

مسیریابی فازی مبتنی بر قید در شبکه های MPLS

محمد حسین یغمایی مقدم^۱، ناهید ابراهیمی مجد^۲، محمد باقر منهای^۳

چکیده

امروزه با رشد خدمات اینترنت، کاربردهای جدیدی نظیر: تلفن های اینترنتی، کنفرانس های صوتی و تصویری و خدمات مبتنی بر وب جهانی ارائه شده است. ساختار اینترنت فعلی قادر به حمایت و ارائه کیفیت خدمات جدید نمی باشد و بنابراین خدمات دهی به کاربر باید به گونه ای تغییر یابد که متناسب با نیازمندیهای جدید آن باشد. از این رو، الگوریتم های مسیریابی کیفیت خدمات متفاوتی برای پاسخ گویی به نیازهای مختلف کاربران و برنامه های کاربردی مختلف ارائه شده اند. در این مقاله یک الگوریتم جدید مسیریابی مبتنی بر قید، که از یک کنترل کننده فازی برای ترکیب پارامترهای لینک استفاده می کند، ارائه شده است. الگوریتم ارائه شده در محیط شبیه ساز ns2 بر روی شبکه MPLS اعمال شده است. همان طور که نشان داده می شود، الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم های موجود که از منطق های دیگری برای ترکیب پارامترها استفاده می کند، نرخ ترافیک مسدود شده کمتر و گذرایی بالاتری دارد. الگوریتم اکتشافی پیشنهادی از سه متریک پهنای باند موجود، تاخیر انتشار و احتمال اتلاف بسته استفاده می کند. نشان داده می شود که الگوریتم ارائه شده در زمان چند جمله ای قابل حل است.

کلمات کلیدی

کیفیت خدمات، مسیریابی، مسیریابی مبتنی بر قید، سیستم های فازی، شبکه های MPLS

Fuzzy Constraint Based Routing For MPLS Networks

Nahid Ebrahimi, Mohammad Hossien Yaghmaee, Mohammad Bagher Menhaj

ABSTRACT

Current Internet can only support best effort services. In these types of services, the user requirements are not satisfied by the network. So the service providing should be changed so that the network can satisfies the user requirements. To deliver quality of service needed by the user and its applications, during past few years different quality of service routing algorithms have been proposed. In this paper, a new QoS routing algorithm which uses a fuzzy logic controller to mixed link parameters is proposed. The proposed algorithm is implemented in MPLS networks using ns2 simulator. As it will be shown, the proposed algorithm has less bandwidth blocking ratio and more throughput than the traditional QoS routing algorithms which use other logics to mix parameters. The proposed heuristic algorithm takes into account three metrics: available bandwidth, propagation delay and packet loss probability. It will be shown that the proposed algorithm is solvable in polynomial time.

KEYWORDS

Quality of service (QoS), Routing, Constraint Based Routing, Fuzzy Systems, MPLS Networks

^۱ دانشیار دانشگاه مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد: hyaghmae@ferdowsi.um.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ استاد دانشگاه مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

در این مقاله، یک الگوریتم ابتکاری فازی برای محاسبه مسیر ارائه می‌شود که FMM نامگذاری شده است. این روش و دو روش دیگر که آنها نیز بر مبنای الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر دایجسترا ارائه شده‌اند، در شبیه‌سازی ns2 [7] پیاده‌سازی می‌شود و کارایی آنها ارزیابی و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. هدف این است که نرخ مسدودشدن ترافیک، کارایی شبکه و تأخیر اتصالات به وجود آمده برای ارسال هر کلاس بسته در الگوریتم پیشنهادی ارزیابی شود.

ساختار ادامه مقاله به صورت زیر است: در بخش 2 ضروری برکارهای قبلی آورده شده است. بخش 3 الگوریتم پیشنهادی FMM را ارائه می‌دهد. پیاده‌سازی و آزمون الگوریتم پیشنهادی در بخش 4 آمده است. بخش 5 نیز شامل ارزیابی عملکرد و مقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش‌های مشابه می‌باشد.

2- مرور کارهای قبلی

در طی چند سال اخیر، روش‌های ابتکاری مختلفی برای مسیریابی کیفیت خدمات ارائه شده است که هر کدام از آنها به شیوه‌ای کیفیت خدمات مورد نیاز کاربران را فراهم می‌سازند. به عنوان مثال، یکی از این روش‌ها استفاده از کنترل فازی است که در مراجع [8]-[10] استفاده شده است. هر کدام از این روش‌ها با در نظر گرفتن یکی از اهداف مسیریابی مبتنی بر قید، سعی در برآوردن همان هدف را دارند. وجه تشابه آنها نیز در این است که همگی از ابزار فازی برای رسیدن به هدف مسیریابی خود استفاده کرده‌اند. هدف الگوریتم ارائه شده در [8] ایجاد توازن بار در شبکه است به طوری که از ازدحام و تراکم در لینک‌های شبکه و اشیاع آنها جلوگیری شود. علاوه بر آن، مسیر انتخاب شده تأخیر مورد نیاز کاربر را نیز تأمین می‌کند. پارامترهایی که این روش برای محاسبه مسیر در نظر می‌گیرد، پارامترهای تأخیر و توازن بهره‌وری کانال است که توازن بهره‌وری کانال نیز از ترکیب چند متغیر دیگر به دست می‌آید. به عبارت دیگر، تصمیم‌گیری برای محاسبه مسیر در این الگوریتم بر اساس این دو پارامتر انجام می‌گیرد که با استفاده از روش فازی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در نهایت، برای به حداقل رساندن تراکم، از بین مسیرهای به دست آمده مسیری انتخاب می‌شود که حداقل تعداد پرش‌ها را داشته باشد. در این روش، معیارهای زیادی برای بهبود مسیریابی و تضمین کیفیت خدمات کاربر در نظر گرفته شده است که این مسأله باعث افزایش بیش از حد تعداد مراحل الگوریتم و پیچیدگی آن شده است. در الگوریتم ارائه شده در [9] مرتباً میزان تأخیر صف بندی و پهنای باند مصرف شده لینک‌ها محاسبه و میانگین

اینترنِت فعلی، بدون اتصال است. بدون اتصال به این معنی است که مسیریاب‌ها در طول مسیر جریان‌های ترافیکی، اطلاعات خاصی را در مورد وضعیت هر جریان نگهداری نمی‌کنند و بسته‌های یک جریان فقط با استفاده از جدول مسیریابی هدایت می‌شوند. با اینکه این روش، ساده و مقیاس پذیر است و باعث موفقیت اینترت شده است؛ ولی برای افزایش کیفیت خدمات در برنامه‌های کاربردی جدید کافی نیست. بر خلاف خدمات‌های بیشترین تلاش، برنامه‌های کاربردی که کیفیت خدمات برای آنها اهمیت دارد، معمولاً به رزرو منابع نیاز دارند. یک مسیر از قبل تعریف می‌شود و سپس قبل از اینکه انتقال واقعی صورت گیرد، منابع (شامل پهنای باند لینک، فضای بافر و غیره) در طول مسیر رزرو می‌شوند. به عبارت دیگر، در ابتدا مسیر یا اتصال بین مبدأ و مقصد راه اندازی می‌شود و هنگامی که انتقال به پایان رسید، مسیر و منابع اختصاص یافته به آن آزاد می‌شوند. برای رزرو منابع یک جریان، مسیریاب‌های موجود در مسیر باید وضعیت جریان را پیگیری کنند. برای تأمین کیفیت خدمات در اینترت، تکنیک‌های زیادی پیشنهاد و بر روی آنها کار شده است که شامل Intserv, [1] Diffserv, [2] MPLS [2]، مهندسی ترافیک و مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات می‌شوند [4].

مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات و MPLS می‌توانند با هم همکاری داشته باشند. مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات مسیر را انتخاب می‌کند و MPLS بسته‌ها را در طول آن مسیر انتقال می‌دهد. علاوه بر آن، MPLS می‌تواند اطلاعات مسیریابی دقیق‌تری برای مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات فراهم کند که به آن کمک می‌کند تا مسیرهای بهتری را انتخاب کند [4]. به طور معمول در الگوریتم‌های مسیریابی پویا، مسیرها پرش به پرش تعیین می‌شوند؛ ولی در بعضی موارد، بسته باید از طریق یک مسیر خاص؛ که صریحاً مشخص شده است، انتقال داده شود. این عمل معمولاً در مهندسی ترافیک و یا در مسیریابی مبتنی بر قید انجام می‌گیرد [5], [6].

در این مقاله از مسیر یابی صریح برای انتقال هر جریان در یک کلاس FEC³ خاص استفاده می‌شود. بنابراین هر جریان جداگانه بررسی شده و در یک مسیر صریح به مقصد ارسال می‌شود ولی با اینکه اطلاعات هر جریان، جداگانه نگهداری می‌شود. این روش مقیاس پذیر است. چراکه اولاً الگوریتم ساده‌ای دارد که در زمان چند جمله‌ای قابل حل است و ثانیاً تنها اطلاعاتی که در مورد هر جریان نگهداری می‌شود، پهنای باند مصرف شده جریان می‌باشد.

گیری می‌شود. هر بار که درخواست جدیدی از سوی کاربر می‌رسد، ابتدا تمام مسیرهای بین مبدأ و مقصد و میانگین پهنای باند مصرف شده و میانگین تأخیر هر یک از این مسیرها محاسبه می‌شود و سپس با ترکیب این دو پارامتر به روش فازی یک هزینه کلی برای هر مسیریبه دست می‌آید که این هزینه برای تعیین مسیر نهایی استفاده می‌شود. مسیری که کمترین هزینه را داشته باشد به عنوان بهترین مسیر انتخاب می‌شود. در بررسی‌های اولیه این مقاله نشان داده شده است که معیار ترکیبی به دست آمده رفتاری مشابه رفتار تأخیر مجموع دارد؛ بنابراین تصمیم گرفته شده است که برای این معیار ترکیبی نیز همانند تأخیر، از قانون ترکیب جمعی استفاده شود؛ به عبارت دیگر با اینکه پهنای باند از نوع مقعر و تأخیر از نوع جمعی است، هزینه به دست آمده از قانون جمعی پیروی می‌کند و هزینه یک مسیر به صورت مجموع هزینه‌های هر یک از لینک‌های مسیر محاسبه می‌شود. بزرگ‌ترین مشکل این روش، حجم بالای اطلاعاتی است که برای عملیات میانگین گیری دائماً در شبکه در حال رد و بدل می‌باشد. در الگوریتم ارائه شده در [۱۰] تنها پارامتر پهنای باند در نظر گرفته شده است. هدف این الگوریتم آن است که مسیرهایی با کمترین تعداد پرش به دست آورد و همچنین بار را در لینک‌های شبکه به شکلی متوازن توزیع کند و تعداد درخواست‌های بلوکه شده نیز به حداقل میزان می‌رسد که در نتیجه آن، پهنای باند مصرفی کلی در شبکه به حداکثر میزان ممکن می‌رسد. قانون فازی استفاده شده در این روش، مسیری را به عنوان بهترین مسیر معرفی می‌کند که پهنای باند قابل رزرو زیادی روی لینک گلوگاه و لینک‌های دیگر مسیر داشته باشد و همچنین تعداد پرش‌های آن نیز کم باشد. در این روش از الگوریتم تغییر یافته دایجسترا استفاده شده است؛ از این رو، پیچیدگی آن به اندازه الگوریتم دایجسترا می‌باشد؛ ولی این الگوریتم تنها با هدف ایجاد توازن بار در شبکه ارائه شده است و تنها پارامتر کیفیت خدماتی که تضمین می‌کند، پارامتر پهنای باند است. به عبارت دیگر، در این روش به معیارهای کیفیت خدمات دیگر هیچ توجهی نمی‌شود.

۳- الگوریتم پیشنهادی FMM

الگوریتم مسیریابی کیفیت خدمات پیشنهاد شده، از مسیریابی صنریج در MPLS به روش ارسال بسته‌ها در قوتل استفاده می‌کند. برای ترکیب پارامترها نیز از روش چند معیاری استفاده شده است که در آن معیار پهنای باند و یک پارامتر دیگر؛ که هزینه هر لینک را نشان می‌دهد، در نظر گرفته شده است. این پارامتر نیز به روش ابتکاری فازی، با ترکیب

پارامترهای تأخیر و احتمال اتلاف بسته در لینک به دست می‌آید. به این ترتیب، ابتدا یک جستجو در کل گراف شبکه انجام می‌شود تا کلیه یال‌هایی که پهنای باند مورد نیاز کاربر را تأمین نمی‌کنند از این گراف حذف شوند و پس از آن برای هر یک از لینک‌های باقیمانده در گراف، مقدار پارامتر هزینه لینک با استفاده از مقدار تأخیر انتشار و احتمال اتلاف لینک، محاسبه و الگوریتم دایجسترا اجرا می‌شود و مسیری با کمترین هزینه در گراف محاسبه می‌گردد. در این روش، مبدأ ترافیکی از تمام مشخصات توپولوژی شبکه اطلاع دارد. به جای احتمال اتلاف بسته در لینک، از پارامتر لگاریتم احتمال موفقیت انتقال بسته در لینک استفاده می‌شود که از روی احتمال اتلاف به دست می‌آید؛ ولی قانون ترکیب آن جمعی است و پیچیدگی قانون ترکیب احتمال اتلاف را ندارد.

شبکه $G = (N, A)$ را با N نود و A یال در نظر بگیرید. به هر یال (i, j) دو عدد نسبت داده می‌شود، b_{ij} پهنای باند در دسترس لینک و $f_{ij} = fmm(\log_{10} d_{ij} - d_{ij})$ معیار ترکیبی فازی است که در آن \log_{10} نشان دهنده لگاریتم انتقال موفقیت لینک و d_{ij} نشان دهنده تأخیر انتشار لینک (i, j) است. اگر یال (i, j) وجود نداشته باشد $b_{ij} = 0$ و $f_{ij} = \infty$ می‌باشد. در مسیر داده شده $p = (i_1, k_1, \dots, i_p, k_p)$ پهنای مسیر یا $w(p)$ نشان داده می‌شود که مقدار آن به صورت:

$$w(p) = \min[b_{i_1 k_1}, b_{k_1 i_2}, \dots, b_{i_p k_p}]$$

محاسبه می‌شود و طول مسیر یا $l(p)$ نشان داده می‌شود که مقدار آن با فرمول:

$$l(p) = f_{i_1 k_1} + f_{k_1 i_2} + \dots + f_{i_p k_p}$$

به دست می‌آید. فرض کنید B نشان دهنده پهنای باند مورد نیاز کاربر باشد. مسأله، پیدا کردن یک مسیر p بین A و Z است که در آن $w(p) \geq B$ باشد و $l(p)$ نیز کمترین مقدار را داشته باشد. اگر چنین فرض کنیم که نود شماره ۱ نود مبدأ و نود شماره m نود مقصد است، الگوریتم FMM به شکل زیر نوشته می‌شود:

Step 1: $\forall i, j: F_{ij} = \infty$ if $b_{ij} < B$.

Step 2: $L = \{1\}; \forall i, i \neq 1: F_i = f_{1i}$.

Step 3: Find $k \in L | F_k = \min_{i \in L} F_i$.
If $F_k = \infty$, a path can not be found and the algorithm stops.

If $m \in L$, the path was found and the algorithm stops.
 $L = L \cup \{k\}$.

Step 4: $\forall i \in L: F_i = \min[F_i, F_k + f_{ki}]$.

Go to step 3.

الگوریتم ارائه شده، مسیری را با حداقل تأخیر و اتلاف پیدا می‌کند. پیچیدگی زمانی کاملاً $O(N^2)$ می‌باشد که فقط یک بار

- 1) IF d_{ij} is Low and $slog_{ij}$ is L THEN Link fmm is Very Low
- 2) IF d_{ij} is Low and $slog_{ij}$ is M THEN Link fmm is Low
- 3) IF d_{ij} is Low and $slog_{ij}$ is H THEN Link fmm is Med
- 4) IF d_{ij} is Med and $slog_{ij}$ is L THEN Link fmm is Low
- 5) IF d_{ij} is Med and $slog_{ij}$ is M THEN Link fmm is Med
- 6) IF d_{ij} is Med and $slog_{ij}$ is H THEN Link fmm is High
- 7) IF d_{ij} is High and $slog_{ij}$ is L THEN Link fmm is Med
- 8) IF d_{ij} is High and $slog_{ij}$ is M THEN Link fmm is High
- 9) IF d_{ij} is High and $slog_{ij}$ is H THEN Link fmm is Very High

این پایگاه قوانین، نشان می‌دهد که در وضعیتی که تأخیر انتشار و $|slog|$ لینک هر دو کم هستند، fmm لینک نیز بسیار پایین است و این لینک یک لینک بسیار خوب در انتخاب مسیر در نظر گرفته می‌شود. در وضعیتی که تأخیر انتشار و $|slog|$ لینک هر دو زیاد هستند، fmm لینک نیز بسیار بالاست و این لینک یک لینک بسیار بد در انتخاب مسیر در نظر گرفته می‌شود. در وضعیت‌هایی که یا تأخیر انتشار لینک و یا $|slog|$ لینک بالا هستند و یا هر دو مقدار متوسطی را دارند، fmm لینک نیز مقدار متوسطی دارد و این لینک یک لینک نسبتاً خوب در انتخاب مسیر در نظر گرفته می‌شود. در سیستم فازی پیشنهادی از موتور استنتاج مدانی ضرب، فازی ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. مقادیر لحظه‌ای d_{ij} و $slog_{ij}$ به توابع عضویت مناسب نگاشت می‌یابند. خروجی نهایی کنترل کننده فازی که fmm لینک می‌باشد، به صورت داده شده در فرمول (۲) محاسبه می‌گردد:

$$fmm = \frac{\sum_{k=1}^9 \mu_k(d_{ij}) \times \mu_k(slog_{ij}) \times \mu_k(fmm)}{\sum_{k=1}^9 \mu_k(d_{ij}) \times \mu_k(slog_{ij})} \quad (2)$$

به عنوان مثال فرض کنید تأخیر لینک مورد نظر ۱۵ میلی ثانیه و احتمال از بین رفتن بسته در آن 0.001 در نظر گرفته شده است. با استفاده از این مقادیر، درجه عضویت ورودی‌ها در توابع عضویت مربوطه به شکل زیر به دست می‌آید:

$$\mu_{Low}(d_{ij}) = f(15; -\infty, 0, 10, 20) = 0.5$$

$$\mu_{Med}(d_{ij}) = f(15; 10, 20, 20, 30) = 0.5$$

$$\mu_{High}(d_{ij}) = f(15; 20, 30, +\infty, +\infty) = 0$$

$$\mu_{Low}(slog_{ij}) = 0, \mu_{Med}(slog_{ij}) = 1, \mu_{High}(slog_{ij}) = 0$$

در نتیجه، وزن قسمت IF هریک از قانون‌های ۲ و ۵ برابر با 0.5 است و خروجی سایر قانون‌ها صفر می‌باشد. به این ترتیب، مقدار خروجی نهایی fmm به صورت زیر به دست می‌آید:

$$fmm = \frac{0.5 \times 40 + 0.5 \times 60}{0.0 + 0.5 + 0 + 0 + 0.5 + 0 + 0 + 0 + 0} = \frac{20 + 30}{1.0} = 50.0$$

اجرا می‌شود. پیچیدگی زمانی کام $O(N)$ است که این کام نیز فقط یک بار اجرا می‌شود. پیچیدگی زمانی کام‌های ۳ و ۴ نیز $O(N)$ (می‌باشد که هر کدام در بدترین حالت $N-1$ بار تکرار می‌شوند؛ بنابراین پیچیدگی این الگوریتم از درجه $O(N^2)$ است که مشابه پیچیدگی الگوریتم دایجسترا است. به منظور تعریف توابع عضویت استفاده شده در FMM ابتدا، تابع شبه دوزنقه $f(x; a, b, c, d)$ به صورت فرمول (۱) که در زیر آمده است تعریف می‌شود:

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{for } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{for } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{for } x \geq d \end{cases} \quad (1)$$

در کنترل کننده فازی پیشنهادی مقادیر ورودی d_{ij} و $slog_{ij}$ به مجموعه‌های فازی مناسب به صورت زیر نگاشت داده می‌شود:

$$T(slog_{ij}) = \{L, M, H\}$$

$$T(d_{ij}) = \{Low, Med, High\}$$

توابع عضویت d_{ij} و $slog_{ij}$ در مجموعه‌های فازی فوق به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\mu_L(slog_{ij}) = f(slog_{ij}; -\infty, 0, -\log(1-10^{-6}), -\log(1-10^{-4}))$$

$$\mu_M(slog_{ij}) = f(slog_{ij}; -\log(1-10^{-6}), -\log(1-10^{-4}), -\log(1-10^{-4}), -\log(1-10^{-2}))$$

$$\mu_H(slog_{ij}) = f(slog_{ij}; -\log(1-10^{-4}), -\log(1-10^{-2}), +\infty, +\infty)$$

$$\mu_{Low}(d_{ij}) = f(d_{ij}; -\infty, 0, 10, 20)$$

$$\mu_{Med}(d_{ij}) = f(d_{ij}; 10, 20, 20, 30)$$

$$\mu_{High}(d_{ij}) = f(d_{ij}; 20, 30, +\infty, +\infty)$$

توابع عضویت فوق با استفاده از روش سعی و خطا و یا آزمایش‌های متعدد به صورت بهینه به دست آمده‌اند. خروجی کنترل کننده فازی پیشنهادی؛ که با fmm نشان داده می‌شود، از مجموعه‌های فازی زیر استفاده می‌کند:

$$T(fmm) = \{Very Low, Low, Med, High, Very High\}$$

توابع عضویت مورد استفاده در خروجی fmm به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\mu_{Very Low}(fmm) = f(fmm; -\infty, 0, 20, 40)$$

$$\mu_{Low}(fmm) = f(fmm; 20, 40, 40, 60)$$

$$\mu_{Med}(fmm) = f(fmm; 40, 60, 60, 80)$$

$$\mu_{High}(fmm) = f(fmm; 60, 80, 80, 100)$$

$$\mu_{Very High}(fmm) = f(fmm; 80, 100, +\infty, +\infty)$$

در پایگاه قوانین طراحی شده، ۹ قانون فازی برای تعریف رابطه بین ورودی‌ها و خروجی استفاده شده است که این قوانین به شرح زیر هستند:

از آنجا که شبکه MPLS به عنوان شالوده نسل جدید شبکه اینترنت مطرح است. نسخه‌هایی ارزشمندی از شبیه سازی ساز ns2 که MPLS را نیز پشتیبانی می‌کنند ارائه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به نگارش‌های مختلف MNS اشاره کرد. برای شبیه سازی‌ها در این پروژه از بسته نرم افزاری ns-2.26-ns-2.1 که به ns2.26 اضافه می‌شود، استفاده شده است. توپولوژی مورد استفاده در شبیه سازی در شکل (۱) نشان داده شده است. روش‌هایی که در اینجا باهم مقایسه شده‌اند عبارتند از: روش FMM پیشنهادی، روش Wang و Crowcraft (W&C) [۱۱] که لینک‌هایی با پهنای باند کمتر از پهنای باند مورد نیاز کاربر را حذف می‌کند و سپس با در نظر گرفتن تأخیر به عنوان هزینه لینک و استفاده از الگوریتم دایجسترا، مسیری با کمترین هزینه را به عنوان بهترین مسیر انتخاب می‌کند و روش BWMD [۱۲] که مشابه روش Wang است، با این تفاوت که پارامتر ترکیبی $\alpha_i = d_i + \lambda \log_i$ را به عنوان هزینه لینک در نظر می‌گیرد.



شکل (۱) توپولوژی استفاده شده در شبیه سازی

در هر دوسناریو، در ابتدای اجرای شبیه سازی، احتمال اتلاف و تأخیر لینک‌ها بر اساس بازه مشخص شده در هر سناریو، به طور تصادفی تخصیص زده می‌شود؛ سپس ۱۰ درخواست متوالی به Host A داده می‌شود. مقصد تمام درخواست‌های رسیده Host B است. درخواست‌ها در طول ۱۰۰ ثانیه وارد شبکه می‌شوند و پس از آن شبیه سازی به مدت ۵۰ ثانیه دیگر نیز ادامه می‌یابد و سرانجام پس از ۱۵۰ ثانیه به پایان می‌رسد. نود مبدأ، Host A و نود مقصد، Host B هستند که از پروتکل IP استفاده می‌کنند؛ اما سایر نودها از نوع مسیریاب‌های MPLS می‌باشند. در واقع، منابع ترافیکی به Host A و مقصدها به Host B متصل شده‌اند. با رسیدن هر درخواست ایجاد مسیر به Host A این نود با استفاده از الگوریتم مسیریابی کیفیت خدمات مورد نظر، مسیر مناسب را انتخاب و بسته‌های جریان ترافیکی را از طریق آن مسیر به نود مقصد ارسال می‌کند. پهنای باند هر یک از لینک‌های شبکه در بازه [۲۰۰، ۱۰۰۰] مگابیت بر ثانیه قرار دارد. منبع ترافیکی در

نظر گرفته شده Exponential on/off است که دارای متوسط طول ناحیه burst و idle برابر با ۵ میلی ثانیه می‌باشد.

۵- ارزیابی عملکرد

در این قسمت، نمودارهای مربوط به کارایی روش پیشنهادی و دو روش مقایسه شده آورده می‌شود. پارامترهایی که در این قسمت برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های مسیریابی بررسی می‌شوند، عبارتند از:

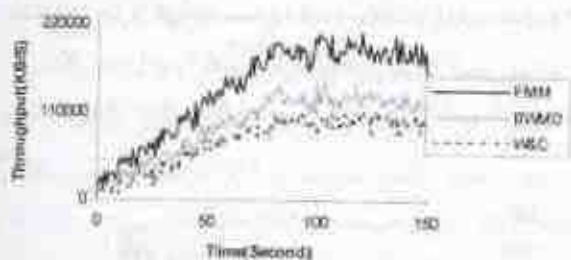
- گذردهی: عبارت است از حجم اطلاعاتی که در بازه مشخصی از زمان ارسال شده و به مقصد می‌رسد.

- ترافیک مسدود شده: عبارت است از حجم اطلاعاتی که در بازه مشخصی از زمان در شبکه از بین رفته است.

- نرخ مسدود شدن ترافیک: احتمال مسدود شدن ترافیک را نشان می‌دهد.

- کارایی شبکه: نسبت پهنای باند مصرف شده به ترافیک مسدود شده را در کل شبکه نشان می‌دهد.

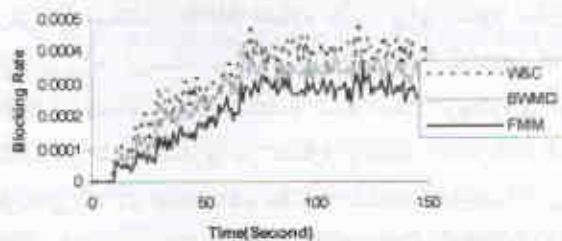
- تأخیر مسیر: در واقع همان مجموع تأخیر انتشار لینک‌های مسیر است که نشان می‌دهد مسیریابی که بوسیله الگوریتم‌های مختلف مسیر پابی انتخاب می‌شوند، از نظر تأخیر زمانی چه تفاوتی با هم ندارند. در شکل‌های (۲) و (۳) نمودارهای گذردهی بر حسب زمان در هر دوسناریوی مختلف آورده شده است.



شکل (۲) گذردهی بر حسب زمان سناریو ۱

همان طور که در شکل‌های (۲) و (۳) مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی فازی، گذردهی بالاتری نسبت به سایر روش‌های BWMD و روش W&C دارد. در شکل‌های (۲) و (۳) نمودارهای میزان ترافیک مسدود شده بر حسب زمان آورده شده است. همان طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی FMM ترافیک مسدود شده کمتری نسبت به روش‌های BWMD و W&C دارد.

کارایی بسیار زیاد می‌شود؛ ولی وقتی که درخواست‌های ارسال شده به شبکه تمام می‌شوند و شبکه تقریباً به ثبات می‌رسد، کارایی شبکه نیز مقدار تقریباً ثابتی پیدا می‌کند که نسبت به مقدارهای اولیه آن بسیار کمتر است.



شکل (۷): نرخ مسدود شدن ترافیک بر حسب زمان، سناریو ۲

بنابراین برای اینکه مقایسه چند روش، به شکل واضح‌تری در نمودارها نمایش داده شود، نمودارهای کارایی در بازه زمانی ۱۰۰ تا ۱۵۰ ثانیه؛ که شبکه تقریباً به ثبات رسیده است، ترسیم شده‌اند. به عبارت دیگر، میزان کارایی شبکه، از بی نهایت کاهش پیدا می‌کند تا زمانی که تقریباً به ثبات برسد.

۵-۱- تحلیل آماری

نتایج به دست آمده از نمودارها به صورت شهودی نشان می‌دهند که روش BWMD بهتر از روش W&C عمل می‌کند و روش FMM نیز از روش BWMD بهتر است. به منظور اطمینان بیشتر به صحت نتایج شبیه سازی، داده‌های به دست آمده تحت تحلیل‌های آماری قرار گرفتند تا به طور دقیق‌تری این مسأله را ثابت کنند. در هر نمودار، داده‌های موجود در فاصله زمانی ۱۰۰ تا ۱۵۰؛ که شبکه تقریباً به ثبات رسیده است، بوسیله آزمون t بررسی شدند.

آزمون t برای سه نوع داده استفاده می‌شود:

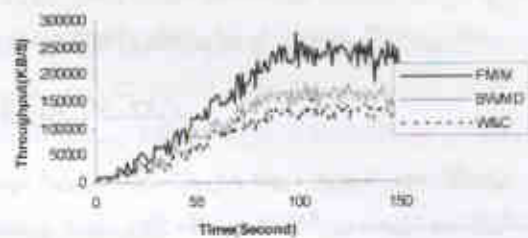
- دو نمونه داده با واریانس‌های یکسان
- دو نمونه داده با واریانس‌های متفاوت
- دو نمونه داده که با دو بار اجرای یک آزمایش خاص به دست آمده‌اند.

برای نمونه‌هایی با واریانس‌های متفاوت، برای به دست

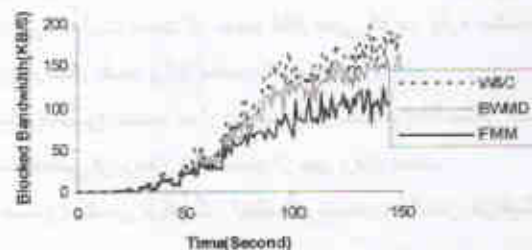
آوردن مقدار t از فرمول (۳) استفاده می‌شود:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3)$$

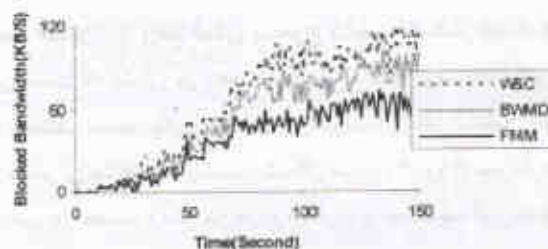
در این فرمول \bar{x}_1 و \bar{x}_2 میانگین و s_1 و s_2 انحراف از معیار دو نمونه داده هستند. نتیجه آزمون t برای دوروش FMM و BWMD در سناریوی اول و برای نمودارهای مختلف



شکل (۳): گذردهی بر حسب زمان، سناریو ۲

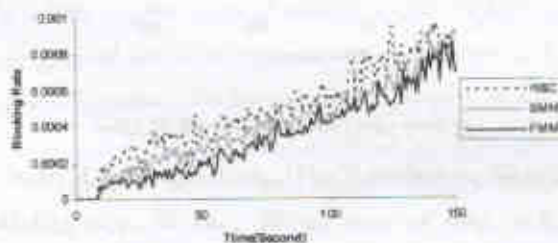


شکل (۴): میزان ترافیک مسدود شده بر حسب زمان، سناریو ۱



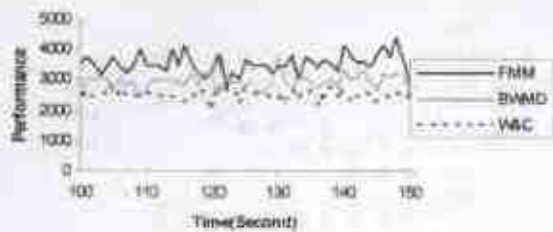
شکل (۵): میزان ترافیک مسدود شده بر حسب زمان، سناریو ۲

در شکل‌های (۶) و (۷) نمودارهای نرخ بلوکه شدن پهنای باند بر حسب زمان برای حالت‌های مختلف ذکر شده آورده شده است.



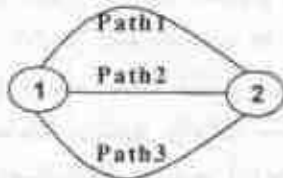
شکل (۶): نرخ مسدود شدن ترافیک بر حسب زمان، سناریو ۱

مطابق با نتایج شکل‌های (۶) و (۷)، ملاحظه می‌شود که روش پیشنهادی FMM در تمام حالت‌ها نرخ مسدود شدن کمتری نسبت به روش‌های BWMD و W&C دارد. در شکل‌های (۸) و (۹) نمودارهای کارایی شبکه بر حسب زمان آورده شده است. به علت اینکه در لحظات اولیه شبیه سازی، اتلاف شبکه بسیار پایین است و در مقابل، پهنای باندی که در شبکه مصرف می‌شود مقدار ناچیزی دارد، میزان پارامتر محاسبه شده برای



شکل (۹): کارایی شبکه بر حسب زمان، سناریو ۲

روش BWMD از بین دو مسیر شماره ۱ و ۲ که کمترین تأخیر را در بین مسیرها دارند، مسیر شماره ۲ را انتخاب می‌کند؛ زیرا احتمال اتلاف در این مسیر پایین تر از سایر مسیرهاست. برخلاف روش‌های فوق، روش فازی از بین این سه مسیر، مسیر شماره ۲ را انتخاب می‌کند. با اینکه این مسیر کمترین تأخیر را دارا نیست؛ ولی تأخیر آن نیز تفاوت چندانی با مینیمم تأخیرها ندارد و در عوض، احتمال اتلاف آن بسیار کمتر از احتمال اتلاف مسیرهای دیگر است؛ بنابراین مسیری انتخاب می‌شود که میزان ترافیک مسدود شده آن، کمتر از بقیه مسیرهاست. از آنجاییکه در روش فازی اتلاف کمتری در شبکه رخ می‌دهد و کارایی شبکه افزایش می‌یابد، پس استفاده از روش FMM باعث بالا رفتن گذردهی شبکه نیز می‌شود.



شکل (۱۰): مثالی برای بررسی کارایی تأخیر روش FMM

نمودارهای تأخیر مربوط به آزمایش‌های انجام یافته برای دنباله‌ای از درخواست‌ها در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) آورده شده است. نمودارهای تأخیر نشان می‌دهند تأخیر در روش‌های W&C و BWMD یکسان و به صورت تدریجی در حال افزایش است.



شکل (۱۱): تأخیر مسیر در سناریو (۱) (تأخیر و اتلاف بالا)

در جدول (۱) آورده شده است، با توجه به اینکه مقدار به دست آمده از آزمون ۱ برای انواع نمودارهای مختلف عدد بسیار کوچکی است، صحت نتایج به دست آمده از شبیه سازی با این آزمون تأیید می‌شود.

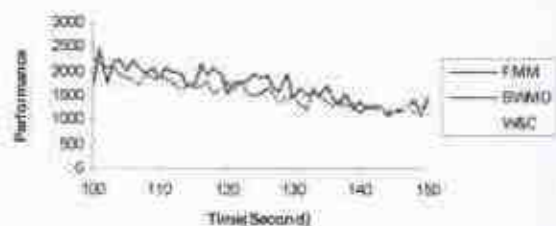
جدول (۱): نتیجه آزمون ۱ برای دوروش FMM و BWMD

نوع نمودار	نتیجه آزمون ۱
نمودارهای گذردهی بر حسب زمان	1.16529E-33
نمودارهای ترافیک مسدود شده بر حسب زمان	3.31E-23
نمودارهای کارایی شبکه بر حسب زمان	0.00013

۲-۵- تحلیل نمودارهای مربوط به مقایسه و ارزیابی

روش پیشنهادی فازی و روش های دیگر

در روش فازی، مسیری انتخاب می‌شود که پهنای باند مورد نیاز کاربر را تأمین کند و کمترین تأخیر و اتلاف را نیز داشته باشد. همان طوری که از نمودارها مشخص است، گذردهی شبکه در روش فازی، بیشترین میزان را در بین سه روش دارد. میزان ترافیک مسدود شده نیز در روش فازی، از دو روش دیگر کمتر است. پایین بودن میزان ترافیک مسدود شده در روش فازی قابل پیش بینی است؛ زیرا روش‌های دیگر، یا اصلاً احتمال اتلاف مسیر را در نظر نمی‌گیرند (مانند روش W&C) و یا به اندازه روش فازی به آن توجه نمی‌کنند (مانند روش BWMD). بنابراین مسیرهایی را انتخاب می‌کنند که ممکن است احتمال اتلاف بالایی داشته باشند و در نتیجه، میزان ترافیک مسدود شده در این روش‌ها بالا می‌رود و به علت بالا بودن اتلاف شبکه، گذردهی شبکه نیز کاهش می‌یابد. به عنوان مثال، شکل (۱۰) را در نظر بگیرید. سه مسیر شماره ۱، ۲ و ۳ بین دو نود مبدأ و مقصد وجود دارد. مسیرهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب دارای تأخیر ۹۰.۸، ۹۱ و میلی ثانیه و احتمال اتلاف ۲۷ صدم، ۲۵ صدم و ۲ صدم می‌باشند. از آنجایی که مسیر ۱ اولین مسیری است که کمترین تأخیر را دارد، روش W&C مسیری را از بین سه مسیر ممکن انتخاب می‌کند. این روش هیچ توجهی به احتمال اتلاف این مسیر و اینکه مسیر شماره ۲ از نظر احتمال موفقیت انتقال، مسیر بهتری است، نمی‌کند.



شکل (۱۲): کارایی شبکه بر حسب زمان، سناریو ۱

W&C تقایسه شد. پارامترهایی نظیر گذردهی، میزان ترافیک مسدود شده، نرخ مسدود شدن ترافیک، کارایی شبکه و تأخیر مسیرمقایسه شدند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان دهنده برتری روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های موجود است.

۷- مراجع

- [۱] R. Brade, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", Internet Engineering Task Force (IETF) RFC 1633 Jun. 1994.
- [۲] S. Blak, et. al., "An Architecture for Differentiated Services", Internet Engineering Task Force (IETF) RFC 2475, Dec. 1998, 36 pages <http://ftp.ietf.org/notes/rfc2475.txt>
- [۳] R. Callo, et. al., "A Framework for Multiprotocol Label Switching", draft-ietf-mpls-framework-05.txt, Sep. 1999.
- [۴] S. Che, K. Nahrstedt, "An Overview of Quality-of-Service Routing for The Next Generation High-Speed Networks: Problems and Solutions", Department of Computer Science University of Illinois at Urbana, 1998.
- [۵] N.M. Din, N. Faisal, "Dynamic Resource Allocation of IP Traffic for a DiffServ-MPLS Interface Using Fuzzy Logic", in the proceeding of The 9th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2000), 2003 pp. 339-343
- [۶] A. Singh, G. Mittal, S.K. Nand, "QoS and Traffic Engineering: MPLS, DiffServ and Constraint based Routing", in Department of Computer Science & Engineering Indian Institute of Technology Guwahat, May 2000
- [۷] K. Fall, K. Varadhan, "NS notes and documentation", University of California at Berkeley, <http://www.berkeley.edu/Lawrence> Berkeley National Laboratory, Feb. 2000. Available at <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns>
- [۸] CH.K. Tan, DR.L. Sacks, "The Use of Fuzzy Metric in QoS-based OSPF Network", MSc theses in Telecommunication, UCL university, 31 August 2001.
- [۹] E. Aboelela, CH. Douligeris, "Routing in Multimetric Networks Using a Fuzzy Link Cost in B-ISDN", in Proceedings of the 2nd IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC '97) pp. 397-402, 1997
- [۱۰] J.A. Khan, H.M. Alnuweiri, "A Fuzzy Constraint Based Routing Algorithm for Traffic Engineering", in Global Telecommunications Conference, 2004. IEEE GLOBECOM'04, Dec 2004 pp: 1366-1372
- [۱۱] Z. Wan, J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications", IEEE JSAC, 14(7): pp 1288-123, Sep. 1996
- [۱۲] L.H.M.K. Cost, O.C.M.B. Duarte, "A scalable QoS-based routing mechanism for supporting multimedia application", in IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems - ICMCS'99, vol.2, pp 346-351, June 2002



شکل (۱۲): تأخیر مسیر در سناریو ۳ (تأخیر و اتلاف کم)

دلیل این مطلب آن است که هر دو روش فوق مسیرهایی با کمترین تأخیر را انتخاب می‌کنند و تفاوت آنها در احتمال اتلاف مسیرهایی است که تأخیر یکسانی دارند. به عبارت دیگر، روش W&C تنها به دنبال مسیری با کمترین تأخیر می‌گردد و به اینکه آیا مسیر دیگری نیز یا همین میزان تأخیر وجود دارد یاخیر، توجهی نمی‌کند. در روش BWMD، از بین مسیرهایی با کمترین تأخیر، مسیری انتخاب می‌شود که کمترین احتمال اتلاف را داشته باشد؛ بنابراین چون تفاوت این دو روش فقط در احتمال اتلاف مسیرهایی است که انتخاب می‌شوند، نمودارهای تأخیر در این دو روش یکسان می‌باشند. روش فازی سعی دارد مسیرهایی با کمترین تأخیر و کمترین اتلاف را انتخاب کند. به عبارت دیگر، مسیری که کمترین تأخیر و کمترین اتلاف را دارد در پایگاه قوانین فازی به عنوان مسیر بسیار خوب شناخته می‌شود. بنابراین ممکن است مسیری انتخاب شود که احتمال اتلاف بسته در آن، به نسبت مسیرهایی که روش‌های W&C و BWMD پیدا می‌کنند، بسیار پایین تر باشد؛ ولی تأخیرش کمی بیشتر از آنها باشد و به عبارت دیگر، پایین‌ترین تأخیر را نداشته باشد؛ ولی کلاً تأخیر آن به نسبت مسیرهای دیگر کم باشد. چراکه هدف روش‌های W&C و BWMD پیدا کردن مسیرهایی با حداقل تأخیر است و مسلماً اولین مسیرهایی که پیدا می‌کنند کمترین تأخیرها را دارند.

۶- نتیجه

در این مقاله با استفاده از کنترل کننده‌های فازی، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی بر قید برای شبکه‌های MPLS ارائه شد. در روش پیشنهادی از چند معیار استفاده شده است که در آن، معیار پهنای باند و یک پارامتر دیگر؛ که هزینه هر لینک را نشان می‌دهد، در نظر گرفته شده است. این پارامتر نیز به روش ابتکاری فازی، با ترکیب پارامترهای تأخیر و احتمال اتلاف بسته در لینک به دست می‌آید. روش پیشنهادی در شبیه ساز MNS پیاده سازی شد و با روش‌های متداول BWMD و

- ¹ Best Effort
- ² Multi-Protocol Label Switching
- ³ Forwarding Equivalent Class
- ⁴ Fuzzy Mixed Metric
- ⁵ Dijkstra
- ⁶ BandWidth pruning and Mixed metric Dijkstra search

در این مقاله، روش‌های مختلف برای بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های کامپیوتری مورد بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها شامل بهترین تلاش (Best Effort)، سوئیچینگ برچسب‌گذاری پروتکل‌های چندگانه (Multi-Protocol Label Switching)، طبقه‌بندی معادل‌سازی (Forwarding Equivalent Class)، متریک آمیخته فازی (Fuzzy Mixed Metric)، الگوریتم دیجسترا (Dijkstra) و جستجوی دیجسترا با متریک آمیخته و برش باند پهنایی (BandWidth pruning and Mixed metric Dijkstra search) می‌باشد. این روش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهند.

این روش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهند. این روش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهند.

The Comparison of Fuzzy Mixed Metric and Dijkstra Search Algorithm in Finding the Shortest Path

Dr. Amir Koozei

در این مقاله، مقایسه‌ای بین متریک آمیخته فازی و الگوریتم جستجوی دیجسترا در یافتن کوتاه‌ترین مسیر انجام شده است. این مقایسه با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهد. این روش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهند.

این روش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهند. این روش‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، بهینه‌سازی عملکرد شبکه را انجام می‌دهند.