

تدارک پویای پهنانی باند در شبکه های سرویس متمایز با استفاده از اتوماتاهای یادگیر

مهری رجائی
محمد رضا میبدی
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران ایران

چکیده

در این مقاله روشی مبتنی بر اتماتاهای یادگیر برای تدارک پویای پهنانی 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 پهنانی باند میکند. میزان پهنانی باند برای هر کلاس سرویس به طور پویا در بازه های مشخصی از زمان براساس بازخوردهای 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 پهنانی باند از لحاظ نوخ 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 بالابی به سمت استراتژی بهینه همگرا می شود.

کلمات کلیدی: سرویس متمایز، تدارک پویا، اتماتاهای 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

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 پهنه‌ای باند به صورت پویا می‌باشد. با توجه به اینکه ترافیک شبکه در طی زمان تغییر می‌کند روش‌های تخصیص ایستای پهنه‌ای باند کارایی و انعطاف پذیری لازم را ندارند و منجر به کاهش درصد استفاده از پهنه‌ای باند می‌گردد. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای تدارک پویای پهنه‌ای باند گزارش شده است. برخی روش‌های گزارش شده برای تدارک پویای پهنه‌ای باند از WFQ [۳] [۱۷] [۱۹] استفاده می‌کنند. این روش‌ها از نظر معیار تغییر وزن، اهداف و تعداد بروزرسانی با هم متفاوت هستند. روش پویا WFQ [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 براساس طول صفحه 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 انعطاف پذیری (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 پهنه‌ای باند 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 پهنه‌ای باند را با این شرط که میزان تاخیر از یک مقدار از پیش تعیین شده بیشتر نشود مراکزیم 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 مسیریاب‌های 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 بدده 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 صفحه برای تنظیم وزن‌های کلاس‌ها به طور پریودیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش هرگاه که متوسط طول صفحه

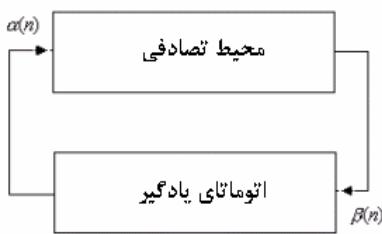
با پیشرفت سریع اینترنت و مطرح شدن کاربردهای جدیدی که نیاز به تضمین کیفیت سرویس دارند، بازار اینترنت تبدیل به یک بازار رقابتی در زمینه دادن سرویس‌های بهتر و جلب مشتریان بیشتر شده است. IETF^۱ دو روش سرویس مجمعه^۲ [۱۸] و سرویس متمایز^۳ [۱۹] برای ارائه کیفیت سرویس در اینترنت پیشنهاد کرده است. سرویس متمایز 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 مسیریاب‌ها هستند که سطح سرویس مشابه و سیاست‌های یکسانی دارند. مرز یک دامنه سرویس متمایز^۴ توسط مسیریاب‌های ورودی^۵ و خروجی^۶ تعیین می‌شود. از آنجا که در عماری سرویس متمایز جریان‌های ترافیک مشتری در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرند، پردازش‌های کنترلی مسیریاب‌های داخلی برخلاف عماری سرویس مجمعه که برای هر جریان ترافیک انجام می‌گیرد، برای هر گروه انجام می‌گیرد که این باعث کاهش محاسبات در مسیریاب‌های داخلی می‌شود. البته در مسیریاب‌های مرزی پردازش‌های کنترلی برای هر جریان انجام می‌شود تا گروه بسته ارسالی 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، بازرگانی^{۱۱}، نگهداری، گزارش گیری 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 پهنه‌ای باند می‌باشد. تدارک پهنه‌ای باند در شبکه‌های سرویس متمایز شامل تخصیص پهنه‌ای باند هر اتصال به کلاس‌های مختلف سرویس (گروه PHB) می‌باشد. این کار غالباً توسط مسیریاب‌ها در حین زمانبندی ارسال بسته‌ها انجام می‌شود. چگونگی تخصیص پهنه‌ای باند 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 پهنه‌ای باند به دو صورت ایستا و پویا انجام می‌شود. اگر

۲- اتوماتاهای یادگیر

یک اتوماتای یادگیر یک مدل انتزاعی است که تعداد محدودی عمل را می‌تواند انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط محیط 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 $\{\alpha, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\}$ مجموعه ورودی‌ها، $c = \{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ مجموعه خروجی‌ها و $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_m\}$ مجموعه دو عضوی 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 گسته 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 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 می‌گردد. 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 $T[\alpha(n), \beta(n), p(n)] = p(n+1)$ الگوریتم یادگیری می‌باشد. در این نوع از اتوماتاهای اگر عمل i در مرحله n ام انتخاب شود و پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال p_i 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^{۱۵} برای تنظیم وزن‌ها ارائه شده است که با مشاهده محیط سعی در ماقریزم 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^{۱۶} برای تدارک پویای پهنه‌ای باند کلاس‌های سرویس متمایز پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی براساس میزان درآمد به طور پویا پهنه‌ای باند را به گروه‌های ترافیکی تخصیص می‌دهد. خصوصیات روش پیشنهادی عبارتست از:

- وزن‌های صفاتی WFQ با استفاده اتوماتاهای یادگیر تنظیم می‌گردند.

• برخلاف روش‌های موجود، تنظیم وزن‌های صفاتی 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 پهنه‌ای باند 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 بر خوردار 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 ۱۰ و ۲۷ درباری 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 پهنه‌ای باند مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر و در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازیها ارایه می‌گردد. بخش نهایی نتیجه گیری می‌باشد...

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 پهنهای باند مشخص شده و در بازه زمانی خاص (بدون توجه به میزان استفاده واقعی پهنهای باند) 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 پهنهای باند 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 ۱ 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.

۲-۳ مدل پیشنهادی

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

$p_i(n)$ کاهش یافته و سایر احتمال‌ها افزایش می‌یابند. در هر حال تعییرات به گونه‌ای 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

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

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

- پاسخ نا مطلوب

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

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

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. زمانیکه a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را L_{RP} ، زمانیکه b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را $L_{R\&P}$ و زمانیکه 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 می‌کنند. 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 مراکزیم کردن استفاده از پهنهای باند 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 پهنهای باند 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 پهنهای باند 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

احتمال‌ها افزایش می‌یابند. بروز کردن بردار احتمالات بر طبق الگوریتم یادگیری L_{RP} انجام می‌گیرد.

در شروع کار، برای هر از اتوماتاهای یادگیر، احتمال انتخاب همه اقدامها یکسان و برابر $k/1$ 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. مکانیزمیم 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.

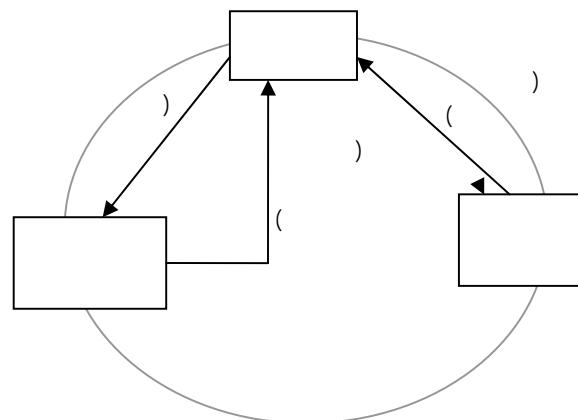
۴- شبیه‌سازی

توپولوژی شکل ۳ و مدل پیشنهادی با استفاده از NS2 شبیه‌سازی شده است [۱۵]. توپولوژی مورد نظر دارای ۶ منبع ترافیک و ۶ مقصد تراقیک 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 صفحه‌های WFQ مدل شده است که با افزودن بسته نرم‌افزاری ns2 [۲۰] به BE و AF 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 نگاه داشتن بسته‌های بیشتر در صفحه در ضمن پایین آوردن نرخ گم شدن، تاخیر افزایش نیابد

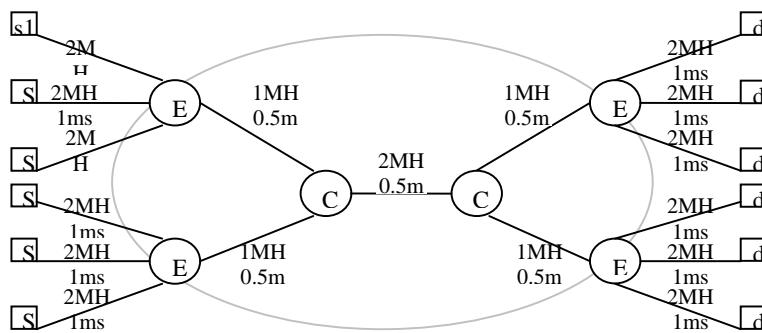
تاخیر مورد نظر رعایت نشده و تعداد بازه‌هایی که گذردهی کلاس AF کمتر از حد مقرر بوده است را اندازه‌گیری می‌کند. در پایان هر بازه، عامل‌های حسابرسی گزارش تخلفات را برای عامل‌هایی یادگیر مسیریاب‌های مربوطه ارسال می‌کنند (شکل ۲).

در مدل پیشنهادی، عامل حسابرسی علاوه بر وظیفه اندازه‌گیری تخلفات (که در همه مدل‌ها به متظور 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 مجهر 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 i را انتخاب کند این بدين 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 اتوماتاهای اگر کلاس i در مرحله t وزن آن افزایش یابد و پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال (t) افزایش یافته و سایر احتمال‌ها کاهش می‌یابند و برای پاسخ نامطلوب احتمال (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 می‌کند. این باعث می‌شود که اتصال در اغلب زمان‌ها پر باشد. منابع S1 تا S6 دارای مقاصد D1 تا D6 می‌باشند. بسته‌های ارسالی از همه منابع ترافیک ۱۰۰۰ بیتی هستند.

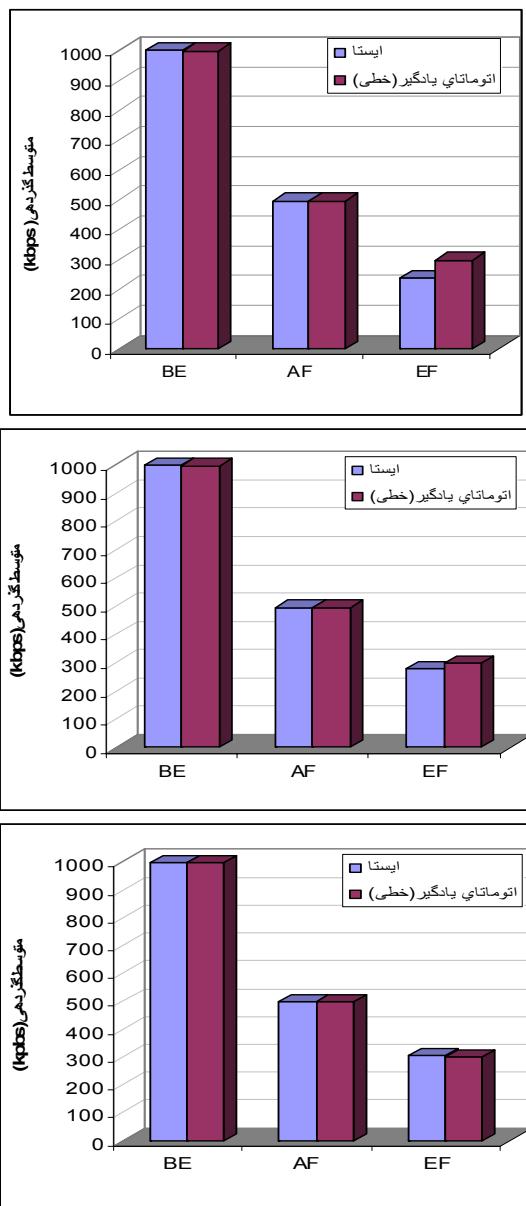
جزئیات شبیه‌سازی: زمان شبیه‌سازی ۳۰۰۰ ثانیه، بازه‌های بروز کردن وزن‌ها ۲۵۰ ثانیه و بازه‌های اندازه‌گیری گذرهای برابر ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی با هر سه استراتژی اولیه (جدول ۲) آزمایش شده است. جدول ۳ برنامه‌ریزی قیمت‌گذاری مورد استفاده را نشان می‌دهد. هزینه کلاس‌های EF و AF به ترتیب ۱۰ و ۴ برابر هزینه کلاس BE است. جریمه گم شدن در هر سه کلاس ۸ برابر هزینه ارسال بسته است. جریمه تاخیر برای کلاس‌های AF و EF به ترتیب ۴ و ۲ برابر هزینه ارسال بسته است. مقدار تاخیر مطلوب برای کلاس EF ۳۵ms و برای کلاس AF برابر ۴۵ms می‌باشد. اگر تاخیر بیشتر از میزان مطلوب باشد ارائه‌دهنده جریمه می‌شود. گذردهی مطلوب برای کلاس AF برابر ۲۰۰ kbps می‌باشد. اگر گذردهی کمتر از حد مطلوب باشد ارائه دهنده جریمه می‌شود. در همه شبیه‌سازی‌های انجام شده پارامتر پاداش α برابر $\frac{2}{3}$ و پارامتر جریمه β برابر $\frac{1}{3}$ است.

مشخصات ترافیک: در این شبیه‌سازی سه نوع سرویس EF و BE و AF به مشتریان ارائه می‌شود. ترافیک روی هر لینک دامنه سرویس متمایز، ترکیبی از هر سه کلاس می‌باشد. 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/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

منبع ترافیک EF است که به تاخیر حساس می‌باشد. S1 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 می‌شوند که دارای زمان یکسان on و off ۵۰۰ms می‌باشند. این دو نوع ترافیک بر روی UDP اجرا می‌شود. منبع S2 در ns بر روی TCP اجرا می‌شود که منبع ترافیک BE است و به



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

شکل ۴: مقایسه متوسط گذردهی با حالت ایستا برای استراتژی‌های مختلف

جدول ۲: وزن‌های WFQ برای استراتژی‌های مختلف تدارک

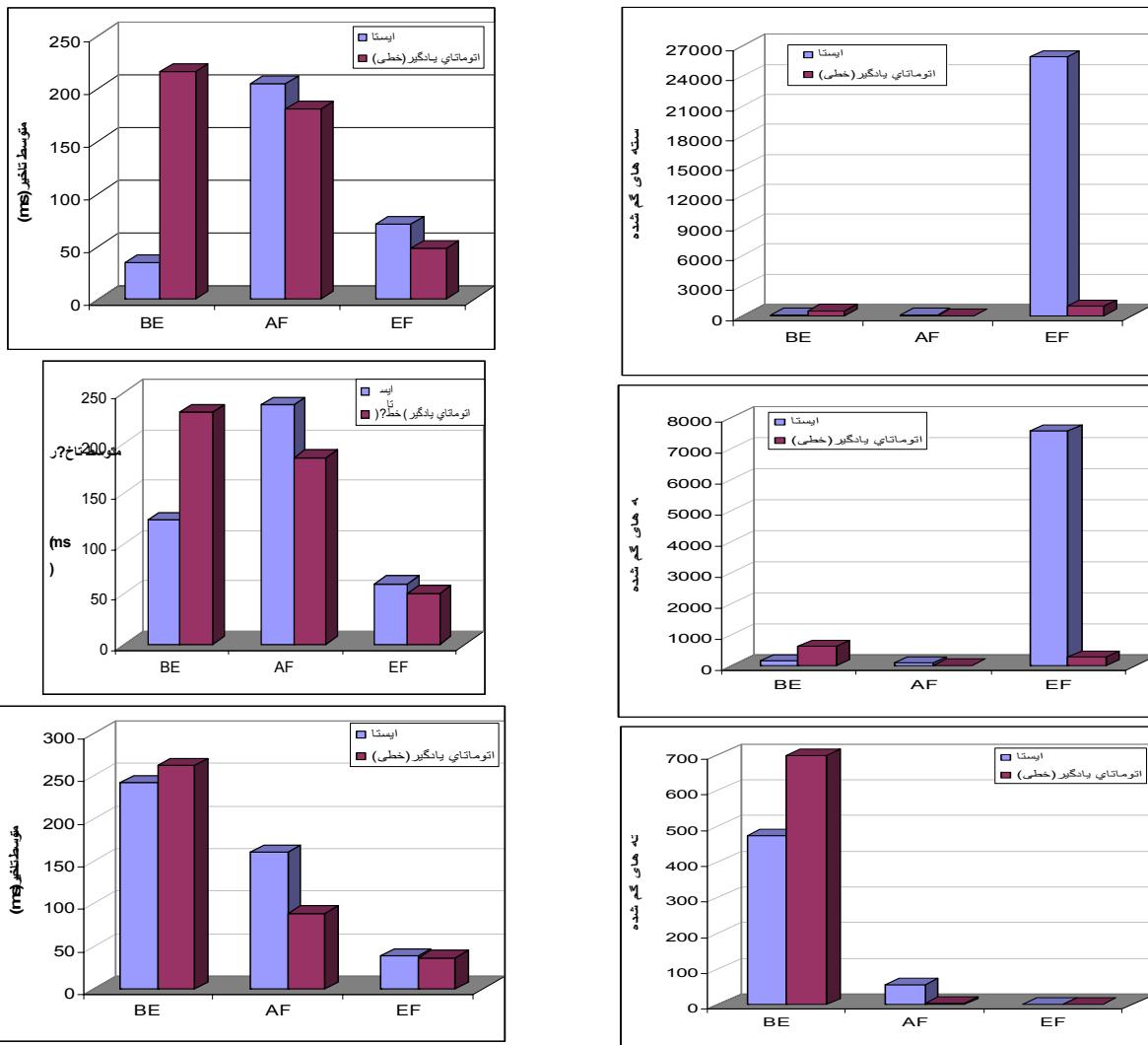
WFQ وزن‌های (EF:AF:BE)	استراتژی تدارک
۱:۳:۳	Under-Provisioning
۳:۴:۵	On-Provisioning
۱:۱:۱	Over-Provisioning

جدول ۳: برنامه‌ریزی قیمت‌گذاری

P _{thr}	P _{dly}	P _{loss}	هزینه	نوع ترافیک
0	0/۴	0/۸	0/۰۰۰۱	EF
100	0/۰۸	0/۳۲	0/۰۰۰۰۴	AF
0	0	0/۰۸	0/۰۰۰۰۱	BE

نتایج شبیه‌سازی: شکل ۴ نتایج مقایسه متوسط گذردهی به تفکیک کلاس برای استراتژی‌های مختلف در دو مدل ایستا و مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای هر سه استراتژی گذردهی مدل پیشنهادی بیشتر است و در نتیجه از پهنانی باند استفاده بهتری شده است. به دلیل اینکه کلاس EF دارای برنامه‌ریزی قیمت سخت‌تری است، گذردهی آن افزایش یافته است بدون اینکه گذردهی کلاس‌های دیگر کاهش چندانی پیدا کند. با مدل پیشنهادی به طور متوسط گذردهی کلاس EF ۹٪ افزایش یافته است.

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



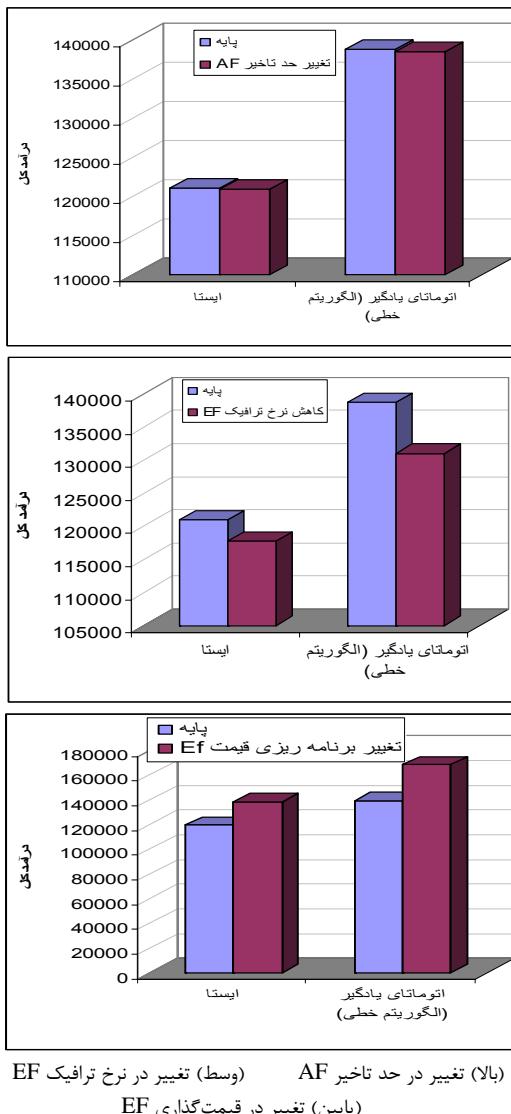
شکل ۶: مقایسه متوسط تاخیر با حالت ایستا برای استراتژی‌های مختلف

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. بنابرای افزایش درآمد به معنی استفاده بهتر از پهنه‌ای باند و کیفیت بهتر سرویس است. با به کارگیری مدل پیشنهادی به طور متوسط ۱۶ درصد سود بیشتر حاصل شد. از میان ها 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

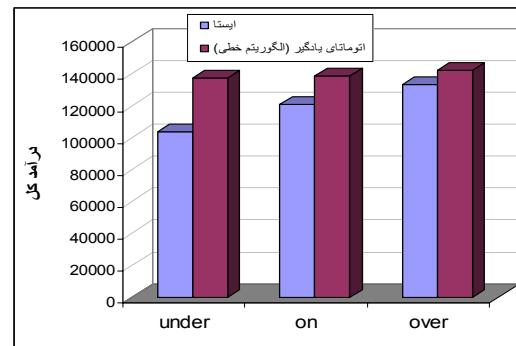
شکل ۶ مقایسه متوسط تاخیر استراتژی‌های مختلف به تفکیک کلاس می‌شود در مدل پیشنهادی متوسط تاخیر دو کلاس BE و AF کمتر از ایستا است. ولی در مقابل متوسط تاخیر کلاس BE افزایش یافته است. از آنجا که تاخیر کلاس BE در برنامه‌ریزی قیمت داری جریمه نیست بنابراین مدل پیشنهادی کیفیت کلاس BE را قربانی کیفیت سایر کلاس‌ها 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 حد تغییر در نرخ ترافیک EF اتفاق افتاده است را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مدل پیشنهادی بهتر از مدل ایستا عمل کرده است.



شکل ۹: مقایسه درآمد کل با تغییر در نیازمندی سرویس و خصوصیات ترافیک و برنامه ریزی قیمت

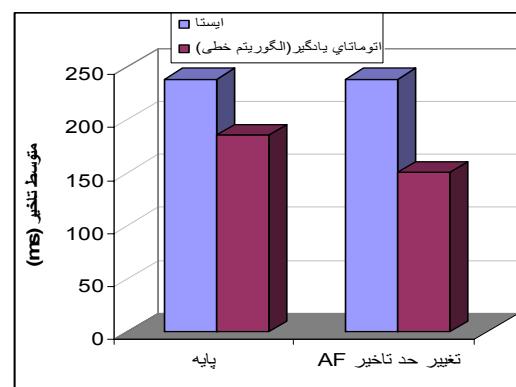
در آزمایش بعدی، واکنش مدل پیشنهادی در مقابل تغییرات در برنامه ریزی قیمت بررسی می‌شود. در این آزمایش بعد از ۱۵۰۰ ثانیه، برنامه ریزی قیمت به این صورت تغییر می‌کند که هزینه و جریمه‌های کلاس EF که در جدول ۳ ذکر شده است دو برابر می‌شود. شکل ۱۰-ج میزان درآمد حاصل در حالت بدون تغییر و حالت تغییر در



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 آزمایشها 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. Patridge 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 میبدی، "تدارک پویای پهنانی باند با استفاده از اتماتاتی 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 کرده است و منجر به افزایش درآمد گردیده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی مبتنی بر اتماتاتی یادگیر برای تدارک پویای پهنانی باند در شبکه‌های کامپیوترا ارائه گردید. در این روش هر مسیریاب مجهز به یک اتماتاتی یادگیر است و به طور مستقل و با انجام عملیات بسیار ساده وزن‌های کلاس‌ها صفت خود را بروز می‌کند. نتایج شبیه سازیها نشان داد که روش پیشنهادی از پهنانی باند به نحو بهتری استفاده می‌کند. نتایج شبیه سازیها 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 AF و EF 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 پهنانی باند 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/ukasyncforum15/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