مسیریابی فازی مبتنی بر قید در شبکه های *MPLS*

محمد حسین یغمایی مقدم[i]، ناهید ابراهیمی مجد[ii]،محمد باقرمنهاج[iii]

چکیده

امروزه با رشد خدمات اینترنت، کاربردهای جدیدی نظیر: تلفن‌های اینترنتی، کنفرانس‌های صوتی و تصویری وخدمات مبتنی بروب جهانی ارائه شده است. ساختار اینترنت فعلی قادر به حمایت و ارائه کیفیت خدمات جدید نمی‌باشد و بنابراین خدمات دهی به کاربر باید به گونه‌ای تغییر یابد که متناسب با نیازمندیهای جدید آن باشد. ازاین رو، الگوریتم‌های مسیریابی کیفیت خدمات متفاوتی برای پاسخ گویی به نیازهای مختلف کاربران و برنامه‌های کاربردی مختلف ارائه شده‌اند. دراین مقاله یک الگوریتم جدیدمسیریابی مبتنی برقید، که از یک کنترل کننده فازی برای ترکیب پارامترهای لینک استفاده می‌کند، ارائه شده است. الگوریتم ارائه شده درمحیط شبیه ساز ns2 برروی شبکه MPLS اعمال شده است. همان طور که نشان داده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی نسبت به سایر الگوریتم‌های موجود که از منطق‌های دیگری برای ترکیب پارامترها استفاده می‌کند، نرخ ترافیک مسدود شده کمترو گذردهی بالاتری دارد. الگوریتم اکتشافی پیشنهادی از سه متریک پهنای باند موجود، تاخیر انتشار و احتمال اتلاف بسته استفاده می‌کند. نشان داده می‌شود که الگوریتم ارائه شده درزمان چند جمله‌ای قابل حل است.

کلمات کلیدی

کیفیت خدمات، مسیریابی، مسیریابی مبتنی بر قید، سیستم‌های فازی، شبکه‌های 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

[i] دانشیاردانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد: hyaghmae@ferdwosi.um.ac.ir

[ii] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشگاه فردوسی مشهد

[iii] استاد دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- مقدمه

اینترنت 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 اینترنت شده است؛ ولی برای افزایش کیفیت خدمات در برنامه‌های کاربردی جدید کافی نیست. بر خلاف خدمات‌های بیشترین تلاش[1]، 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 ومقصد راه اندازی می‌شودوهنگامی که انتقال به پایان رسید، مسیر و منابع اختصاص یافته به آن آزاد می‌شوند. برای رزرو منابع یک جریان، مسیریاب‌های موجود درمسیر باید وضعیت جریان را پیگیری کنند. برای تأمین کیفیت خدمات در اینترنت، تکنیک‌های زیادی پیشنهاد و بر روی آنها کار شده است که شامل Intserv [۱] Diffserv, [۲] MPLS[2] [۳]، مهندسی ترافیک و مسیریابی مبتنی بر کیفیت خدمات می‌شوند[۴].

مسیریابی مبتنی برکیفیت خدمات وMPLS 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[۴]. 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[۵] ،[۶].

دراین مقاله از مسیر یابی صریح برای انتقال هر جریان در یک کلاس FEC[3] 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 جمله ای قابل حل است و ثانیاً تنها اطلاعاتی که در مورد هر جریان نگهداری می‌شود، پهنای باند مصرف شده جریان می‌باشد.

در این مقاله، یک الگوریتم ابتکاری فازی برای محاسبه مسیر ارائه می‌شود که FMM[4] نامگذاری شده است. این روش و دو روش دیگر که آنها نیز بر مبنای الگوریتم کوتاه ترین مسیر دایجسترا ارائه شده اند، درشبیه ساز ns2 [۷] پیاده سازی 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 ۲ مروری برکارهای قبلی آورده شده است. بخش۳ الگوریتم پیشنهادی FMM را ارائه می دهد. پیاده سازی و آزمون الگوریتم پیشنهادی دربخش۴ آمده است. بخش۵ نیز شامل ارزیابی عملکرد ومقایسه کارایی روش پیشنهادی با روش های مشابه می‌باشد.

۲- مرور کارهای قبلی

درطی 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 درمراجع[۸]-[۱۰] استفاده شده است. هر کدام از این روش‌ها با در نظر گرفتن یکی از اهداف مسیریابی مبتنی بر قید، سعی در برآوردن همان هدف رادارند. 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 [۸] ایجاد توازن بار در شبکه است به طوری که از ازدحام و تراکم در لینک‌های شبکه و اشباع 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 بهره وری کانال است که توازن بهره وری کانال نیز از ترکیب چند متغیر دیگر به دست می‌آید. به عبارت دیگر، تصمیم گیری 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 [۹] مرتباً میزان تأخیر صف بندی و پهنای باند مصرف شده لینک‌ها محاسبه ومیانگین

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 مسیربه 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 می کند و هزینه یک مسیر به صورت مجموع هزینه های هر یک از لینک های مسیر محاسبه می‌شود. بزرگ ترین 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 پارامترپهنای 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 وتعداد 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 دایجستراه 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 صریح در MPLS به روش ارسال بسته‌ها در تونل استفاده می کند. 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 والگوریتم 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(d_{ij} ، $|slog_{ij}|$) $f_{ij} = fmm$ معیار ترکیبی فازی است که در آن $slog_{ij}$ 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 $p=(i,j,k,\ldots,q,r)$، پهنای مسیر با $w(p)$ نشان داده می‌شود که مقدار آن به صورت:

$$w(p) = \min[b_{ij}, b_{jk}, \ldots, b_{qr}]$$

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

$$l(p) = f_{ij} + f_{jk} + \ldots + f_{qr}$$

به دست می‌آید. فرض کنید B نشان دهنده پهنای باند مورد نیاز کاربر باشد. مسأله، پیدا کردن یک مسیر p بین i و r است که در آن $w(p) \geq B$ باشد و $l(p)$ نیز کمترین مقدار را داشته باشد. اگر چنین فرض کنیم که نود شماره۱ 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 $k \notin L \mid F_k = \min_{i \notin L} F_i$.

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

Go to step 3.

الگوریتم ارائه شده، مسیری را با حداقل تأخیر و اتلاف پیدا می‌کند. پیچیدگی زمانی گام۱، $O(N^2)$ می‌باشد که فقط یک بار

اجرا می‌شود. پیچیدگی زمانی گام۲ O(N) است که این گام نیز فقط یک بار اجرا می‌شود. پیچیدگی زمانی گام‌های ۳و۴ 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 درFMM ابتدا، تابع شبه ذوزنقه $f(x;a,b,c,d)$ به صورت فرمول (۱) که درزیر آمده است تعریف می‌شود:

$$f(x;a,b,c,d)=\begin{cases}0 & \text{for} \quad x\le a\\ \dfrac{x-a}{b-a} & \text{for} \quad a\le x\le b\\ 1 & \text{for} \quad b\le x\le c\\ \dfrac{d-x}{d-c} & \text{for} \quad c\le x\le d\\ 0 & \text{for} \quad x\ge d\end{cases} \qquad (۱)$$

درکنترل کننده فازی پیشنهادی مقادیر ورودی $slog_{ij}$ و d_{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 $slog_{ij}$ و d_{ij} درمجموعه‌های 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 با آزمایش‌های متعدد به صورت بهینه به دست آمده اند. 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 درخروجی 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:

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 زیادهستند، 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. درسیستم فازی پیشنهادی از موتور استنتاج ممدانی ضرب، فازی ساز منفرد و غیرفازی ساز میانگین مراکز استفاده شده است. مقادیر لحظه‌ای $slog_{ij}$ و d_{ij} به توابع عضویت مناسب نگاشت می‌یابند. خروجی نهایی کنترل کننده فازی که fmm لینک می‌باشد، به صورت داده شده درفرمول (۲) محاسبه می‌گردد:

$$fmm=\frac{\sum_{k=1}^{9}\mu_k(d_{ij})\times\mu_k(slog_{ij})\times\mu_k(fmm)}{\sum_{k=1}^{9}\mu_k(d_{ij})\times\mu_k(slog_{ij})} \qquad (۲)$$

به عنوان مثال فرض کنید تأخیر لینک مورد نظر ۱۵ میلی ثانیه و احتمال از بین رفتن بسته در آن ۰/۰۰۰۱ در نظر گرفته شده است. با استفاده از این مقادیر، درجه عضویت ورودی‌ها در توابع عضویت مربوطه به شکل زیر به دست می‌آید:

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

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

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

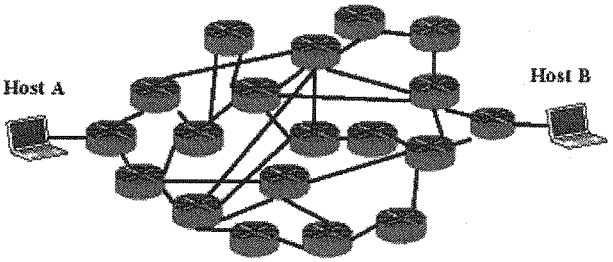
$$\mu_{Low}(s\log_{ij}) = 0, \mu_{Med}(s\log_{ij}) = 1, \mu_{High}(s\log_{ij}) = 0$$

در نتیجه، وزن قسمت IF هریک از قانون های ۲ و۵ برابر با ۰/۵ است و خروجی سایر قانون ها صفرمی‌باشد. به این ترتیب، مقدار خروجی نهاییfmm به صورت زیر به دست می‌آید:

$$fmm=\frac{0.5\times40+0.5\times60}{0.0+0.5+0+0+0.5+0+0+0+0}=\frac{20+30}{1.0}=50.0$$

٤- شبیه سازی در MNS

از آنجا که شبکه MPLS به عنوان شالوده نسل جدید شبکه اینترنت مطرح است، نسخه‌هایی ازشبیه ساز ns2، که MPLS را نیز پشتیبانی می‌کنند ارائه شده‌اند که از آن جمله می‌توان به نگارش‌های مختلف MNS اشاره کرد. برای شبیه سازی‌ها دراین پروژه ازبسته نرم افزاری mns-2.1-ns-2.26، 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 لینک هایی 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[6] [۱۲] که مشابه روش Wang است، با این تفاوت که پارامتر ترکیبی $u_{ij} = d_{ij} + |slog_{ij}|$ 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 لینکهابر اساس بازه مشخص شده در هرسناریو، به طور تصادفی تخمین 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 هستندکه ازپروتکل IP استفاده می‌کنند؛ اما سایر نودها از نوع مسیریاب‌هایMPLS 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 مسیر یابی کیفیت خدمات مورد نظر، مسیر مناسب را انتخاب وبسته‌های 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 وidle برابر با ۵۰ میلی ثانیه می‌باشد.

۵- ارزیابی عملکرد

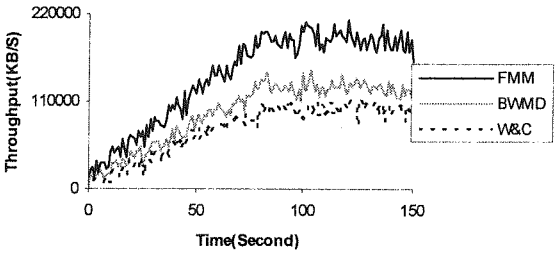
در این قسمت، نمودارهای مربوط به کارایی روش پیشنهادی ودو روش مقایسه شده آورده می‌شود. پارامترهایی که در این قسمت برای ارزیابی کارایی الگوریتم‌های مسیریابی بررسی می‌شوند ، عبارتند از :

- 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.

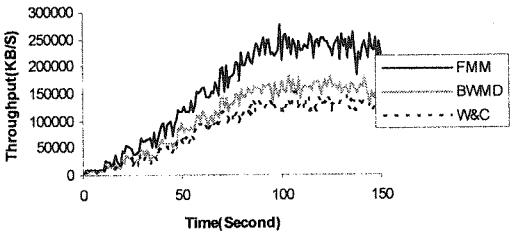
-کارایی شبکه: نسبت پهنای باند مصرف شده به ترافیک مسدودشده را در کل شبکه نشان می‌دهد.

-تاخیر مسیر: در واقع همان مجموع تاخیر انتشار لینک های مسیر است که نشان می‌دهد مسیرهایی که بوسیله الگوریتم های مختلف مسیر یابی انتخاب می‌شوند، از نظر تاخیر زمانی چه تفاوتی با هم دارند.درشکل های (۲) و(۳) نمودارهای گذردهی بر حسب زمان درهردوسناریوی مختلف آورده شده است.

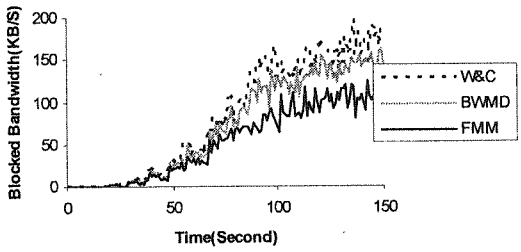


شکل(۲): گذردهی برحسب زمان، سناریو ۱

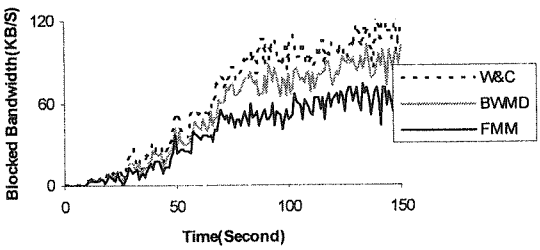
همان طور که درشکل‌های (۲)و(۳) مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی فازی، گذردهی بالاتری نسبت به سایر روش‌های BWMD و روش W&C دارد. درشکل‌های (۴) و(۵) نمودارهای میزان ترافیک مسدودشده بر حسب زمان آورده شده است. همان طور که دراین شکل‌ها مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی FMM ترافیک مسدود شده کمتری نسبت به روش‌های BWMD وW&C دارد.



شکل(۳): گذردهی برحسب زمان، سناریو۲

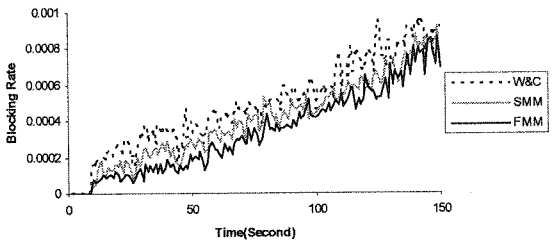


شکل(۴): میزان ترافیک مسدود شده برحسب زمان، سناریو۱



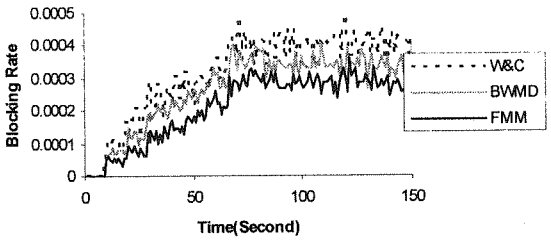
شکل(۵): میزان ترافیک مسدود شده برحسب زمان، سناریو۲

درشکل های(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، سناریو۱

مطابق با نتایج شکل‌های (۶) و(۷)، ملاحظه می‌شودکه روش پیشنهادی FMM درتمام حالت‌هانرخ مسدود شدن کمتری نسبت به روش‌های BWMD وW&C دارد. درشکل‌های (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 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، سناریو۲

بنابراین برای اینکه مقایسه چند روش، به شکل واضح‌تری در نمودارها نمایش داده شود، نمودارهای کارایی در بازه زمانی ۱۰۰ تا ۱۵۰ثانیه؛ 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:

- دونمونه داده با واریانس های یکسان
- دونمونه داده با واریانس های 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:

(۳)

$$t = \frac{\overline{x_1} + \overline{x_2}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

در این فرمول $\overline{x_1}$ و $\overline{x_2}$ میانگین و s_1 و s_2 انحراف از معیار دو نمونه داده هستند. نتیجه آزمون t برای دوروش BWDM و FMM درسناریوی اول وبرای نمودارهای مختلف

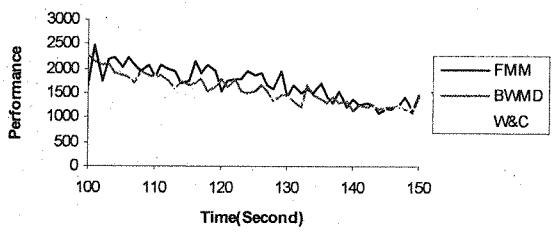
درجدول (۱) آورده شده است. با توجه به اینکه مقدار به دست آمده از آزمون t برای انواع نمودارهای مختلف عدد بسیار کوچکی است، صحت نتایج به دست آمده از شبیه سازی با این آزمون تایید می‌شود.

جدول (۱): نتیجه آزمون t برای دوروش BWDM و FMM

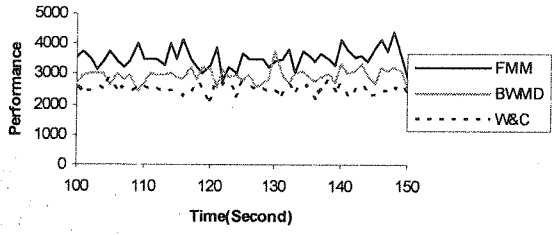
نوع نمودار	نتیجه آزمون t
نمودارهای گذردهی برحسب زمان	1.16529E-33
نمودارهای ترافیک مسدود شده بر حسب زمان	3.31E-23
نمودارهای کارایی شبکه بر حسب زمان	0.00013

۵-۲- 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 طور 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 روش ها 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 شماره۱، ۲ و ۳ بین دو نود مبدأ و مقصد وجود دارد. مسیرهای ۱،۲ و۳ به ترتیب دارای تاخیر۹۰،۹۰ و۹۱ میلی ثانیه واحتمال اتلاف ۲۷صدم، ۲۵ صدم و ۲صدم می‌باشند. ازآنجایی که مسیر ۱ اولین مسیری است که کمترین تأخیر را دارد، روش W&C مسیرفوق را از بین سه مسیرممکن انتخاب می‌کند. این روش، هیچ توجهی به احتمال اتلاف این مسیر و اینکه مسیر شماره۲ از نظر احتمال موفقیت انتقال، مسیر بهتری است، نمی‌کند.

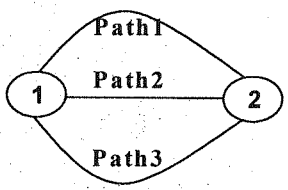


شکل(۸): کارایی شبکه بر حسب زمان، سناریو۱



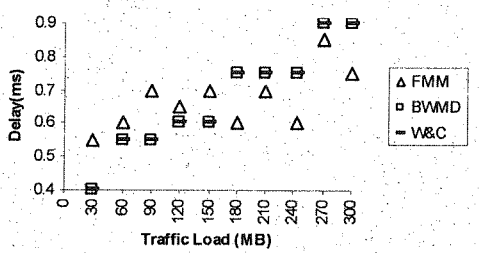
شکل(۹): کارایی شبکه بر حسب زمان، سناریو۲

روش BWMD از بین دو مسیر شماره۱و۲ که کمترین تأخیر را در بین مسیرها دارند، مسیر شماره۲ را انتخاب می‌کند؛ زیرااحتمال اتلاف در این مسیر پایین تر از سایرمسیرهاست. برخلاف روش‌های فوق، روش فازی از بین این سه مسیر، مسیر شماره۳ 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 دیگراست؛ بنابراین مسیری انتخاب می‌شود که میزان ترافیک مسدود شده آن، کمتر از بقیه مسیرهاست. از آنجاییکه درروش فازی اتلاف کمتری در شبکه رخ می‌دهد و کارایی شبکه افزایش می‌یابد، پس استفاده ازروش FMM باعث بالا رفتن گذردهی شبکه نیز می‌شود.

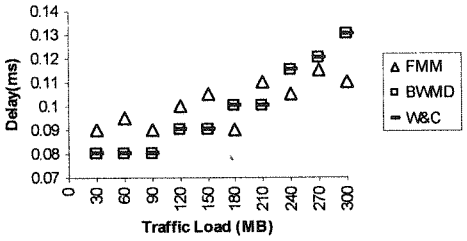


شکل (۱۰): مثالی برای بررسی کارایی تاخیر روش FMM

نمودارهای تأخیر مربوط به آزمایش‌های انجام یافته برای دنباله‌ای از درخواست‌ها درشکل‌های(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):تاخیر مسیردر سناریو۱(تأخیر و اتلاف بالا)



شکل(۱۲):تاخیر مسیردر سناریو۲(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 با همین میزان تأخیر وجود دارد یاخیر، توجهی نمی‌کند. درروش BWMD، ازبین 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 روش های W&C و BWMD پیدا کردن مسیرهایی با حداقل تأخیر است و مسلماً اولین مسیرهایی که پیدا می‌کنند کمترین تأخیرها را دارند.

۶- نتیجه

دراین مقاله با استفاده از کنترل کننده‌های فازی، یک الگوریتم مسیریابی مبتنی برقید برای شبکه‌های MPLS ارائه شد. درروش 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 درشبیه ساز MNS پیاده سازی شد و با روش‌های متداول BWMD و W&C مقایسه 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 ftp://ftp.isi.edu/in - 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.Fisal, "*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 (APCC2003), 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 Berkely.edu/Lawrence Berkeley National Laboratory, Feb. 2000. Available at http://www-mash.cs.berkley.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

۸- زیرنویس ها

[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