استفاده از یک الگوریتم فازی مبتنی بر قانون برای بهبود مسیریابی در شبکه‌های MPLS

زهرا عاشوری[*1]، جلیل عظیم‌پور[2] و حسن مزارعی[3]

[1]فناوری اطلاعات اداره آموزش شهرستان دشتی، ایران

[2]گروه کامپیوتر، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

[3]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 پهنای‌باند و تأخیر انتهابه‌انتها را تضمین می‌کند و عملکرد آن بر مبنای الگوریتم MDMF است. هدف روش پیشنهادی توزیع یک‌نواخت بار در شبکه برای تمام درخواست‌ها و به تعویق‌انداختن درخواست‌هایی با پهنای باند بالا و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتها 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، پهنای‌باند، تأاخیر انتهابه‌انتها

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

Zahra Ashoori[*1], Jalil azimpour[2] & assan Mazarei[3]

[1]Information Technology of Dashti Education Department, Iran

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

[3]Department 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-

[*] نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

[*] Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۷/۳ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۶ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۳ • نوع مطالعه: پژوهشی

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 انعطاف‌پذیر می‌توان اشاره کرد. برای هیچ‌یک از این دو شبکه معرفی‌شده نمی‌توان برتری خاصی نسبت به دیگری قائل شد [6]. بر این اساس، گروه ویژه مهندسی اینترنت (IEFT)، 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 برچسب‌های 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، مسألهٔ 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، فرآهم می‌آورد [13].

از آنجا که مسیر بسته‌ها درشبکه‌های MPLS ثابت است، این مسیرها ممکن است، موضوع مهندسی ترافیک باشند [۱۴]؛ 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 بازکاربردهای اولیه MPLS، مهندسی ترافیک خواهد بود. یکی از مسائل کلیدی در فراهم‌سازی تضمین QoS، چگونگی تعیین مسیرهایی است که رضایت محدودQoSرا 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

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.

درادامه 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- پیشینهٔ 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 پهنای‌باند 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 «نخستین 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 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 به‌واسطهٔ 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 چندپخشی 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 چندپخشی 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 پهنای‌باند 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 پهنای‌باند باقی‌مانده افزایش می‌یابد. الگوریتم مسیریابی کمینه تداخل (MIRA) ازاطلاعات 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 باهیچ 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 شمارش هاپرا 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

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 معماریMPLS 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 برمبنای 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 پهنای‌باند بالا و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتها 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 درنهایت 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، جایی‌که 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 جایی‌که $(i,j) \in LS$ 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، جایی‌که s_i روتر ورودی، d_i روتر خروجی، T_i مشخصات ترافیک شامل (M, r, t, b) است، جائی‌که r نرخ درخواست، t نرخ بیشینه، b نرخ هجوم، M بیشینه طول بسته است. R_i نیز مشخصات QoS نظیر بیشینه تأخیر انتهابه‌انتها 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. زمانی‌که 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 این‌کار 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 انتهابه‌انتها برای یک مسیر P برابر با D_m است و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$D_m = \frac{t-R}{t-r}.\frac{b}{r} + \sum_{(i,j)\in P}\left(\frac{M}{R} + \frac{M_{ij}^m}{C_{ij}} + prop_{ij}\right) \qquad (۱)$$

در این رابطه r نرخ درخواست، t نرخ بیشینه، b نرخ هجوم، M بیشینه طول بسته، M_{ij} 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

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 مسأله 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 به‌طوری‌که مجموع بیشینه جریان وزن‌دار بین تمام جفت‌های ورودی-خروجی بیشینه شود با تابع هدف رابطه (۲) محاسبه کنیم:

$$\boldsymbol{max}_{\forall\ \boldsymbol{paths}} \sum_{(\boldsymbol{s},\boldsymbol{d})\in \boldsymbol{P}} \boldsymbol{\gamma_{sd}\theta(s,d)} \qquad (۲)$$

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

۳-۴- کمینه تأخیر انتهابه‌انتها

کمینه تأخیر انتهابه‌انتها از یک زوج ورودی-خروجی، کمینه تأخیری است که یک جریان داده بین گره ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، کمینه تأخیر انتهابه‌انتها یک زوج از گره‌های ورودی-خروجی حد پایین مجموع تأخیر پیوندها در مسیرهای بین گره‌ها است. برای کاهش تداخل، از نظر کمینه تأخیر انتهابه‌انتها، 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 انتهابه‌انتها

برای بهینه‌سازی تخصیص مسیر از نظر بیشینه جریان و کمینه تأخیر انتهابه‌انتها، باید این دو پارامتر را به‌طور هم‌زمان در یک مسأله 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. w_{ij} وزن پیوند بین دو گره i و j است و با رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$w_{ij} = \frac{1 + \mu_{flow} \sum_{l_{ij}\in CM_{sd}:(s,d)\in P} \gamma_{sd} + v_{delay} \sum_{l_{ij}\in CD_{sd}:(s,d)\in P} \lambda_{sd}}{r_{ij}} \qquad (۳)$$

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 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 پهنای‌باند است. اگر زوج (s,d) متعلق به مجموعه پیوندهای برش کمینه‌ای باشد، بحرانی و جزء مجموعه CM_{sd} است. در اینجا باید مجموعه‌پیوندهای 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 انتهابه‌انتها 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، پیداکردن تأخیر پیوندهای بحرانی تنها مبتنی بر بیشینه جریان نیستند. برای پیداکردن تأخیر پیوندهای بحرانی در هر زوج ورودی-خروجی ابتدا وزن پیوند بین دو گره (i,j) را با رابطه (۴) محاسبه می‌کنیم:

$$D_{w_{ij}} = \frac{M}{R} + \frac{M_{ij}^{m}}{C_{ij}} + prop_{ij} \qquad (۴)$$

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 پهنای‌باند رزرو نشده بحرانی است. پس از حذف پیوند بحرانی، الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای پیداکردن مسیر کمینه تأخیر انتهابه‌انتها و پیوند بحرانی بعدی بین همان زوج ورودی-خروجی تکرار می‌شود. این روند ادامه می‌یابد تا زمانی‌که 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- به‌تعویق‌انداختن درخواست‌ها با استفاده از یک رویکرد فازی مبتنی بر قانون

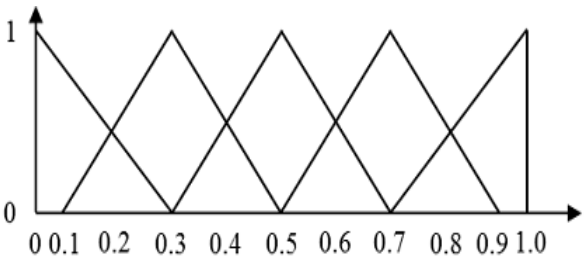
به‌منظور عملکرد بهتر مسیریابی در شبکه MPLS بهتر است درخواست‌هایی با منابع مورد تقاضای کمتر در ابتدا مسیریابی شوند. یعنی درخواست‌هایی که بیشینه تأخیر

انتهابه‌انتها بالا و پهنای باند کمتری دارند را در اولویت مسیریابی قرار دهیم. این‌کار 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 به‌تعویق‌انداختن درخواست‌هایی با منابع بالا استفاده می‌شود. دلیل استفاده از رویکرد فازی، عدم قطعیت در پارامترهای پهنای‌باند و تأخیر انتهابه‌انتها است. برای بهبود سامانهٔ فیلترینگ فازی از یک الگوریتم یادگیری قوانین وزنی استفاده می‌شود. در اینجا از فرم قوانین فازی به‌صورت رابطه (۵) استفاده شده است:

$$R_k: if\, x_1 is A_{k1} and \dots and x_n is A_{kn} then Class T with CF_k, \quad k = 1,2,\dots,N \qquad (۵)$$

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} به‌ترتیب 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 انتهابه‌انتها (d_i) هستند؛ این دو پارامتر دارای مقادیر عدم قطعیت هستند بنابراین در اینجا آنها را به‌صورت مقادیر فازی بیان می‌کنیم. فرایند تصمیم مقدار پارامترهای bw_i و d_i به فازی به‌صورت یک تابع عضویت فازی مثلثی پنج‌حالته مطابق شکل (۱) توصیف می‌شود.



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

تشخیص به‌تعویق‌انداختن یک درخواست براساس پایگاه قوانین فازی مشخص می‌شود. قوانین فازی به‌صورت برون‌خط توسط یک روش یادگیری قوانین وزن‌دار ایجاد شده و به‌صورت برخط برای مدیریت درخواست‌ها در شبکه MPLS استفاده می‌شود. با توجه به کم‌بودن تعداد پارامترهای ورودی، همه ترکیبات مختلف از قوانین ایجاد می‌شوند. درجه سازگاری $(\mu_k(X))$ هر درخواست ورودی $X(bw, d)$ با بخش مقدمه قانون $A_k = (A_1, A_2, \dots, A_5)$ با استفاده از عملگر ضرب (روش ممدانی) محاسبه می‌شود؛ درنهایت درجه اطمینان نهایی قانون به‌صورت $\mu_k(X) \times CF_k$ 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 هفت‌مرحله‌ای 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 به‌نحوی محاسبه شوند که انتخاب کوتاه‌ترین مسیر وزن‌دار 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 وزن‌دار بین گره‌های ورودی- خروجی با استفاده از الگوریتم دیکسترا و برمبنای وزن‌های هر پیوند محاسبه می‌شوند.

درصورتی‌که وزن محاسبه‌شده 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 زمانی‌که یک مسیر امکان‌پذیر یافت و یا درخواست ریجکت شود، ادامه می‌یابد. در صورت یافتن مسیر مورد نظر، منابع درخواستی (پهنای‌باند و تأخیر انتهابه‌انتها) تخصیص داده شده و وضعیت هر پیوند به‌روزرسانی می‌شود. در این روش به‌منظور بهبود الگوریتم بالا و افزایش تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده، درخواست‌هایی با منابع زیاد (پهنای باند بالا و بیشینه تأخیر انتهابه‌انتها کم) را به تعویق می‌اندازیم. این چرخه بر مبنای تشخیص این نوع درخواست‌ها با یک الگوریتم فازی مبتنی بر قوانین وزن‌دار و همچنین یک رویکرد شانس مجدد است که به درخواست‌های به تعویق‌افتاده اعمال می‌شود.

الگوریتم یادگیری وزن قوانین فازی برای قانون R_k

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 $\forall \mu_k(X) = 0 \quad X \in S$)، 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 پذیرفته‌شده 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 پذیرفته‌شده ندارد و می‌توان آن را از پایگاه قوانین حذف کرد. کاهش تعداد قوانین باعث افزایش سرعت الگوریتم در مسیریابی برخط شده و درنهایت 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 $\mu_q(X_t)$ به‌ترتیب 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 برمبنای امتیازشان به‌ترتیب صعودی مرتب می‌شوند. و سپس وزن بهینه با استفاده از یک فرایند تکراری تعیین می‌شود. در اینجا به‌ازای 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 به‌عنوان وزن قانون R_k قرار می‌دهیم ($CF_k = W_c$) و تعداد کل درخواست‌های پذیرفته‌شده را محاسبه می‌کنیم. در صورتیکه این تعداد نسبت به حالت اولیه افزایش داشته باشد، این وزن به‌عنوان وزن قانون در نظر گرفته می‌شود. این فرایند به‌صورت تکراری انجام می‌شود تا بهترین وزن قانون مشخص شود.

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

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

۴- نتایج و آزمایش‌ها

در این بخش عملکرد الگوریتم پیشنهادی به‌منظور 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 است. شبیه‌سازی با یک PC با پیکربندی پردازنده اینتل core i5 با فرکانس ۳/۲ GHz، حافظه ۸ GB و سیستم عامل ویندوز 10 انجام شده است و در تمام آزمایش‌ها به‌منظور 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 پذیرفته‌شده»، «میانگین طول مسیر» و «انرژی مصرفی» برای ارزیابی روش‌های مسیریابی استفاده شده است. همچنین به‌منظور بررسی تأثیر شرایط مختلف درخواست‌ها بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی، در اینجا چهار

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	پهنای‌باند	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

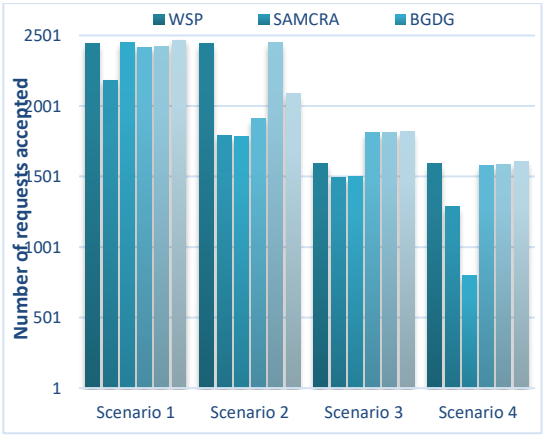
در این مقاله فرض می‌شود تمام مبدأها و مقصدها در درخواست‌ها ارسال شده با توجه به LSPها در توپولوژی MIRA هستند و هیچ یک از درخواست‌ها بعد از مسیریابی فسخ نخواهند شد. توپولوژی MIRA توسط کودیالام و لاکشمان (2000) ارائه شده و متشکل از پانزده گره و 28 پیوند است [16].

توپولوژی MIRA دارای دو نوع ارتباط نازک و ضخیم با ظرفیت‌های 12 و 48 واحد است. فهرست گره‌های ورودی-خروجی (LSP) به‌صورت $\langle(4 \rightarrow 2), (5 \rightarrow 9), (1 \rightarrow 13), (5 \rightarrow 15)\rangle$ 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 پهنای‌باند 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 پهنای‌باند و تأخیر انتهابه‌انتها در محدوده مناسبی است، به‌طورتقریبی 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 فراهم‌کردن تأخیر درخواست شده با استفاده از مسیرهای باقی‌مانده در شبکه است.



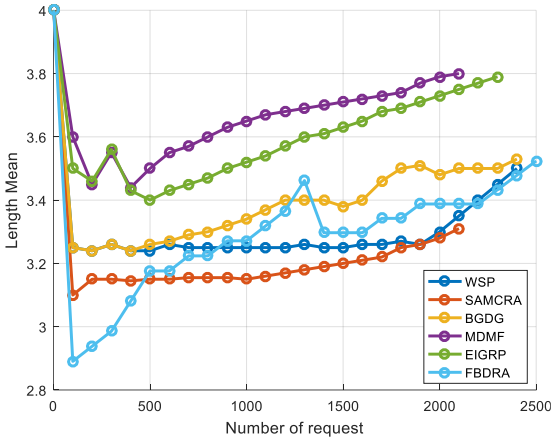
(شکل-۳): مقایسه براساس معیار تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شده
(Figure-3): Comparison based on the number of requests received

در سناریوی سه پهنای‌باند 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 انتهابه‌انتهای 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،

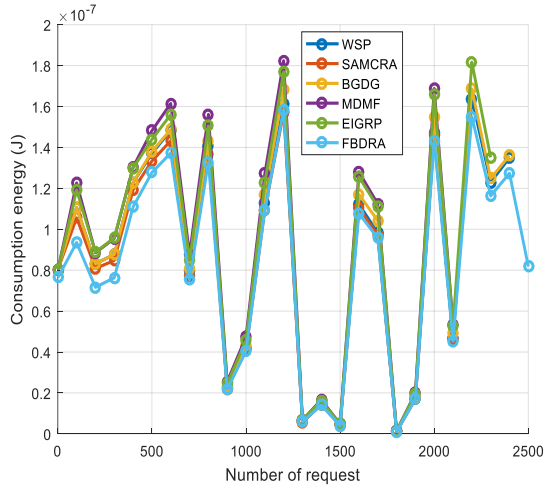
جستجوی کوتاه‌ترین مسیر تنها بر مبنای پهنای باند است که درنهایت منجر به ازدحام و ترافیک در شبکه می‌شود. الگوریتم‌های MDMF و روش پیشنهادی مسیرهای طولانی‌تری به درخواست‌ها تخصیص می‌دهند که دلیل این امر ارضای شرایط تأخیر انتهابه‌انتها و پهنای باند درخواست‌ها است.



(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 به‌صورت 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.

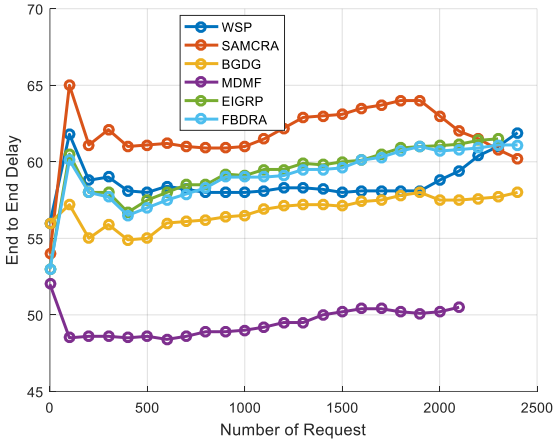


(شکل-۵): مقایسه براساس معیار انرژی مصرفی

(Figure-5): Comparison based on energy consumption criteria

نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های SAMCRA و WSP به‌دلیل 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. به‌طور 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 دورهای مسیریابی نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که SAMCRA دارای کمترین تأخیر انتهابه‌انتها است؛ اما تعداد درخواست‌های پذیرفته‌شدهٔ 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 به‌دلیل استفاده از کوتاه‌ترین مسیر جهت مسیریابی است. عملکرد الگوریتم‌های MDMF و FBDRA به‌طورتقریبی مشابه است. الگوریتم FBDRA در 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 پهنای‌باند و تأخیر فازی برای مسیریابی در شبکه‌های MPLS ارائه شده است. هدف ارائه روشی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی در شبکه‌های

MPLS است که در آنها منابع به اندازهٔ کافی تأمین می‌شود. روش پیشنهادی با افزایش پهنای باند پیوندها سعی در کنترل تأخیر انتهابه‌انتها 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. این‌کار با به تعویق‌انداختن 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 mplsvpn 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: AUnixer'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 ITU-T and IETF," IEEE *Communications Magazine*, vol. 52(12), pp.16-21, 2011.

[10] S. Havrlišan, "Traffic engineering using mpls (Doctoral dissertation, Informatičkiodjel, 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 mplsnetworks", *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. Bita, 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. Jeļinskis, A. Skrastiņš, G. Lauks, "Fuzzy-CAC driven MPLS-TE realization," In *2011*

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. Fisal, "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. Fisal, " 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

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