به نام خدا

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی – گروه کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارائه روشی برای کاهش انسداد درخواست‌ها در محاسبه مسیر انتها به انتها در شبکه‌های چند دامنه‌ای

تهیه کننده:

فاطمه بنائی

استاد راهنما :

دکتر محمدحسین یغمائی مقدم

تابستان ۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به

پدر بزرگوار

و

مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

تقدیر و تشکر:

سپاس و ستایش پروردگاری را که آفریدگار هستی و سرآغاز دانش‌هاست. او که سوق دهنده مسیر زندگی انسان‌ها به سوی آرزوهای قلبی و اهداف نیکی است و در این راه بهترین یار و یاور آنان است. بسی شکر که او مرا در زمره جویندگان علم قرار داد تا از این راه درس‌های زندگی را بیاموزم و دست‌یابی به موفقیت در سایه تلاش و صبر و پشتکار را تجربه کنم. اینک در سایه الطاف الهی و در اتمام این پایان نامه، بر خود لازم می‌دانم ، از خانواده مهربان و فداکارم که در تمام مراحل زندگی عاشقانه پشتیبان و همراهم بوده‌اند. نهایت تشکر و سپاسگذاری خود را ابراز نمایم.

همچنین از زحمات استاد ارجمند جناب آقای دکتر یغمایی مقدم، که بی‌شک بدون راهنمایی‌ها و همراهی‌های ایشان انجام این تحقیق میسر نبود، ، سپاسگذارم.

از تمامی سروران و عزیزانی که در انجام این پایان نامه من را همراهی کردند، به خصوص خانم مهندس فرزانه جهت کمک های شایان ذکرشان کمال تشکر را دارم.

چکیده

در طول چند دهه اخیر، الگوهای مسیریابی جدیدی بر اساس نظارت بر سیاست و کیفیت سرویس پیشنهاد شده است. هدف الگوریتم‌های محاسبه مسیر مبتنی بر قید، یافتن مسیری است که بتواند نیازهای کیفیت سرویس را ارضا نماید. این امر منجر به کاهش هزینه‌ها و تعادل بار شبکه خواهد شد. الگوریتم‌های محاسبه مسیر در شبکه‌های میان دامنه‌ای بزرگ، با چالش‌های جدیدی روبرو می‌شوند. فرآیند محاسبه مسیر در این موارد پیچیده می‌تواند به گره‌های خارجی مانند PCEها محول شود. بدلیل زمان پاسخ طولانی در موارد میان دامنه‌ای، الگوهای محاسبه مسیر بیشتر مستعد انسداد می‌باشند. برای برطرف کردن این مشکل در این پایان نامه الگوریتمی برای افزایش تعداد درخواست‌های موفق پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده بیانگر آن است که الگوریتم پیشنهادی همچنین باعث افزایش بهره‌وری کلی شبکه می‌شود. مزیت اصلی این الگوریتم کاهش سربار انتشار درخواست‌ها می‌باشد. بدین ترتیب بار ترافیکی شبکه در این روش کاهش چشمگیری می‌یابد.

کلمات کلیدی: محاسبه مسیر، میان‌دامنه‌ای، PCE، انسداد مسیر، انتشار.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه ۱
1-1- مفاهیم اساسی و جنبه‌های مهم ۳
1-2- مسیریابی میان دامنه‌ای ۷
1-2-1- مهندسی ترافیک میان دامنه‌ای با استفاده از پروتکل BGP ۱۰
۱-۲-۲- معماری MPLS و توسعه آن در شبکه‌های میان دامنه‌ای ۱۱
۱-۲-۲-۱- پروتکل رزرو منابع RSVP-TE ۱۳
۱-۳- معرفی معماری PCE ۱۴
۱-۳-۱- انگیزه‌های حرکت به سمت معماری مبتنی بر PCE ۱۵
۱-۳-۲- مسیریابی میان دامنه‌ای مبتنی بر PCE ۱۷
۱-۳-۵-۱- مدل نظیر به نظیر ۱۷
۱-۳-۵-۲- مدل سلسله مراتبی ۱۷
۱-۴- انگیزه‌ها و چالش‌های موجود ۱۸
۱-۵- اهداف و دامنه تحقیق ۱۹
فصل دوم : کارهای مرتبط ۲۱
۲-۱- محاسبه مسیرمیان دامنه‌ای با روش Per-Domain ۲۲
۲-۲- محاسبه مسیر میان دامنه‌ای با روش BRPC ۲۴
۲-۳- محاسبه مسیر میان دامنه‌ای با روش PCF ۲۵
۲-۴- محاسبه مسیر میان دامنه‌ای با روش پیش رزرو منابع ۲۶
۲-۴-۱- جزئیات الگوی کاهش انسداد درخواست‌ها ۲۷

۲-۴-۲- مثال از الگوریتم محاسبه مسیر با پیش‌رزرو منابع ۲۹
۲-۴-۳- مکانیزم پیشگیری از حلقه ۳۰
فصل سوم : الگوریتم محاسبه مسیر پیشنهادی ۳۲
۳-۱- احتمال انسداد ۳۳
۳-۲- عامل‌های موثر بر زمان پاسخ محاسبه مسیر ۳۴
۳-۳- تحلیل زمان پاسخ و احتمال انسداد ۳۶
۳-۴- نقاط ضعف الگوی پیش‌رزرو منابع و روش‌های بهبود آن ۳۹
۳-۴-۱- استفاده از زمان رفت و برگشت (RTT) در تنظیم تایمر ۴۱
۳-۴-۲- استفاده از روش‌های یادگیری برای تخمین تایمر ۴۳
۳-۵- الگوریتم محاسبه مسیر پیشنهادی ۴۴
۳-۵-۱- مکانیزم تنظیم تایمر ۴۷
۳-۵-۲- مکانیزم کاهش سربار انتشار ۵۱
۳-۵-۲-۱- تحلیل زمانی الگوریتم کاهش سربار ۵۲
۳-۵-۲-۲- تحلیل نحوه پیادهسازی الگوریتم و مزایا و معایب آن ۵۶
۳-۶- الگوریتم محاسبه مسیر چند معیاری ۵۷
۳-۶-۱- پیکره‌بندی تایمر ۵۹
۳-۶-۲- مکانیزم کاهش رزرو منابع ۶۰
۳-۶-۳- محاسبه هزینه مسیر چند معیاری ۶۲
فصل چهارم : ارزیابی نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی ۶۵
۴-۱- معیارهای ارزیابی ۶۶
۴-۲- سناریوهای تعریف شده ۶۸

۴-۳- نتایج شبیه‌سازی ۶۸
۴-۳-۱- سناریو اول: پیاده‌سازی مکانیزم تنظیم تایمر ۶۸
۴-۳-۲- سناریو دوم: پیاده‌سازی هر دو مکانیزم تنظیم تایمر و کاهش سربار انتشار ۷۱
۴-۳-۳- سناریو سوم: پیاده‌سازی الگوریتم چند معیاری ۷۵
۴-۳-۴- سناریو چهارم: ارزیابی عملکرد مکانیزم تنظیم تایمر چندمعیاری ۷۷
۴-۳-۵- سناریو پنجم: ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی چندمعیاری..... ۷۹
۴-۳- مقایسه پیچیدگی حافظه مصرفی در روش پایه و روش پیشنهادی..... ۸۱
فصل پنجم : نتیجه‌گیری ۸۳
۵-۱- کارهای آتی ۸۵
منابع و مآخذ: ۸۶

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل ۱-۱. اکوسیستم ارتباطی جهان [SHI10]. ۴

شکل ۱-۲- نمونهای از شبکه میاندامنهای [CHA09]. ۷

شکل ۱-۳- دسته بندی قیود محاسبه مسیر [SHI10]. ۱۹

شکل ۲-۱- محاسبه مسیر Per-Domain [KIM2012]. ۲۳

شکل ۲-۲- محاسبه مسیر با روش BRPC [Kim 2012]. ۲۴

شکل ۲-۳- مکانیزم رزرو منابع. ۲۷

شکل ۲-۴- مثالی از شبکهای که برای توصیف الگوریتم پیشرزرو استفاده شده است [SHI10]. ۲۹

شکل ۲-۵- پیامهای سیگنالینگ برای محاسبه و چیدمان مسیر [SHI 2010]. ۳۰

شکل ۳-۴- مقایسه مراحل محاسبه مسیر در دو روش (الف) پیشرزرو (ب) یادگیری. ۴۴

شکل ۳-۵- شبه کد الگوریتم پیشنهادی. ۴۶

شکل ۳-۶- مثالی از مکانیزم تنظیم تایمر الف) قبل از محاسبه تایمر گرهها ب) بعد از محاسبه تایمر گرهها. ۵۰

شکل ۳-۷- شبه کد الگوریتم تنظیم پویای تایمر با توجه به شرایط شبکه. ۵۱

شکل ۳-۸- مثالی از نحوه انتشار پیام و هرس آن. ۵۳

شکل ۳-۹- الف) مثال سادهای از روش کاهش انتشار ب)جدول محلی گره C با دریافت پیام از A ج) جدول محلی گره C با دریافت پیام از B. ۵۴

شکل ۳-۱۰- شبه کد الگوریتم هرس کردن پیامها. ۵۶

شکل ۳-۱۱- فلوچارت الگوریتم محاسبه مسیر پیشنهادی. ۶۴

شکل ۴-۱- توپولوژی استفاده شده درپیادهسازی الگوریتم. ۶۷

شکل ۴-۲- مقایسه نرخ پاسخهای موفق با افزودن مکانیزم تنظیم تایمر به الگوریتم پایه. ۶۹

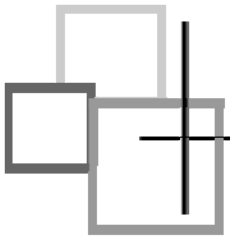
شکل ۴-۳- مقایسه نرخ انسداد درخواستها با افزودن مکانیزم تنظیم تایمر به الگوریتم پایه. ۷۰
شکل ۴-۴- مقایسه بهرهوری کلی شبکه با افزودن مکانیزم تنظیم تایمر به الگوریتم پایه. ۷۱
شکل ۴-۵- مقایسه بار ترافیکی شبکه با افزودن مکانیزم تنظیم تایمر به الگوریتم پایه. ۷۱
شکل ۴-۶- مقایسه نرخ پاسخهای موفق در مکانیزم تنظیم تایمر و هرس. ۷۲
شکل ۴-۷- مقایسه نرخ انسداد درخواستها در مکانیزم تنظیم تایمر و هرس. ۷۲
شکل ۴-۸- مقایسه بهروهوری کلی شبکه در مکانیزم تنظیم تایمر و هرس. ۷۳
شکل ۴-۹- مقایسه بار ترافیکی شبکه در مکانیزم تنظیم تایمر و هرس. ۷۳
شکل ۴-۱۰- هزینه مسیر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم پایه. ۷۵
شکل ۴-۱۱- مقایسه تعداد منابع رزرو شده الگوریتم پایه. ۷۵
شکل ۴-۱۲- مقایسه نرخ پاسخهای موفق الگوریتم پایه. ۷۶
شکل ۴-۱۳- مقایسه نرخ انسداد درخواستها در الگوریتم پایه. ۷۶
شکل ۴- ۱۴- مقایسه بهرهوری کلی شبکه الگوریتم پایه. ۷۷
شکل ۴-۱۵- مقایسه نرخ پاسخهای موفق روش پایه و روشهای پیشنهادی. ۷۷
شکل ۴-۱۶- مقایسه نرخ انسداد در روش پایه و روشهای پیشنهادی. ۷۸
شکل ۴-۱۷- مقایسه بهرهوری شبکه در الگوریتم پایه و الگوریتمهای پیشنهادی. ۷۸
شکل ۴-۱۸- مقایسه نرخ پاسخ‌های موفق در الگوریتم پایه و روش‌های پیشنهادی. ۸۲
شکل ۴-۱۹- مقایسه نرخ انسداد درخواست‌ها در الگوریتم پایه و روش‌های پیشنهادی. ۸۲
شکل ۴-۲۰- مقایسه بار ترافیکی شبکه در الگوریتم پایه و روش‌های پیشنهادی ۸۲
شکل ۴-۲۱- مقایسه بهره‌وری شبکه در الگوریتم پایه و روش‌های پیشنهادی. ۸۲
شکل ۴-۲۲- مقایسه حافظه مصرفی در روش پایه و پیشنهادی. ۸۲

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول ۳-۱- عامل‌های موثر بر زمان پاسخ محاسبه مسیر. ۳۸

جدول ۳-۱- عملیات هرس. ۶۴



فصل اول
مقدمه

برای افزایش بهره‌وری از زیرساخت شبکه ارتباطی کنونی، اپراتورها و فراهم‌کنندگان سرویس در حال حرکت به سوی هدف مشترک ایجاد سرویس‌های ارتباطی جدید جهانی می‌باشند. این سرویس‌ها کاملا با سرویس‌های کنونی که توسط شبکه IP حمایت می‌شوند، تفاوت دارند. این سرویس‌ها شامل صوت، داده و تصویر می‌باشند که آنها را حساس به شرایط شبکه می‌نماید. در آینده نزدیک شبکه IP و اینترنت فعلی باید طوری تطبیق یابند که بتوانند در مقابل بخش عظیمی از ترافیک چند رسانه‌ای مقاومت نمایند. این نوع از ترافیک بلادرنگ نیازمند پشتیبانی از کیفیت سرویس انتها به انتها[1] می‌باشد. با وجود توجهات محققین به مسائل کیفیت سرویس، شبکه‌های IP کنونی بهترین تلاش[2] بوده و کیفیت سرویس را تضمین نمی‌نمایند. سرویس‌های بهترین تلاش که توسط شبکه IP فراهم می‌شوند، ممکن است برای ترافیک‌های

[1] End to end
[2] Best-effort

غیرحساس به تاخیر، مانند ایمیل یا ترافیک وب مناسب باشند، اما برای تامین نیازمندی‌های ترافیک‌های نوع جدید که مستلزم تضمین کارایی می‌باشند، فراهم‌کنندگان سرویس باید بتوانند بطور موثر و کارا به شبکه نظارت، و آن را مدیریت نمایند *[WAN01]*.

یک روش برای پشتیبانی از کیفیت سرویس، استفاده از مکانیزم‌های مهندسی ترافیک[۱] می‌باشد. مهندسی ترافیک عبارت است از تخصیص مقدار صحیح ترافیک به منابع شبکه، بطوریکه نیازهای اساسی کیفیت سرویس مانند دسترس‌پذیری[۲]، تاخیر، واریانس تاخیر[۳]، نرخ اتلاف بسته[۴] و... تامین شوند. بعبارت دیگر، مهندسی ترافیک شامل توزیع بهینه ترافیک بین منابع شبکه می‌باشد و جنبه‌ای از مهندسی شبکه در نظر گرفته می‌شود که به مدیریت موضوعات ارزیابی کارایی و بهینه‌سازی شبکه IP کنونی می‌پردازد. بهبود کارایی بدست آمده توسط مهندسی ترافیک می‌تواند در سطح ترافیک و یا منبع باشد. اینکار از طریق آدرس‌دهی مناسب ترافیک و استفاده صحیح و اقتصادی از منابع شبکه بدست می‌آید *[SUR07]*.

بهینه‌سازی مهندسی ترافیک، می‌تواند از طریق مدیریت ظرفیت[۵] و مدیریت ترافیک بدست آید. مدیریت ظرفیت شامل برنامه‌ریزی ظرفیت، کنترل مسیریابی و مدیریت منبع می‌باشد. از جمله منابع شبکه می‌توان پهنای‌باند لینک، فضای بافر و منابع محاسباتی را نام برد. مدیریت ترافیک شامل توابع کنترل ترافیک همانند وضعیت سنجی ترافیک[۶]، مدیریت صف، زمانبندی و ارزیابی ازدحام می‌باشد *[AWD02]*.

یکی از چالش‌های اساسی در مهندسی ترافیک، مسیریابی بهینه ترافیک می‌باشد تا با توجه به مجموعه‌ای از قیود بهترین توزیع ترافیک را بین منابع شبکه داشته باشیم. از این فرآیند بعنوان مسیریابی اولین

---

[1] Traffic engineering
[2] Availability
[3] Jitter
[4] Packet loss
[5] Capacity management
[6] Traffic conditioning

کوتاهترین مسیر مقید[1] نام برده می‌شود. قیود ضروری می‌باشند زیرا یک مسیر بهینه معمولا باید بسیاری از نیازمندی‌های تکنیکی یا مبتنی بر سیاست را برطرف نماید. در طول زمان چالش محاسبه مسیر مهندسی ترافیک توسعه یافته و اصول آن در تکنولوژی‌ها و معماری شبکه‌های خاص بکار برده شده است. در هر حال، بنا به پیچیدگی این مساله راه‌حل‌های موجود چکیده‌ای از چالش‌های پیشرو را حل می‌کنند و طبیعت انتها به انتهای مساله را نادیده می‌گیرند *[SHI10]*.

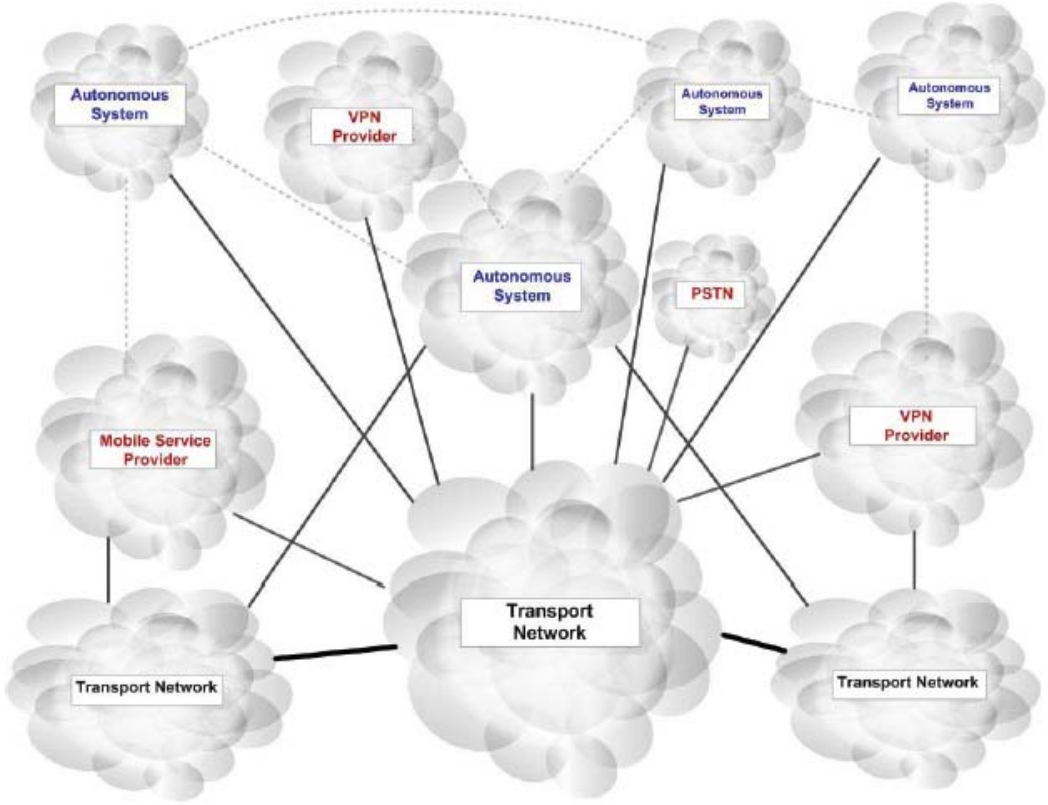
در این پایان نامه یک راه‌حل توزیع شده برای مساله محاسبه مسیر در شبکه‌های MPLS و GMPLS پیشنهاد داده شده است. با توجه به این حقیقت که ترافیک IP معمولا قبل از رسیدن به مقصد از چندین دامنه مدیریتی عبور می‌کند، در این راه‌حل طبیعت چند دامنه‌ای بودن در نظر گرفته شده است.

۱-۱- مفاهیم اساسی و جنبه‌های مهم

چالش‌های کیفیت سرویس IP انتها به انتها در شبکه‌های نسل جدید، بیشتر بدلیل طبیعت شبکه-های ارتباطی می‌باشد. شکل ۱-۱ یک دید کلی از اکوسیستم ارتباطی جهانی را نشان می‌دهد، که بصورت چند دامنه‌ای می‌باشد. یک سیستم خودمختار[2] (AS) در واقع یک شبکه IP است که توسط پروتکل دروازه مرزی[3] به شبکه‌های IP مدیریتی دیگر متصل می‌باشد. امروزه اینترنت جهانی تقریبا از ۴۵۰۰۰ سیستم خودمختار تشکیل شده است *[HUS09]*. ASها توسط توافق نامه‌های جفتی[4] به هم متصل می‌شوند. ترافیک IP قبل از رسیدن به مقصد خود بطور متوسط از دو تا هشت تا از این AS ها عبور می‌کند *[PAN02]*. از اینرو نیاز به مهندسی ترافیک میان دامنه‌ای مطرح می‌شود.

---

[1] Constraint Shortest Path First routing (CSPF)
[2] Autonomous system
[3] Border Gateway Protocol
[4] Peering agreements



شکل ۱-۱. اکوسیستم ارتباطی جهان [SHI10].

بنابراین تمامی شبکه‌های لایه بالایی برای اتصال به شبکه انتقال تکیه دارند، لایه‌های بالایی شامل ASها و فراهم‌کننده‌های سرویس اینترنت (ISP)، فراهم کنندگان شبکه خصوصی مجازی (VPN)، شبکه‌های تلفنی موبایل و شبکه‌های تلفن سوئیچ عمومی (PSTN) می‌باشند. شبکه‌های انتقال بطور اساسی از سوئیچ‌های نوری تشکیل شده‌اند و از مالتی پلکس تقسیم زمانی[1] در استانداردهای شبکه‌های نوری همگام (SONET) یا سلسله مراتبی دیجیتال همگام (SDH) استفاده می‌کنند. یک شبکه انتقال می‌تواند به چندین شبکه لایه پایین‌تر سرویس دهد. هر لایه شبکه ترافیک خود را به لایه‌های زیرین تحمیل می‌کند *[SHI10]*.

[1] Time division multiplexing (TDM)

محیطی که ترافیک از آن عبور می‌کند توصیف شد، اما اشاره به اینکه چگونه پارامترهای کیفیت سرویس در مسیریابی تاثیر می‌گذارند و اینکه چگونه محاسبه مسیر می‌تواند بر چالش‌های کیفیت سرویس غلبه کند، نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. اولین پارامتر مهم کیفیت سرویس، پهنای‌باند می‌باشد که در صورت عبور ترافیک از مسیرهایی با پهنای باند کافی، تضمین خواهد شد. مهندسی ترافیک قادر به رزرو پهنای‌باند برای ترافیک‌ها، در نتیجه تضمین این پارامتر می‌باشد. پارامتر دیگرکیفیت سرویس، تاخیر می‌باشد و در صورتی تضمین می‌شود که مسیر از لینک‌های فاقد ازدحام که از لحاظ مسافت خیلی طولانی نباشند، عبور نماید. این مقوله نیز توسط مهندسی ترافیک تضمین می‌شود. پارامتر کیفیت سرویس جیتر[1]، در مسیری که از لینک‌های فاقد ازدحام عبور می‌کند، تضمین می‌شود. بعلاوه اگر تمامی بسته‌ها از مسیر یکسانی عبور کنند، از لرزشی که توسط مسیریاب‌هایی با تاخیرهای متفاوت ایجاد می‌شود، جلوگیری می‌نماید. پارامتر کیفیت سرویس اتلاف بسته نیز بطریق مشابهی تضمین می‌شود. دسترس‌پذیری معیارهای کیفیت سرویس، معمولا بستگی به توانایی مسیریابی یا مسیریابی مجدد ترافیک در موارد خطای لینک یا گره دارد. این نیز می‌تواند با یافتن مسیرهای مجزای اولیه و پشتیبان بدست می‌آید *[CHA09]*.

ترافیک IP بدون اتصال می‌باشد، یعنی هیچ مسیر انتها به انتهای اولیه قبل از مسیریابی بسته‌ها وجود ندارد. این ترافیک معمولا توسط پروتکل‌های مسیریابی مشهور OSPF، IS_IS و BGP مسیریابی می‌شود. این پروتکل‌ها بصورت توزیع‌شده در نودهای مسیریاب پیاده‌سازی می‌شوند و بصورت بهترین تلاش عمل می‌کنند. بنابراین، مهندسین شبکه برای کنترل مسیر بسته‌های IP باید از روش‌های دیگری استفاده نمایند. اینکار با موفقیت تکنولوژی تعویض برچسب چند پروتکلی[2] (MPLS) آغاز شد *[ROS01]*. MPLS یک تکنولوژی ارسال بسته می‌باشد که سوئیچ برچسب بین لایه ۲ و لایه ۳ در مدل OSI را انجام می‌دهد. هدف اصلی MPLS ارسال سریعتر بسته می‌باشد که امروزه با وجود سخت‌افزارهای پیشرفته‌تر قابل

[1] Jitter
[2] Multiprotocol label switching

دستیابی است. در حال حاضر، MPLS بهترین تکنولوژی برای مهندسی ترافیک و مسیریابی بسته‌ها در مسیرهای CSPF می‌باشد. MPLS برای چیدمان هر مسیر سوئیچ برچسب (LSP) بر پروتکل RSVP-TE *[AWD01]* تکیه دارد.

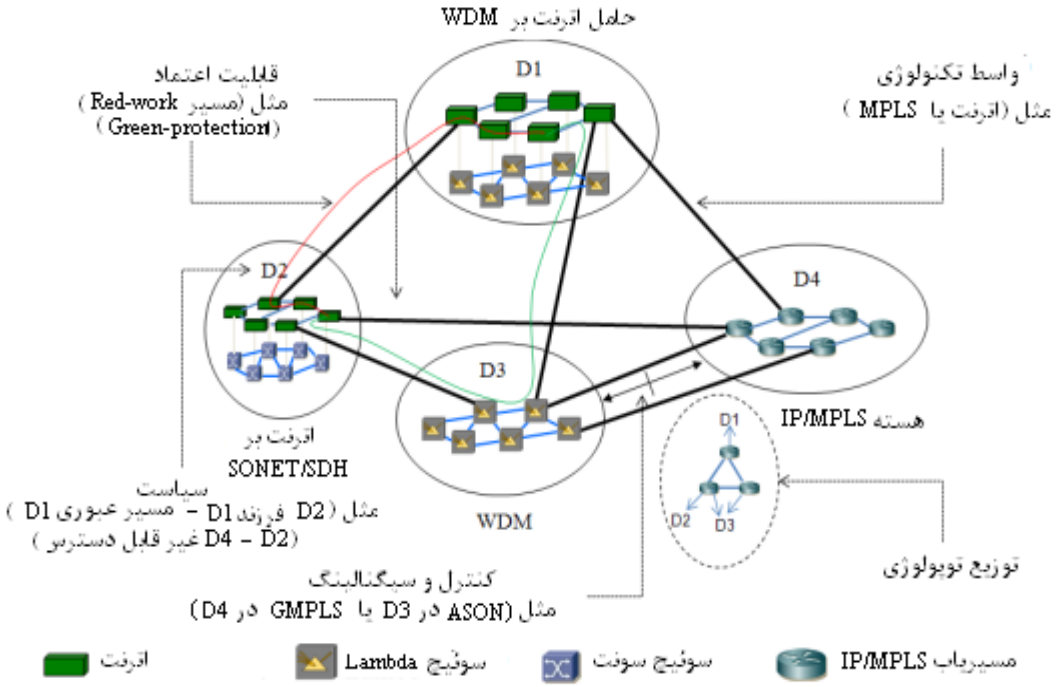
با توجه به موفقیت MPLS برای تامین کیفیت سرویس در مسیریابی بسته‌های IP در LSPهای مهندسی ترافیک، این تکنولوژی به فرم کلی خود توسعه داده شد که بعنوان GMPLS شناخته می‌شود *[MAN04]*. در حالت کلی GMPLS یک سطح کنترلی توزیع‌شده و خودکار معرفی می‌نماید که برای تکنولوژی‌های مختلفی که لایه‌های سوئیچینگ نامیده می‌شوند، قابل استفاده می‌باشد. سطح کنترلی GMPLS اجازه مدیریت خودکار منابع، کشف خودکار منابع و همچنین تامین و بازیافت پویای منابع را فراهم می‌آورد. این عملکرد GMPLS بر بهینه‌سازی مسیر میان‌دامنه‌ای منطبق می‌باشد.

مفهوم انتها به انتها در این پایان‌نامه اشاره به مسیریابی از اولین AS به مقصد می‌باشد. ترافیک در نظر گرفته شده ، اشاره به اجتماع جریان‌های چندین کاربر نهایی دارد. راه‌حل پیشنهادی بر اساس معماری عنصر محاسبه مسیر[1] تعریف شده توسط *[FAR06a]* می‌باشد. این استانداردی است که توسط IETF پیشنهاد شده است که نودهای PCE و یک پروتکل مبتنی بر TCP را تعریف می‌کند که به آنها اجازه ارتباط با دیگر PCEها در دامنه‌های یکسان و متفاوت را می‌دهد. هدف، محاسبه یک مسیر انتها به انتها برای چیدمان LSP میان‌دامنه‌ای می‌باشد. یک PCE می‌تواند درون یک مسیریاب قرار گرفته، و یا بعنوان یک موجودیت مستقل عمل نماید. PCE درخواست محاسبه مسیر خود را از عنصر درخواست مسیر[2] دریافت می‌کند. زمانیکه یک PCE درخواست مسیری را به PCE دیگر ارسال کند، می‌تواند بعنوان یک PCC در نظر گرفته شود. پروتکل ارتباطی PCEP *[VAS09a]* تبادل موثر و کارا بین PCC و PCE را تضمین می‌نماید.

[1] Path computation element (PCE)
[2] Path computation client (PCC)

۱-۲- مسیریابی میان دامنه‌ای

با توجه به گسترش فراگیر اینترنت همراه با افزایش درخواست تخصیص شبکه‌های خصوصی بزرگ، اتصال مقیاس‌پذیر چندین دامنه و حامل با همدیگر امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. همچنین پیدایش بسیاری از تکنولوژی‌های مسیریابی و سوئیچینگ در سطوح مختلف مدل OSI منجر به تنوع در انتخاب حامل زیرساخت‌های شبکه شده است. شکل ۱-۲ نمونه‌ای از شبکه میان دامنه‌ای در لایه‌های زیرین IP را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲- نمونه‌ای از شبکه میان‌دامنه‌ای [CHA09].

همانطور که در شکل دیده می‌شود، این شبکه‌ها دارای چندین ویژگی می‌باشد. اولین ویژگی شبکه-های میان دامنه‌ای، همزیستی چندین تکنولوژی متفاوت مانند WDM، SDH/SONET و اترنت در کنار

یکدیگر می‌باشد. در این شبکه‌ها یک تکنولوژی عملی که بتواند جایگزین تمام راه‌حل‌های انتقال دیگر باشد، وجود ندارد. ویژگی دوم، نیاز به سازگاری میان تکنولوژی‌های استفاده شده در دامنه‌ها، برای مسیریابی ترافیک بین آن‌ها، به هنگام اتصال فیزیکی میان دامنه‌ها می‌باشد. از ویژگی‌های دیگر این شبکه-ها، حضور چندین سطح کنترلی مانند GMPLS و AOSN همراه با استانداردهای IETF و ITU-T است که نیازمند قابلیت همکاری در سیگنالینگ و کنترل در اتصال چندین دامنه می‌باشند. سرانجام در بازارهای رقابتی شدید، حاملان خواستار کنترل بر مصرف منابع شبکه خود در سناریوهای چند دامنه‌ای می‌باشند. بنابراین تصمیماتی مانند مسیریابی، کنترل تصدیق، هزینه و غیره نه تنها توسط پارامترهای شبکه بلکه تحت تاثیر سیاست بین حاملان مختلف قرار گرفته می‌شود. در ادامه مشکلاتی که در محیط میان دامنه‌ای وجود دارند بطور خلاصه بیان شده است *[CHA09]*.

- *توزیع توپولوژی*[1] *و مسیریابی:* اندازه شبکه جهانی، چالشی را برای مسیریابی در شبکه‌های چند دامنه‌ای تحمیل کرده است. در حالیکه پروتکل‌های بردار مسیر[2] مانند BGP بطور گسترده برای شبکه IP مورد استفاده قرار می‌گیرد، مسیریابی مبتنی بر قید نیازمند این است که پروتکل مسیریابی اطلاعات ضروری درباره مسیر انتها به انتها را داشته باشد. معمولا دامنه‌های مختلف به دلایل مدیریتی توپولوژی کامل و اطلاعات وضعیت لینک را بین هم به اشتراک نمی‌گذارند. بنابراین نیازمند مکانیزمی برای مسیریابی با کیفیت سرویس، بدون افشای اطلاعات توپولوژی می-باشیم.
- *تمایز سرویس*[3] *:* سرویس‌ها و کاربردهای مختلف مانند IPTV ، VPN و غیره تقاضاهای متفاوتی در شبکه دارند. با وجود مجموعه‌های مختلفی از کاربردها در یک شبکه یکسان، یک مدل

[1] Topology dissemination
[2] Path vector
[3] Service differentiation

مسیریابی چند دامنه‌ای باید قادر به برقراری مسیرهایی باشد که بتوانند مجموعه‌ای از قیود را ارضا نماید. در حالیکه بیشتر تکنولوژی‌های حمل، مکانیزمی برای تحویل کیفیت سرویس دارند ولی بدلیل تکنولوژی‌های مختلف، معیارهای اندازه‌گیری متفاوت در دامنه‌های مختلف و تبادل محدود اطلاعات میان دامنه‌ها از برقراری مسیرهای کیفیت سرویس انتها به انتها ممانعت می‌کنند.

- *کنترل سیاست:* ملاحظات سیاست در مسیریابی‌هایی که توسط پروتکل BGP پیاده‌سازی می‌شوند در لایه زیرین نیاز می‌باشد. برای نمونه، در شبکه GMPLS هر اتصال یک LSP می‌باشد که بر اساس اندازه ترافیک پشتیبانی شده توسط واسط‌های موجود تعریف می‌شود. برای هر کدام از این LSPها، یک سیاست نه تنها مجموعه‌ای از نقاط انتهایی بلکه مجموعه‌ای از دامنه‌ها را نیز تعریف می‌کند که ممکن است در تهیه این سرویس در نظر گرفته شوند. از دیگر پارامترهای مبتنی بر سیاست می‌توان موضوعات کنترل دسترسی به شبکه و امنیت را نام برد.
- *قابلیت اعتماد:* تمامی موارد ذکر شده نیازمند عملکرد قابل اعتماد شبکه می‌باشند.
- *واسط تکنولوژی:* واسط تکنولوژی نه تنها اشاره به جزئیات دانش تکنولوژی‌های استفاده شده در دامنه‌های مجاور برای سازگاری دارد، بلکه ممکن است بر اساس آن دانش، مسیر را نیز تعیین کند.
- *سیگنال‌دهی و کنترل:* هر دامنه شبکه معمولا یک سطح کنترلی مستقلی اجرا می‌کند. برای اتصال انتها به انتها، داشتن مکانیزم سیگنال‌دهی برای تبادل اطلاعات بین دامنه‌ها ضروری می‌باشد. از آنجایی که هر فروشنده[1] تکنولوژی سطح کنترل متفاوتی را انتخاب می‌کند، باید مکانیزم‌های سیگنال‌دهی سازگار با هر سطح کنترلی وجود داشته باشد. برخی راه‌حل‌های سطح کنترلی مانند GMPLS برای فراهم کردن سطح کنترلی واحد برای تکنولوژی‌های سوئیچ مختلف طراحی شده

[1] Vendor