

استفاده از یک الگوریتم فازی مبتنی بر قانون

برای بهبود مسیریابی در شبکه‌های MPLS

زهرا عاشوری^{۱*}، جلیل عظیم‌پور^۲ و حسن مزارعی^۳

^۱ فناوری اطلاعات اداره آموزش شهرستان دشتی، ایران

^۲ گروه کامپیوتر، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

^۳ گروه علوم پایه، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

چکیده

امروز استفاده از شبکه‌های بی‌سیم و هوشمند کاربردهای فراوانی در حوزه فناوری اطلاعات و شبکه یافته است. فراهم‌ساختن یک ارتباط واقعی و سریع نیاز اولیه این فناوری‌هاست که سوئیچینگ برچسب‌دار چند پروتکلی (MPLS) این امکان را مهیا می‌سازد. اما در شبکه‌های MPLS مسائل و مشکلاتی در بحث طراحی و اجرا وجود دارد که از آن جمله می‌توان به امنیت، گذردهی، تلفات، انرژی مصرفی و غیره اشاره داشت. یکی از مفاهیم مهم در مهندسی ترافیک MPLS، مسیریابی مسیر سوئیچ برچسب (LSP) است. هدف الگوریتم‌های مسیریابی، افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده با توجه به رضایت از کیفیت خدمات است. در این مقاله، برای مسیریابی مبتنی بر انرژی در شبکه‌های MPLS ارائه شده که مسیریابی را به‌صورت برخط و با افزایش تعداد درخواست‌ها انجام می‌دهد. این الگوریتم پهنای‌بند و تأخیر انتهابه‌انتهای را تضمین می‌کند و عملکرد آن بر مبنای الگوریتم MDMF است. هدف روش پیشنهادی توزیع یک‌نواخت بار در شبکه برای تمام درخواست‌ها و به تعویق انداختن درخواست‌هایی با پهنای‌بند بالا و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتهای کم با استفاده از یک رویکرد فازی مبتنی بر قانون است؛ علاوه‌براین، این روش استفاده از منابع را بهینه می‌کند و تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده را افزایش می‌دهد. روش پیشنهادی در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی شده و نتایج به‌دست‌آمده از آن نشان‌دهنده کاهش انرژی مصرفی و بهبود پارامترهای عملکردی شبکه نسبت به روش‌های مشابه است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های MPLS، مسیریابی مبتنی بر انرژی، الگوریتم فازی مبتنی بر قانون، پهنای‌بند، تأخیر انتهابه‌انتهای

Using a Fuzzy Rule-based Algorithm to Improve Routing in MPLS Networks

Zahra Ashoori^{1*}, Jalil azimpour² & assan Mazarei³

¹Information Technology of Dashti Education Department, Iran

²Department of Computer, Boushehr Branch, Islamic Azad University, Boushehr, Iran

³Department of Basic Sciences, Boushehr Branch, Islamic Azad University, Boushehr, Iran

Abstract

Today, the use of wireless and intelligent networks are widely used in many fields such as information technology and networking. There are several types of these networks that MPLS networks are one of these types. However, in MPLS networks there are issues and problems in the design and implementation discussion, for example security, throughput, losses, power consumption and so on. Basically, the performance parameters of MPLS networks are directly dependent on the type of routing performed between these networks. In this paper, a routing algorithm for energy-based routing in MPLS networks is presented which performs routing online with increasing number of requests. This algorithm guarantees bandwidth and end-to-end delay and its performance is based on the Minimum Delay and Maximum Flow (MDMF) algorithm. The purpose of this algorithm is to uniformly distribute the load across the network for all requests and to delay high-bandwidth requests and maximum end-to-

* Corresponding author

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات



end delay using a fuzzy law-based approach. In addition, the proposed algorithm optimizes the use of resources and increases the number of requests accepted. In the proposed routing algorithm, the weight of each link of the network graph is first calculated based on a multi-objective weighted sum maximization problem. The weight of links must be calculated in such a way as to determine the shortest path weighted by the sum of the minimum weights in the graph. Then, links which their residual bandwidth is less than the requested bandwidth are removed from the grid graph and in the residual subgraph, the shortest weighted path between the input-output nodes is calculated using Dijkstra algorithm and based on the weights of each link. Therefore, this algorithm only requires the remaining capacity information of the links, where assumed this information is always available. The proposed method is implemented in MATLAB software and the results show a decrease in energy consumption and improvement of network performance parameters compared to similar methods.

Keywords: MPLS Networks, Energy-Based Routing, Rule-Based Fuzzy Algorithm, Bandwidth, End-to-End Delay.

۱- مقدمه

امروزه شبکه‌های بی‌سیم هوشمند در کاربردها و انواع مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهم‌ترین مسأله‌ای که در ارتباط با این شبکه‌ها وجود دارد، مسأله کیفیت خدمات است [1-4]. پارامترها و عوامل مختلفی بر روی کیفیت خدمات در شبکه‌ها تأثیر می‌گذارند که ترافیک به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین آنها مطرح است. یک معماری مناسب برای این شبکه‌ها، ساختاری است که بتواند بالاترین میزان کیفیت را برای شبکه به همراه داشته باشد. شبکه‌های بی‌سیم هوشمند که تحت عنوان شبکه‌های رایانه‌ای شناخته می‌شوند در دو تقسیم‌بندی شبکه‌های مبتنی بر IP و شبکه‌های مبتنی بر وب قرار می‌گیرند [5] از جمله ویژگی‌های شبکه‌های مبتنی بر وب به قابلیت‌های مدیریت ترافیک و امتیازات اصلی شبکه‌های مبتنی بر IP، قابلیت گسترش و انعطاف‌پذیری می‌توان اشاره کرد. برای هیچ‌یک از این دو شبکه معرفی شده نمی‌توان برتری خاصی نسبت به دیگری قائل شد [6]. بر این اساس، گروه ویژه مهندسی اینترنت (IETF)، معماری MPLS را به‌عنوان استاندارد دیگری با ادغام دو شبکه بالا ارائه می‌کند [7-9]. MPLS به‌عنوان یک پروتکل مبتنی بر ارسال اتصال‌گرا منطبق با برچسب‌هایی با طول ثابت است. مفهوم این برچسب‌ها با طول ثابت، از تعاریف ارائه‌شده برای شبکه‌های مبتنی بر وب به‌دست می‌آید [10]. اما در کل این تعاریف نمی‌تواند یکسان باشد [11]. امروزه شبکه‌های MPLS در شبکه‌هایی بر اساس ساختار مبتنی بر IP مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر اساس ساختار شبکه‌های مبتنی بر IP، MPLS بین لایه تبادل داده و لایه فیزیکی شبکه قرار دارد. MPLS به‌طوراساسی با استفاده از معماری‌های اتصال‌گرای شبکه‌های مبتنی بر IP و استفاده از قابلیت‌های افزایش بهره‌وری، مسأله ترافیک را در شبکه

کنترل می‌کند [12]. عمل‌گرهای سوئیچینگ مداری یا به‌کارگیری ساختارهای جانبی و کمکی قابلیت‌هایی نظیر امکان تخصیص پهنای باند و مدیریت ترافیک در شبکه را به‌دست می‌آورد. MPLS مزایای عمل‌گرهای سوئیچینگ را با قابلیت بسط و انعطاف‌پذیری در شبکه‌هایی که از ساختار مبتنی بر IP بهره می‌برند، فراهم می‌آورد [13]. از آنجا که مسیر بسته‌ها در شبکه‌های MPLS ثابت است، این مسیرها ممکن است، موضوع مهندسی ترافیک باشند [14]؛ بنابراین الزامات مختلف کیفیت خدمات، نظیر تأخیر، تعداد هاپ و پهنای باند که در برنامه‌های کاربردی جدید مورد استفاده قرار می‌گیرد، ممکن است تضمین شوند. پیشنهاد شده است که یک یازکاربردهای اولیه MPLS، مهندسی ترافیک خواهد بود. یکی از مسائل کلیدی در فراهم‌سازی تضمین QoS، چگونگی تعیین مسیریابی است که رضایت محدود QoS را تعیین می‌کند. راه‌حل این مسأله با عنوان مسیریابی QoS یا مسیریابی مبتنی بر محدودیت شناخته می‌شود؛ بنابراین، طرح‌های مسیریابی که بتوانند از منابع شبکه به‌طور مؤثرتری استفاده و الزامات QoS را تضمین کنند، مورد نیاز است. با گسترش تعداد کاربران اینترنت و نیاز به پهنای باند بیشتر از سوی آنها، تقاضا برای استفاده از خدمات اینترنت با سرعت رو به افزایش است و تهیه‌کننده‌های خدمات اینترنت برای برآورده‌سازی این تقاضاها احتیاج به سوئیچ‌های با ظرفیت بیشتر دارند [14]. در این میان تلاش‌های زیادی نیز برای دستیابی به کیفیت خدمات بهتر در حال انجام است. همین‌طور این افزایش ترافیک، شبکه تمامی کشورها از جمله کشور ما را نیز تحت شعاع قرار داده است. شبکه مبتنی بر فناوری MPLS تمهیداتی را جهت این امر در نظر گرفته است تا بتوان از پهنای باندهای موجود شبکه نهایت استفاده را کرد. هدف ما در

بسیاری از کاربردهای شبکه‌ای مطرح است. این مسأله سبب آن می‌شود که به یک ترکیب بهینه و مؤثر از پهنای باند و تأخیر دست یافت که به واسطه آن هزینه مسیریابی کمینه می‌شود. در [20] یک الگوریتم یادگیر به‌منظور تضمین کیفیت خدمات به‌صورت چندگانه روی شبکه‌های MPLS بهره گرفته شده است. در این مقاله، روشی برای چندپختی و تخصیص کانال با بهره‌گیری از الگوریتم RR پیشنهاد شده است.

در [21] از الگوریتم ترکیبی فازی-CAC به‌منظور مدیریت و کاهش ترافیک در شبکه‌های MPLS استفاده شده است. الگوریتم CAC یک روش معمول برای ایجاد مسیریابی چندپختی است؛ علاوه‌براین، در [22-24] از الگوریتم فازی که استفاده زیادی در مسائل با داده‌های تجمعی دارد، برای کاهش ترافیک در این شبکه‌ها استفاده شده است. در این مقالات مشاهده شده است که استفاده از الگوریتم فازی برای زمان‌بندی ترافیک در شبکه می‌تواند تا حدود زیادی بار شبکه را توزیع کند و به این ترتیب پارامترهای عملکردی شبکه به‌ویژه پارامترهای کیفیت خدمات را بهبود بخشد در [25] الگوریتم کمینه تأخیر بیشینه جریان (MDMF) ارائه شده است. MDMF در ابتدا پیوند با کمترین میزان پهنای باند را حذف می‌کند تا بتواند نیازهای پهنای باند آینده را فراهم کند. هدف کاهش تأخیر با افزایش پهنای باند در هر تکرار است. در فرآیند تکرار، تأخیر یک مسیر محاسبه شده و با تأخیر درخواست‌شده مقایسه می‌شود. اگر تأخیر بیشتر باشد، یک واحد به پیوند با بزرگ‌ترین پهنای باند باقی‌مانده افزایش می‌یابد. الگوریتم مسیریابی کمینه تداخل (MIRA) از اطلاعات جفت ورودی- خروجی در جستجوی مسیر قابل استفاده بهره می‌برد [26]. ایده این است که یک ارتباط جدید روت‌شده باید مسیری را دنبال کند که با هیچ مسیر دیگری که ممکن است برای درخواست‌های آینده بحرانی باشد، تداخل نکند. MIRA فقط برای تنظیم مسیرهای تضمین‌شده پهنای باند تمرکز دارد. مشکل MIRA این است که نمی‌تواند محدودیت‌هایی مانند تأخیر و شمارش‌ها را تضمین کند و همچنین مسیر طولانی‌تری را برای جلوگیری از پیوندهای بحرانی انتخاب می‌کند. الگوریتم MDMF از تنگناهای شبکه با توزیع بار در سراسر شبکه جلوگیری می‌کند [27] MDMF. از پهنای باند باقی‌مانده در پیوندها برای ایجاد تأثیر در وزن آنها استفاده می‌کند. این تغییرات پویا در وزن‌ها باعث انتخاب

این مقاله توسعه یک الگوریتم مسیریابی برخط مبتنی بر انرژی در شبکه‌های MPLS برای افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده است، جایی که پهنای باند و تأخیر انتهابه‌انتها تضمین شود.

در ادامه این مقاله، دربخش دوم به بررسی برخی از جدیدترین کارهای انجام‌شده در زمینه مسیریابی در شبکه‌های مبتنی بر MPLS می‌پردازیم. روش پیشنهادی دربخش سوم مطرح شده و نتایج حاصل از آن دربخش چهارم ارائه می‌شود. درنهایت دربخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها مطرح می‌شود.

۲- پیشنهاد پژوهش

یکی از مهم‌ترین و ساده‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی استفاده‌شده برای LSPها، الگوریتم مسیریابی کمینه هاپ (MHA) است [15] در MHA، مسیر با کمینه تعداد پیوند بین ورودی و خروجی روتر انتخاب می‌شود. الگوریتم وسیع‌ترین کوتاه‌ترین مسیر (WSP) از کوتاه‌ترین مسیر ممکن که دارای بیشترین ظرفیت پهنای باند باقی‌مانده است، استفاده می‌کند [16].

الگوریتم مسیریابی، چند محدودیت خودتطبیقی (SAMCRA) با هدف حل مسأله مسیریابی چند محدودیت در پیچیدگی زمانی معقول در [17] ارائه شد. نقطه‌ضعف اصلی SAMCRA این است که تنها با محدودیت‌های ثابت که به دور از دنیای واقعی هستند، کار می‌کند. الگوریتم BGDG یک الگوریتم مسیریابی تأخیر تضمین‌شده و پهنای باند تضمین‌شده است که درنظر دارد تأخیر پیوندها را ثابت نگه دارد [18]. این الگوریتم با استفاده از الگوریتم تضمین پهنای باند برای مهندسی ترافیک (BGLC)، مسیری را پیدا می‌کند که کمینه پهنای باند مورد نیاز را برآورده کند و سپس آن را برای برآورد تأخیر مورد نیاز بررسی می‌کند. الگوریتم EIGRP یک پروتکل مسیریابی برای کنفرانس ویدئویی روی شبکه MPLS VPN است که در آن عملکرد ترافیک ویدئویی بین دو پروتکل مسیریابی پیشرفته «گیت‌وی داخلی (EIGRP)» و «تخستین مسیر کوتاه باز (OSPF)» بررسی می‌شود [1].

در [19] از ترکیب الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات برای بهبود کیفیت مسیریابی در شبکه‌های MPLS استفاده شده است. در این روش عنوان شده است که کیفیت سرویس در مسیریابی چندانتشاری به‌صورت یک مسأله بهینه‌سازی ترکیبی و غیرخطی وجود دارد که در

کوتاه‌ترین مسیر می‌شود. الگوریتم پیشنهادی این پژوهش نیز از این خصوصیت استفاده می‌کند.

در [28] رویکرد SDN ترکیبی هوشمند برای مدیریت MPLS VPN در محیط دیجیتال پیشنهاد شد. این رویکرد در شبکه‌ای متشکل از روترهای مختلف سیسکو، HP و Juniper آزمایش شده است. در اینجا یک ابزار گرافیکی WEB برای انتخاب نوع معماری MPLS VPN جهت استقرار توسعه یافته است.

در [۲۹] مسأله بهبود استفاده از منابع در شبکه‌های نرم‌افزارمحور (SDN) بر مبنای ورودی‌های جدول جریان در MPLS که از انتقال Multath پشتیبانی می‌کنند، بررسی شده است. در این روش ابتدا پهنای باند در پیوندها هنگام ظهور ازدحام ذخیره شده و سپس برای اطمینان از پردازش سریع و انعطاف‌پذیری، منابع توسط ورودی‌های سوئیچ SDN کمینه می‌شوند.

۳- روش پیشنهادی

در این مقاله، ما مسأله راه‌اندازی پهنای باند و تأخیر انتهابه‌انتهای تضمین‌شده تونل‌ها (مسیر) در شبکه MPLS را در نظر می‌گیریم که در آن درخواست‌های راه‌اندازی تونل یک‌به‌یک وارد می‌شوند و درخواست‌های آینده نامعلوم هستند. تنها اطلاعات پویای موجود در الگوریتم مسیریابی، ظرفیت باقی‌مانده پیوندهای ارائه شده است. الگوریتم مسیریابی پیشنهادی بر مبنای شبکه‌های MPLS ارائه شده و مسیریابی را به‌صورت برخط و با افزایش تعداد درخواست‌ها انجام می‌دهد. هدف این الگوریتم توزیع یک‌نواخت بار در شبکه برای تمام درخواست‌ها و به‌تعویق‌انداختن درخواست‌هایی با پهنای باند بالا و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتهای کم با یک رویکرد فازی مبتنی بر قانون است.

LSP یک مسیر خاص از یک مبدأ (ورودی) به یک مقصد (خروجی) در MPLS است. تمام بسته‌هایی که در یک LSP قرار می‌گیرند، مسیر مشابهی را از طریق شبکه دنبال می‌کنند که این امر در نهایت باعث ایجاد ترافیک و کاهش پهنای باند می‌شود. در اینجا شبکه MPLS به‌عنوان یک گراف بدون جهت $G(N, LS, C, PD, P)$ مدل‌سازی شده، جایی که N مجموعه‌ای از گره‌ها (روترها) و LS مجموعه‌ای از ارتباط بین گره‌ها در N است، C مجموعه‌ای از پهنای باند پیوندها است. به‌عبارتی $c_{ij} \in C$ است جایی که $(i, j) \in LS$ است. PD مجموعه‌ای از تأخیر

انتشار پیوندها $(i, j) \in LS$ و P مجموعه‌ای از جفت‌های ورودی-خروجی بالقوه است؛ علاوه‌براین (s, d) یک عنصر از P است. درخواست راه‌اندازی برای مسیر i به‌صورت (s_i, d_i, T_i, R_i) تعریف می‌شود، جایی که s_i روتر ورودی، d_i روتر خروجی، T_i مشخصات ترافیک شامل (M, r, t, b) است، جایی که r نرخ درخواست، t نرخ بیشینه، b نرخ هجوم، M بیشینه طول بسته است. R_i نیز مشخصات QoS نظیر بیشینه تأخیر انتهابه‌انتهای و کمینه پهنای باند مورد نیاز است و به‌صورت (D, BW) نشان داده می‌شود. در اینجا فرض می‌شود که یک درخواست راه‌اندازی مسیر در هر زمان وارد شده و هیچ دانش قبلی از درخواست‌های آینده وجود ندارد. هدف، بهینه‌سازی تعیین مسیر مناسب برای هر درخواست است تا تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده در شبکه بیشینه شوند.

۳-۱- تداخل

ایده اصلی الگوریتم پیشنهادی در انتخاب مسیر برای یک جفت ورودی (s, d) ، اجتناب از انتخاب مسیرها با بیشترین تداخل با دیگر جفت‌های ورودی-خروجی است. زمانی که یک مسیر کمینه تأخیر را بین سایر جفت‌های مبدأ و مقصد به بیشینه برساند، کمینه تداخل برای یک LSP بین روترهای s و d وجود دارد. برای این کار باید مفاهیم بیشینه جریان $(\theta(s, d))$ و کمینه تأخیر $(d(s, d))$ بین یک جفت گره ورودی خروجی (s, d) بررسی شود.

۳-۲- نرخ تأخیر سرور

در یک شبکه MPLS، حداکثر تأخیر انتهابه‌انتهای برای یک مسیر P برابر با D_m است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$D_m = \frac{t-R}{t-r} \cdot \frac{b}{r} + \sum_{(i,j) \in P} \left(\frac{M}{R} + \frac{M_{ij}^m}{C_{ij}} + prop_{ij} \right) \quad (1)$$

در این رابطه r نرخ درخواست، t نرخ بیشینه، b نرخ هجوم، M بیشینه طول بسته، M_{ij}^m بیشینه طول بسته متعلق به مسیر با برچسب عبوری از پیوند i و j ، C_{ij} پهنای باند پیوندها، $prop_{ij}$ تأخیر انتشار برای پیوند (i, j) و R کمینه پهنای باند اختصاص داده شده به LSP در مسیر است.

۳-۳- بیشینه جریان

بیشینه جریان یا max flow، به مفهوم بزرگ‌ترین تقاضای پهنای باند بین زوج‌های ورودی-خروجی است که می‌تواند با تقسیم جریان به درخواست پهنای باند آن

توسط مدیر شبکه تعیین می شود. μ_{flow} و v_{delay} نیز توسط مدیر شبکه برای اولویت‌بندی جریان روی تأخیر و یا بالعکس تنظیم می‌شود. تعداد پیوندهای بحرانی برای زوج (s, d) با دو پارامتر CM_{sd} و CD_{sd} نشان داده می‌شود.

پارامتر CM_{sd} برای بررسی پیوندهای بحرانی به‌دلیل پهنای‌بند است. اگر زوج (s, d) متعلق به مجموعه پیوندهای برش کمینه‌ای باشد، بحرانی و جزء مجموعه CM_{sd} است. در اینجا باید مجموعه پیوندهای بحرانی برای تمام LSPها مشخص شود. ترم $\sum_{l_{ij} \in CM_{sd}: (s,d) \in P} \gamma_{sd}$ را می‌توان به‌صورت تعداد پیوندهای بحرانی متعلق به CM_{sd} ضربدر γ_{sd} محاسبه کرد.

پارامتر CD_{sd} مجموعه تأخیر پیوندهای بحرانی را نشان می‌دهد. تأخیر انتهابه‌انتهای در یک مسیر به هر دو پارامتر ایستا (تأخیر انتشار و پهنای باند کل پیوندها) و پویا (پهنای باند اختصاص داده‌شده به مسیر) نیاز دارد؛ بنابراین، پیدا کردن تأخیر پیوندهای بحرانی تنها مبتنی بر بیشینه جریان نیستند. برای پیدا کردن تأخیر پیوندهای بحرانی در هر زوج ورودی-خروجی ابتدا وزن پیوند بین دو گره (i, j) را با رابطه (۴) محاسبه می‌کنیم:

$$D_{wij} = \frac{M}{R} + \frac{M_{ij}^m}{C_{ij}} + prop_{ij} \quad (4)$$

در ادامه با استفاده از یک الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر، مانند دیکسترا، کوتاه‌ترین مسیر وزن‌دار بین هر زوج ورودی-خروجی محاسبه می‌شود. در هر مسیر، پیوند با کمینه پهنای‌بند رزرو نشده بحرانی است. پس از حذف پیوند بحرانی، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای پیدا کردن مسیر کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای و پیوند بحرانی بعدی بین همان زوج ورودی-خروجی تکرار می‌شود. این روند ادامه می‌یابد تا زمانی که هیچ مسیری بین این زوج ورودی-خروجی باقی نماند. ترم $\sum_{l_{ij} \in CD_{sd}: (s,d) \in P} \lambda_{sd}$ را می‌توان به‌صورت تعداد پیوندهای بحرانی متعلق به CD_{sd} ضربدر λ_{sd} محاسبه کرد.

۳-۶- به تعویق انداختن درخواست‌ها با استفاده از یک رویکرد فازی مبتنی بر

قانون

به‌منظور عملکرد بهتر مسیریابی در شبکه MPLS بهتر است درخواست‌هایی با منابع مورد تقاضای کمتر در ابتدا مسیریابی شوند. یعنی درخواست‌هایی که بیشینه تأخیر

گراف پذیرفته شود. برای کاهش تداخل زوج ورودی-خروجی از نظر بیشینه جریان با سایر گره‌های LSP، باید درخواست‌ها به‌نحوی مسیردهی شوند که کمینه «max flow» بین دیگر جفت‌های ورودی-خروجی بیشینه شود. برای این کار، باید کمینه «max flow» را در قالب یک مسئله Max-Min-Max به بیشینه برسانیم؛ بنابراین، برای افزایش عملکرد شبکه، می‌توان مسیر درخواست‌های جدید را با رابطه (۲) محاسبه کرد؛ بنابراین، برای افزایش عملکرد شبکه، می‌توان مسیر درخواست‌های جدید را به‌طوری که مجموع بیشینه جریان وزن‌دار بین تمام جفت‌های ورودی-خروجی بیشینه شود با تابع هدف رابطه (۲) محاسبه کنیم:

$$\max_{\forall \text{ paths}} \sum_{(s,d) \in P} \gamma_{sd} \theta(s, d) \quad (2)$$

در این رابطه γ_{sd} وزن جفت ورودی-خروجی (s, d) است که توسط مدیر شبکه تعیین می‌شود.

۳-۴- کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای

کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای از یک زوج ورودی-خروجی، کمینه تأخیری است که یک جریان داده بین گره ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای یک زوج از گره‌های ورودی-خروجی حد پایین مجموع تأخیر پیوندها در مسیرهای بین گره‌ها است. برای کاهش تداخل، از نظر کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای، با دیگر جفت‌های ورودی-خروجی، باید درخواست‌های جدید به‌نحوی مسیریابی شوند که مسیرهای جدید کمینه تأثیر را بر مسیرهای دیگر داشته باشند.

۳-۵- بیشینه جریان و کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای

برای بهینه‌سازی تخصیص مسیر از نظر بیشینه جریان و کمینه تأخیر انتهابه‌انتهای، باید این دو پارامتر را به‌طور هم‌زمان در یک مسئله چندهدفه بهینه‌سازی کرد. از این‌رو، یک وزن ابتکاری برای هر پیوند اختصاص داده و سپس کوتاه‌ترین مسیر بین یک جفت ورودی-خروجی با استفاده از الگوریتم دیکسترا جستجو می‌شود. وزن w_{ij} پیوند بین دو گره i و j است و با رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$w_{ij} = \frac{1 + \mu_{flow} \sum_{l_{ij} \in CM_{sd}: (s,d) \in P} \gamma_{sd} + v_{delay} \sum_{l_{ij} \in CD_{sd}: (s,d) \in P} \lambda_{sd}}{\quad} \quad (3)$$

در این رابطه، r_{ij} پهنای باند باقی‌مانده از پیوند l_{ij} است. γ_{sd} و λ_{sd} وزن جفت ورودی-خروجی (s, d) به‌ازای پیوند بحرانی به‌ترتیب به‌دلیل پهنای باند و تأخیر است که

$A_k = (A_1, A_2, \dots, A_5)$ با بخش مقدمه قانون با استفاده از عملگر ضرب (روش ممدانی) محاسبه می‌شود؛ در نهایت درجه اطمینان نهایی قانون به صورت $\mu_k(X) \times CF_k$ است.

در ادامه فرایند تعیین وزن بهینه برای قانون R_k بیان و برای سایر قوانین این فرایند تکرار می‌شود. در ابتدا ما وزن قوانین را برابر ۱ فرض می‌کنیم؛ بنابراین $CF_k = 1$ است. با این فرض، وزن بهینه طی یک فرایند هفت مرحله‌ای مطابق شکل (۲) محاسبه می‌شود.

۳-۷- الگوریتم مسیریابی پیشنهادی

در روش پیشنهادی ابتدا وزن هر پیوند از گراف شبکه محاسبه می‌شود. وزن پیوندها باید به نحوی محاسبه شوند که انتخاب کوتاه‌ترین مسیر وزن دار با مجموع کمینه وزن در گراف تعیین شود. در مرحله بعد، پیوندهایی که پهنای باند باقی‌مانده (R) آنها کمتر از پهنای باند درخواستی است، از گراف شبکه حذف شده و در زیرگراف باقی‌مانده، کوتاه‌ترین مسیر وزن دار بین گره‌های ورودی- خروجی با استفاده از الگوریتم دیکسترا و بر مبنای وزن‌های هر پیوند محاسبه می‌شوند.

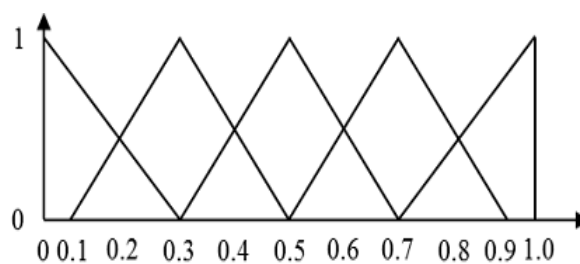
در صورتی که وزن محاسبه شده کوتاه‌ترین مسیر بیشتر از میزان تأخیر درخواستی باشد، یک واحد به پهنای باند اختصاص داده شده به پیوندی در مسیر با بیشترین پهنای باند باقی‌مانده، اضافه می‌شود؛ سپس، این مراحل تا رسیدن به تأخیر درخواستی تکرار و یا با پیداشدن تأخیر درخواستی در مسیر اعمال می‌شود. در مرحله بعد پیوند با کمترین پهنای باند حذف شده و با این شرایط یک کوتاه‌ترین مسیر جدید جستجو می‌شود. این مراحل تا زمانی که یک مسیر امکان‌پذیر یافت و یا درخواست ریجکت شود، ادامه می‌یابد. در صورت یافتن مسیر مورد نظر، منابع درخواستی (پهنای باند و تأخیر انتهابه‌انتهای) تخصیص داده شده و وضعیت هر پیوند به روزرسانی می‌شود. در این روش به منظور بهبود الگوریتم بالا و افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته شده، درخواست‌هایی با منابع زیاد (پهنای باند بالا و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتهای کم) را به تعویق می‌اندازیم. این چرخه بر مبنای تشخیص این نوع درخواست‌ها با یک الگوریتم فازی مبتنی بر قوانین وزن دار و همچنین یک رویکرد شانس مجدد است که به درخواست‌های به تعویق افتاده اعمال می‌شود.

انتهاابه‌انتهای بالا و پهنای باند کمتری دارند را در اولویت مسیریابی قرار دهیم. این کار باعث می‌شود که درخواست‌هایی با منابع بالا برای مسیریابی به تعویق بیافتند و یا حتی ریجکت شوند. در این مقاله از یک فیلتر مبتنی بر قوانین فازی جهت به تعویق انداختن درخواست‌هایی با منابع بالا استفاده می‌شود. دلیل استفاده از رویکرد فازی، عدم قطعیت در پارامترهای پهنای باند و تأخیر انتهابه‌انتهای است. برای بهبود سامانه فیلترینگ فازی از یک الگوریتم یادگیری قوانین وزنی استفاده می‌شود. در اینجا از فرم قوانین فازی به صورت رابطه (۵) استفاده شده است:

$$R_k: \text{if } x_1 \text{ is } A_{k1} \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{kn} \text{ then Class } T \text{ with } CF_k, \quad (5) \\ k = 1, 2, \dots, N$$

در اینجا یک پایگاه قوانین شامل N قانون فازی با وزن CF_k (وزن قانون k -ام) ایجاد می‌شود. خروجی سامانه فازی دارای دو حالت فیلتر شود (C_1) و فیلتر نشود (C_2) است؛ بنابراین $T \in \{C_1, C_2\}$ است. x_i و A_{ki} به ترتیب به پارامتر ورودی i -ام و مقدار درجه عضویت فازی منتسب به آن اشاره دارد.

پارامترهای ورودی جهت تشخیص درخواست‌هایی با منابع بالا، پهنای باند (bw_i) و تأخیر انتهابه‌انتهای (d_i) هستند؛ این دو پارامتر دارای مقادیر عدم قطعیت هستند بنابراین در اینجا آنها را به صورت مقادیر فازی بیان می‌کنیم. فرایند تصمیم مقدار پارامترهای bw_i و d_i به فازی به صورت یک تابع عضویت فازی مثلثی پنج‌حالتی مطابق شکل (۱) توصیف می‌شود.



(شکل-۱): تابع عضویت مثلثی با پنج حالت
(Figure-1): Five-state triangular membership function

تشخیص به تعویق انداختن یک درخواست براساس پایگاه قوانین فازی مشخص می‌شود. قوانین فازی به صورت برون خط توسط یک روش یادگیری قوانین وزن دار ایجاد شده و به صورت برخط برای مدیریت درخواست‌ها در شبکه MPLS استفاده می‌شود. با توجه به کم بودن تعداد پارامترهای ورودی، همه ترکیبات مختلف از قوانین ایجاد می‌شوند. درجه سازگاری ($\mu_k(X)$) هر درخواست ورودی

- ۱- تمام درخواست‌ها را در متغیر S قرار بده.
- ۲- مسیریابی شبکه با این قوانین انجام شود و تعداد کل درخواست‌های پذیرفته شده محاسبه شود.
- ۳- درخواست‌هایی از مجموعه S که توسط قانون R_k پوشش داده نمی‌شوند را حذف کن (درخواست‌هایی که $X \in S \quad \forall \mu_k(X) = 0$ ، چون وزن این قانون تأثیری در تعداد کل درخواست‌های پذیرفته شده ندارد.
- ۴- وزن قانون مورد بررسی (R_k) را برابر صفر قرار بده. بنابراین $CF_k = 0$ باعث می‌شود که این قانون در فیلترکردن درخواست‌ها نقشی نداشته باشد. سپس دوباره مسیریابی شبکه را با این شرایط انجام داده و تعداد کل درخواست‌های پذیرفته شده را محاسبه می‌کنیم.
- ۵- اگر تعداد درخواست‌های مجموعه S صفر شده باشد، بدین معنی است که قانون R_k تأثیری در افزایش تعداد کل درخواست‌های پذیرفته شده ندارد و می‌توان آن را از پایگاه قوانین حذف کرد. کاهش تعداد قوانین باعث افزایش سرعت الگوریتم در مسیریابی برخط شده و در نهایت پایگاه قوانین نهایی نسبت به پایگاه قوانین اولیه کوچکتر است.
- ۶- اگر مجموعه S خالی نباشد، به هر درخواست موجود در این مجموعه یک امتیاز می‌دهیم. $Score(X_t)$ امتیاز تخصیص یافته به t -مین درخواست از مجموعه S است.

$$Score(X_t) = \frac{CF_q \cdot \mu_q(X_t)}{\mu_k(X_t)}$$

- در این رابطه $\mu_k(X_t)$ درجه سازگاری درخواست X_t با قانون R_k است. CF_q و $\mu_q(X_t)$ به ترتیب وزن و درجه سازگاری قانون R_q است. R_q قانونی با بالاترین درجه اطمینان ($CF_q \times \mu_q(X_t)$) بین تمام قوانین با برچسب مخالف قانون R_k است.
- ۷- درخواست‌های مجموعه S بر مبنای امتیازشان به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. و سپس وزن بهینه با استفاده از یک فرایند تکراری تعیین می‌شود. در اینجا به ازای هر جفت درخواست X_a و X_b که در مجموعه S مرتب شده پشت سر هم قرار دارند، یک وزن محاسبه می‌شود.

$$W_c = \frac{Score(X_a) + Score(X_b)}{2}$$

- در این رابطه W_c وزن بین دو درخواست X_a و X_b است. بنابراین در اینجا چندین وزن W_c محاسبه می‌شود. در ادامه تمام وزن‌های W_c را به عنوان وزن قانون R_k قرار می‌دهیم ($CF_k = W_c$) و تعداد کل درخواست‌های پذیرفته شده را محاسبه می‌کنیم. در صورتیکه این تعداد نسبت به حالت اولیه افزایش داشته باشد، این وزن به عنوان وزن قانون در نظر گرفته می‌شود. این فرایند به صورت تکراری انجام می‌شود تا بهترین وزن قانون مشخص شود.

(شکل-۲): الگوریتم یادگیری قوانین وزن دار
(Figure-2): Weighted rules learning algorithm

است. شبیه‌سازی با یک PC با پیکربندی پردازنده اینتل core i5 با فرکانس ۳/۲ GHz، حافظه ۸ GB و سیستم عامل ویندوز ۱۰ انجام شده است و در تمام آزمایش‌ها به منظور حصول اطمینان از نتایج، میانگین پانزده بار اجرای متمایز الگوریتم‌ها گزارش می‌شود.

مقداردهی پارامترهای استفاده در شبیه‌سازی برای الگوریتم پیشنهادی به این صورت است: تعداد کل درخواست‌ها (MR): 3000، بیشینه طول بسته ($T.M$): ۲ کیلوبایت، نرخ درخواست ($T.r$): 1، نرخ بیشینه ($T.t$): ۵، نرخ هجوم ($T.b$): 100، ضریب اولویت جریان (μ_{flow}): ۰/۵، ضریب اولویت تأخیر (μ_{delay}): ۰/۵ و وزن زوج ورودی-خروجی (γ_{sd}): 1.

در این مقاله از معیارهای «تعداد درخواست‌های پذیرفته شده»، «میانگین طول مسیر» و «انرژی مصرفی» برای ارزیابی روش‌های مسیریابی استفاده شده است. همچنین به منظور بررسی تأثیر شرایط مختلف درخواست‌ها بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی، در اینجا چهار

با توجه به تخصیص کوتاه‌ترین مسیرها برای درخواست‌های ورودی و همچنین استفاده کارآمدتر از منابع شبکه (از طریق به تعویق انداختن درخواست‌هایی با منابع بیشتر)، ترافیک کلی شبکه کاهش می‌یابد و این امر در نهایت باعث کاهش مصرف انرژی شبکه خواهد شد؛ بنابراین با مسیریابی سریع به صورت برخط و تخصیص منابع با توجه به توالی درخواست‌ها می‌توان مصرف انرژی را در شبکه‌های MPLS مدیریت کرد.

۴- نتایج آزمایش‌ها

در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی به منظور بهبود مسیریابی در شبکه‌های MPLS با استفاده از توپولوژی شبکه استاندارد MIRA مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی با نرم‌افزار MATLAB نسخه 2016a شده و برای کار مقایسه از الگوریتم‌های الگوریتم‌ها WSP، SAMCRA، BGDG، MDMF و EIGRP استفاده شده

سناریوی مختلف از پهنای باند و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتها در نظر گرفته می‌شود. این سناریوها مطابق جدول (۱) هستند. هر سناریو دارای مقدار مختلفی برای پهنای باند و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتها است.

(جدول ۱-): سناریوهای تعریف‌شده برای درخواست‌ها

(Table-1): Scenarios defined for requests

سناریوها	پهنای باند	حداکثر تأخیر انتهابه‌انتها
سناریو ۱	{1,2,3,4}	{95,96,97,98,99,100}
سناریو ۲	{1,2,3,4}	{60,61,62,63,64,65}
سناریو ۳	{1,2,7.5,9.5}	{95,96,97,98,99,100}
سناریو ۴	{1,2,7.5,9.5}	{60,61,62,63,64,65}

۴-۱- توپولوژی شبکه MIRA

در این مقاله فرض می‌شود تمام مبداها و مقصدها در درخواست‌ها ارسال شده با توجه به LSPها در توپولوژی MIRA هستند و هیچ یک از درخواست‌ها بعد از مسیریابی فسخ نخواهند شد. توپولوژی MIRA توسط کودیلام و لاکشمان (2000) ارائه شده و متشکل از پانزده گره و 28 پیوند است [16].

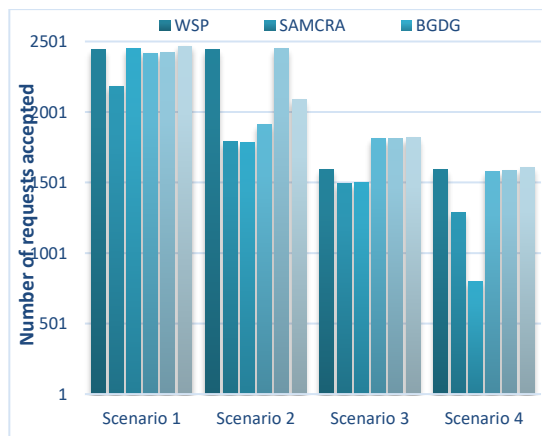
توپولوژی MIRA دارای دو نوع ارتباط نازک و ضخیم با ظرفیت‌های 12 و 48 واحد است. فهرست گره‌های ورودی-خروجی (LSP) به صورت $(4 \rightarrow 5)$, $(5 \rightarrow 13)$, $(5 \rightarrow 9)$, (2) تعریف شده است. به‌منظور بررسی روش خود روی یک شبکه با پهنای باند بیشتر، تمام ظرفیت‌های پیوندهای شبکه در صد ضرب می‌شود.

۴-۲- نتایج و بحث

در این بخش به‌منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی، در برابر الگوریتم‌های WSP، SAMCRA، BGDG، MDMF و EIGRP آزمایش‌های گسترده‌ای ارائه شده است. روش پیشنهادی با عنوان الگوریتم پهنای باند و تأخیر فازی (FBDRA) در آزمایش‌ها به‌کار رفته است. در آزمایش نخست معیار تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده برای الگوریتم مسیریابی پیشنهادی و همچنین سایر روش‌های مورد مقایسه در شکل (۳) نشان داده شده است.

در سناریوی یک که پهنای باند و تأخیر انتهابه‌انتها در محدوده مناسبی است، به‌طور تقریبی عملکرد الگوریتم‌ها مشابه است هرچند روش پیشنهادی با ۲۴۶۹ درخواست پذیرفته‌شده نسبت به سایر روش‌ها عملکرد

بهتری دارد. در سناریوی دو تأخیر انتهابه‌انتها درخواست‌ها کاهش یافته و این مورد باعث کاهش عملکرد الگوریتم‌هایی نظیر SAMCRA، MDMF، BGDG و همچنین روش پیشنهادی شده است. دلیل این امر عدم توانایی الگوریتم‌ها در فراهم کردن تأخیر درخواست شده با استفاده از مسیرهای باقی‌مانده در شبکه است.



(شکل ۳-): مقایسه براساس معیار تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده

(Figure-3): Comparison based on the number of requests received

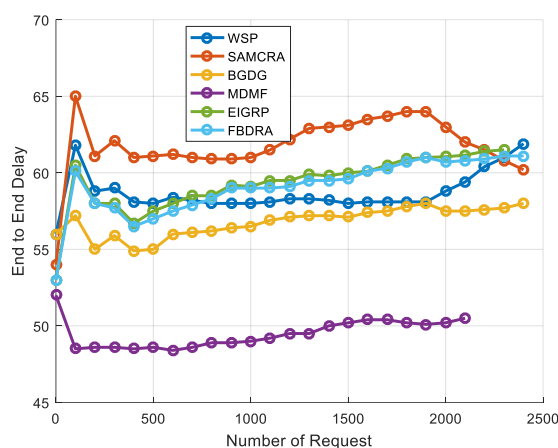
در سناریوی سه پهنای باند مربوط به درخواست‌ها افزایش یافته و به همین دلیل است که همه الگوریتم‌ها تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده کمتری نسبت به سناریوی یک دارند. در این آزمایش الگوریتم پیشنهادی با ۱۸۲۰ درخواست پذیرفته‌شده نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارد. در اینجا روش‌های MDMF و EIGRP نیز با اختلاف اندکی از روش پیشنهادی در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. در سناریوی چهار، پهنای باند درخواست‌ها افزایش یافته و تأخیر انتهابه‌انتها آنها کاهش داشته است. در این شرایط نیز روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه عملکرد بهتری را با تعداد ۱۶۰۶ درخواست پذیرفته‌شده نشان می‌دهد.

در آزمایش دیگری معیار میانگین طول مسیر در روش‌های مختلف بررسی شده است. هر چه مقدار این معیار برای درخواست‌ها کمتر باشد، پیوندهای کمتری در شبکه استفاده می‌شوند. شکل (۴) نتایج این آزمایش را میانگین چهار سناریوی تعریف‌شده نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج حاصل‌شده، الگوریتم‌های SAMCRA و WSP نسبت به سایر روش‌ها طول مسیر کمتری را به درخواست‌ها تخصیص می‌دهند و در این معیار عملکرد بهتری دارند؛ اما در این روش‌ها هدف،

نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های SAMCRA و WSP به دلیل عدم تضمین تأخیر انتهابه‌انتها و ایجاد مسیرهای کوتاه‌تر، انرژی کمتری مصرف می‌کنند هر چند روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌هایی نظیر MDMF عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. به طور متوسط روش پیشنهادی برای هر مسیر میزان انرژی معادل 7.7×10^{-8} ژول مصرف می‌کند که به نسبت سایر روش‌های مشابه مصرف انرژی کمتری دارد.

متوسط تأخیر انتهابه‌انتها روی مسیرها در شکل (۶) پس از پایان دوره‌های مسیریابی نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که SAMCRA دارای کمترین تأخیر انتهابه‌انتها است؛ اما تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده خیلی کمی دارد و به پیوندهای بحرانی برای درخواست‌های آینده اهمیت نمی‌دهد.



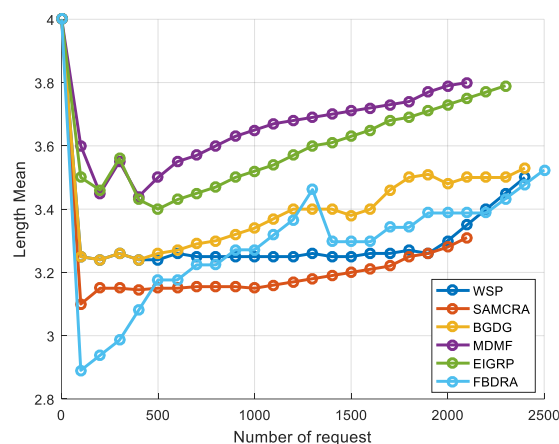
(شکل-۶): مقایسه براساس معیار تأخیر انتهابه‌انتها
(Figure-6): Comparison based on end to end delay criteria

در تعداد درخواست‌های پایین، الگوریتم‌های WSP و BGDG کمینه تأخیر انتهابه‌انتها را فراهم می‌کنند. این وضعیت به دلیل استفاده از کوتاه‌ترین مسیر جهت مسیریابی است. عملکرد الگوریتم‌های MDMF و FBDRA به طور تقریبی مشابه است. الگوریتم FBDRA تعداد درخواست‌های بالا عملکرد مناسبی دارد، چون وزن پیوندها در روش پیشنهادی رابطه مستقیم با کمینه تأخیر انتهابه‌انتها دارد؛ بنابراین FBDRA تأخیر انتهابه‌انتها را برای درخواست‌های آینده حفظ می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری

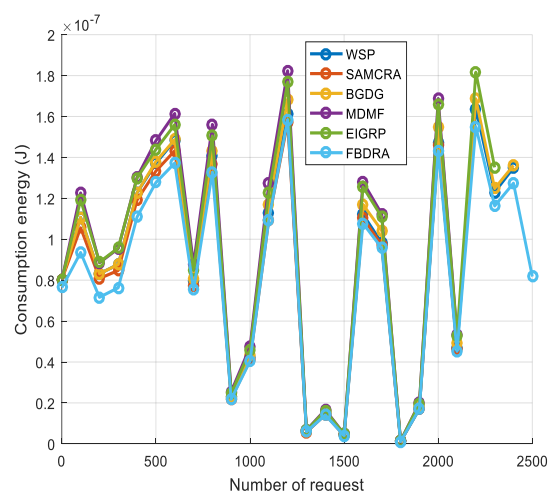
در این مقاله، یک الگوریتم پهنای باند و تأخیر فازی برای مسیریابی در شبکه‌های MPLS ارائه شده است. هدف ارائه روشی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در شبکه‌های

جستجوی کوتاه‌ترین مسیر تنها بر مبنای پهنای باند است که در نهایت منجر به ازدحام و ترافیک در شبکه می‌شود. الگوریتم‌های MDMF و روش پیشنهادی مسیرهای طولانی‌تری به درخواست‌ها تخصیص می‌دهند که دلیل این امر ارضای شرایط تأخیر انتهابه‌انتها و پهنای باند درخواست‌ها است.



(شکل-۴): مقایسه براساس میانگین طول مسیرها
(Figure-4): Comparison based on the mean route length

در آخرین آزمایش میزان مصرف انرژی برای هر یک از روش‌ها بررسی شده است. این معیار بیشتر وابسته به طول مسیرهای تخصیص داده شده است. هر چه طول مسیر برای یک روش کوتاه‌تر باشد، انرژی مصرف‌شده نیز کمتر است. انرژی مصرفی برای هر مسیر به صورت جمع انرژی مصرف‌شده برای هر جفت پیوند متوالی محاسبه می‌شود. شکل (۵) نتایج این مقایسه را برای میانگین چهار سناریوی مختلف و بر مبنای میزان انرژی مصرف‌شده در هر درخواست نشان می‌دهد.



(شکل-۵): مقایسه براساس معیار انرژی مصرفی
(Figure-5): Comparison based on energy consumption criteria

- ITU-T and IETF,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52(12), pp.16-21, 2011.
- [10] S. Havrlišan, “Traffic engineering using mpls (Doctoral dissertation, Informatički odjel, Tehničkoveleučilište u Zagrebu)”, 2014.
- [11] R. S. Naoum, M. Maswady, “Performance Evaluation for VOIP over IP and MPLS,” *World of Computer Science and Information Technology Journal (WCSIT)*, vol. 2(3), pp. 110-114, 2012.
- [12] R. Yunos, S. A. Ahmad, N. M. Noor, R. M. Saidi, Z. Zainol, “Analysis of routing protocols of VoIP VPN over MPLS network”, In *Systems, Process & Control (ICSPC)*, 2013 IEEE Conference on ,pp. 139-143. IEEE.
- [13] E. Kim, W. Chun, Y. Jang, & S. Rha, “Traffic measurements supporting end-to-end qos requirements in mpls networks”, In *Advanced Communication Technology, The 6th International Conference on*, Vol. 2, 2004, pp. 862-867. IEEE.
- [14] D. Di Sorte, M. Femminella, G. Reali, “QoS-enabled multicast for delivering live events in a Digital Cinema scenario”, *Journal of network and computer applications*, vol. 32(1), pp. 314-344, 2009.
- [15] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, & G. Swallow, 2001, RSVP-TE: extensions to RSVP for LSP tunnels (No. RFC 3209).
- [16] M. Kodialam, T. V. Lakshman, “Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering”, In *INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, Vol. 2, 2000, pp. 884-893.
- [17] P. Van Mieghem, & F. A. Kuipers, “Concepts of exact QoS routing algorithms”, *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, vol.12(5), pp. 851-864, 2004.
- [18] S. Kulkarni, R. Sharma, & I. Mishra, “New QoS routing algorithm for MPLS networks using delay and bandwidth constraints”, *Int. J. Inf*, vol.2, pp. 285-293, 2012.
- [19] R. F. Abdel-Kader, “An improved discrete PSO with GA operators for efficient QoS-multicast routing”, *International Journal of Hybrid Information Technology*, vol. 4(2), pp.23-38, 2011.
- [20] L. Fang, N. Bitá, J. L. Le Roux, and J. Miles, “Interprovider IP-MPLS services: requirements, implementations, and challenges”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 43(6), pp.119-128, 2005.
- [21] J. Jeřinskis, A. Skrastiņš, G. Lauks, “Fuzzy-CAC driven MPLS-TE realization,” In 2011

MPLS است که در آنها منابع به اندازه کافی تأمین می‌شود. روش پیشنهادی با افزایش پهنای باند پیوندها سعی در کنترل تأخیر انتهابه‌انتهای در مسیرهای درخواستی را دارد تا از این طریق بتواند کوتاه‌ترین مسیرها به درخواست‌ها تخصیص داده شود. همچنین به‌منظور افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده، روش پیشنهادی تلاش دارد، ابتدا مسیریابی و تخصیص پهنای باند را برای درخواست‌هایی با منابع مورد نیاز کمتر انجام دهد. این کار با به تعویق انداختن درخواست‌هایی با پهنای باند بالا و همچنین بیشینه تأخیر انتهابه‌انتهای کم انجام می‌شود. برای تشخیص این‌که کدام درخواست به تعویق بیافتد از یک سامانه فازی مبتنی بر قوانین وزندار فازی بهره گرفته شده است.

6- References

۶- مراجع

- [1] A. Al Mamun, T. R. Sheltami, H. Ali, & S. Anwar, “Performance evaluation of routing protocols for video conference over mpls vpn network”, *Journal of Ubiquitous Systems & Pervasive Networks*, vol. 7(1), pp.01-06, 2016.
- [2] R. Mehmood, R. Alturki, & S. Zeadally, “Multimedia applications over metropolitan area networks (MANs)”, *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 34(5), pp. 1518-1529, 2011.
- [3] P. Kumar, Y. Yuan, C. Yu, N. Foster, R. Kleinberg, & R. Soulé, “Kulfi: Robust traffic engineering using semi-oblivious routing”, 2016, *arXiv preprint arXiv:1603.01203*.
- [4] R. M. Salles, J. M. Carvalho, “An architecture for network congestion control and charging of non-cooperative traffic”, *Journal of Network and Systems Management*, vol.19(3), pp. 367-393, 2011.
- [5] B. Ku, J. Jackson, M. Yasrebi, U.S. Patent No. 9,521,081. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2016.
- [6] D. A. Menascé, “QoS issues in web services”, *IEEE internet computing*, vol. 6(6), pp. 72-75, 2002.
- [7] B. Stockebrand, “Quality of Service (QoS)”, *IPv6 in Practice: A Unixer's Guide to the Next Generation Internet*, pp. 327-331, 2007.
- [8] K. Ghosh, K. Kompella, K. Varadhan, U.S. Patent No. 7,948,986. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2011.
- [9] J. D. Ryoo, T. Cheung, D. King, A. Farrel, H. van Helvoort, “MPLS-TP linear protection for



جلیل عظیم‌پور عضو هیأت علمی تمام وقت دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر است که مدرک کارشناسی الکترونیک خود را از دانشگاه شیراز و کارشناسی ارشد خود را در رشته کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران دریافت کرده است. وی مدرک دکترای خود را در رشته فناوری اطلاعات از دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز دریافت کرد. زمینه‌های پژوهشی او شامل شناسایی بدافزار، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، شبیه‌سازی و تحلیل الگوریتم‌ها است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

azimpour@iaubushehr.ac.ir



حسن مزارعی عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر و فارغ‌التحصیل رشته آمار ریاضی در مقطع دکترا است. زمینه‌های پژوهشی شبکه‌های فازی و الگوریتم‌های داده‌کاوی است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

mazarei_hasan@yahoo.com

IEEE 12th International Conference on High Performance Switching and Routing, 2011, pp. 146-150.

- [22] R. A. Resende, S. M. Rossi, A. Yamakami, L. H. Bonani, E. Moschim, "Traffic engineering with MPLS using fuzzy logic for application in IP networks," In *The 12th IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 2003, Vol. 2, pp. 1146-1151.
- [23] N. M. Din, N. Faisal, "Dynamic resource allocation of IP traffic for a DiffServ-MPLS interface using fuzzy logic", In *9th Asia-Pacific Conference on Communications (IEEE Cat.No. 03EX732)*, 2003, Vol. 1, pp. 339-343.
- [24] N. M. Din, N. Faisal, "Fuzzy logic Token Bucket bandwidth predictor for assured forwarding traffic in a DiffServ-aware MPLS Internet", In *First Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS'07)*, 2007, pp. 247-252.
- [25] K. Kar, M. Kodialam, T. V. Lakshman, "Minimum interference routing of bandwidth guaranteed tunnels with MPLS traffic engineering applications", *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol.18(12), pp. 2566-2579, 2000.
- [26] D. Stiliadis, A. Varma, "Latency-rate servers: a general model for analysis of traffic scheduling algorithm" *IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN)*, vol. 6(5), pp. 611-624, 1998.
- [27] M. N. Soorki, H. Rostami, "Label switched protocol routing with guaranteed bandwidth and end to end path delay in MPLS networks" *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 42, pp. 21-38, 2014.
- [28] A. Bahnasse, M. Talea, A. Badri, F. E., Louhab, S. Laafar, "Smart hybrid SDN approach for MPLS VPN management on digital environment," *Telecommunication Systems*, vol. 73(2), pp.155-169, 2020.
- [29] Z. Duliński, G. Rzym, P. Chołda, "MPLS-based reduction of flow table entries in SDN switches supporting multipath transmission" *Computer Communications*, vol. 151, pp. 365-385, 2020.



زهرا عاشوری دارای مدرک کارشناسی ارشد رشته مهندسی نرم‌افزار در استخدام اداره آموزش و پرورش شهرستان دشتی است. زمینه‌های پژوهشی او روترهای شبکه، شبکه‌های بی‌سیم و الگوریتم‌های فازی است. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

zashoori1362@gmail.com

