تدارک پوياي پهناي‌باند در شبکه‌هاي سرويس متمايز با استفاده از اتوماتاي يادگير سلولي

مهري رجائي[1]، محمدرضا ميبدي[2]

[1] هيات علمي، گروه فناوري اطلاعات، دانشکده مهندسي شهيد نيکبخت، دانشگاه سيستان و بلوچستان
زاهدان ، ايران
Rajayi@ece.usb.ac.ir

[2] هيات علمي، دانشکده مهندسي کامپيوتر و فناوري اطلاعات، دانشگاه سيستان و بلوچستان
تهران، ايران
mmeybodi@aut.ac.ir

چکيده

در اين مقاله يك روش کارا و ساده مبتني بر اتوماتاي يادگير سلولي براي تدارک پوياي پهناي‌باند ارائه مي شود. روش پيشنهادي سعي در ماکزيمم کردن استفاده از پهناي‌باند با اين شرط که کيفيت سرويس از يک آستانه از پيش تعيين شده کمتر نشود مي‌کند. ميزان تدارک پهناي‌باند براي هر کلاس سرويس به طور پويا در بازه‌هاي مشخصي از زمان براساس بازخوردي که از خود مسيرياب و مسيريابهاي همسايه گرفته مي‌شود تغيير مي‌کند. نتايج شبيه‌سازي‌ها نشان داده است که با استفاده از روش تدارک پوياي پيشنهادي مي‌توان کيفيت سرويس بهتري در مقايسه با روش تدارک ايستا از لحاظ نرخ خرابي، تاخير و گذردهي فراهم نمود. همچنين .نتايج شبيه‌سازي‌ها نشان مي‌دهد که مدل پيشنهادي نسبت به تغييرات قيمت، تغييرات ترافيک و نيازمندي کيفيت سرويس واکنش نشان مي‌دهد و با سرعت بالاي به سمت استراتژي تدارک بهينه همگرا مي‌شود.

کلمات کليدي

سرويس متمايز, تدارک پويا, اتوماتاي يادگيرسلولي, کيفيت سرويس

۱- مقدمه

با پيشرفت سريع اينترنت و مطرح شدن کاربردهاي جديدي که نياز به تضمين کيفيت سرويس دارند، IETF[1] دو روش سرويس مجتمع[2][۱۹] و سرويس متمايز[3][۱۵،۱۶] براي ارائه کيفيت سرويس در اينترنت پيشنهاد کرده است. سرويس متمايز به عنوان يك مدل سرويس براي ارائه کيفيت سرويس در شبکه‌هاي IP نسل بعد پذيرفته شده است[۱۶]. يک دامنه در سرويس متمايز گروهي از مسيرياب‌ها هستند که سطوح سرويس مشابه و سياست‌هاي يکساني دارند. مرز يک دامنه سرويس متمايز توسط مسيرياب‌هاي ورودي و خروجي تعيين مي‌شود. از آنجا که در معماري سرويس متمايز جريان‌هاي ترافيک مشتري در گروه‌هاي مختلفي قرار مي‌گيرند، پردازش‌هاي کنترلي مسيرياب‌هاي داخلي بر خلاف معماري سرويس مجتمع که براي هر جريان ترافيک انجام مي‌گيرد، براي هر گروه انجام مي‌گيرد. البته در مسيرياب‌هاي مرزي پردازش‌هاي کنترلي براي هر جريان انجام مي‌شود تا گروه بسته ارسالي مشخص گردد. در داخل دامنه سرويس متمايز، جريان‌هايي که متعلق به کلاس يکساني هستند با هم در يك گروه قرار گرفته و به صورت يك جريان واحد با آنها رفتار مي‌شود. دو گروه, ارسال مطمئن(AF)[4] [۱۷] و ارسال سريع(EF)[5] [۱۸] در سرويس متمايز پيشنهاد شده است.

براي تضمين کيفيت سرويس قراردادي تحت نام توافق سطح سرويس[6] بين مشتري و ارائه‌دهنده سرويس منعقد مي‌شود. در اين قرارداد پارامترهاي کيفيت سرويس، موارد تخلف و مسائل مالي به دقت مشخص مي‌شود. تدارک منابع شبکه يکي از توابع مهم در مديريت توافق سطح سرويس است که وظيفه آن پيکربندي منابع شبکه به منظور تضمين کيفيت سرويس مي‌باشد. يکي از منابع شبکه پهناي‌باند مي‌باشد. تدارک پهناي‌باند در شبکه‌هاي سرويس متمايز شامل تخصيص پهناي‌باند هر اتصال به کلاس‌هاي مختلف سرويس مي‌باشد.

این کار غالبا توسط مسیریاب‌ها در حین زمانبندي ارسال بسته‌ها انجام مي‌شود. چگونگي تخصيص پهناي‌باند براي هر کلاس به عواملي مانند ميزان تقاضا براي هر کلاس، سطح کيفيت سرويس مورد نياز براي هر کلاس و منابع موجود بستگي دارد.

تدارک پهناي‌باند به دو صورت ايستا و پويا انجام مي‌شود. اگر ميزان تخصيص به هر کلاس سرويس با گذشت زمان تغيير نکند تدارک به صورت ايستا و در صورتي که ميزان تخصيص در طي زمان با توجه به ترافيک و سطح کيفيت سرويس ارائه شده تغيير کند، تدارک پهناي‌باند به صورت پويا مي‌باشد. با توجه به اينکه ترافيك شبکه در طي زمان تغيير مي‌کند روش‌هاي تخصيص ايستاي پهناي‌باند کارايي و انعطاف‌پذيري لازم را ندارند و منجر به کاهش درصد استفاده از پهناي باند مي‌گردد. به همين دليل روش‌هاي مختلفي براي تدارک پوياي پهناي‌باند گزارش شده است. برخي روش‌هاي گزارش شده براي تدارک پوياي پهناي‌باند از WFQ [۵،۶،۱۴] استفاده مي‌کنند. اين روش‌ها از نظر معيار تغيير وزن، اهداف و تعداد بروزرساني با هم متفاوت هستند. روش WFQ پويا [۱۰] وزن‌هاي کلاس‌ها را براساس تغيير متوسط نرخ ورود براي رسيدن به تاخير مطلوب تنظيم مي‌کند. روش AWFQ [۸] وزن‌هاي کلاس‌ها را بر اساس طول صف در هر زمان که جريان جديد مي‌رسد، تنظيم مي‌کند. روش گزارش شده در [۷] وزن‌هاي کلاس‌ها را بعد از سرويس دادن يک بسته بر اساس تاخير اندازه‌گيري شده تغيير مي‌دهد. در اين روش به ازاي هر بسته بروزرساني انجام مي‌گيرد. در همه روش‌هاي فوق بروزرساني وزن‌هاي کلاس‌ها در هنگام شروع جريان ترافيک يا ارسال بسته صورت مي‌گيرد، که با افزايش جريان‌هاي ترافيک مشتريان تعداد بروزرساني‌ها افزايش مي‌يابد. بعد از هر بروزرساني، کليه مسيرياب‌هاي دامنه سرويس متمايز بايستي دوباره پيکربندي شوند و اگر تعداد بروزرساني‌ها بالا باشد پياده‌سازي اين روش‌ها غيرممکن مي‌شود.

در روش گزارش شده در [۱۲] وزن‌هاي کلاس‌ها هرگاه که تخلفي در کيفيت سرويس رخ بدهد بروز مي‌گردد. روش‌هاي ارائه شده در [۱۱،۱۴] وزن‌هاي کلاس‌ها را بر اساس تغييرات الگوي ترافيک کلاس‌ها تنظيم مي‌کند. در [۱۴] متوسط طول صف براي تنظيم وزن‌هاي کلاس‌ها به طور پريوديک مورد استفاده قرار مي‌گيرد. در [۹] روشي مبتني بر يادگيري تقويتي براي تنظيم وزن‌ها ارائه شده است که با مشاهده محيط سعي در ماکزيمم کردن ميزان درآمد در بلند مدت مي‌کند. براي هر سه روش فوق تنظيم وزن بر اساس پاسخ محيط صورت مي‌گيرد. در اين روش‌ها سرعت همگرايي به سياست بهينه تنظيم وزن‌ها، معياري براي مقايسه و کارايي روش مي‌باشد.

در [۱،۲] دو روش پويا که مسئله تدارک پهناي‌باند را با استفاده از اتوماتاي يادگير حل مي‌کند بيان شده است. در اين مقاله روشي مبتني بر اتوماتاي يادگير سلولي ارائه مي‌شود که قوانين آن به صورت کلي خارجي[۷] است. لينک‌هاي مجاور با هم همسايه هستند. از آنجائيکه سرويس متمايز به صورت يک طرفه است, بنابراين جريان اطلاعات يک‌طرفه است پس براي هر مسيرياب دو نوع همسايه وجود دارد؛ همسايه‌هايي که پايين جريان قرار دارند و همسايه‌هايي که در بالاي جريان قرار دارند. در اين مدل, مدل يادگيري مشابه [۱] است ولي در اينجا معيار تصميم‌گيري فقط درآمد همان اتصال نيست بلکه درآمد همسايه‌هاي پايين نيز بر تصميم‌گيري تاثير مي‌گذارد.

در اين مقاله روش جديدي مبتني بر اتوماتاي يادگير سلولي براي تدارک پوياي پهناي‌باند کلاس‌هاي سرويس متمايز پيشنهاد مي‌شود. روش پيشنهادي براساس ميزان درآمد به طور پويا پهناي‌باند را به هر گروه ترافيکي تخصيص مي‌دهد. خصوصيات روش پيشنهادي عبارتست از:

- وزن‌هاي صف‌هاي WFQ با استفاده اتوماتاهاي يادگير تنظيم مي‌گردد.
- تنظيم وزن‌هاي صف‌هاي مسيرياب‌ها به صورت غير متمرکز در هر مسيرياب انجام مي‌گيرد.
- برخلاف بسياري از روش‌هايي که بروزرساني به ازاي هر تقاضاي جديد يا هر تخلف انجام مي‌گيرد. در روش پيشنهادي بروزرساني در بازه‌هاي مشخصي از زمان که توسط مدير سيستم تعيين مي‌شود انجام مي‌شود.
- قيمت‌گذاري بر اساس ميزان استفاده از پهناي‌باند مي‌باشد و هر تخلف مشمول جريمه مي‌باشد.

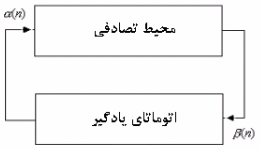
براي بررسي کارايي روش پيشنهادي تعدادي شبيه‌سازي کامپيوتري انجام گرفت. نتايج شبيه‌سازي نشان مي‌دهد که مدل پيشنهادي در مقايسه با تدارک ايستا از متوسط تاخير, نرخ خرابي و گذردهي بهتري برخوردار است. با توجه به نتايج شبيه‌سازي, بکارگيري روش پيشنهادي باعث افزايش ۱۶ درصدي سود، بهبود ۱۵ و ۳۴ درصدي تاخير به ترتيب در کلاس‌هاي ارسال سريع و ارسال مطمئن و بهبود ۱۵/۷۴ و ۲/۷ برابري معکوس نرخ خرابي به ترتيب در کلاس‌هاي ارسال سريع و ارسال مطمئن، نسبت به تدارک ايستا شده است. نتايج شبيه‌سازي نشان مي‌دهد که مدل پيشنهادي نسبت به تغييرات برنامه‌ريزي قيمت, نرخ ترافيک, نيازمندي کيفيت سرويس واکنش نشان مي‌دهد و با سرعت خوبي به سمت استراتژي تدارک بهينه همگرا مي‌شود.

ادامه مقاله بدين صورت سازماندهي شده است. در بخش ۲ اتوماهاتاي يادگيرسلولي مورد استفاده در مقاله به اختصار شرح داده مي‌شود. در بخش ۳ روش تدارک پوياي پهناي‌باند مبتني بر اتوماتاي يادگير سلولي ارائه مي‌شود و در بخش ۴ نتايج شبيه‌سازي‌ها ارائه مي‌گردد. بخش نهايي نتيجه گيري مي‌باشد.

۲- اتوماتاي يادگير سلولي

اتوماتاي يادگير يك مدل انتزاعي است که تعداد محدودي عمل را مي‌تواند انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محيطي احتمالي ارزيابي شده و پاسخي به اتوماتاي يادگير داده مي شود. اتوماتاي

یادگیر از این پاسخ استفاده نموده و عمل خود را براي مرحله بعد انتخاب مي کند [۳،۴] شکل (۱) ارتباط بین اتوماتاي یادگیر و محیط را نشان مي دهد.



شکل (۱): ارتباط بین اتوماتاي یادگیر و محیط

محیط[۸] را مي‌توان توسط سه‌تایي $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودیها ، $\beta = \{\beta_1, ..., \beta_m\}$ مجموعه خروجي‌ها و $c \equiv \{c_1, c_2, \cdots, c_r\}$ مجموعه احتمال‌هاي جریمه مي‌باشد. هر گاه β مجموعه دو عضوي باشد ، محیط از نوع P مي باشد. در چنین محیطي $\beta_1 = 1$ به عنوان جریمه و $\beta_2 = 0$ به عنوان پاداش در نظر گرفته مي شود. در محیط از نوع Q ، $\beta(n)$ مي تواند به طور گسسته یك مقدار از مقادیر محدود در فاصله [0,1] و در محیط از نوع S، $\beta(n)$ متغیر تصادفي در فاصله [0,1] است.

c_i احتمال اینکه عمل α_i نتیجه نامطلوب داشته باشد مي‌باشد. در محیط ایستا مقادیر c_i بدون تغییر مي‌مانند ، حال آنکه در محیط غیر ایستا این مقادیر در طي زمان تغییر مي‌کنند. اتوماتاي یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم مي‌گردند. که در اینجا به دلیل استفاده از اتوماتاي یادگیر با ساختار متغییر فقط به شرح آن مي‌پردازیم.

اتوماتاي یادگیر با ساختار متغیر را مي‌توان توسط چهارتایي $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, ..., \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌هاي اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, ..., \beta_m\}$ مجموعه ورودي‌هاي اتوماتا، $p = \{p_1, .., p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیري مي‌باشد. در این نوع از اتوماتاها, اگر عمل α_i در مرحله nام انتخاب شود و پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید, احتمال $p_i(n)$ افزایش یافته و سایر احتمال‌ها کاهش مي‌یابند و براي پاسخ نامطلوب احتمال $p_i(n)$ کاهش یافته و سایر احتمال‌ها افزایش مي‌یابند. در هر حال تغییرات به‌گونه‌اي صورت مي‌گیرد تا حاصل جمع $p_i(n)$ها همواره ثابت و برابر یک باقي بماند. در ادامه نوعي از اتوماتاي یادگیر با ساختار متغیر مورد استفاده در این مقاله, را معرفي مي‌کنیم.

الگوریتم یادگیر خطي: قانون یادگیري مورد استفاده در این الگوریتم به صورت زیر مي‌باشد:.

- پاسخ مطلوب

$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= p_i(n) + a[1 - p_i(n)] \\ p_j(n+1) &= (1-a)\, p_j(n) \qquad \forall j \quad j \neq i \end{aligned} \tag{۱}$$

- پاسخ نامطلوب

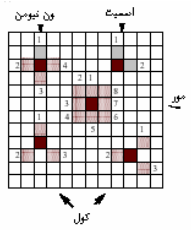
$$\begin{aligned} p_i(n+1) &= (1-b)\, p_i(n) \\ p_j(n+1) &= (b/r-1) + (1-b)\, p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i \end{aligned} \tag{۲}$$

ر روابط (۱) و (۲)، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه مي‌باشند. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را مي‌توان در نظر گرفت[۳].

اتوماتاي یادگیر سلولي که اخیراً پیشنهاد شده است [۲۰]، مدلي براي سیستم‌هایي است که از اجزاء ساده‌اي تشکیل شده‌اند و رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگانش و نیز تجربیات گذشته‌اش تعیین و اصلاح مي‌شود. اجزاء ساده تشکیل‌دهنده این مدل، از طریق کنش و واکنش با یکدیگر مي‌توانند رفتار پیچیده‌اي از خود نشان دهند. هر اتوماتاي یادگیر سلولي، از یك اتوماتاي سلولي تشکیل شده است که هر سلول آن به یك یا چند اتوماتاي یادگیر مجهز مي‌باشد که وضعیت این سلول را مشخص مي‌سازد. مانند اتوماتاي سلولي [۱]، قانون محلي در محیط حاکم است و این قانون تعیین مي‌کند که آیا عمل انتخاب شده توسط یك اتوماتان در یك سلول بایستي پاداش داده شود و یا جریمه شود. عمل دادن پاداش و یا جریمه منجر به بروز در آوردن ساختار اتوماتاي یادگیر سلولي بمنظور نیل به یك هدف مشخص مي‌گردد.

یك اتوماتاي یادگیر سلولي به صورت پنج تایي $<L, V, Q, \Omega, \Phi>$ نشان داده مي‌شود. $L = \{l_1, l_2, \cdots, l_n\}$ مجموعه سلول‌هاي موجود در اتوماتاي یادگیر سلولي مي‌باشد که در یك شبکه کارتزین قرار گرفته‌اند $V = \{vi, i \in L\}$ مجموعه سلول‌هاي همسایه یك سلول در اتوماتاي یادگیر سلولي است. $Q = \{q_1, q_2, \mathrm{L}\ , q_k\}$ مجموعه اعمال مجاز یك اتوماتاي ساکن در یك سلول و $\Omega = \{x: L \to Q\} = Q^N$ فضاي حالت و Φ قانون حاکم بر اتوماتاي یادگیر سلولي مي‌باشد. براي مطالعه بیشتر درباره اتوماتاهاي یادگیر سلولي و کاربردهاي آن مي‌توان به [۲۰] مراجعه کرد.

همسایگي: هر مجموعه مرتب از سلول‌ها را مي‌توان به عنوان همسایه در نظر گرفت اما معمول‌ترین آنها همسایگي ون نیومن ، مور ، اسمیت و کول مي‌باشند که به نزدیکترین همسایگان مشهور مي‌باشند. این همسایگي‌ها در شکل (۲) نشان داده شده‌اند.



شکل (۲) : همسایگي ون نیومن ، مور ، اسمیت و کول

عملکرد اتوماتاي یادگیر سلولي : عملکرد اتوماتاي یادگیر سلولي را مي‌توان به شرح زیر بیان کرد. در هر لحظه هر اتوماتاي یادگیر در اتوماتاي یادگیر سلولي یك عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب مي‌کند این عمل مي‌تواند بر اساس مشاهدات قبلي و یا به صورت تصادفي انتخاب شود. عمل انتخاب شده با توجه به اعمال انتخاب شده توسط سلول‌هاي همسایه و قانون حاکم بر اتوماتاي یادگیر سلولي پاداش و یا جریمه مي‌شود. با توجه به اینکه عمل

انتخاب شده پاداش گرفته و یا جریمه شده است اتوماتا رفتار خود را تصحیح کرده و ساختار داخلي اتوماتا بهنگام مي‌گردد. معمولاً عمل به روز در آوردن تمام اتوماتاها به صورت همزمان انجام مي‌شود. بعد از به روز در آوردن، هر اتوماتا در اتوماتاي يادگير سلولي دوباره يك عمل از مجموعه اعمال خود را انتخاب كرده و انجام مي‌دهد. فرايند انتخاب عمل و دادن پاداش و يا جريمه تا زمانيكه سيستم به حالت پايدار برسد و يا يك معيار از قبل تعريف شده‌اي بر قرار شود ادامه مي‌يابد. عمل بهنگام‌سازي ساختار اتوماتاهاي موجود در اتوماتاي يادگير سلولي توسط الگوريتم يادگيري انجام مي‌شود. در حالت كلي در يك اتوماتاي يادگير سلولي اگر همه حالت‌ها با هم تغيير كنند آن را همزمان گويند و اگر در هر لحظه يك حالت تغيير كند آن را سريال و اگر حالت‌ها به صورت تصادفي يكنواخت تغيير كنند آن را غير همزمان مي‌نامند.

قوانين: قوانين در اتوماتاي يادگير سلولي به سه دسته عمومي[9], كلي[10], كلي خارجي[11] تقسيم مي‌گردند [۳]. در قوانين عمومي مقدار يك سلول در مرحله بعدي به مقادير همسايه‌هاي آن سلول بستگي دارد. در قوانين كلي مقدار يك سلول تنها به مجموع همسايه‌هاي آن سلول بستگي دارد و در قوانين كلي خارجي مقدار يك سلول در مرحله بعدي هم به مقادير همسايه‌هاي آن سلول و هم به خود سلول بستگي دارد.

۳- مدل پيشنهادي

در مدل پيشنهادي، فرايند تنظيم وزن‌هاي كلاس‌ها در بازه‌هاي زماني مشخصي كه توسط مدير شبكه تعيين مي‌شود، فعال شده و وزن‌ها را بر اساس بازخوردي كه از محيط مي‌گيرد تعيين مي‌كند. اين روش، از طريق تغيير تطبيقي وزن‌هاي كلاس‌ها سعي در ماكزيمم كردن استفاده از پهناي‌باند با اين شرط كه كيفيت سرويس از يک آستانه از پيش تعيين شده كمتر نشود, دارد. در اين روش ميزان هزينه قابل پرداخت توسط مشتري (ميزان درآمد ارائه‌دهنده) بر اساس ميزان استفاده و مطابق تابع درآمدي كه در ادامه شرح داده مي‌شود محاسبه مي‌شود. در ادامه اين قسمت ابتدا تابع درآمد مورد استفاده شرح داده مي‌شود و سپس مدل پيشنهادي تدارک پوياي پهناي‌باند كه در آن وزن كلاس‌ها با استفاده از اتوماتاهاي يادگيرسلولي تنظيم مي‌شود ارائه مي‌شود.

۳-۱- تابع درآمد

در اين مدل قيمت بر اساس مقدار استفاده از پهناي باند تعيين مي‌شود و اگر كيفيت مورد نظر برآورده نشود يا بسته گم شود، ارائه‌دهنده به استفاده كننده جريمه پرداخت مي‌نمايد. ترافيك EF براي تاخير و AF هم براي تاخير و هم براي گذردهي جريمه مي‌شود. ميزان حساسيت يک پارامتر كيفيت سرويس براي كلاس‌هاي مختلف را مي‌توان با تنظيم ميزان جريمه آن پارامتر تعيين كرد. مثلا اگر قرار باشد تاخير بسته‌هاي كلاس ۱ داراي حساسيت بيشتري نسبت به بسته‌هاي كلاس ۲ باشد مي‌توان جريمه تاخير بسته كلاس ۱ را ۶ برابر هزينه ارسال آن و جريمه تاخير بسته كلاس ۲ را ۳ برابر هزينه ارسال آن قرار داد.

يكي از دلايل به كارگيري قيمت‌گذاري بر اساس استفاده، عدم نياز كاربران به دانستن خصوصيات ترافيك خود از قبل مي‌باشد. قيمت‌گذاري بر اساس استفاده روش بهتري در مقايسه با روش معمول خط اجاره‌اي مي‌باشد. در روش خط اجاره‌اي قيمت بر اساس پهناي‌باند مشخص شده و در بازه زماني خاص (بدون توجه به ميزان استفاده واقعي پهناي‌باند) صورت مي‌گيرد. با قيمت‌گذاري بر اساس استفاده، ارائه‌دهنده براي ميزان ترافيكي كه كيفيت سرويس براي آن طبق قرارداد توافق شده نيست جريمه پرداخت مي‌كند. اين روش هم براي ارائه‌دهنده و هم براي كاربر مناسب است زيرا منجر به افزايش ميزان استفاده از پهناي‌باند و در نتيجه درآمد بيشتر مي‌شود و از طرفي در هزينه‌هاي كاربر صرفه‌جويي مي‌شود زيرا بر اساس ميزان استفاده پول پرداخت مي‌كند.

ميزان درآمد مسيرياب i طبق [۹] به صورت محاسبه مي‌شود.

$$r_i = \sum (c_j \times t_{i,j} - p_{loss,j} \times I_{i,j} - p_{dly,j} \times d_{i,j} - p_{thr,j} \times th_{i,j}) \quad (۳)$$

كه براي هر كلاس j ، c_j هزينه ارسال هر بيت ترافيك، $t_{i,j}$ مقدار ترافيك فرستاده شده به وسيله مسيرياب i، $I_{i,j}$ تعداد بسته‌هاي گم شده در مسيرياب i، $d_{i,j}$ مقدار ترافيكي كه از طريق مسيرياب i ارسال شده و داراي تاخير بوده است و $th_{i,j}$ تعداد بازه‌هايي كه گذردهي مورد نظر براي ترافيك ارسال شده از طريق مسيرياب i برآورده نشده است مي‌باشد. $p_{loss,j}$ مقدار جريمه براي گم شدن هر بسته، $p_{dly,j}$ جريمه براي هر بسته كلاس j كه داراي تاخير بوده است و $p_{thr,j}$ جريمه بازه‌هايي كه براي كلاس j گذردهي برآورده نشده است، مي باشد.

۳-۲- مدل مبتني بر اتوماتاي يادگير سلولي

هر مسيرياب در دامنه سرويس متمايز يک سلول در نظر گرفته مي‌شود. از آنجائيكه سرويس متمايز يكطرفه لست دو نوع همسايگي براي هر سلول وجود دارد: يكي همسايه‌هايي كه در بالاي جريان ترافيک قرار دارند (مسيرياب‌هايي كه به مسيرياب مورد نظر متصل هستند و قبل از مسيرياب مورد نظر در مسير حركت جريان ترافيک قرار دارند.) و ديگر همسايه‌هايي كه در پايين جريان ترافيک قرار دارند (مسيرياب‌هايي كه به مسيرياب مورد نظر متصل هستند و بعد از مسيرياب مورد نظر در مسير حركت جريان ترافيک قرار دارند.). مثلا در توپولوژي شكل ۴ براي مسيرياب C1 دو تا مسيرياب E1 و E2 همسايه‌هاي بالاي جريان هستند و C2 همسايه پايين جريان است.

در اين مدل عامل‌هاي هر مسيرياب مشابه مدل [۱] عمل مي‌كند با اين تفاوت كه در اينجا معيار تصميم‌گيري مجموع درآمد خود سلول و سلول‌هاي همسايه پايين جريان هستند. دليل آن اين است كه سعي شود مسيرياب‌ها با هم هماهنگ عمل بكنند. مثلا ممكن است كه در يک بازه زماني مسيرياب C1 وزن كلاس EF را كاهش دهد در حاليكه مسيرياب C2 وزن كلاس EF خود را افزايش دهد. حال

بسياري از بسته‌هاي EF ممكن است در صف C1 از بين بروند يا منتظر بمانند در حاليكه مسيرياب C2 اغلب اوقات صف EF آن خالي باشد يا از آن به خوبي استفاده نشود و منجر به عدم استفاده مناسب از پهناي‌باند شود. بنابراين هدف اين است كه هر مسيرياب طوري وزن‌هاي خود را تغيير دهد كه باعث افزايش درآمد همسايه‌هاي پايييني نيز بشود. بنابراين مجموع درآمد هر سلول و سلول‌هاي پاييني معيار تصميم‌گيري است.

اين مدل داراي دو نوع عامل، عامل يادگير و عامل حسابرسي مي‌باشد. عامل‌هاي يادگير بر روي هريک از مسيرياب‌هاي دامنه سرويس متمايز قرار دارند. اين عامل‌ها در بازه‌هاي زماني مشخصي كه توسط مدير شبكه تعيين مي‌شود فعال شده و بر اساس ميزان درآمد خود سلول و سلولهاي پايين جريان در بازه قبل (بازخورد محيط)، وزن‌هاي كلاس‌هاي سرويس را براي صف‌هاي مسيرياب مربوط به خود تنظيم مي‌كنند. عامل‌هاي يادگير در حين ارسال داده‌ها، تعداد بيت‌هاي ارسال شده از آن مسيرياب و تعداد بسته‌هايي كه در صف‌هاي آن مسيرياب حذف شده‌اند را اندازه‌گيري مي‌كنند. و در پايان هر بازه پس از محاسبه ميزان درآمد بازه قبل, اطلاعات درآمد هر گروه را براي همسايه‌هاي بالاي جريان خود مي‌فرستد. عامل‌هاي حسابرسي[۱۲] كه در گره‌هاي مقصد قرار دارند، براي هر مسيرياب دامنه تعداد بسته‌هايي كه از مسيرياب عبور كرده‌اند و تاخير مورد نظر رعايت نشده و تعداد بازه‌هايي كه گذردهي كلاس AF كمتر از حد مقرر بوده است را اندازه‌گيري مي‌كند. در پايان هر بازه، عامل‌هاي حسابرسي گزارش تخلفات را براي عامل‌هابي يادگير مسيرياب‌هاي مربوطه ارسال مي‌كنند.

در مدل پيشنهادي، عامل حسابرسي علاوه بر وظيفه اندازه‌گيري تخلفات (كه در همه مدل‌ها به متظور حسابرسي به هر صورت بايستي انجام شود) در پايان هر بازه، وظيفه ارسال گزارش تخلفات مربوط به هر مسيرياب در دامنه سرويس به عامل يادگير مسيرياب مورد نظر را نيز دارد. عامل‌هاي يادگير مسيرياب‌هاي دامنه سرويس متمايز بر اساس اطلاعاتي كه اندازه‌گيري كرده‌اند و گزارشاتي كه گره‌هاي مقصد مي‌فرستند ميزان درآمد خود در بازه قبل را محاسبه كرده و سپس بر اساس ميزان درآمد خود و ميزان درآمد دريافتي از سلول‌هاي پايين جريان, بر طبق الگوريتم يادگيري اتوماتاي يادگيري كه به آن مجهز مي‌باشد وزن‌هاي كلاس‌هاي سرويس را بروز مي‌كند.

همانطور كه ذكر شد در اين مدل هر سلول از الگوريتم اتوماتاي يادگير خطي [۱] استفاده مي‌كند كه در آن هم جريمه و هم پاداش وجود دارد. شبه‌كد مربوط به الگوريتم در شكل (۳) آمده است. بر سر هر بازه عامل يادگير در مسيرياب‌هاي دامنه, پس از دريافت گزارش تخلفات از عوامل حسابرسي بر اساس تابع درآمد ميزان درآمد خود در بازه قبلي (rev_i) و درآمد متوسط ($avgrev_i$) را محاسبه مي‌كند. پس از محاسبه آنها را براي همسايه‌هاي بالايي مي‌فرستد. پس از دريافت ميزان درآمد همه همسايه‌هاي پاييني مجموع درآمد هر كلاس $revnc_{i,j}$, درآمد متوسط هر كلاس $avgrevnc_{i,j}$ و مجموع درآمدكلي $revn_{i,j}$ و متوسط درآمد كلي $avgrevnc_{i,j}$ را محاسبه كرده و بر اساس درآمد و متوسط درآمد كلي تصميم‌گيري مي‌كند (خط۱۲). درصورت بيشتر بودن درآمد نسبت به درآمد متوسط به وزن كلاسي كه در بازه قبل وزن آن افزايش يافته $weight_s(t+1)$, مطابق الگوريتم يادگير خطي افزايش مي‌يابد, و وزن ساير كلاس‌ها كاهش مي‌يابد. و در صورت كمتر بودن درآمد نسبت به درآمد متوسط وزن كلاسي كه در بازه قبل انتخاب شده كاهش مي‌يابد و سپس در بين بقيه كلاس‌ها، كلاسي كه نسبت درآمد آن به درآمد متوسط كمترين است انتخاب و وزن آن افزايش داده مي‌شود.

Algorithm dynamic provisioning(i indicates router id and j indicates class)

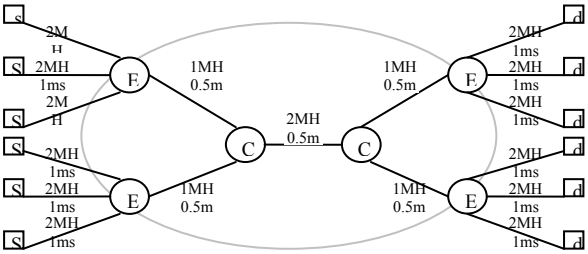
1) Give violation in delay and throughput from destination node
2) Compute revenue of this interval
$$rev_i = \sum (c_j \times t_{i,j} - p_{loss,j} \times I_{i,j} - p_{dly,j} - p_{thr,j} \times th_{i,j})$$
3) Compute average of revenue
$$avgrev_i = \gamma rev_i + (1-\gamma) avgrev_i$$
4) send its revenue and average revenue to its upstream cells
5) give revenue and average revenue from its down stream cells
6) $revn_i$ = sum of revenue own cell and down stream cells
7) $avgrevn_i$ = sum of average revenue own cell and down stream cells
8) for all class j
9) $revnc_{i,j}$ = sum of revenue of class j own cell and down stream cells
10) $avgrevnc_{i,j}$ = sum of average revenue class j own cell and down stream cells
11) ENDFOR
12) IF $avgrevn_i$ <= $revn_i$ THEN
13) $weight_s(t+1) = weight_s(t) + a[1 - weight_s(t)]$;s indecates class in previous interval that increase its weight
14) $weight_j(t+1) = (1-a) weight_j(t) \quad \forall j \quad j \neq s$
15) ELSE
16) $weight_j(t+1) = (1-\beta) weight_j(t) \quad j = s$
17) $weight_j(t+1) = (\beta / N-1) + (1-\beta) weight_j(t) \quad j \neq s$
18) $C_m = \min\{revnc_{i,j} / avgrevnc_{i,j} \; \forall j \quad j \neq s\}$
19) $weight_m(t+1) = weight_m(t) + a[1 - weight_m(t)]$
20) $weight_j(t+1) = (1-a) weight_j(t) \quad \forall j \quad j \neq m$
21) ENDIF
22) RETURN

شكل (۳): شبه‌كد الگوريتم تدارک پويا

۴- شبيه‌سازي

توپولوژي شكل (۴) و مدل پيشنهادي با استفاده از NS2 شبيه‌سازي شده است[۲۱]. توپولوژي مورد نظر داراي ۶ منبع ترافيک و ۶ مقصد

ترافیک می‌باشد. دامنه سرویس متمایز داراي ۶ گره است کـه دو گـره داخلي و ۴ گره مرزي مي‌باشد. دو تا از گره‌هاي مرزي, گره‌هاي ورودي و دو گره ديگر گـره خروجـي هـستند. همـانطور کـه قـبلا اشـاره شـد سرويس متمايز در حال حاضر به صورت يک‌طرفـه اسـت و بـه همـين دليل کيفيت سرويس ارسال داده‌ها در يک جهت تضمين شـده اسـت. زمان‌بندي بافرها با صف‌هاي WFQ مدل شده است که با افزودن بسته نرم‌افزاري [۲۲] به ns2 شبيه‌سـازي گرديـده اسـت. انـدازه بـافر بـراي کلاس‌هاي AF و BE برابر ۱۰۰ و بـراي کـلاس EF در حالـت ايـستا برابر ۲ (براي داشتن تاخير پايين) و براي روش پيشنهادي برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است تا با نگاه‌داشتن بسته‌هاي بيشتر در صف در عـين پايين آوردن نرخ گم شدن، تاخير افزايش نيابد



شکل (۴): توپولوژي سرويس متمايز

مشخصات ترافيک: در اين شبيه‌سازي سه نـوع سـرويس EF، AF و BE به مشتريان ارائه مي‌شود. ترافيک روي هر لينـک دامنـه سـرويس متمايز، ترکيبي از هر سه کلاس مي‌باشد.. در هر لحظه ميزان ترافيـک روي هر اتصال دامنه، نزديک به ظرفيت کامل اتصال اسـت. مشخـصات ترافيک منابع S1 تا S6 در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱): خصوصيات منابع ترافيک

منبع	نوع ترافيک	زمان‌on و off (ms)	زمان بين ورود (s)	نرخ (Kbps)
S1,S4	EF	۵۰۰	۱/۸۷۵	۳۰۰
S2,S5	BE	-	۰/۷۵	۵۰۰
S3,S6	AF	۵۰۰	۴/۵	۵۰۰

S1 منبع ترافيک EF است که به تـاخير حـساس مـي‌باشـد. S3 منبع ترافيک AF است که حساسيت به تـاخير آن کمتـر از EF اسـت ولي نياز به گذردهي بالا دارد. هر دو اين منابع به صورت منـابع نمـايي on-off مدل مـي‌شـوند کـه داراي زمـان يکـسان on و off ۵۰۰ms مي‌باشند. اين دو نوع ترافيک بر روي UDP اجرا مي‌شود. منبع S2 در ns بر روي TCP اجرا مي‌شود که منبع ترافيک BE است و بـه تـاخير حساس نيست. S2 يک منبع CBR اسـت کـه فـضاي بـدون اسـتفاده اتصال را مصرف مي‌کند. اين باعث مي‌شود که اتصال در اغلب زمـان‌هـا پر باشد. منابع S1 تا S6 داراي مقاصد D1 تا D6 مي‌باشند. بسته‌هـاي ارسالي از همه منابع ترافيک ۱۰۰۰ بيتي هستند.

جزئيات شبيه‌سازي: زمان شبيه‌سازي ۳۰۰۰ ثانيـه، بـازه‌هـاي بـروز کردن وزن‌ها ۲۵۰ ثانيه و بازه‌هاي اندازه‌گيري گذردهي برابر ۵۰ ثانيـه در نظر گرفته شده است. مدل پيشنهادي بـا هـر سـه اسـتراتژي اوليـه (جدول ۲) آزمايش شده است. جدول (۳) برنامه‌ريـزي قيمـت‌گـذاري مـورد اسـتفاده را نـشان مـي‌دهـد. هزينـه کـلاس‌هـاي EF و AF بـه ترتيب۱۰ و ۴ برابر هزينه کلاس BE است. جريمه گم شدن در هر سه کلاس ۸ برابر هزينه ارسال بسته است. جريمه تاخير براي کـلاس‌هـاي EF و AF به ترتيب ۴ و ۲ برابر هزينه ارسال بسته است.

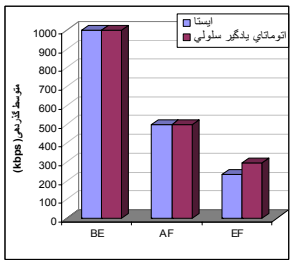
مقدار تاخير مطلوب براي کـلاس EF ۳۵ms و بـراي کـلاس AF برابـر ۴۵ms مـي‌باشـد. اگـر تـاخير بيـشتر از ميـزان مطلـوب باشـد ارائه‌دهنده جريمه مي‌شود. گـذردهي مطلـوب بـراي کـلاس AF برابـر ۲۰۰kbps مي‌باشد. اگر گذردهي کمتر از حد مطلوب باشد ارائه دهنده جريمه مي‌شود. در همه شبيه‌سازي‌هاي انجام شـده پـارامتر پـاداش α برابر ۰/۲ و پارامتر جريمه β برابر ۰/۳ است.

جدول (۲): وزن‌هاي **WFQ** براي استراتژي‌هاي مختلف تدارک

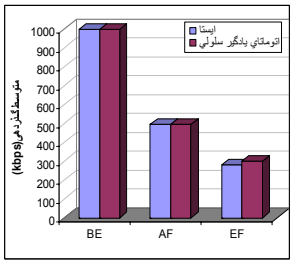
استراتژي تدارک	وزن‌هاي WFQ (EF:AF:BE)
Under-Provisioning	۱:۲:۳
On-Provisioning	۳:۴:۵
Over-Provisioning	۱:۱:۱

جدول (۳): برنامه‌ريزي قيمت‌گذاري

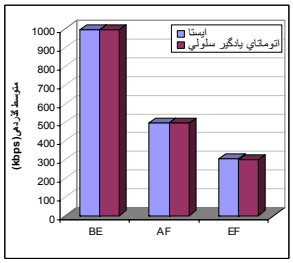
نوع ترافيک	هزينه	P_{loss}	P_{dly}	P_{thr}
EF	۰/۰۰۰۱	۰/۸	۰/۴	۰
AF	۰/۰۰۰۴	۰/۳۲	۰/۰۸	۱۰۰
BE	۰/۰۰۰۱	۰/۰۸	۰	۰



(الف) با استراتژي تدارک کم



(ب) استراتژي تدارک on

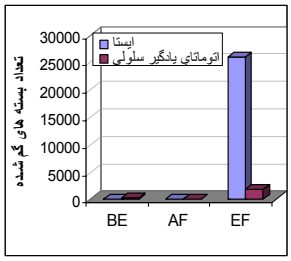


(ج) استراتژي تدارک زياد

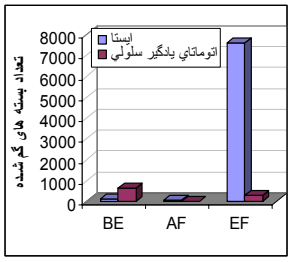
شکل (۵): مقايسه متوسط گذردهي با حالت ايستا براي استراتژي‌هاي مختلف

نتايج شبيه‌سازي: شکل (۵) متوسط گذردهي را بـه تفکيـک کـلاس براي استراتژي‌هاي مختلف در دو مدل ايستا و مدل پيـشنهادي نـشان مي‌دهد. مشاهده مي‌شود که براي هـر سـه اسـتراتژي گـذردهي مـدل پيشنهادي بيشتر است بنابراين از پهناي‌باند استفاده بهتري شده است. به دليل اينکه کلاس EF داراي اهميت بيشتري است اغلـب گـذردهي آن افزايش قابل توجهي يافته است. با مدل پيشنهادي به طور متوسـط گذردهي کلاس EF ۸/۹% افزايش يافته است.

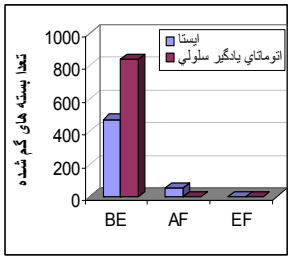
شکل (۶) تعداد بسته‌هاي گم شده استراتژي‌هاي مختلف را بـراي دو مدل ايستا و پيشنهادي نشان مي‌دهد. براي هر سه حالت تعداد کل بسته‌هاي گم شده در دو کلاس EF و AF در مدل پيشنهادي کمتر از حالت ايستا است در هر سه استراتژي تعداد بسته‌هاي گم شده کـلاس BE در مـدل پيـشنهادي افـزايش يافتـه اسـت ولـي در عـوض تعـداد بسته‌هاي گم شده کلاس EF و AF کاهش يافته است. بنابراين نـشان مي‌دهد چون جريمـه ايـن دو کـلاس بيـشتر بـوده اسـت, خـود را بـه استراتژي بهينه نزديک کرده و نسبت به برنامه‌ريزي قيمت تعيين شده واکنش نشان داده است. (لازم به ذکر است به دليل مساوي بودن تعداد بسته‌هاي ارسالي در همه شبيه‌سازي‌ها به جـاي مقايـسه نـرخ خرابـي تعداد بسته‌هاي گم شده را مورد مقايسه قرار داديم.) بنابراين بـه طـور متوسط تعداد بسته‌هاي گم شده در دو کلاس EF وAF بـه ترتيـب در حالت ايستا ۱۵/۷۴ و ۲/۷ برابر مدل پيشنهادي است.



(الف) با استراتژي تدارک کم



(ب) استراتژي تدارک on

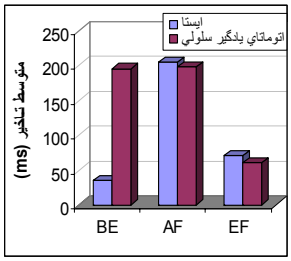


(ج) استراتژي تدارک زياد

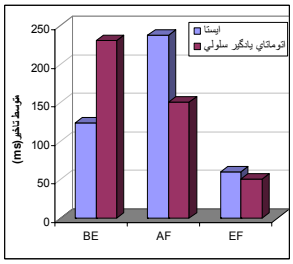
شکل (۶): مقايسه تعداد بسته‌هاي گم شده با حالت ايستا براي استراتژي‌هاي مختلف

شکل (۷) متوسط تاخير استراتژي‌هاي مختلف به تفکيک کـلاس براي مدل پيشنهادي و ايستا را نشان مي‌دهـد. همـانطور کـه مـشاهده مي‌شود در مدل پيشنهادي متوسط تاخير دو کلاس EF و AF کمتر از ايستا است. ولي در عوض متوسط تاخير کلاس BE افزايش يافته است. از آنجا که تاخير کـلاس BE بـراي آن جريمـه مـشخص نـشده اسـت. بنابراين مدل پيـشنهادي کيفيـت کـلاس BE را فـداي کيفيـت سـاير کلاس‌ها کرده است. بنابراين با مدل پيشنهادي به طور متوسـط تـاخير کلاس EF و AF به ترتيب ۱۵% و ۳۴% نسبت به حالـت ايـستا بهبـود يافته است.

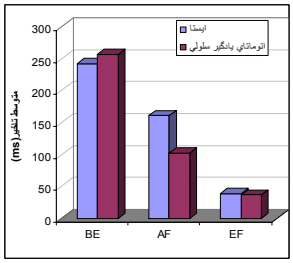
شکل (۸) درآمد حاصل استراتژي‌هاي مختلف براي هر دو مدل را نشان مي‌دهد. مشاهده مي‌شـود بـراي هـر اسـتراتژي درآمـد بـا مـدل پيشنهادي بيشتر از ايستا است. از آن‌جا کـه قيمـت‌گـذاري بـر اسـاس استفاده است و به ازاي هر تخلف ارائه‌دهنده جريمه مـي‌شـود بنـابراين افزايش درآمد به معني استفاده بهتر از پهناي‌بانـد و کيفيـت سـرويس بهتر است. با به کارگيري مدل پيشنهادي به طـور متوسـط ۱۶ درصـد سـود افـزايش يافتـه اسـت. آزمـايش‌هـا نـشان داده اسـت کـه مـدل پيشنهادي مستقل از وزن‌هاي اوليه به استراتژي بهينه همگرا مي‌شود



(الف) با استراتژي تدارک کم

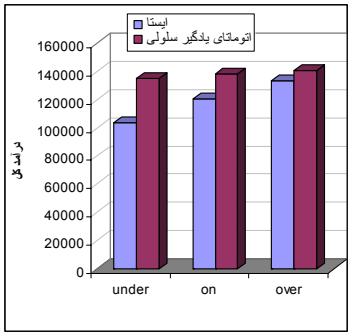


(ب) استراتژي تدارک on



(ج) استراتژي تدارک زياد

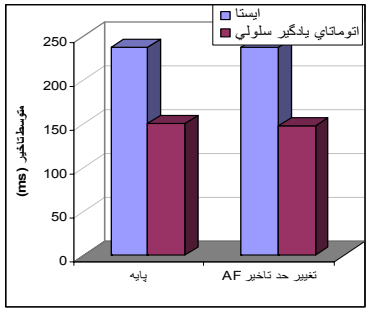
شکل (۷): مقايسه متوسط تاخير با حالت ايستا براي استراتژي‌هاي مختلف



شکل (۸): مقایسه درآمد کل براي استراتژي‌هاي مختلف

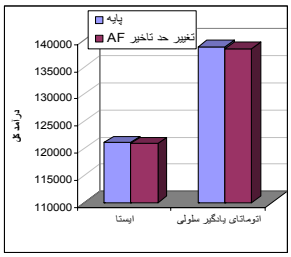
براي بررسي ميزان واكنش مدل پيشنهادي نسبت به تغييرات در ترافيک، برنامه‌ريزي قيمت و يا نيازمندي‌هاي كيفيت، ميزان درآمد كل بدست آمده مورد بررسي قرار مي‌گيرد. با توجه به اينكه آزمايش‌ها نشان داده‌اند كه عملكرد مدل پيشنهادي مستقل از وزن‌هاي اوليه در نظر گرفته شده براي كلاس‌ها همیشه به سمت استراتژي بهينه همگرا مي‌شود، در ادامه آزمايش‌ها فقط براي يک استراتژي انجام مي‌شود.

براي تست ميزان واكنش به تغيير در نيازمندي‌هاي سرويس، نيازمندي تاخير كلاس AF در زمان ۱۵۰۰ ثانيه از ۴۵ms به ۴۲ms تغيير مي‌كند. شكل (۱۰-الف) ميزان درآمد كل را در دو حالت بدون تغيير و با تغيير نيازمندي تاخير AF نشان مي‌دهد. مشاهده مي‌شود كه مدل پيشنهادي همچنان بيشترين ميزان درآمد را دارد. شكل (۹) متوسط تاخير كلاس AF در حالت بدون تغيير در كيفيت و تغيير در كيفيت براي هر دو مدل را نشان مي‌دهد. مشاهده مي‌شود كه با تغيير در حد بالاي تاخير متوسط تاخير كلاس AF با مدل پيشنهادي اندكي كاهش يافته است.

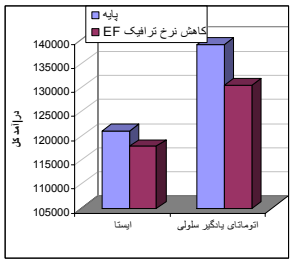


شكل (۹): مقايسه متوسط تاخير با تغيير در نيازمندي تاخير كلاس **AF**

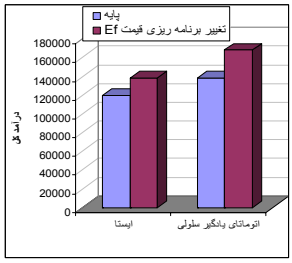
در آزمايش بعدي، واكنش مدل پيشنهادي نسبت به تغييرات در ترافيک ارزيابي مي‌شود. در اين آزمايش در زمان ۱۵۰۰ ثانيه نرخ ترافيک گره S1 از شكل (۴) كه منبع ترافيک EF است نصف مي‌شود. شكل (۱۰-ب) ميزان درآمد حاصل در حالت بدون تغيير و حالت تغيير در نرخ ترافيک EF را نشان مي‌دهد. باز هم مدل پيشنهادي بهتر از ايستا عمل كرده‌است.



(الف) تغيير در حد تاخير AF



(ب) تغيير در نرخ ترافيک EF



(ج) تغيير در قيمت‌گذاري EF

شكل (۱۰): مقايسه درآمد كل باتغيير در نيازمندي كيفيت سرويس و خصوصيات ترافيک و برنامه‌ريزي قيمت

در آزمايش بعدي، واكنش مدل پيشنهادي در مقابل تغييرات در برنامه‌ريزي قيمت بررسي مي‌شود. در زمان ۱۵۰۰ ثانيه برنامه‌ريزي قيمت (هزينه و جريمه‌ها) كلاس EF كه در جدول (۳) ذكر شد دو برابر مي‌شود. شكل (۱۰-ج) ميزان درآمد حاصل در حالت بدون تغيير و حالت تغيير در قيمت EF را نشان مي‌دهد. باز هم مدل پيشنهادي بهتر از ايستا عمل كرده‌است.

جدول (۴) ميزان بهبود را در هر يک از پارامترهاي كيفيت سرويس به تفكيک كلاس براي مدل ارائه شده در [۹،۲] و مدل پيشنهادي نسبت به مدل ايستا نشان مي‌دهد. لازم به ذكر است كه براي همه مدل‌هايي كه تدارک در آنها پويا است، ميزان پيشرفت نسبت به حالت ايستا براساس ميانگين با استراتژي‌هاي مختلف سنجيده شده‌است. مشاهده مي‌شود كه روش پيشنهادي در حالت

جدول (۴): ميزان بهبود پارامترهاي كيفيت سرويس در مدل‌هاي مختلف

درآمد	EF			AF			BE			مدل
	خرابي	تاخير	گذردهي	خرابي	تاخير	گذردهي	خرابي	تاخير	گذردهي	
۱/۰۶۶	۲/۸۵۴	۰/۶۹۵	۱/۰۵۷۳	۰/۹۵۸	۱/۰۵۹	۰/۹۹۹۸	۰/۷۰۶	۰/۸۳۷	۰/۹۹۹۶	[۹]
۱/۰۵۹	۲/۹۶۰	۰/۷۲۵	۱/۰۵۹۳	۰/۱۲۹	۰/۷۱۹	۰/۹۹۷۳	۴/۷۵۵	۲/۱۶۳	۱/۰۰۰۳	[۲]
۱/۱۵۸	۱۵/۷	۱/۱۴۹	۱/۰۸۹۱	۲/۷۰۱	۱/۳۳۸	۱/۰۰۰۰۲	۰/۳۶۴	۰/۵۸۶	۰/۹۹۹۱	پیشنهادي

۵- نتيجه‌گيري

در اين مقاله روشي پويا براي تدارک پهناي باند بر مبناي WFQ و با استفاده از اتوماتاي يادگير سلولي ارائه گرديد. در اين روش هر مسيرياب دامنه سرويس متمايز به عنوان يک سلول در نظر گرفته مي‌شود که مجهز به يک اتوماتاي يادگير است. هر مسيرياب بر اساس درآمد خود و سلولهاي همسايه پايين جريان با انجام عملياتي ساده وزن‌هاي صف خود را بروز مي‌کند. تبادل اطلاعات بين عناصر شبکه اندک مي‌باشد.فقط در پايان هر بازه ميزان درآمد خود را به همسايه‌هاي بالايي خود که عموما از يک يا دو مسيرياب بيشتر نيست مي‌فرستد.. اين مدل باعث ۱۶ درصد سود بيشتر و ۱۵% کيفيت بهتر در تاخير EF و ۳۴% کيفيت بهتر در تاخير AF و بهبود ۱۵/۷۴ برابري نرخ خرابي EF و ۲/۷ برابري نرخ خرابي AF شده است.

مراجع

[۱] مهري رجايي, محمدرضا ميبدي, "تدارک پوياي پهناي باند در شبکه‌هاي سرويس متمايز با استفاده از اتوماتاهاي يادگير", پانزدهمين کنفرانس مهندسي برق ايران, تهران, اردیبهشت ۱۳۸۶.

[۲] مهري رجايي, محمدرضا ميبدي, *"يک روش تدارک پوياي پهناي باند در شبکه‌هاي سرويس متمايز به کمک اتوماتاهاي يادگير با معيار خبرگي اقدام‌ها"*, گزارش فني, دانشگاه اميرکبير, تهران, ۱۳۸۴.

[3] P. Mars, J. R. Chen and R. Nambir, "*Learning Algorithms: Theory and Applications in Signal Processing, Control and Communications*", CRC Press, Inc., pp. 5-24, 1996.

[4] K. S. Narendra and, M. A. Thathachar, *"Learning Automata: An Introduction"*, Prentice Hall, Inc., 1989.

[5] C. Partridge, *"Weighted Fair Queuing"*, Gigabit Networking, pp 276, Addison Wesley Publishing, 1994.

[6] U. Fiedler, *"Porting a WFQ Scheduler into Ns-2's DiffServ Environment"*, Student Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Institute of Technology Zurich, 2001. http://www.simon.trinhall.cam.ac.uk/ukasyncforum15/forum15.pdf

[7] D. Hang, H. Shao, W. Zhu and Y. Zhang, *"TD^{2}FQ: An Integrated Traffic Scheduling and Shaping Scheme for DiffServ Networks"*, Proc. IEEE HPSR 2001, May 2001.

[8] M. F. Horng, W. Lee, K. Lee and Y. Kuo, *"An Adaptive Approach to Weighted Fair Queue with QoS Enhanced on IP Network"*, Proc. IEEE TENCON 2001, Singapore, Aug 2001.

[9] T. C. K. Hui and C. K. Tham, *"Adaptive Provisioning of Differentiated Services Networks based on Reinforcement Learning"*, IEEE Transactions on Systems, Man& Cybernetics - Part C Applications. pp. 492-501, Autumn 2003.

[10] C-C. Li, S. Tsao, M. Chen, Y. Sun, Y. Huang, *"Proportional Delay Differentiation Service Based on Weighted Fair Queuing"*, Proc. IEEE ICCCN 2000, October 2000.

[11] R. F. Liao, A. T. Campbell, *"Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service"*, Proc. IEEE IWQoS 2001, June 2001.

[12] R. F. Liao and A. T. Campbell, *"Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service"*, IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 12, No. 3, pp. 429- 442, June 2004 .

[13] A. Parekh and R. Gallagher, *"A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Network: The Single node Case"*, IEEE/ACM Transaction on networking, Vol. 1, No. 3, pp 334-357, June 1993.

[14] H. Wang, C. Shen and K. Shin, *"Adaptive-Weighted Packet Scheduling for Premium Service"*, Proc.IEEE ICC 2001, Jun 2001

[15] Y. Bernet, J. Binder, S. Blake, *"A Framework for Differentiated Services"*, IETF Internet Draft, February, 1999.

[16] S. Blake, D. Black, *"An Architecture for Differentiated Services"*, IETF RFC 2475, December 1998

[17] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, *"Assured Forwarding PHB Group"*, IETF RFC 2597, June 1999

[18] V. Jacobsen, et al, *"An Expedited Forwarding PHB"*, IETF RFC 2598, June 1999.

[19] S. Shenker, C. Patridge and R. Guerin, *"Specification of Guaranteed Quality of Service"*, IETF RFC 2212, September 1996.

[20] M. R. Meybodi, H. Beigy, *"Cellular Learning Automata and Its Application"*, Technical Report, Computer Eng. Dept., Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, March 2000.

[21] UCB/LBNL/VINT, *"Network Simulator"*, ns-2, 1997. http://www.isi.edu/nsnam/ns/

[22] Package WFQ, http://www.cc.jyu.fi/~sayenko/src/wfq-1.2.2.tar.gz

زيرنويس‌ها

[1] Internet Engineering Task Force
[2] IntServ
[3] DiffServ
[4] Assured Forwarding (AF)
[5] Expedited Forwarding (EF)
[6] Service Level Agreement (SLA)
[7] Outer totalistic
[۸] Environment
[9] General
[10] Totalistic
[11] Outer Totalistic
[12] Accounting