شیوه‌های توزیع بار در مهندسی ترافیک

زهرا ولی[1] مسعود رضا هاشمی[2] ندا مقیم[3]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران
z.vali@ec.iut.ac.ir

۲- دانشیار- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی اصفهان- اصفهان- ایران
hashemim@cc.iut.ac.ir

۳- استادیار- دانشکده مهندسی کامپیوتر- گروه مهندسی فناوری اطلاعات دانشگاه اصفهان - اصفهان- ایران
n.moghim@eng.ui.ac.ir

چکیده: با توجه به رشد روز افزون ترافیک شبکه، شرکت‌های فراهم‌کننده سرویس به سرعت درحال ایجاد ساختارهای جدید شبکه و گسترش منابع، برای کنترل تقاضاهای درحال رشد کاربران هم‌چون کاربردهای چندرسانه‌ای با پهنای باند بالا هستند. لذا توزیع بهینه ترافیک در شبکه به‌گونه‌ای که پهنای باند مورد نیاز هر جریان تامین گردد حائز اهمیت است. هدف مهندسی ترافیک ایجاد قابلیت اطمینان در کنار کارآمدی در شبکه می باشد بطوریکه استفاده از منابع شبکه بهینه گردد. این کار با استفاده از مسیریابی بهینه برای افزایش توانمندی شبکه در ایجاد سرویس‌های متنوع بدون ایجاد ازدحام انجام می‌گیرد. ارسال ترافیک جریان ها روی مسیرهای چندگانه و اعمال الگوریتم های توزیع بار در مقایسه با شیوه های سنتی ارسال روی مسیر واحد سبب راندمان بالاتر شبکه شده و انتقال اطلاعات با تاخیر کمتری انجام می‌گیرد. این مقاله به‌طور اجمالی به معرفی پروتکل‌های مسیریابی روی مسیرهای چندگانه می‌پردازد و الگوریتم‌های توزیع بار در دو دسته مستقل از حالت شبکه و وابسته به حالت شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

کلمات کلیدی: مسیریابی روی مسیرهای چندگانه، توزیع متعادل بار، مهندسی ترافیک

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۷/۵

تاریخ پذیرش مشروط : ۱۳۹۳/۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۳/۵/۱

نام نویسنده‌ی مسئول: زهرا ولی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – اصفهان – دانشگاه صنعتی اصفهان – دانشکده برق و کامپیوتر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

۱- مقدمه

با گسترش روزافزون کاربردهای جدید در شبکه‌های امروزی، فراهم کردن سرویس‌های بدون ضمانت مانند سرویس‌های BE نمی‌تواند به تنهایی پاسخ‌گوی نیازهای رو به رشد کاربران باشد. به‌همین منظور شرکت‌های فراهم‌کننده سرویس به سرعت درحال ایجاد ساختارهای جدید شبکه و گسترش منابع برای کنترل تقاضاهای درحال رشد کاربران، هم‌چون کاربردهای چند-رسانه‌ای با پهنای باند بالا هستند [۱و۲].

نقاط حساس و شلوغ شبکه تنها به اتصالات قرار گرفته بین دامنه‌های مختلف منحصر نمی‌شوند، بلکه در درون دامنه‌ها نیز این نقاط وجود دارند و شرکت‌های فراهم‌کننده سرویس، بهینه-سازی کارآمد منابع را هم درون دامنه‌ها و هم بین دامنه‌های مختلف انجام می‌دهند. آن‌چه اهمیت دارد توزیع بهینه ترافیک در بین منابع مختلف است به‌گونه‌ای که پهنای باند مورد نیاز هر جریان دردسترس باشد. مفهوم مهندسی ترافیک به‌همین منظور شکل گرفته‌است. مهندسی ترافیک به عنوان جنبه‌ای از مهندسی شبکه اینترنت که با مسئله ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد شبکه-های IP سروکار دارد تعریف می‌شود [۳]. هدف مهندسی ترافیک ایجاد قابلیت اطمینان و کارآمدی درشبکه است بطوریکه استفاده از منابع شبکه نیز بهینه گردد و این کار را با مسیریابی بهینه برای افزایش توانمندی شبکه در ایجاد سرویس‌های متنوع، بدون ایجاد ازدحام انجام می‌دهد. روش‌های مدیریت ازدحام را می توان بر اساس [۴] و با توجه به چهارچوب عملکرد به سه شیوه تقسیم بندی کرد:

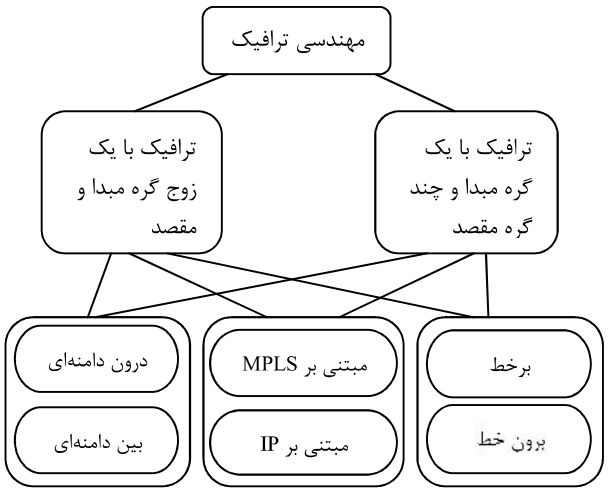
۱. بر اساس مدت زمان اثر که عبارتست از زمانی که طول می کشد تا طرح مورد نظر ازدحام را رفع کند.
۲. بر اساس چگونگی مقابله با رخداد ازدحام که آیا با تخمین آینده ترافیکی شبکه از بروز ازدحام جلوگیری می شود یا بر اساس روش های انفعالی به دنبال رفع ازدحام رخداده است.
۳. بر اساس سیاست رویارویی با ازدحام که آیا برای رفع ازدحام منابع را تغییر می دهند یا میزان پذیرش ترافیک را محدود می کنند.

بسیاری از کاربردهای جدید چندرسانه‌ای علاوه بر نیازمند-ی‌های پهنای‌باند، به سایر پارامترهای کیفیت سرویس مانند حد بالای تاخیر ابتدا تا انتها، تغییرات تاخیر[۱] و احتمال تلفات بسته نیز حساس هستند. نیازمندی‌های کیفیت سرویس مسائل جدیدی را برای فراهم کنندگان سرویس ایجاد می‌کنند و لذا درخواست‌های کیفیت سرویس ابتدا تا انتها باید به واسطه مکانیزم های مهندسی ترافیک فراهم شوند. از طرفی با وجود خرابی پیوندها و گره‌ها در شبکه، راه‌حل‌های مهندسی ترافیک باید به دنبال کم‌کردن تاثیر خرابی‌ها روی عملکرد شبکه و بهره وری منابع نیز باشند.

با ظهور مهندسی ترافیک، الگوریتم‌های مسیریابی با چالش-های جدیدی رو به‌رو می‌شوند. آنها که تاکنون استحکام و بازیابی سریع خطا[۲] اولین اولویت عملکردشان بوده، حال باید روی اختصاص بهینه منابع نیز متمرکز گردند. به این منظور، شیوه-های جدیدی برای مسیریابی روی مسیرهای چندگانه ایستا و یا پویای وابسته به بار شبکه ارائه شده‌اند.

تاکنون مقاله‌های بسیاری در حوزه بهینه‌سازی توزیع ترافیک منتشر شده‌اند که در [۵] شیوه‌های مختلف مهندسی ترافیک، مطابق با چهار معیار در شکل (۱) دسته‌بندی شده اند:

- از جنبه حوزه‌ی عملکرد: مهندسی ترافیک به دو دسته‌ی درون دامنه‌ای[۳] و بین دامنه‌ای[۴] تقسیم می-شود.
- از جنبه اتصال گرا بودن: مهندسی ترافیک به دو دسته مبتنی بر MPLS و مبتنی بر IP تقسیم می‌شود.
- از جنبه نوع و نحوه‌ی عملکرد: مهندسی ترافیک به دو دسته‌ی مهندسی ترافیک برخط[۵] و مهندسی ترافیک برون خط[۶] تقسیم می‌شود.
- از جنبه نوع ترافیک درخواستی: مهندسی ترافیک به دو دسته برای ترافیک بین یک زوج گره مبدا و مقصد[۷] و برای ترافیک با یک گره مبدا و چند گره مقصد[۸] تقسیم می‌شود.



شکل (۱): تقسیم‌بندی روش‌های مختلف مهندسی ترافیک [5]

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

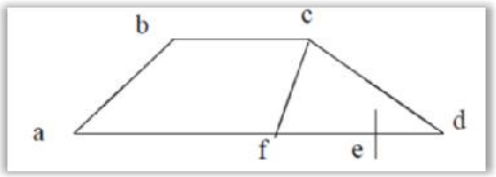
تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در هر کدام از این دسته‌ها صورت گرفته است. در این مقاله الگوریتم‌های مهندسی ترافیک درون دامنه‌ای و بین یک زوج گره مبدا و مقصد مورد بررسی قرار می گیرند.

همانطور که قبلا بیان شد از جمله اهداف مهندسی ترافیک، می‌توان به توزیع متعادل بار و استفاده بهینه از پهنای باند شبکه اشاره کرد. استفاده از روش مسیریابی که از مسیرهای چندگانه به جای روش های سنتی مبتنی بر کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌کند، می تواند روش موثری برای افزایش توانمندی شبکه در استفاده از منابع در دسترس شبکه باشد. در این راستا گردآوری انواع پروتکل‌های مسیریابی چندگانه به همراه دسته بندی راه حل‌های توزیع بار متنوع گام اساسی در بهبود الگوریتم‌های توزیع بار موجود است. در ادامه، مسیریابی چندگانه در بخش ۲ معرفی می گردند آنگاه انواع الگوریتم‌های توزیع بار در بخش ۳ بیان و با هم مقایسه می شوند و مزایا و معایب هر کدام مورد بررسی قرار می گیرد. بخش ۴ نیز به نتیجه گیری از مقاله اختصاص یافته است.

۲- مسیریابی چندگانه

درشبکه‌های امروزی بین هر زوج فرستنده و گیرنده تنها از یک مسیر استفاده می‌شود و این سبب می‌شود که نتوان از منابع شبکه حداکثر استفاده را نمود. برای مثال انتقال فایل‌های بزرگ-تر با سرعت بیش‌تر یا فایل‌های ویدئویی با نرخ قاب بیش‌تر امکان پذیر خواهد بود اگر اطلاعات روی مسیرهای متفاوت شبکه ارسال شوند بطوریکه تقسیم ترافیک بین مسیرهای چندگانه قابل کنترل باشد. در این دسته از مسیریابی‌ها با یکپارچه کردن منابع مسیرهای چندگانه و کاهش احتمال ازدحام در شبکه های مبتنی بر کیفیت سرویس، می‌توان نرخ بالاتری را برای انتقال اطلاعات نسبت به حالت تک مسیره فراهم کرد. به‌این ترتیب قابلیت اطمینان در تحویل اطلاعات نیز افزایش می‌یابد.

میزبانی که مسیرهای چندگانه را فراهم می کند ابتدا باید مجموعه‌ای از مسیرهای بدون حلقه را بین هر زوج مبدا و مقصد محاسبه کند. دو مشخصه‌ای که برای تعیین این مجموعه مسیر موثر هستند، اندازه مسیر[۹] و استقلال مسیرها[۱۰] می باشند. اندازه مسیر، تعداد مسیرهای دردسترس بین گره‌ها است. هرچه بتوان مسیر بیشتری فراهم کرد، میزبان منابع و گزینه‌های بیشتری برای افزایش عملکرد خود دارد و شانس توزیع بار بیشتر می شود. استقلال مسیر میزان پراکندگی بین مسیرهای محاسبه شده است. هرچه یک مجموعه مسیر از هم مجزاتر باشند، منابع بیشتری دردسترس هستند و احتمال اینکه عملکرد یک مسیر بر عملکرد مسیر دیگر تاثیر بگذارد کم‌تر می‌شود زیرا مسیرها با هم هم‌پوشانی ندارند. شکل (2) را در نظر بگیرید. یک مجموعه مسیر، دو مسیر *(a, b, c ,d)* و *(a, f, c, d)* و مجموعه مسیر دیگر، دو مسیر *(a, b, c, d)* و *(a, f, e, d)* را شامل می‌شوند. مجموعه دوم در مقایسه با مجموعه اول مستقل است چون مسیرهای آن هیچ پیوند مشترکی با هم ندارند. مجموعه دوم به استفاده بهتری از منابع منجر می شود و کمتر در معرض بروز ازدحام قرار دارد. برای مثال در صورت ازدحام پیوند *cd* در مجموعه اول هر دو مسیر در شرایط ازدحام قرار می‌گیرند درحالیکه در مجموعه دوم تنها یکی از مسیرها آسیب می‌بینند.



شکل (۲): مسیرهای مستقل و وابسته [۶]

برخلاف شیوه‌های مسیریابی کوتاه‌ترین مسیر، مسیریابی چندگانه به طور هم زمان از بیشتر از یک مسیر استفاده می کند تا ترافیک را بین مبدا و مقصد یا زوج های ورودی خروجی انتقال دهد.

الگوریتم‌های مسیریابی روی مسیرهای چندگانه، بر پایه‌ی گسترش الگوریتم‌های مسیریابی درون دامنه ای همچون RIP و OSPF می‌باشد [۷ , ۸]. این الگوریتم‌ها به محاسبه مسیرهای چندگانه به سمت مقصد مورد نظر ختم می شوند و در برخی از آنها ترافیک موجود بین این مسیرها توزیع نیز می گردد. تاکنون پروتکل‌های بسیاری برای مسیریابی چندگانه معرفی شده‌اند. از جمله این پروتکل‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ECMP[۱۱][۹] ، MPA[۱۲][۱۰]، DSPA[۱۳] [۱۱]، CRA[۱۴] [۱۱] ، MDVA[۱۵][۱۲] ، MPDA[۱۶] [۱۳] ، MPATH [۱۳] ، [۱۷][۱۱] QMPDA.

از بین پروتکل‌های ذکر شده، MPA پروتکلی است که با ایجاد کم‌ترین تغییر در چهارچوب الگوریتم OSPF قابل پیاده-سازی است و تنها می‌توان با افزودن یک قطعه‌ی نرم‌افزاری به پروتکل OSPF آن را در شبکه اجرا نمود. پروتکل MPA همه مسیرهای منتهی به یک مقصد را پیدا نمی‌کند بلکه تنها مجموعه‌ای از مسیرها را پیدا می‌کند که شرط بدون حلقه بودن را برآورده می‌کنند. هر مسیریاب تنها مسیرهایی را در نظر می-

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

گیرد که وزن کوتاه‌ترین مسیر از گام بعدی به مقصد از وزن کوتاه‌ترین مسیر آن مسیریاب به مقصد کمتر باشد.

پروتکل ECMP بر اساس OSPF عمل کرده و مسیرهایی با هزینه ی یکسان را به سوی مقصد پیدا می کند. در این پروتکل بار ترافیکی بین مسیرهای یافت شده نیز تقسیم می گردد [۹]. مسیریاب، مسیرهای ممکن را با تعیین پرش بعدی مشخص می‌کند و در هنگام ارسال یک بسته، تصمیم می گیرد که کدام پرش (کدام مسیر) را به سوی مقصد انتخاب کند. روش‌های بسیاری برای انتخاب پرش بعدی پیشنهاد شده‌اند که در بخش های بعدی بیشتر توضیح داده می شوند. فاکتورهایی که در انتخاب یک شیوه باید به آنها توجه شود، عملکرد و نیازمندی‌های محاسباتی برای اجرای الگوریتم و توازن بار می باشند.

در ECMP هیچ تلاشی برای انطباق وزن‌های OSPF به صورت پویا با شرایط بار شبکه صورت نمی‌گیرد و نمی‌توان مسیرها را برای کاربردهای مختلف تغییر داد. اگر توپولوژی به گونه‌ای باشد که OSPF مسیرهایی با هزینه برابر (کوتاه‌ترین مسیرها) به یک مقصد بیابد، ترافیک به طور یکنواخت بین مسیرها تقسیم می شود. این توزیع ممکن است سبب استفاده بیش از اندازه ی برخی پیوندها گردد، درحالیکه سایر پیوندها بدون استفاده مانده‌اند.

یکی از گونه‌های ECMP، OMP می‌باشد [۱۴]. ایده اصلی OMP، به کارگیری چهارچوب ارسال سیل آسای پیام در الگوریتم‌های مسیریابی حالت پیوند برای انتشار اطلاعات بار پیوندها درون شبکه می‌باشد. هر گره بر اساس اطلاعات دریافت شده از سایر گره‌ها از همبندی شبکه و بار پیوندها مطلع شده و می‌تواند به‌طور مستقل تعیین کند که چگونه ترافیک را بین مسیرهای موجود در شبکه توزیع نماید. بنابراین نیازمندی اصلی OMP در وجود مسیرهای چندگانه بین گره های مبدا و مقصد در شبکه است. درحالیکه OMP ویژگی‌های مطلوبی مانند عملیات کاملا مستقل دارد اما نیازمند سرباره ذخیره سازی در مسیریاب‌ها و همچنین سرباره سیگنالینگ زیاد برای انتشار سیل آسای اطلاعات در شبکه می باشد. پروتکل OMP با استفاده از نسبت‌های متفاوت بهینه، ترافیک را بین دو تا از کوتاه‌ترین مسیرها تقسیم می‌کند و نسبت توزیع بار، مبتنی بر ترافیک موجود روی پیوندهای ارسال است. مشکل OMP این است که به آهستگی با تغییرات بار شبکه تطبیق می‌یابد.

پروتکل CSPF[۱۸] که گونه‌ای از پروتکل‌های کوتاه‌ترین مسیر می‌باشد [۱۵]، به اپراتور شبکه اجازه می‌دهد تا مسیرها را متناسب با نیازهای خود تنظیم کند. مسیری که با CSPF محاسبه می‌شود، کوتاه‌ترین مسیری است که مجموعه‌ای از محدودیت‌ها را برآورده می‌کند. محدودیت می‌تواند حداقل پهنای باند پیوند، تاخیر ابتدا تا انتها یا حداکثر تعداد پیوندهای پیموده شده باشد. CSPF برای کاربردهایی نظیر تماس صوتی که نیاز به مسیرهای با هزینه کم دارند، مفید است اما نمی‌تواند محدودیت‌های پویا مانند تلفات بسته را برای انتخاب مسیر درنظر بگیرد.

در هر صورت اگر بتوان با استفاده از الگوریتم های مسیریابی چندگانه، چندین مسیر را بین مبدا و مقصد ایجاد نمود، می توان بار را نیز در شبکه به طور متعادل توزیع کرد. در بخش بعدی روش های توزیع بار به تفصیل معرفی و بررسی می گردند.

۳- توزیع متعادل بار

در [۳] روش‌های مهندسی ترافیک به دو دسته اصلی تقسیم شده‌اند: روش‌های وابسته به زمان[۱۹] و روش‌های وابسته به حالت[۲۰]. الگوریتم‌های کنترل ترافیک در روش های وابسته با زمان، برای استفاده بهینه از منابع شبکه در پاسخ به تغییرات ترافیک در زمان های طولانی استفاده می‌شوند. ولی در مهندسی ترافیک وابسته به حالت، الگوریتم‌های کنترل ترافیک خود را با تغییرات نسبتا سریع حالت شبکه تطبیق می دهند و تقسیم ترافیک بر اساس معیارهایی صورت می گیرد که به صورت بر خط یا برون خط، شرایط حاضر در شبکه را محاسبه می‌کنند. متوازن کردن بار بین مسیرهای چندگانه، مثالی از مهندسی ترافیک وابسته به حالت است که در زمان نسبتا کوتاهی انجام می‌شود.

متعادل کردن و توزیع بار روشی کلیدی برای تقویت عملکرد و گسترش‌پذیری اینترنت می‌باشد. گام اصلی برای ایجاد تعادل بار، یافتن الگوریتمی برای تقسیم ترافیک در گره های ورودی می‌باشد. در [۱۶] نیازمندی‌های اساسی روش های تقسیم ترافیک بیان شده‌است. از آن‌جا که تقسیم ترافیک به ازای هر بسته صورت می گیرد، سرباره ایجاد شده به ازای هر بسته یک مشکل اساسی است. بنابراین الگوریتم‌های تقسیم ترافیک باید ساده باشند و نیاز به نگهداری از حالت شبکه را به حداقل برسانند.

۳-۱- توزیع بار مستقل از حالت شبکه

همان‌گونه که توضیح داده‌شد، الگوریتم‌هایی همچون ECMP و CSPF علاوه بر یافتن مسیرهای چندگانه، ترافیک را بدون درنظر گرفتن حالت شبکه توزیع می‌کنند. در این بخش روش-

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

هایی که برای تقسیم ترافیک بر روی مسیرهای چندگانه و مستقل از حالت شبکه استفاده می شوند، مورد بررسی قرار می گیرند [۱۷]:

۳-۱-۱- روش نوبت گردشی وزن‌دار[۲۱]

در شیوه نوبت گردشی وزن دار، ترافیک به صورت بسته بسته و به نوبت و بر اساس وزن اختصاص داده شده به مسیرها، بر روی آنها ارسال می‌شود. این روش سرباره بسیار کمی را به توابع ارسال تحمیل می‌کند و اگر مسیرها تاخیرهای مشابهی داشته-باشند، شیوه‌ی مناسبی به شمار می آید. روش‌های ارسال با نوبت گردشی یا روش‌های تصادفی مشکلاتی در پی دارند که به‌طور خلاصه می توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۸]:

عملکرد ضعیف با وجود مسیرهای با تاخیر متفاوت: این روش تنها هنگامی کاربرد دارد که تاخیرمسیرها تقریبا برابر باشد و اگر هر کدام از مسیرها تاخیر متفاوتی داشته باشند، عبور بسته‌های یک جریان از مسیرهای مختلف باعث می‌شود که بسته‌ها خارج از ترتیب به مقصد برسند که سبب تاخیر در تحویل بسته‌ها و نیازمندی‌های حافظه می‌شود. علاوه بر این، عدم ترتیب در دریافت بسته‌های یک جریان TCP و ارسال بسته‌های TCP یک جریان روی چند مسیر با RTT[۲۲] های متفاوت، سبب تولید سیگنال‌های غلط مربوط به ازدحام، و افت غیر ضروری بازده و عملکرد می‌شود. یعنی خارج از ترتیب رسیدن بسته‌ها در این شرایط سبب می‌شود که TCP استنباط کند تلفات رخ داده‌است. برای مثال وقتی بسته با شماره ترتیب بزرگ‌تر قبل از بسته با شماره ترتیب کوچک‌تر از راه می‌رسد، اگر سه بسته یا بیشتر قبل از یک بسته تاخیردار از راه برسند، TCP وارد مرحله ارسال دوباره سریع[۲۳] می شود که با دوباره ارسال کردن بسته‌های تاخیردار منجر به استفاده ناکارآمد از پهنای باند می‌گردد. بنابراین، این روش عملکرد بسیار پائینی در مسیرهای با تاخیر طولانی دارد.

عدم مطلوبیت برای کاربردهای اشکال‌زدائی[۲۴] : برنامه‌های کاربردی اشکال‌زدائی رایج مانند Ping و Route trace در حضور مسیرهای چندگانه کمتر قابل اعتماد هستند و گاهی نتایج کاملا غلطی را نمایش می‌دهند.

درهم‌ریختگی[۲۵] : از آنجا که تعداد مسیر بیش‌تری برای ارسال نسبت به حالت تک مسیره استفاده می‌شود، احتمال خارج از ترتیب رسیدن بسته‌ها و تلفات بسته‌ها بیش‌تر می‌شود. اگر مسیرهای چندگانه در طول مسیر با اضافه یا حذف کردن گام-های بعدی تغییر کنند، برای حداقل شدن میزان درهم‌ریختگی، لازم است که تعداد جریان کمتری درگیر مسیرهای درحال تغییر باشند.

۳-۱-۲- ارسال مبتنی بر جریان

همان‌گونه که قبلا هم به آن اشاره شد، برای توزیع بار در سطح بسته، مسیر هر بسته مستقل از سایر بسته‌ها به صورت نوبت گردشی یا تصادفی انتخاب می‌شود. بنابراین بسته‌هایی که متعلق به یک جریان هستند ممکن است در رسیدن به مقصد مسیرهای متفاوتی را طی کنند. (جریان به صورت دنباله‌ای از بسته‌ها تعریف می‌شود که در آن بسته‌ها آدرس‌های مشابه دارند، مانند آدرس‌های IP مبدا/مقصد و شماره‌های پورت‌ها) هرچند این روش به سادگی پیاده می‌شود ولی چون مسیرهای مختلف تاخیرهای متفاوتی دارند، می‌تواند برای کاربردها مشکل‌ساز باشد. برای اجتناب از تغییرات تاخیر زیاد که برای عملکرد سرویس TCP و برخط مشکل‌ساز است، مطلوب است که همه بسته‌های یک جریان از یک مسیر عبور کنند حتی زمانیکه چند مسیر موجود است. در این روش، تقسیم ترافیک به ازای هر جریان انجام می‌شود به گونه‌ای که ترتیب بسته‌های متعلق به یک جریان حفظ گردد. یکی از روش‌های توزیع بار در سطح جریان، در دو مرحله انجام می‌شود: فیلدهای سرآیند IP که در همه بسته‌های یک جریان مشترک هستند به یک عدد تصادفی درهم ساز[۲۶] می‌شوند. بنابراین برای بسته‌های جریان مشابه مقدار درهم ساز یکسان به دست می‌آید. سپس مسیریاب‌ها توزیع بار را از طریق تخصیص محدوده‌های درهم سازی که با هم هم‌پوشانی ندارند به پورت‌های خروجی، انجام می‌دهند. مسیریاب‌ها بسته‌ها را به آن پورت خروجی می فرستند که مقدار درهم ساز تخصیص داده شده به آن، شامل مقدار درهم ساز بسته ها باشد و به این ترتیب بسته های مربوط به هر جریان از مسیر یکسانی ارسال می شوند [۱۹]. تقسیم ترافیک بر اساس تابع درهم ساز، یکی از روش‌های رایج تقسیم بار می‌باشد که در ادامه به‌طور مجزا بیان خواهد شد.

برای دنبال کردن جریان‌های فعال باید اطلاعات زیادی در شبکه نگهداری شود. برای این منظور یک جدول ارسال استفاده می شود که مشخص می‌کند هر جریان فعال از چه مسیرهایی عبور می‌کند.

۳-۱-۳- ارسال مبتنی بر جریان‌های کوچک[۲۷]

در این روش ترافیک به قطار بسته‌ها تقسیم می‌شود [۲۰]. اگر زمان بین دو بسته متوالی بزرگ‌تر از حداکثر تفاوت تاخیر بین

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

مسیرهای چندگانه باشد، بسته دوم و بسته‌های بعدی جریان، بدون خطر خارج از ترتیب رسیدن می‌توانند روی هر کدام از مسیرهای در دسترس ارسال شوند. حسن این روش در این است که بسته‌های یک جریان به ترتیب به مقصد می‌رسند درحالیکه لازم نیست مانند روش ارسال مبتنی بر جریان، حالت شبکه مربوط به هر جریان نگهداری شود. این روش نسبت به روش ارسال مبتنی بر جریان اطلاعات کم‌تری نگهداری می‌کند زیرا تعداد قطار بسته‌های فعال نسبت به جریان‌های فعال کم‌تر است. با این حال به دلیل پیچیدگی‌های محاسباتی، هنوز در شبکه‌های واقعی پیاده‌سازی نشده است.

۳-۱-۴- تقسیم بر اساس آدرس مقصد در بین پرش-های بعدی دردسترس در ورودی‌ها

تقسیم ترافیک بر اساس آدرس مقصد در بین پرش‌های بعدی دردسترس، تقسیم بار غیرقابل‌پیش‌بینی و نامتعادلی را فراهم می‌کند. پیشوندهای آدرس مقصد کوتاه، مشکل‌آفرین هستند زیرا در رسیدن به یک گره مقصد، بیشتر ترافیک اغلب به سمت یک پیشوند هدایت می‌شود.

۳-۱-۵- تقسیم ترافیک بر طبق تابع درهم ساز اعمال شده به زوج مبدا و مقصد

الگوریتم‌های تقسیم ترافیک مبتنی بر درهم سازی اغلب به کمک سخت‌افزار به سادگی محاسبه می‌شوند و مستقل از حالت شبکه هستند. هدف از اعمال تابع درهم ساز تصادفی کردن فضای آدرس است تا از تمرکز ترافیک در یک محدوده خاص جلوگیری شود. طرح‌های درهم سازی برای توزیع بار به دو دسته درهم سازی مستقیم و درهم سازی مبتنی بر جدول تقسیم می‌شوند. درهم سازی مستقیم روش ساده‌ای از تقسیم ترافیک می‌باشد. در این شیوه، یک تابع درهم ساز به مجموعه‌ای از فیلدهای پنج‌تایی آدرس مبدا، آدرس مقصد، پورت مبدا، پورت مقصد و شناسه پروتکل اعمال می‌شود و از مقدار خروجی تابع درهم ساز استفاده می‌شود تا پیوند خروجی مشخص شود و به این شیوه، ترتیب بسته ها به ازای هر جریان حفظ می‌گردد. این شیوه راحت پیاده‌سازی می‌شود و لازم نیست هیچ حالت اضافه‌ای نگهداری شود. هر چند در این روش تقسیم ترافیک مبتنی بر جریان است اما ترافیک نمی‌تواند غیر یکنواخت توزیع شود و از آنجا که حالت را نگهداری نمی‌کند، بنابراین مهندسی ترافیک پویا با این روش قابل پیاده‌سازی نیست.

انواع توابع درهم ساز مورد استفاده

یک تابع درهم ساز خوب باید توزیع یکنواخت داشته باشد یعنی هر ورودی به احتمال برابر به پیوندهای خروجی، نگاشت شود، مستقل از این که سایر ورودی‌ها کجا نگاشت شده‌باشند [۲۱]. در عمل روش‌های شهودی برای تعیین یک تابع درهم ساز خوب استفاده می‌شوند. اولین مطالعه جامع روی محدوده وسیعی از طرح‌های مبتنی بر درهم سازی در [۱۶] ارائه شده‌است. برای اعمال تابع درهم ساز، در راستای اختصاص بسته به یکی از پیوندهای خروجی می توان از یکی از شیوه‌های زیر استفاده نمود [۱۸]:

درهم ساز به پیمانه N [۲۸]

برای انتخاب یکی از دسته‌ها از بین N دسته، مسیریاب یک درهم ساز به پیمانه N روی فیلدهای سرآیند بسته انجام می‌دهد. این روش سریع عمل می کند.

آستانه‌ی درهم ساز [۲۹]

ابتدا مسیریاب تابع درهم ساز را روی فیلدهای سرآیند بسته اجرا می‌کند. فضای خروجی تابع درهم ساز بین پیوندهای خروجی تقسیم می‌شود به گونه‌ای که به هر کدام از پیوندهای خروجی، حوزه‌ی یکتایی از برد تابع درهم ساز اختصاص داده می شود. با مقایسه مقدار خروجی درهم ساز و مقادیر اختصاص داده شده به هر کدام از حوزه‌ها ، مسیریاب تعیین می‌کند که مقدار درهم ساز به کدام حوزه تعلق دارد.

بیش‌ترین مقدار تصادفی [۳۰]

مسیریاب با اجرای تابع درهم ساز روی فیلدهای سرآیند بسته و روی آدرس پرش بعدی، برای هر کدام از پرش‌های بعدی، کلیدی را محاسبه می‌کند. سپس پرش بعدی با بیش‌ترین مقدار کلید را انتخاب می‌کند. این روش برای حداکثر کردن پایداری مسیرها استفاده می‌شود.

یکی از الگوریتم‌های درهم سازی، CRC شانزده بیتی [۳۱] است که در [۲۲] به عنوان روشی برای متوازن کردن بار پیشنهاد شده است. این الگوریتم هرچند در مقایسه با سایر الگوریتم‌های درهم سازی پیچیده‌تر است، به‌طور موفقیت‌آمیزی در سیستم های با سرعت بالا پیاده‌سازی شده است. در این الگوریتم، تقسیم‌کننده ترافیک، CRC شانزده بیتی را روی مجموعه پنج-تایی فیلدهای سرآیند بسته اعمال می‌کند، سپس پیمانه N را انجام می‌دهد تا پیوند خروجی را به‌دست آورد. از آن‌جا که این شیوه از هر دو آدرس مبدا و مقصد استفاده می‌کند، مشکل تقسیم نامتعادل روش پیشوند را ندارد. تابع درهم ساز به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

$$H(.)= CRC16\ (5-tuple)\ mod\ N \qquad (۱)$$

هرچند روش درهم سازی مستقیم ساده است مشکلاتی هم دارد. در این شیوه تنها می‌توان ترافیک را در مقدارهای مساوی بین پیوندهای خروجی تقسیم کرد. بنابراین نمی‌توان نحوه توزیع بار را تنظیم نمود.

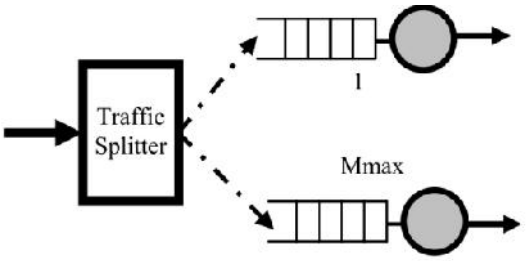
در روش درهم سازی مبتنی بر جدول ابتدا ترافیک ورودی به M دسته تقسیم می‌شود. سپس M دسته مطابق با یک جدول تخصیص به N پیوند خروجی تصویر می‌شوند. با تغییر دادن نحوه اختصاص دسته‌ها به پیوندهای خروجی می‌توان ترافیک را با نسبت مشخص توزیع کرد. هم‌چنین می‌توان با تنظیم کردن جدول تخصیص، عملکرد تقسیم ترافیک را بهبود بخشید. نسبت M و N درجه تنظیم[۳۲] را مشخص می‌کند. اگر $M=N$ باشد، درهم سازی مبتنی بر جدول به درهم سازی مستقیم تبدیل می‌شود.

۳-۲- توزیع بار وابسته به حالت شبکه

هر چند توزیع بار مستقل از حالت می‌تواند ترافیک را در مسیرهای چندگانه تقسیم کند، به‌دلیل نداشتن اطلاع از شرایط بار شبکه، امکان وقوع ازدحام وجود دارد. بنابراین نیاز به الگوریتم‌هایی که به‌صورت پویا و با توجه به حالت فعلی شبکه یعنی میزان استفاده از شبکه، تاخیر ابتدا تا انتها، میزان تلفات بسته در مسیر و غیره، ترافیک را در مسیرهای چندگانه تقسیم کنند، ضروری است.

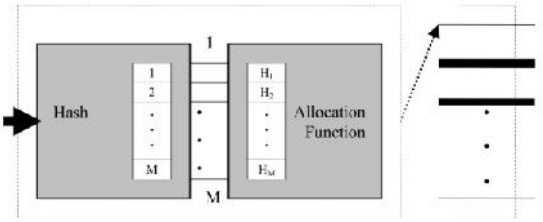
اولین قدم برای ارسال ترافیک روی مسیرهای چندگانه، انتخاب مسیر مناسب بدون حلقه برای ارسال هر بسته است. یعنی از بین مسیرهای موجود، هر بسته روی کدام مسیر ارسال شود. دومین قدم به دست آوردن اطلاعات کارآمد از وضعیت ازدحام شبکه است. برای این منظور مسیریاب‌های مرزی با استفاده از اندازه‌گیری خصوصیات مسیر، مشخص می‌کنند که کدام مسیر برای هر کلاس ترافیک مناسب‌تر است و این کار را با ارسال بسته‌های کاوشگر درون شبکه انجام می‌دهند [۲۳]. به‌این صورت که گره ورودی بسته‌های کاوشگر را به‌طور متناوب به گره خروجی می‌فرستد و سپس، دوباره به گره ورودی بازگردانده می شوند. بر مبنای بسته‌های کاوشگر بازگشت شده، گره ورودی می‌تواند مشخصات مسیر مانند تاخیر ابتدا تا انتها، میزان تلفات بسته و غیره را به‌دست آورد. سومین قدم، تقسیم بار متناسب با ازدحام شبکه در بین مسیرهای دردسترس می‌باشد. قدم نهایی، نحوه هدایت اطلاعات روی مسیرهای چندگانه است که شیوه توزیع متعادل بار روی مسیرهای چندگانه را مشخص می‌کند [۱۹].

یک سیستم توزیع بار مطابق شکل (۳) در حالت کلی از یک تقسیم‌کننده ترافیک، یک جدول تخصیص و تعدادی پیوند خروجی تشکیل شده‌است [29,28,23,27,26, 25,21,24,20].



شکل (۳): سیستم توزیع بار [۳۰]

همان گونه که در شکل (۴) نشان داده شده است، ترافیک ورودی مطابق با معیاری اصلی ابتدا به M قسمت تقسیم می‌شود. این کار در گره ورودی انجام می‌شود. M نشان دهنده حداقل مقدار ترافیکی است که می‌تواند روی مسیرهای مختلف انتقال داده شود. سپس با استفاده از یک جدول تخصیص، ترافیک از روی M قسمت به مسیرهای از قبل آماده شده که مسیرهای IP یا LSP هستند، تصویر می‌شود.



شکل (۴): اجزای سیستم توزیع بار [۳۰]

در [۲۴و ۲۵و ۲۶و ۲۷و ۲۰و ۲۳و ۲۱] از درهم سازی مبتنی بر جدول به عنوان تابع تقسیم‌کننده استفاده شده‌است و برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز، هم‌زمان بسته‌های کاوشگر به همه مسیرهای دردسترس ارسال می‌شوند. تفاوتی که در تحقیقات انجام‌شده تاکنون دراین رابطه وجود دارد در نحوه جدا کردن ترافیک و ارسال آن روی مسیرهای خروجی با استفاده از جدول تخصیص است. انتخاب تابع تخصیص منجر به شکل‌گیری جدول تخصیص مربوط به آن می‌شود. دو شیوه کلی برای انتخاب تابع تخصیص شامل شیوه‌های شهودی [۲۷و ۲۶و ۲۵] و شیوه‌های مبتنی بر انواع بهینه‌سازی [۲۴و ۲۰و ۲۳و ۲۱] می‌باشند.

همان‌طور که قبلا گفته شد، شباهت این دو دسته در تقسیم ترافیک، در ارسال بسته‌های کاوشگر برای اندازه‌گیری پارامترهای

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

مورد نیاز مسیرها می‌باشد که در مرحله بعد به عنوان ورودی برای تابع تخصیص استفاده می‌شوند.

با توزیع بار روی مسیرهای چندگانه بر اساس اطلاعات برخط از حالت ازدحام شبکه، جریان‌ها ممکن است دوباره مسیریابی شوند یا در بین مسیرها جابه‌جا گردند. به این پدیده نوسان[۳۳] گفته می‌شود. نوسان سبب تغییرات تاخیر و به هم ریختگی بسته‌ها می‌شود و عملکرد کاربردهای مبتنی بر TCP را کاهش می‌دهد. تغییرات متناوب مسیر بر پروتکل‌های رزرو منابع نیز تاثیرگذار است. مسیریابی مجدد، در وضعیت حالت‌های رزرو گسستگی ایجاد می‌کند و سبب پیچیده شدن مکانیزم‌های برقراری مجدد می‌شود. روش‌های وابسته به حالتی همچون OMP[۳۴] نمی‌توانند به خوبی با مسئله نوسان هماهنگ شوند [۱۹]. هرچند OMP عملکرد شبکه را افزایش می‌دهد، زمان انطباق آن با تغییرات بار (زمان همگرایی) از مرتبه چند ساعت است، زیرا OMP باید مقدار به روز رسانی‌هایی را که در توزیع بار ایجاد می‌شود، محدود کند تا از نوسان عبور کند.

طرح‌های درهم سازی که برای توزیع متعادل بار در سطح جریان ارائه شده‌اند، تا وقتی که توزیع بار در هیچ کدام از مسیریاب‌های مسیر عوض نشود، مسیر عبوری یک جریان مشخص را تغییر نمی دهند. زیرا درهم سازی تنها روی فیلدهای سرآیند IP انجام می‌شود. بنابراین، اگر محدوده‌های درهم ساز (یعنی توزیع بار) در یک مسیریاب تغییر کنند، جریان اصلی با مقدار درهم ساز ثابت خود، ممکن است به یک مسیر دیگر مقید شود. CSLLS[۳۵] با استفاده از درهم سازی دو مرحله‌ای این مشکل را برطرف می‌کند. علاوه بر درهم سازی سرآیند بسته، CSLLS هم چنین درهم سازی مبتنی بر زمان نیز انجام می‌دهد. درهم سازی مبتنی بر زمان از زمان ورود جریان‌ها استفاده می‌کند تا جریان‌ها را به بازه‌های زمانی درهم ساز کند. برای هر بازه زمانی یک مجموعه از محدوده‌های درهم ساز در مسیریاب‌ها نگهداری می‌شوند. بنابراین، اگر مجموعه مربوط به یک بازه زمانی برای دوباره متعادل کردن بار شبکه، به‌روز شود، تنها جریان‌هایی که به این بازه زمانی خاص درهم ساز شده‌اند تحت تاثیر قرار می‌گیرند[۱۹].

در [۲۳] که یکی از مهم‌ترین تحقیقات انجام‌شده در زمینه تقسیم بار روی مسیرهای چندگانه است، از الگوریتم تصویر گرادیان برای حل مسئله بهینه‌سازی مقید استفاده می‌شود که سبب پیچیدگی محاسباتی زیاد و همگرایی کند می‌شود و شرایط شبکه‌های واقعی را کم‌تر در نظر می‌گیرد. در این روش مهندسی ترافیک با تقسیم بار روی مسیرهای چندگانه MPLS انجام می‌شود. مهندسی ترافیک مبتنی بر MPLS می تواند مسیریابی بهینه را انجام دهد اما با افزایش اندازه شبکه به خوبی منطبق نمی‌شود. علاوه بر [۲۳] سایر مطالعات [۳۲و ۳۱] نیز بر روش‌های پویای تقسیم ترافیک مبتنی بر بهینه‌سازی متمرکز می‌شوند که از سرعت کافی برای توزیع ترافیک برخوردار نیستند.

یکی از مشکلات مسیریابی در مسیرهای چندگانه، میزان گسترش‌پذیری شیوه انتخابی است [۱۵]. در یک دید کلی شیوه‌های مبتنی بر بهینه‌سازی به دلیل محاسبات زیاد سبب افزایش پیچیدگی می‌شوند. بنابراین توان محاسباتی مورد نیاز شبکه افزایش می‌یابد و سرباره محاسباتی زیادی به شبکه تحمیل می‌شود. در مقایسه، شیوه‌های شهودی با درنظر گرفتن پارامترهای مسیر و میزان ترافیک ارسالی متناسب با آن، از لحاظ پیاده‌سازی عملی کم‌هزینه‌تر، سریع‌تر و گسترش‌پذیرتر هستند. بر اساس پارامتر انتخابی، توزیع بار به صورت شهودی به روش‌های مختلفی قابل انجام است.

از روش‌های برقراری مسیر بین فرستنده و گیرنده در شیوه‌های مهندسی ترافیک، استفاده از وزن‌های پیوند است که به صورت برون خط بر مبنای تخمین تقاضاهای ترافیکی دراز مدت به دست می‌آیند. (در عمل پیاده سازی دقیق آن مشکل بوده و ممکن است پایدار نباشد.) یک روش دیگر ایجاد یک مسیر جایگزین برای تونل‌ها و انتقال ترافیک بین آن‌ها در پاسخ به نوسانات می‌باشد. (این روش موجب سرباره تنظیمات و مدیریت می‌شود و احتمال وقوع خطای مربوط به تنظیمات افزایش می‌یابد.) SculpTE یک روش مهندسی ترافیک پایدار است و موجب سرباره تنظیمات نمی‌گردد و بار شبکه را با تنظیم کردن وزن پیوندها به‌طور پیوسته و بر خط، درون شبکه متعادل می‌کند [۳۳]. وزن پیوندها در همبندی شبکه به‌طور متناوب با نمونه‌برداری بارها روی آن پیوندها به‌دست می‌آید، بنابراین هزینه پیوند به‌طور مستقیم به مقدار ترافیک روی هر پیوند مربوط می‌شود و به‌طور پیوسته با تغییر نیازمندی‌های ترافیک، تغییر می‌کند. این شیوه، مستقل است و به تنظیمات همبندی جایگزین نیاز ندارد و حتی در صورتی‌که اطلاعاتی از تقاضای ترافیکی در دسترس نباشد، به خوبی عمل می‌کند. با این وجود، هزینه تنظیم همبندی‌ها به‌صورت برخط این است که احتمال ناپایداری نسبت به روش‌های پیشین که همبندی ثابت بود، افزایش می‌یابد. علیرغم این، تنظیم وزن پیوندها ساده و شهودی است و حداقل سرباره را سبب می‌شود.

در [۳۴] ابتدا LSP هایی که گره مشترک ندارند، محاسبه می‌شوند و سپس با مقایسه پهنای باند LSP با پهنای باند

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

مجموعه جریان، LSP مناسب به ترافیک اختصاص داده می‌شود. با شبیه‌سازی نشان داده می‌شود که اگر اطلاعات صحیحی از شبکه دردسترس باشد، آن‌گاه ترافیک بیشتری روی پیوندهای با بار کمتر منتقل می‌شود. در [۳۵] شیوه‌ای برای مسیریابی مجدد ترافیک در شبکه با ازدحام ارائه می‌شود. از آنجا که MPLS زمان قابل ملاحظه‌ای را برای مسیریابی مجدد ترافیک صرف می‌کند، برای حل این موضوع، این الگوریتم به شیوه توزیع شده عمل می‌کند و هر گره در نمایش ازدحام شرکت می‌کند. اگر یک پیوند با ازدحام پیدا شد، الگوریتم پیوند، جایگزین مناسب را با مقایسه پیوند با یک آستانه انتخاب می‌کند تا ترافیک دوباره وارد پیوند با ازدحام دیگری نشود.

۳-۲-۱- توزیع بار مبتنی بر تاخیر ابتدا تا انتها

هدف از اجرای این الگوریتم‌ها، کنترل کردن ترافیک ورودی شبکه به‌طور گسترده بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده از متوسط تاخیر یک‌طرفه مسیر بین زوج مسیریاب‌های ورودی و خروجی شبکه می‌باشد. برای اندازه‌گیری تاخیر از بسته‌های کاوشگر استفاده می‌شود، سپس با استفاده از یک معادله شهودی مبتنی بر تاخیر، ترافیک ورودی در بین مسیرها تقسیم می‌شود [۳۶و ۳۷و ۳۸و ۲۶].

در این شیوه تنها مسیریاب‌های ورودی و خروجی اندازه-گیری را انجام می‌دهند، بنابراین از این لحاظ بار عملیاتی مسیریاب‌های درون شبکه کاهش می‌یابد. برای اندازه‌گیری تاخیر، یک بسته کاوشگر از مبدا به سمت مقصد ارسال می‌شود. زمان ارسال بسته در مبدا و زمان دریافت بسته توسط مقصد هر دو مشخص می‌شوند. سپس مبدا برای اجتناب از اثرات گذرای ترافیک، از تاخیر یک طرفه به‌دست آمده متوسط‌گیری نمایی[۳۶] می‌کند.

هرچند با این روش می‌توان ترافیک را متناسب با تغییرات پویای شبکه تقسیم کرد اما به دلایلی این تقسیم ترافیک بهینه نمی‌باشد. اندازه‌گیری مبتنی بر ارسال بسته‌های کاوشگر بدون همکاری شبکه نمی‌تواند اطلاعات صحیحی از وضعیت شبکه فراهم کند چرا که تنها یک نمونه کوتاه‌مدت از وضعیت شبکه را در نظر می‌گیرد. از طرفی پارامتر تاخیر به تنهایی نمی‌تواند به-طور دقیق نشان‌دهنده میزان ازدحام شبکه باشد. شرایطی را در نظر بگیرید که پیوندهای شبکه سرعت‌های متفاوتی داشته‌باشند. انتقال بسته‌ها روی پیوندهای با سرعت کم، مدت زمان بیش‌تری در مقایسه با انتقال بسته‌ها روی پیوندهای با سرعت زیاد نیاز دارد. از طرفی اتصالات کم سرعت معمولا ازدحام کم‌تری دارند. در نتیجه تقسیم ترافیک مطابق با میزان تاخیر مسیرها، منجر به ارسال حجم بیش‌تر ترافیک روی اتصالات با سرعت بالا می‌شود و تنها مقدار کمی بر روی اتصالات کند ارسال می‌شود. این امر سبب افزایش میزان ازدحام می‌گردد و بر کاربردهای حساس به تاخیر مانند ترافیک‌های چندرسانه‌ای صوت و تصویر تاثیر منفی خواهد گذاشت.

۳-۲-۲- توزیع بار مبتنی بر تاخیر ابتدا تا انتها و تلفات بسته

با توجه به مشکلات گفته شده پیرامون استفاده از پارامتر تاخیر برای تقسیم بار، استفاده از سایر پارامترها در کنار پارامتر تاخیر برای فراهم کردن مقیاس درستی از میزان ازدحام شبکه هم‌چون تلفات بسته در طی مسیر ضروری است. در [۲۵] پارامتری معرفی می‌شود که به طور معکوس با تاخیر و مربع ریشه تلفات بسته روی مسیر متناسب است. این الگوریتم به طور موازی تاخیر و تلفات را روی همه مسیرها بین یک مبدا و مقصد محاسبه می‌کند. سپس ترافیک متناسب با پارامتر معرفی شده توزیع می‌گردد. در ادامه این کار [۲۷] یک الگوریتم متعادل کردن بار بر مبنای اندازه‌گیری برخط ایجاد می‌شود که قادر است یکپارچگی مسیر به ازای هر جریان را نگه دارد و ازدحام را حداقل کند.

برای تخمین تلفات بسته مسیر، از بسته‌های کاوشگر استفاده می‌شود. گره ورودی از فیلدی در بسته کاوشگر استفاده می‌کند تا تعداد بسته‌های ارسال شده را مشخص کند. هم‌چنین گره خروجی از فیلد دیگری برای تعیین تعداد بسته‌های رسیده به مقصد استفاده می‌کند. پس از بازگشت بسته کاوشگر، مبدا می‌تواند از روی تعداد بسته ارسال شده و تعداد بسته دریافت شده میزان احتمال تلفات بسته را به‌دست آورد. پس از آن با استفاده از دو پارامتر تاخیر و تلفات بسته و متوسط‌گیری روی آنها ترافیک را روی مسیرهای دردسترس تقسیم می‌کند. هرچند این روش نسبت به روش قبلی بهبود داشته است اما باز هم از چند مشکل اساسی رنج می‌برد.

ارسال بسته‌های کاوشگر به‌طور متناوب از مبدا به مقصد یک ترافیک اضافی به شبکه تزریق می‌کند. اگر میزان این ترافیک زیاد باشد سبب افزایش بار شبکه می‌شود و روی عملکرد ترافیک اصلی اثر نامطلوب خواهد گذاشت. اندازه‌گیری تاخیر مسیر با استفاده از ارسال یک یا چند بسته کاوشگر در هر بازه اندازه‌گیری انجام می‌شود که تاثیری بر ترافیک اصلی نخواهد

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

داشت. درحالیکه نمونه‌برداری کردن از میزان ازدحام شبکه نیازمند ارسال متناوب تعداد بیش‌تر بسته کاوشگر می‌باشد که روی عملکرد ترافیک اصلی مخصوصا در اتصالات با سرعت کم تاثیر منفی خواهد گذاشت.

در هر دو روش گفته شده عیب اساسی در اندازه‌گیری معیارهای مورد نظر تقسیم ترافیک بر اساس بسته‌های کاوشگر و بدون همکاری شبکه می‌باشد. پارامترهای به‌دست آمده بر اساس یک برش لحظه‌ای از شبکه بدست می آیند و نمی‌توانند تغییرات پویای شبکه را به‌درستی نشان دهند. راه‌حل، دخالت دادن مسیریاب‌های درون شبکه برای همکاری در اندازه‌گیری پارامترها می‌باشد. به این منظور می‌توان با تلفیق یک الگوریتم کنترل پذیرش پایانه‌ای و یک شیوه تقسیم بار بهینه در مسیرهای چندگانه، از داشتن مسیرهای با منابع کافی برای فراهم کردن کیفیت سرویس مطلوب مطمئن بود و در ضمن از منابع موجود در شبکه حداکثر استفاده را برد. جدول (۱) روش های متعادل کردن بار معرفی شده را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

امروزه صرفه جویی در مصرف انرژی و ارتباطات سبز از اهمیت ویژه ای برخوردار است لذا علاوه بر تقسیم بندی کلی که از روش‌های توزیع بار ارائه گردید در ادامه روش های توزیع بار آگاه به توان نیز توضیح داده می شوند.

جدول(۱): خلاصه روش‌های متعادل کردن بار

عنوان و توضیح روش	نوع روش	مزایا و معایب روش
نوبت گردشی وزن‌دار	مستقل از حالت شبکه	- سادگی پیاده‌سازی -سرباره محاسباتی کم -مناسب برای مسیرهای با تاخیر یکسان -عملکرد ضعیف برای تاخیرهای متفاوت -عدم مطلوبیت برای کاربردهای اشکال زدائی -درهم ریختگی
ارسال مبتنی بر جریان	مستقل از حالت شبکه	-حفظ ترتیب بسته‌های یک جریان -نگهداری اطلاعات زیاد برای دنبال کردن جریان‌ها
ارسال مبتنی بر جریان-های کوچک	مستقل از حالت شبکه	- حفظ ترتیب بسته‌ها - نگهداری اطلاعات کم برای دنبال کردن جریان‌ها - پیچیدگی محاسباتی
تقسیم بر اساس آدرس	مستقل از حالت شبکه	-تقسیم بار نا متعادل
تقسیم بر اساس تابع درهم ساز به‌طور مستقیم	مستقل از حالت شبکه	- سادگی پیاده‌سازی - حفظ ترتیب بسته‌ها - عدم امکان توزیع غیر یکنواخت و پویا
محاسبه تابع درهم سازی مبتنی بر جدول به‌طور شهودی و ارسال بسته-های کاوشگر	وابسته به حالت شبکه	- هزینه کم -قابلیت پیاده‌سازی عملی -سرعت و گسترش پذیری -دقت ناکافی
محاسبه تابع درهم سازی مبتنی بر جدول به طریق بهینه‌سازی و ارسال بسته‌های کاوشگر	وابسته به حالت شبکه	- دقت بالا - محاسبات زیاد - پیچیدگی - تحمیل سرباره زیاد

۳-۳- توزیع بار آگاه به توان

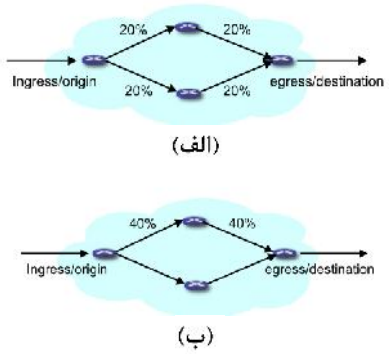
شبکه‌های امروزی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که ترافیک بیشتری را در مطمئن‌ترین شیوه، بدون درنظر گرفتن استفاده بهینه انرژی، منتقل کنند. یک شبکه معمولا پیوندهای اضافه بسیاری می‌سازد تا بتواند خطاهای پیوند و توده های ترافیک را برطرف کند. هر چند این پیوندها و پهنای باند اضافه، قابلیت اطمینان شبکه را افزایش می‌دهند، به شدت سبب کاهش استفاده بهینه از انرژی شبکه می‌شوند. زیرا همه وسایل شبکه با ظرفیت کامل در همه زمان‌ها روشن هستند اما بیشتر اوقات بی‌استفاده هستند. افزونگی زیاد مسیر و استفاده کم پیوندها نیاز به مهندسی ترافیک آگاه به توان را سبب می‌شود. هنگامی که چند مسیر بین یک زوج فرستنده و گیرنده موجود هستند و حجم ترافیک روی هر مسیر کم است، می‌توان ترافیک را روی تعداد مسیر کمتری منتقل کرد به گونه‌ای که سایر مسیرها برای یک دوره زمانی گسترده بتوانند ترافیکی حمل نکنند. مسیریاب‌هایی که پیوند-های بلا استفاده دارند، می‌توانند این پیوندها را در حالت خواب قرار دهند تا انرژی ذخیره گردد.

GreenTE یک مکانیزم مهندسی ترافیک آگاه به توان ارائه می‌دهد که مصرف توان شبکه را کاهش می‌دهد، درحالیکه عملکرد شبکه را در سطح مطلوب نگه می‌دارد [۳۹]. این روش به صورت یک مسئله MIP[۳۷] مدل می‌شود و هدف آن ماکزیمم کردن کل توان ذخیره شده می‌باشد. نیازمندی‌های عملکرد مانند حداکثر میزان بهره وری اتصالات MLU[۳۸] و تاخیر شبکه به عنوان قیدهای مسئله مطرح می شوند.

شیوه‌های مهندسی ترافیک سنتی و مهندسی ترافیک آگاه به توان دو هدف مخالف دارند: درحالیکه اولی سعی می‌کند

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

ترافیک را به‌طور یکنواخت بین پیوندها تقسیم کند، دومی ترافیک را به مجموعه‌ای از پیوندها محدود می‌کند. این مقایسه در شکل (۵) تصویر شده‌است.



شکل (۵): مهندسی ترافیک با دو دیدگاه متفاوت: (الف) سنتی (ب) آگاه به توان [39]

GreenTE برحسب ذخیره توان، استفاده پیوند، تاخیر بسته و پایداری مسیریابی ارزیابی می‌شود. این روش می‌تواند ۲۷٪ تا ۴۲٪ ذخیره توان را روی line-card ها تحت شرایطی که MLU زیر ۵۰٪ باشد و ابعاد شبکه نیز تغییر نکند، ایجاد کند.

روش GreenTE با داشتن همبندی شبکه و ماتریس ترافیک یک راه حل مسیریابی پیدا می‌کند (یعنی پیوندهایی که باید استفاده شوند و حجم ترافیک که باید روی هر پیوند حمل شود.) که ذخیره توان را با خاموش کردن line-card ها حداکثر می‌کند و هم زمان محدودیت‌های عملکرد نظیر میزان بهره وری پیوند و تاخیر بسته را برآورده می‌کند.

به جای جستجوی راه حل در همه مسیرهای ممکن، از مسیرهای انتخابی استفاده می‌شود. مسیرهای انتخابی بر اساس k تا از کوتاه‌ترین مسیرها انتخاب می‌شوند. از آن جا که این k مسیر با استفاده از همبندی شبکه محاسبه می‌شوند، با ماتریس ترافیک تغییری نمی‌کنند و سرباره محاسباتی زیادی ایجاد نمی شود.

در شیوه‌های مهندسی ترافیک سنتی، توزیع متعادل بار هدف اصلی است. به این منظور، پس از به‌دست آوردن پیوند - هایی که باید در وضعیت خواب باشند، مسیرهایی که شامل این پیوندها هستند، از مجموعه اولیه مسیرها حذف می‌شوند و مجموعه جدیدی از مسیرها به‌دست می‌آید که ترافیک می‌تواند روی آن‌ها متعادل توزیع گردد، به این صورت که MLU روی پیوندهایی که روشن هستند حداقل گردد[۳۹].

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسیریابی روی مسیرهای چندگانه مورد بررسی قرار گرفت. اگر بتوان با الگوریتم مناسب توزیع بار، ترافیک هر کاربر را درون شبکه هدایت کرد، این نوع مسیریابی می‌تواند در مقایسه با مسیریابی سنتی تک مسیره موجب بهبود راندمان شبکه گردد. الگوریتم‌های توزیع بار می‌توانند مستقل از حالت شبکه باشند. هرچند توزیع بار مستقل از حالت می‌تواند ترافیک را به مسیرهای چندگانه تقسیم کند، به‌دلیل نداشتن اطلاع از شرایط بار شبکه، امکان وقوع ازدحام وجود دارد. بنابراین الگوریتم‌هایی که به‌صورت پویا و با توجه به حالت فعلی شبکه ترافیک را در مسیرهای چندگانه تقسیم کنند، کارآمدتر هستند. این الگوریتم‌ها از یک تابع اختصاص استفاده می‌کنند. این تابع با شیوه‌های بهینه‌سازی و شهودی قابل دست‌یابی است. شیوه‌های شهودی به دلیل گسترش‌پذیری و محاسبات کم و سهولت پیاده-سازی مورد استفاده عملی قرار می‌گیرند. به منظور استفاده بهینه از انرژی شبکه، الگوریتم‌های توزیع بار آگاه به توان معرفی شدند. درحالیکه شیوه‌های مهندسی ترافیک سنتی سعی می-کنند ترافیک را به‌طور یکنواخت بین پیوندها تقسیم کنند، روش‌های آگاه به توان، ترافیک را به مجموعه‌ای از پیوندها محدود می‌کنند و سایر پیوندها در حالت خواب قرار داده می-شوند.

مراجع

[1] Yaghmaee, M., Bahekmat, M., Khojasteh Toussi, G., "A Novel Fuzzy Logic Base Scheduling Mechanism for Service Differentiation in IP Networks", Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 5, No. 2, pp. 58-68, 2008.

[2] Yaghmaee, M., Menhaj, M., Amintoosi, H., "A Fuzzy Extension to the BLUE Active Queue Management Algorithm", Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 1, No. 3, pp. 3-14, 2005.

[3] Avduche, D., Chiu, A., Elwalid, A., Vidjaja, I., Xiao, X., "Overview and Principles of Internet Traffic Engineering", IETF Internet Draft, 2002, https://www.ietf.org/rfc/rfc3272.txt

[4] Singh, R., Chaudhari, N., Saxena, K., "Load Balancing in IP/MPLS Networks: A Survey", Communications and Network, Vol. 4, No. 2, pp. 151-156, 2012.

[5] Wang, N., Ho, K.H., Pavlou, G., Howarth, M., "An Overview of Routing Optimization for Internet Traffic Engineering", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 10, No. 1, pp. 36-56, 2008.

[6] Lee, G.M., Choi, J.S., "A survey of multipath routing for traffic engineering", Korea, 2002.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

[26] Gao, D., Shu, Y., Liu, S., Yang, O.W.W., "Delay-Based Adaptive Load Balancing in MPLS Networks", IEEE International Conference on Communications, Vol. 2, pp. 1184-1188, 2002.
[27] He, X., Tang, H., Zhu, M., Chu, Q., "Flow-Level Based Adaptive Load Balancing in MPLS Networks", China, 2009.
[28] Long, K., Zhang Z., Cheng S., "Load Balancing in MPLS Traffic Engineering", IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing, Dallas, 2001.
[29] Donoso, Y., Fabregat, R., Marzo, J., "Multi-Objective Optimization Algorithm for Multicast Routing with Traffic Engineering", IEEE ICN, 2004.
[30] Hesselbach, X., Fabregat, R., Baran, B., Donoso, Y., Solano F., Huerta, M., "Hashing Based Traffic Partitioning in a Multicast-Multipath MPLS Network Model", Colombia, 2005.
[31] Kandula, S., Katabi, D., Davie, B., and Charny, A., "Walking the Tightrope: Responsive yet Stable Traffic Engineering", SIGCOMM, 2005.
[32] Wang, H., Xie, H., Qiu, L., Yang, Y. R., Zhang, Y., Greenberg, A., "Cope: Traffic Engineering in Dynamic Networks", ACM SIGCOMM, 2006.
[33] Sundaresan, S., Lumezanu, C., Feamster, N., François, P., "Autonomous Traffic Engineering with Self-Configuring Topologies", SIGCOMM, pp. 417-418, 2010.
[34] Tang, J., Siew, C.K., Feng, G., "Parallel LSPs for Constraint-Based Routing and Load Balancing in MPLS Networks", IEEE Proceedings of Communications, Vol. 152, No. 1, pp. 6-12, 2005.
[35] Mohamed, S., Elsayed, K., "Distributed Explicit Partial Rerouting (DEPR) Scheme for Load Balancing in MPLS Networks", 11th IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 884-889, Sardinia, 2006.
[36] Cui, B., Yang, Z., Ding, W., "A Parallel Label Switch Paths Traffic Allocation Algorithm Based On Minimum Utilization Of Resource", Journal Of Beiing University Of Posts And Telecommunications, Vol. 28, No. 2, pp. 21-24, 2005.
[37] Zhao, Z., "Flow-Level Multipath Load Balancing in MPLS Network", IEEE International Conference on Communications, 2004.
[38] Xu, S., Wei, D., "Adaptive Traffic Distribution on Parallel LSPs Based on the Minimization of Total Traffic Delay", ACTA ELECTRONICA SINICA, Vol. 31, No. 1, 2003.
[39] Zhang, M., Yi, C., Liu, B., Zhang, B., "GreenTE: Power-Aware Traffic Engineering", Network Protocols, pp. 21-30, 2010.
[7] Vutukury, S., Garcia-Luna-Aceves, J.J., "A Simple Approximation to Minimum-Delay Routing", SIGCOMM '99, pp. 227-238, 1999.
[8] Castineyra, I., Chiappa, N., Steenstrup, M., "The Nimrod Routing Architecture", IETF RFC1992, 1996, https://tools.ietf.org/html/rfc1992
[9] Moy, J., "OSPF version 2", RFC2328, 1988.
[10] Narvaez, P., Siu, K.Y., "Efficient Algorithms for Multi-Path Link State Routing", ISCOM, Taiwan, 1999.
[11] Palakurthi, H.S., "Study of Multipath Routing for QoS Provisioning", 2001.
[12] Vutukury, S., Garcia-Luna-Aceves, J.J., "MDVA: A Distance-Vector Multipath Routing protocol", INFOCOM, Vol. 1, pp. 557-564, 2001.
[13] Vutukury, S., Multipath Routing Mechanisms for Traffic Engineering and Quality of Service in the Internet, Ph.D. Thesis, University of California, 2001.
[14] Kazmi, N., Koster, A., Branke, J., "Formulations and Algorithms for the Multi-Path Selection Problem in Network Routing", ICUMT, pp. 738 – 744, 2012.
[15] He, J., Rexford, J., "Towards Internet-Wide Multipath Routing", Network IEEE, Vol. 22, No.2, pp. 16-21, Princeton University, 2008.
[16] Cao, Z., Wang, Z., Zegura, E., "Performance of Hashing-Based Schemes for Internet Load Balancing", IEEE INFOCOM, Vol.1, pp. 332-341, Israel, 2000.
[17] Villamizar, C., "OSPF Optimized Multipath (OSPF-OMP)", Internet Draft, 1999.
[18] Thaler, D., Hopps, C., "Multipath Issues in Unicast and Multicast Next-Hop Selection", RFC 2991, 2000, http://www.hjp.at/doc/rfc/rfc2991.html
[19] Takács, A., Császár, A., Szabó, R., Henk, T., "Generic Multipath Routing Concept for Dynamic Traffic Engineering", IEEE Communications Letters, Vol. 10, No. 2, pp. 126-128, 2006.
[20] Kandula, S., Katabi, D., Sinha, S., Berger, A., "Dynamic Load Balancing Without Packet Reordering", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2007.
[21] Hesselbach, X., Fabregat, R., Kolias, C., "The Impact Over the Packets Sequence at the Output Interface in Load Balancing Strategies", Transparent Optical Networks, pp. 263 – 266, 2006.
[22] International Organization for Standardization, "Information Processing Systems: Data Communication High-Level Data Link Control Procedure Frame Structure", ISO 3309, 1984.
[23] Elwalid, A., Jin, C., Low, S., Widjaja, I., "MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering", IEEE INFOCOM, Vol. 3, pp. 1300-1309, 2001.
[24] Abrahamsson, H., Ahlgren, B., Alonso, J., Andersson, A., Kreuger, P., "A Multi Path Routing Algorithm for IP Networks Based on Flow Optimization", Lecture Notes in Computer Science, pp. 135-144, 2002.
[25] Yuan, G., Chen, Y., Wei, Y., Nie, S., "A Distributable Traffic-Based MPLS Dynamic Load Balancing Scheme", Asia-Pacific Conference on Communications, pp. 684-689, Western Australia, 2005.

زیرنویس‌ها

[1] Jitter
[2] Fast failure recovery
[3] Intra-Domain
[4] Inter-Domain

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

[5] Online
[6] Offline
[7] Unicast
[8] Multicast
[9] Path Quantity
[10] Path Independence
[11] Equal Cost Multi-Path
[12] Multiple Path Algorithm
[13] Discount Shortest Path Algorithm
[14] Capacity Removal Algorithm
[15] Multipath Distance Vector Algorithm
[16] Multipath Partial Dissemination Algorithm
[17] Quality Multiple Partial Dissemination Algorithm
[18] Constrain Shortest Path First
[19] Time-dependent
[20] State-dependent
[21] Weighted Round Robin
[22] Round Trip Time
[23] Fast Retransmit
[24] Debugging
[25] Disruption
[26] Hash
[27] Flowlet
[28] Modulo-N Hash
[29] Hash Threshold
[30] Highest Random Weight
[31] Cyclic Redundant Checksum
[32] Granularity
[33] Oscillation
[34] Optimised MultiPath
[35] Core-State-Limited Load Sharing
[36] Exponential Weighted Moving Average (EWMA)
[37] Mixed Integer Programming
[38] Maximum Link Utilization

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-05-20]