

تدارک پویای پهنای باند در شبکه های سرویس متمایز با استفاده از

اتوماتاهای یادگیر

محمدرضا میبیدی

مهری رجایی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران ایران

چکیده

در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای تدارک پویای پهنای باند در شبکه های سرویس متمایز پیشنهاد میگردد. روش پیشنهادی با این شرط که کیفیت سرویس از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر نشود سعی در ماکزیمم کردن استفاده از پهنای باند میکند. میزان پهنای باند برای هر کلاس سرویس به طور پویا در بازه های مشخصی از زمان براساس بازخوردی که از محیط گرفته می شود تغییر می کند. نتایج شبیه سازیها نشان داده است که با استفاده از این روش می توان کیفیت سرویس بهتری در مقایسه با روش مقایسه با روش تدارک ایستای پهنای باند از لحاظ نرخ خرابی، تاخیر و گذردهی فراهم نمود. همچنین شبیه سازیها نشان می دهد که روش پیشنهادی حتی در صورت ایجاد تغییرات در ترافیک و یا برنامه ریزی قیمت با سرعت بالایی به سمت استراتژی بهینه همگرا می شود.

کلمات کلیدی: سرویس متمایز، تدارک پویا، اتوماتاهای یادگیر، کیفیت سرویس

Bandwidth Provisioning in Differentiated Service Networks Using Learning Automata

Mehri Rejaee M. R. Meybodi

Computer Engineering Information Technology Department

Amirkabir University

Tehran Iran

Abstract

In this paper a method based on learning automata for bandwidth provisioning in differentiated service networks has been proposed. The proposed method tries to maximize the bandwidth providing that the QoS does not go below a predetermined threshold. The bandwidth for each class of service is changed dynamically according to the feed backs received from the environment. Simulation results have shown that comparing to static bandwidth provisioning the proposed method provides better quality of service in terms loss rate. Simulations also have shown that even under varying traffic or pricing conditions the proposed method converges to the optimal policy with an acceptable speed.

Keywords: Computer Networks, Bandwidth Provisioning, Learning Automata, Quality of Service

۱- مقدمه

با پیشرفت سریع اینترنت و مطرح شدن کاربردهای جدیدی که نیاز به تضمین کیفیت سرویس دارند، بازار اینترنت تبدیل به یک بازار رقابتی در زمینه دادن سرویس‌های بهتر و جلب مشتریان بیشتر شده است. IETF^۱ دو روش سرویس مجتمع^۲ [۱۸] و سرویس متمایز^۳ [۱۹] برای ارائه کیفیت سرویس در اینترنت پیشنهاد کرده است. سرویس متمایز به عنوان یک مدل سرویس برای ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های IP نسل بعد پذیرفته شده است [۲]. یک دامنه در سرویس متمایز گروهی از مسیرها هستند که سطوح سرویس مشابه و سیاست‌های یکسانی دارند. مرز یک دامنه سرویس متمایز^۴ توسط مسیرهای ورودی^۵ و خروجی^۶ تعیین می‌شود. از آنجا که در معماری سرویس متمایز جریان‌های ترافیک مشتری در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرند، پردازش‌های کنترلی مسیرهای داخلی بر خلاف معماری سرویس مجتمع که برای هر جریان ترافیک انجام می‌گیرد، برای هر گروه انجام می‌گیرد که این باعث کاهش محاسبات در مسیرهای داخلی می‌شود. البته در مسیرهای مرزی پردازش‌های کنترلی برای هر جریان انجام می‌شود تا گروه بسته‌های مشخص گردد. در داخل دامنه سرویس متمایز، جریان‌هایی که متعلق به کلاس یکسانی هستند با هم در یک گروه قرار گرفته و به صورت یک جریان واحد با آنها رفتار می‌شود. دو گروه، ارسال مطمئن^۷ [۴] و ارسال سریع^۸ [۸] در سرویس متمایز پیشنهاد شده است.

برای تضمین کیفیت سرویس قراردادی تحت نام توافق سطح سرویس^۹ بین مشتری و ارائه‌دهنده سرویس منعقد می‌شود. در این قرارداد پارامترهای کیفیت سرویس، موارد تخلف و مسائل مالی به دقت مشخص می‌شود. مدیریت توافق سطح سرویس شامل توابع مدیریتی ایجاد توافق سطح سرویس، مذاکره، تدارک^{۱۰} منابع شبکه، بازرسی^{۱۱}، نگهداری، گزارش‌گیری و ارزیابی می‌باشد. تابع تدارک منابع شبکه یکی از توابع مهم در مدیریت توافق سطح سرویس است که وظیفه آن پیکربندی منابع شبکه به منظور تضمین کیفیت سرویس می‌باشد. یکی از منابع شبکه پهنای‌بند می‌باشد. تدارک پهنای‌بند در شبکه‌های سرویس متمایز شامل تخصیص پهنای‌بند هر اتصال به کلاس‌های مختلف سرویس (گروه PHB) می‌باشد. این کار غالباً توسط مسیرها در حین زمانبندی ارسال بسته‌ها انجام می‌شود. چگونگی تخصیص پهنای‌بند برای هر کلاس به عواملی مانند میزان تقاضا برای هر کلاس، سطح کیفیت سرویس مورد نیاز برای هر کلاس و منابع موجود بستگی دارد.

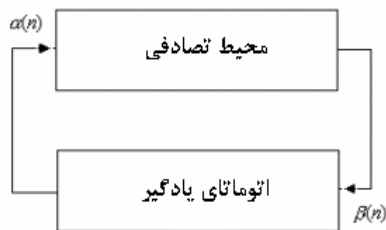
تدارک پهنای‌بند به دو صورت ایستا و پویا انجام می‌شود. اگر

میزان تخصیص به هر کلاس سرویس با گذشت زمان تغییر نکند تدارک به صورت ایستا و در صورتی که میزان تخصیص در طی زمان با توجه به ترافیک و سطح کیفیت سرویس ارائه شده تغییر کند، تدارک پهنای‌بند به صورت پویا می‌باشد. با توجه به اینکه ترافیک شبکه در طی زمان تغییر می‌کند روش‌های تخصیص ایستای پهنای‌بند کارایی و انعطاف پذیری لازم را ندارند و منجر به کاهش درصد استفاده از پهنای‌بند می‌گردد. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای تدارک پویای پهنای‌بند گزارش شده است. برخی روش‌های گزارش شده برای تدارک پویای پهنای‌بند از WFQ [۳] [۱۷] [۱۹] استفاده می‌کنند. این روش‌ها از نظر معیار تغییر وزن، اهداف و تعداد بروزرسانی با هم متفاوت هستند. روش WFQ پویا [۹] وزن‌های کلاس‌ها را براساس تغییر متوسط نرخ ورود برای رسیدن به تاخیر مطلوب تنظیم می‌کند. روش دیگر که AWFQ نامیده می‌شود [۶] وزن‌های کلاس‌ها را بر اساس طول صف در هر زمان که جریان جدید می‌رسد تنظیم می‌کند. این روش به دلیل تنظیم وزن‌ها قبل از شروع جریان ترافیک هر مشتری، دارای دو مشکل است: عدم انعطاف‌پذیری (بدلیل اینکه مشتری بایستی خصوصیات ترافیکی خود را از قبل بداند که این همیشه از قبل قابل پیش‌بینی نیست) و عدم تنظیم مجدد میزان تخصیص پهنای‌بند حتی در صورت تغییرات در ترافیک کلاس‌ها در طی جریان. روش گزارش شده در [۴] وزن‌های کلاس‌ها را بعد از سرویس دادن یک بسته بر اساس تاخیر اندازه‌گیری شده تغییر می‌دهد. در این روش به ازای هر بسته فرایند بروز رسانی انجام می‌گیرد و هدف آن این است که میزان استفاده از پهنای‌بند را با این شرط که میزان تاخیر از یک مقدار از پیش تعیین شده بیشتر نشود ماکزیمم کند. در همه روش‌های فوق بروزرسانی وزن‌های کلاس‌ها در هنگام شروع یک جریان ترافیک یا ارسال بسته صورت می‌گیرد، که با افزایش میزان ترافیک مشتریان تعداد بروزرسانی‌ها افزایش می‌یابد. بعد از هر بروزرسانی، کلیه مسیرهای دامنه سرویس متمایز بایستی دوباره پیکربندی می‌شوند و اگر تعداد بروزرسانی‌ها بالا باشد پیاده‌سازی این روش‌ها غیرممکن می‌شود.

در روش گزارش شده در [۱۱] وزن‌های کلاس‌ها هرگاه که تخلفی در کیفیت سرویس رخ بدهد بروز می‌گردد و در صورت تکرار تخلف، شکل ترافیک ورودی به دامنه سرویس متمایز را تغییر می‌دهد. روش‌های ارائه شده در [۱۰] و [۱۹] وزن‌های کلاس‌ها را بر اساس تغییرات الگوی ترافیک کلاس‌ها تنظیم می‌کند. در [۱۹] متوسط طول صف برای تنظیم وزن‌های کلاس‌ها به طور پریودیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش هرگاه که متوسط طول صف

۲- اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر یک مدل انتزاعی است که تعداد محدودی عمل را می‌تواند انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیطی احتمالی ارزیابی شده و پاسخی به اتوماتای یادگیر داده می‌شود. اتوماتای یادگیر از این پاسخ استفاده نموده و عمل خود را برای مرحله بعد انتخاب می‌کند. [۱۲] [۱۴]. شکل ۱ ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

محیط^{۱۴} را می‌توان توسط سه‌تایی $E \equiv \{\alpha, \beta, c\}$ نشان داد که در آن $\alpha \equiv \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه ورودی‌ها، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه خروجی‌ها و $c \equiv \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه احتمال‌های جریمه می‌باشد. هر گاه β مجموعه دو عضوی باشد، محیط از نوع P می‌باشد. در چنین محیطی $\beta_1 = 1$ به عنوان جریمه و $\beta_2 = 0$ به عنوان پاداش در نظر گرفته می‌شود. در محیط از نوع Q، $\beta(n)$ می‌تواند به طور گسسته یک مقدار از مقادیر محدود در فاصله $[0, 1]$ و در محیط از نوع S، $\beta(n)$ متغیر تصادفی در فاصله $[0, 1]$ است. C_i احتمال اینکه عمل α_i نتیجه نامطلوب داشته باشد می‌باشد. در محیط ایستا مقادیر C_i بدون تغییر می‌مانند، حال آنکه در محیط غیر ایستا این مقادیر در طی زمان تغییر می‌کنند. اتوماتای یادگیر به دو گروه با ساختار ثابت و با ساختار متغیر تقسیم می‌گردند. در ادامه این بخش اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغیر که در این مقاله استفاده شده است بطور اختصار شرح داده می‌شود.

اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر را می‌توان توسط چهارتایی $\{\alpha, \beta, p, T\}$ نشان داد که $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$ مجموعه عمل‌های اتوماتا، $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه ورودی‌های اتوماتا، $p = \{p_1, \dots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها و $p(n+1) = T[\alpha(n), \beta(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. در این نوع از اتوماتاها، اگر عمل α_i در مرحله n انتخاب شود و پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال $p_i(n)$ افزایش یافته و سایر احتمال‌ها کاهش می‌یابند و برای پاسخ نامطلوب احتمال

از یک مقدار آستانه بیشتر شود، وزن‌های کلاس‌ها بروز می‌شوند. در [۷] روشی مبتنی بر یادگیری تقویتی^{۱۲} برای تنظیم وزن‌ها ارائه شده است که با مشاهده محیط سعی در ماکزیمم کردن میزان درآمد حاصل از ارائه سرویس به مشتریان در بلند مدت می‌کند. برای هر سه روش فوق تنظیم وزن بر اساس پاسخ محیط صورت می‌گیرد. در این روش‌ها سرعت همگرایی به سیاست بهینه تنظیم وزن‌ها، معیاری برای مقایسه و کارایی روش می‌باشد.

در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغیر^{۱۳} برای تدارک پویای پهنای‌بند کلاس‌های سرویس متمایز پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی براساس میزان درآمد به طور پویا پهنای‌بند را به گروه‌های ترافیکی تخصیص می‌دهد. خصوصیات روش پیشنهادی عبارتست از:

- وزن‌های صف‌های WFQ با استفاده از اتوماتاهای یادگیر تنظیم می‌گردد.
- برخلاف روش‌های موجود، تنظیم وزن‌های صف‌های مسیریاب‌ها به صورت غیر متمرکز در هر مسیریاب انجام می‌گیرد.
- برخلاف بسیاری از روش‌های پویا که بروزرسانی به ازای هر تقاضای جدید یا هر تخلف در توافق انجام می‌گیرد در روش پیشنهادی بروزرسانی در بازه‌های مشخصی از زمان که توسط مدیر سیستم تعیین می‌شود انجام می‌شود.
- قیمت‌گذاری بر اساس میزان استفاده از پهنای‌بند می‌باشد و هر تخلف مشمول جریمه می‌باشد.

برای بررسی کارایی روش پیشنهادی تعدادی شبیه‌سازی کامپیوتری با استفاده از شبیه‌ساز NS2 انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با تدارک ایستا از متوسط تاخیر، نرخ خرابی و گذردهی بهتری برخوردار است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، بکارگیری روش پیشنهادی باعث افزایش ۱۶ درصدی سود، بهبود ۲۵ و ۳۲ درصدی متوسط تاخیر به ترتیب در کلاس‌های ارسال سریع و ارسال مطمئن و بهبود ۲۷ و ۱۰ برابری معکوس نرخ خرابی به ترتیب در کلاس‌های ارسال سریع و ارسال مطمئن، نسبت به تدارک ایستا شده است. نتایج شبیه‌سازی همچنین نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات قیمت، نرخ ترافیک، نیازمندی کیفیت سرویس واکنش نشان می‌دهد و با سرعت خوبی به سمت استراتژی تدارک بهینه همگرا می‌شود. ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتاهای یادگیر به اختصار شرح داده می‌شود. در بخش ۳ روش تدارک پویای پهنای‌بند مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر و در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازیها ارائه می‌گردد. بخش نهایی نتیجه‌گیری می‌باشد...

$p_i(n)$ کاهش یافته و سایر احتمالات افزایش می‌یابند. در هر حال تغییرات به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد تا حاصل جمع $p_i(n)$ ها همواره ثابت و برابر یک باقی بماند. الگوریتم زیر یک نمونه از الگوریتم‌های یادگیری خطی در اتوماتای با ساختار متغیر است:

- پاسخ مطلوب

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)]$$

$$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \neq i$$

- پاسخ نا مطلوب

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n)$$

$$p_j(n+1) = (b/r-1) + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \neq i$$

در روابط فوق، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه می‌باشند. با توجه به مقادیر a و b سه حالت زیر را می‌توان در نظر گرفت. زمانی که a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} ، زمانی که b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را L_{REP} و زمانی که b مساوی صفر باشد الگوریتم را L_{RI} می‌نامیم [۱۲].

۳- مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی، فرایند تنظیم وزن‌های کلاس‌ها در بازه‌های زمانی مشخصی که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود فعال شده و وزن‌ها را بر اساس بازخوردی که از محیط می‌گیرد تعیین می‌کند. این روش، از طریق تغییر تطبیقی وزن‌های کلاس‌ها با این شرط که کیفیت سرویس از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر نشود سعی در ماکزیمم کردن استفاده از پهنای‌بند می‌کند. در این روش میزان هزینه قابل پرداخت توسط مشتری (میزان درآمد ارائه‌دهنده) بر اساس میزان استفاده و مطابق تابع درآمدی که در ادامه شرح داده می‌شود محاسبه می‌گردد. در ادامه این قسمت ابتدا تابع درآمد مورد استفاده شرح داده می‌شود و سپس مدل پیشنهادی تدارک پویای پهنای‌بند که در آن وزن کلاس‌ها با استفاده از اتوماتاهای یادگیر تنظیم می‌شود ارائه می‌گردد.

۳-۱ تابع درآمد

در این مدل قیمت بر اساس مقدار استفاده از پهنای‌بند تعیین می‌شود و اگر کیفیت مورد نظر برآورده نشود یا بسته گم شود، ارائه‌دهنده به استفاده کننده جریمه پرداخت مینماید. ترافیک EF برای تاخیر و AF هم برای تاخیر و هم برای گذردهی جریمه می‌شود. میزان حساسیت یک پارامتر کیفیت سرویس برای کلاس‌های مختلف را می‌توان با تنظیم میزان جریمه آن پارامتر تعیین کرد. مثلاً اگر قرار باشد تاخیر بسته‌های کلاس ۱ دارای حساسیت بیشتری نسبت به بسته‌های کلاس ۲ باشد می‌توان

جریمه تاخیر بسته کلاس ۱ را ۶ برابر هزینه ارسال آن و جریمه تاخیر بسته کلاس ۲ را ۳ برابر هزینه ارسال آن قرار داد.

یکی از دلایل به کارگیری قیمت‌گذاری براساس استفاده، عدم نیاز کاربران به دانستن خصوصیات ترافیک خود از قبل می‌باشد. قیمت‌گذاری بر اساس استفاده روش بهتری در مقایسه با روش معمول خط اجاره‌ای می‌باشد. در روش خط اجاره‌ای قیمت بر اساس پهنای‌بند مشخص شده و در بازه زمانی خاص (بدون توجه به میزان استفاده واقعی پهنای‌بند) صورت می‌گیرد. با قیمت‌گذاری بر اساس استفاده، ارائه‌دهنده برای میزان ترافیکی که کیفیت سرویس برای آن بر طبق قرارداد توافق شده است جریمه پرداخت می‌کند. این روش هم برای ارائه‌دهنده و هم برای کاربر مناسب است زیرا منجر به افزایش میزان استفاده از پهنای‌بند و در نتیجه درآمد بیشتر می‌شود و از طرفی در هزینه‌های کاربر صرفه‌جویی می‌شود زیرا پرداختی او بر اساس میزان استفاده می‌باشد. میزان درآمد مسیریاب i به صورت زیر محاسبه می‌شود [۷].

(۳)

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

که برای هر کلاس j ، c_j هزینه ارسال هر بیت ترافیک، $t_{i,j}$ مقدار ترافیک ارسالی توسط مسیریاب i ، $I_{i,j}$ تعداد بسته‌های گم شده در مسیریاب i ، $d_{i,j}$ مقدار ترافیکی که از طریق مسیریاب i ارسال شده و دارای تاخیر بوده است و $th_{i,j}$ تعداد بازه‌هایی که گذردهی مورد نظر برای ترافیک ارسال شده از طریق مسیریاب i برآورده نشده است می‌باشد. $p_{loss,j}$ مقدار جریمه برای گم شدن هر بسته، $p_{dly,j}$ جریمه برای هر بسته کلاس j که دارای تاخیر بوده است و $p_{thr,j}$ جریمه بازه‌هایی که برای کلاس j گذردهی برآورده نشده است می‌باشد.

۳-۲ مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی دو نوع عامل، یادگیر و حسابرسی تعریف شده است. هریک از مسیریاب‌های دامنه سرویس متمایز دارای یک عامل یادگیر می‌باشد. این عامل‌ها در بازه‌های زمانی مشخصی که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود فعال شده و بر اساس میزان درآمد ارائه‌دهنده در بازه قبل (بازخورد محیط)، وزن‌های کلاس‌های سرویس را برای صف‌های مسیریاب مربوط به خود تنظیم می‌کنند. عامل‌های یادگیر در حین ارسال داده‌ها، تعداد بیت‌های ارسال شده از آن مسیریاب و تعداد بسته‌هایی که در صف‌های آن مسیریاب حذف شده‌اند را اندازه‌گیری می‌کنند. عامل‌های حسابرسی^{۱۵} که در گره‌های مقصد قرار دارند، برای هر مسیریاب دامنه تعداد بسته‌هایی که از مسیریاب عبور کرده‌اند و

احتمال‌ها افزایش می‌یابند. بروز کردن بردار احتمالات بر طبق الگوریتم یادگیری LRP انجام می‌گیرد.

در شروع کار، برای هر از اتوماتاهای یادگیر، احتمال انتخاب همه اقدامها یکسان و برابر $1/k$ می‌باشد. در اولین بازه یکی از کلاس‌ها با احتمال یکسان انتخاب می‌گردد و وزن آن افزایش می‌یابد. از بازه دوم به بعد به این صورت عمل می‌شود که اگر درآمد حاصله در آن بازه بیشتر از درآمد متوسط بود به کلاسی که در بازه قبل وزن آن افزایش یافته پاداش داده می‌شود. مکانیزیم دادن پاداش و یا جریمه مطابق الگوریتم یادگیر خطی که در بخش ۲ آمده می‌باشد. اگر درآمد بازه کمتر از درآمد متوسط باشد کلاسی که وزن آن در مرحله قبل افزایش یافته جریمه می‌شود و سپس در بین بقیه کلاس‌ها، کلاسی که نسبت درآمد آن به درآمد متوسط کمترین است انتخاب و وزن آن افزایش داده می‌شود.

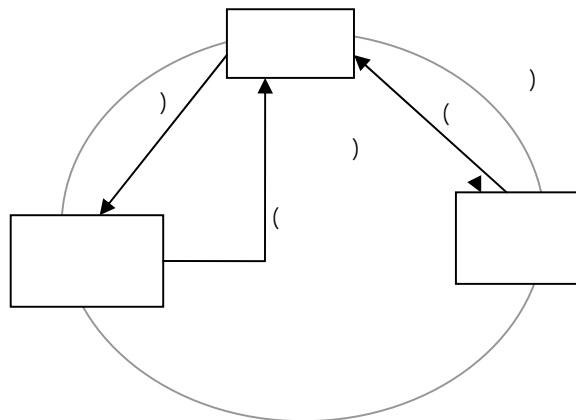
۴- شبیه‌سازی

توپولوژی شکل ۳ و مدل پیشنهادی با استفاده از NS2 شبیه‌سازی شده است [۱۵]. توپولوژی مورد نظر دارای ۶ منبع ترافیک و ۶ مقصد ترافیک می‌باشد. دامنه سرویس متمایز دارای ۶ گره است که دو گره آن داخلی و ۴ گره آن مرزی می‌باشد. دو تا از گره‌های مرزی، گره‌های ورودی و دو گره دیگر گره‌های خروجی هستند. همانطور که قبلاً اشاره شد سرویس متمایز در حال حاضر به صورت یک‌طرفه است و به همین دلیل کیفیت سرویس ارسال داده‌ها در یک جهت تضمین شده است. زمان‌بندی بافرها با صف‌های WFQ مدل شده است که با افزودن بسته نرم‌افزاری [۲۰] به ns2 شبیه‌سازی گردیده است. اندازه بافر برای کلاسهای AF و BE برابر ۱۰۰ و برای کلاس EF در حالت ایستا برابر ۲ (برای داشتن تاخیر پایین) و برای روش پیشنهادی برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است تا با نگاه‌داشتن بسته‌های بیشتر در صف در ضمن پایین آوردن نرخ گم شدن، تاخیر افزایش نیابد

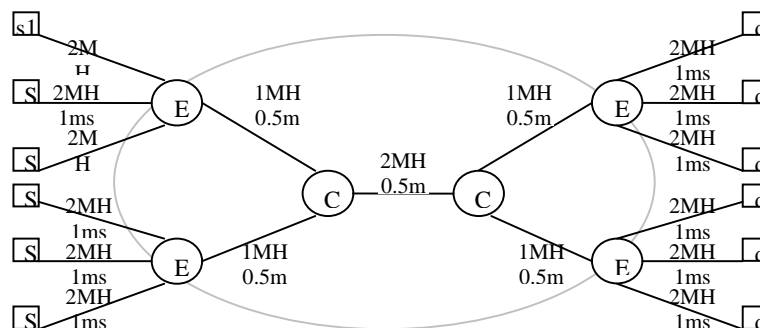
تاخیر مورد نظر رعایت نشده و تعداد بازه‌هایی که گذردهی کلاس AF کمتر از حد مقرر بوده است را اندازه‌گیری می‌کند. در پایان هر بازه، عامل‌های حسابرسی گزارش تخلفات را برای عامل‌هایی یادگیر مسیریاب‌های مربوطه ارسال می‌کنند (شکل ۲).

در مدل پیشنهادی، عامل حسابرسی علاوه بر وظیفه اندازه‌گیری تخلفات (که در همه مدل‌ها به منظور حسابرسی به هر صورت بایستی انجام شود) در پایان هر بازه، وظیفه گزارش تخلفات مربوط به هر مسیریاب در دامنه سرویس به عامل یادگیر مسیریاب مورد نظر را نیز دارد. عامل‌های یادگیر مسیریاب‌های دامنه سرویس متمایز بر اساس اطلاعاتی که اندازه‌گیری کرده‌اند و گزارشاتی که گره‌های مقصد می‌فرستند میزان درآمد خود در بازه قبل را محاسبه کرده و سپس بر اساس میزان درآمد بدست آمده و بر طبق الگوریتم یادگیری اتوماتای یادگیری که به آن مجهز می‌باشد وزن‌های کلاس‌های سرویس را بروز می‌کند.

هر عامل یادگیر به یک اتوماتای یادگیر با k عمل مجهز می‌باشد که k تعداد کلاس‌های سرویس می‌باشد. $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_k\}$ مجموعه عمل‌های یک اتوماتای یادگیر می‌باشد. اگر یک اتوماتای یادگیر عمل α_i را انتخاب کند این بدین معنی است که بسته بعدی که ارسال می‌شود متعلق به صف کلاس i خواهد بود. $p = \{p_1, \dots, p_r\}$ بردار احتمال انتخاب هر یک از عمل‌ها می‌باشد. P_i وزن کلاس i در صف WFQ می‌باشد. $\beta = \{rev_1, \dots, rev_k\}$ مجموعه پاسخ‌های محیط یا ورودی‌های اتوماتای یادگیر می‌باشد که rev_j میزان درآمد حاصل از ارسال بسته‌های کلاس j از طریق مسیریاب مورد نظر در بازه قبل را نشان می‌دهد. در این اتوماتاها، اگر کلاس i ام در مرحله t ام وزن آن افزایش یابد و پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال $p_i(t)$ افزایش یافته و سایر احتمال‌ها کاهش می‌یابند و برای پاسخ نامطلوب احتمال $p_i(t)$ کاهش یافته و سایر



شکل ۲: تبادل اطلاعات بین عامل های مدل پیشنهادی



شکل ۳: توپولوژی سرویس متمایز

تاخیر حساس نیست. S2 یک منبع CBR است که فضای بدون استفاده اتصال را مصرف می کند. این باعث می شود که اتصال در اغلب زمان ها پر باشد. منابع S1 تا S6 دارای مقاصد D1 تا D6 می باشند. بسته های ارسالی از همه منابع ترافیک ۱۰۰۰ بیتی هستند.

جزئیات شبیه سازی: زمان شبیه سازی ۳۰۰۰ ثانیه، بازه های بروز کردن وزن ها ۲۵۰ ثانیه و بازه های اندازه گیری گذردهی برابر ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی با هر سه استراتژی اولیه (جدول ۲) آزمایش شده است. جدول ۳ برنامه ریزی قیمت گذاری مورد استفاده را نشان می دهد. هزینه کلاس های EF و AF به ترتیب ۱۰ و ۴ برابر هزینه کلاس BE است. جریمه گم شدن در هر سه کلاس ۸ برابر هزینه ارسال بسته است. جریمه تاخیر برای کلاس های EF و AF به ترتیب ۴ و ۲ برابر هزینه ارسال بسته است. مقدار تاخیر مطلوب برای کلاس EF ۳۵ms و برای کلاس AF برابر ۴۵ms می باشد. اگر تاخیر بیشتر از میزان مطلوب باشد ارائه دهنده جریمه می شود. گذردهی مطلوب برای کلاس AF برابر ۲۰۰kbps می باشد. اگر گذردهی کمتر از حد مطلوب باشد ارائه دهنده جریمه می شود. در همه شبیه سازی های انجام شده پارامتر پاداش α برابر ۱/۲ و پارامتر جریمه β برابر ۰/۳ است.

مشخصات ترافیک: در این شبیه سازی سه نوع سرویس EF، BE و AF به مشتریان ارائه می شود. ترافیک روی هر لینک دامنه سرویس متمایز، ترکیبی از هر سه کلاس می باشد. در هر لحظه میزان ترافیک روی هر اتصال دامنه، نزدیک به ظرفیت کامل اتصال است. مشخصات ترافیک منابع S1 تا S6 در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: خصوصیات منابع ترافیک

منبع	نوع ترافیک	زمان on و off (ms)	زمان بین 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 ترافیک EF است که به تاخیر حساس می باشد. S3 منبع ترافیک AF است که حساسیت به تاخیر آن کمتر از EF است ولی نیاز به گذردهی بالا دارد. هر دو این منابع به صورت منابع نمایی on-off مدل می شوند که دارای زمان یکسان on و off ۵۰۰ms می باشند. این دو نوع ترافیک بر روی UDP اجرا می شود. منبع S2 در ns بر روی TCP اجرا می شود که منبع ترافیک BE است و به

جدول ۲: وزن های WFQ برای استراتژی های مختلف تدارک

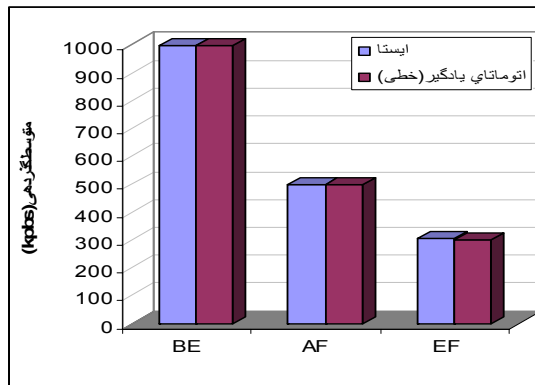
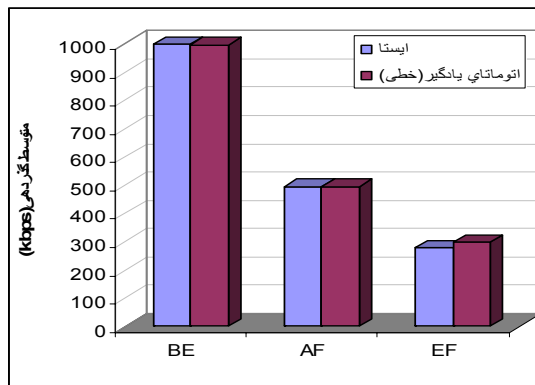
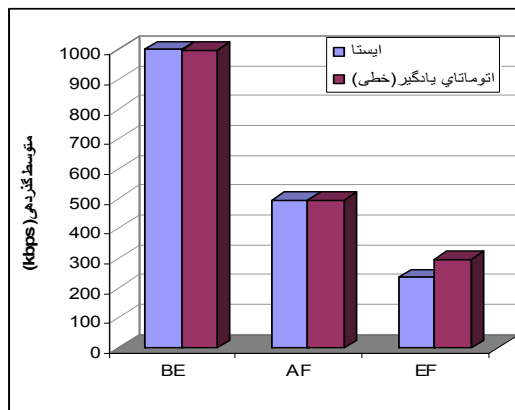
استراتژی تدارک	وزن های WFQ (EF:AF:BE)
Under-Provisioning	۱:۲:۳
On-Provisioning	۳:۴:۵
Over-Provisioning	۱:۱:۱

جدول ۳: برنامه ریزی قیمت گذاری

نوع ترافیک	هزینه	P_{loss}	P_{dly}	P_{thr}
EF	۰/۰۰۰۱	۰/۸	۰/۴	۰
AF	۰/۰۰۰۰۴	۰/۳۲	۰/۰۸	۱۰۰
BE	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۸	۰	۰

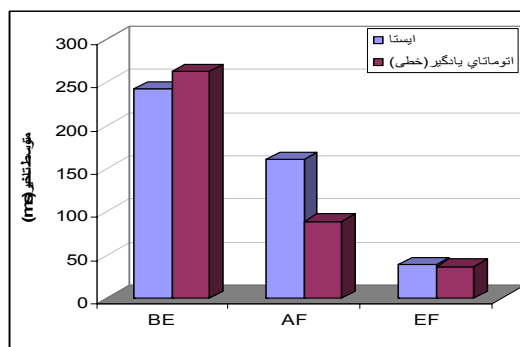
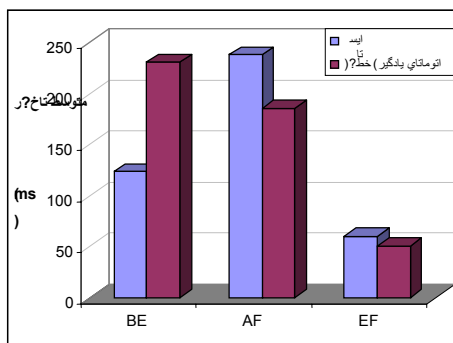
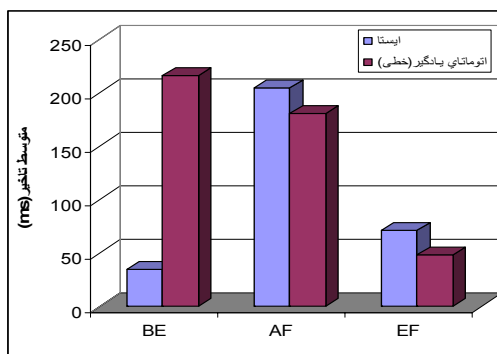
نتایج شبیه سازی: شکل ۴ نتایج مقایسه متوسط گذردهی به تفکیک کلاس برای استراتژی های مختلف در دو مدل ایستا و مدل پیشنهادی را نشان می دهد. مشاهده می شود که برای هر سه استراتژی گذردهی مدل پیشنهادی بیشتر است و در نتیجه از پهنای باند استفاده بهتری شده است. به دلیل اینکه کلاس EF دارای برنامه ریزی قیمت سخت تری است، گذردهی آن افزایش یافته است بدون اینکه گذردهی کلاس های دیگر کاهش چندانی پیدا کند. با مدل پیشنهادی به طور متوسط گذردهی کلاس EF ۹٪ افزایش یافته است.

شکل ۵ نتایج مقایسه تعداد بسته های گم شده برای استراتژی های مختلف مابین مدل پیشنهادی و مدل ایستا را نشان می دهد. برای هر سه حالت تعداد کل بسته های گم شده در دو کلاس EF و AF در مدل پیشنهادی کمتر از حالت ایستا است. در استراتژی تدارک کم و زیاد تعداد بسته های گم شده کلاس BE مدل پیشنهادی بیشتر از مدل ایستا می باشد. ولی در مقابل تعداد بسته های گم شده کلاس EF و AF در مدل پیشنهادی کمتر می باشد. این مقایسه نشان می دهد چون جریمه گم شدن بسته های این دو کلاس در برنامه ریزی قیمت جدول ۳ بیشتر بوده است، مدل پیشنهادی نسبت به برنامه ریزی قیمت تعیین شده واکنش نشان داده است و خرابی را در کلاس های با جریمه بیشتر کاهش داده است. بطور متوسط تعداد بسته های گم شده در مدل ایستا برای دو کلاس EF و AF به ترتیب ۲۷/۴ و ۱۰ برابر مدل پیشنهادی است.



(بالا) با استراتژی تدارک کم (وسط) استراتژی تدارک on (پایین) استراتژی تدارک زیاد

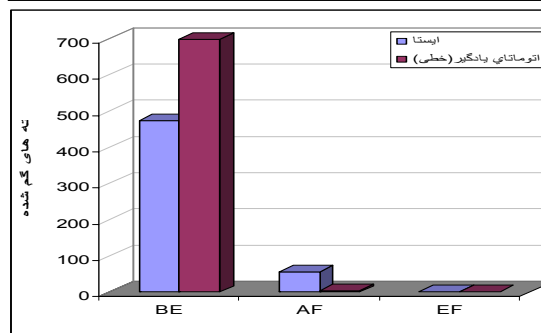
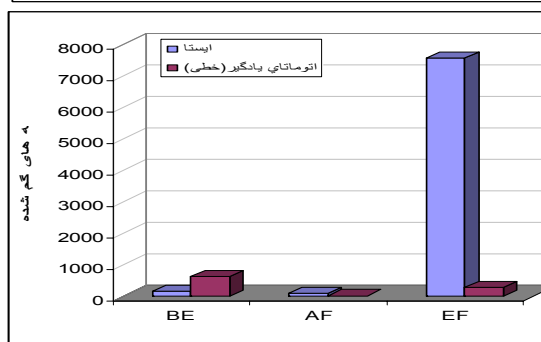
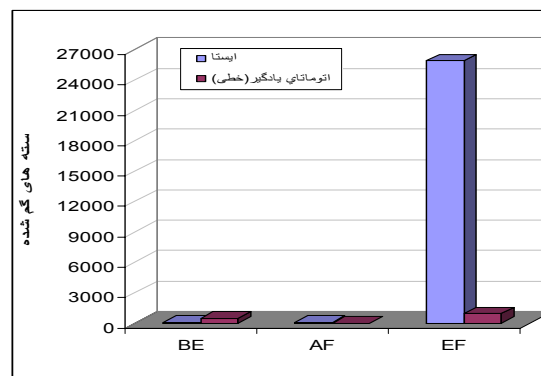
شکل ۴: مقایسه متوسط گذردهی با حالت ایستا برای استراتژی های مختلف



شکل ۶: مقایسه متوسط تاخیر با حالت ایستا برای استراتژی‌های مختلف
(بالا) با استراتژی تدارک کم (وسط) استراتژی تدارک on (پایین) استراتژی تدارک زیاد

شکل ۶: مقایسه متوسط تاخیر با حالت ایستا برای استراتژی‌های مختلف

شکل ۷ مقایسه درآمد حاصل از دو مدل برای استراتژی‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هر سه استراتژی باعث افزایش درآمد شده است. از آنجا که قیمت‌گذاری بر اساس استفاده است و به ازای هر تخلف ارائه‌دهنده جریمه می‌شود. بنابراین افزایش درآمد به معنی استفاده بهتر از پهنای باند و کیفیت بهتر سرویس است. با به کارگیری مدل پیشنهادی به طور متوسط ۱۶ درصد سود بیشتر حاصل شد. آزمایش‌ها نشان داده است که مدل پیشنهادی مستقل از وزن‌های اولیه به استراتژی بهینه همگرا می‌شود.

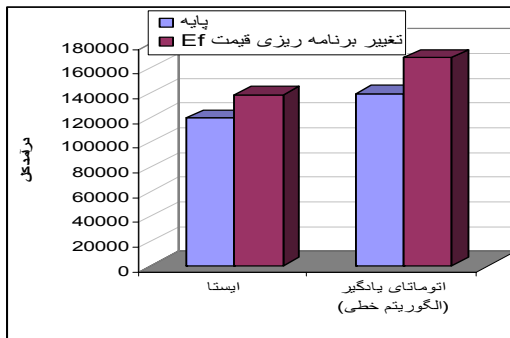
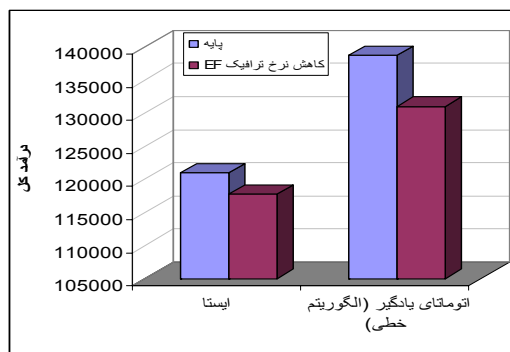
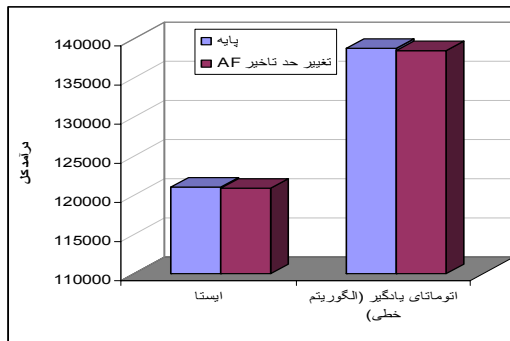


شکل ۵: مقایسه تعداد بسته‌های گم شده با حالت ایستا برای استراتژی‌های مختلف
(بالا) با استراتژی تدارک کم (وسط) استراتژی تدارک on (پایین) استراتژی تدارک زیاد

شکل ۵: مقایسه تعداد بسته‌های گم شده با حالت ایستا برای استراتژی‌های مختلف

شکل ۶ مقایسه متوسط تاخیر استراتژی‌های مختلف به تفکیک کلاس بین مدل پیشنهادی و ایستا را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در مدل پیشنهادی متوسط تاخیر دو کلاس EF و AF کمتر از ایستا است. ولی در مقابل متوسط تاخیر کلاس BE افزایش یافته است. از آنجا که تاخیر کلاس BE در برنامه‌ریزی قیمت دارای جریمه نیست بنابراین مدل پیشنهادی کیفیت کلاس BE را قربانی کیفیت سایر کلاس‌ها کرده است. با مدل پیشنهادی به طور متوسط تاخیر کلاس EF و AF به ترتیب ۲۵٪ و ۳۲٪ نسبت به حالت ایستا بهبود یافته است.

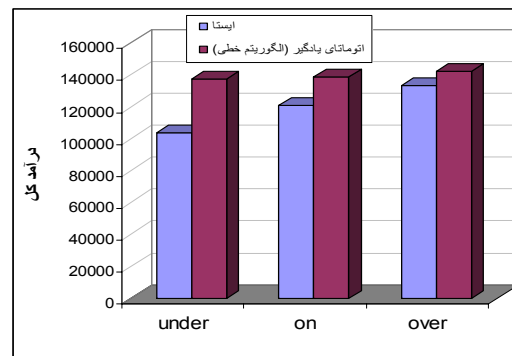
در آزمایش بعدی، واکنش مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات در ترافیک را ارزیابی می‌شود. در این آزمایش بعد از ۱۵۰۰ ثانیه، نرخ ترافیک گره S1 (شکل ۳) که منبع ترافیک EF است نصف می‌شود. شکل ۱۰- ب میزان درآمد حاصل در شرایطی که تغییر در ترافیک حاصل نشده است و همچنین در شرایطی که تغییر در نرخ ترافیک EF اتفاق افتاده است را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی بهتر از مدل ایستا عمل کرده‌است.



(بالا) تغییر در حد تاخیر AF (وسط) تغییر در نرخ ترافیک EF (پایین) تغییر در قیمت‌گذاری EF

شکل ۹: مقایسه درآمد کل با تغییر در نیازمندی کیفیت سرویس و خصوصیات ترافیک و برنامه‌ریزی قیمت

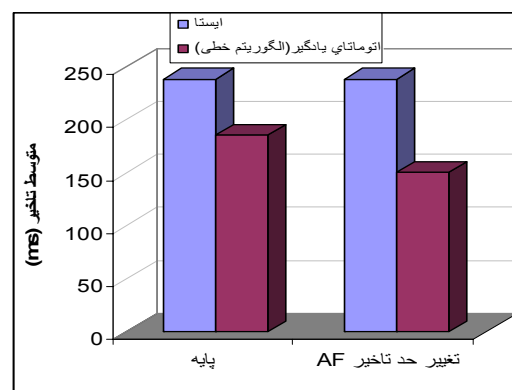
در آزمایش بعدی، واکنش مدل پیشنهادی در مقابل تغییرات در برنامه‌ریزی قیمت بررسی می‌شود. در این آزمایش بعد از ۱۵۰۰ ثانیه، برنامه‌ریزی قیمت به این صورت تغییر می‌کند که هزینه و جریمه‌های کلاس EF که در جدول ۳ ذکر شده است دو برابر می‌شود. شکل ۱۰- ج میزان درآمد حاصل در حالت بدون تغییر و حالت تغییر در



شکل ۷: مقایسه درآمد کل برای استراتژی‌های مختلف

برای بررسی میزان واکنش مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات در ترافیک، برنامه‌ریزی قیمت و یا نیازمندی‌های کیفیت، میزان درآمد کل بدست آمده مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه آزمایشها نشان داده اند که عملکرد مدل پیشنهادی مستقل از وزن‌های اولیه در نظر گرفته شده برای کلاس‌ها همیشه به سمت استراتژی بهینه همگرا می‌شود، در ادامه آزمایشها فقط برای یک استراتژی انجام می‌شود. برای مشاهده آزمایشهای بیشتر میتوان به [۲۱] مراجعه نمود.

آزمایش بعدی میزان واکنش مدل پیشنهادی را نسبت به تغییرات در نیازمندی‌های سرویس را بررسی میکند. در این آزمایش، نیازمندی تاخیر کلاس AF در زمان ۱۵۰۰ ثانیه از ۴۵ms به ۴۲ms تغییر می‌کند. شکل ۹-الف میزان درآمد کل را در دو حالت بدون تغییر و با تغییر نیازمندی تاخیر AF را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی همچنان بیشترین میزان درآمد را تولید کرده است. شکل ۸ متوسط تاخیر کلاس AF را در حالت بدون تغییر در نیازمندی کیفیت و تغییر در نیازمندی کیفیت را برای هر دو مدل نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در مدل پیشنهادی با تغییر در حد بالای تاخیر متوسط، تاخیر کلاس AF کاهش یافته است.



شکل ۸: مقایسه متوسط تاخیر با تغییر در نیازمندی تاخیر کلاس AF

- [6] M. F. Horng, W. Lee, K. Lee and Y. Kuo, "An Adaptive Approach to Weighted Fair Queue with QoS Enhanced on IP Network", Proceedings of IEEE TENCON 2001, Singapore, Aug 2001.
- [7] 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.
- [8] V. Jacobsen, et al, "An Expedited Forwarding PHB", IETF RFC 2598, June 1999.
- [9] 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.
- [10] R. F. Liao and A. T. Campbell, "Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service", Proceedings of IEEE IWQoS 2001, June 2001.
- [11] 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 .
- [12] 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.
- [13] M. R. Meybodi, H. Beigy and M. Taherkhani, "Cellular Learning Automata and Its Application", Technical Report, Computer Eng. Dept., Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, March 2000.
- [14] K. S. Narendra and, M. A. Thathachar, "Learning Automata: An Introduction", Prentice Hall, Inc., 1989.
- [15] UCB/LBNL/VINT, "Network Simulator", ns-2, 1997. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [16] 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.
- [17] C. Partridge, "Weighted Fair Queuing", Gigabit Networking, pp 276, Addison Wesley Publishing, 1994.
- [18] S. Shenker, C. Partridge and R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service", IETF RFC 2212, September 1996.
- [19] H. Wang, C. Shen and K. Shin, "Adaptive-Weighted Packet Scheduling for Premium Service", Proceedings of IEEE International Conference on Communications (IEEE ICC 2001), Jun 2001.
- [20] Package WFQ, <http://www.cc.jyu.fi/~sayenko/src/wfq-1.2.2.tar.gz>
- [۲۱] مهری رجایی و. محمدرضا میبیدی, "تدارک پویای پهنای باند با استفاده از اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر (الگوریتم دنباله‌رو)", گزارش فنی, دانشگاه امیرکبیر, تهران, ۱۳۸۴.

برنامه‌ریزی قیمت EF را نشان می‌دهد. باز هم مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی بهتر از مدل ایستا عمل کرده‌است و منجر به افزایش درآمد گردیده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای تدارک پویای پهنای‌بند در شبکه‌های کامپیوتری ارائه گردید. در این روش هر مسیریاب مجهز به یک اتوماتای یادگیر است و به طور مستقل و با انجام عملیات بسیار ساده وزن‌های کلاس‌ها صف خود را بروز می‌کند. نتایج شبیه‌سازیها نشان داد که روش پیشنهادی از پهنای‌بند به نحو بهتری استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازیها همچنین نشان داد که با تنظیم وزن‌های کلاس‌ها با استفاده از روش پیشنهادی کیفیت سرویس بهتری هم از لحاظ متوسط تاخیر و هم از لحاظ نرخ خرابی برای کلاس‌های EF و AF در مقایسه با مدل ایستا فراهم می‌گردد. همچنین مشاهده شد که روش پیشنهادی حتی در صورت ایجاد تغییرات در ترافیک و یا برنامه‌ریزی قیمت با سرعت بالایی به سمت استراتژی بهینه همگرا می‌شود. به کارگیری روش پیشنهادی باعث ۱۶ درصد سود بیشتر، ۲۵٪ کیفیت بهتر در تاخیر EF، ۳۲٪ کیفیت بهتر در تاخیر AF و بهبود ۲۷ و ۱۰ برابری معکوس نرخ خرابی به ترتیب در کلاس‌های EF و AF، در مقایسه با روش تدارک ایستای پهنای‌بند شده است.

مراجع

- [1] Y. Bernet, J. Binder, S. Blake, M. Carlson, B. Carpenter, S. Keshav, E. Davies, B. Ohman, D. Verma, Z. Wang and W. Weiss, "A Framework for Differentiated Services", IETF Internet Draft, <draft-ietf-diffservframework-02.txt>, February, 1999.
- [2] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", IETF RFC 2475, December 1998.
- [3] U. Fiedler, "Porting a WFQ Scheduler into Ns-2's DiffServ Environment", Student Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2001. <http://www.simon.trinhall.cam.ac.uk/ukasynforum15/forum15.pdf>
- [4] D. Hang, H. Shao, W. Zhu and Y. Zhang, "TD²FQ: An Integrated Traffic Scheduling and Shaping Scheme for DiffServ Networks", Proceedings of IEEE HPSR 2001, May 2001.
- [5] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", IETF RFC 2597, June 1999.

-
- ¹ Internet Engineering Task Force
 - ² IntServ
 - ³ DiffServ
 - ⁴ Differentiated Services Domain
 - ⁵ Ingress
 - ⁶ Egress
 - ⁷ Assured Forwarding (AF)
 - ⁸ Expedited Forwarding (EF)
 - ⁹ Service Level Agreement (SLA)
 - ¹⁰ Provisioning
 - ¹¹ Monitoring
 - ¹² Reinforcement Learning
 - ¹³ Variable Structure Learning Automata
 - ¹⁴ Environment
 - ¹⁵ Accounting