



ارائه یک مدل ترکیبی تدارک پویای پهنای باند و قیمت گذاری پویا در شبکه های سرویس متمایز

احمد بختیاری شهری

دانشگاه سیستان و بلوچستان

Bakhtiyari@hamoon.usb.ac.ir

محمد رضا میبودی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

mmeybodi@aut.ac.ir

مهری رجائی

دانشگاه سیستان و بلوچستان

rajayi@ece.usb.ac.ir

مسیریاب های ورودی و خروجی تعیین می شود. در داخل دامنه سرویس متمایز، جریان هایی که متعلق به کلاس یکسانی هستند با هم در یک گروه قرار گرفته و به صورت یک جریان واحد با آنها رفتار می شود. دو گروه، ارسال مطمئن (AF)^۳ و ارسال سریع (EF)^۴ [۱۶] در سرویس متمایز پیشنهاد شده است.

برای تضمین کیفیت سرویس قراردادی تحت نام توافق سطح سرویس^۵ بین مشتری و ارائه دهنده سرویس منعقد می شود. در این قرارداد پارامترهای کیفیت سرویس، موارد تخلف و مسائل مالی به دقت مشخص می شود. چرخه حیات توافق سطح سرویس شامل پنج مرحله است توسعه و ایجاد سرویس، مذاکره و فروش، پیاده سازی، اجرا و ارزیابی. تدارک منابع شبکه یکی از توابع مهم در مدیریت توافق سطح سرویس است که وظیفه آن پیکربندی منابع شبکه به منظور تضمین کیفیت سرویس می باشد. یکی از منابع شبکه پهنای باند می باشد. تدارک پهنای باند در شبکه های سرویس متمایز شامل تخصیص پهنای باند هر اتصال به کلاس های مختلف سرویس می باشد. این کار غالباً توسط مسیریاب ها در حین زمان بندی ارسال بسته ها انجام می شود. تدارک پهنای باند به دو صورت ایستا و پویا انجام می شود. 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 پهنای باند به صورت پویا می باشد.

قیمت گذاری^۶ نیز یکی از توابع مهم فروش و مذاکره SLA می باشد. قیمت گذاری نیز می تواند به دو صورت ایستا با پویا باشد. در قیمت گذاری ایستا قیمت ها از قبل مشخص است ولی در قیمت گذاری پویا در حین استفاده از سرویس بنا بر مکانیزم قیمت گذاری قیمت ها تغییر می کند. در هر دو حالت ایستا و پویا با بالا بردن قیمت در زمان اوج مصرف می توان باعث توزیع زمان استفاده مشتریان در تمام مدت شبانه روز شد.

چکیده: در این مقاله روشی مرکب از تدارک پویای پهنای باند و قیمت گذاری پویا برای بالا بردن ارائه کیفیت سرویس به مشتری پیشنهاد شده است. در تدارک پویا با استفاده از اتوماتای یادگیر، 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. قیمت گذاری پویا با استفاده از اصل عرضه و تقاضا از ایجاد ازدحام در مواقع اوج مصرف جلوگیری می کند. هر دو این مدل ها روش هایی کارا و ساده هستند بنابراین می توانند به صورت برخط به کار رود. هدف در هر دو این مدل ها ماکزیمم کردن استفاده از پهنای باند با این شرط که کیفیت سرویس از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر نشود، می باشد. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با تدارک و قیمت گذاری ایستا کیفیت سرویس بهتری از لحاظ متوسط تاخیر، نرخ خرابی ارائه می دهد.

واژه های کلیدی: اتوماتای یادگیر، تدارک پویا، سرویس متمایز، عرضه و تقاضا، قیمت گذاری پویا، کیفیت سرویس.

- مقدمه

هر روزه بر تعداد متقاضیان اینترنت افزوده می شود و هر روز کاربردهای جدیدی مانند کنفرانس ویدئویی تماشای فیلم و ... مطرح می شود که نیاز به کیفیت سرویس دارد. بازار اینترنت تبدیل به یک بازار رقابتی در زمینه دادن سرویس های بهتر و جلب مشتریان و در نتیجه سود بیشتر است. در حال حاضر ارائه خدمات اینترنتی بدون مکانیزمی برای حمایت کیفیت سرویس است. IETF دو روش کیفیت سرویس در اینترنت را پیشنهاد کرده: سرویس مجتمع^۱ و سرویس متمایز^۲ [۳ و ۴]. سرویس متمایز به عنوان یک مدل سرویس برای ارائه کیفیت سرویس در شبکه های IP نسل بعد پذیرفته شده است [۴]. یک دامنه در سرویس متمایز گروهی از مسیریاب ها هستند که سطوح سرویس مشابه و سیاست های یکسانی دارند. مرز یک دامنه سرویس متمایز توسط

³ Assured Forwarding (AF)

⁴ Expedited Forwarding (EF)

⁵ Service Level Agreement (SLA)

⁶ Pricing

¹ IntServ

² DiffServ

می‌کنند. این روش‌ها از نظر معیار تغییر وزن، اهداف و تعداد بروزرسانی با هم متفاوت هستند. روش WFQ پویا [۱۹] وزن‌های کلاس‌ها را براساس تغییر متوسط نرخ ورود برای رسیدن به تاخیر مطلوب تنظیم می‌کند. روش AWFQ [۱۴] وزن‌های کلاس‌ها را بر اساس طول صف در هر زمان که جریان جدید می‌رسد تنظیم می‌کند. روش [۱۳] وزن‌های کلاس‌ها را بعد از سرویس دادن یک بسته بر اساس تاخیر اندازه‌گیری شده تغییر می‌دهد. در همه روش‌های فوق بروزرسانی وزن‌های کلاس‌ها در هنگام شروع جریان ترافیک یا ارسال بسته صورت می‌گیرد، که با افزایش جریان‌های ترافیک مشتریان تعداد بروزرسانی‌ها افزایش می‌یابد. بعد از هر بروزرسانی، کلیه مسیرپای‌های دامنه سرویس متمایز بایستی دوباره پیکربندی شوند و اگر تعداد بروزرسانی‌ها بالا باشد پیاده‌سازی این روش‌ها غیرممکن می‌شود.

در روش گزارش شده در [۲۱] وزن‌های کلاس‌ها هرگاه که تخلفی در کیفیت سرویس رخ بدهد بروز می‌گردد. روش‌های ارائه شده در [۲۰] وزن‌های کلاس‌ها را بر اساس تغییرات الگوی ترافیک کلاس‌ها تنظیم می‌کند. در این روش‌ها سرعت همگرایی به سیاست بهینه تنظیم وزن‌ها، معیاری برای مقایسه و کارایی روش می‌باشد.

مدل‌های زیادی برای قیمت‌گذاری ارائه شده است که در ادامه به طور مختصر ذکر شده است. مدل قیمت‌گذاری تخت^۷ برای اینترنت سنتی مفید بود ولی به دلیل عدم دادن انگیزه به کاربران برای استفاده منطقی از منابع، برای اهداف امروزی کاربرد ندارد. یک مدل قیمت‌گذاری مناسب می‌تواند انگیزه استفاده از همه کلاس‌های سرویس را ایجاد کند. سیاست قیمت‌گذاری بایستی به گونه‌ای باشد که نه تنها نسبت به تغییرات ترافیک در شبکه واکنش نشان دهد بلکه نیاز محاسباتی پایین باشد و از طرفی کاربر بتواند میزان قیمت پرداختی را تخمین بزند.

معرفی کیفیت سرویس و سرویس متمایز بر روی سیاست‌های قیمت‌گذاری در شبکه‌های سنتی تاثیر گذاشته است و آن را از دسترسی ثابت و پرداخت اتصال به سمت پرداخت بر اساس استفاده^۸، حرکت داده است. پرداخت بر اساس استفاده یک روش مناسب برای شبکه‌های IP امروزی می‌باشد [۸]. تاکنون قیمت‌گذاری ایستا مثلاً قیمت‌گذاری بازه‌های روز مانند [۲۵][۱۰] توسط ارائه‌دهندگان استفاده می‌شد. این روش به وضعیت جاری شبکه واکنش نشان نمی‌دهد، بنابراین یک مکانیزیم کارا برای استفاده از منابع نمی‌باشد. در [۶] بستن قراردادهای بلندمدت بین مشتری و ارائه‌دهنده را پیشنهاد می‌کند. در این قرارداد ظرفیت مورد انتظار مشتری مشخص شده است. در [۱۷] [۷] دو روش قیمت‌گذاری سازگارپذیر بر اساس پهنای باند موثر ارائه می‌دهد. روش‌های قیمت‌گذاری پویا [۲۲] [۱۸] و [۱۱] وضعیت شبکه را در نظر دارند ولی پیاده‌سازی این روش‌ها به دلیل کوتاه بودن بازه‌های

بنابراین سیاست قیمت‌گذاری تاثیر زیادی در بالا بردن سود و سطح رضایت مشتریان دارد. زیرا با توزیع استفاده مشتریان در طول شبانه‌روز ازدحام در زمان اوج مصرف کم می‌شود و احتمال کند شدن سرویس برای مشتری کم می‌شود و ثانیاً در تمام مدت شبانه روز از پهنای باند استفاده می‌شود.

می‌توان همراه با مکانیزم تدارک پهنای باند، قیمت‌ها را نیز کنترل کرد و به طور پویا بر اساس میزان تقاضا قیمت‌گذاری کرد. و با ماکزیمم کردن استفاده از پهنای باند و حفظ کیفیت سرویس در محدوده از پیش تعیین شده، موجب رضایت مشتری و سود بیشتر شد.

در این مقاله روشی که ترکیب دو مدل ارائه شده در [۱] و [۲] است، ارائه می‌شود. به این طریق تدارک و قیمت‌گذاری پویا با هم به کار برده می‌شود. ویژگی‌های روش پیشنهادی عبارتند از:

وزن‌های صف‌های منصفانه وزن‌دار WFQ با استفاده اتوماتاهای یادگیر تنظیم می‌گردد.

تنظیم وزن‌های صف‌های مسیرپای‌ها به صورت غیر متمرکز در هر مسیرپای انجام می‌گیرد.

برخلاف بسیاری از روش‌هایی که بروزرسانی وزن صف‌ها و تغییرات قیمت‌گذاری به ازای هر تقاضای جدید یا هر تخلف 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 پهنای باند می‌باشد و هر تخلف مشمول جریمه می‌باشد.

عملیات انجام شده بسیار ساده و سریع می‌باشد. زیرا انجام عملیات پیچیده خود باعث تاخیر و بدی کیفیت سرویس می‌شود.

تبادل اطلاعات کنترلی بین گره‌ها در دامنه سرویس متمایز برای تصمیم‌گیری حداقل می‌باشد. زیرا تبادل اطلاعات بین گره‌ها پهنای باند را هدر می‌دهد و موجب کاهش سود و کاهش کیفیت سرویس می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی نسبت به تدارک ایستا بهبود قابل توجهی در متوسط تاخیر، نرخ خرابی و گذردهی دارد. با این مدل به ۲۹ درصد سود بیشتر و ۳/۰٪ کیفیت بهتر در تاخیر EF و ۴/۷٪ کیفیت بهتر در تاخیر AF و بهبود ۶۸/۱۰٪ برای نرخ خرابی EF و ۵۶/۱٪ برای نرخ خرابی AF نسبت به تدارک ایستا دست یافتیم.

ساختار مقاله در ادامه به این صورت است: در بخش ۲ کارهای قبلی که در زمینه تدارک و قیمت‌گذاری انجام شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد و در بخش ۳ مدل جدید تدارک و قیمت‌گذاری پویا بیان و در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی تحلیل می‌شود.

- مروری بر کارهای قبلی

روش‌های مختلفی برای تدارک پویا ارائه شده است. برخی روش‌های گزارش شده برای تدارک پویای پهنای باند از WFQ [۲۶ و ۹] استفاده

⁷ Flat Pricing

⁸ Usage-based

کلاس j که دارای تاخیر بوده است و $P_{thr,j}$ جریمه بازه‌هایی که برای کلاس j گذردهی برآورده نشده است، می‌باشد.

۳-۲ تدارک پویا با استفاده از اتوماتای یادگیر

در مدل پیشنهادی دو نوع عامل، یادگیر و حسابرسی تعریف شده است. هریک از مسیرهای 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 ارائه دهنده در بازه قبل (بازخورد محیط)، وزن‌های کلاس‌های سرویس را برای صف‌های مسیرپای مربوط به خود تنظیم می‌کنند. عامل‌های یادگیر در حین ارسال داده‌ها، تعداد بیت‌های ارسال شده از آن مسیرپای و تعداد بسته‌هایی که در صف‌های آن مسیرپای حذف شده‌اند را اندازه‌گیری می‌کنند. عامل‌های حسابرسی که در گره‌های مقصد قرار دارند، برای هر مسیرپای دامنه تعداد بسته‌هایی که از مسیرپای عبور کرده‌اند و تاخیر مورد نظر رعایت نشده و تعداد بازه‌هایی که گذردهی کلاس AF کمتر از حد مقرر بوده است را اندازه‌گیری می‌کنند.

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 ارسال گزارش تخلفات مربوط به هر مسیرپای در دامنه سرویس به عامل یادگیر مسیرپای مورد نظر را نیز دارد. عامل‌های یادگیر مسیرپای‌های دامنه بر اساس اطلاعاتی که اندازه‌گیری کرده‌اند و گزارشات که دریافت کرده‌اند میزان درآمد خود در بازه قبل را محاسبه کرده و سپس بر اساس میزان درآمد بدست آمده و بر طبق الگوریتم یادگیری اتوماتای یادگیری [۲۳] [۱] که به آن مجهز می‌باشد وزن‌های کلاس‌های سرویس را بروز می‌کند. 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. برای مطالعات بیشتر در مورد اتوماتای یادگیر به [۲۱] مراجعه فرمایید.

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 مسیرپای مورد نظر در بازه قبل را نشان می‌دهد. در این اتوماتاها، اگر کلاس λ ام در مرحله λ ام وزن آن

بروزرسانی عملی نمی‌باشد. در روش [۵] در هنگام ازدحام از ورود بسته‌هایی که تضمین کیفیتی برای آن وجود ندارد، به شبکه جلوگیری می‌کند. در [۱۰] روشی قیمت‌گذاری دو مولفه‌ای ارائه می‌دهد که در آن نرخ خرابی را تضمین می‌کند.

اغلب روش‌های پویایی که به آنها اشاره شد دارای مشکلاتی می‌باشند که عبارتند از: (۱) بازه‌های تغییر قیمت کوچک هستند که این باعث نارضایتی مشتری به دلیل تغییر سریع قیمت و عدم توانایی تخمین هزینه توسط مشتری می‌شود. همچنین پیاده‌سازی با بازه‌های کوچک غیر عملی می‌باشد. (۲) حجم محاسبات مورد نیاز زیاد است و به دلیل این که محاسبات در زمان ارسال بسته‌ها انجام می‌گیرد باعث افزایش تاخیر می‌شود. (۳) قیمت‌گذاری بر اساس هر مشتری می‌باشد و در نتیجه در مسیرپای‌ها بایستی جریان هر مشتری به طور مجزا مانیتور شود که این قابلیت گسترش‌پذیری روش را کاهش می‌دهد.

- مدل تدارک پویا

در این بخش به بررسی روش تدارک پویای پهنای باند می‌پردازیم. در این روش پیشنهادی، فرایند تنظیم وزن‌های کلاس‌ها در بازه‌های زمانی مشخصی که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود، فعال می‌شود. 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 پهنای باند می‌کند. در این روش میزان هزینه قابل پرداخت توسط مشتری 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 پهنای باند ارائه می‌گردد.

۳-۱ تابع درآمد

در این مدل قیمت بر اساس مقدار استفاده از پهنای باند تعیین می‌شود و اگر کیفیت مورد نظر برآورده نشود یا بسته گم شود، ارائه‌دهنده به استفاده کننده جریمه پرداخت می‌نماید. میزان حساسیت یک پارامتر کیفیت سرویس برای کلاس‌های مختلف را می‌توان با تنظیم میزان جریمه آن پارامتر تعیین کرد. برا اطلاعات بیشتر در مورد این تابع به [۱] مراجعه شود

میزان درآمد مسیرپای i به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$(1) \quad r_i = \sum (c_j \times t_{i,j} - p_{loss,j} \times I_{i,j} - p_{dly,j} \times d_{i,j} - p_{thr,j} \times th_{i,j})$$

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

متمایز قرار دارند. این عامل‌ها در بازه‌های منظمی بر اساس میزان ترافیک گذرنده از هر اتصال در بازه قبلی، ضریب قیمت جدیدی را به عامل مرکزی پیشنهاد می‌کنند. عامل کنترل بار با توجه به میزان ازدحام ضریب قیمت جدید را محاسبه می‌کند. عامل کنترل بار ازدحام را با استفاده از پارامتری به نام $0.5 < u_{max} < 1$ که توسط مدیر شبکه قابل تنظیم است تشخیص می‌دهد. هرگاه متوسط تعداد بیت‌های گذرنده بیشتر از $u_{max} * bw_i$ باشد نشان‌دهنده ازدحام است. bw_i نشان دهنده پهنای باند لینک خروجی متصل به مسیریاب است. بار کم را با ضریب $0 < u_{min} < 1$ قابل تشخیص است. هرگاه متوسط تعداد بیت‌های گذرنده کمتر از $u_{min} * bw_i$ باشد بار در لینک مورد نظر کم است.

هر مسیریاب در دامنه سرویس متمایز در طی هر بازه تنها عملیاتی که بایستی انجام دهد این است که یک شمارنده داشته باشد و تعداد بیت‌های گذرنده از هر پورت خروجی مسیریاب را محاسبه کند. در ابتدای هر بازه هر مسیریاب براساس تعداد بیت‌های گذرنده در بازه قبل، ازدحام یا بار کم در مسیریاب‌ها را تشخیص می‌دهد

در صورت ازدحام یا بار کم در اتصال مورد نظر، مسیریاب به طور مستقل ضریب قیمت جدید خود را محاسبه می‌کند. با ضریب جدید قیمت‌ها به این صورت تغییر می‌کند که هزینه هر کلاس در ضریب و جریمه‌ها در مربع ضریب، ضرب می‌شود. با این روش هنگام افزایش قیمت که ضریب جدید بزرگتر از ضریب قبلی است، جریمه‌های تخلف سخت‌تر می‌شود و بالعکس هنگام کاهش قیمت، جریمه‌های تخلف راحت‌تر می‌شود. سخت‌تر شدن تخلف‌ها در هنگام افزایش قیمت به مشتری انگیزه پذیرش قیمت بالاتر را می‌دهد. بنابراین هر مسیریاب به طور مستقل ضریب مورد نظر خود را محاسبه می‌کند. در صورت ازدحام از فرمول (۲) و در صورت بار کم از فرمول (۳) استفاده می‌کند.

$$C_i(t+1) = \lambda C(t) \frac{totalbit_i}{T \times u_{max} \times bw_i} \quad (2)$$

$$C_i(t+1) = \eta C(t) \frac{totalbit_i}{T \times u_{min} \times bw_i} \quad (3)$$

$C_i(t+1)$ ضریبی است که مسیریاب i برای بازه بعد پیشنهاد می‌کند. $C(t)$ ضریبی است که در بازه قبلی برای همه مشتریان به کار گرفته شده است که توسط عامل مرکزی تعیین می‌شود (در ادامه توضیح داده می‌شود). λ یک عدد ثابت بزرگتر از یک است، که میزان رشد قیمت را مشخص می‌کند. این ثابت هر چه به یک نزدیکتر باشد قیمت‌ها با شیب کمتری افزایش می‌یابد. ثابت η یک عدد کوچکتر از یک است که هر چه به یک نزدیکتر باشد قیمت‌ها به آرامی کاهش می‌یابد. این دو ثابت توسط مدیر شبکه تنظیم می‌شود.

هر مسیریاب ضریب جدید خود را به عامل مرکزی اعلام می‌کند و عامل مرکزی ضریب نهایی را محاسبه و به مشتریانی که در حال استفاده هستند یا مشتریانی که در بازه مربوط می‌خواهند به شبکه متصل شوند، اعلام می‌کند. عامل مرکزی ماکزیمم ضرایب اعلام شده از طرف مسیریاب‌ها را بدست می‌آورد. برای کنترل اینکه قیمت‌ها از یک مقدار

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 احتمال‌ها افزایش می‌یابند. مکانیزم دادن پاداش و یا جریمه مطابق الگوریتم شکل ۱ می‌باشد. اگر درآمد بازه کمتر از درآمد متوسط باشد کلاسی که وزن آن در مرحله قبل افزایش یافته جریمه می‌شود و در بین بقیه کلاس‌ها، کلاسی که نسبت درآمد آن به درآمد متوسط کمترین است انتخاب و وزن آن افزایش داده می‌شود. شبه‌کد مربوط به این الگوریتم در شکل ۱ آمده است.

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) IF $avgrev_i \leq rev_i$ THEN
- (5) $weight_s(t+1) = weight_s(t) + a[1 - weight_s(t)]$; s indicates class in previous interval that increase its weight
- (6) $weight_j(t+1) = (1 - a)weight_j(t) \quad \forall j \neq s$
- (7) ELSE
- (8) $weight_j(t+1) = (1 - \beta)weight_j(t) \quad j = s$
- (9) $weight_j(t+1) = (\beta/N - 1) + (1 - \beta)weight_j(t) \quad j \neq s$
- (10) $C_m = \min \{ rev_{i,j} / avgrev_{i,j} \quad \forall j \neq s \}$
- (11) $weight_m(t+1) = weight_m(t) + a[1 - weight_m(t)]$
- (12) $weight_j(t+1) = (1 - a)weight_j(t) \quad \forall j \neq m$
- (13) ENDIF
- (14) RETURN

شکل ۱: شبه‌کد الگوریتم تدارک پویا

- مدل قیمت‌گذاری پویا

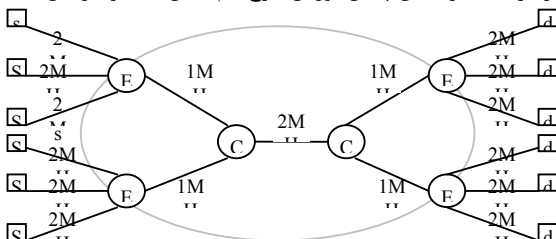
در این بخش مدل قیمت‌گذاری پویا [۲] ارائه می‌شود که محاسبات آن بسیار ساده و در بازه‌های زمانی خاصی که توسط مدیر شبکه تنظیم می‌شود فعال شده و بر اساس ازدحام یا بار کم در شبکه قیمت‌ها را تغییر می‌دهد. در این مدل هزینه قابل پرداخت توسط مشتری بر اساس تابع درآمد بخش ۳-۱ محاسبه می‌شود. در این مدل یک جدول قیمت پایه وجود دارد که این قیمت‌ها متناسب با ضریبی که بر سر هر بازه مشخص می‌شود تغییر می‌کند

این مدل دارای سه نوع عامل کنترل بار، حساسیتی و مرکزی می‌باشد. عامل‌های کنترل بار بر روی هریک از مسیریاب‌های دامنه سرویس

می‌توان طول بازه‌های برورسانی وزن‌ها و تغییر قیمت یکسان باشد و یا اینکه این دو متفاوت باشد. زیرا عمدتاً تغییر وزن‌ها اگر در بازه‌های کوتاه در حد ۱۰ دقیقه صورت بگیرد مشکلی بوجود نمی‌آید ولی برای مشتری تحمل تغییر قیمت در هر ده دقیقه مشکل است. بنابراین بازه تغییر قیمت می‌تواند ضربی از بازه تغییر وزن باشد. در بخش بعد مدل ترکیبی، با مدل تدارک و قیمت‌گذاری ایستامقایسه شده‌است.

- شبیه سازی

توپولوژی شکل ۲ و مدل پیشنهادی با NS2 شبیه‌سازی شده است [۱۴].
توپولوژی مورد نظر دارای ۶ منبع و ۶ مقصد تراقیک می‌باشد. دامنه سرویس متمایز دارای ۶ گره است. زمان‌بندی بافرها با صف‌های WFQ مدل شده است. اندازه بافر برای کلاسهای AF و BE برابر ۱۰۰ و برای کلاس EF در حالت ایستا برابر ۲ (برای 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.



شکل ۲: تویولوژی سرویس متمایز

مشخصات ترافیک: در شبیه‌سازی سه نوع سرویس EF، AF و BE ارائه می‌شود. ترافیک هر لینک دامنه سرویس متمایز، ترکیبی از هر سه کلاس می‌باشد. در هر لحظه ترافیک روی هر اتصال دامنه، نزدیک به ظرفیت کامل اتصال است. مشخصات ترافیک منابع S1 تا S6 در جدول ۱ آمده است. S1 منبع ترافیک EF است که به تأخیر حساس می‌باشد. S3 منبع ترافیک AF است که حساسیت به تأخیر آن کمتر از EF است ولی نیاز به گذردهی بالا دارد. منبع S2 در ns بر روی TCP اجرا می‌شود که منبع ترافیک BE است و به تأخیر حساس نیست. S2 یک منبع CBR است که فضای بدون استفاده اتصال را مصرف می‌کند. منابع S1 تا S6 دارای مقادیر D1 تا D6 می‌باشند. بسته‌های ارسالی از همه منابع ترافیک ۱۰۰۰ بیت، هستند.

جزئیات شبیه‌سازی: زمان شبیه‌سازی ۳۰۰۰ ثانیه، بازه‌های بروز کردن وزن‌ها ۲۵۰ ثانیه و بازه‌های اندازه‌گیری گذردهی برابر ۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی با هر سه استراتژی (جدول ۲) آزمایش شده است. جدول ۳ برنامه‌ریزی قیمت‌گذاری مورد استفاده را نشان می‌دهد.

آستانه ماکزیمم بیشتر و از یک مقدار آستانه مینیمم کمتر نشود، بایستی که چک شود که ضریب نهایی در این رنج باشد. این دو آستانه توسط مدیر شبکه بنا به فرمول‌های اقتصادی تعیین می‌گردد. عامل مرکزی با تعدیل ضریب آن را بین این دو آستانه قرار می‌دهد. اگر ضریب قیمت بدست آمده کمتر از آستانه مینیمم باشد، آن را برابر آستانه مینیمم و اگر ضریب قیمت بدست آمده بیشتر از آستانه ماکزیمم باشد آن را برابر آستانه ماکزیمم قرار می‌دهد. سپس ضریب تعیین شده به عامل‌های حسابرسی^۹ که در طرف مشتری قرار دارند اعلام می‌شود. پارامتر توانایی مالی هر مشتری که عددی بزرگتر از یک است نشان دهنده میزان تحمل مشتری در مقابل رشد هزینه قابل پرداخت می‌باشد. مثلاً اگر این پارامتر برابر $1/3$ باشد یعنی مشتری حداکثر تا $1/3$ برابر هزینه با قیمت‌های پایه را می‌تواند بپردازد. در هر بازه میزان رشد هزینه با کیفیت سرویسی که مشتری در آخرین بازه دریافت کرده است، سنجیده می‌شود. بعد از دریافت ضریب قیمت توسط عامل حسابرسی شرط زیر را چک می‌کند:

$$C(t+1) \times c_i \times t_{i,j}(t) - (C(t+1))^2 \times p_{loss_i} \times I_{i,j}(T) \quad (9)$$

$$-(C(t+1))^2 \times p_{dly_i} \times d_{i_i}(t) - (C(t+1))^2 \times p_{thr_i} \times th_{i_i}(t)$$

$$< \omega_i(c_i \times t_{i,i}(t) - p_{loss,i} \times I_{i,i}(t))$$

$$-p_{dly,i} \times d_{i,i}(t) - p_{thr,i} \times th_{i,i}(t))$$

که z نشان‌دهنده کلاس، i نشان‌دهنده منبع ترافیک است و پارامتر θ توانایی مالی می‌باشد. $t_i(t)$ تعداد بیت‌های ارسالی از منبع i می‌باشد، $d_{i,j}(t)$ ، $h_{i,j}(t)$ به ترتیب برابر تعداد بسته‌هایی ارسالی از منبع i از کلاس j که دارای تاخیر نامطلوب بوده‌اند و یا گم شده‌اند. در اینجا منظور از (t) آخرین بازه‌ای است که مشتری در حال ارسال اطلاعات بوده‌است. بنابراین همیشه عامل حسابرسی که در طرف مشتری قرار دارد آخرین کیفیت سرویسی که مشتری دریافت کرده است را ثبت و حفظ می‌کند تا براساس آن و توانایی مالی مشتری، توانایی پرداخت هزینه جدید را ارزیابی کند. از دادن سرویس به کاربری که توانایی پرداخت هزینه مورد نظر را نداشته باشد ممانعت می‌شود. این مشتری اگر مایل باشد می‌تواند در بازه‌هایی که قیمت مجدداً پایین آمده و در توان وی است، سرویس دریافت کند. در مدل پیشنهادی قیمت همه کلاس‌های سرویس به یک نسبت تغییر می‌کند.

نکته قابل ذکر اینکه در این مدل قیمت همه کلاس‌های سرویس به یک نسبت افزایش یا کاهش می‌یابد.

- تدارک و قیمت‌گذاری یویا برای یهنای باند

در این روش مدل تدارک پویا با استفاده از اتوماتای یادگیر (بخش ۳) را با مدل قیمت‌گذاری پویا که در بخش ۴ بیان شد را با هم ترکیب شده است. یعنی به طور همزمان هم وزن‌های کلاس‌ها تنظیم می‌شود و هم اینکه قیمت‌ها بر اساس بار تغییر می‌کند و از ازدحام جلوگیری می‌کند.

⁹ Accounting Agent



توانایی مالی مشتریان در جدول ۴ ذکر شده است.

پارامترهای u_{\min} , u_{\max} , λ و η به ترتیب برابر با $0/9$, $0/6$, $1/8$ و $0/8$ است. در ادامه نتایج شبیه‌سازی را به صورت مقایسه‌ای بین مدل پیشنهادی و ایستا ارائه شده است.

نتایج شبیه‌سازی: همانطور که بیان شد برای هر سه استراتژی تدارک که در جدول ۲ این شبیه‌سازی انجام شده است، به دلیل اینکه در [۲۸] نشان داده شده است که روش تدارک پویا با هر وزن اولیه‌ای که دارد بهتر از ایستا عمل می‌کند در اینجا همه نتایج به صورت میانگین برای سه استراتژی نشان داده شده است. برای مشاهده سایر شبیه‌سازی‌ها به [۲۸] مراجعه کنید.

جدول ۵ میزان بهبود هر یک از پارامترهای کیفیت مدل ترکیبی، تدارک پویا و قیمت‌گذاری پویا نسبت به حالت ایستا را نشان می‌دهد. که اعداد بزرگتر از یک نشان دهنده بهبود و اعداد کمتر از یک نشان دهنده عدم بهبود نسبت به حالت ایستا می‌باشد.

مشاهده می‌کنید که برای کلاس BE و AF گذردهی مدل پیشنهادی کمتر است ولی برای کلاس EF گذردهی مدل ترکیبی بیشتر است. در این مدل سعی شده با کاهش ازدحام و سازگار کردن وزن‌ها کیفیت سرویس بهتری ارائه دهیم. میزان استفاده از پهنای‌بند در حالت ایستا به طور متوسط برای سه استراتژی ۸۸ درصد و با مدل پیشنهادی ۶۹ درصد است. که ۶۹ درصد بین پارامترهای u_{\min} و u_{\max} است که توسط مدیر سیستم تعیین می‌شود پس با استفاده از این دو پارامتر می‌توان میزان استفاده از پهنای‌بند را در حد مطلوب نگاه داشت.

با توجه به جدول ۵ معکوس نرخ خرابی در هر سه کلاس در مدل پیشنهادی بیشتر از حالت ایستا است. بنابراین برای هر سه کلاس نرخ خرابی نسبت به ایستا کاهش یافته است

مشاهده می‌کنید که متوسط تاخیر در کلاس‌های EF و AF با مدل پیشنهادی نسبت به ایستا کاهش یافته است. ولی برای کلاس BE تاخیر با مدل پیشنهادی افزایش یافته است. از آنجا که تاخیر کلاس BE در برنامه‌ریزی قیمت دارای جریمه نیست کیفیت کلاس BE را قربانی کیفیت سایر کلاس‌ها کرده است.

جدول ۵ نشان می‌دهد که در کل با بکارگیری این روش درآمد ۲۹ درصد افزایش یافته است. با اینکه میزان استفاده از پهنای‌بند نسبت به حالت ایستا کاهش یافته ولی میزان سود حاصل به دلیل پویا بودن

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

جدول ۲: وزن‌های WFQ برای استراتژی‌های مختلف تدارک

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

جدول ۳: برنامه‌ریزی قیمت‌گذاری

نوع ترافیک	هزینه	P_{loss}	P_{dly}	P_{thr}
EF	۰/۰۰۰۱	۰/۸	۰/۴	۰
AF	۰/۰۰۰۰۴	۰/۳۳	۰/۰۸	۱۰۰
BE	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۸	۰	۰

جدول ۴: توانایی مالی مشتریان

مشتری	توانایی مالی (۱۰۰)
S1	۱/۱۳
S2	۱/۱
S3	۱/۸
S4	۱/۲۳
S5	۱/۲۹
S6	۱/۱۳

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 ۲۰۰kbps می‌باشد. اگر گذردهی کمتر از حد مطلوب باشد ارائه‌دهنده جریمه می‌شود. در همه شبیه‌سازی‌های انجام شده پارامتر پاداش α برابر ۲/ و پارامتر جریمه β برابر ۰/۳ است.

جدول ۵: میزان بهبود هر یک مدل‌ها نسبت به حالت ایستا به تفکیک پارامترهای کیفیت سرویس و کلاس

مدل	EF			AF			BE			درآمد
	معکوس خرابی	تاخیر	گذردهی	معکوس خرابی	تاخیر	گذردهی	معکوس خرابی	تاخیر	گذردهی	
تدارک پویا	۲۷/۴۳۵	۱/۲۵۱	۱/۰۹۲	۱۰/۹۴۷	۱/۳۲۳	۱/۰۰۰۱	۰/۳۷۳	۰/۵۶۵	۰/۹۹۸	۱/۱۶۷
قیمت‌گذاری پویا	۰/۹۹۹	۱/۰۶۶	۰/۹۸۴	۴/۳۰۲	۱/۲۰۷	۰/۸۳۰	۱/۷۳۶	۱/۰۸۶	۰/۶۶۶	۱/۲۰۹
مدل ترکیبی	۱۰/۶۸۰	۱/۰۰۲	۱/۰۷۹	۱/۵۶۴	۱/۰۷۴	۰/۸۳۴	۲/۰۳۹	۰/۸۶۳	۰/۶۸۲	۱/۲۹۳



- [9] 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/ukasynforum15>
- [10] E. W. Fulp and D. S. Reeves, *Optimal Provisioning and Pricing of Internet Differentiated Services in Hierarchical Markets*, Proc. IEEE (ICN(1)), pages 409-418, 2001.
- [11] A. Gupta, D. O. Stahl, A. B. Whinston, *Internet Economics*, chapter Priority pricing of Integrated Services networks", 323-352, Boston, MA: MIT Press, 1997.
- [12] A. Gupta, L. Zhang, *A Two-Component Spot Pricing Framework for Loss-Rate Guaranteed Internet Service Contracts*, Proc. Winter Simulation Conference, 2003
- [13] D. Hang, et al, "*TD²FQ: An Integrated Traffic Scheduling and Shaping Scheme for DiffServ Networks*", Proc. IEEE HPSR 2001, May 2001.
- [14] M-F. Horng, et al, *An Adaptive Approach to Weighted Fair Queue with QoS Enhanced on IP Network*, Proc. IEEE TENCON 2001, Aug 2001.
- [15] T. C. K. Hui, C. K. Tham, *Adaptive Provisioning of Differentiated Services Networks based on reinforcement Learning*, IEEE Transactions on Systems, pages 492-501, Autumn 2003.
- [16] V. Jacobsen, et al, *An Expedited Forwarding PHB*, IETF RFC 2598, Jun 1999.
- [17] F.P. Kelly, *Charging and accounting for bursty connections*, in 'Internet Economics', J. P. Bailey and L. McKnight, editors, MIT Press, Massachusetts, 1996.
- [18] F. P. Kelly, A. K. Maulloo, D. K. H. Tan, *Rate control in communication networks: Shadow prices, proportional fairness and stability*, Journal of the Operational Research Society. 49: 237-252, 1998
- [19] C-C. Li, et al, *Proportional Delay Differentiation Service Based on Weighted Fair Queuing*, Proc. IEEE ICCCN 2000, Oct 2000.
- [20] R-F. Liao, A. T. Campbell, *Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service*, Proc. IEEE IWQoS 2001, Jun 2001.
- [21] R-F. Liao, A. T. Campbell, *Dynamic Core Provisioning for Quantitative Differentiated Service*, to appear IEEE/ACM Transaction on Networking, April, 2004.
- [22] J. MacKie-Mason and H. Varian, *Pricing the Internet*, in 'Public access to the Internet', Brian Kahin and James Keller, editors, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [23] P. Mars, J.R. Chen, R. Nambir, *Learning Algorithms: Theory and Applications in Signal Processing, Control and Communication*, CRC Press, Inc., pp. 5-24, 1996.
- [24] UCB/LBNL/VINT, *Network Simulator, ns-2*, 1997.
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [25] A. M. Odlyzko, *Internet pricing and history of communications*, AT&T labs, 2000.(s)
- [26] C. Partridge, *Weighted Fair Queuing*, Gigabit Networking, pp 276, Addison Wesley Publishing, 1994.

قیمت‌ها و جلوگیری از ازدحام و ارائه کیفیت سرویس بهتر به مشتریان افزایش یافته‌است.

با توجه به جدول ۵ مدل ترکیبی کیفیت سرویس بهتری نسبت به مدل قیمت‌گذاری پویا ارائه می‌دهد.

- نتیجه‌گیری

در این مقاله برای بهبود کیفیت سرویس و افزایش درآمد ارائه‌دهنده از هر دو تکنیک تدارک و قیمت‌گذاری پویا به طور همزمان استفاده شد. که روش تدارک پویای پهنای باند بر مبنای WFQ و با استفاده از اتوماتای یادگیر با قیمت‌گذاری پویا بر اساس اصل عرضه و تقاضا با هم ترکیب شد. مشاهده شد که کیفیت سرویس آن از حالت تدارک پویا به تنهایی بهتر نشد ولی میزان درآمد کل از هر دو مدل قیمت‌گذاری پویا و تدارک پویا بیشتر شده است. با ترکیب دو مدل به ۲۹ درصد افزایش درآمد نسبت به حالت ایستا دست یافتیم. در نرخ خرابی و گزردگی به پیشرفت قابل توجهی نسبت به ایستا دست یافتیم ولی این پیشرفت در همان حد کیفیت تدارک پویا [۱] است.

مراجع

- [۱] مهری رجایی، محمدرضا میبیدی، تدارک پویای پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمایز با استفاده از اتوماتای یادگیر، پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران، ۱۳۸۶.
- [۲] مهری رجایی، محمدرضا میبیدی، یک روش قیمت‌گذاری پویا برای معماری سرویس متمایز، یازدهمین کنفرانس بین المللی کامپیوتر انجمن کامپیوتر ایران، بهمن ۱۳۸۴
- [3] Y. Bernet et al, *A Framework for differentiated Services*, IETF Internet Draft, February, 1999.
- [4] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, W. Weiss: *An Architecture for Differentiated Services*, Request for Comments RFC 2475, Internet Engineering Task Force, December 1998.
- [5] L. J. Camp, C. Gideon, *Certainty in Bandwidth or Price*, The 29th Research Conference on Communication, Information and Internet Policy, Washington, D.C. October 2000
- [6] D. D. Clark, *A model for cost allocation and pricing in the Internet*, In L. W. McKnight and J. P. Bailey, editors, 'Internet Economics', MIT Press, 1996.
- [7] C. Courcoubetis, F. P. Kelly, and R. Weber, *Measurement-based charging in communications networks*, Technical Report 1997-19, University of Cambridge, 1997.
- [8] L. A. DaSilva, *Pricing for QoS-Enabled Networks: A Survey*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 3, No. 2, 2000.