی کرده و با الگوریتم‌های ارائه شده در [۷, ۱۱] مقایسه می‌نماییم. همان‌طور که قابل ملاحظه است الگوریتم پیشنهادی در حالت بدون‌وزن از کارایی برتری برخوردار است. برای الگوریتم پیشنهادی رویکردهای مختلف یادگیری L_{RP}، $L_{RεP}$و L_{RI} مورد آزمایش قرار گرفته است با توجه به بررسی‌های انجام شده، برای الگوریتم پیشنهادی رویکرد یادگیر L_{RP} از نتایج بهتری برخوردار بود به همین دلیل برای مقداردهی به پارامترهای الگوریتم پیشنهادی از معیار L_{RP} با مقادیر پاداش و جریمه به میزان ۰.۰۱ استفاده شده‌است. مقادیر پاداش و جریمه بر اساس آزمون و خطا، این مقدار در نظر گرفته شده است. الگوریتم پیشنهادی به تعداد تکراری برابر ۳۰۰۰ و در ۳۰ اجرای مجزا صورت پذیرفته است.

آزمایش اول: مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های رقیب به ازای $k=1$

در ابتدا الگوریتم پیشنهادی MKPUNW (Maximum K-plexUnWeighted) را به ازای $k=1$ در مقایسه با الگوریتم‌های ارائه شده در[۷, ۱۱] ارزیابی می‌کنیم. نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. از ۱۲ نمونه دادگان مورد استفاده، الگوریتم پیشنهادی ما توانسته است همه ۱۲ نمونه را برای $k=1$ حل کند اما الگوریتم BC(MIS)ارائه شده در[۷] از ۱۲ نمونه دادگان فقط توانسته ۱۰ نمونه را به ازای $k=1$ و همچنین الگوریتم MoserAlg [۱۱] به ازای $k=1$ همه را اما با زمان اجرای بالا حل کرده است.

ذکر این نکته ضروری است که، در کل جداول این مقاله، زمان اجرا بر حسب ثانیه در نظر گرفته شده است. الگوریتم ارائه شده بر روی یک سیستم با دو گیگابایت حافظه و دو هسته از CORE-i7 در سیستم عامل ویندوز انجام شده است.

درستون اول جدول(۱) نام دادگان مورد استفاده ذکر شده است، در ستون دوم تعاد رئوس ودر ستون سوم تعداد یال‌ها آمده است.

جدول۱: نام دادگان مورد استفاده به همراه مشخصات راس ویال

Number	Graph	Vertex	Edge
1	Brock200-1	200	14834
2	Brock200-2	200	9876
3	Brock200-4	200	13089
4	Cfat200-2	200	1534
5	Hamming6-2	64	1824
6	Hamming8-4	256	20864
7	Johnson8-2-4	28	210
8	Keller4	171	9435
9	MANNa_9	45	918
10	MANNa_27	378	70551
11	P-hat300-1	300	10933
12	P-hat300-2	300	21928

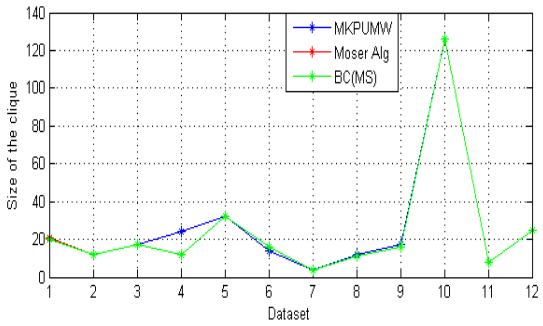
در ستون اول و دوم جدول(۲) به ترتیب برای الگوریتم پیشنهادی، مقادیر سایز بیشینه به ازای $k=1$، میانگین زمان آورده شدهو همچنین در ستون سوم وچهارم برای الگوریتم Moser Algو در ستون پنجم وششم الگوریتم BC(MIS) نیز به ترتیب مقادیر سایز بیشینه و میانگین زمان ذکر شده است.

جدول۲:مقایسه الگوریتم پیشنهادیMKPUNW به ازای $k=1$ از نظر میانگین زمان اجرا و سایز بیشینه با الگوریتم‌های Moser Alg و BC(MIS)

	MKPUNW		Moser Alg		BC(MIS)	
Graph	k=1	Mean Time	K=1	Mean Time	K=1	Mean Time
Brock200-1	20	**2.63**	21	794.16	20	Tilim
Brock200-2	12	**0.48**	12	23.13	12	152.50
Brock200-4	17	**2.23**	17	204.58	17	6617.50
C-fat200-2	**24**	**0.20**	12	0.21	12	17.10
Hamming6-2	32	0.00	32	0.00	32	0.00
Hamming8-4	14	**3.76**	16	243.11	16	52.20
Johnson8-2-4	4	0.00	4	0.00	4	0.00
Keller4	**12**	**0.74**	11	21.38	11	129.80
MANNa_9	**17**	0.00	16	0.00	16	0.00
MANNa_27	126	**38.18**	126	2.05	126	430.30
P-hat300-1	8	**0.95**	8	29.72	8	127.00
P-hat300-2	25	**3.07**	25	242.77	25	Tilim

همان‌طور که از نتایج جدول (۲) پیدا است الگوریتم پیشنهادی (MKPUNW) به ازای $k=1$ نتایج بهتری را از نظر میانگین زمان و هم از نظر سایز بیشینه نسبت به الگوریتم‌های MoserAlg و BC(MIS) در بیشتر دادگان می‌دهد. البته در دیتاست MANNa27 از نظر زمان اجرا الگوریتم ما زمان بیشتری را نسبت به روش Moser Alg[11] و زمان بسیار کمتری را نسبت به الگوریتم BC(MIS)[۷] دارد.

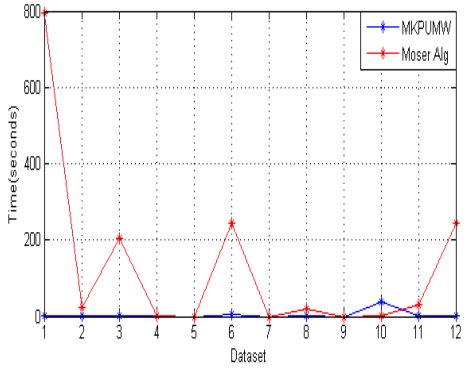
شکل (۱) به بررسی سایز بیشنه کلیک‌های بدست آمده برای الگوریتم پیشنهادی MKPUNW و الگوریتم‌های Moser Alg[۱۱]و BC(MIS)[۷] می‌پردازد. محور افقی نمودار دادگان مورد استفاده و محور عمودی نمودار سایز کلیک می‌باشد.



شکل ۱:مقایسه الگوریتم پیشنهادی MKPUNW با الگوریتم‌های Moser Alg و BC(MIS) از نظر سایز بشینه k=۱

همان‌طور که در شکل(۱) مشاهده می‌کنید الگوریتم پیشنهادی MKPUNW دارای سایز بیشینه بهتری در دادگان C-fat200-2، Keller4 و MANNa_9 نسبت به الگوریتم‌های رقیب می‌باشد. در بقیه دادگان از نظر سایز بیشینه کلیک با الگوریتم‌های Moser Alg و BC(MIS) تقریباً سایز بیشینه برابری دارد.

شکل(۲) برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم رقیب از نظر زمان اجرا می‌باشد. که در این نمودار فقط توانسته‌ایم الگوریتم پیشنهادی را با الگوریتم Moser Alg مقایسه کنیم به دلیل اینکه زمان اجرای الگوریتم BC(MIS) بسیار زیاد و در بعضی دیتاست‌ها زمان اجرا نامحدود (که اختصارا Tilim می‌نامند) می‌باشد. محور عمودی نشان‌دهنده زمان اجرا و محور افقی نشان‌دهنده دادگان مورد استفاده می‌باشد.



شکل ۲:مقایسه الگوریتم پیشنهادی MKPUNW با الگوریتم Moser Alg از نظر زمان اجرا برای k=۱

همان‌طور که در شکل(۲) مشاهده می‌کنید الگوریتم پیشنهادی MKPUNW از نظر زمان اجرا بسیار برتر از الگوریتم Moser Alg می‌باشد.

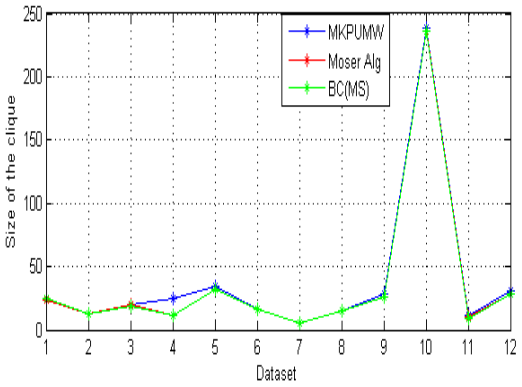
آزمایش دوم: مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های رقیب به ازای k=۲

ارزیابی بعدی، مقایسه الگوریتم پیشنهادی (MKPUNW) به ازای k=۲ برای میانگین زمان اجرا و سایز دو-پلکس می‌باشد. نتایج در جدول(۳) نشان داده شده است. از۱۲ نمونه دادگان مورد استفاده، الگوریتم پیشنهادی ما توانسته است همه ۱۲ نمونه را برای k=۲ حل کند اما الگوریتم BC(MIS) از ۱۲ نمونه دادگان فقط توانسته هفت نمونه را به ازای k=۲ و همچنین الگوریتمMoserAlg به ازای k=۲ هفت نمونه را با زمان اجرای محدود(کمتر از سه ساعت)حل کرده است.

جدول ۳: :مقایسه الگوریتم پیشنهادیMKPUNW به ازای k=۲ از نظر میانگین زمان اجرا و سایز بیشنه با الگوریتم‌های Moser Alg و BC(MIS)

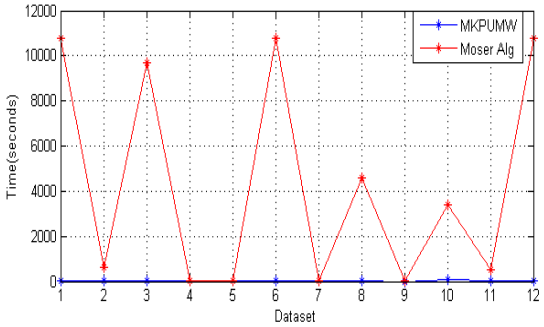
	MKPUNW		Moser Alg		BC(MIS)	
Graph	k=1	Mean Time	K=1	Mean Time	K=1	Mean Time
Brock200-1	**25**	3.39	24	>10800	25	Tilim
Brock200-2	13	2.10	13	606.16	13	Tilim
Brock200-4	**20**	2.73	20	9691.01	19	Tilim
C-fat200-2	**25**	0.49	12	1.10	12	148.90
Hamming6-2	**35**	0.51	32	1.77	32	0.00
Hamming8-4	16	4.57	16	>10800	16	8115.20
Johnson8-2-4	**6**	0.01	5	0.02	5	0.00
Keller4	15	0.01	15	4583.84	15	365.40
MANNa_9	**28**	0.00	26	0.09	26	0.00
MANNa_27	**239**	73.81	236	3417.35	236	79.80
P-hat300-1	**11**	2.10	10	502.48	9	Tilim
P-hat300-2	**31**	4.73	28	>10800	28	Tilim

شکل(۳) به بررسی سایز بیشنه کلیک‌های بدست آمده برای الگوریتم پیشنهادی MKPUNW و الگوریتم‌های Moser Alg و BC(MIS) در حالتی که k=۲ است، می‌پردازد. محور افقی نمودار دادگان مورد استفاده و محور عمودی نمودار سایز کلیک می‌باشد.



شکل ۳::مقایسه الگوریتم پیشنهادی MKPUNW با الگوریتم‌های Moser Alg و BC(MIS) از نظر سایز بشینه k=۲

شکل(۴) برای مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم رقیب از نظر زمان اجرا می‌باشد. که در این نمودار فقط توانسته‌ایم الگوریتم پیشنهادی را با الگوریتم Moser Alg مقایسه کنیم به دلیل اینکه زمان اجرای الگوریتم BC(MIS) بسیار زیاد و در بعضی دیتاست‌ها زمان اجرا نامحدود می‌باشد. محور عمودی نشان‌دهنده زمان اجرا و محور افقی نشان‌دهنده دادگان مورد استفاده می‌باشد.



شکل ۴:مقایسه الگوریتم پیشنهادی MKPUNW با الگوریتم Moser Alg از نظر زمان اجرا برای k=۲

با توجه به شکل(۴)، همان‌طور که مشاهده می‌کنید الگوریتم پیشنهادی از نظر زمان اجرا بسیار زمان کمتری را می‌دهد.

نتایج شبیه سازی الگوریتم در حالت وزن‌دار

بعد از اینکه الگوریتم پیشنهادی MKPUNW را در حالت بدون وزن پیاده‌سازی کردیم و با الگوریتم‌های Bc(MIS) و Moser Alg مقایسات را انجام دادیم و برتری الگوریتم را نشان دادیم حال برای اینکه شبکه‌های واقعی که با آن روبرو هستیم، اغلب دارای وزن هستند، الگوریتمی برای محاسبه شبه کلیک با وزن بیشینه مبتنی بر اتاماتای یادگیر سلولی ارائه داده‌ایم. به طوری‌که با استفاده از اتوماتای یادگیر سعی در پیداکردن شبه کلیکی با وزن بیشینه از بین تمامی شبه کلیک‌های موجود داریم. با توجه به این نکته که این دادگان غیر وزن‌دار می‌باشند جهت ارزیابی می‌بایست آنها را به گراف‌های وزن‌دار تغییر دهیم. این تغییرات بایستی برای گراف‌های وزن‌دار با وزنی معادل با رئوس صورت گیرد. جهت این تبدیل راهکاری توسط پولان[۱۴] ارائه شده است که در این نوشتار به طور مشابه از این روش بهره گرفته شده است. این راهکار به صورتی است که برای گراف‌های وزن‌دار با وزنی بر روی رئوس از رابطه $i \bmod 200 + 1$ جهت ایجاد وزن برای هر راس V_i استفاده شده است. مقداردهی به پارامترهای الگوریتم پیشنهادی با مقادیر پاداش و جریمه به میزان ۰.۰۱که حاکی از معیار L_{RP} می‌باشد. الگوریتم پیشنهادی به تعداد تکراری برابر ۳۰۰۰و در ۳۰ اجرای مجزا صورت پذیرفته است.

آزمایش اول: بررسی الگوریتم پیشنهادی از نظر میانگین وزن بیشینه به ازای k= ۲

آزمایش اول به بررسی بهترین و میانگین وزن بیشینه ، انحراف معیار وزن بیشینه بدست آمده و همچنین مینیمم و میانگین ایتریشن به ازای مقدار k=۲ برای الگوریتم پیشنهادی MKPW می‌پردازد در جدول(۴)، ستون اول میانگین وزن، ستون دوم بهترین وزن، ستون سوم انحراف معیار وزن، ستون چهارم متوسط ایترشن وستون پنجم مینیمم ایتریشن را نشان می‌دهد.

جدول ۴: بررسی الگوریتم پیشنهادی MKPW از نظر میانگین و مینیمم وزن و انحراف معیار به ازای k=۲

Graph	Avg Weight	Best Weight	Std Weight	Avgitration	Min itration
Brock200-1	3727.9	3918	67.2	1626.2	657
Brock200-2	2039.8	2141	51.5	476.7	280
Brock200-4	2740.8	2888	75.9	312.3	20
C-fat200-2	2790.9	2792	2.7	318.1	143
Hamming6-2	1201.2	1204	3.3	992.7	637
Hamming8-4	2105.3	2264	46/7	454.1	146
Johnson8-2-4	125.1	127	1.1	797.9	552
MANNa_9	705.7	707	0.6	3000.0	3000
P-hat300-1	1566.3	1673	62.8	495.3	268

آزمایش دوم: بررسی الگوریتم پیشنهادی از نظر میانگین وزن بیشینه به ازای k=۳

در این آزمایش تاثیر مقدار سه برای پارامترk را بر روی متوسط کل دادگان گرفته شده، تعداد تکرار الگوریتم و همچنین متوسط وزن شبه کلیک یافت شده ازریابی شده است. در این قسمت به طور مشابه تعداد

تکرای برابر ۳۰ اجرای مجزا در نظر گرفته شده است. ستون‌های ذکر شده در جدول(۵) نیز مانند جداول(۴) به همان ترتیب ذکر شده است.

جدول ۵: بررسی الگوریتم پیشنهادی MKPW از نظر میانگین و مینیمم وزن و انحراف معیار به ازای k=۳

Graph	Avg Weight	Best Weight	Std Weight	Avgitration	Min itration
Brock200-1	4629.2	4960	95.3	2945.1	1352
Brock200-2	2558.3	2688	55.6	717.6	506
Brock200-4	3457.3	3595	57.2	540.8	136
C-fat200-2	3060.1	3145	58.6	348.3	203
Hamming6-2	1481.0	1518	13.9	2191.8	1527
Hamming8-4	2802.7	2894	53.8	643.9	266
Johnson8-2-4	180.6	184	1.4	2185.5	1382
MANNa_9	1035.5	1036	1.8	2914.8	443
P-hat300-1	1933.8	2050	48.3	784.1	460

آزمایش سوم:بررسی الگوریتم پیشنهادی از نظر میانگین وزن بیشینه به ازای $k=۴$

در آزمایش سوم در جدول(۶) تاثیر مقدار چهار برای پارامتر k نشان‌دهنده دستیابی الگوریتم به وزن بیشینه بالاتر و همچنین میانگین وزنی بیشتری نسبت به حالت‌هایی که مقدار k ، دو یا سه بوده است.

جدول ۶: بررسی الگوریتم پیشنهادی MKPW از نظر میانگین و مینیمم وزن و انحراف معیار به ازای k=۴

Graph	Avg Weight	Best Weight	Std Weight	Avgitration	Min itration
Brock200-1	5424.3	5593	74.2	3000.0	3000
Brock200-2	2999.9	3114	50.1	1253.6	507
Brock200-4	4140.5	4352	75.2	1622.8	593
C-fat200-2	3286.9	3470	52.2	403.0	220
Hamming6-2	1805.4	1838	15.0	3000.0	3000
Hamming8-4	3457.4	3614	73.8	1508.8	578
Johnson8-2-4	233.6	236	1.4	2781.8	2430
MANNa_9	5424.3	1052	74.2	3000.0	3000
P-hat300-1	2999.9	2486	50.1	1253.6	507

آزمایش چهارم: بررسی الگوریتم پیشنهادی از نظر میانگین وزن بیشینه به ازای $k=۵$

آخرین بررسی برای پارامتر k ، مقدار پنج می‌باشد. همان‌طور که از جدول (۷) قابل مشاهده می‌باشد نتایج وزن بیشینه بالاتر می‌باشد. این آزمایشات برای ۳۰ اجرای مجزا و در ۳۰۰۰ ایریشن انجام شده است.

جدول ۷:بررسی الگوریتم پیشنهادی MKPW از نظر میانگین و مینیمم و زن و انحراف معیار به ازای k=۵

Graph	Avg Weight	Best Weight	Std Weight	Avgitration	Min itration
Brock200-1	6147.6	6278	53.7	3000.0	3000
Brock200-2	3459.5	3575	54.1	2621.8	1289
Brock200-4	4754.3	4845	48.8	2776.4	749
C-fat200-2	3503.5	3642	38.6	413.0	230
Hamming6-2	2070.6	2073	1.4	3000.0	3000
Hamming8-4	4062.4	4255	65.9	2786.4	411
Johnson8-2-4	284.7	286	0.8	3000.0	3000
MANNa_9	1080	1080	0	3000.0	3000
P-hat300-1	2646.9	2709	41.3	1467.3	1023

همان‌طور که از نتایج جدول(۷) مشخص است الگوریتم پیشنهادی MKPW از نظر میانگین وزنی، دارای وزن بالاتری می‌باشد که این خود نشان دهنده این موضوع است که با افزایش مقدار K، الگوریتم وزن‌های بیشتری را در گراف پیدا می‌کند.

نتیجه گیری

در این مقاله با توجه به این نکته که برای مقایسه الگوریتم شبه کلیک ابتدا آن را در حالت بدون وزن پیادسازی کرده بعد با الگوریتم‌های دیگر مقایسات را انجام داده‌ایم بر طبق مقایسات انجام شده برتری الگوریتم پیشنهادی ما نشان داده شده است. سپس برای اولین بار آن را برای حالت وزن‌دار پیاده‌سازی کرده‌ایم زیرا شبکه‌های واقعی که با آن روبرو هستیم، اغلب دارای وزن هستند، الگوریتمی برای محاسبه شبه کلیک با وزن بیشینه مبتنی بر اتاماتای یادگیر سلولی ارائه شده است. به طوری‌که با استفاده از اتوماتای یادگیر سعی در پیداکردن شبه کلیکی با وزن بیشینه از بین تمامی شبه کلیک‌های موجود داریم. با توجه به این نکته که این الگوریتم در حالت ممکن وزن بر روی

رئوس، بر روی دادگان استاندارد ارزیابی شده و توان بالای الگوریتم پیشنهادی به تصویر کشیده شده است.

مراجع

[۱]S. B. Seidman and B. L. Foster, "A graph-theoretic generalization of the clique concept*," *Journal of Mathematical sociology,* vol. 6, pp. 139-154, 1978.

[۲]J. M. Lewis and M. Yannakakis, "The node-deletion problem for hereditary properties is NP-complete," *Journal of Computer and System Sciences,* vol. 20, pp. 219-230, 1980.

[۳]A. Marin and B. Wellman, "Social network analysis: An introduction," *The SAGE handbook of social network analysis,* pp. 11-25, 2011.

[۴]X. Delorme, A. Dolgui, and M. Y. Kovalyov, "Combinatorial design of a minimum cost transfer line," *Omega,* vol. 40, pp. 31-41, 2012.

[۵]Y. Xu-Hua, J. Feng-Ling, C. Sheng-Yong, and W. Wan-Liang, "Modeling evolution of weighted clique networks," *Communications in Theoretical Physics,* vol. 56, p.۲۰۱۱ ,۹۵۲ .

[۶]J. Pattillo, N. Youssef, and S. Butenko, "Clique relaxation models in social network analysis," in *Handbook of Optimization in Complex Networks*, ed: Springer, 2012, pp. 143-162.

[۷]B. Balasundaram, S. Butenko, and I. V. Hicks, "Clique relaxations in social network analysis: The maximum k-plex problem," *Operations Research,* vol. 59, pp. 133-142, 2011.

[۸]B. McClosky and I. V. Hicks, "Combinatorial algorithms for the maximum k-plex problem," *Journal of combinatorial optimization,* vol. 23 ,pp. 29-49, 2012.

[۹]J. Guo, C. Komusiewicz, R. Niedermeier, and J. Uhlmann, "A more relaxed model for graph-based data clustering: s-plex cluster editing," *SIAM Journal on Discrete Mathematics,* vol. 24, pp. 1662-1683, 2010.

[۱۰]B. Wu and X. Pei, "A parallel algorithm for enumerating all the maximal k-plexes," in *Emerging technologies in knowledge discovery and data mining*, ed: Springer, 2007, pp. 476-483.

[۱۱]H. Moser, R. Niedermeier, and M. Sorge, "Exact combinatorial algorithms and experiments for finding maximum k-plexes," *Journal of combinatorial optimization,* vol. 24, pp. 347-373, 2012.

[۱۲]H. Beigy and M. R. Meybodi, "Cellular learning automata with multiple learning automata in each cell and its applications," *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on,* vol. 40, pp. 54-65, 2010.

[۱۳]M. Asnaashari and M. Meybodi, "Irregular Cellular Learning Automata and Its Application to Clustering in Sensor Networks," in *Proceedings of 15th Conference on Electrical Engineering*۱۵) *th ICEE), Volume on Communication, Telecommunication Research Center, Tehran, Iran*, 2007.

[۱۴]W. Pullan, "Approximating the maximum vertex/edge weighted clique using local search," *Journal of Heuristics,* vol. 14, pp. 117-134, 2008.

موقعیت یابی بازیکنان دفاع در شبیه سازی دو بعدی فوتبال

اشکان کشاورزی
دانشگاه تهران
keshavarzi.a@ut.ac.ir

نادر زارع
دانشگاه صنعتی شیراز
nader.zare@outlook.com

چکیده

در محیط شبیه سازی دو بعدی فوتبال، عامل‌ها بر اساس حالت‌های مختلف محیطی، تصمیم‌های متفاوتی می‌گیرند. تصمیم‌گیری کارآمد در شبیه سازی دو بعدی فوتبال نیازمند این است که عامل‌ها اطلاعات مربوط به زمین را بدون کوچکترین خطایی دریافت کنند و بر اساس آنها تصمیم بگیرند. در این مقاله سعی می‌شود با بررسی راه حل‌های مختلف در تصمیم گیری‌های دفاعی و استفاده از ارتباط بین عامل‌ها، نویز موجود در اطلاعات محیطی را رفع کرده و تصمیم گیری عامل‌ها در دفاع را بهبود بدهد. در این مقاله از شبیه ساز دو بعدی فوتبال و چارچوب ایجنت ۳ که در اکثر تیم‌های جهان مورد استفاده قرار می‌گیرداستفاده شده است. در این مقاله، با بررسی حالات مختلف و رویکردهای مختلفقابل استفاده در دفاع، در نهایت یک رویکرد جدید یعنی استفاده از پیغام در شبیه ساز دو بعدی فوتبال برای هماهنگی میان عامل‌ها با کمترین هزینه معرفی خواهد شد.

واژه های کلیدی

شبیه سازی دو بعدی فوتبال، ارسال پیغام در روبوکاپ، استراتژی دفاعی در روبوکاپ، حل مسئله در فضای چند عاملی.

مقدمه

روبوکاپ با ارائه دادن مسائل استانداردی که در آن‌ها تکنولوژی‌های مختلف با هم ترکیب و تست می‌شوند در حال ترقی دادن هوش مصنوعی، رباتیک و دیگر زمینه‌های وابسته می باشد.[۱]در این مقاله به موضوعات تحقیقاتی مانند طراحی عامل‌های خود مختار، همکاری بین عامل‌ها و ایجاد استراتژی تیمی اشاره خواهد شد.

در شبیه سازی دوبعدی فوتبال که یکی از شاخه‌های اصلی روبوکاپ می‌باشد، مشخص کردن استراتژی بازی به دلیل‌هایی مانند نویز موجود در اطلاعات بازی، محدودیت در محاسبات، محدودیت در صحبت کردن و اطلاع نداشتن از تصمیم بازیکن‌های هم‌تیمی کار سختی به حساب می آید. به همین دلیل در سال‌های اخیر تیم‌های مختلف در جهان راه‌کارهای متفاوتی برای هر کدام از این مشکل‌ها ارائه کرده‌اند.

در راه‌کارهای متفاوتی که در مقالات مطرح شده است می‌توان به استفاده از فیلتر کالمن برای رفع نویز موجود در اطلاعات، استفاده از راه‌کارهای آفلاین و تکنیک‌های یادگیری ماشین در انتخاب رفتارهای موجود و ... اشاره کرد. در این مقاله یک رویکرد جدید برای حل مشکل‌های ذکر شده در رابطه با تصمیم‌گیری در شبیه سازی دو بعدی معرفی خواهد شد. در این رویکرد تصمیم گیری در شبیه سازی دو بعدی، یک مسئله هماهنگی و کار تیمی برای رسیدن به یک هدف در نظر گرفته می‌شود. در این مقاله این راهکار در تصمیم گیری‌های دفاعی استفاده می شود و برای این‌که نویز موجود در اطلاعات روی تصمیم گیری عامل‌ها تاثیرگذار نباشد، پیغام‌هایی بین بازیکن‌ها ارسال می‌شود و در شرایطی که نیاز به هماهنگی بین عامل‌ها می باشد یک نفر که دید بهتری نسبت به جهان اطراف دارد، با ارسال پیغام به بقیه می‌گوید کهباید چه عملی را انجام دهند

در این مقاله ابتدا به بررسی نحوه ارتباط عامل‌ها در شبیه سازی دو بعدی فوتبال پرداخته خواهد شد و در ادامه راهکارهای مختلف در سیستم‌های چند عاملی بررسی می‌شوند و به مقایسه نتیجه‌های این راهکارها با روش‌های قبلی می پردازد.

برقراری ارتباط در روبوکاپ

در این مقاله بیس ایجنت ۳ مورد مطالعه قرار گرفت که در این بیس و چارچوب اجرایی شبیه ساز دو بعدی فوتبال به عامل‌ها این امکان داده می‌شود که در هر بازی به تعداد محدودی پیغام پخشی ارسال کنند. عامل‌های شبیه سازی شده دارای چند نوع پیغام از پیش تعریف شده هستند که می‌توانند اطلاعات مشخص شده در این پیغام‌ها را به عامل‌های هم‌تیمی خود ارسال کنند.

البته باید توجه داشت که پیغام‌های بین بازیکن‌ها محدود می-باشند و یک پیغام ارسال شده توسط تمام بازیکن‌های هم‌تیمی دریافت

نخواهد شد و فقط بازیکن‌هایی که در محدوده نزدیک به بازیکن ارسال کننده پیغام هستند، قادر به شنیدن آن هستند. علاوه بـر محـدودیت-های ذکر شده، محدودیت دیگر موجوذ در ارتباط بین عامل‌ها در شبیه ساز این است که در هر سیکل از بازی فقط یک بازیکن قادر به ارسـال پیغام است و در صورتی‌که دو بـازیکن اقـدام بـه ارسـال پیغـام کننـد، ممکن است هیچ‌کدام از پیغام‌ها توسط دیگر بازیکن‌ها دریافت نشود.

۱- استراتژی دفاعی

در شبیه سازی دو بعدی فوتبال، عامل‌ها با توجه به وضعیت بازی و به صورت خودمختار یکی از رفتارهای مربوط به وضعیت موجود را انتخاب می‌کنند. اگر بخواهیم وضعیت‌های بازی را به دو دسته تقسیم کنیم، به دو دسته هجومی و دفاعی تقسیم می‌شوند که در رفتارهای دفاعی رفتارهایی مانند بلاک، مارک، تکل و ... وجود دارد.

در هر وضعیت از بازی برای اجرای یکی از رفتارهای فوق،عامل‌ها نیاز دارند اطلاعات مربوط به بازی و دیگر بازیکن‌ها را نیز داشته باشند؛ اما در شبیه ساز دو بعدی فوتبال، اطلاعات موجود نویز بسیار زیادی را دارد و به همین دلیل عامل‌ها بایستی براساس اطلاعات دارای نویز تصمیم‌گیری کنند.

در ادامه به ۳ رویکرد مطرح برای بهبود نویز موجود در داده‌ها پرداخته خواهد شد.

۳-۱- حل مسئله به روش حریصانه

در این روش عامل‌ها بر اساس موقعیت فعلی و موقعیت مشخص شده در ساختار تیمی امتیازهای انجام هر یک از رفتارهای دفاعی را مشخص می‌کنند و بر اساس آن هر عامل تصمیم گیری می‌کند. همانطور که انتظار می‌رود در این روش احتمال خطا بسیار زیاد می باشد و انتخاب یک ساختار تیمی مناسب، بسیار مهم می‌باشد. در واقع این روش از مزیت چند عامله بودن محیط شبیه ساز دو بعدی هیچ استفاده‌ای نکرده است.

۳-۲- حل مسئله با توجه به موقعیت بازیکن‌ها

عامل‌ها در شبیه ساز دو بعدی فوتبال اطلاعات مربوط به موقعیت دیگر بازیکن‌های خودی و حریف را دارند، اما نویز موجود در اطلاعات ناشی از این است که هر عامل یا بازیکن با توجه به دید خود بازیکن-های دیگر را در هر سیکل از بازی می بیند و اطلاعات مربوط به موقعیت آن‌ها را دریافت می‌کند. حال اگر چند سیکل در جهت یک بازیکن نگاه نکند، آن‌وقت باید بر اساس اطلاعات قدیمی خود تصمیم گیری کند.

در این رویکرد، هر عامل برای انجام یک رفتار دفاعی با توجه به موقعیت بازیکنان خودی و بازیکنان حریف تصمیم می‌گیرد. به عنوان مثال برای جلوگیری از نفوذ حریف، یک ماتریس با ۱۱ درایه از بازیکن‌های خودی تشکیل می شود و هر بازیکن امتیاز دیگر هم تیمی-های خود را برای انجام رفتار بلاک محاسبه می کند و از این میان هر بازیکنی که بیشترین امتیار را کسب کند رفتار دفاعی را انجام می‌دهد.

در این راه حل می‌توان گفت، یک مسئله ساده شده در فضای چند عاملی حل شده است، اما وقتی اطلاعات مربوط به موقعیت بازیکنان دقیق نباشد، برای اینکه این روش درست عمل کند بایستی رفتارهای دیگر عامل‌ها شبیه سازی شود. به نظر می‌رسد، اگر اطلاعات بازی بدون نویز و دقیق باشد، این راهکار بسیار مناسب باشد ولی با توجه به این‌که اطلاعات موجود دارای نویز زیادی می باشد، استفاده از این روش به تنهایی نسبت به روش قبلی بهبود بسیار کمی خواهد داشت. به همین دلیل باید به دنبال یک راهکار برای رفع نویز باشیم.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در روبوکاپ به خصوص در شبیه سازی دو بعدی فوتبال تیم‌هایی که اقدام به رفع نویز می‌کنند از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند و یا با حل کردن مسئله به صورت آفلاین تصمیم گیری عامل‌ها را بهبود می‌دهند.[۲و۳]

۳-۳-استفاده از پیغام در تصمیم گیری دفاعی

همانطور که مطرح شد، برای رفع نویز موجود در داده ها و بهبود تصمیم گیری کارهای تحقیقاتی انجام شده بیشتر به سمت یادگیری ماشین و یا حل مسئله در روش آفلاین رفته است. در این مقاله به بررسی رویکرد استفاده از پیغام بین بازیکن‌ها با توجه به محدودیت-های موجود پرداخته خواهد شد.

با بررسی روش قبلی مشخص شده است که اگر اطلاعات عامل‌ها از وضعیت فعلی بازی صحیح باشد، هر عامل می‌تواند مسئله را با توجه به موقعیت دیگر عامل‌ها و وضعیت بازی حل کند، اما چون عامل‌ها دید کاملا درستی نسبت به وضعیت فعلی بازی ندارند، می‌توانند تصمیم‌های اشتباه بگیرند یا حتی گاهی حالتی ایجاد می‌شود که دو عامل تصمیم یکسانی می‌گیرند.

قدم اول در استفاده از پیغام زمانی مطرح می‌شود که یک عامل بتواند راجع به وضعیت فعلی بازی نظر قطعی بدهد و این حالت زمانی پیش می‌آید که یک عامل دید بهتری نسبت به بقیه عامل‌ها داشته باشد، به

عبارت دیگر اطلاعاتی که از وضعیت فعلی بازی دارد از بقیه عامل‌ها به روز تر باشد و برای بقیه عامل‌ها تصمیم گیری کند.

در وضعیت های مختلف بازی حالت‌های بسیار کمی پیش می‌آید که یک بازیکن بتواند راجع به تمامی بازیکن‌های دیگر نظر دهد و به همین دلیل برای یافتن یک بازیکن مناسب و برای اینکه تعداد پیغام-های رد و بدل شده کمتر شود، نیاز است تا در هر وضعیت از بازی فقط بازیکن‌هایی که می‌توانند در دفاع تاثیر گذار باشند از مجموعه بازیکن-ها حذف می‌شوند تا تصمیم گیری دقیق‌تری انجام شود.



در شکل فوق بازیکن‌هایی که فاصله زیادی نسبت به توپ دارند بایستی از مجموعه بازیکن‌های تاثیرگذار حذف شوند و فقط عامل‌هایی از تیم زرد در محاسبات تاثیرگذار خواهند بود که در این مجموعه هستند و سپس از میان بازیکن‌هایی که می‌توانند روی وضعیت فعلی تاثیر بگذارند بازیکنی که دید بهتری نسبت به بقیه بازیکن‌های مجموعه تاثیرگذار دارند، برای رفتارهای دفاعی تصمیم می‌گیرد، که در شکل فوق عامل ۸ زرد دید بهتری نسب به دیگر عامل‌ها دارد. البته لازم به ذکر است در هر سیکل این محاسبات بایستی انجام شود و به همین دلیل پیچیدگی به حداقل میزان خود بایستی رسیده باشد.

$$E(agent[i]) = (3 - count_seen_ball) + (5 - dist_to_opponent) \quad (۱)$$

با توجه به فرمول فوق، مقدار ارزش یک عامل برای مدیریت رفتار دیگر بازیکن‌ها محاسبه می شود و بر اساس فاصله و تعداد سیکل هایی که از دیدن توپ گذشته است، بهترین بازیکن انتخاب می‌شود. با توجه به فرمول فوق و در نظر گرفتن شرط مثبت بودن تابع ارزش برای عامل‌ها از بین عامل‌های مجموعه بازیکن‌های تاثیرگذار محاسبه می‌شود و بهترین عامل انتخاب می‌شود.

در قدم بعدی برای بهینه شدن و ارضای محدودیت‌های ارتباطات بین عامل‌ها تعداد دفعاتی که هر عامل نیاز به ارسال و دریافت پیغام دارد بر اساس شرایط زیر می‌باشد:

- ✓ پاس دادن بازیکن صاحب توپ حریف
- ✓ تمام شدن اعتبار پیغام دریافت شده
- ✓ عوض شدن مقدار ارزش عامل‌ها

بر اساس پارامترهای مطرح شده عامل می‌تواند تعداد محدودی پیغام را ارسال کند و سربار ارسال پیغام را کمتر کند.

۲- آزمایش و نتیجه گیری

برای تست رویکردهای مختلفی که در این مقاله مطرح شد یک تیم با بیس ایجنت ۳ و الگوریتم‌های مطرح شده ایجاد کردیم که طبق نتایج تست، میانگین تعداد گل‌های دریافت شده در ۲۰ بازی با ۴ تیم اول مسابقات جهانی سال ۲۰۱۴ در سه روش مطرح شده به شرح زیر است:

نام تیم	میانگین گل‌های دریافت شده در ۲۰ بازی
Wrighteagle 2014	۶
Glider 2014	۳
Oxsy 2014	۴
Helios 2014	۷

جدول۱: نتایج آماری حاصل از رویکرد اول

نام تیم	میانگین گل‌های دریافت شده در ۲۰ بازی
Wrighteagle 2014	۴
Glider 2014	۲/۴
Oxsy 2014	۲/۲
Helios 2014	۴

جدول۲: نتایج آماری حاصل از رویکرد دوم

نام تیم	میانگین گل‌های دریافت شده در ۲۰ بازی
Wrighteagle 2014	۱/۸
Glider 2014	۰/۴۵
Oxsy 2014	۰/۵۵
Helios 2014	۰/۷

جدول۳: نتایج آماری حاصل از رویکرد سوم

همانطور که مشخص است در روش ارائه شده دوم در مجموع نسبت به روش اول ۳۷٪ بهبود داشته‌ایم و در روش سوم نسبت به روش اول ۸۲٪ بهبود داشته‌ایم.

۳- جمع بندی

در این مقاله با بررسی راهکارهای مختلفی که در تصمیم گیری در شبیه سازی دو بعدی فوتبال مطرح است، یک رویکرد جدید ارائه شد که این رویکرد جدید در واقع هزینه و پیچیدگی کمتری نسبت به تکنیک‌های قبلی مانند یادگیری ماشین دارد، اما این رویکرد هم خالی از مشکل نیست و برای اینکه سربار ناشی از ارسال پیغام، خود نقطه ضعف سیستم نشود بایستی معیارهای مشخصی برای بهینه شدن تعداد پیغام‌های ارسالی تعریف شود. در نهایت می‌توان گفت، استفاده از پیغام در هماهنگی بین عامل‌های درون یک تیم یک راهکار عملی برای بهبود الگوریتم‌هایی است که مسئله را از دیدگاه چند عاملی حل کرده‌اند.

مراجع

[1] Mota,L., Lau,N., Reis, L,.: Co-ordination in RoboCup's 2D Simulation League: Setplays as flexible, Multi-Robot plans. IEEE(2010).

[2] Wu, F., Zilberstein, S., Chen, X.: Online planning for multi-agent systems with bounded communication. Artificial Intelligence 175(2) (2011) 487-511.

[3] Wu, F., Zilberstein, S., Chen, X.: Multi-agent online planning with communication. In: Proc. of the 19th Int. Conf. on Automated Planning and Scheduling. (2009) 321-328.

[4] Noda, I., Stone, P.: The RoboCup Soccer Server and CMUnited Clients: Implemented Infrastructure for MAS Research. Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 7(1{2) (July-September 2003) 101-120.

[5] N. Lau, L. S. Lopes, and G. Corrente, "CAMBADA: Information sharingand team coordination," in Eighth Conference on Autonomous RobotSystems and Competitions. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro,2008, pp. 27–32.

[6] Khayami, R., Zare, N., Keshavarzi, A., Karimi, M., Afshar, A., Asali, A.: Cyrus 2014 Soccer 2D Simulation Team Description Paper. In: RoboCup 2014 Symposium and Competitions: Team Description Papers, Joao Pessoa, Brazil, July 2014. (2014)

استفاده از یک سیستم تشخیص نفوذ جدید برای مقابله با حمله‌های سیاه‌چاله در شبکه‌های سیار موردی

مریم فتحی احمدسرائی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده رایانه، فن‌آوری اطلاعات

ابوالفضل طرقی حقیقت
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده رایانه، فن‌آوری اطلاعات

چکیده

با گسترش شبکه‌های بی‌سیم و به دلیل ماهیت متفاوت آنها، حمله‌ها و آسیب‌های جدیدی که در شبکه‌های سیمی وجود نداشتند، در این شبکه‌ها ظاهر شدند. امنیت، یک چالش جدی در پیاده سازی واقعی شبکه‌های بی‌سیم است. به دلیل عدم وجود زیرساخت ثابت در شبکه‌های سیار موردی و همچنین به دلیل آسیب‌پذیری‌های امنیتی پروتکل‌های مسیریابی، شبکه‌های موردی در برابر حمله‌ها محافظت شده نیستند. به‌عنوان نمونه در حمله سیاه‌چاله به‌جای ارسال بسته‌ها به مقصد، فقط این بسته‌ها گرفته می‌شوند و دور ریخته می‌شوند. با استفاده از سیستم‌های تشخیص نفوذ بی‌سیم، می‌توان از شبکه‌های بی‌سیم محافظت کرد. در این پژوهش ما نیز یک سیستم تشخیص نفوذ برای مقابله با حمله سیاه‌چاله طرح کرده‌ایم. در این سیستم برای تشخیص نفوذ از ترکیب دو سیستم تشخیص نفوذ موجود یعنی سیستم مبتنی بر رفتار غیرعادی و سیستم مبتنی بر خصوصیات استفاده کرده‌ایم. همچنین یک روش پاسخ به نفوذ جدید ارائه شده‌است. تحلیل نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده با شبیه‌ساز NS-2 نشان‌دهنده موفقیت آمیز بودن روش پیشنهادی از نظر معیارهای گذردهی، نرخ گم‌شدن بسته‌ها و نرخ تحویل بسته‌ها نسبت به دو روش تشخیص نفوذ قبلی یعنی سیستم مبتنی بر رفتار غیرعادی و سیستم مبتنی بر خصوصیات است.

لغات کلیدی:
حمله سیاه‌چاله، سیستم‌های تشخیص نفوذ، شبکه موردی

مقدمه

در شبکه‌های سیار موردی هیچ گره مرکزی برای مدیریت شبکه وجود ندارد. گره‌ها آزادانه می‌توانند حرکت کنند. این انعطاف‌پذیری‌ها باعث پایین آمدن سطح امنیت می‌شود. برقراری امنیت در شبکه‌های سیار موردی به مسئله بزرگی تبدیل شده‌است. محققان بسیاری در این زمینه پژوهش کرده‌اند. رویکردهای اصلی محققان برای حل مسئله امنیت در این شبکه‌ها را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد: الف) رویکردهای مبتنی بر مبنای رمزنگاری که به دلیل ساختار غیرمتمرکز این شبکه‌ها امکان استفاده از این روش وجود ندارد. ب) رویکردهای تشخیص نفوذ که امکان یادگیری و در نتیجه شناسایی رفتارهای مشکوک و حمله‌های احتمالی ممکن می‌شود. هدف سیستم‌های تشخیص نفوذ معمولا تشخیص رفتارهای مشکوک و یا تشخیص حمله‌های شناخته شده است [۱].

گسترش استفاده از شبکه‌های موردی و اهمیت برقراری امنیت در این شبکه‌ها باعث شده تا پژوهش‌های فراوانی در این زمینه صورت پذیرد. در [۲]، پروتکل مسیریابی واکنشی بردار فاصله را تغییر داده‌اند. برای تضمین امنیت در مقابل حمله سیاه‌چاله از تشخیص نفوذی استفاده کرده اند که از تشخیص رفتار غیرمتعارف استفاده می‌کند و گره مهاجم را اخراج می‌کنند. این روش نرخ تحویل بسته‌ها را افزایش می‌دهد ولی سربار ندارد. در [۳]، از سیستم تشخیص نفوذ و روش پاسخ سازگار استفاده شده‌است. سرگروه‌ها داده‌ها را از اعضای خوشه جمع آوری و ذخیره می‌کنند و به گره مدیر می‌فرستند. گره مدیر از تشخیص نفوذ ضدحمله سیاه‌چاله استفاده می‌کند. سپس گره مدیر به مرحله بعد که شناسایی حمله است می‌رود و سپس پاسخ به نفوذ را پیاده‌سازی می‌کند. در [۴]، الگوریتم ضد سیاه چاله مطرح شده است. اگر گره میانی مقصد نباشد و تا کنون هیچ بسته درخواست مسیری برای یک مسیر خاص ارسال نکرده باشد، اما بسته‌های پاسخ به درخواست مسیری را هدایت کرده باشد، مقدار مشکوک بودن این گره، باید توسط گره تشخیص دهنده نفوذ نزدیک به آن، یک واحد در جدول گره‌های مشکوک افزایش یابد. زمانی که مقدار مشکوک بودن یک گره بیش از حدآستانه شد، یک پیام انسداد توسط گره تشخیص دهنده نفوذ ارسال می‌شود تا گره مشکوک را مسدود کنند. در [۵]، پروتکل مسیریابی منبع پویا را تغییر داده‌اند. در این الگوریتم مبدا تعداد بسته‌هایی که می‌خواهد ارسال کند را قبل از ارسال داده‌ها، از یک مسیر جداگانه به مقصد اطلاع می‌دهد. مقصد با دریافت بسته‌ها شروع به شمارش می‌کند. اگر تعداد بسته‌هایی

که دریافت نکرده بزرگ تر از حد آستانه گم شدن بسته‌ها باشد، مقصد شروع به تشخیص گره مهاجم می‌کند تا جایی که دیگر گره‌ای تا مبدا باقی نماند. این روش ارائه‌شده نسبت به مسیریابی منبع پویا دارای نرخ گم شدن بسته‌های کم‌تری است. در [۶]، عملکرد سیستم به این‌صورت است که واحد شنود با بررسی ترافیک، اطلاعات مشکوک را به واحد ثبت رخداد می‌دهد. با این اطلاعات، واحد تشخیص حمله، حمله را تشخیص داده و به واحد مقابله با حمله اعلام می‌کند. واحد مقابله با حمله اثر حمله را کاهش می‌دهد. در [۷]، برای مقابله با، استفاده ناعادلانه از کانال انتقال، گره‌ها برای تخصیص بخشی از کانال از امضای دیجیتالی استفاده می‌کنند. برای مقابله با ناهنجاری در هدایت بسته‌ها به این صورت عمل می‌شود که مبدا به گره میانی که چند گام با آن فاصله دارد و بیشترین جریان را دارد، مشکوک می‌شود زیرا با نرخ بی‌نهایت بسته‌ها را دور می‌ریزد. اگر شمارنده بدرفتاری به حد آستانه برسد، گره بدرفتار شناخته می‌شود. در [۸]، برای جلوگیری از حمله سیاه‌چاله از روش همکاری و توزیعی استفاده می‌کند. این روش چهار مرحله دارد: مرحله اول: هر گره شنود می‌کند تا متوجه شود همسایه اش مطمئن است یا خیر، مرحله دوم: برای آنالیز این است که آیا گره مشکوک سیاه‌چاله است یا خیر، مرحله سوم: گره تشخیص دهنده به تمام همسایه‌های یک گامی خود هشدار می‌دهد و آنها را وادار می‌کند تا در فرآیند تشخیص شرکت کنند و تصمیم بگیرند که آیا گره مشکوک مهاجم است یا خیر. مرحله چهارم: یک سیستم اعلان مناسب است تا هشدارها را به کل شبکه ارسال کند. این روش سربار دارد. در [۹]، با رسیدن اولین بسته پاسخ به درخواست مسیر، مسیر انتخاب نمی‌شود بلکه صبر می‌کند تا بسته‌های پاسخ به درخواست مسیر همه همسایه‌ها برسد. زیرا اکثرا اولین بسته‌های پاسخ به درخواست مسیر، بسته پاسخ به درخواست مسیر گره سیاه چاله است. در [۱۰]، سیستم به دو بخش تقسیم می‌شود: تشخیص نفوذ محلی که یک لیستی از همسایه‌های مورد اعتماد تولید می‌شود و تشخیص نفوذ سراسری که برای شناسایی نفوذهای عادی از آن استفاده می‌شود. یک لیستی از همسایه‌های مورد اعتماد در سیستم تشخیص نفوذ محلی تولید می‌شود که در سیستم تشخیص نفوذ سراسری برای شناسایی نفوذهای عادی از آن استفاده می‌شود. در [۱۱]، اگر نرخ هدایت بسته‌های گره‌ای کم‌تر از حدآستانه باشد، گره تشخیص نفوذ، آن را به‌عنوان گره سیاه‌چاله می‌شناسد. در [۱۲]، یک مسیریابی امن جدید مبتنی بر شهرت ارائه شده‌است. شهرت بر اساس رفتارهای گره ساخته می‌شود. با استفاده از مکانیزم تشویقی احتمال فعالیت گره در شبکه افزایش می‌یابد. در [۱۳]، به طور تصادفی بخشی از گره‌ها به عنوان گره‌های ایست‌بازرسی انتخاب می‌شوند. وظیفه این گره‌ها تولید تایید ارسال برای هر بسته دریافتی می‌باشد. اگر رفتار مشکوک تشخیص داده‌شد، یک بسته هشدار به گره مبدا تحویل داده‌می‌شود. در [۱۴]، هر گره، بر همسایه‌های خود نظارت می‌کند که منجر به از دست دادن انرژی زیادی در گره‌ها می‌شود. گره‌ها با مقایسه نرخ از دست دادن بسته‌هایی را که خود مشاهده کرده اند و حد آستانه نرخ از دست دادن بسته‌های تعیین شده، در مورد رفتار همسایگان خود قضاوت می‌کنند. در [۱۵]، یک سیستم تشخیص نفوذ تطبیقی مطرح شده‌است. اگر امتیاز مشکوک بودن یک گره از حدآستانه بالاتر برود، گره تشخیص نفوذ با ارسال پیام انسداد، گره مهاجم را منزوی می‌کند. در این مقاله در مورد مقدار حد آستانه بحثی نشده است.

برای مقابله با حمله¬های سیاه¬چاله، تا کنون دو سیستم تشخیص نفوذ موجود یعنی سیستم مبتنی بر رفتار غیرعادی و سیستم مبتنی بر خصوصیات ترکیب نشده‌اند. در این مقاله برای مقابله با حمله‌های سیاه‌چاله این دو روش را ترکیب می‌کنیم. در اکثر روش‌های ارائه شده به دلیل خطای بالا در سیستم تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی برای شناسایی گره مهاجم، اجازه بازگشت گره مهاجم به شبکه داده‌شده [۱۶] و فرض بر این است که به اشتباه، گره، مهاجم شناخته شده‌است. بنابراین باید به گره اجازه بازگشت به شبکه داده¬شود. اما در هیچ‌یک از این مقاله‌ها به این نکته توجهی نشده که ممکن است به درستی مهاجم بودن گره تشخیص داده‌شده‌باشد و بازگشت مجدد گره مهاجم به شبکه خطرناک است. بنابراین در راه‌حل پیشنهادی، ما این مسئله را در نظر می‌گیریم. در ادامه مقاله در بخش دوم به مطالب اصلی پژوهش می‌پردازیم و در بخش سوم نتیجه گیری کلی و پیشنهاداتی برای کارهای آینده ارائه می‌دهیم.

مطالب اصلی

در این بخش به بررسی برخی مفاهیم اولیه، طرح مسئله، روش پیشنهادی و تحلیل و ارزیابی نتایج راه‌حل پیشنهادی می‌پردازیم.

تعریف مفاهیم اولیه

شبکه‌های سیار موردی مجموعه‌ای از گره‌های بی‌سیم هستند که به سرعت یک شبکه چند پرشی رادیویی را بدون نیاز به زیرساخت یا مدیریت مرکزی تشکیل می‌دهند [۱۷]. طبیعت متغیر و پیکربندی غیرمتمرکز این شبکه‌ها باعث آسیب‌پذیری‌هایی در این شبکه‌ها شده‌است [۱۸]. ما از مسیریابی بردار فاصله مبتنی بر تقاضا استفاده می‌کنیم که جز مسیریابی‌های واکنشی است. در این مسیریابی گره مبدا پیام درخواست مسیر را پخش می‌کند. گره‌های دیگر طبق جدول مسیریابی خود به مبدا پاسخ می‌دهند. مبدا بررسی می‌کند و هر پاسخی که دارای شماره ترتیب بالاتر و تعداد گام کمتری است را به عنوان گره میانی بر سر راه مسیریابی خود انتخاب می‌کند [۱۹]. حمله سیاه‌چاله از این حفره در

مسیریابی واکنشی بردار فاصله استفاده می‌کند و بدون پردازش، شماره‌ترتیب خود را بزرگ‌ترین شماره‌ترتیب قرار می‌دهد تا مبدا همیشه بسته‌های خود را از طریق این گره سیاه‌چاله به مقصد ارسال کند. پس از اینکه گره سیاه‌چاله مسیر بین مبدا و مقصد را بدست آورد، همه بسته‌ها را دور می‌ریزد. حمله سیاه‌چاله دو نوع است: الف) نوع انفرادی که یک گره سیاه‌چاله به شبکه حمله می‌کند و ب) نوع مبتنی بر همکاری که چندین گره سیاه‌چاله برای تخریب عملکرد شبکه با یکدیگر همکاری می‌کنند. برای جلوگیری از انواع حمله‌ها باید از سیستم‌های تشخیص نفوذ استفاده کنیم [۱۴]. یک سیستم تشخیص نفوذ به صورت پویا بر رفتارهای کاربران و سیستم‌ها در شبکه نظارت می‌کند تا نفوذ را تشخیص دهد [۵]. سیستم‌های تشخیص نفوذ به سه دسته تقسیم می‌شوند: الف) تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی، فعالیت‌هایی را مشخص می‌کند که از رفتار عادی انحراف دارند. سیستم تشخیص رفتار غیرعادی معمولا شامل دو مرحله است: آموزش و آزمایش. آموزش فرآیند مدل کردن رفتار عادی یا مورد انتظار شبکه یا کاربران است. همچنین این مدل به‌عنوان نمایه کاربر یا رفتار شبکه نیز عمل می‌کند. ساخت یک نمایه موثر شامل جمع‌آوری اطلاعات در مورد رفتارها و فعالیت‌هایی است که برای شبکه عادی فرض شده‌است [۳].این روش برای شبکه‌های کوچک مناسب است و تعداد هشدارهای اشتباه بالایی دارد. از تکنیک‌هایی مانند روش‌های آمار و احتمالی، آزمون مربع کای، درخت تصمیم‌گیری و زنجیره مارکو برای مدل کردن رفتار کاربران در شبکه استفاده می‌شود. ب) تشخیص نفوذ مبتنی بر دانش، تشخیص نفوذ مبتنی بر دانش که این روش حمله‌های شناخته‌شده را در پایگاه دانش خود دارد، اگر این رفتارها را در شبکه مشاهد کرد هشدار می‌دهد. اگر شاهد کاهش عملکرد شبکه بود ولی در پایگاه دانش خود حمله‌ای با این خصوصیات نیافت، این رفتار را به‌عنوان حمله جدید به پایگاه دانش خود اضافه می‌کند. برای این کار از تکنیک‌هایی مانند سیستم‌های خبره، زنجیره رو به جلو یا عقب استفاده می‌شود. ج) تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات، که ابتدا خصوصیات را به صورت مجموعه‌ای از قوانین تعریف می‌کند تا بر عملکرد پروتکل مسیریابی نظارت کند و حمله‌ها را در شبکه تشخیص دهد [۲۰].

طرح مسئله

شبکه‌های سیار موردی بدون زیرساخت هستند و از مسیریابی‌های واکنشی بیشتر استفاده می‌کنند چون این مسیریابی‌ها سربار کم‌تری دارند. مسیریابی‌های واکنشی مستعد حمله‌های سیاه‌چاله هستند. پیاده‌سازی حمله‌های سیاه‌چاله ساده است [۲۱]. شدت حمله سیاه‌چاله بسیار زیاد است و تقریبا عملکرد شبکه را مختل می‌کند [۳]. بنابراین ما با استفاده از سیستم‌های تشخیص نفوذ می‌خواهیم مانع تخریب عملکرد شبکه توسط گره (های) سیاه‌چاله شویم.

راه‌حل پیشنهادی

سیستم تشخیص نفوذ ما به این‌صورت است که سیستم تشخیص نفوذ را بر روی تمام گره‌های شبکه پیاده‌سازی می‌کنیم. برای تشخیص نفوذ دو روش تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی و تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات را با هم ترکیب کردیم. برای روش تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی، ما از نمایه استاندارد شبیه‌ساز NS استفاده کردیم که از روش‌های آمار و احتمالی در آن استفاده می‌شود و به این صورت کار می‌کند که اگر تعداد پیام‌های پاسخ به درخواست مسیر یک گره ۱۰ برابر پیام‌های درخواست مسیر آن گره باشد، این رفتار گره مشکوک تلقی می‌شود. این ماژول در NS، attack نام دارد. همچنین برای روش تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات، محدودیتی که ما در نظر گرفتیم، محدودیت در رفتار پروتکل مسیریابی گره و محدودیت بر روی شماره‌ترتیب است. به این‌صورت که شرط گذاشته‌ایم تا اگر رفتار مسیریابی گره خارج از مسیریابی مورد انتظار (مسیریابی واکنشی بردار فاصله) بود (که خود نرم‌افزار NS این مقایسه را انجام می‌دهد) یا اگر شماره‌ترتیب از یک حدآستانه‌ای بیشتر بود، این رفتار گره به‌عنوان حمله در نظر گرفته شود و یک واحد به مقدار متغیر شمارنده اضافه کند. حدآستانه برای محدودیت شماره‌ترتیب را عدد ۶۵۵۳۶ در نظر گرفتیم. این عدد معادل 2^{16} است. این عدد را با روش سعی و خطا به‌دست آوردیم و در این حالت بالاترین گذردهی و کم‌ترین نسبت از دست رفتن بسته‌ها را به‌دست آوردیم. این حدآستانه را عدد ۶۵۵۳۶ در نظر گرفتیم زیرا گره سیاه‌چاله برای حمله، شماره‌ترتیب را ۳۲ بیت یک فرض می‌کند، بنابراین اگر گره‌ای شماره‌ترتیب خود را حتی ۱۶ بیت یک هم در نظر بگیرد؛ پس این رفتار، حمله در نظر گرفته می‌شود. پس از تشخیص گره مهاجم برای مقابله با این گره، یک روش جدید ارائه دادیم. گره‌ها با مشاهده رفتار غیرعادی یک گره از رفتار عادی شبکه یا با مشاهده شماره‌ترتیب غیرعادی یا با مشاهده رفتاری غیر از رفتار صحیح مسیریابی واکنشی بردار فاصله از یک گره، به امتیاز منفی آن گره می‌افزایند. اگر متغیر شمارنده هر گره‌ای از عدد دو بیشتر شد، گره، مهاجم شناخته می‌شود و باید از شبکه اخراج شود. با استفاده از روش سعی و خطا، عدد دو را به‌عنوان حدآستانه در نظر گرفتیم.به‌دلیل این‌که روش‌های مبتنی بر رفتار غیرعادی خطای بالایی دارند و رفتار عادی را حمله تشخیص می‌دهند، بنابراین اگر گره‌ای به‌عنوان مهاجم شناخته شود؛ آن گره را برای مدت زمانی از شبکه اخراج می‌کنیم (برای این‌کار از یک زمان تصادفی استفاده می‌کنیم) و بعد از آن زمان تصادفی یک‌بار دیگر به آن گره فرصت

می‌دهیم تا به شبکه برگردد. پس از بازگشت به شبکه این گره را در یک صف اول ورود و اول خروج قرار می‌دهیم. یک پرچمی را به این گره نسبت می‌دهیم و مقدار آن را یک قرار می‌دهیم. اگر گره‌ای یک‌بار اخراج شده‌باشد و سپس بخشیده شده‌باشد و در حال حاضر در آن صف اول ورود و اول خروج بخشیده‌شده‌ها قرار داشته‌باشد، در سرآیند خود پرچمی با مقدار یک دارد. از این به بعد، گره‌های سالم به آن گره‌ای (هایی) که مقدار پرچم آن (ها) یک است؛ فقط بسته‌های اطلاعاتی را ارسال می‌کنند و بسته‌های کنترلی (بسته‌های کنترلی مسیریابی واکنشی بردار فاصله مانند بسته‌های درخواست مسیر، بسته‌های پاسخ به درخواست مسیر، بسته‌های گزارش خطا در مسیر) را به آن گره (ها) ارسال نمی‌کنند. این کار به این دلیل است که اگر واقعا گره مهاجم بود و در تشخیص مهاجم بودن گره خطایی رخ نداده بود، گره مهاجم نتواند مجددا اختلالی در مسیریابی ایجاد کند. اگر ۲۰٪ از گره‌های شبکه گره‌های بخشیده‌شده، شدند؛ به‌صورت اول ورود و اول خروج آن‌ها را از صف خارج می‌کنیم تا مانند گره‌های عادی با آن‌ها رفتار شود و به آن گره‌ها هم بسته‌های کنترلی و هم بسته‌های اطلاعاتی ارسال خواهد شد. همچنین پرچم این گره‌ها را نیز حذف می‌کنیم. به‌دلیل این‌که خطا در روش تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی بسیار بالا است و ممکن است گره‌های زیادی به اشتباه مهاجم شناخته شوند، بخشیده شوند و وارد این صف شوند. بنابراین اگر این صف را تشکیل ندهیم بعد از مدت زمانی اکثر گره‌های شبکه، گره‌هایی خواهند بود که بخشیده‌شده هستند و به آن‌ها بسته‌های کنترلی ارسال نمی‌شود؛ بنابراین در شبکه دیگر عملا مسیریابی صورت نخواهد گرفت و این خود باعث اختلال در شبکه می‌شود. این حدآستانه ۲۰٪ را نیز با روش سعی و خطا به‌دست آوردیم. اگر گره‌ای برای بار دوم مهاجم شناخته شد، این گره برای همیشه از شبکه اخراج می‌شود. زیرا در آن شرایط محدودی که برای گره بخشیده شده ایجاد کردیم، اگر مجددا از خود بدرفتاری نشان دهد؛ با احتمال بسیار بالا این گره مهاجم است و سیستم تشخیص نفوذ ما در مورد اخراج این گره دچار خطا نشده‌است. گره سیاه‌چاله‌ای که به شبکه حمله می‌کند، در این شرایط محدود مجددا می‌تواند به شبکه حمله کند زیرا شماره‌ترتیب در بسته‌های پاسخ به درخواست مسیر را بزرگ‌ترین عدد صحیح ۳۲ بیتی (۳۲ بیت یک) قرار می‌دهد و نیازی ندارد تا گره‌های دیگر به او بسته‌های کنترلی ارسال کنند. شبه‌کد الگوریتم تشخیص نفوذ پیشنهادی را با توجه به توضیحاتی که ارائه شد در شکل ۱ مشاهده می‌کنیم.

تحلیل و ارزیابی نتایج راه‌حل پیشنهادی

برای شبیه‌سازی از شبیه‌ساز NS-2 استفاده کردیم. شبیه‌سازی را در شرایط مختلف انجام داده‌ایم: شبکه تحت حمله و مجهز به سیستم‌های تشخیص نفوذ پیشنهادی، تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی، تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات و شبکه تحت حمله بدون سیستم تشخیص نفوذ. در شبکه‌های بزرگ و کوچک و با حضور یک و دو گره سیاه‌چاله شبیه‌سازی را انجام دادیم. جزئیات شبیه‌سازی‌ها در جدول ۱ آورده شده‌است.

```
Do for All Nodes
If (Node Manner=Attack or Node Routing Protocol≠AODV or Sequence Number >65536)
        Increase Count
        If (Count > 2)
                If (Flag = 1)
                        Delete Node Forever
                Else
                        Delete Node
                End If
        End If
End For
At (Now + Random Time) Let Node Come Back to the Network
Node Flag = 1
Put Node in to FIFO Queue
Other Nodes Just Send Data Packets to a Node that Has a Flag for Forwarding
If (Queue Size > 20% of All Nodes)
        Dequeue First Node in the Queue
        Delete Flag
End If
```

شکل ۱: شبه‌کد الگوریتم تشخیص نفوذ پیشنهادی

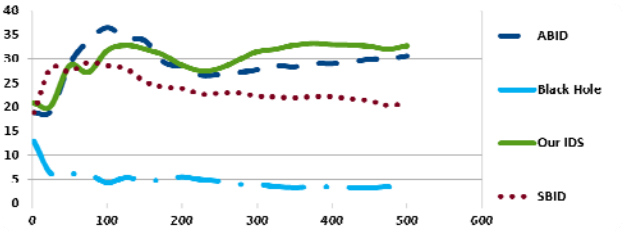
جدول ۱: پارامترهای محیط‌های شبیه‌سازی

پارامتر				مقدار
مساحت شبیه‌سازی			در شبکه‌های کوچک	۷۵۰ m x ۷۵۰ m
			در شبکه‌های بزرگ	۱۵۰۰ m x ۳۰۰ m
زمان شبیه‌سازی				۵۰۰ ثانیه
تعداد گره‌های سالم	در شبکه‌های کوچک	با حضور یک گره سیاه‌چاله		۱۹ گره
		با حضور دو گره سیاه‌چاله		۱۸ گره
	در شبکه‌های بزرگ	با حضور یک گره سیاه‌چاله		۵۹ گره
		با حضور دو گره سیاه‌چاله		۵۸ گره
تعداد گره‌های سیاه‌چاله		با حضور یک گره سیاه‌چاله		یک گره
		با حضور دو گره سیاه‌چاله		دو گره
نوع ترافیک				UDP - CBR
اندازه بسته‌ها				۵۱۲ KB
نرخ ارسال بسته‌ها				۱۰ kbps
حداکثر سرعت گره‌ها				۲۰ m/s

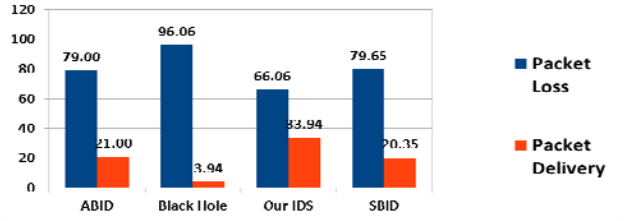
معیار شبیه‌سازی ما در این مقاله گذردهی، نرخ گم شدن بسته‌ها و نرخ تحویل بسته‌ها است. ابتدا به تعریف هر یک از این معیارها می‌پردازیم: الف) گذردهی: تعداد بیت‌هایی که در واحد زمان از

گره مبدا به گره مقصد در ارتباطات شبکه‌ای انتقال داده‌می‌شوند، ب) نرخ گم شدن بسته‌ها: تعداد بسته از دست رفته نسبت به کل بسته‌های ارسالی، ج) نرخ تحویل بسته‌ها: نسبت بسته‌هایی که با موفقیت به مقصد رسیده‌اند به بسته‌های ارسالی است که فرستنده ارسال کرده‌است [۲۲].

در شکل ۲ گذردهی شبکه‌ای کوچک با حضور یک گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف را بررسی کردیم. در شکل ۳ نیز نرخ گم شدن بسته‌ها و نرخ تحویل بسته‌ها در این شرایط را بررسی کردیم. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که شبکه تحت حمله سیاه‌چاله کم‌ترین گذردهی را دارد. چون هیچ اقدامی برای مقابله با حمله صورت نگرفته است. گذردهی شبکه‌ای که به سیستم تشخیص نفوذ پیشنهادی ما مجهز است بالاتر از گذردهی دو روش تشخیص نفوذ موجود یعنی سیستم مبتنی بر رفتار غیرعادی و سیستم مبتنی بر خصوصیات است. به دلیل ترکیبی بودن تشخیص نفوذ پیشنهادی، گره مهاجم زودتر شناخته شده و با آن مقابله می‌شود. بنابراین آسیب کم‌تری به شبکه وارد می‌شود و گذردهی شبکه بالاتر می‌رود. همچنین به دلیل پاسخ به نفوذی که روش پیشنهادی دارد، باعث کاهش خطای تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی می‌شود.



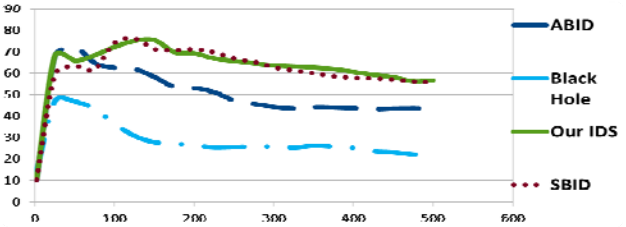
شکل ۲: نمودار گذردهی شبکه‌ای کوچک با حضور یک گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف



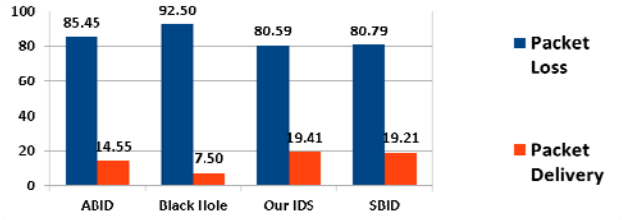
شکل ۳: نمودار میانگین نرخ گم شدن بسته‌ها و میانگین نرخ تحویل بسته‌ها در شبکه‌ای کوچک با حضور یک گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف

میانگین نرخ گم شدن بسته‌ها و میانگین نرخ تحویل بسته‌ها را در این شرایط در شکل ۳ ارائه کردیم. میانگین نرخ گم شدن بسته‌های شبکه تحت حمله سیاه‌چاله بالاترین مقدار است زیرا اقدامی برای مقابله با حمله نشده‌است. نرخ گم شدن بسته‌های شبکه‌ای که به سیستم تشخیص نفوذ پیشنهادی مجهز است کم‌تر از دو روش تشخیص نفوذ موجود یعنی سیستم مبتنی بر رفتار غیرعادی و سیستم مبتنی بر خصوصیات است. به دلیل ترکیبی بودن تشخیص نفوذ پیشنهادی، گره مهاجم زودتر شناخته شده، با آن مقابله می‌شود و نرخ گم شدن بسته‌ها کم‌تر می‌شود.

در شکل ۴ گذردهی شبکه‌ای بزرگ با حضور یک گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف و در شکل ۵ نیز نرخ گم شدن بسته‌ها و نرخ تحویل بسته‌ها در این شرایط را بررسی کردیم. نتایج این نمودارها نیز همانند شکل‌های ۲ و ۳ است و فقط به‌دلیل بزرگ بودن شبکه و انتقال‌های بیشتر، میزان گذردهی نیز بیشتر شده‌است.

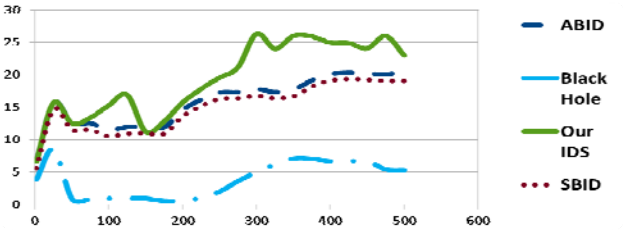


شکل ۴: گذردهی شبکه‌ای بزرگ با حضور یک گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف



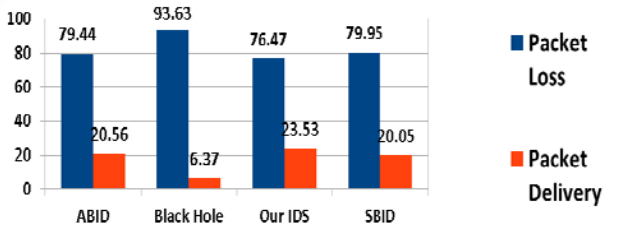
شکل ۵: میانگین نرخ گم شدن بسته‌ها و میانگین نرخ تحویل بسته‌ها در شبکه‌ای بزرگ با حضور یک گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف

در شکل ۶ گذردهی شبکه‌ای کوچک با حضور دو گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف و در شکل ۷ نیز نرخ گم شدن بسته‌ها و نرخ تحویل بسته‌ها در این شرایط را بررسی کردیم. نتایج این شکل‌ها نیز مانند شکل‌های ۲ و ۳ است و فقط به دلیل حضور دو گره سیاه‌چاله میزان گذردهی و میزان نسبت تحویل بسته‌ها پایین تر است. در شکل ۸ گذردهی شبکه‌ای بزرگ با حضور دو گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف و در شکل ۹ نیز نرخ گم شدن بسته‌ها و نرخ تحویل بسته‌ها در این شرایط را بررسی کردیم. نتایج شکل‌ها مانند شکل‌های ۴ و ۵ است و فقط به دلیل حضور دو گره سیاه‌چاله میزان گذردهی و میزان نرخ تحویل بسته‌ها پایین‌تر است.

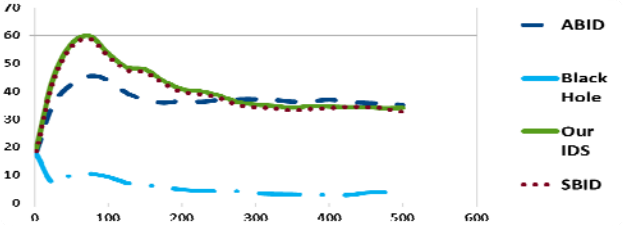


شکل ۶: گذردهی شبکه‌ای کوچک با حضور دو گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف

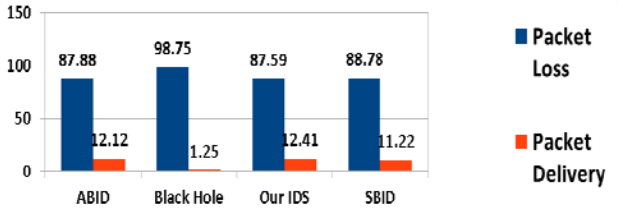
از تکنیک‌های دیگری برای این دو روش استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تا یکی از روش‌های تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات، با یکی از تکنیک‌های تشخیص نفوذ مبتنی بر دانش ترکیب شود زیرا ترکیب این دو روش تا کنون انجام نشده‌است.



شکل ۷:میانگین نرخ گم شدن بسته‌ها و میانگین نرخ تحویل بسته‌ها در شبکه‌ای کوچک با حضور دو گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف



شکل ۸: گذردهی شبکه‌ای بزرگ با حضور دو گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف



شکل ۹:میانگین نرخ گم شدن بسته‌ها و میانگین نرخ تحویل بسته‌ها در شبکه‌ای بزرگ با حضور دو گره سیاه‌چاله در شرایط مختلف

نتیجه‌گیری

در این مقاله با بررسی شبکه در شرایط مختلف شبکه عادی، تحت حمله، مجهز به تشخیص نفوذ پیشنهادی، تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی، تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات در شبکه‌های بزرگ و کوچک و با حضور یک و دو گره سیاه‌چاله، به این نتایج رسیدیم که: گذردهی شبکه تحت حمله و مجهز به روش پیشنهادی بالاتر از گذردهی شبکه تحت حمله مجهز به سیستم‌های تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی و مبتنی بر خصوصیات است. همچنین نرخ گم شدن بسته‌ها در روش پیشنهادی پایین‌تر از دو سیستم تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی و تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات است. این نتایج در شبکه‌های بزرگ و کوچک و در حضور یک و دو گره سیاه‌چاله صادق است. به‌دلیل اینکه روش پیشنهادی از ترکیب دو روش تشخیص نفوذ مبتنی بر رفتار غیرعادی و تشخیص نفوذ مبتنی بر خصوصیات برای تشخیص نفوذ استفاده و همچنین از یک الگوریتم جدید برای پاسخ به نفوذ استفاده می‌کند، سربار بالایی دارد.

برای رفع عیب راه‌حل پیشنهادی بهتر است، الگوریتم پیشنهادی را تنها تعدادی از گره‌ها اجرا کنند تا سربار کم‌تر شود. پیشنهاد می‌شود تا برای ترکیب سیستم‌های تشخیص نفوذ موجود یعنی سیستم مبتنی بر رفتار غیرعادی و سیستم مبتنی بر خصوصیات

مراجع

[۱]محمود صالح اصفهانی و مهرداد ابوعلی، **"سامانه تشخیص نفوذ برای مقابله با حمله DoS از طریق تقاضای زیاد مسیریابی"**، سومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش،دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۶، ص ۸۶-۹۴.

[2] A. Bhandare, S. Patil and B. Pail, "Modified AODV Protocol to Prevent MANET Against Black Hole Attack and its Performance Analysis", *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research,* Vol. 4, 2013.

[3] A. Nadeem and M. Howarth, "An Intrusion Detection & Adaptive Response Mechanism for MANETs", *Elsevier International Journal of Ad Hoc Networks,* Vol. 12, 2013.

[4] A. Deepa and V. Kavitha, "A Comprehensive Survey on Approaches to Intrusion Detection System", *Elsevier International Conference on Modeling Optimisation and Computing,* Vol. 19, pp. 138-149, 2012.

[5] M. Mohanapriya and I. Krishnamurthi, "Modified DSR Protocol for Detection and Removal of Selective Black Hole Attack in MANET", *Elsevier International Journal of Computers and Electrical Engineering,* Vol. 3, 2013.

[6] M. Su, "Prevention of Selective Black Hole Attacks on Mobile Ad Hoc Networks Through Intrusion Detection Systems", *Elsevier International Journal of Computer Communications,* Vol. 34, 2011.

[7] S. Manikantan, C. Yu and A. Tricha, "Channel - Aware Detection of Black Hole Attacks in Mobile Ad Hoc Networks", *IEEE Global Telecommunications Conference,* Vol. 3, pp. 100-116, 2009.

[8] C. She, J. Wang, and H. Yang, "Intrusion Detection for Black Hole and Gray Hole in MANETs", *KSII Transactions on Internet and Information Systems,* Vol. 9, pp. 70-77, 2013.

[9] S. Madhavi and H. Tai, "An Intrusion Detection System in Mobile Ad Hoc Networks", *International Journal of Security and Its Applications* Vol. 2, 2008.

[10] H. Shahnawaz and S. Gupta, "Black Hole Attack in AODV & Friend Features Unique Extraction to Design Detection Engine for Intrusion Detection System in Mobile Ad Hoc Network", *Journal of Engineering Science and Technology,* Vol. 7, 2012.

[11] M. Su, K. Chiang and W. Liao, "Mitigation of Black Hole Nodes in Mobile Ad Hoc Networks", *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications,* Vol. 10, 2010.

Elsevier International Conference of Computer and Electronic Engineering, Vol. 10, pp. 38–62, 2012.

[18] S. Pathak and S. Jain, "A Survey: On Unicast Routing Protocols for Mobile Ad hoc Network", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering,* Vol. 3, January 2013.

[19] K. Al–Omari and P. Sumar, "An Overview of Mobile Ad hoc Networks for the Existing Protocols and Applications", *International Journal on Applications of Graph Theory in Wireless Ad hoc Networks and Sensor Networks,* Vol. 2, March 2010

[20] D. Roy, B. ebdutta and C. Rituparna, ″BHIDS: A New, Cluster Based Algorithm for Black Hole IDS″, *Wiley International Journal of Security and Communication Networks,* Vol. 11, 2010.

[21] F. Tseng, L. Chou and H. Chao, ″A survey of black hole attacks in wireless mobile ad hoc networks″, *Springer International Journal of Human - centric Computing and Information Sciences,* Vol. 5, 2011.

[22] U. Venkanna and L. Velusamy, ″Black Hole Attack and Their Counter Measure Based on Trust Management in MANET: A Survey″ , *IEEE International Journal of Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, Vol. 6, 2011*

[12] Y. Yu, G. Lei, W. Xingwei and L. Cuixiang, ″Routing Security Scheme Based on Reputation Evaluation in Hierarchical Ad Hoc Networks″, *Wiley International Journal of Computer Networks,* Vol.5, 2010.

[13] M. Su, ″A Study of Deploying Intrusion Detection Systems in Mobile Ad Hoc Networks″, *Elsevier International Conference on Electronic Engineering and Computer Science,* Vol. 14, pp. 214-225, 2012.

[14] A. Nadeem and M. Howarth, ″A Survey of MANET Intrusion Detection & Prevention Approaches for Network Layer Attacks″, *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* Vol. 15, 2013.

[15] B. Xiao, B. Yu and G. Chemas, ″Identify Suspect Nodes in Selective Forwarding Attacks″, *Elsevier International Journal of Parallel Distributed Computing,* Vol.67, 2007.

[16] T.Araghi, M. Zamani and A. Manaf, ″A Survey for Prevention of Black Hole Attacks in Wireless Mobile Adhoc Networks Using IDS Agents″, *International Journal of Latest Trends in Computational Science,* Vol. 2, 2013.

[17] W. Wei, Z. Guosun, Y. Jing, W. Hanli and T. Daizhong, ″Towards Reliable Self - Clustering Mobile Ad Hoc Networks″,

بهبود خلاصه سازی متون با استفاده از روش فرا اکتشافی جستجوی فاخته

سید حسین میرشجاعی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات

بهروز معصومی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده کامپیوتر و فناوری اطلاعات

چکیده

گسترش روز افزون منابع اطلاعاتی و لزوم دسترسی های سریع به مفاهیم و محتوای اطلاعاتی, استفاده از روشهای خلاصه سازی, بویژه درمورد منابع متنی, را بسیار مورد توجه قرار داده است. خلاصه سازی به معنی خلاصه کردن متن های طولانی است به نحوی که معنای اصلی آن تغییر نکند. روشهای متعددی برای انجام عمل خلاصه سازی مطرح شده است. خلاصه سازی استخراجی به معنی استخراج بخش هائی از متن مانند جمله و پاراگراف به عنوان متن خلاصه است. در اسناد حجیم اطلاعاتی، خلاصه سازی متون یک مسئله غیر قابل حل است . لذا برای حل آن از روشهای بهینه سازی استفاده می‌شود. در این مقاله، از روش جستجوی فاخته برای بهبود عملکرد خلاصه سازی استخراجی استفاده شده است. روش پیشنهادی بر روی مجموعه ای از اسناد استاندارد Duc ۲۰۰۲ آزمایش و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که این روش, عملکرد بهتری در مقایسه با روش‌های مورد بررسی در این مقاله دارد.

کلمات کلیدی

روشهای خلاصه سازی متن، روشهای فرا اکتشافی, روش استخراجی، روش بهینه سازی جستجوی فاخته

مقدمه

گسترش روز افزون شبکه های جهانی و لزوم امکان دسترسی های سریع به منابع اطلاعاتی, بخصوص منابع متنی، باعث شده است که خلاصه سازی متون بسیار مورد توجه قرار گیرد. خلاصه سازی یکی از تکنیکهائی است که امکان بررسی اجمالی متن ها را میسر نموده و به تصمیم گیری‌های کاربران کمک می‌کند[۱].

روشهای خلاصه سازی از نظر نحوه خلاصه کردن به دو گروه استخراجی و انتزاعی تقسیم بندی می شود[۲]. خلاصه سازی استخراجی به معنی استخراج قسمت هایی از متن مانند جمله و پاراگراف به عنوان متن خلاصه است که در این مقاله مورد بررسی و بهبود قرار گرفته است.

روش های متعددی برای خلاصه سازی استخراجی مطرح شده است. یکی ازاین روشها روش TFIDF است[۴, ۳]. دراین روش، وزن دهی بر اساس تکرار کلمات و معکوس تکرار جملات است که تکرار جملات، به تعداد جملاتی در سند که شامل آن کلمات باشد، اطلاق می شود. در این روش به ازای هر جمله بخشهایی از آن ممکن است در سایر جمله ها تکرار شود. مزیت این روش این است که خیلی روش ساده ای است و عیب آن هم این است که ممکن است تعداد تکرار یکسری کلمات که اهمیت زیادی ندارند، فراوان باشد و خلاصه سازی را به انحراف بکشاند. در اسناد معمولا توالی موضوعات به گونه‌ای است که موضوعات مختلف را یکی پس از دیگری به صورت سازماندهی شده در می‌آورند. این سازماندهی به ساختار خلاصه نیز اعمال می شود. برخی از خلاصه‌گرها جهت جمع‌بندی این جنبه‌ها از روش خوشه بندی استفاده می‌کنند[۵]. در خوشه بندی، شباهت بین جملات بر اساس یکسری پارامترها بررسی می شود و جملات شبیه به هم در یک خوشه قرار می گیرند و هر خوشه بیانگر یک موضوع است. در نتیجه در هر خوشه جملاتی که بیشترین شباهت را به موضوع خوشه دارند و امتیاز بالایی کسب کردند، جهت خلاصه انتخاب می‌شوند. مزیت این روش این است که موضوعات هر متن را به خوبی می‌توان تشخیص داد و عیب آن این است که انتخاب تعداد خوشه ها نقش مهمی دارد و ممکن است این تعداد خیلی زیاد یا خیلی کم باشد و نتواند نتیجه درستی در خلاصه سازی ایجاد کند یا به عبارت دیگر انتخاب بهینه تعداد خوشه های جملات از یک سند متنی مشکل است.

در روش دیگر خلاصه سازی استخراجی، از مجموعه داده‌هایی استفاده می شود که توسط انسان برچسب گذاری شده است. به عبارت دیگر مجموعه ای از متن ورودی و خلاصه همین متن های ورودی را در اختیار داریم. در این روش ابتدا متن طبق یکسری پارامترها به بخش‌هایی تبدیل گردیده و هر بخش بر اساس یکسری ویژگی (تعداد تکرار کلمات در هر بخش، محل قرار گیری هر کلمه در هر بخش و تعداد کلمات عنوان در هر بخش) نمایش داده می شود[۶]. سپس بعد از استخراج ویژگی ها از هر بخش, از یک روش یادگیری با ناظر جهت آموزش خلاصه ساز استفاده می شود. این روش ها عبارتند از درخت تصمیم گیری، قانون بیز،

شبکه های عصبی و منطق فازی[۸, ۷]. عیب این روش‌ها این است که در اسناد بزرگ دقت پایین می‌آید و همچنین سرعت نیز کاهش پیدا می‌کند بدلیل اینکه تعداد مقایسه ها زیاد می‌شود. در روش منطق فازی مشکل بزرگی که وجود دارد این است که اگر قوانین تعریف شده مناسب نباشند، دقت پایین می‌آید. روش دیگر خلاصه سازی استخراجی متون، روش های فرا اکتشافی هستند که هدف اصلی این روش ها در خلاصه سازی متن, پیدا کردن جملات با درجه امتیاز بالا است که از جمله این روش ها می‌توان روش ژنتیک[۹] روش PSO [۱۰] و روش BFOA [۱۱] را نام برد. عیب این روش‌ها این است که ممکن است در ماکزیمم یا مینیمم های محلی نتایج نادرستی را ایجاد نمایند.

اصلی‌ترین مشکل خلاصه سازی استخراجی ازدیاد حجم اطلاعاتی اسناد و بزرگ بودن فضای جستجو است که سبب می شود مسئله غیر قابل حل شود. برای کارکردن با متن‌های بزرگ که از تعداد کلمات بسیار زیادی تشکیل شده است، امتیازدهی و مهمتر از آن انتخاب جملات بسیار مشکل است و باعث کاهش سرعت و دقت خلاصه سازی می‌شود. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های بهینه سازی فرا اکتشافی می تواند در حل مشکل و رسیدن به جواب بهینه، موثر عمل کند. با توجه به اینکه روش های بهینه سازی درماکزیمم یا مینیمم های محلی متوقف می شوند از روش بهینه سازی جستجوی فاخته استفاده می‌کنیم. نتایج نشان می دهد که این روش نسبت به سایر روش های قبلی عملکرد بهتری از خود نشان می دهد.

در ادامه, ساختار مقاله چنین سازماندهی شده است : در بخش دوم ابتدا تعاریف و مفاهیم اصلی را تعریف می‌کنیم، سپس در بخش سوم روش پیشنهادی مطرح و ویژگی های آن را ذکر خواهیم کرد و در بخش چهارم آزمایش های انجام شده و مقایسه نتایج بدست آمده با سایر روش ها را بیان خواهیم کرد.

تعاریف و مفاهیم اولیه

خلاصه سازی عبارت است از فرایند خلاصه کردن اطلاعات مهم یک منبع یا منابع اطلاعاتی به منظور تولید نسخه خلاصه شده برای یک کاربر یا کاربران خاص بر اساس وظیفه یا وظایف خاص[۱۲]. روش خلاصه سازی استخراجی شامل انتخاب جملات مهم، پاراگراف از متن اصلی و اتصال آن ها به هم به صورت یک فرم کوتاهتراست. مهمترین ویژگی این روش سادگی، بالا بودن سرعت خلاصه سازی، کاهش هزینه‌ها و از همه مهمتر کاهش زمان مطالعه است. معایب این روش نیز این است که جملات استخراج شده ممکن است بیشتر از حد متوسط باشد و اطلاعات مهم و مرتبط ممکن است بین جملات پخش شده باشد و روش استخراجی نتواند آنها را شناسایی کند.

معماری خلاصه سازی استخراجی در دو مرحله پیش پردازش و پردازش صورت می‌گیرد، که در مرحله پیش پردازش شناسایی پایان جملات، حذف کلماتی که معنی خاصی ندارند و ریشه یابی کلمات صورت می‌گیرد و در مرحله پردازش، میزان تاثیر و ارتباط جملات با موضوع اصلی شناسایی شده و به هرکدام وزنی اختصاص داده می‌شود و نهایتا جملات با بیشترین امتیاز جهت متن خلاصه شده نهایی انتخاب می شوند.

روش بهینه سازی جستجوی فاخته

روش جستجوی فاخته (CS) یک روش بهینه سازی فرا اکتشافی است که در کشف راه حل های بهینه استفاده می شود.

در این روش از رفتار گونه‌ای پرنده بنام فاخته در پرورش تخم الهام گرفته شده است. روش این پرنده به گونه ای است که با کمترین تلاش، برای بقا در مقایسه با سایرحیوانات، به بقا می رسد. آنها تخم خود را داخل آشیانه پرندگان دیگر می گذارند و به این ترتیب آنها را مجبور به شرکت در تولید مثل خود می کنند. اما در صورتی که تخم فاخته توسط پرنده میزبان شناسایی شود آن را از لانه بیرون می اندازد و یا آشیانه را ترک خواهد کرد[۱۳].

الگوریتم CS از سه قانون زیر تبعیت می‌کند:

۱) هرفاخته درهرزمان یک تخم می‌گذارد و آنرا دریک لانه‌ی تصادفی قرارمی‌دهد.

۲) بهترین لانه‌ها باکیفیت بالای تخم، نسل بعدی را تشکیل می‌دهند.

۳) تعدادلانه‌های میزبان ثابت است و تخمی که توسط فاخته گذاشته شده است، با احتمال زیاد توسط پرنده‌ی میزبان کشف می‌شود. دراین حالت پرنده‌ی میزبان می‌تواند تخم را دور بیاندازد یا لانه راترک کرده و لانه‌ای جدید بسازد. برای سادگی می‌توان تعداد لانه‌ها را با لانه‌های (راه‌حل‌های) جدید جایگزین نمود. بررسی‌های انجام‌شده بر روی CS نشان داد که این روش برای بسیاری از مسائل دارای کارایی مناسبی است.

۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی برای خلاصه‌سازی متن با استفاده از روش جستجوی فاخته CSOA ارائه شده است. در این روش ابتدا باید پیش پردازشی روی متن ورودی انجام شود. سپس با استفاده از روش وزن دهی TFIDF به جملاتی که از مرحله پیش پردازش استخراج می شوند وزن داده شود. در این روش وزن دهی بر اساس فرمول (۱) فرض می گردد, $freq_{l,j}$ تعداد تکرار کلمه i ام درجمله jام , $max_l freq_{l,j}$ ماکزیمم تعداد تکرار کلمه i ام درجمله jام , N تعداد جملات متن ورودی و n_i تعداد جملات شامل کلمه است.

$$tf_{i,j} = \frac{freq_{i,j}}{max_l freq_{l,j}} \qquad idf_i = log\frac{N}{n_i} \qquad (۱)$$

بعد از اینکه به جملات وزن داده شد باید از طریق رابطه (۲) ماتریس شباهت را بدست آورد. که این ماتریس، شباهت جملات با کلمات کلیدی و مهم را محاسبه میکند که در آن $W_{i,j}$ وزن هر کلمه و $w_{i,q}$ وزن عنوان و کلمات کلیدی کاربراست .

$$sim(s_i, q) = \frac{\sum_{i=1}^{t} w_{i,j} * w_{i,q}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{t} w_{i,j}^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{t} w_{i,q}^2}} \qquad (۲)$$

حال با استفاده از روش CSOA, جملات مهم و خلاصه از متن اصلی استخراج می گردد. روش پیشنهادی دارای پارامتر های اولیه است که باید برای شروع کار مقدار دهی شود. برای استفاده از این روش, تعداد پرنده ها برابر ۵۰ و تعداد تکرار حلقه برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. سپس تعداد کل جملات و تعداد جملات خلاصه و ماتریس شباهت را به عنوان پارامتر های ورودی به روش پیشنهادی می دهیم و بعد از خاتمه عملیات، جملات با امتیاز بالا انتخاب و به عنوان متن خلاصه نمایش داده می شوند.

مراحل کلی الگوریتم *CSOA* بدین صورت می‌باشد:

مرحله ۱) مقداردهی پارامترها

مرحله ۲) انتساب تصادفی جملات به پرنده ها.

مرحله ۳) ارزیابی پرنده ها بر اساس تابع هزینه.

مرحله ۴) بروز رسانی موقعیت پرنده ها.

مرحله ۵) اگر شرط پایان حلقه برقرار باشد آنگاه روش به پایان می‌رسدو جملات مهم نمایش داده می شود، در غیر اینصورت به مرحله ۳ باز می‌گردد. تابع هزینه توسط رابطه (۳) و (۴) محاسبه می شود که به ترتیب میزان وابستگی جملات با یکدیگر و خوانایی جملات خلاصه را محاسبه می‌کند.

$$CF_s = \frac{\log(C*9+1)}{\log(M*9+1)} \qquad (۳)$$

$$C_s = \frac{\sum_{\forall s_i,s_j \in Summary\ subgraph} W(s_i s_j)}{N_s}$$

$$RF_s = \frac{R_s}{max_{\forall i} R_i} \quad , \quad R_s = \sum_{0 \le i < s} W(s_i, s_{i+1}) \qquad (۴)$$

درروابط فوق فاکتور وابستگی باعث می‌شود که جملات خلاصه شده در مورد اطلاعات یکسانی صحبت کنند و فاکتور خوانایی جملات بیانگر آن است که در جملات خلاصه اولین، دومین و ... جمله خلاصه با میزان شباهت بالایی به یکدیگر مرتبط هستند. فاکتور وابستگی جملات با یکدیگر را با CF_S نشان می دهند که در آن C_S میانگین شباهت جملات موجود در خلاصه, M بیشترین وزن جمله, C میانگین شباهت همه جملات در خلاصه و N_s تعداد کل یال ها در خلاصه است. فاکتور خوانایی خلاصه ای به طول s نیز با RFs نمایش داده می شود.

۴- شبیه سازی و ارزیابی نتایج

برای ارزیابی خلاصه سازها در روش استخراجی از معیارهای چهارگانه استفاده می شود:

۱) ارزیابی بر پایه کیفیت متن: این ارزیابی به متن خلاصه شده بر اساس یکسری مقیاس از پیش تعریف شده امتیاز می دهد.

۲) ارزیابی بر پایه انتخاب: این ارزیابی بر اساس تطبیق جملات با هم انجام می شود.

۳) ارزیابی بر پایه محتوا: این ارزیابی بر اساس تطبیق کلمات با هم انجام می شود.

۴) ارزیابی بر پایه وظیفه: این ارزیابی کیفیت متن خلاصه را بر اساس تقاضای خواسته شده می سنجد.

انجام شبیه سازی در روش پیشنهادی بر اساس روش دوم (تطبیق جملات با یکدیگر) انجام و شبیه سازی شده است. در این روش خلاصه استخراج شده از متن اصلی با خلاصه ایده آل مقایسه می شود. جهت ارزیابی از معیارهای *دقت, فراخوانی و امتیاز* استفاده می شود[۱۴] که به ترتیب در روابط (۵) و (۶) و (۷) مشاهده می کنید.

معیار دقت, در خلاصه سازی متن به معنی اشتراک جملات خلاصه استخراج شده و جملات خلاصه ایده آل، تقسیم بر تمامی

جملات استخراج شده برای خلاصه است. معیار فراخوانی, اشتراک جملات مرتبط با جملات بازیابی شده، تقسیم بر کل اسناد مرتبط است.

$$Precision = \frac{RelevantSentences \cap RetrievedSentences}{RetrievedSentences} \quad (۵)$$

$$Recall = \frac{RelevantSentences \cap RetrievedSentences}{RelevantSentences} \quad (۶)$$

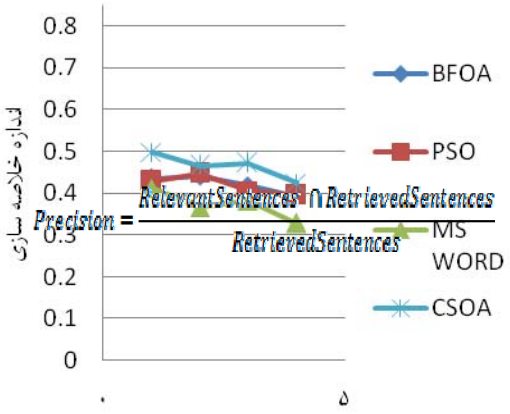
$$F-score = \frac{۲ * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (۷)$$

معیار امتیاز, یک معیار آماری است که ترکیبی از معیار دقت و معیار فراخوانی است و امتیاز جملات انتخاب شده نهائی را در خلاصه تولید شده معین می کند.

از آنجایی که محاسبه این معیارها کمی دشوار و زمان گیر است، برای ارزیابی از نرم *روج* استفاده شده است که دارای بسته های مختلفی جهت ارزیابی متن خلاصه است. این نرم افزار معیارهای ذکر شده را بررسی و نتایج را نمایش می دهد. برای ارزیابی روش ارائه شده از نمونه اسناد استاندارد *داک ۲۰۰۲* نظیر *d061j,d067f d070f ,d105* استفاده و نتایج بدست آمده با روش های دیگر نظیر PSO, نرم افزار MSWord و BFOA مقایسه شده است که نتایج آزمایش ها در جدول شماره (۱) مشاهده می شود.

جدول ۱) مقایسه روش ها بر اساس نتایج F-SCORE

DOC	CSOA	PSO	MS WORD	BFOA
d061j	۰.۴۹۷۲۱	۰.۴۲۸۲۹	۰.۴۱۲۰۱	۰.۴۳۰۴۳
d067f	۰.۴۶۴۷۶	۰.۴۴۶۳۷	۰.۳۶۲۲۵	۰.۴۴۱۲۶
d070f	۰.۴۷۱۲۶	۰.۴۰۶۱۶	۰.۳۸۱۷۹	۰.۴۱۷۶۵
d105g	۰.۴۳۴۹۱	۰.۳۹۰۱۷	۰.۳۲۷۷۳	۰.۳۹۱۲۱



شکل۱: مقایسه روشهای BFOA ,PSO ,MSWORD ,CSOA

نتیجه‌گیری

در این مقاله با بررسی بر روی روش های خلاصه سازی استخراجی, مزایا و معایب هر روش را بیان کردیم. سپس روش جستجوی فاخته را مطرح نموده و از آن در خلاصه سازی استخراجی متن استفاده کردیم، سپس نحوه امتیاز دهی و انتخاب جملات خلاصه را بیان نموده و در نهایت روش پیشنهادی را با مجموعه اسناد استاندارد *داک ۲۰۰۲* مورد آزمایش قرار دادیم و توسط نرم افزار ارزیابی *روج*, نتایج بدست آمده را تحلیل و با سایر روش ها مقایسه کردیم و نشان دادیم که این روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش های بررسی شده در این مقاله را دارد.

مراجع

[1] Das, D. and Martins, A., "*A Survey on Automatic Text Summarization*", Language Technologies Institute Carnegie Mellon University, November 2007.

[2] Hovy, E., *Text summarization*, chapter The Oxford Handbook of Computational Linguistics, 2005.

[3] Garcia-Hernandez, R., and Ledeneva, Y., "*Word Sequence Models for Single Text Summarization*", in Advances in Computer-Human Interactions, pp. 44-48, 2009.

[4] Ledeneva, Y., and Gelbukh, A., and Hernández R., "*Terms derived from frequent sequences for extractive text summarization*", in Proceedings of the 9th international conference on Computational linguistics and intelligent text processing, pp. 593-604, 2008.

[5] Zhang, P., and Li,C.,"*Automatic text summarization based on sentences clustering and extraction*", in Computer Science and Information Technology 2nd IEEE International Conference on, pp. 167-170, 2009.

[6] Chuang, W., and Yang, J., "*Text Summarization by Sentence Segment Extraction Using Machine Learning Algorithms*", in Knowledge Discovery and Data Mining.Current Issues and New Applications.vol.1805, pp. 454-457, 2000.

[7] Suanmali, L., and Salim, N., and Salem Binwahlan, M., "*Fuzzy Logic Based Method for Improving Text Summarization*", International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), vol. 2, Jun 2009.

[8] Song, W., and Cheon Choi, L., and Cheol Park, S., and Feng Ding, X., "*Fuzzy evolutionary optimization modeling and its applications to unsupervised categorization and extractive summarization*", Expert Systems with Applications, vol. 38, pp. 9112-9121, 2011.

[9] Fattah, A., and Ren, F., "*GA, MR, FFNN, PNN and GMM based models for automatic text summarization*", Computer Speech & Language, vol. 23, pp. 126-144, 2009.

[10] Oi-Mean, F., and Oxley, A., "*A hybrid PSO model in Extractive Text Summarizer*", in Computers & Informatics (ISCI), 2011 IEEE Symposium on, pp. 130-134, 2011.

[11] Asgari, H., and Masoumi, B., "*Provide a method to improve the performance of text summarization using bacterial foraging optimization algorithm*", the seventh iran data minig conference, Dec.10 2013.

[12] Uddin, N., and Khan S., "*A study on text summarization techniques and implement few of them for Bangla language*", in Computer and information technology, pp. 1-4, 2007.

[13] Samiksha, Punam, "*Cuckoo Search Clustering Algorithm: A ovel strategy of biomimicry*", World Congress on Information and Communication Technologies, 2011.

[14] Abuobieda, A., and Salim, N., and Kumar, Y., and Osman, A., "*An Improved Evolutionary Algorithm for Extractive Text Summarization*", in Intelligent Information and Database Systems. vol. 7803, pp. 78-89, 2013.

بهبود عملکرد خلاصه سازی متن با استفاده از روش قطره آب هوشمند

احسان اکبر
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

بهروز معصومی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

چکیده

با رشد سریع شبکه جهانی وب و به وجود آمدن سایت ها و منابع متنی بر خط، خلاصه سازی متن بسیار مورد توجه محققین در این حوزه قرار گرفته است. از بین دسته بندی های ارائه شده برای خلاصه سازی متن، خلاصه سازی استخراجی به معنی استخراج عینی قسمت هایی از متن مانند جمله و پاراگراف به عنوان متن خلاصه است. در صورت وجود اسناد با حجم اطلاعاتی بالا، مسئله خلاصه سازی استخراجی متن بصورت مسئله *NP-Complete* مطرح می شود. برای حل اینگونه مسائل از الگوریتم های فرااکتشافی استفاده می شود. در این مقاله، روش ترکیبی برای بهبود عملکرد خلاصه سازی استخراجی متن بر پایه الگوریتم قطره آب هوشمند ارائه شده است که از رفتار رودخانه طبیعی و حرکت آب در رودخانه الهام گرفته شده است. روش پیشنهادی در این مقاله بر روی مجموعه اسناد *DOC 2007*آزمایش و توسط نرم افزار ارزیاب *ROUGE* مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از آزمایش های انجام گرفته در مقایسه با سایر روش ها نشان می دهد که این روش عملکرد بهتری نسبت به سایر روش ها دارد.

کلمات کلیدی

خلاصه سازی متن، روش استخراجی، الگوریتم قطره آب هوشمند.

مقدمه

با رشد روز افزون دنیای اطلاعات و دسترسی گسترده افراد به اینترنت و به وجود آمدن سایت ها ومنابع متنی بر خط، بررسی و مطالعه مطالب مورد نیاز باعث شده است که خلاصه سازی متون بسیار مورد توجه قرار گیرد. خلاصه سازی متن یکی از راهکارهایی است که به کاربران امکان بررسی اجمالی کلیه متون مرتبط با موضوع مورد نیاز خود را داده و در نتیجه به تصمیم گیری های بعدی کاربر کمک می کند. تحقیقات اولیه بر روی خلاصه سازی متن در اواخر دهه ۱۹۵۰ پیشنهاد شد که در آن خلاصه کردن متن توسط کامپیوتر امکان پذیر شد [۱]. از جمله این تحقیقات می توان به تحقیق LUM 1959 ، edmundson و ۱۹ Salton اشاره کرد.

خلاصه سازی متن از نظر نحوه خلاصه کردن به دو دسته استخراجی و انتزاعی تقسیم بندی می شود [۲]. البته دسته بندی های دیگری برای خلاصه سازی مطرح شده است که یک نوع آن از نظر تعداد سند ورودی است که شامل دسته های تک سندی و چند سندی است، دسته بندی دیگر بر اساس هدف خلاصه سازی است که شامل دسته های بر اساس هدف خلاصه سازی است که شامل دسته های بر پایه پرس و جو و عمومی است. [۳]. خلاصه سازی استخراجی به معنی استخراج عینی قسمت های از متن مانند جمله و پاراگراف به عنوان متن خلاصه است که در این مقاله مورد بررسی و بهبود قرار گرفته است. خلاصه سازی انتزاعی مبتنی بر فهم متن و بازنویسی آن در چند جمله است که با استفاده از روش های زبان شناسی صورت می گیرد.

روشهای مختلفی برای خلاصه سازی استخراجی متن مطرح شده است. یکی از این روش ها TFIDF است [۵،۴]. در این روش، وزن دهی بر اساس تکرار کلمات و معکوس تکرار جملات است که تکرار جملات، به تعداد جملاتی در سند که شامل آن کلمات باشد، اطلاق می شود. در این روش به ازای هر جمله، بخش هایی از آن ممکن است در سایر جملات تکرار شوند. مزیت این روش این است که خیلی روش ساده ای است و عیب این روش هم این است که ممکن است تعداد تکرار در یکسری کلماتی که اهمیت زیادی ندارند، فراوان باشد و خلاصه را به انحراف بکشاند. اسناد معمولا به گونه ای نوشته می شوند که موضوعات مختلف را یکی پس از دیگری به صورت سازمان دهی شده می آورند. این موضوعات در قالب جملات بطور صریح یا ضمنی نوشته می شوند. این سازمان دهی به ساختار خلاصه نیز اعمال می شود. برخی از خلاصه گرها جهت جمع بندی این جنبه ها از روش خوشه بندی استفاده می کنند. [۶]. در خوشه بندی میزان شباهت بین جملات بر اساس یکسری پارامترها بررسی می شوند و جملات مشابه در یک خوشه قرار می گیرند و هر خوشه. بیانگر یک موضوع است. سپس در هر خوشه جملاتی که بیشترین شباهت را به موضوع خوشه داشتند و امتیاز بالایی کسب کردند جهت خلاصه انتخاب می شوند. مزایای این روش این است که موضوعات هر متن را به خوبی می توان تشخیص داد و عیب آن این است که انتخاب تعداد خوشه ها نقش مهمی دارد و ممکن است این تعداد خیلی زیاد یا خیلی کم باشد و نتواند نتیجه درستی در خلاصه سازی ایجاد و یا به عبارت دیگر انتخاب بهینه تعداد خوشه های جملات از یک سند متنی مشکل است.

روش دیگر خلاصه سازی استخراجی متن، از مجموعه داده های استفاده می شود که توسط انسان بر چسب گذاری شده است. به عبارت دیگر مجموعه ای از متن ورودی و خلاصه همین متن های ورودی را در اختیار داریم. این روش ابتدا متن را طبق یکسری پارامتر ها به بخش هایی تبدیل می کند و هر بخش را بر اساس یکسری ویژگی (تعداد تکرار کلمات در هر بخش، محل قرار گیری هر کلمه در هر بخش و تعداد کلمات عنوان در هر بخش) نمایش می دهد [۷]. سپس بعد از استخراج ویژگی ها از هر بخش از یک الگوریتم یادگیری با ناظر جهت آموزش خلاصه گر استفاده می کند. این الگوریتم ها عبارتند از: درخت تصمیم، قانون بیز، شبکه عصبی، و منطق فازی [۸و۹] است. عیب این روش ها این است که در اسناد بزرگ دقت پایین می آید و همچنین سرعت نیز کاهش پیدا می کند بدلیل اینکه تعداد مقایسه ها زیاد می شود. در روش منطق فازی دو مشکل بزرگی که وجود دارد این است که اگر قوانین تعریف شده مناسب نباشند، دقت پایین می آید. روش دیگر خلاصه سازی استخراجی متن، الگوریتم های فرا اکتشافی هستند که هدف اصلی این الگوریتم ها در خلاصه سازی متن پیدا کردن جملات با امتیاز است که از جمله ا ین الگوریتم ها می توان الگوریتم ژنتیک و الگوریتم pso را نام برد [۱۰و۱۱] . عیب این روش این است که ممکن است در ماکزیمم یا مینیمم های محلی توقف کند و نتایج نادرستی بدست آید.

اصلی ترین چالشی که می توان در خصوص خلاصه سازی استخراجی متن اشاره کرد، بالا بودن حجم اطلاعات اسناد و بزرگ بودن فضای جستجو است که باعث بوجود آمدن مسئله NP- Complete می شود. برای کار کردن با متن های بزرگ که از تعداد کلمات بسیار زیاد تشکیل شده است، امتیاز دهی و مهمتر از آن انتخاب جملات بسیار مشکل می شود و باعث کاهش سرعت و دقت خلاصه سازی می شود. در چنین شرایطی استفاده از روش های فرا اکتشافی می تواند راه گشا بوده و در حل مشکل و رسیدن به جواب بهینه، موثر عمل می کند. در این مقاله با استفاده از الگوریتم قطره آب هوشمند نتایج بهینه ی نسبت به سایر روش های قبلی بدست آمده است.

درادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم ابتدا مفاهیم اصلی را تعریف می کنیم، سپس در بخش سوم الگوریتم های پیشنهادی را مطرح و ویژگی های آن را ذکر خواهیم کرد و در بخش چهارم آزمایش های انجام شده و مقایسه نتایج بدست آمده با سایر روش ها را بیان خواهیم کرد.

تعاریف و مفاهیم اولیه

خلاصه سازی استخراجی متن

خلاصه سازی متن عبارت است از فرایند تولید عصاره ای از اطلاعات مهم یک منبع یا منابع به منظور تولید نسخه خلاصه شده برای یک کاربر یا کاربران خاص و وظیفه یا وظیفه یا وظایف خاص [۱۲]. روش خلاصه سازی استخراجی شامل انتخاب جملات مهم، پاراگراف از متن اصلی و اتصال آن ها به هم به صورت یک فرم کوتاهتر می باشد. از مزایای این روش می توان به سادگی، بالا بودن سرعت خلاصه سازی، کاهش هزینه ها و از همه مهمتر کاهش زمان مطالعه کاربران اشاره کرد. از معایب این روش هم می توان اشاره کرد که جملات استخراج شده ممکن است بیش از حد متوسط باشد و همچنین اطلاعات مهم و مرتبط ممکن است بین جملات پخش شده باشد و روش استخراجی نتواند آن ها را شناسایی کند.

معماری کلی خلاصه سازی استخراجی در دو مرحله پیش پردازش و پردازش صورت می گیرد، که در مرحله پیش پردازش شناسایی پایان جملات، حذف کلماتی که معنی خاصی ندارند و ریشه یابی کلمات صورت می گیرد و در مرحله پردازش ، میزان تاثیر و ارتباط جملات با موضوع اصلی، شناسایی شده و به هر کدام وزنی اختصاص داده می شود و نهایتا جملات با بیشترین امتیاز جهت متن خلاصه شده نهایی انتخاب می شوند.

الگوریتم قطره آب هوشمند

یک رودخانه طبیعی اغلب بهترین مسیر را از مبدا تا مقصد از بین مسیرهای گوناگون انتخاب می کند. این مسیر بهینه از تعاملات قطرات آب با بستر رودخانه ایجاد می شود . الگوریتم قطره آب هوشمند یا به اختصار IWD یک الگوریتم هوش تجمعی است که الهام گرفته از حرکت قطره های آب در بستر رودخانه می باشد[۱۳].

سیستم های طبیعی که در مدت بسیار طولانی گسترش یافته اند یکی از منابع غنی برای الهام گیری سیستم های هوشمند است. یکی از جدیدترین الگوریتم های ارائه شده در هوش جمعی الگوریتم قطره آب هوشمند است. با نگاه کردن به رودخانه در طبیعت متوجه می شویم که در مسیر رودخانه پیچ و خم های زیادی وجود دارد. مسئله که ممکن است ما به آن فکر کنیم این است که چرا این مسیر ها ایجاد شده است؟ و آیا دلیل منطقی برای ایجاد این مسیرها وجود دارد؟ آیا می توانیم مکانیسم رودخانه را مدل کرده و در قالب یک الگوریتم ارائه دهیم.الگوریتم IWD دارای دو مولفه اصلی است: سرعت وخاک. این دو مولفه در طول حرکت قطره یا IWD تغییر می کند. یک قطره با گذشتن از مسیر ممکن است مقداری خاک از دست بدهد و مقداری سرعت به دست بیاورد، سرعت IWD ممکن است از محل فعلی تا بعدی تغییر کند، بنابراین یک مسیر با خاک کمتر، به IWD اجازه می دهد سرعت بیشتری داشته باشد یک IWD ممکن است در طول مسیر خاک بدست آورد.

یک IWD نیاز به مکانیزم برای انتخاب مسیر بعدی دارد، در این مکانیزم IWD مسیری را انتخاب می کند که دارای خاک کمتر باشد. رفتار انتخاب مسیر بوسیله یک توزیع تصادفی یکنواخت پیاده سازی می شود. بنابراین احتمال انتخاب مسیر بعدی برابر است با نسبت معکوس خاک موجود در مسیر. بنابراین مسیر با خاک کمتر شانس بیشتری برای انتخاب شدن متوسط IWD دارد.

الگوریتم IWD یک مسئله را در قالب یک گراف (N,E) graph دریافت می کند که در اینجا (N) تعداد گره (E) تعداد یان هاست. هر IWD با حرکت روی گراف شروع به ساختن هر تکرار بهترین راه حل تکرار T^{IB} پیدا میشود مقدار خاک بر روی بهترین T^{IB} بر اساس مقدار کیفیت کمتر می شود، پس از آن الگوریتم یک تکرار دیگر را به قطره های جدید شروع می کند و تمام فرآیند ها دوباره شروع می شود. الگوریتم وقتی به $iter_{max}$ یا اینکه به مقدار راه حل مورد انتظار T^{IB} بر N ، متوقف می شود. الگوریتم IWD شامل دو نوع پارامتر static و dynamic بوده پارامتر static در طول الگوریتم ها یک است و پارامتر های dynamic در طول اجرا تغییر می کند.

مراحل این الگوریتم بصورت زیر است:

۱- مقداردهی پارامتر های Static : گراف (N,E) به الگوریتم داده می‌شود. و مقدار T^{IB} با بدترین مقدار، مقدار دهی می‌شود. (T^{IB}) q ، مقدار $iter_{max}$ توسط کاربر تعیین می‌شود. تعداد قطره های آب بهتر است که برابر با تعداد گره ها باشد. پارامتر های بروز رسانی سرعت برابر با a_v C_v = 1 b_v=1 پارامترهای بروز رسانی خاک را a_s = 1 b_s=1قرار می دهیم مقدارp_n و p_{IWD} را برابر با ۰.۹ قرار می دهیم. مقدار اولیه خاک بر روی هر مسیر بین دو Node i و j را soil (i , j)=init soil و مقدار سرعت اولیه هر IWD را برابر با initvel قرار می‌دهیم.

۲- مقدار دهی مقادیر پویا هر IWD دارای یک لیست از Node های ملاقات شده است که با (v_c (IWD) نمایش داده می‌شود که در لحظه اول خالی است، سرعت هر IWD مقدار دهی می‌شود و خاک آن برابر با صفر قرار داده می‌شود.

۳- تمام IWD را بصورت Random روی هر یک از Node های طرف قرار می دهیم، و v_c هر یک از IWD را برابر با Node های ملاقات شده قرار می‌دهیم.

۴- گام های ۴-۱ تا ۴-۴ را برای پیداکردن راه حل جزئی تکرار می‌کنیم.

۴-۱ ، برای قطره‌ای که در گره ی i مستقر است احتمال رفتن به j از فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

(۱)

$$P_i^{IWD}(j) = \frac{f(soil(i,j))}{\sum_{k \notin vc(IWD)} f(soil(i,k))}$$

که در آن

$$f(soil(i,j)) = \frac{1}{\varepsilon_s + g(soil(i,j))} \qquad (2)$$

$$g(soil(i,j)) = \begin{cases} soil(i,j) & \min_{l \notin v_c(IWD)}(soil(i,l)) \geq 0 \\ soil(i,j) - \min_{l \notin v_c(IWD)}(soil(i,l)) & \min_{l \notin v_c(IWD)}(soil(i,l)) < 0 \end{cases} \qquad (3)$$

و در پایان گره ملاقات شده j را به لیست , IM اضافه می کنیم.

۴-۲ برای هر IWD حرکت داده‌شده از i به j مقدار سرعت را بروز رسانی می‌کنیم .

$$vel^{IWD}(t+1) = vel^{IWD}(t) + \frac{a_v}{b_v + c_v . soil^2(i,j)} \qquad (4)$$

۴-۳ برای IWD حرکت داده‌شده از i به j مقدار $\Delta soil$ که برابر با خاکی که قطره از مسیر با خود حمل کرده است را محاسبه می‌کنیم . مقدار HUD(j) بر اساس نوع مسئله تعیین می‌شود.

$$\Delta soil(i,j) = \frac{a_s}{b_s + c_s . time^2(i,j;vel^{IWD}(t+1))} \qquad (5)$$

که در آن

$$time(i,j;vel^{IWD}(t+1)) = \frac{HUD(j)}{vel^{IWD}(t+1)} \qquad (6)$$

۴-۴ مقدار خاک مسیر را که قطره از آن عبور کرده است را soil(i ,j) محاسبه می‌کنیم و در ضمن مقدار خاک قطره را که حل شده است را به‌روزرسانی می‌کنیم soil :

$$soil(i,j) = (1-\rho_n).soil(i,j) - \rho_n.\Delta soil(i,j) \qquad (7)$$

$$soil^{IWD} = soil^{IWD} + \Delta soil(i,j) \qquad (8)$$

۵- بهترین راه حل که توسط قطره‌ها پیدا شده است را مقداردهی می‌کنیم که در آن تابع q مقدار کیفیت جواب Q می‌باشد.

$$T^{IB} = \arg\max_{\forall T^{IWD}} q(T^{IWD}) \qquad (9)$$

۶- مقدار خاک مسیر بهدست آمده را به روز رسانی می‌کنیم که تعداد گره‌ها در راه حل می‌باشد.

(10)

$$soil(i,j) = (1+\rho_{IWD}).soil(i,j) - \rho_{IWD} \cdot \frac{1}{N_{IB}-1} . soil_{IB}^{IWD}$$
$$\forall (i,j) \in T^{IB}$$

۷- مقادیر جواب بهینه را بروز رسانی می‌کنیم:

(11)

$$T^{TB} = \begin{cases} T^{TB} & if \quad q(T^{TB}) \geq q(T^{TB}) \\ T^{TB} & o.w \end{cases}$$

۸- مقادیر شمارش را افزایش می دهیم:

$$Iter_{Count} = Iter_{Count} + 1 \quad then\ go\ to\ step\ 2\ if\ \ Iter_{Count} < Iter_{\max} \tag{12}$$

۹- الگوریتم متوقف می‌شود.

روش پیشنهادی برای خلاصه سازی متون

در این بخش روش پیشنهادی برای خلاصه سازی متن با استفاده از الگوریتم IWD ارائه می شود. در روش پیشنهادی برای خلاصه سازی متون، ابتدا باید پیش پردازشی روی متن ورودی انجام شود به همان صورت که در بخش (۲-۱) اشاره کردیم. سپس با استفاده از روش وزن دهی TFIDF به جملاتی که از مرحله پیش پردازش استخراج می شوند وزن داده می‌شود. در این روش وزن دهی (۴) فرض می گردد $ferq_{ij}$ تعداد تکرار کلمه i ام در جمله j ام است و $\max_j ferq_{ij}$ ماکزیمم تعداد تکرار کلمه i ام در جمله J ام است و N تعداد جملات متن ورودی است و n_i تعداد جملات شامل کلمه است.

$$tf_{i,j} = \frac{ferq_{i,j}}{\max_i ferq_{i,j}} tf_i = Log\frac{N}{n_1} \tag{13}$$

بعد از اینکه به جملات وزن داده شد باید توسط رابطه (۵) ماتریس شباهت را بدست آوریم. که این ماتریس، شباهت جملات با کلمات کلیدی و مهم را محاسبه می کنند.

$$sim(s_t, q) = \frac{\sum_{i=1}^{t} w_{i,j} \times w_{i,q}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{t} w_{i,j}^2 \times \sum_{i=1}^{t} w_{i,q}^2}} \tag{14}$$

حال باید اطلاعات بدست آمده از مراحل بالا را وارد الگوریتم IWD کنیم و جملات مهم و خلاصه را از متن اصلی استخراج کنیم. الگوریتم پیشنهادی دارای یکسری پارامتر های اولیه است که باید برای شروع کار مقدار دهی شود. برای استفاده از این الگوریتم در خلاصه سازی ما تعداد قطره ها را برابر با تعداد جملات متن، سپس تعداد کل جملات و تعداد جملات خلاصه و ماتریس شباهت را به عنوان پارامترهای ورودی به الگوریتم IWD می دهیم و بعد از اینکه الگوریتم خاتمه یافت، جملات با امتیاز بالا انتخاب و به عنوان متن خلاصه نمایش داده می‌شوند. مراحل کلی الگوریتم IWD بدین صورت می‌باشد:

مرحله ۱: مقدار دهی پارامترهای الگوریتم IWD.

مرحله ۲: انتساب تصادفی جملات به IWD.

مرحله ۳: ارزیابی IWD ها بر اساس تابع هزینه.

مرحله ۴: حرکت IWD وایجاد راه حل جدید.

مرحله ۵: اگر راه حل جدید از بدترین راه حل IWD بهتر بود، آنگاه با راه حل جدید جایگزین می‌شود.

مرحله ۶: بروز رسانی مقادیر خاک مسیر.

مرحله ۷: اگر شرط پایان حلقه برقرار باشد آنگاه الگوریتم به پایان می رسد و جملات مهم نمایش داده می‌شود، در غیر اینصورت به مرحله ۳ باز می‌گردد.

تابع هزینه توسط رابطه (۱۵) و (۱۶) و (۱۷) محاسبه می‌شود که به ترتیب میزان وابستگی جملات با یکدیگر و خوانایی جملات خلاصه را محاسبه می‌کند. فاکتور وابستگی باعث می‌شود که جملات موجود در خلاصه در مورد اطلاعات یکسانی صحبت کنند و فاکتور خوانایی جملات بیانگر آن است که در جملات خلاصه اولین، دومین و ... جمله خلاصه با میزان شباهت بالایی به یکدیگر مرتبط هستند. فاکتور وابستگی جملات با یکدیگر را با CF_s نشان می‌دهند که در آن C_s میانگین شباهت جملات موجود در خلاصه است و M بیشترین وزن جمله است. فاکتور خوانایی خلاصه‌ای به طول s را نیز با RF_s نمایش داده می‌شود.

$$CF_s = \frac{\log(c \times 9 + 1)}{\log(M \times 9 + 1)} \tag{15}$$

$$C_s = \frac{\sum_{\forall Si, Sj \in Summary\ Subgraph} w(s_i s_g)}{} \tag{16}$$

$$RF_s = \frac{R_s}{\max_{\forall t} R_t}, \qquad R_s = \sum W(s_t, s_{t+1}) \tag{17}$$

از آنجایی که محاسبه این معیارها کمی دشوار و زمان گیر است، ما برای ارزیابی از نرم‌افزاری اتوماتیک به نام ROUGE استفاده کردیم که این نرم افزار به زبان Perl است و دارای بسته‌های مختلفی جهت ارزیابی متن خلاصه است. این نرم افزار معیارهای ذکر شده را بررسی و نتایج را نمایش می‌دهد. برای ارزیابی روش پیشنهادی از اسناد استاندارد DUC 2007 استفاده کردیم و نتایج بدست آمده را توسط این نرم افزار بررسی و با روش های PSO و نرم‌افزار خلاصه ساز MS Word مقایسه کردیم که در جدول (۱) و شکل مشاهده می‌کنید.

F-score			
	IWD	PSO	MS-word
D01j	0.48926	0.39124	0.30765
D067f	0.47989	0.44012	0.32454
D073b	0.61221	0.56213	0.39676
D079a	045112	0.41921	0.32556

جدول (۱): مقایسه روش ها بر اساس نتایج F-SCORE

نتیجه گیری

در این مقاله بررسی اجمالی بر روی روش های خلاصه سازی استخراجی متن انجام شد و مزایا و معایب هر روش را ذکر کردیم سپس الگوریتم IWD را مطرح کردیم و از آنها در خلاصه سازی استخراجی متن استفاده کردیم، سپس نحوه امتیاز دهی و انتخاب جملات خلاصه را بیان کردیم و در نهایت روش پیشنهادی را با مجموعه اسناد استاندارد DUC2007 نتایج بدست آمده را تحلیل و با سایر روش ها مقایسه کردیم و نشان دادیم که این روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش ها دارد.

مراجع

[1] Das, D. and Martins, A., "A Survey on Automatic Text Summarization" , Language Technologies Institute Carnegie Mellon University, November 2007.

[2] Hovy E.,Text summarization, chapter The Oxford Handbook of Computational Linguistics,2005

[3] Gupta, V., "A Survey of Text summarization Extractive Techuiques", Jourual of Emerging Technilogies in web Iutelligence, vol. 2, August 2010

[4] Ledeneva, Y., and Geibnkh, A., and Hernandez R.., " Terms derived from frequent sequences for extracnve text summarization", in Proceedings of the 9th internationah conference on Computaional Linguistics and intelligent text processciug pp 593-604,2008

[5] Garci _ Heruandez , R., and Ledeneva, Y., "Word Sequences Models for Single Text summarization ", in Adances in Computer-Human Interaction, pp 44-48 2009.

[6] Zhang, P., and Li, C., " Automatic text summarization based on sentences clustering and extraction ", in Computer Scienct and Information Technology 2nd IEEE Internation Confereuce on, pp. 167-170,2009.

[7] Chuang, W., and Yang, J., "Text summarization by Sentence Segmet Extraction Using Machine Learning Algorithms", in Knowledge Discovery and Data Mining Cunent Issues and New Applications. Vol. 1805 pp 454-457,2000

[8] Song, W., and Cheon Choi, L., and Cheol Park, S., and Feng Ding, X., "Fuzzy evolntionary optimization modeling and its applications to unsupervised Categorization and extractive summarization", Expert Systems with Application, Vol 38,pp. 9112-9121,2011

[9] Suanmali, L., and Salim, N., and Salem BinwahlaN, M., "Fuzzy Logic Based Method for Improving Text summarization", International Jounal of Computer Science and Information Securtiy (LICSIS), VOL. 2, Jun 2009.

[10] Fattah, A., and Ren, F, "GA, MR, FFNN, PNN and GMM based models for automatic text summarization" Computer Speech & Language, VOL 23, pp. 126-144, 2009.

[11] Oj-Mean, F., and Oxley, A., " A hybrid PSO model in Extractive Text summarization", in Computer & Informatics and (ISCI)2011 IEEE Symosium On, pp 130-134, 2011.

[12] Uddin, N., and Khan S., "A study on text summarization techniques and implement few of them foc Bangla Language", in Computer and Information technology, pp. 1-4, 2007

[13] Hamed Shah-Hosseini, "The intelligent water drops algorithm:a nature-inspired swarm-based optimization algorithm",Int. J. Bio-Inspired Computation, Vol. 1, Nos. 1/2, 2009

[14] Abuobieda, A., and Salim, N., and Kumar, Y., and Osman, A., "An Improved Evolution", in Intelligent Information and Darabase Systems. Vol. 7803, pp. 78-89, 2013

[3] http://www.dt.fee.unicamp.br/~tiago/smsspamcollection