



ارائه یک مدل ترکیبی تدارک پویای پهنهای باند و قیمت‌گذاری پویا در شبکه‌های سرویس متمایز

احمد بختیاری شهری

دانشگاه سیستان و بلوچستان

Bakhtiyari@hamoon.usb.ac.ir

محمد رضا میدی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

mneybodi@aut.ac.ir

مهری رجائی

دانشگاه سیستان و بلوچستان

rajayi@ece.usb.ac.ir

مسیریاب‌های ورودی و خروجی تعیین می‌شود. 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(AF)^۳ [۲] 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 ارائه‌دهنده سرویس منعقد می‌شود. در این قرارداد پارامترهای کیفیت سرویس، موارد تخلف و مسائل مالی به دقت مشخص می‌شود. چرخه حیات توافق سطح سرویس شامل پنج مرحله است توسعه و ایجاد سرویس، مذاکره و فروش، پیاده‌سازی، 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 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 می‌باشد. این کار غالباً توسط مسیریاب‌ها در حین زمانبندی ارسال بسته‌ها انجام می‌شود. تدارک پهنهای باند 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 پهنهای باند به صورت پویا می‌باشد.

قیمت‌گذاری^۶ نیز یکی از توابع مهم فروش و مذاکره SLA می‌باشد. قیمت‌گذاری نیز می‌تواند به دو صورت ایستا با پویا باشد. در قیمت‌گذاری ایستا قیمت‌ها از قبل مشخص است ولی در قیمت‌گذاری پویا در حین استفاده از سرویس بنا بر مکانیزم قیمت‌گذاری قیمت‌ها تغییر می‌کند. در هر دو حالت ایستا و پویا با بالا بردن قیمت در زمان اوج مصرف می‌توان باعث توزیع زمان استفاده مشتریان در تمام مدت شباه روز شد.

چکیده: در این مقاله روشی مرکب از تدارک پویای پهنهای باند و قیمت‌گذاری پویا برای بالا بردن ارائه کیفیت سرویس به مشتری پیشنهاد شده است. در تدارک پویا با استفاده از اوتوماتیک یادگیری، میزان پهنهای باند برای هر کلاس سرویس به طور پویا در بازه‌های مشخصی از زمان براساس بازخوردی که از محیط گرفته می‌شود تغییر می‌کند. قیمت‌گذاری پویا با استفاده از اصل عرضه و تقاضا از ایجاد ازدحام در موقع اوج مصرف جلوگیری می‌کند. هر دو این مدل‌ها روش‌هایی کارا و ساده هستند بنابراین می‌توانند به صورت برهنگ به کار رود. هدف در هر دو این مدل‌ها ماکریزم کردن استفاده از پهنهای باند با این شرط که کیفیت سرویس از یک آستانه از پیش تعیین شده کمتر نشود، می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی در مقایسه با تدارک و قیمت‌گذاری ایستا کیفیت سرویس بهتری از لحاظ متوسط تاخیر، نرخ خرابی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اوتوماتیک یادگیری، تدارک پویا، سرویس متمایز، عرضه و تقاضا، قیمت‌گذاری پویا، کیفیت سرویس.

- مقدمه

هر روزه بر تعداد متقاضیان اینترنت افزوده می‌شود و هر روز کاربردهای جدیدی مانند کنفرانس ویدئویی تماشای فیلم و ... مطرح می‌شود که نیاز به کیفیت سرویس دارد. بازار اینترنت تبدیل به یک بازار رقابتی در زمینه دادن سرویس‌های 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 [۴]. سرویس متمایز به عنوان یک مدل سرویس برای ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های IP نسل بعد پذیرفته شده است [۴]. یک دامنه در سرویس متمایز گروهی از مسیریاب‌ها هستند که سطوح سرویس مشابه و سیاست‌های یکسانی دارند. مزیت این مدل این است که سطوح سرویس مشابه و

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 [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 صفحه 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 مسیریاب‌های دامنه سرویس متمایز باشیست 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 بددهد 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 باشیستی به گونه‌ی باشد که نه تنها نسبت به تغییرات ترافیک در شبکه و اینکنش 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] و [۱۰] توسط ارائه‌دهنده‌گان استفاده می‌شد. این روش به وضعیت جاری شبکه واکنش نشان نمی‌دهد، بنابراین یک مکانیزم 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 پهنه‌ی 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 شبکه روز اردهام در زمان اوج مصرف کم می‌شود و احتمال کند شدن سرویس برای مشتری کم می‌شود و ثانیاً در تمام مدت شبکه روز از پهنه‌ی باند استفاده می‌شود.

می‌توان همراه با مکانیزم تدارک پهنه‌ی باند، قیمت‌ها را نیز کنترل کرد و به طور پویا بر اساس میزان تقاضا قیمت‌گذاری کرد. و با مکریم کردن استفاده از پهنه‌ی 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 برد می‌شود. ویژگی‌های روش پیشنهادی عبارتند از:

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

تنظیم وزن‌های صفاتی مسیریاب‌ها به صورت غیر مرکز در هر مسیریاب انجام می‌گیرد.

برخلاف بسیاری از روش‌هایی که بروزرسانی وزن صفات 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.

قیمت‌گذاری بر اساس میزان استفاده از پهنه‌ی باند می‌باشد و هر تخلف شامل 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 پهنه‌ی 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٪ کیفیت بهتر در تاخیر EF و ۷/۴٪ کیفیت بهتر در تاخیر AF و بهبود ۱۰/۶۸ نرخ خرابی EF و ۱/۵۶ نرخ خرابی AF نسبت به تدارک ایستا دست یافتیم.

ساختمار 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 پهنه‌ی باند از WFQ [۲۶] استفاده

⁷ Flat Pricing

⁸ Usage-based



کلاس ز که دارای تاخیر بوده است و p_{thr} حرجیمه بازه‌هایی که برای کلاس ز 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 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 ارائه دهنده در بازه قبیل (بازخورد محیط)، وزن‌های کلاس‌های سرویس را برای صفاتی مسیریاب مربوط به خود تنظیم می‌کنند. عامل‌های یادگیر در حین ارسال داده‌ها، تعداد بیت‌های ارسال شده از آن مسیریاب و تعداد بسته‌هایی که در صفاتی آن مسیریاب حذف شده‌اند را اندازه‌گیری می‌کنند. عامل‌های حسابرسی که در گره‌های مقصد قرار دارند، برای هر مسیریاب دامنه تعداد بسته‌هایی که از مسیریاب 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 متنظر حسابرسی به هر صورت بایستی انجام شود) در پایان هر بازه، وظیفه ارسال گزارش تخلفات مربوط به هر مسیریاب در دامنه سرویس به عامل یادگیر مسیریاب مورد نظر را نیز دارد. عامل‌های یادگیر مسیریاب‌های دامنه بر اساس اطلاعاتی که اندازه‌گیری کرده‌اند و گزارشاتی 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 [۲۲] [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 α_i تعداد کلاس‌های سرویس می‌باشد. $\{\alpha_1, \dots, \alpha_k\} = \alpha$ مجموعه عمل‌های یک اتوماتای یادگیر می‌باشد. اگر یک اتوماتای یادگیر عمل α_i را انتخاب کند این بدين معنی است که بسته بعدی که ارسال می‌شود متعلق به صف کلاس i خواهد بود. $\{p_1, \dots, p_r\} = p$ 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 α در مرحله α م 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 درنتیجه در مسیریاب‌ها بایستی جریان هر مشتری به طور مجزا مانیتورشود 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 ماقزیم 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. برای اطلاعات بیشتر در مورد این تابع به [۱] مراجعه شود.

میزان درآمد مسیریاب A به صورت زیر محاسبه می‌شود.

(۱)

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

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



متمايز قرار دارد. اين عاملها در بازه‌های منظمی بر اساس ميزان ترافیک گذرنده از هر اتصال در بازه قبلی، ضریب قیمت جدیدی را به عامل مرکزی پیشنهاد می‌کنند. عامل کنترل بار با توجه به ميزان ازدحام ضریب قیمت جدید را محاسبه می‌کند. عامل کنترل بار ازدحام را با استفاده از پارامتری به نام $u_{\max} < 0.5$ 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 پهنانی باند لینک خروجی متصل به مسیریاب است. بار کم را با ضریب $< 1 - u_{\min}$ 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 متمايز 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 قلی 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). یک عدد ثابت بزرگتر از یک است، که ميزان رشد قیمت را مشخص می‌کند. این ثابت هر چه به یک نزدیکتر باشد قیمت‌ها با شبکه 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 مراکزیم 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 $(1-p_i)$ 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. شبکه که 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
     $avgrev_i = rev_i + (1-\gamma)avgrev_i$ 
(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)    $weight_j(t+1) = (1-a)weight_j(t)$        $\forall j \neq s$ 
(7) ELSE
(8)    $weight_j(t+1) = (1-\beta)weight_j(t)$        $j = s$ 
(9)    $weight_j(t+1) = (\beta/N-1) + (1-\beta)weight_j(t)$        $j \neq s$ 
(10)   $C_m = \min\{rev_{i,j} / avgrev_{i,j} \mid j \neq s\}$ 
(11)   $weight_m(t+1) = weight_m(t) + a[1 - weight_m(t)]$ 
(12)   $weight_j(t+1) = (1-a)weight_j(t)$        $\forall j \neq m$ 
(13) ENDIF
(14) RETURN
```

شکل ۱: شبکه کد الگوریتم تدارک پویا

- مدل قیمت‌گذاری پویا

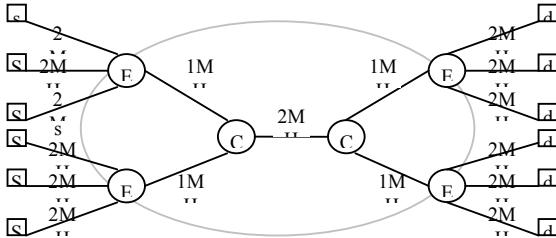
در این بخش مدل قیمت‌گذاری پویا [۲] ارائه می‌شود که محاسبات آن بسیار ساده و در بازه‌های زمانی خاصی که توسط مدیر شبکه تنظیم می‌شود فعال شده و بر اساس ازدحام یا بار کم در شبکه قیمت‌ها را تغییر می‌دهد. در این مدل هزینه قبل پرداخت توسط مشتری بر اساس تابع درآمد بخش ۱-۳ محاسبه می‌شود. در این مدل یک جدول قیمت 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، حسابرسی و مرکزی می‌باشد. عامل‌های کنترل بار بر روی هریک از مسیریاب‌های دامنه سرویس



می‌توان طول بازه‌های بروزرسانی وزن‌ها و تغییر قیمت پکسان باشد و یا اینکه این دو متفاوت باشد. زیرا عمدتاً تغییر وزن‌ها اگر در بازه‌های کوتاه در حد ۱۰ دقیقه صورت بگیرد مشکلی وجود نمی‌آید ولی برای مشتری تحمل تغییر قیمت در هر ده دقیقه مشکل است. بنابراین بازه تغییر قیمت می‌تواند ضریبی از بازه تغییر وزن باشد. در بخش بعد مدل ترکیبی با مدل تدارک و قیمت‌گذاری ایستانا مقایسه شده است.

- شبیه‌سازی

توبولوژی شکل ۲ و مدل پیشنهادی با NS2 شبیه‌سازی شده است [۲۴]. توبولوژی مورد نظر دارای ۶ منبع و ۶ مقصد ترافیک می‌باشد. دامنه سرویس متمایز دارای ۶ گره است. زمان بندی با فرها با صفاتی 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 نگاه داشتن بسته‌های پیشتر در صفحه در ضمن پایین آوردن نرخ گم شدن، تاخیر افزایش نیابد.



شکل ۲: توبولوژی سرویس متمایز

مشخصات ترافیک: در شبیه‌سازی سه نوع سرویس BE, AF و EF می‌شود. ترافیک هر لینک دامنه سرویس متمایز، ترکیبی از هر سه کلاس می‌باشد. در هر لحظه ترافیک روی هر اتصال دامنه، توزیع به ظرفیت کامل اتصال است. مشخصات ترافیک منابع S1 تا S6 در جدول ۱ آمده است. S1 منبع ترافیک EF است که به تاخیر حساس می‌باشد. S3 منبع ترافیک AF است که حساسیت به تاخیر آن کمتر از EF است. S2 و S4 نیاز به گذردهی بالا دارد. منبع S2 در ns بر روی TCP اجرا می‌شود که منبع ترافیک BE است و به تاخیر حساس نیست. S5 منبع CBR است که فضای بدون استفاده اتصال را مصرف می‌کند. منابع S1 تا S6 دارای مقاصد D1 تا D6 می‌باشند. بسته‌های ارسالی از همه منابع ترافیک ۱۰۰ بیتی 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.

جدول ۱: خصوصیات منابع ترافیک

آستانه ماکریم بیشتر و از یک مقدار آستانه مینیمم کمتر نشود، باقیستی که چک شود که ضریب نهایی در این رنج باشد. این دو آستانه توسط مدیر شبکه بنا به فرمول‌های اقتصادی تعیین می‌گردند. اگر ضریب قیمت بدست آمده کمتر از آستانه مینیمم باشد، آن را برابر آستانه مینیمم و اگر ضریب قیمت بدست آمده بیشتر از آستانه ماکریم باشد آن را برابر آستانه ماکریم 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:

$$\begin{aligned} & C(t+1) \times c_j \times t_{i,j}(t) - (C(t+1))^2 \times p_{loss,j} \times I_{i,j}(T) \\ & - (C(t+1))^2 \times p_{dly,j} \times d_{i,j}(t) - (C(t+1))^2 \times p_{thr,j} \times th_{i,j}(t) \\ < & \omega_i(c_j \times t_{i,j}(t) - p_{loss,j} \times I_{i,j}(t) \\ & - p_{dly,j} \times d_{i,j}(t) - p_{thr,j} \times th_{i,j}(t)) \end{aligned} \quad (4)$$

که ω_i نشان‌دهنده کلاس، I نشان‌دهنده منبع ترافیک است و پارامتر $t_{i,j}(t)$ توانایی مالی می‌باشد. $d_{i,j}(t)$ تعداد بیت‌های ارسالی از منبع i می‌باشد، $p_{loss,j}$ به ترتیب برای تعداد بسته‌هایی ارسالی از منبع i از کلاس j که دارای تاخیر نامطلوب بوده‌اند و یا گم شده‌اند. در اینجا نظرور از (t) آخرین بازه‌ای است که مشتری در حال ارسال اطلاعات بوده است. 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 مجدد پایین آمده و در توان وی است، سرویس دریافت کند. در مدل پیشنهادی قیمت همه کلاس‌های سرویس به یک نسبت تعیین می‌کند. نکته قابل ذکر اینکه در این مدل قیمت همه کلاس‌های سرویس به یک نسبت افزایش یا کاهش می‌یابد.

- تدارک و قیمت‌گذاری پویا برای پهنه‌ای باند

در این روش مدل تدارک پویا با استفاده از اتماتای 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 , μ و η به ترتیب برابر با 0.09 , 0.06 , 0.08 و 0.09 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 پهنانی‌باند 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 پهنانی‌باند 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 پهنانی‌باند نسبت به حالت ایستا کاهش یافته ولی میزان سود حاصل به دلیل پویا بودن

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

درآمد	BE				AF				EF				مدل
	گذردهی	تاخیر	معکوس خرابی										
۱/۱۶۷	۰/۹۹۸	۰/۵۶۵	۰/۳۷۳	۱/۰۰۱	۱/۲۲۳	۱۰/۹۴۷	۱/۰۹۲	۱/۲۵۱	۲۷/۴۳۵	۱/۰۹۲	۱/۲۵۱	۰/۹۹۹	تدارک پویا
۱/۲۰۹	۰/۶۶۶	۱/۰۸۶	۱/۷۳۶	۰/۸۳۰	۱/۲۰۷	۴/۳۰۲	۰/۹۸۴	۱/۰۶۶	۰/۹۹۹	۱/۰۹۲	۱/۲۵۱	۰/۹۹۹	بیتم‌گذاری پویا
۱/۲۹۳	۰/۶۸۲	۰/۸۶۳	۲/۰۳۹	۰/۸۲۴	۱/۰۷۴	۱/۵۶۴	۱/۰۷۹	۱/۰۰۲	۱۰/۶۸۰	۱/۰۹۲	۱/۲۵۱	۰/۹۹۹	مدل ترکیبی

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

جدول ۲: وزن‌های WFQ برای استراتژی‌های مختلف تدارک

استراتژی تدارک (WFQ:AF:BE)	وزن‌های
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
.	۰/۴	۰/۸	۰/۰۰۰۱	EF
۱۰۰	۰/۰۸	۰/۳۲	۰/۰۰۰۴	AF
.	.	۰/۰۸	۰/۰۰۰۱	BE

جدول ۴: توانایی مالی مشتریان

توانایی مالی (۰)	مشتری
۱/۱۳	S1
۱/۱	S2
۱/۸	S3
۱/۲۲	S4
۱/۲۹	S5
۱/۱۳	S6

مقدار تاخیر مطلوب برای کلاس EF ۳۵ms و برای کلاس AF برابر ۴۵ms می‌باشد. اگر تاخیر بیشتر از میزان مطلوب باشد ارائه دهنده 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 $2/3$ و پارامتر جریمه β برابر $0/3$ است.



- [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.trinhalb.cam.ac.uk/ukasyncforum15>
- [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 یافته است.

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 اتماتای 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 تنها یی 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 ایستادست یافتیم. در نظر خرابی و گذردهی به پیشرفت قابل توجهی نسبت به ایستادست یافته‌یم ولی این پیشرفت در همان حد کیفیت تدارک پویا [۱] است.

مراجع

- [۱] مهری رجایی, محمدرضا میدی, تدارک پویای پهنای باند در شبکه‌های سرویس متمازی با استفاده از اتماتای یادگیر, پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران, تهران, ۱۳۸۶.
- [۲] مهری رجایی, محمدرضا میدی. یک روش قیمت‌گذاری پویا برای معماری سرویس متمازی, یازدهمین کنفرانس بین المللی کامپیوتر انجمن کامپیوتر ایران, بهمن ۱۳۸۴
- [۳] Y. Bernet et ah, *A Framework for differentiated Services*, IETF Internet Draft, February, 1999.
- [۴] 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.
- [۵] 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
- [۶] 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.
- [۷] C. Courcoubetis, F. P. Kelly, and R. Weber, *Measurement-based charging in communications networks*, Technical Report 1997-19, University of Cambridge, 1997.
- [۸] L A. DaSilva, *Pricing for QoS-Enabled Networks: A Survey*, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 3, No. 2, 2000.