یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران
۱۸-۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۲

یک الگوریتم توازن بار برای سیستم های سیار سلولی بر اساس اتوماتای سلولی احتمالی[۱]

ابراهیم رحیمی محمد رضا میبدی حمید بیگی
آزمایشگاه سیستم های نرم افزاری
دانشکده مهندسی کامپیوتر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران ایران
Email: (beigy, meybodi)@ce.aut.ac.ir

چکیده: در این مقاله با استفاده از اتوماتای سلولی احتمالی[2] (PCA) یک الگوریتم توزیع شده برای توازن بار بمنظور حل مسئله تخصیص کانال در سیستم های سیار سلولی سیار طراحی و پیاده سازی گردیده است. الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم های موجود این امکان را برای یک سلول فراهم میسازد که از استقلال بیشتری در اخذ تصمیمات بر خوردار باشد. شبیه سازی های انجام گرفته نشان میدهد که الگوریتم پیشنهادی در بارهای متوسط کارایی خوبی از خود نشان میدهد.

کلمات کلیدی: اتوماتای سلولی احتمالی، الگوریتم توزیع شده،توازن بار، تخصیص کانال، سیستم سلولی سیار

۱-مقدمه:

هدف الگوریتم های تخصیص کانال استفاده بهتر از پهنای باند موجود و کاهش احتمال رد شدن درخواستها در هر سلول می باشد[۱،۲،۴]. دو نمونه از این الگوریتمها، الگوریتمهای توازن بار با قرض گیری گزینشی[3] (LBSB) و توازن بار با قرض گیری گزینشی توزیع شده (D-LBSB) میباشند. الگوریتم LBSB با استفاده از یک الگوریتم قرض گیری کانال که توسط سرویس دهنده مرکزی شبکه به طور متناوب اجرا می گردد، با انتقال تعداد ثابتی از کانالهای آزاد سلولهای کم ترافیک(سرد) به سلولهای پر ترافیک(داغ)، بار ترافیکی در سلولها را متوازن می‌سازد. نشان داده شده است که LBSB در مقایسه با استراتژی های FCA,SB, [3]DR و CBWL [5] به ترتیب ۴۴۰۳٪، ۳۹۰۹٪، ۵۹۰۸٪ و ۱۴۰۱٪ از عملکرد بهتری بر خوردار است.

الگوریتم D-LBSB [2] نسخه توزیع شده الگوریتم LBSB می باشد که با استفاده از یک استراتژی قرض گیری کانال بار ترافیکی را بین سلولهای همسایه متوازن میکند. این الگوریتم برای هر سلول دو حالت داغ و سرد در نظر می گیرد. سلولهای داغ تنها مجاز به قرض گیری کانال از سلولهای سرد می باشند. الگوریتم D-LBSB علاوه بر اینکه دارای نقاط قوت الگوریتم LBSB می باشد ،با استفاده از یک روش توزیع شده تخصیص کانال مشکلات عمده روش LBSB را نیز حل نموده است. در این روش تصمیمات مربوط به قرض گیری کانال توسط هر سلول و از طریق تبادل اطلاعات با سلولهای همسایه اخذ می شود و هیچ گونه وابستگی به یک سرویس دهنده مرکزی که در بارهای ترافیکی سنگین به صورت یک گلوگاه عمل می کند وجود ندارد. الگوریتم های D-LBSB و LBSB برای هر سلول دو حالت داغ و سرد درنظر می گیرندکه باعث قوع حالت پینگ پنگی بین حالات داغ و سرد گردد

در الگوریتم های توزیع شده تخصیص کانال مانند الگوریتم D-LBSB رفتار هر سلول به میزان زیادی از رفتار و حالات سلولهای همسایهای تاثیر میپذیرد، لذا خصوصیت محلی بودن، اتوماتای سلولی میتواند به عنوان یک ابزار مناسب برای مدل کردن این الگوریتم ها و همچنین بهبود انها استفاده میگردد. در این مقاله ابتدا "PCA عمق دار[4]" معرفی می گردد و سپس براساس این مدل، الگوریتمی برای توازن بار در سیستمهای سیار سلولی پیشنهاد می شود. در PCA هر سلول در هر زمان با احتمال خاصی در یکی از وضعیت های مجاز قرار دارد و تغییر وضعیت سلول به طور لحظه ای اتفاق می افتد ولی در "PCA عمق دار" حالت یک سلول به طور لحظه ای تغییر نمی کند بلکه هر حالت دارای یک عمق می باشد وهر رفتاری که سلول از خود نشان می دهد ممکن است بر عمق حالت فعلی سلول بیفزاید و یا از آن بکاهد (البته بعضی رفتارها نیز وجود دارد که تاثیری

[۱] بخشی از این کار تحقیقاتی با حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام گرفته است.
[۲] Probabilistic Cellular Automata
[۳] Load Balancing With Selective Borrowing
[۴] PCA With Depth

بر عمق سلول ندارند که به آنها رفتارهای خنثی گفته می شود). بنابراین یک سلول فقط زمانی تغییر حالت می دهد که سلول در حد آستانه عمق حالت فعلی باشد. پارامتر عمق در واقع پارامتری است که با استفاده از آن حالات و رفتارهای گذشته سلول در تعیین حالات بعدی سلول دخالت داده می شود و نحوه تعامل سلول با توجه به میزبانهای سیار موجود در سلول و سلولهای همسایه تعیین می گردد. در یک شبکه سلولی اگر دو حالت بحرانی و مطلوب برای یک سلول در نظر بگیریم حالت بحرانی یکباره و لحظه ای برای یک سلول ایجاد نمی شود بلکه این حالت نتیجه ای از رفتارهای قبلی سلول و رفتار همسایگان آن سلول می باشد. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله با در نظر گرفتن سه حالت داغ ،متوسط و سرد برای هر سلول از وقوع حالت پینگ پنگی که در الگوریتم های D-LBSB و LBSB رخ می دهد جلوگیری می کند.

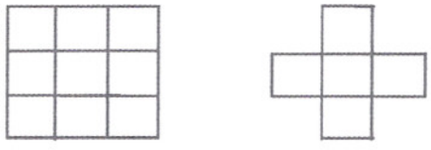
ادامه مقاله بصورت زیر سازماندهی شده است:در بخش ۲ مقاله اتوماتای سلولی و اتوماتای سلولی احتمالی به اختصار توضیح داده می شود. در بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی بر اساس اتوماتای سلولی احتمالی معرفی می گردد. بخش ۴ بررسی الگوریتم پیشنهادی می پردازد. در بخش ۵ نتایج شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی ارایه میگردد. بخش ۶ نتیجه گیری میباشد.

۲-اتوماتای سلولی

اتوماتای سلولی سیستم های دینامیکی هستند که در اواخر دهه ۴۰ توسط جان وان نیومن[۵] مطرح و پس از او توسط ریاضیدانی به نام استانیسلاو اولام[۶] به عنوان مدلی برای بررسی رفتار سیستم های پیچیده پیشنهاد شد[۶][۷] اتوماتای سلولی شبکه ای ازسلولها است که هرسلول میتواند k حالت اختیار کند. دراتوماتای سلولی یک بعدی اگرسلول i دارای دوهمسایه i-1,i+1 باشد، حالت سلول i درزمان t+1 یعنی $a_i(t+1)$ مطابق رابطه زیر بدست می آید:

$$a_i(t+1) = \phi\left(a_{i-1}(t), a_i(t), a_{i+1}(t)\right) \qquad (۱)$$

در این رابطه تابع ϕ قانون اتوماتای سلولی نامیده می شود. همسایگی دراتوماتای سلولی یک بعدی را میتوان بسط داد بطوریکه دوهمسایه دیگر ویا تعداد بیشتری از سلولهای همسایه خود را را شامل شود. دونوع همسایگی مهم در اتوماتای سلولی دوبعدی عبارتند از همسایگی مور وهمسایگی نیومن . مطابق شکل ۱، درهمسایگی مور برای هر سلول ۸ سلول همسایه و درهمسایگی نیومن برای هر سلول۴همسایه درنظر گرفته میشود. ویژگیهای اساسی اتوماتای سلولی عبارتند از: فضا وزمان بصورت گسسته می باشند، هر سلول تعداد محدودی وضعیت ممکن را می تواند اختیار کند، تمام سلول ها یکسان می باشند و بروز در آوردن حالت سلولها به صورت همگام انجام می پذیرد. در مدلهای دیگر اتوماتای سلولی از شبکه های مثلثی و یا شش ضلعی نیز استفاده شده است[۸][۹].



همسایگی نیومن همسایگی مور

شکل ۱: همسایگی های متداول در اتوماتای سلولی

اتوماتای سلولی احتمالی یک نوع از اتوماتاها ی سلولی میباشد. در اتوماتای سلولی قطعی حالت یک سلول به طور قطعی توسط حالت فعلی سلول و حالات همسایگانش تعیین می شود در صورتیکه در اتوماتای سلولی احتمالی قوانین احتمالی میباشد. در یک قانون احتمالی یک موقعیت یکسان ممکن است خروجی های متفاوتی تولید نماید [۱۰].

۳- الگوریتم پیشنهادی

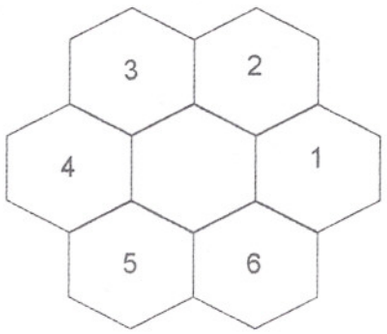
در این بخش یک الگوریتم توازن بار براساس اتوماتاهای سلولی احتمالی معرفی میگردد. در این الگوریتم، هر سلول در شبکه سلولی به یک سلول در اتوماتای سلولی نگاشت می شود. مدل همسایگی در این اتوماتای سلولی مطابق شکل ۲ تعریف شده است. در شبکه های سلولی برای تعیین وضعیت هر سلول، ایستگاه پایه سلول، مسئول اخذ تصمیم مناسب براساس حالت همسایگان و حالت فعلی سلول می باشد. به دلیل طبیعت احتمالی بودن انتخاب یک رفتار از بین چندین رفتار، PCA مدل مناسبی برای مدل سازی الگوریتم پیشنهادی می باشد. برای هر حالت یک عمق تعریف می شود و با استفاده از قوانین PCA هر سلول در هر زمان در یکی از این عمق ها قرار دارد. در الگوریتم پیشنهادی هر سلول در هر زمان در یکی از حالات "

---

۵ John Von Neumann

۶ Stanislav Ulam

داغ"، "متوسط" و " سرد" قرار دارد. این تقسیم بندی باعث می شود که بر خلاف الگوریتم های LBSB و D-LBSB وضعیت پینگ پنگی[۷] بین دو حالت سرد و داغ به وجود نیاید.



شکل ۲: مدل همسایگی

هر سلول در هر زمان در یکی از این حالات سرد، متوسط و یا داغ قرار می گیرد. هر حالت دارای یک عمق می باشد. عمق درجه تعلق سلول را به حالت مربوطه نشان میدهد. سه حالت سرد، متوسط و یاداغ را میتوان بدین صورت تعبیر نمود، سلولی که در حالت سرد قرار دارد با احتمال بالایی دارای تعداد زیادی کانال آزاد می باشد، سلولی که در حالت داغ قرار دارد با احتمال بالایی دارای تعداد زیادی کانال مشغول می باشد و سلولی که در حالت متوسط قرار دارد دارای تعداد متوسطی کانال آزاد می باشد. هر سلول در هر زمان از وضعیت خود اطلاع دارد و همچنین از طریق ارسال پیغام به سلولهای همسایه آنها را نیز از آخرین وضعیت خود با مطلع می سازد. بنابراین در هر گام از زمان یک سلول از آخرین وضعیت خود و همسایگانش مطلع می باشد. با در نظر گرفتن سه حالت داغ ، متوسط و سرد برای هر سلول الگوریتم پیشنهادی بر خلاف الگوریتم های LBSB و D-LBSB از ایجاد وضعیت پینگ پنگی بین دو حالت سرد و داغ جلوگیری میکند. الگوریتم پیشنهادی شامل دو بخش اصلی زیر می باشد:

- **الگوریتم قرض گیری کانال :** این الگوریتم زمانی اجرا میشود که سلول به حالت داغ برسد. این الگوریتم با قرض گرفتن کانال از سلولهای سرد همسایه بار ترافیک موجود در سلول را متوازن میسازد.
- **الگوریتم تخصیص کانال :** این الگوریتم در همه سلولها اجرا می شود و وظیفه ان تخصیص کانالهای آزاد به درخواست ها میباشد.

الگوریتم قرض گیری کانال : الگوریتم قرض گیری با توجه به بار ترافیک موجود در هر سلول، تعداد کانالهای آزاد را در سلولهای شبکه متوازن میسازد. هر گاه یک سلول به حالت داغ برسد الگوریتم توازن بار توسط ایستگاه پایه اجرا می شود و از این طریق تعدادی کانال آزاد از سلولهای سرد قرض گرفته می شود. الگوریتم قرض گیری از قوانین زیر تبعیت می کند.

- یک سلول داغ فقط از سلولهای سرد همسایه خود می تواند کانال قرض نماید.
- یک سلول سرد نمی تواند از هیچ سلولی کانال قرض نماید.
- یک سلول متوسط به هیچ سلولی کانال قرض نمی دهد و از هیچ سلولی کانال قرض نمی کند.

الگوریتم قرض گیری کانال توسط یک سلول که به حالت داغ رسیده باشد، مثل سلول B، اجرا می شود. فرض می کنیم که هر سلول موقعیت سلولهای همسایه خود را می داند .مراحل اجرای الگوریتم قرض گیری کانال به صورت زیر می باشد:

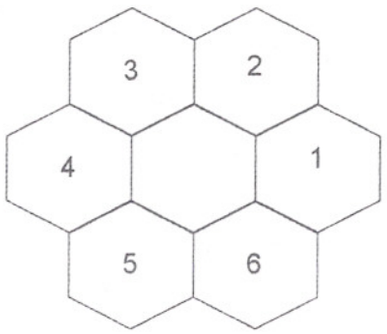
۱- سلول B با توجه به آخرین اطلاعات دریافتی از سلولهای همسایه، سلولهای سرد همسایه که از انها کانال قرض خواهد گرفت را تعیین و در آرایه COLD ذخیره میکند. این سلولها در واقع سلولهایی هستند که از آنها کانال قرض گرفته خواهد شد. سپس سلول B برای هر یک از سلولهای ارایه یک پیغام BORROWING ارسال می کند. سلول به همراه این پیغام مشخصات سلولهای همسایه خود را نیز ارسال می کند و سپس منتظر پاسخ سلولهای سرد می ماند.

۲-سلول سرد L پس از دریافت پیغام BORROWING از سلول B، با مقایسه مجموعه سلولهای همسایه سلول B و مجموعه سلولهای هم کانال خود، مجموعه سلولهای هم کانال خود را که با سلول B همسایه می باشند تعیین می کند و آنها را در ارایه CO-NCC ذخیره می کند. این مجموعه شامل سلولهایی می باشند که باید کانالهای قرض داده شده توسط سلول L در آنها قفل گردد. اگر حتی یکی از این سلولها در حالت داغ قرار داشته باشند از قرض دادن کانال صرف نظر شده و یک پیغام Refuse به سلول B فرستاده می شود. در غیر اینصورت مراحل زیر اجرا می گردد.

---

[۷] Ping pong state

داغ"، "متوسط" و " سرد" قرار دارد. این تقسیم بندی باعث می شود که بر خلاف الگوریتم های LBSB و D-LBSB وضعیت پینگ پنگی[۷] بین دو حالت سرد و داغ به وجود نیاید.



شکل ۲: مدل همسایگی

هر سلول در هر زمان در یکی از این حالات سرد، متوسط و یا داغ قرار می گیرد. هر حالت دارای یک عمق می باشد. عمق درجه تعلق سلول را به حالت مربوطه نشان میدهد. سه حالت سرد، متوسط و یاداغ را میتوان بدین صورت تعبیر نمود، سلولی که در حالت سرد قرار دارد با احتمال بالایی دارای تعداد زیادی کانال آزاد می باشد، سلولی که در حالت داغ قرار دارد با احتمال بالایی دارای تعداد زیادی کانال مشغول می باشد و سلولی که در حالت متوسط قرار دارد دارای تعداد متوسطی کانال آزاد می باشد. هر سلول در هر زمان از وضعیت خود اطلاع دارد و همچنین از طریق ارسال پیغام به سلولهای همسایه آنها را نیز از آخرین وضعیت خود با مطلع می سازد. بنابراین در هر گام از زمان یک سلول از آخرین وضعیت خود و همسایگانش مطلع می باشد. با در نظر گرفتن سه حالت داغ ، متوسط و سرد برای هر سلول الگوریتم پیشنهادی بر خلاف الگوریتم های LBSB و D-LBSB از ایجاد وضعیت پینگ پنگی بین دو حالت سرد و داغ جلوگیری میکند. الگوریتم پیشنهادی شامل دو بخش اصلی زیر می باشد:

- **الگوریتم قرض گیری کانال :** این الگوریتم زمانی اجرا میشود که سلول به حالت داغ برسد. این الگوریتم با قرض گرفتن کانال از سلولهای سرد همسایه بار ترافیک موجود در سلول را متوازن میسازد.
- **الگوریتم تخصیص کانال :** این الگوریتم در همه سلولها اجرا می شود و وظیفه ان تخصیص کانالهای آزاد به درخواست ها میباشد.

الگوریتم قرض گیری کانال : الگوریتم قرض گیری با توجه به بار ترافیک موجود در هر سلول، تعداد کانالهای آزاد را در سلولهای شبکه متوازن میسازد. هر گاه یک سلول به حالت داغ برسد الگوریتم توازن بار توسط ایستگاه پایه اجرا می شود و از این طریق تعدادی کانال آزاد از سلولهای سرد قرض گرفته می شود. الگوریتم قرض گیری از قوانین زیر تبعیت می کند.

- یک سلول داغ فقط از سلولهای سرد همسایه خود می تواند کانال قرض نماید.
- یک سلول سرد نمی تواند از هیچ سلولی کانال قرض نماید.
- یک سلول متوسط به هیچ سلولی کانال قرض نمی دهد و از هیچ سلولی کانال قرض نمی کند.

الگوریتم قرض گیری کانال توسط یک سلول که به حالت داغ رسیده باشد، مثل سلول B، اجرا می شود. فرض می کنیم که هر سلول موقعیت سلولهای همسایه خود را می داند .مراحل اجرای الگوریتم قرض گیری کانال به صورت زیر می باشد:

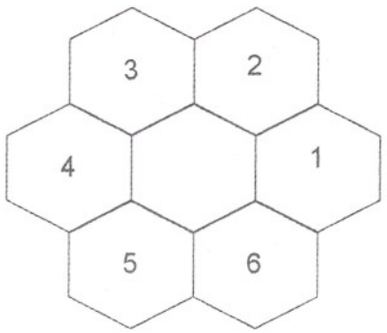
۱- سلول B با توجه به آخرین اطلاعات دریافتی از سلولهای همسایه، سلولهای سرد همسایه که از انها کانال قرض خواهد گرفت را تعیین و در آرایه COLD ذخیره میکند. این سلولها در واقع سلولهایی هستند که از آنها کانال قرض گرفته خواهد شد. سپس سلول B برای هر یک از سلولهای ارایه یک پیغام BORROWING ارسال می کند. سلول به همراه این پیغام مشخصات سلولهای همسایه خود را نیز ارسال می کند و سپس منتظر پاسخ سلولهای سرد می ماند.

۲-سلول سرد L پس از دریافت پیغام BORROWING از سلول B، با مقایسه مجموعه سلولهای همسایه سلول B و مجموعه سلولهای هم کانال خود، مجموعه سلولهای هم کانال خود را که با سلول B همسایه می باشند تعیین می کند و آنها را در ارایه CO-NCC ذخیره می کند. این مجموعه شامل سلولهایی می باشند که باید کانالهای قرض داده شده توسط سلول L در آنها قفل گردد. اگر حتی یکی از این سلولها در حالت داغ قرار داشته باشند از قرض دادن کانال صرف نظر شده و یک پیغام Refuse به سلول B فرستاده می شود. در غیر اینصورت مراحل زیر اجرا می گردد.

---

[۷] Ping pong state

داغ"، "متوسط" و " سرد" قرار دارد. این تقسیم بندی باعث می شود که بر خلاف الگوریتم های LBSB و D-LBSB وضعیت پینگ پنگی[۷] بین دو حالت سرد و داغ به وجود نیاید.



شکل ۲: مدل همسایگی

هر سلول در هر زمان در یکی از این حالات سرد، متوسط و یا داغ قرار می گیرد. هر حالت دارای یک عمق می باشد. عمق درجه تعلق سلول را به حالت مربوطه نشان میدهد. سه حالت سرد، متوسط و یاداغ را میتوان بدین صورت تعبیر نمود، سلولی که در حالت سرد قرار دارد با احتمال بالایی دارای تعداد زیادی کانال آزاد می باشد، سلولی که در حالت داغ قرار دارد با احتمال بالایی دارای تعداد زیادی کانال مشغول می باشد و سلولی که در حالت متوسط قرار دارد دارای تعداد متوسطی کانال آزاد می باشد. هر سلول در هر زمان از وضعیت خود اطلاع دارد و همچنین از طریق ارسال پیغام به سلولهای همسایه آنها را نیز از آخرین وضعیت خود با مطلع می سازد. بنابراین در هر گام از زمان یک سلول از آخرین وضعیت خود و همسایگانش مطلع می باشد. با در نظر گرفتن سه حالت داغ ، متوسط و سرد برای هر سلول الگوریتم پیشنهادی بر خلاف الگوریتم های LBSB و D-LBSB از ایجاد وضعیت پینگ پنگی بین دو حالت سرد و داغ جلوگیری میکند. الگوریتم پیشنهادی شامل دو بخش اصلی زیر می باشد:

- **الگوریتم قرض گیری کانال :** این الگوریتم زمانی اجرا میشود که سلول به حالت داغ برسد. این الگوریتم با قرض گرفتن کانال از سلولهای سرد همسایه بار ترافیک موجود در سلول را متوازن میسازد.
- **الگوریتم تخصیص کانال :** این الگوریتم در همه سلولها اجرا می شود و وظیفه ان تخصیص کانالهای آزاد به درخواست ها میباشد.

الگوریتم قرض گیری کانال : الگوریتم قرض گیری با توجه به بار ترافیک موجود در هر سلول، تعداد کانالهای آزاد را در سلولهای شبکه متوازن میسازد. هر گاه یک سلول به حالت داغ برسد الگوریتم توازن بار توسط ایستگاه پایه اجرا می شود و از این طریق تعدادی کانال آزاد از سلولهای سرد قرض گرفته می شود. الگوریتم قرض گیری از قوانین زیر تبعیت می کند.

- یک سلول داغ فقط از سلولهای سرد همسایه خود می تواند کانال قرض نماید.
- یک سلول سرد نمی تواند از هیچ سلولی کانال قرض نماید.
- یک سلول متوسط به هیچ سلولی کانال قرض نمی دهد و از هیچ سلولی کانال قرض نمی کند.

الگوریتم قرض گیری کانال توسط یک سلول که به حالت داغ رسیده باشد، مثل سلول B، اجرا می شود. فرض می کنیم که هر سلول موقعیت سلولهای همسایه خود را می داند .مراحل اجرای الگوریتم قرض گیری کانال به صورت زیر می باشد:

۱- سلول B با توجه به آخرین اطلاعات دریافتی از سلولهای همسایه، سلولهای سرد همسایه که از انها کانال قرض خواهد گرفت را تعیین و در آرایه COLD ذخیره میکند. این سلولها در واقع سلولهایی هستند که از آنها کانال قرض گرفته خواهد شد. سپس سلول B برای هر یک از سلولهای ارایه یک پیغام BORROWING ارسال می کند. سلول به همراه این پیغام مشخصات سلولهای همسایه خود را نیز ارسال می کند و سپس منتظر پاسخ سلولهای سرد می ماند.

۲-سلول سرد L پس از دریافت پیغام BORROWING از سلول B، با مقایسه مجموعه سلولهای همسایه سلول B و مجموعه سلولهای هم کانال خود، مجموعه سلولهای هم کانال خود را که با سلول B همسایه می باشند تعیین می کند و آنها را در ارایه CO-NCC ذخیره می کند. این مجموعه شامل سلولهایی می باشند که باید کانالهای قرض داده شده توسط سلول L در آنها قفل گردد. اگر حتی یکی از این سلولها در حالت داغ قرار داشته باشند از قرض دادن کانال صرف نظر شده و یک پیغام Refuse به سلول B فرستاده می شود. در غیر اینصورت مراحل زیر اجرا می گردد.

---

[۷] Ping pong state

۳- سلول L برای هر یک از سلولهای واقع در ارایه CO-NCC یک پیغام Give-Free-Channel ارسال می کند و ازهر سلول لیست کانالهای آزاد آن سلول درخواست می شود. هر یک از سلولهای واقع در ارایه CO-NCC پس از دریافت پیغام Give-Free-Channel کانالهای آزاد خود را تعیین نموده و از طریق ارسال پیغام Get-Free-Channel به سلول L اعلام می کند.

۴- سلول L پس از دریافت پیغام Get-Free-Channel از طرف تمام سلولهای واقع در ارایه CO-NCC از طریق مقایسه کانالهای آزاد هر سلول لیست کانالهای آزاد مشترک را تعیین می کند. اگر هیچ کانال آزاد مشترکی وجود نداشته باشد پیغام Refuse برای سلول B فرستاده می شود و در غیر اینصورت کانالهای آزاد مشترک در ارایه COMMON قرار می گیرد.

۵- از ابتدای ارایه COMMON یک کانال، کانال K ، انتخاب می شود و برای تمام سلولهای واقع در CO-NCC یک پیغام Vote(K) فرستاده می شود. K کانالی است که کاندیدای قرض دادن به سلول B می باشد. هر یک از سلولهای واقع در CO-NCC پس از دریافت این پیغام موافقت خود را با قرض دادن کانال با احتمال d_c توسط پیغام Agreed(K) به سلول L خود را اعلام می کنند و وضعیت کانال K را برابر LOCKED قرار می هند و با احتمال $1-d_c$ با ارسال پیغام Refuse(K) به سلول L مخالفت خود را با قرض دادن کانال K اعلام می نماید. پارامتر d_c ،درجه سردی سلول، که به صورت زیر تعریف می شود میباشد.

$$d_c = \frac{c}{C} \qquad (۲)$$

که c تعداد کانالهای آزاد و C تعداد کانالهای تخصیص یافته به سلول می باشد.

۶- پس از اینکه سلول L از طرف تمام سلولهای همسایه خود پیغام Agreed(K) را دریافت نمود با احتمال d_c با قرض دادن کانال K موافقت می کند و با احتمال $1-d_c$ با آن مخالفت می کند. در پایان اگر تمام سلولها با قرض دادن کانال K موافقت کنند، سلول L با ارسال پیغام Lending(K) اجازه استفاده از کانال K را به سلول B می دهد. سلول L در صورت دریافت حتی یک پیغام Refuse(K) از قرض دادن کانال K صرفنظر می کند و با ارسال پیغام Release(K) به تمام سلولهای واقع در CO-NCC از آنها در خواست می کند وضعیت کانال K را برابر FREE قرار دهند.

۷-گامهای ۵و۶ برای تمام کانالهای واقع در ارایه COMMON تکرار می شود.

۸-در صورتیکه پس از اجرای این الگوریتم وگذشت زمان مشخصی هنوز سلول B در حالت داغ قرار داشته باشد الگوریتم قرض گیری کانال مجددا اجرا می گردد.

الگوریتم تخصیص کانال : مکالمات ورودی در یک سلول شامل درخواستهای تحویل کانال[8] و مکالمات جدید می باشند. الگوریتم تخصیص کانال مکالمات ورودی را به صورت زیر اولویت بندی می کند.

۱-تقاضاهای تحویل کانال از طرف سلولهای همسایه.

۲- تقاضاهای مکالمات جدید که از طرف کاربران سیار درون سلول صادر می شود.

با توجه به اینکه مدیریت مناسب و صحیح درخواستهای تحویل کانال تاثیر عمده ای بر کیفیت سرویس ارائه شده دارد و رد شدن درخواست های جدید نسبت به قطع شدن درخواستهای تحویل کانال قابل قبول تر می باشد لذا اولویت بالاتری به درخواستهای تحویل کانال داده می شود. در یک سلول ممکن است همزمان چندین در خواست مکالمه به ایستگاه پایه سلول برسد این درخواستها توسط ایستگاه پایه طوری زمانبندی می شوند که در هر زمان فقط یک مکالمه قادر به اخذ سرویس باشد و دیگر درخواستها در صف قرار می گیرند تا عملیات تخصیص کانال مکالمه فعلی پایان یابد. سیاست سرویس دهی به این صف FIFO می باشد. الگوریتم تخصیص کانال به صورت زیر می باشد فرض کنید که یک درخواست مکالمه به ایستگاه پایه سلول برسد.

۱- مجموعه کانالهای قرض گرفته شده سلول، مجموعه BORROWED، جستجو می شود. در صورت یافتن یک کانال آزاد، این کانال به درخواست اختصاص می یابد.

۲- در صورت موجود نبودن کانال آزاد در مجموعه BORROWED، مجموعه LOCAL که شامل کانالهای محلی تخصیص یافته به سلول می باشد جستجو می شود. در صورت یافتن یک کانال آزاد، ان کانال به درخواست اختصاص می یابد و در غیر اینصورت مکالمه رد می شود.

پس از اینکه یک کانال به یک کاربر سیار اختصاص یافت این کانال تا پایان مدت مکالمه در اختیار این کاربر باقی می ماند. پس از پایان یافتن مکالمه، کاربر سیار یک پیغام پایان مکالمه به ایستگاه پایه سلول خود می فرستد و پایان مکالمه خویش را اعلام می کند. ایستگاه پایه پس از دریافت این پیغام کانال را از کاربر پس می گیرد و سپس وضعیت کانال را بررسی می کند. اگر کانال قرضی باشد آنگاه این کانال با احتمال ۰،۵ به سلول قرض دهنده باز گردانده می شود.

۴- بررسی الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت به بررسی الگوریتم پیشنهادی میپردازیم. همانگونه که در بخش های قبلی ذکر گردید هر سلول درهر زمان در یکی از حالات سرد، متوسط و یا داغ قرار دارد. حالت یک سلول بر اساس حالت فعلی آن سلول و حالت سلولهای همسایه آن و با استفاده از قوانین حاکم برPCA تعیین

---

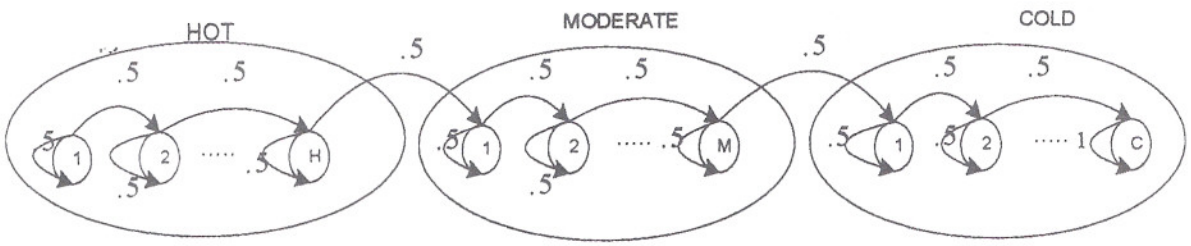
[8] hand off

میگردد. با توجه به اینکه در مدل اتوماتای سلولی احتمالی (PCA) عمق دار برای هر یک از این حالات یک عمق تعریف می شود تغییر حالت یک سلول یکباره اتفاق نمی افتد بلکه به صورت تدریجی می باشد و بستگی به مقدار عمق حالت فعلی سلول دارد. عمق هر حالت تاثیر زیادی بر نحوه تعامل سلولها با یکدیگر دارد. در واقع رفتاری که یک سلول در برابر درخواستها و پیغامهای ورودی از خود نشان می دهد وابسته به عمق حالات سلول می باشد.

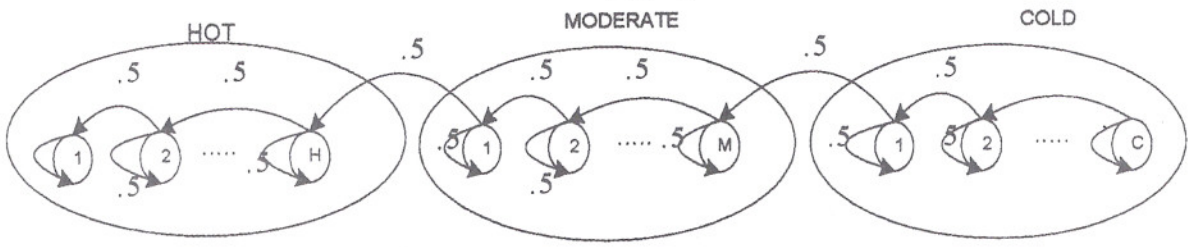
در الگوریتم پیشنهادی هر سلول با توجه به حالت موجود ، عمق این حالت و قوانین زیر(شکل ۳)، تصمیم های مختلفی میگیرد.

قانون ۱: اگر حداقل یکی از سلولهای همسایه سلول مرکزی (شکل ۲) که با شماره های ۳،۱ و۵ مشخص شده اندر حالت داغ یا نیمه داغ(حالت متوسط با عمق کم) باشد و سلول مرکزی در حالت سرد یا نیمه سرد(حالت متوسط با عمق زیاد) باشد آنگاه با احتمال ۰،۵ بر عمق حالت فعلی سلول یک واحد افزوده می شود و با احتمال ۰،۵ عمق سلول تغییر نمی کند.

قانون ۲: اگر حداقل یکی از سلولهای همسایه سلول مرکزی (شکل ۲) که با شماره های ۴،۲ و ۶ مشخص شده اند در حالت سرد باشدآنگاه با احتمال ۰،۵ از عمق حالت فعلی سلول یک واحد کاسته می شود و با احتمال ۰،۵ عمق سلول تغییر نمی کند.



الف) قانون یک

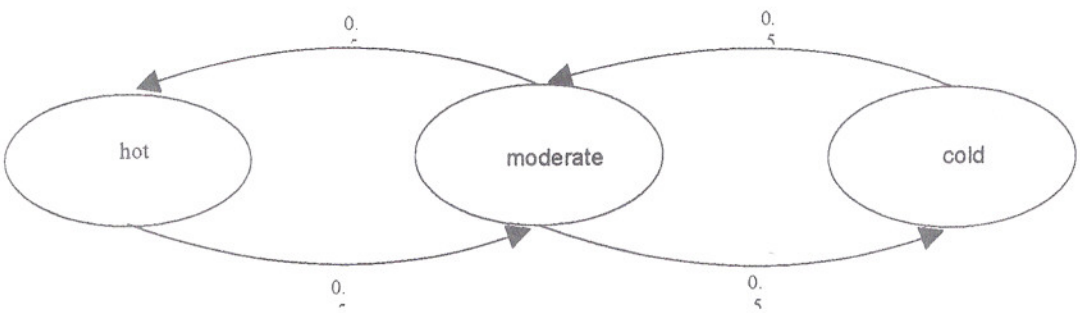


ب)قانون ۲

شکل ۳:نمودار انتقال حالت PCA

شکل ۴ دیاگرام انتقال حالت کلی PCA در الگوریتم پیشنهادی را نشان می دهد.

با اعمال قانون ۱ هرگاه یکی از سلولهای همسایه یک سلول سرد یا نیمه سرد به حالت داغ وارد شود بر درجه سردی سلول سرد افزوده می شود تا بتواند با قرض دادن کانال به سلول داغ، امکان رد شدن درخواستها در سلول داغ راکاهش دهد. با اعمال قانون ۲ هرگاه یکی از سلولهای همسایه سلول مرکزی به حالت سرد وارد شود از درجه سردی سلول مرکزی کاسته می شود.



شکل ٤: دیاگرام کلی انتقال حالت یک سلول

در ادامـه پیغام هایی که از طرف سلولهای همسایه یا میزبانهای سیار به یک سلول می رسند و رفتارهایی که سلول در پاسخ به این پیغام ها می دهد شـرح داده میشـود. پیغامهای ورودی که به یک سلول می رسند عبارتند از : پیغام درخواست کانال، پیغام پایان یافتن مکالمه، پیغام بازگرداندن کانال و پیغام قرض کردن کانال. یک سلول پس از دریافت یک پیغام به عنوان ورودی، با توجه به نوع پیغام عملیات خاص و مستقلی را انجام می دهد. در ادامه پاسخی که هر سلول به پیغامهای ورودی می دهد شرح داده می‌شود

پـیغام درخواسـت کانـال: یک سلول در هر حالتی که باشد در صورت رسیدن یک درخواست از طرف یک میزبان سیار، در صورت موجود بودن کانال آزاد، عمـل **تخصـیص کانـال به درخواست** انجام می شود ودر صورتیکه کانال آزادی وجود نداشته باشد درخواست رد میشود. بر انجام این دو عمل حالـت فعلی سلولهای همسایه هیچ تاثیری ندارد. پس از رسیدن این پیغام اگر سلول به حالت داغ وارد شود آنگاه اگر حداقل یکی از سلولهای همسایه در حالت سرد قرار داشته باشد سلول داغ اقدام به **ارسال پیغام قرض کردن کانال** به سلولهای سرد همسایه می کند.

پیغام پایان یافتن مکالمه: هنگامی که این پیغام از طرف یک میزبان سیار به سلول می رسد پس از آزاد شدن کانال، مشخص میگردد که کانال مذکور کانـتال قرضـی است یا کانال اسمی. اگر این کانال یک کانال اسمی باشد این کانال به مجموعه کانال های آزاد سلول بازگردانده میشود ودر غیر اینصورت به سلول قرض دهنده برگردانده میشود.

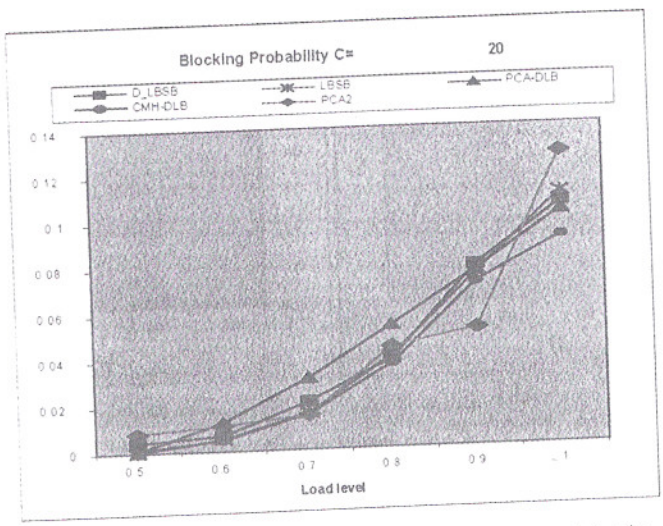
پـیغام بازگرداندن کانال: هنگامی که یک کانال قرض داده شده، کانال K برگردانده می شود سلول قرض دهنده یک پیغام UNLOCKING(K) بـه تمامـی سـلولهای هـم کانـال خود که این کانال در آنها قفل شده است ارسال می کند. این سلولها پس از دریافت این پیغام وضعیت کانال K را برابر FREE قرار می دهند.

پیغام قرض گرفتن کانال: وقتی این پیغام از طرف سلول داغ به یک سلول سرد میرسد، اگر یک یا چند سلول هم کانال سلول سرد که همسایه سلول می باشند در حالت داغ قرار داشته باشند آنگاه **پیغام عدم موفقیت آمیز بودن قرض گیری**، به سلول سرد ارسال میگردد . در غیر اینصورت بین تمام سلولهای هم کانال با سلول سرد که در ناحیه همسایگی سلول داغ قرار دارند برای قرض دادن یک کانال رای گیری می شود. اگر تمام این سلولها موافق باشـند عمل **قرض دادن کانال** انجام می شود ودر تمام این سلولها کانال قرض داده شده قفل میگردد و در غیر اینصورت کانال قرض داده نمی شود. یک سلول بااحتمال d_c باقرض دادن کانال موافقت و با احتمال $1-d_c$ با قرض دادن یک کانال مخالفت می کند.

حالت بعدی یک سلول تابعی از حالت فعلی سلول و حالات سلولهای همسایه می باشد. در هر گام از زمان سلولهای همسایه به طور محلی با هم در حال تعامل می باشند که این تعاملات محلی به صورت سراسری در کل شبکه تاثیر گذار می باشد.

۵-نتایج شبیه سازی

بـه منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی این الگوریتم شبیه سازی شده است که نتایج آن در ادامه توضیح داده می شود. پارامترهای شبیه سازی بدین شرح می باشند. در شبیه سازیهای انجام شده به هر سلول ۱۰ و یا ۲۰ کانال تخصیص یافته ، عمق حالات سرد متوسط و داغ به ترتیب ۲۵ ، ۵۰ و ۲۵ میباشـند. میانگین زمان یک مکالمه۱۲۰ ثانیه، زمان سعی مجدد برای قرض گیری کانال۱۰۰۰ ثانیه، مدت زمان انجام شبیه سازی۱۰۰۰۰۰ ثانیه و تعداد تکرار ۱۰ میباشد.



شکل ۵:مقایسه نرخ بلوکه شدن مکالمه در الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم های دیگر

سطح بار: پارامتر سطح بار برای تعیین میانگین بار وارده بر یک کانال در شبکه مورد استفاده قرار می گیرد و به صورت زیر تعریف می شود:

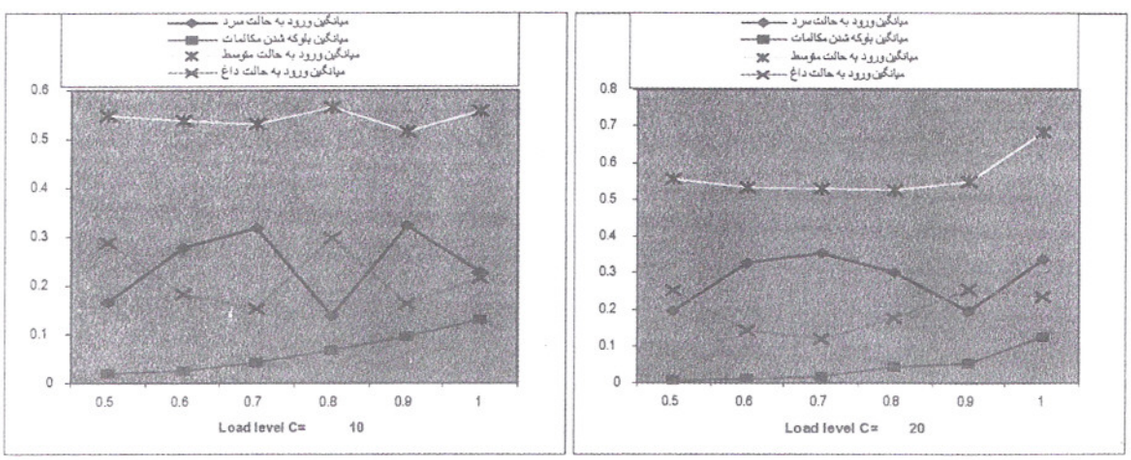
$$\text{Load Level} = \frac{H}{I * C}$$

کـه H میانگین زمان انجام یک مکالمه، I میانگین زمان مابین وقوع دو مکالمه متوالی و C تعداد کانال تخصیص یافته به هر سلول می باشد. فرض شده است که به محض رسیدن یک مکالمه در صورت موجود بودن کانال آزاد، مکالمه فوراً بر قرار می شود.

نـرخ رد شدن درخواستها: مهمتریـن پارامتر ارزیابی عملکرد یک الگوریتم نرخ رد شدن درخواستها می باشد. در شکل ۵ نرخ رد شدن درخواستها در الگوریـتم پیشـنهادی بـا الگوریتم های دیگر مقایسه شده است. در این شکل الگوریتم پیشنهادی با عنوان PCA2 مشخص شده است. همانگونه که در شـکل مشـاهده مـی شـود بـا افزایش سطح بار نرخ بلوکه شدن مکالمات برای همه الگوریتم ها افزایش می یابد. در بارهای سبک الگوریتم پیشنهادی عملکـرد ضـعیفتری نسـبت بـه سایر الگوریتم ها از خود نشان می دهد. علت این است که در بارهای سبک درجه سردی سلولها (d_c) عموما بالا می باشد و هر سلول دارای تعداد زیادی کانال آزاد می باشد ولی (بر اساس قانون ۲ و با توجه به شکل ۷) در بارهای سبک نرخ قرض گیری کانال بسیار بالا می باشد. همچنین با توجه به شکل ۹ در بارهای سبک نرخ ورود اشتباه سلول به حالت داغ نیز بالا می باشد. در واقع در بارهای سبک علیرغم اینکه هر سـلول دارای تعـداد زیادی کانال آزاد می باشد اقدام به قرض گیری کانال از سلولهای همسایه می کند که در نتیجه باعث قفل شدن تعداد زیادی کانال می گردد و نسبت به الگوریتم های دیگر نرخ استفاده بهینه از کانال را کاهش می دهد.

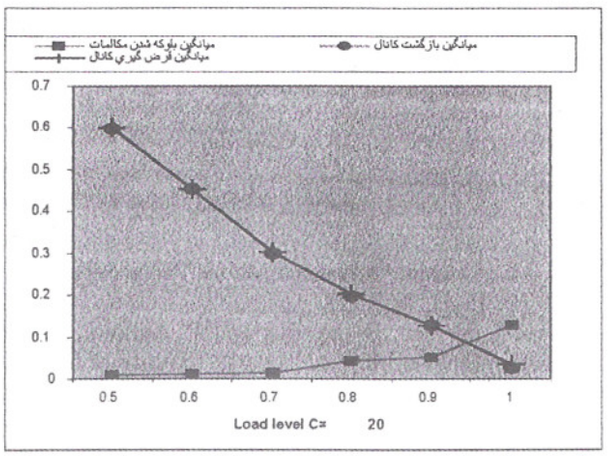
در بارهای متوسط الگوریتم پیشنهادی عملکردی مشابه یا بهتری از خود نسبت به سایر الگوریتم ها نشان می دهد. دلیل این امر این است که تحت بارهـای متوسـط نـرخ قرض گیری کانال متناسب با نرخ ورود مکالمات جدید می باشد . همچنین با استفاده از استراتژی خاص بازگرداندن کانال قرض گرفـته پـس از پایان یافتن مکالمه نرخ بازگرداندن کانال متناسب با نرخ قرض گیری کانال می باشد(شکل ۷) که در مجموع باعث افزایش نرخ استفاده بهیـنه از کانال می گردد. در بارهای سنگین (سطح بار=۱) الگوریتم پیشنهادی عملکرد ضعیف تری نسبت به سایر الگوریتم ها از خود نشان می دهد. این بدین دلیل است که (با توجه به شکل ۷) در بارهای سنگین نرخ قرض گیری کانال بسیار پایین می باشد.

شـکل ۶ نـرخ ورود سلولها به حالات سرد، متوسط و یا داغ در بارهای مختلف را نشان می دهد. میانگین نرخ ورود به حالات سرد، متوسط و یا داغ بـه ترتیـب برابر ۰،۰۵۶،۰۲۳و ۰،۰۲۱ می باشد که متناسب با عمق هر یک از این حالات می باشد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می شود میانگین نرخ ورود بـه حـالات سـرد، متوسـط و داغ بـرای C=20و C=10 تقریـبا یکسان می باشد. شکل ۷ نرخ قرض گیری و بازگشت کانال تحت بارهای ترافیکی مخـتلف بـرای C=20 را نشـان می دهد. استراتژی بازگشت کانال به این صورت است که هر گاه مکالمه ای در یک کانال قرضی پایان یابد، سلول قرض گـیرنده در هـر حالتی که باشد کانال قرضی را به سلول قرض دهنده باز می گرداند. در بارهای ترافیک سبک نرخ قرض گیری کانال بسیار بالا می باشد. دلیل این امر این است که تحت بارهای سبک بر اساس قانون ۲ سلولها خیلی سریع به حالت داغ وارد می شوند و شروع به قرض گیری کانال می کنند و بـا توجـه بـه ایـنکه سلولهای سرد همسایه تعداد زیادی کانال آزاد در اختیار دارند بنابراین نرخ قرض گیری کانال بالا می رود. با افزایش سطح بار نرخ قـرض گیری کانال نیز کاهش می یابد که دلیل اصلی آن کاهش یافتن تعداد کانال آزادی است که سلولها برای قرض دادن در اختیار دارند. با استفاده از اسـتراتژی بازگـرداندن کانـال ذکر شده در این مقاله نرخ بازگرداندن کانال متناسب با نرخ قرض گیری کانال است که در شکل ۷ نشان داده شده است. شکل ۸ نرخ بازگشت و قرض گیری کانال تحت سطوح بار مختلف برایC=10 را نشان می دهد. مقایسه شکل های ۷و ۸ تاثیر تعداد کانالهای تخصیص یافته به هر سلول بر نرخ قرض گیری کانال تحت بار ترافیکی یکسان را نشان می دهد.

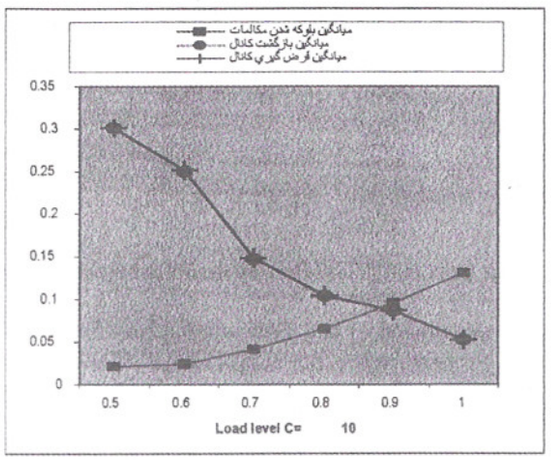


شکل ٦: نرخ ورود به حالات سرد،متوسط و داغ برای C=20 و C=10

بـا مقایسـه شـکل هـای ۷و۸ نتـیجه گرفته می شود تحت بارهای ترافیکی یکسان برای تعداد متفاوتی کانال تخصیص یافته به هر سلول ،نرخ بلوکه شدن مکالمات یکسان است ولی نرخ قرض گیری و بازگشت کانال متناسب با تعداد کانال تخصیص یافته به هر سلول می باشد.

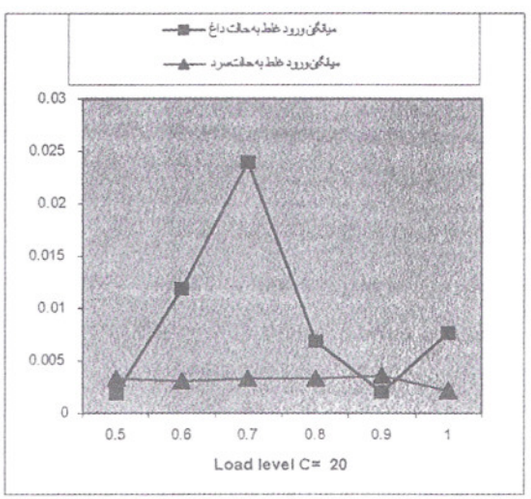


شکل ۷: نرخ قرض گیری و بازگرداندن کانال برای C=20

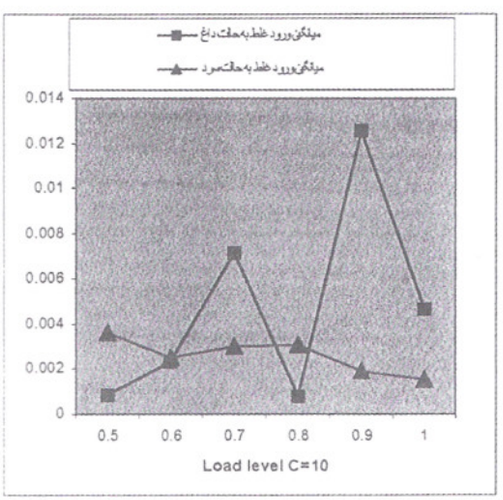


شکل ۸: نرخ قرض گیری و بازگرداندن کانال برای C=10

اگر یک سلول که بیش از HOT_CH=C/5 کانال آزاد در اختیار دارد به حالت داغ وارد شود، یک **ورود غلط به حالت داغ** رخ داده است و اگر یک سلول که کمتر از COLD_CH=C/2 کانال آزاد در اختیار دارد به حالت سرد وارد شود، **یک ورود غلط به حالت سرد رخ** داده است. شکلهای ۹ و ۱۰ میانگین نرخ ورود غلط سلولها به حالت داغ و سرد را نشان میدهند. همانگونه که در شکل ۹ مشاهده می شود در بارهای سبک نرخ ورود غلط به حالت داغ افزایش می یابد و در بارهای متوسط این نرخ کاهش می یابد.نرخ ورود غلط به حالت سرد در بارهای سبک و متوسط ثابت است و در سطح بار =۱ کاهش می یابد. شکل ۱۰ نرخ ورود غلط به حالات داغ و سرد را برای C=10 نشان می دهد. نرخ ورود غلط در هر دو شکل تقریبا مشابه و ثابت می باشد. نرخ ورود غلط به حالت داغ برای بارهای سبک و متوسط (۰،۵ تا ۰،۸) در شکل ۱۰ دوبرابر نرخ ورود غلط به حالت داغ در شکل ۹ میباشد .همچنین در سطح بار ۱ این رابطه وجود دارد. پس می توان نتیجه گرفت نرخ ورود غلط به حالت داغ متناسب با تعداد کانال تخصیص یافته به هر سلول می باشد.



شکل ۹: نرخ ورود غلط به حالات داغ و سرد برای C=20



شکل ۱۰: نرخ ورود غلط به حالات داغ و سرد برای

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک الگوریتم تخصیص کانال توزیع شده برای توازن بار که بر اساس مدل اتوماتای سلولی احتمالی عمق دار میباشد پیشنهاد و عملکرد آن با الگوریتم های D-LBSB و LBSB مقایسه گردیده است. الگوریتم ارائه شده در مقایسه با الگوریتم های LBSB و D-LBSB در شرایط ترافیکی متوسط دارای عملکرد بهتری می باشد. مزایای الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر می باشد:

۱- این الگوریتم مشابه با روش پیشنهادی Zhang [11] از دو حد آستانه استفاده می کند و مانع از ایجاد حالت پینگ پنگی بین حالات داغ و سرد در سلول می شود.

۲- الگوریتم ارائه شده استقلال بیشتری به سلولها برای تعیین رفتار و نحوه تعامل در برابر شرایط مختلف میدهد.

۳- الگوریتم پیشنهادی با استفاده از یک الگوریتم تخصیص کانال کارا سعی در به حداکثر رساندن میزان استفاده از کانال از طریق به حداقل رساندن زمان قفل کانال می کند.

۴- با توجه به اینکه فقط سلولهای همسایه در تعامل با یکدیگر می باشند حجم پیغام های تبادل شده بین سلولها با افزایش سلولهای شبکه افزایش نخواهد یافت.

۷- مراجع

[1] V. H. Mac Donald, "Advanced Mobile Phone Service:The Cellular Concept, " The Bell System Technical Journal, vol . 58, no . 1, pp. 15-41, Jan 1979.

[2] S. Das, S. K. Sen, R .Jayaram and P. Agrawal, "D-LBSB:A Distributed Load Balancing Algorithm for Channel Assignment in Cellular Mobile Networks," Journal of Interconnection Network, vol. 1, no. 3, pp.195-220, 2000.

[3] J. Karlsson and B. Eklundh, "A Cellular Mobile Telephone System with Load Sharing-An Enhancementof Directed Retry," IEEE Trans on Communications, vol .37, no. 5, pp. 530-535, May 1989.

[4] S. Das ,S. K. Sen, R .Jayaram and P.Agrawal, "A Distributed Load Balancing Algorithm for Hot Cell Problem in Cellular Mobile Networks," Proc. IEEE International Symposium on High Pewrformance Distributed Computing, pp. 254-263, 1997.

[5] H. Jaing and S. Rappaport, "CBWL:Anew Channel Assignment and Sharing Method for Cellular Communication Systems," IEEE Tran . Veh. Technol., vol. 43, no. 2, pp. 313-322, May 1994.

[6] V. Neumann , "Theory of Self-Reproducting Automata," University of Illinois Press,1966.

[7] V. Neumann , "The General Logical Theory of Automata," Cerebral Mechanism in Behavior-TheHixon Symposium, 1951.

[8] M. J. E. Golay, "Hexagonal Parallel Pattern Transformations," IEEE Trans..Comput.,Vol. C-18, pp. 733-740, 1969.

[9] K. JR Preston, "Feature Extraction BY Golay Hexagonal Pattern Transformations," IEEE Trans. Comput.,Vol. C-20, pp. 1007-1014, 1979.

[10] N. Boccara and H. Fuks, "Modeling diffusion of innovations with probabilistic cellular automata," September 12, 1999.

[11] Y. Zhang and S. K. Das, "An Efficient Load-balancing Algorithm Based on Two Threshold Cell Selection Scheme in Mobile Cellular Networks," Computer Communications, vol. 23, pp. 452-461, 2000.