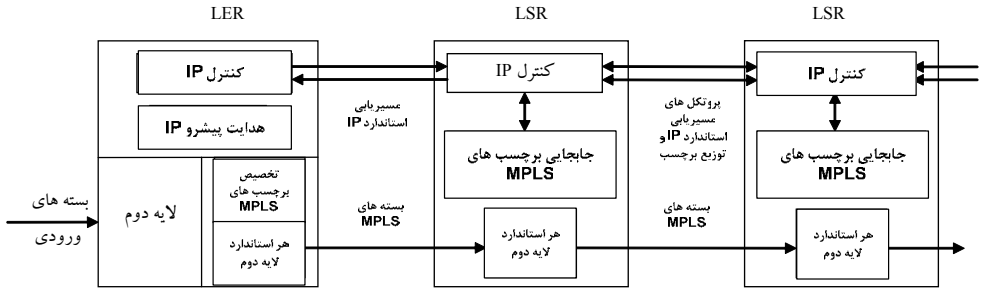
فصل چهاردهم

معماری MPLS

۱۴-۱- مقدمه

فن‌آوری MPLS ،که توسط گروه مطالعاتی IETF ارائه و توسعه یافته است، آخرین تحول در سوئیچینگ چند لایه می‌باشد. درMPLS که از مدل کنترل رانده برای اختصاص و توزیع برچسب استفاده می نماید، مسیرهای ارسال اطلاعات (LSP[1]) به خودی خود یک‌طرفه می‌باشند و برای ارسال ترافیک‌های دوطرفه باید دو LSP مختلف بین مبدأ و مقصد ایجاد گردد.

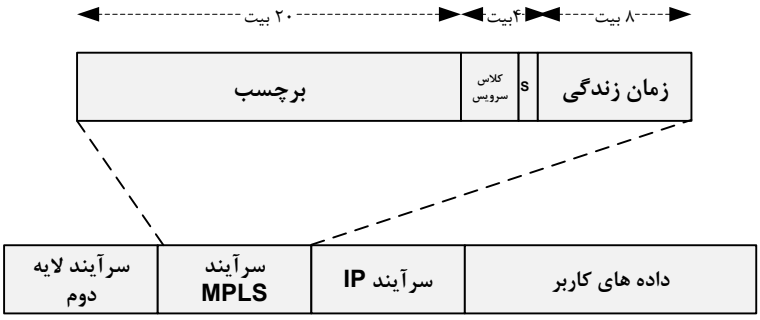
همانطور که درفصل ۱۳ اشاره شد، MPLS از مسیریابی استاندارد IP و همچنین از الگوریتم جابجایی برچسب، برای هدایت بسته‌ها استفاده می نماید. یکی از ویژگی‌های بارز MPLS ، آن است که متکی به پروتکل مشخصی در لایه پیوند داده نمی‌باشد؛ بلکه بر روی هر فن‌آوری، لایه دومی قابل نصب است.



شکل (۱۴-۱): واحدهای تشکیل دهنده سوئیچ‌های MPLS

چنانچه پروتکل لایه دوم دارای فیلد برچسب باشد (مانند فیلد های VPI/VCI و DLCI در ATM و Frame Relay)، از همان فیلد برای اختصاص فیلد برچسب MPLS استفاده می‌شود و در غیراین‌صورت از قسمتی از ناحیه سرآیند بسته‌های MPLS ،که بین سرآیند های لایه دوم و لایه IP قرار دارد، به‌عنوان فیلد برچسب استفاده می‌شود. این ناحیه، سرآیند فاصله پرکن[۲] نام دارد. در شکل(۱۴-۲)، نحوه کدگذاری سرآیندMPLS نشان داده شده است.

[1] Label Switched Path
[۲] Shim header



شکل (۱۴-۲) : ساختار سرآیند بسته‌های MPLS

همان‌طور که در شکل (۱۴-۲) دیده می‌شود، در سرآیند MPLS فیلدهای زیر موجود است.

- فیلد برچسب به طول ۲۰ بیت، که حاوی مقدار واقعی برچسب MPLS می‌باشد.
- فیلد سه بیتی کلاس سرویس(COS[1])،که به کمک آن می‌توان نحوه صف‌بندی و حذف بسته‌ها در هنگام عبـور از سوئیچ‌های شبکه را مشخص نمود.
- فیلد یک بیتی S ،که نشان‌دهنده پایان ناحیه پشته برچسب[2] می‌باشد. چنانچه این بیت یک باشد، به معنی آن است که برچسب جاری، آخرین برچسب ناحیه پشته است.
- فیلد ۸ بیتی زمان زندگی که مطابق با فیلد زمان زندگی بسته‌های IP عمل می نماید.

درطراحی MPLS اهداف زیر مورد توجه می‌باشد:

۱. MPLS باید قادر به پشتیبانی از هرنوع فن‌آوری لایه دوم باشد و فقط منحصر به ATM و Frame Realy نشود.
۲. MPLS باید با پروتکل‌های مختلف مسیریابی سازگارباشد.
۳. در MPLS باید قابلیت تجمع سازی ترافیک پشتیبانی شود. در این‌صورت امکان ارسال ترافیک‌هـای متنـوع کاربران از طریق یک مسیر واحد فراهم می‌آید.
۴. MPLS باید قابلیت مسیریابی چندمسیره داشته باشد.
۵. سوئیچ‌های MPLS باید قابلیت برقراری ارتباط و تبادل اطلاعات با سایرسـوئیچ‌هـای غیـرMPLS را داشـته باشند.
۶. MPLS باید قابلیت‌های تک پخشی[3] و چندپخشی را پشتیبانی نماید.
۷. MPLS باید با مدل سرویس مجتمع IETF شامل RSVP سازگار باشد.
۸. MPLS باید قابلیت مقیاس پذیری داشته باشد.
۹. MPLS باید امکانات عملیـاتی، مـدیریتی و نگـه‌داری کـه در حـال حاضـر در شـبکه‌هـای IP وجـود دارد را پشتیبانی نماید.

درشکل (۱۴-۳)، پشته پروتکل فن‌آوری MPLS نشان داده شده است.

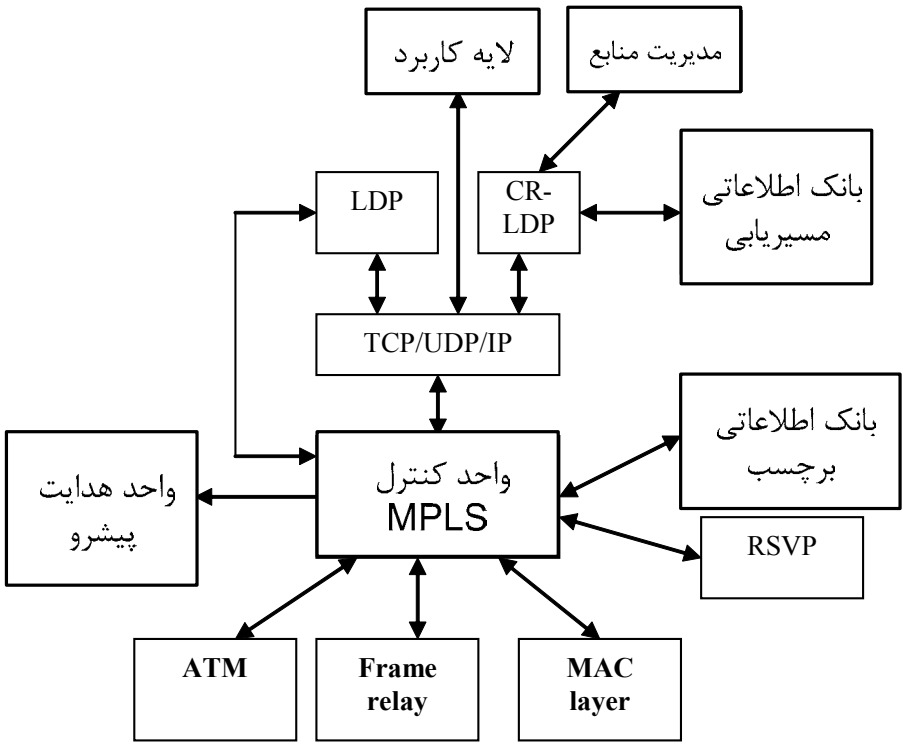
---

[1] Class of Service
[2] Label stack
[3] Unicast

۱۴-۲- نحوه عملکرد MPLS

در شبکه‌های بدون اتصال، هنگامی که بسته‌های ارسالی از مسیریاب‌های درون شبکه به سمت مقصد عبور می‌کنند، هر مسیریاب بر اساس اطلاعات موجود در سرآیند بسته‌هاو با کمک الگوریتم مسیریابی لایه شبکه ، بسته ورودی را آنالیزمی‌کند و پرش بعدی یا به عبارتی مسیریاب بعدی را، که بسته باید به آن ارسال شود، تعیین می‌کند. البته اطلاعات موجود در سرآیند بسته‌ها به مراتب از آنچه که فقط برای مسیریابی لازم است، بیشتر می‌باشد.

می‌توان عملیات مسیریابی و تعیین پرش بعدی بسته‌ها را ترکیبی از دو عملیات مختلف تصور نمود. عملیات اول، دسته بندی بسته‌های ورودی به یک‌سری کلاس‌های معادل هدایت به جلو (FEC[1]) می‌باشد. دومین عملیات، نگاشت هر FEC به یک پرش بعدی است. طبیعی است که تمامی بسته‌هایی که به یک FEC یکسان نگاشت می یابند، از یک مسیرواحد عبورمی‌کنندتا به مقصد برسند. در الگوریتم‌های مسیریابی متداول IP، چنانچه دو بسته دارای پیشوند آدرس مقصد یکسان باشند، در این صورت از یک مسیر برای رسیدن به مقصد عبور می‌نمایند.



شکل(۱۴-۳): پشته پروتکل فن‌آوری MPLS

در شبکه‌های MPLS، با کمک مسیریاب‌های برچسب موجود در لبه شبکه (LER[2]) ، بسته‌های ورودی به یک کلاس FEC خاص نگاشت می یابند و سپس هر FEC به یک مقدار عددی ثابت که آن رابرچسب می نامیم، نگاشت می‌یابد. بعد از این‌که بسته‌های ورودی به شبکه، توسط LER برچسب زده شد، بسته‌های برچسب زده شده وارد شبکه می‌شوند. مسیریاب‌های موجود درون شبکه MPLS (LSR[3]) ، هیچ‌گونه آنالیزی بر روی اطلاعات موجود در سرآیند لایه سوم

[1] Forwarding Equvalent Class
[2] Label Edge Router
[3] Label Switching Router

بسته‌ها نمی‌نمایند، بلکه فقط با توجه به مقدار برچسب هر بسته و با کمک جدول هدایت به جلو اقدام به تعیین پرش بعدی بسته می‌کنند. با توجه به این مطلب، در مقایسه با مسیریابی در سطح لایه شبکه که در شبکه‌های معمولی استفاده می‌شود، MPLS دارای مزایای زیر می‌باشد:

۱. می‌توان با استفاده از سوئیچ‌هایی که فقط بر اساس مقدار یک فیلد خاص، عملیات سوئیچینگ را انجام می‌دهند (مانند سوئیچ‌های ATM) عملیات ارسال و هدایت بسته‌هارا در MPLS ، انجام داد.
۲. با توجه به این‌که هربسته ورودی به شبکه MPLS ، به یک کلاسFEC خاص نگاشت می‌یابد، بنابراین مسیریاب‌های موجود در لبه شبکه، می‌توانند از هرگونه اطلاعات موجود درسرآیند بسته‌های ورودی برای تعیین و اختصاص کلاس FEC یکسان استفاده نمایند. (البته در مسیریاب‌های کناری شبکه MPLS، معمولاً از فیلدآدرس IP مقصد بسته‌ها برای تعیین FEC استفاده می‌شود.)
۳. چنانچه یک بسته ورودی واحد را از طریق دو مسیریاب متفاوت وارد شبکه MPLS نماییم، در این‌صورت برچسبی را که دو مسیریاب به بسته ورودی اختصاص می‌دهند، متفاوت با یکدیگر خواهد بود که این مطلب در پروتکل‌های متداول مسیریابی لایه سوم مشاهده نمی‌شود.
۴. هرقدر عملیات اختصاص و نگاشت کلاس‌های FEC به بسته‌های ورودی پیچیده باشد، هیچ‌گونه تأثیری بر روی عملکرد مسیریاب‌های درون شبکه نمی گذارد.
۵. در برخی موارد برای انجام عملیات خاصی مانند نظارت و مهندسی ترافیکی، باید بسته‌های ارسالی از یک مسیر خاص و از پیش تعییین شده عبور نمایند. در مسیریابی متداول لایه سوم، با استفاده از مسیریابی مبدأ، باید مسیرعبوری را صریحاً در سرآیند بسته‌های ارسالی مشخص نمود، ولی از آنجایی‌که در MPLS برای هدایت بسته‌ها از برچسب استفاده می‌شود، نیازی به این امر نمی‌باشد.

مسیریاب‌های متداول موجود، با دریافت هر بسته ورودی به پردازش اطلاعات موجود در سرآیند آن می پردازند. البته این کار فقط برای تعیین پرش بعدی نمی‌باشد، بلکه از آن برای استخراج سایر اطلاعات مورد نیاز مانند اولویت و کلاس سرویس بسته استفاده می‌شود. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، در MPLS می‌توان اطلاعات اولویت و کلاس سرویس بسته‌ها را در برچسب بسته قرار داد.

برچسب الحاقی به هر بسته نشان دهنده کلاسFEC است که بسته به آن تعلق دارد. فرض کنید که R1 و R2 دو LSR داخلی شبکه باشند. بعد از مذاکره و توافق اولیه بین R1 و R2، فرض کنید که R1 تمام بسته‌هایی را که به کلاس FEC F نگاشت یافته است را با برچسب L به مسیریابR2 ارسال می دارد. در این‌صورت برچسب L برای مسیریاب‌های R1 و R2 به ترتیب برچسب خروجی و برچسب ورودی نامیده می‌شوند. این برچسب فقط ارزش محلی دارد و نشان دهنده بسته‌های متعلق به کلاس FEC F ارسالی بین مسیریاب‌هایR1 و R2 می‌باشد. به عبارت دیگر اگر درجایی دیگر از شبکه برچسبL استفاده شود، دیگر الزاماً بسته‌های ارسالی به کلاس FEC F تعلق ندارند.

با توجه به این‌که ترافیک کاربر از R1 به سمت R2 ارسال می‌شود، دراصطلاح به مسیریاب R1 و R2 به ترتیب مسیریاب‌های "بالا جریان " و "پایین جریان" گفته می‌شود. وظیفه عملیات اختصاص برچسب در MPLS به عهده مسیریاب ''پایین جریان'' می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که در MPLS عملیات اختصاص برچسب درجهت معکوس وازسمت مسیریاب ''پایین جریان'' به سمت مسیریاب ''بالای جریان'' انجام می‌شود.

با استفاده از پروتکلLDP[1] ، هر LSR شبکه اقدام به ارسال اطلاعات مربوط به برچسب‌های اختصاص یافته به کلاس‌های مختلف FEC ، به سایر LSR های شبکه می نماید. دراصطلاح به دو LSR ای که اطلاعات اختصاص برچسب

[1] Label Distribution Protocol

را به یکدیگر مبادله می نمایند ، "همتای توزیع برچسب"[1]، گفته می‌شود. تاکنون استانداردهای متعددی برای انجام عملیات توزیع برچسب در MPLS ارائه شده است، که از بین آنها می‌توان به استانداردهای BGP،RSVP، RSVP-Tunnels، LDP و CR-LDP اشاره نمود.

چنانچه یک LSR شبکه از LSR مجاور خود درخواست ارسال لیستی از برچسب‌های اختصاص یافته به یک کلاس FEC خاص را بنماید، دراصطلاح گفته می‌شود که عملیات توزیع برچسب درخواست بنا به درخواست مسیریاب "پایین جریان" صورت می‌گیرد[2]. البته در MPLS امکان ارسال لیست فوق بدون دریافت درخواست LSR مجاور نیز وجود دارد، که دراین حالت توزیع برچسب به‌صورت بدون درخواست مسیریاب "پایین جریان" انجام می‌شود[3]. هر شبکه MPLS معمولاً یکی و یا هردو روش توزیع برچسب فوق را پشتیبانی می‌کند.

۱۴-۲-۱- پشته برچسب

در MPLS ، برخی از بسته‌ها دارای چندین برچسب می‌باشند، که به‌صورت یک پشته LIFO [4] مدیریت می‌شوند. در این حالت سوئیچ‌های میانی شبکه فقط بالاترین برچسب موجود در پشته را پردازش می‌کنند و به مقادیر برچسب‌های قبلی و بعدی موجود در پشته توجهی ندارند. چنانچه پشته برچسب بسته ورودی خالی باشد (دراصطلاح گفته می‌شود که عمق پشته صفر است) در این صورت بسته دارای برچسب نمی‌باشد. در یک پشته برچسب به عمق m ، پایین‌ترین وبالاترین برچسب به ترتیب برچسب سطح ۱ و سطح m نامیده می‌شوند.

هنگام ورود یک بسته به سوئیچ‌های LSR ، واحدی به نام NHLFE[5] وظیفه هدایت بسته ورودی به سمت سوئیچ بعدی را به‌عهده دارد. در NHLFE اطلاعات زیر موجود است:

- پرش بعدی بسته (آدرس مسیریاب بعدی که بسته جاری باید برای آن ارسال شود)،
- عملیاتی که باید بر پشته برچسب انجام شود. این عملیات یکی از موارد زیر است:
  - جایگزینی بالاترین برچسب پشته با یک برچسب جدید
  - انجام عملیات POP بر روی پشته برچسب
  - جایگزینی بالاترین برچسب پشته با یک برچسب جدید و سپس انجام عملیات Push یک یا چند برچسب جدید در پشته برچسب

همچنین ممکن است که در NHLFE اطلاعات زیر نیز موجود باشد:

- نحوه عملیات محصورسازی لایه دوم که درهنگام ارسال بسته استفاده می‌شود
- نحوه کد کردن پشته برچسب در هنگام ارسال بسته
- هرگونه اطلاعات لازم دیگر که برای مرتب سازی و هدایت بسته‌ها لازم است.

چنانچه یک LSR شبکه متوجه شود که پرش بعدی بسته ورودی، خودش می‌باشد، در این‌صورت عملیات POP را بر روی پشته برچسب بسته جاری انجام می‌دهد.

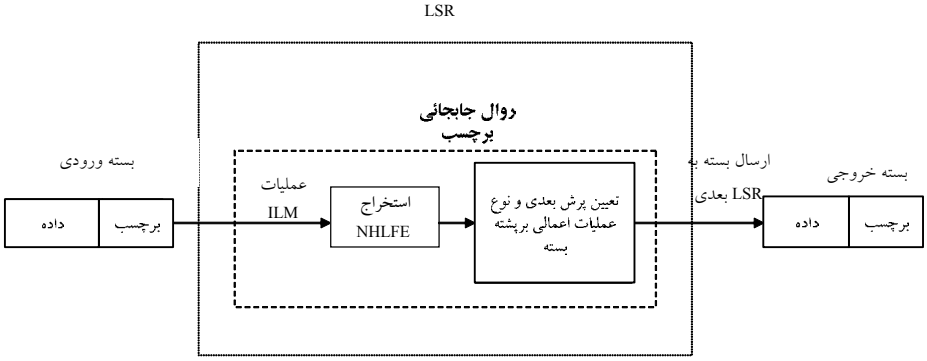
---

[1] Label Distribution Peers
[2] Downstream on-demand
[3] Unsolicited downstream
[4] Last-In-First-Out
[5] Next Hop Label Forwarding Entry

هر برچسب بسته ورودی، به‌وسیله عملیات "نگاشت برچسب ورودی" (ILM[1]) به مجموعه ای از NHLFE ها نگاشت می‌یابد. همچنین توسط عملیات مشابهی به نام " نگاشت FEC به NHLFE " (FTN[2]) هر FEC ورودی به مجموعه ای از NHLFE ها نگاشت می‌یابد. هنگامی که بسته ورودی فاقد برچسب باشد، عملیات FTN بر روی آن انجام می‌شود و توسط این عملیات به بسته ورودی برچسب خاصی اختصاص داده می‌شود و سپس بسته ورودی هدایت می‌شود.

۱۴-۲-۲- عملیات جابجایی برچسب

در MPLS ، هر LSR شبکه از روال‌های جابجایی برچسب، برای هدایت بسته‌ها به سمت مقصد نهایی استفاده می‌کند. بدین منظور، ابتدا بالاترین برچسب موجود درپشته برچسب بسته مورد پردازش قرارمی‌گیرد. توسط عملیات ILM ، برچسب فوق به NHLFE نگاشت می‌یابد وسپس با کمک اطلاعات موجود در NHLFE ، پرش بعدی بسته و همچنین نوع عملیاتی که باید برروی پشته برچسب انجام شود، تعیین می‌شود. شکل (۱۴-۴)، بلوک دیاگرام کلی این عملیات را نشان می‌دهد.



شکل(۱۴-۴): نحوه عملیات جابجایی برچسب درمسیریاب‌های MPLS

چنانچه بسته ورودی به LSR فاقد برچسب باشد، در این‌صورت با پردازش بر روی فیلدهای موجود در سرآیند لایه شبکه، کلاس FEC بسته استخراج می‌شود و سپس با استفاده از FTN کلاس FEC بسته ورودی به یک NHLFE خاص نگاشت می‌یابد. با استخراج NHLFE ، می‌توان پرش بعدی بسته و همچنین نوع عملیات اعمالی بر روی پشته بسته را تعیین نمود.

۱۴-۲-۳- کنترل LSP

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره گردید، برای تعیین کلاس‌های FEC بسته‌های ورودی، می‌توان از پیشوندآدرس‌های IP که توسط الگوریتم‌های مسیریابی دینامیک بین مسیریاب‌ها توزیع می‌شود، استفاده کرد. برای این نوع کلاس‌های FEC، به دو صورت می‌توان LSP را تعیین نمود که عبارتند از :

الف) کنترل مستقل LSP

ب) کنترل ترتیبیLSP

در روش کنترل مستقل LSP ، هر LSR شبکه مستقل از سایر LSR ها، باتوجه به کلاس FEC اختصاص یافته به بسته ورودی، برچسب مناسب را به کلاس FEC اختصاص می‌دهد و سپس برچسب اختصاص یافته را به LSR همتای

---

[1] Incoming Label Map
[2] FEC To NHLFE

خود ارسال می‌کند. طبیعی است که این‌گونه عملکرد در تعیین مسیر، مشابه مسیریابی IP می‌باشد که هر مسیریاب شبکه به طور مستقل اقدام به تعیین پرش بعدی بسته ورودی می نماید.

درروش کنترل ترتیبی LSP ،هر LSR شبکه، در دو حالت زیرعملیات اختصاص برچسب به بسته ورودی را انجام می‌دهد:

- چنانچه LSR خروجی برای کلاس FEC مشخص شده بسته ورودی، خود LSR جاری باشد.
- چنانچه قبلاً اطلاعات مربوط به اختصاص برچسب به FEC را از LSR پرش بعدی بسته‌های کلاس FEC دریافت کرده باشد.

در مواردی که ترافیک‌های متعلق به یک کلاس FEC خاص باید از یک مسیر مشخص با ویژگی‌های معین عبور نمایند، ازروش کنترل ترتیبیLSP استفاده می‌شود.

در روش کنترل مستقل LSP ، این احتمال وجود دارد که قبل از برقراری LSP ، ترافیک‌های متعلق به کلاس FEC وارد شبکه شوند و از یک مسیری که ممکن است ویژگی‌های ترافیکی مطلوب را نداشته باشد، عبور کنند.

۱۴-۲-۴- مجتمع سازی ترافیک[۱]

یکی از روش‌های تقسیم بندی ترافیک به کلاس‌های مختلف FEC، ایجاد FEC جداگانه برای هریک از پیشوندهای آدرس IP موجود در جدول مسیریابی می‌باشد. بعد از تعیین کلاس‌های FEC تمام ترافیک‌های وابسته به یک کلاس FEC خاص از یک مسیر عبور می‌نمایند و به سمت مقصد نهایی هدایت می‌شوند.

در شبکه‌های MPLS این امکان وجود دارد که گروهی از کلاس‌های FEC با یکدیگر ترکیب شوندو تشکیل یک گروه واحدرا بدهند. در این حالت به تمام کلاس‌های FEC موجود در یک گروه، یک برچسب یکسان اختصاص داده می‌شود. به عملیات اختصاص برچسب به گروهی از FEC ها که خود یک کلاس FEC جدید می‌باشند، مجتمع‌سازی ترافیک گفته می‌شود. طبیعی است که عملیات مجتمع سازی ترافیک، باعث کاهش تعداد برچسب‌های موردنیاز و همچنین کاهش میزان روال‌های کنترلی توزیع برچسب می‌گردد.

۱۴-۲-۵- انتخاب مسیر در MPLS

در شبکه‌های MPLS، به نحوه انتخاب LSP برای یک کلاس FEC خاص، انتخاب مسیر گفته می‌شود. در MPLS دو روش مختلف برای این کار موجود است که عبارتند از : مسیریابی پرش به پرش و مسیریابی صریح.

در مسیریابی پرش به پرش، هر LSR شبکه مستقل از سایر LSR ها، اقدام به تعیین پرش بعدی بسته‌های متعلق به کلاس FEC می نماید. امروزه در شبکه‌های IP ، از این روش برای انجام عملیات مسیریابی استفاده می‌شود.

در مسیریابی صریح، همه LSR های شبکه در انتخاب مسیر و پرش‌های بعدی، دخالت ندارند بلکه فقط یک LSR خاص که معمولاً LSR ورودی یا خروجی شبکه است، اقدام به تعیین بخشی یا تمام مسیر LSP می‌کند. در کاربردهایی مانند، مسیریابی نظارتی[۲] و همچنین مهندسی ترافیک، از روش مسیریابی صریح استفاده می‌شود. در شبکه‌های MPLS ، در زمان اختصاص برچسب، مسیر صریح مشخص می‌شود.

---

[۱] Aggregation

[۲] Policy routing

۱۴-۲-۶- زمان زندگی (TTL)

در مسیریابی متداولIP ، هر بسته ورودی دارای فیلدی به نام TTL است، که با هرپرش بسته یکی ازمحتویات این فیلد کم می‌شود و در صورتی‌که مقدار فیلد فوق صفرشود، بسته IP از بین می‌رود. بدین ترتیب امکان محافظت شبکه دربرابرحلقه های مسیریابی که ازپیکره بندی غلط شبکه و یا ازسرعت کم همگرایی الگوریتم مسیریابی شبکه ناشی می‌شود، وجود دارد. در شبکه‌های MPLS ، برای جلوگیری از حلقه های مسیریابی و همچنین برای محدودسازی دامنه بسته‌های ارسالی ، از فیلد TTL استفاده می‌شود.

چنانچه از سرآیند " فاصله پرکن" (سرآیندی که مستقل از سرآیند های لایه دوم و لایه سوم می‌باشد و بین این دو سرآیند قرار می‌گیرد)، در بسته‌های MPLS استفاده شود، در این صورت در داخل سرآیند فوق، فیلدی به نام TTL وجود دارد که مقدار اولیه آن همان مقدار فیلد TTL سرآیند بسته‌های IP است. با عبور بسته از هرLSR شبکه، مقدار فیلد TTL یکی کم می‌شود و هنگامی‌که بسته به LSR خروجی می‌رسد، مقدار فیلد TTL موجود در سرآیند MPLS به فیلد TTL بسته‌های IP کپی می‌شود.

چنانچه از بخشی از سرآیند بسته‌های لایه دوم (مثلاً فیلد VPI/VCI در سلول‌های ATM) به‌عنوان برچسب MPLS استفاده گردد، در این‌صورت در هر پرش امکان کاهش یک واحدی TTL وجود ندارد. دراین صورت به مسیری که دارای ویژگی فوق باشد، مسیر LSP فاقد TTL گفته می‌شود. با توجه به این‌که در مسیرهای فاقد TTL ، نمی‌توان در هر پرش از محتوای فیلد TTL یک واحد کم نمود، باید به نحو دیگری تعداد پرش‌های عبوری بسته در ناحیه‌های فاقد TTL مشخص شود. یکی از روش‌های انجام این کار، این است که طول ناحیه فاقد TTL به اطلاع LSR ورودی رسانده شود. در این روش بسته‌هایی که وارد LSR ورودی می‌شوند و می‌خواهند از مسیر فاقد TTL عبور نمایند، یکجا فیلد TTL آنها به اندازه طول ناحیه فاقد TTL (تعداد مسیریاب‌های موجود در این مسیر)کاهش می‌یابد. یکی از نکات مهمی که در مورد مسیرهای فاقد TTL باید مدنظر، داشت آن است که سخت افزار لایه دوم این نواحی باید به مکانیسمی برای تشخیص حلقه‌های مسیریابی و رفع آنها مجهز باشد.

۱۴-۲-۷- استفاده از سوئیچ‌های ATM به‌عنوان LSR

عملیات جابجایی برچسب در MPLS ، تا حد زیادی مشابه عملیات فوق در سوئیچ‌های ATM می‌باشد. با ورود هر سلول به سوئیچ‌های ATM ، ابتدا شماره درگاه ورودی ومقدار فیلد VPI/VCI آن بررسی می‌شود وسپس با کمک جدول خاصی، عملیات اختصاص درگاه خروجی و VPI/VCI جدید انجام می‌گردد. بنابراین چنانچه بتوان از ناحیه VPI/VCI سلول‌های ATM به‌عنوان برچسب MPLS استفاده کرد، در این صورت با افزودن نرم افزارهای مناسب به سوئیچ ATM ، می‌توان آنها را بهLSR های شبکه MPLS تبدیل نمود. سه روش مختلف برای قراردادن برچسب MPLS در سرآیند بسته‌های ATM وجود دارد که عبارتند از:

- ***کدگذاری* SVC:** در این حالت از فیلد VPI/VCI سلول‌های ATM به‌عنوان بالاترین برچسب موجود در ناحیه پشته برچسب بسته‌هایMPLS استفاده می‌شود. در این‌صورت LSP شبکه MPLS ، همانند مدارهای مجازی شبکه ATM می‌باشد و همچنین از پروتکل‌های سیگنالینگ ATM به‌عنوان پروتکل اختصاص و توزیع برچسب استفاده می‌شود دراین حالت امکان PUSH یا POP نمودن پشته برچسب وجود ندارد.

- ***کدگذاری SVP:*** در این حالت فقط از فیلد VPI سلول‌های ATM ، به‌عنوان بالاترین برچسب موجود در پشته برچسب بسته‌های MPLS استفاده می‌شود. می‌توان از فیلد VCI برای تعیین دومین برچسب موجود در ناحیه پشته برچسب استفاده کرد. برای انجام عملیات توزیع و اختصاص برچسب، از پروتکل سیگنالینگ ATM استفاده می‌شود.
- ***کدگذاری چند نقطه ای SVP:*** مشابه حالت کدگذاری SVP می‌باشد با این تفاوت که از قسمت باقی‌مانده VCI برای مشخص نمودن نقطه ورودی LSP استفاده می‌شود. در این حالت امکان پیاده سازی اتصال های "چند نقطه به یک نقطه" موجود می‌باشد.

در شبکه‌های MPLS ، امکان این‌که در یک مسیر LSP از چندین روش کدگذاری برچسب استفاده شود وجود دارد. مثلاً می‌توان در بخشی از یک مسیر LSP ، ازفیلد VPI/VCI سلول‌های ATM و در بخشی دیگر از سرآیند "فاصله پرکن" برای تعیین برچسب MPLS استفاده نمود.

۱۴-۲-۸- ادغام برچسب[1]

چنانچه یک LSR شبکه MPLS ،چندین برچسب ورودی مختلف را به یک کلاس FEC خاص اختصاص داده باشد، طبیعی است که تمام بسته‌های متعلق به یک کلاس FEC یکسان باید دارای برچسب خروجی یکسان باشند، بنابراین باید تمام برچسب‌های متعلق به یک کلاس FEC خاص، به یک برچسب واحد محدود شوند. به این عملیات، ادغام برچسب گفته می‌شود. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت که چنانچه یک LSR شبکه ، از درگاه‌های مختلف ورودی خود، بسته‌هایی را با برچسب‌های مختلف ولی متعلق به یک کلاس FEC یکسان دریافت دارد، در این صورت با کمک عملیات ادغام، برچسب همه بسته‌های ورودی را بایک برچسب یکسان و از طریق یک درگاه خروجی واحدعبور می‌دهد.

چنانچه دو بسته ورودی متعلق به یک کلاس FEC یکسان، با برچسب‌های متفاوت و از طریق درگاه‌های مختلف وارد یک LSR فاقد توانایی عملیات ادغام برچسب گردند، دراین‌صورت بسته‌های ورودی فوق با برچسب‌های متفاوت ازLSR خارج می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه LSR های شبکه قابلیت ادغام برچسب راداشته باشند، در این صورت به هر کلاس FEC تنها یک برچسب خروجی نسبت داده می‌شود؛ درحالی‌که چنانچه LSR قابلیت ادغام برچسب را نداشته باشد، در این‌صورت تعداد برچسب‌های اختصاص یافته به یک کلاس FEC خاص به مراتب بیشتر از یکی می‌باشد.

۱۴-۲-۹- تونل

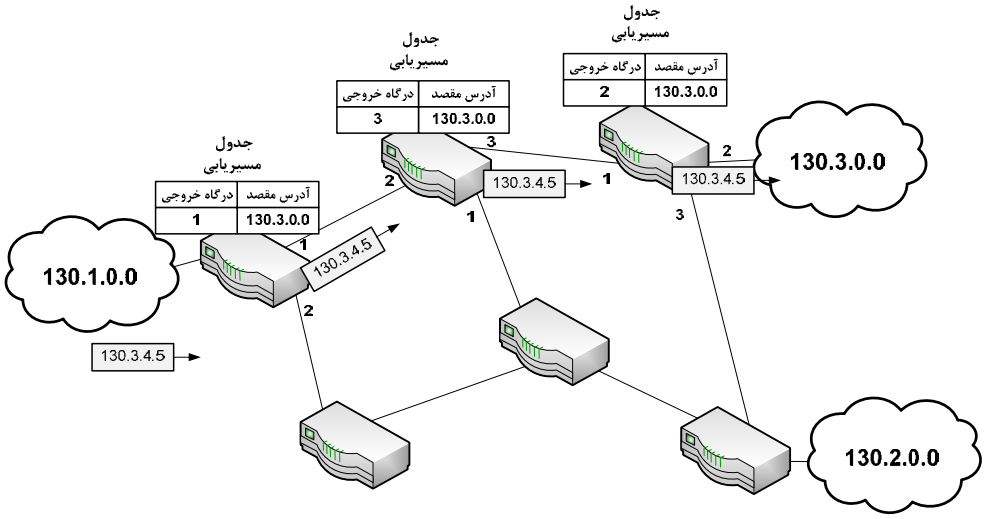
چنانچه مسیریاب‌های R1 و R2 ، دو مسیریاب شبکهMPLS باشند که الزاماً در مسیر پرش به پرش بسته قرارندارند، مسیریاب R1 با استفاده از قابلیت تونل، قادر به تحویل صریح بسته ورودی به مسیریاب R2 می‌باشد. به بسته‌های ارسالی از این مسیر، بسته‌های تونلی گفته می‌شود. در شبکه‌های MPLS ، می‌توان تونل‌های LSP نیز پیاده سازی نمود. چنانچه یک مسیر LSP از <R1,R2,...,Rn> تشکیل شده باشد که R1 مسیریاب نقطه ارسالی به تونل و Rn مسیریاب نقطه پایانی آن باشد، دراصطلاح به این مسیر یک تونل LSP گفته می‌شود.

۱۴-۳- مقایسه شبکه‌های سنتی IP با MPLS

[1] Label merging

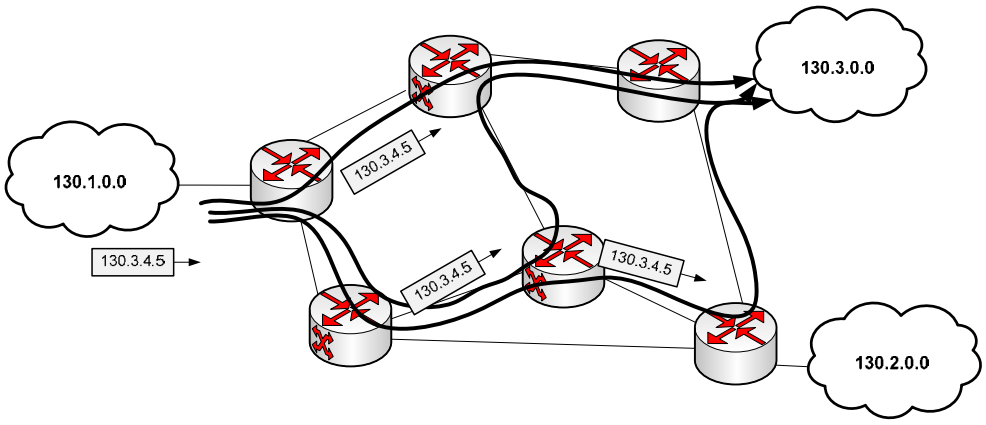
با توجه به عملکرد شبکه‌های سنتیIP و محدودیت‌های آن، لزوم ابداع فنآوری جدیدی به نـام MPLS حـس گردیـد. موارد زیر شرحی از محدودیتهای شبکه‌های سنتیIP و روشهای رفع آن از طریق فنآوری MPLS می‌باشد.

۱- در شبکه‌های سنتی برای رسیدن بسته‌های داده از مبدا به مقصد در حالت کلـی اگـر مـسیرهایی بـا هزینـه هـای مساوی وجود نداشته باشد، تنها یک مسیر که کمترین هزینه را داردانتخاب می‌شود و از مسیرهای دیگر کـه دارای هزینه بالاتری هستند، ترافیکی عبور نکرده و ازآنها استفاده بهینه نمی شود. لذا نیاز به فنآوری وجود دارد تا بتـوان از کلیه ظرفیتهای موجود شبکه بهترین استفاده را نمود. شکل (۱۴-۵) مثال ساده ای از عملکرد مـسیریابی سـنتی IP را نشان می دهد.



شکل (۱۴-۵): مثالی از عملکرد شبکه های سنتی IP

همانطور که درشکل (۱۴-۶) نشان داده شده است، درشبکه های مبتنی بر فنآوری MPLS، تمهیـداتی جهـت ایـن امـر در نظر گرفته شده است تا بتوان از پهنای باند موجود شبکه نهایت استفاده را نمود. همانطور که دراین شـکل دیـده مـی شـود، برخلاف مسیریابی سنتی IP، درMPLS با استفاده از روال های مهندسی ترافیک، ترافیـک ارسـالی بـین مبـدا و مقـصد از مسیرهای مختلف ارسال می شود که امکان استفاده بهینه از پهنای باند را فراهم می آورد.



شکل(۱۴-۶): استفاده بهینه از منابع شبکه توسط MPLS

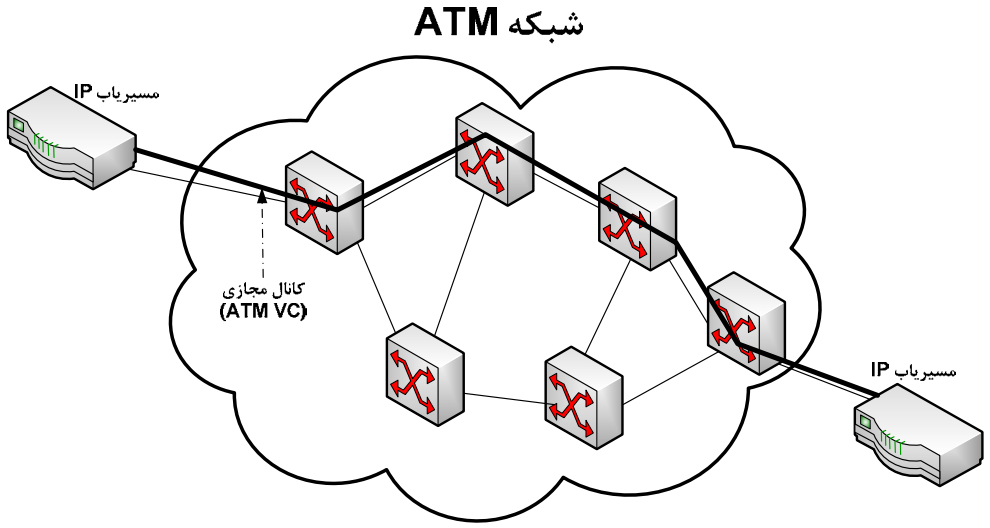
۲ - در بیشتر شبکه‌های WAN موجود از فنآوری انتقال لایه ۲ مانند ATM وFrame relay استفاده می‌گردد و برای اتصال دو مسیریاب مطابق شکل (۱۴-۷) با استفاده از شبکه WAN لایه۲ این اتصال میسر می‌گردد. در این حالت طراح شبکه WAN می‌بایست بصورت دستی مسیری ایجاد کند تا بسته‌های لایه۳ از میان سوییچهای لایه۲ عبور کنند لذا نیاز به ایجاد مدار مجازی[1] بصورت نقطه به نقطه[2] می باشد. این مسئله باعث بروز مشکلات زیر به هنگام گستردگی شبکه می شود:

الف- انتخاب بهترین مسیر بصورت دستی توسط طراح شبکه WAN

ب- از آنجایی که ایده‌آل ترین حالت توپولوژی شبکه، توپولوژی مش کامل است، تعداد مسیرهای ایجاد شده تقریبا مجذور تعداد مسیریابها خواهد بود که انتخاب مسیرها بصورت دستی را مشکلتر می‌کند.

ج- انتخاب این لینک‌ها به لحاظ پیش‌بینی مقدار ترافیک عبوری کار مشکلی است.

با توجه به سه مورد ذکر شده، در اتصال مسیریابها به فنآوری جدیدی نیاز است تا بتوان همانند یک مسیریاب در انتخاب مسیر بصورت هوشمند عمل نمود. MPLS این امکان را به سوییچهای لایه ۲ می‌دهد تا همانند یک مسیریاب در انتخاب مسیر هوشمند باشند.



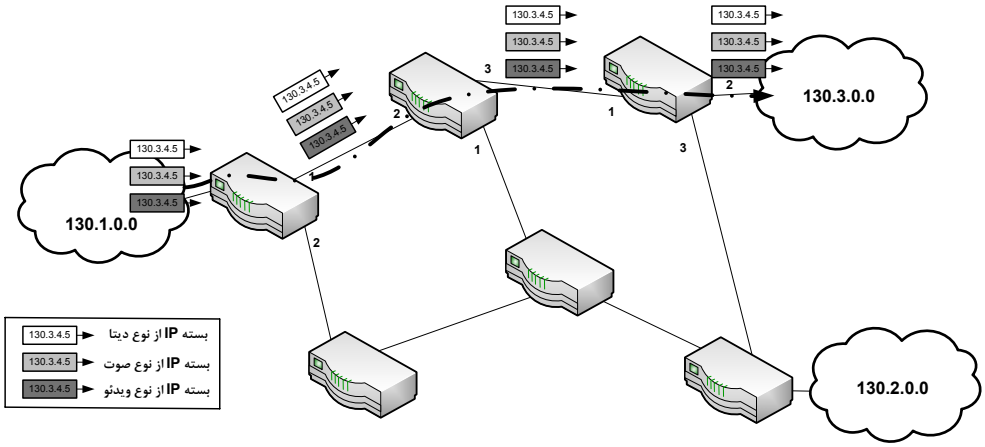
شکل (۱۴-۷): استفاده از کانال های مجازیATM برای انتقال بسته های لایه ۳ از میان سوییچهای لایه ۲

۳- ایجاد سرویسهای متفاوت در شبکه: در شبکه‌های سنتی IP و روش مسیریابی پرش به پرش ، بسته‌ها در هر پرش تنها براساس آدرس مقصد مسیریابی می‌شوند لذا هیچگونه ملاحظه و اختلافی در رفتار شبکه نسبت به ترافیکهای گوناگون وجود نخواهد داشت و همچنین راههای ابداعی برای بهینه‌سازی ترافیک وجود ندارد. همانطور که درشکل (۱۴-۸) دیده می شود، درشبکه های سنتی IP ، برای ارسال سه نوع ترافیک مختلف به یک آدرس مقصد یکسان (که مثلاً می تواند ترافیک های صوت، داده و ویدئو باشند) تنها از یک مسیر استفاده می شود. به عبارت دیگردرمسیریابی سنتی IP، تنها به آدرس

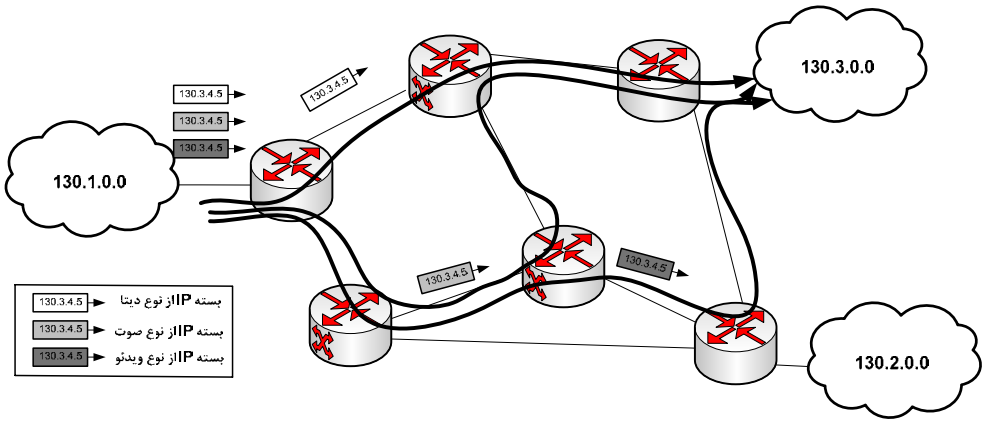
[1] -virtual circuit
[2] -point to point

مقصد بسته ها توجه می گردد و به نوع ترافیک ارسالی، توجهی نمی شود. اگر چه مکانیزم مسیر یابی مبتنی بر سیاست[1] در اینگونه شرایط پیشنهاد می‌گردد، ولی این مکانیزم تنها در شبکه‌های کوچک قابل استفاده است و در شبکه‌های بزرگ تا حد قابل ملاحظه‌ای محدودیت ایجاد می‌کند.

MPLS براساس تقسیم‌بندی کیفیت سرویس می‌تواند براحتی با یک آدرس IP یکسان مقصد، بسته‌ها را در مسیرهای متفاوت عبور دهد و تصمیم‌گیری برای هدایت نمودن بسته‌ها نه تنها براساس آدرس مقصد بلکه براساس اینکه از بسته از کدام درگاه وارد شده و یا از چه نوع کیفیت سرویسی برخوردار است، تعیین می‌گردد. این مسئله درشکل (۱۴-۹) نشان داده شده است.



شکل(۱۴-۸): عدم توجه IP به نوع ترافیک ارسالی



شکل(۱۴-۹): تخصیص مسیردرMPLS براساس نوع ترافیک های موجود

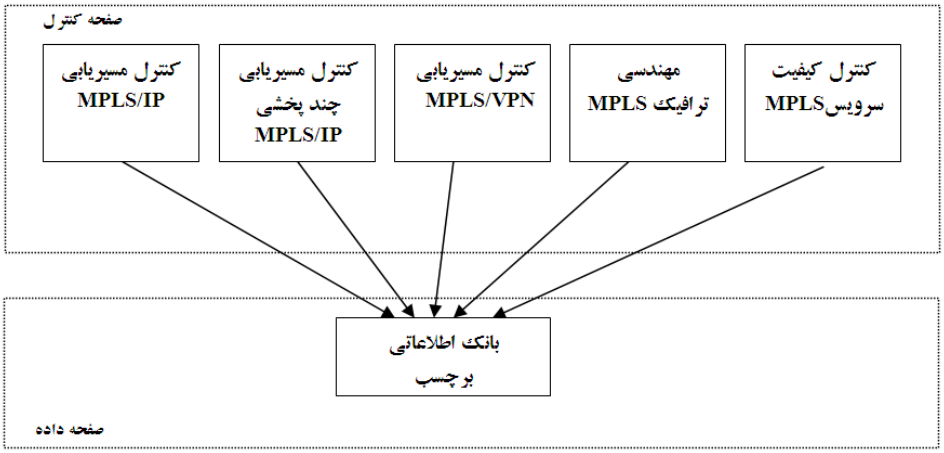
2 - policy-based-routing

۴- در شبکه‌های سنتی IP، هرگونه تغییر در اطلاعات کنترلی و هدایت مربوط به بسته‌ها به کلیه مسیریابهای موجود درآن حوزه مسیریابی منتقل خواهد شد که آن مستلزم زمانی برای همگرایی است. MPLS با وقوع هر تغییری در شبکه، تنها از طریق ایجادبرچسب جدید این امکان را فراهم می‌سازد که بدون ایجاد خللی در شبکه بسته‌ها به مقصد برسند.

۵- در شبکه‌های سنتی، مسیریابهای مرکزی شبکه می‌بایست از مسیرهای خارج از ناحیه IGP مطلع باشند تا بدانند هر بسته را به کدامیک ازدروازه های شبکه هدایت کنند. این مسئله عملاً وظیفه اصلی مسیریابهای مرکزی شبکه که هدایت سریع است را با داشتن حجم بالایی از اطلاعات مسیریابی مختل می‌کند. همچنین مسیریاب نیازمند به حافظه بالا و پردازنده های قوی خواهد شد.

۱۴-۴- کاربردهای MPLS

قدرت واقعی شبکه MPLS بر کاربردهای آن استوار است. شکل(۱۴-۱۰) بیانگر کاربردهای شبکه MPLS بوده که همگی در صفحه کنترل مهیا می‌گردند.



شکل(۱۴-۱۰): کاربردهای شبکه MPLS

با توجه به شکل (۱۴-۱۱)، واضح است که MPLS با استفاده از محاسن بدون اتصال بودن لایه سوم و هدایت پیشروی اتصال گرای لایه دوم ، فنآوری نوینی را ابداع نموده که به دو قسمت صفحه کنترل و صفحه داده تقسیم شده است. صفحه کنترل همانند لایه سوم مسئولیت مسیریابی جهت ارسال بسته‌ها را به عهده دارد وصفحه داده مانند لایه دوم مسئولیت هدایت پیشروی بسته ها را به عهده دارد. MPLS قادر است که یک مکانیسم هدایت پیشروی ساده در هر پرش را جایگزین عملیات سنگین جستجو در لایه سوم با استفاده از عملیات بسیار ساده جایگزینی برچسب کند. این ساده‌سازی، تجهیزات WAN را قادر ساخت تا بتوانند در شبکه دوباره بکار گرفته شوند. بدین منظور توسط یک نرم افزار عمل کنترل در سوئیچهای لایه ۲ به روز رسانی می گردد.

مطابق با شکل (۱۴-۱۱)، درصفحه کنترل MPLS کاربردهای مختلفی نظیر: مهندسی ترافیک ، کنترل کیفیت سرویس، کنترل مسیریابی MPLS/VPN، کنترل مسیریابی چندپخشیMPLS/IP وکنترل مسیریابی MPLS/IP وجود دارد.

۱۴-۵- پروتکل‌های توزیع برچسب در MPLS

در شبکه MPLS ، از پروتکل‌های مختلفی برای انجام عملیات اختصاص و توزیع برچسب استفاده می‌شود. چنانچه درشبکه ازمسیریابی "پرش به پرش" استفاده شود، دراین‌صورت برای انجام عملیات اختصاص و توزیع برچسب از پروتکل‌هایی مانند LDP ، BGP و RSVP استفاده می‌گردد. همچنین در حالتی که شبکه MPLS ، از مسیریابی صریح استفاده می نماید، پروتکل‌های RSVP-TUNNELS و CR-LDP برای انجام عملیات اختصاص و توزیع برچسب به کارگرفته می‌شوند.

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره گردید، درهریک از LSR های موجود درمسیرLSP، جدولی به نام جدول هدایت به جلو که شامل زوج‌های مرتب {شماره درگاه ورودی ، برچسب ورودی} به { شماره درگاه خروجی، برچسب خروجی} است ، وجود دارد. عملیات ایجاد جداول فوق، برقراری LSP یا توزیع برچسب نامیده می‌شود. براساس سیاست نظارتی شبکه و همچنین نیازهای سخت افزاری شبکه MPLS، می‌توان از روش‌های مختلفی جهت توزیع برچسب استفاده کردد. پروتکل‌های مختلفی برای انجام عملیات اختصاص و توزیع برچسب در شبکه‌های MPLS ارائه شده اند که عبارتند از:

الف) تخصیص برچسب به‌صورت پرش به پرش: در این روش، مطابق با مسیریابی پرش به پرش ، مسیریاب بعدی در مسیر LSP تعیین می‌شود و عملیات اختصاص LSP انجام می‌گردد، که در نهایت سبب ایجاد مسیر LSP می‌شود. پروتکل‌های LDP ، CR-LDP و RSVP در این حالت مورد استفاده قرار می‌گیرند. بعد از ایجاد LSP درشبکه، می‌توان از درون بسته‌های ارسالی که دایماً برای تبادل اطلاعات مسیریابی بین مسیریاب‌های شبکه مبادله می‌شوند، اطلاعات برچسب‌هایی را که برای رسیدن به هر مقصد استفاده می‌شود، را نیز ارسال نمود.

ب) اختصاص برچسب به‌صورت صریح :چنانچه از مسیریابی صریح در شبکه استفاده شود، دراین‌صورت می‌توان از پروتکل‌های توزیع برچسب درخواستی، مانند CR-LDP و RSVP استفاده کرد. از پروتکل‌های CR-LDP و RSVP برای برقراری LSP هایی که در آنها با رزرو منابع لازم درمسیریاب‌های موجود در مسیر، کلاس سرویس مشخصی تضمین می‌شود، استفاده می‌شود.

۱۴-۵-۱- پروتکل LDP

از پروتکل LDP در شبکه‌های MPLS جهت توصیف یک‌سری روال های لازم برای اختصاص و توزیع برچسب‌های نگاشت‌یافته به کلاس‌های FEC بین LSR های شبکه استفاده می‌شود. البته همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، علاوه بر پروتکل LDP ، پروتکل‌های دیگری مانند RSVP وCR-LDP نیز وجود دارند که با توجه به اهمیت پروتکل LDP ، در این قسمت به توصیف اجمالی عملکرد آن می‌پردازیم.

در شبکه‌های MPLS مسیر LSP ، با توجه به کلاس FEC که بسته‌های ورودی به آن نگاشت می یابند، به‌وجود می‌آید. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، درMPLS دو LSR شبکه که با استفاده از پروتکل LDP ، اقدام به مبادله اطلاعات مربوط به اختصاص و نگاشت برچسب به FEC می نمایند، همتای LDP یکدیگر نامیده می‌شوند. برای تبادل اطلاعات مربوط به برچسبها بین دو همتای LDP یک جلسه LDP برقرارمی‌شود. از هر جلسه LDP برای تبادل اطلاعات نگاشت برچسب بین یک LSR و LSR همتای آن استفاده می‌گردد . بنابراین جلسات LDP یک‌طرفه می‌باشند و برای تبادل دوطرفه اطلاعات برچسب، باید بین دو LSR همتا، دو جلسه LDP به‌وجود آید.

۱۴-۵-۱-۱- انواع پیام‌های LDP

به طور کلی چهار نوع پیام LDP وجود دارد که عبارتند از:

الف) پیام‌های اکتشاف[1]: از این پیام‌ها برای مطلع شدن LSR ها از یکدیگر و حفظ آمادگی LSR ها برای تبادل اطلاعات برچسب استفاده می‌شود.

ب) پیام‌های جلسه[2]: از این پیام‌ها برای پایه گذاری، نگه‌داری و پایان دادن به جلسات LDP بین دو LSR همتا به کار می‌رود.

ج) پیام‌های اطلاع‌رسانی[3]: برای ایجاد، تغییر و حذف برچسب‌های نگاشت یافته به کلاس‌های FEC از این پیام‌ها استفاده می‌شود.

د) پیام‌های اعلام[4]: از این پیام‌ها برای ارسال اطلاعات مشورتی و همچنین اعلام وقوع خطاهای گوناگون استفاده می‌شود.

LSR های شبکه MPLS ، با استفاده از پیام‌های اکتشاف و ارسال متناوب پیام"سلام" بین یکدیگر، حضور و آمادگی خود را به اطلاع یکدیگر می‌رسانند. پیام‌های اکتشاف در قالب بسته‌های UDP به شماره درگاه LDP بین تمام مسیریاب‌های موجود در زیرشبکه مبادله می‌شوند. هنگامی‌که دو LSR با استفاده از پیام‌های"سلام"، حضور خود در شبکه را متوجه شدند، برای مبادله اطلاعات نگاشت برچسب بین یکدیگر، ابتدا لازم است که یک جلسه LDP بین یکدیگر برقرار نمایند. بدین‌منظور از پیام‌های جلسه برای پایه‌گذاری جلسات LDP بین LSR های همتا استفاده می‌شود. از زیرلایه مطمئن TCP برای تبادل پیام‌های جلسه استفاده می‌گردد. بعد از اتمام موفقیت‌آمیز برقراری جلسه LDP، دو LSR همتا قادر به ارسال هرگونه پیام‌های اطلاع رسانی بین یکدیگر می‌باشند. در حالت کلی هر LSR که در مسیر یک LDP قرار دارد، از همسایه مجاور خود (LSR "پایین جریان") درخواست نگاشت برچسب به FEC می‌نماید. همچنین هر LSR موظف است وقتی که پیام درخواست برچسب را دریافت نمود، درخواست ورودی را پردازش کند و نتیجه را به اطلاع همسایه خود برساند. برای انجام صحیح روال‌های LDP نیاز به اطمینان بالا می‌باشد. بدین‌منظور برای برقراری جلسات LDP و ارسال پیام‌های آگهی و اطلاع‌رسانی از لایه ارسال TCP استفاده می‌شود.

درپروتکل LDP ، برای گزارش خطاهای احتمالی به LSR همتا، از پیام‌های اعلام استفاده می‌شود. دو نوع پیام اعلام در LDP وجود دارند که عبارتند از:

- ***پیام اعلام خطا:*** چنانچه یک LSR شبکه از LSR همتای خود، پیام اعلام خطا را دریافت دارد، در این صورت متوجه وقوع اشکال در جلسه LDP شده و بنابراین جلسه موجود را از بین می برد و بعد از آن تمام پیام‌های دریافتی متعلق به جلسه فوق را نادیده می‌گیرد.
- ***پیام اعلام مشورتی:*** برای ارسال اطلاعات مربوط به جلسه LDP و همچنین سایر اطلاعات وضعیتی ، از پیام‌های اعلام مشورتی استفاده می‌شود.

۱۴-۵-۱-۲- نحوه عملکرد LDP

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره گردید، از کلاس‌های FEC ، برای تعیین مسیرLSP که بسته‌های ورودی از طریق مسیر فوق به سمت مقصد هدایت می‌شوند استفاده می‌شود. بنابراین ممکن است که از چندین کلاس FEC مختلف در یک

---

[1] Discovery messages
[2] Session messages
[3] Advertisement messages
[4] Notification messages

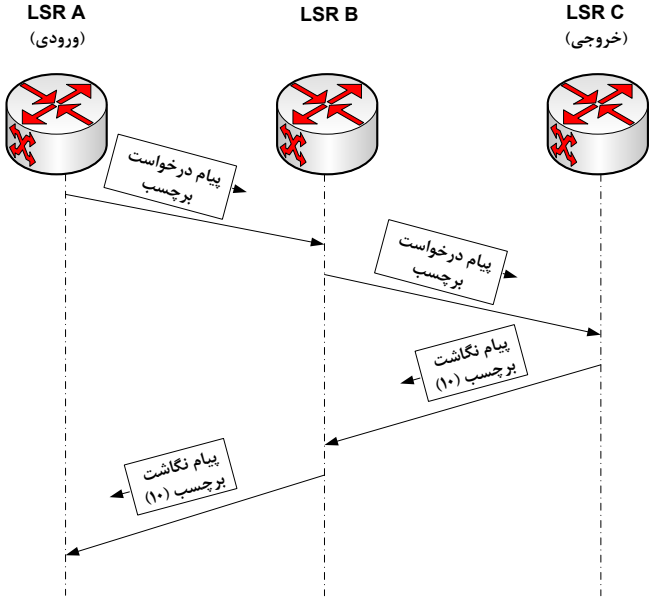
مسیرLSP واحد، به طورهمزمان ومشترک استفاده شود. در حال حاضر دو نوع FEC متداول عبارتند از پیشوند آدرس IP مقصد[۱] و آدرس میزبان[۲].

در هر LSR شبکه جهت تعیین مسیر LSP بسته ورودی، قوانین زیر به ترتیب به بسته ورودی اعمال می‌شوند تا این‌که مسیر بسته ورودی تعیین شود.

۱. چنانچه دقیقاً یک LSP با کلاس FEC نگاشت یافته از نوع آدرس میزبان موجود باشد که آدرس آن با آدرس مقصد بسته ورودی یکسان است، در این‌صورت بسته ورودی به آن LSP نگاشت می‌یابد.
۲. اگر چندین LSP با کلاس FEC از نوع آدرس میزبان موجود باشند که با آدرس مقصد بسته ورودی تطابق داشته باشند، دراین‌صورت یکی از LSP ها انتخاب می‌شود و بسته ورودی به آن مسیرنگاشت می‌یابد.
۳. اگر دقیقاً یک LSP با کلاس FEC از نوع پیشوند آدرس IP موجود باشد و پیشوند آدرس IP بسته مطابق با کلاس FEC مسیر LSP فوق باشد در این‌صورت بسته ورودی به آن LSP نگاشت می‌یابد.
۴. اگر چندین LSP با کلاس FEC از نوع پیشوند آدرس IP موجود باشند که پیشوند آدرس IP بسته ورودی مطابق با کلاس FEC مسیرهای موجود باشد، در این‌صورت LSP ای انتخاب می‌شود که تطابق بیشتری با آدرس مقصد بسته ورودی داشته باشد.
۵. چنانچه به این نتیجه برسیم که بسته ورودی باید به یک مسیریاب خروجی خاص ارسال شود، در این صورت چنانچه LSP ای موجود باشد که پیشوند آدرس آن مطابق با پیشوند آدرس آن مسیریاب باشد، دراین‌صورت بسته ورودی به آن مسیر LSP فرستاده می‌شود.

۱۴-۵-۲- پروتکل CR-LDP

پروتکلCR-LDP تکمیل یافته LDP می‌باشد که در آن امکانات مسیریابی مبتنی بر قید وجود دارد. در این پروتکل مشابه LDP ،از پروتکل TCP برای برقراری ارتباط و تبادل پیام‌های سیگنالینگ بین LSR های شبکه استفاده می‌شود. در شکل (۱۴-۱۱)، نحوه برقراری مسیرهای LSP با استفاده از پروتکل CR-LDP نشان داده شده است.



[۱] Address prefix
[۲] Host address

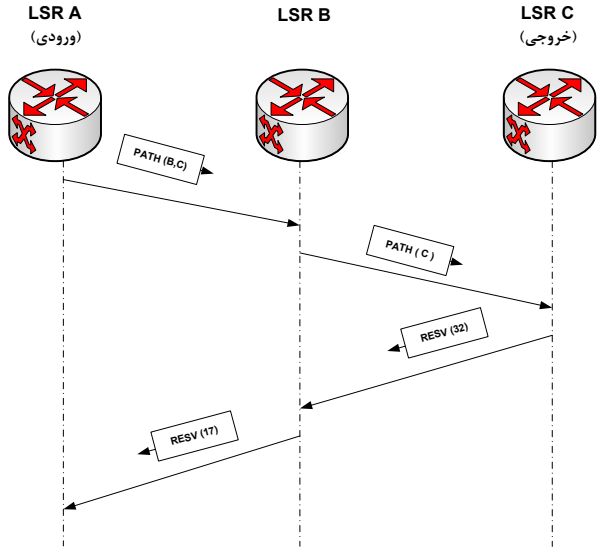
شکل(۱۴-۱۱): مثالی از نحوه اختصاص برچسب در پروتکل CR-LDP

مطابق با این شکل، LSR ورودی A با فرستادن پیام درخواست برچسب، درخواست خود را برای برقراری مسیر صریح با LSRC از طریق LSRB ارسال می دارد. در این پیام اطلاعات مشخصه‌های ترافیکی کاربر وجود دارد.LSRA منابع لازم برای برقراری LSP جدید را رزرو می‌کندو سپس پیام درخواست برچسب را برای LSR B می‌فرستد. با دریافت پیام فوق توسط LSR B ، منابع لازم برای برقراری LSP جدید ذخیره می‌شود و سپس پیام به LSRC فرستاده می‌شود. وقتی‌که پیام درخواست برچسب به LSR C رسید، منابع لازم برای LSP جدید رزرو می‌شود و سپس یک برچسب به LSP جدید اختصاص می‌یابد (دراینجا ۱۰) و از طریق پیام نگاشت برچسب، برچسب اختصاص یافته به اطلاع LSR B رسانده می‌شود. در این پیام، جزئیات مربوط به آخرین مشخصه‌های ترافیکی رزرو شده برای LSP جدید وجود دارد.LSRB پیام نگاشت برچسب را دریافت می‌کند و فیلد مشخصه، مسیر موجود در پیام دریافتی را با فیلد موجود در پیام ارسالی درخواست برچسب که قبلاً آن را ارسال کرده بود، مطابقت می‌دهد و بعد از آن عملیات رزرو منابع برای LSP جدید را نهایی می‌کند و یک برچسب خاص برای LSP جدید اختصاص می‌دهد (دراینجا ۱۷). برچسب اختصاص یافته درجدول هدایت به جلو ذخیره می‌شودو از طریق پیام نگاشت برچسب به LSR A ارسال می‌شود. با دریافت پیام نگاشت برچسب، LSR A عملیات مشابه آنچه که توسط LSR B انجام شده بود، انجام می‌دهد با این تفاوت که با توجه به این‌که LSR LSRA ورودی می‌باشد، بنابراین نیازی به اختصاص برچسب به LSP جدید نمی‌باشد.

۱۴-۵-۳- پروتکل RSVP

پروتکل RSVP ، جهت رزرو منابع در اینترنت از پروتکل‌های UDP یا IP استفاده می نماید. برای استفاده از پروتکل RSVP در MPLS به نحوی که امکان اختصاص و توزیع برچسب در آن امکان پذیر باشد، باید یک‌سری عملیات پایه به آن افزوده شود. در شکل(۱۴-۱۲)، عملیات اساسی RSVP جهت ایجاد مسیرLSP در MPLS آورده شده است.مطابق با این شکل، مراحل کار جهت برقراری LSP و اختصاص برچسب به‌صورت زیر می‌باشد:

- LSR ورودی A با ارسال پیام PATH به LSR B ، درخواست خودرا برای برقراری LSP با LSRC اعلام می‌کند. در این پیام مشخصه‌های ترافیکی و همچنین مسیر صریح آورده شده است.
- با دریافت پیام فوق توسط LSRB ، مسیر صریح موجود در پیام تغییر می‌کند و پیام درخواست در قالب یک بسته IP به LSRC فرستاده می‌شود.



شکل (۱۴-۱۲): مثالی از پروتکل RSVP

- وقتی که LSR C پیام را دریافت نمود، با استفاده از مشخصه‌های ترافیکی موجود در بسته ، پهنای باند لازم را به LSP جدید اختصاص می‌دهد. سپس برچسب جدیدی را به مسیر جدید اختصاص می‌دهد و آن را از طریق پیام RESV به اطلاع LSR B می رساند. در این پیام اطلاعات جزئی تر در مورد میزان رزرو منابع لازم برای LSPجدید آورده شده است.
- وقتی کهLSR B پیام RESV را دریافت کرد، پیام را با استفاده از فیلد مشخص کننده مسیر، با پیام قبلی دریافتی (پیام PATH) مطابقت می‌دهد و درصورت تطابق، با کمک اطلاعات موجود در پیام، میزان پهنای باند لازم برای LSP جدید را رزرو می‌کند و برچسب جدیدی را به LSP اختصاص می‌دهد وآن را درجدول هدایت برچسب قرار می‌دهد وسپس پیام RESV را که حاوی برچسب جدید است به LSR A ارسال می دارد.
- وقتی LSR A پیام RESV را دریافت نمود، مشابه LSR B عمل می نماید با این تفاوت که چون LSR A یک LSR ورودی می‌باشد، نیازی به اختصاص برچسب جدید ندارد.

با توجه به آنچه در بالا توضیح داده شد، می‌توان به این نتیجه رسید که دو پروتکل RSVP و CR-LDP دارای تفاوت‌های زیر می‌باشند:

۱. CR-LDP از پروتکل مطمئن TCP برای تبادل پیام‌های سیگنالینگ استفاده می نماید در حالی‌که RSVP از پروتکل‌های نامطمئن IP وUDP برای این منظور استفاده می‌کند.
۲. عملیات رزرو منابع در CR-LDP در مسیرجلوانجام می‌شود در حالی‌که درRSVP این کاردرمسیرمعکوس انجام می‌شود.

۱۴-۶- مهندسی ترافیک در MPLS

مهندسی ترافیک اولین ومهمترین کاربرد فنآوری MPLS می باشد. ویژگی های زیر ، MPLS را به بستر مناسبی برای انجام مهندسی ترافیک تبدیل کرده است:

۱- با کمک روال های مهندسی ترافیک می توان LSP های صریح را به صورت دستی یا اتوماتیک تخصیص داد.

۲- LSP ها را ذاتاً می توان به صورت مناسب و موثری نگهداری و مدیریت نمود.
۳- می تونان ترانک های ترافیکی را ایجاد نمود و به LSP ها نگاشت داد.
۴- می توان مجموعه ای از صفات را به منابع ترافیکی تخصیص داد که ویژگی رفتاری آنها را مشخص می نماید.
۵- می توان مجموعه ای از صفات را به ترانک های ترافیکی تخصیص داد که ویژگی رفتاری آنها را مشخص می نماید.
۶- امکان مجتمع سازی و غیر مجتمع سازی فراهم می شود.

۱۴-۶-۱- مسیر یابی مبتنی بر قید

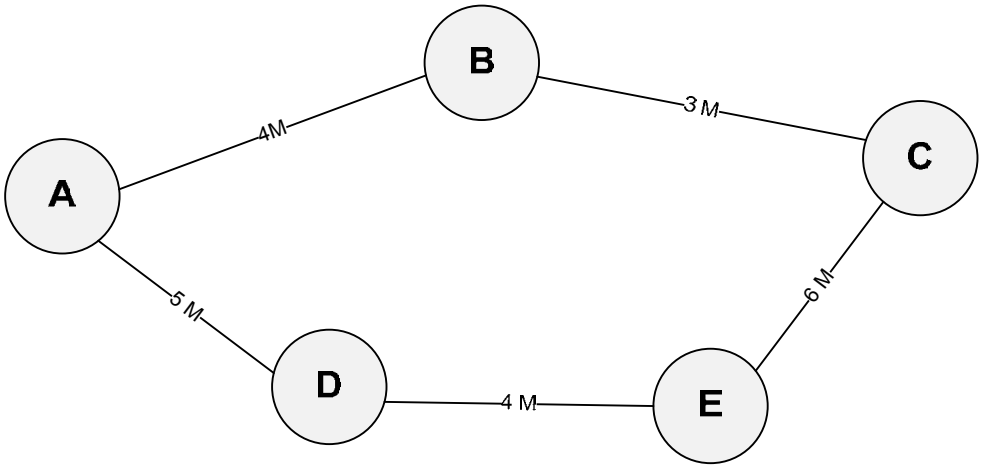
یکی از جنبه های مهندسی ترافیک درشبکه های MPLS، مسیریابی مبتنی برقید است. هدف مسیریابی مبتنی بر قید، یافتن مسیری است که بتواند قیود معین شده را ارضاء کرده و از نظر مصرف منابع بهینه باشد. توابع قیود را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد:

۱- قیود کارایی : که مربوط به نحوه عملکرد کارایی شبکه می باشند. مانند قیود پهنای باند ، تاخیر ، هزینه.
۲- قیود نظارتی : که توسط ناظر یا مدیر شبکه تعیین می گردند. مثلاً بنا به دلایلی شبکه تشخیص دهد که نباید از برخی لینک های خاص برای انتقال ترافیک استفاده نمود.

با توجه به این تقسیم بندی قیود، می توان مسیر یابی مبتنی بر قید را شامل مسیر یابی مبتنی بر کیفیت سرویس و مسیر یابی مبتنی بر سیاست دانست. مسیر یابی مبتنی بر کیفیت سرویس مربوط به قیود کارایی می باشد که در آن مسیری را جستجو می کنیم که قیود کارایی در نظر گرفته شده را ارضا کند. مثلاً مسیری که حداقل پهنای باند قابل رزرو آن از حد معینی بیشتر باشد ویا مسیری که تاخیر کل آن مسیر از مقدار مشخصی کمتر باشد. مسیریابی مبتنی بر سیاست مربوط به قیود نظارتی می باشد که در آن مسیری را جستجو می کنیم که قیود نظارتی در نظر گرفته شده را ارضا کند . برای مثال مسیری که از یک مجموعه لینک های به خصوص عبور نکند ویا اینکه فقط از مجموعه لینک های خاصی گذر کند.

می‌تواند به سادگی با حذف لینک‌هایی که نمی‌خواهیم ترافیک از آنها عبور کند از مجموعه کل لینکهای توپولوژی شبکه، مسیریابی مبتنی بر سیاست را انجام داد. لذا آنچه که بیشتر مورد توجه وتحقیق و بررسی صورت می‌گیرد، مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس است. هدف مسیریابی مبتنی برسرویس، یافتن مسیر یا مسیرهایی است که نیازهای کیفیت سرویس خاصی را بنا بر نوع ترافیکی که می‌خواهید از آن مسیر عبور کند، را ارضا کند. مثلاً اگر نیازهای کیفیت سرویس برای یک ترافیک بخصوص پهنای باندی بیش 4M باشد، مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس باید مسیری را بیابد که این قید پهنای باند را ارضا کند.

در شکل(۱۴-۱۳) فرض کنید الگوریتم مسیریابی مبتنی بر قید باید مسیری را بیابد که پهنای باند آن بیشتر از 4M باشد. اگر چه مسیر A-B-C کوتاهتر است اما برای اینکه قید پهنای باند ارضا شود مجبور هستیم از مسیر A-D-E-C استفاده کنیم زیرا لینک بین نودهای B و C از مسیر A-B-C دارای 3M پهنای باند قابل رزرو می‌باشد که این مقدار کوچکتر از پهنای با درخواست شده یعنی 4M می‌باشد.



شکل(۱۴-۱۳): مثالی از مسیریابی مبتنی بر قید

همانطور که درفصل های قبل اشاره شد، به طورکلی مسیریابی شامل دو جزء است که عبارتند از: پروتکل مسیریابی و الگوریتم مسیریابی. وظیفه پروتکل مسیریابی، جمع‌آوری اطلاعات وضعیت شبکه و منابع در دسترس شبکه و نیز توزیع و انتشار این اطلاعات در شبکه می‌باشد تا از اطلاعات به روز شده برای محاسبه مسیر استفاده گردد. الگوریتم مسیریابی از این اطلاعات به روز شده شبکه برای محاسبه مسیر بهینه و مناسب استفاده می‌نماید. در مسیریابی سنتی شبکه‌های IP از شاخص‌هایی مثل تعداد پرش بعنوان هزینه برای یافتن کوتاهترین مسیر به مقصد مورد نظر استفاده می‌گردد.

۱۴-۶-۲- شاخص[1]های کیفیت سرویس

نیازهای کیفیت سرویس باید بصورت برخی شاخصهای کیفیت سرویس قابل اندازه‌گیری بیان شوند. برخی از شاخصهای شناخته شده عبارتند از پهنای باند، تأخیر، تغییرات تأخیر، هزینه، احتمال اتلاف بسته و....

شاخصها را می‌توان به ۳ دسته تقسیم بندی نمود که عبارتند از: جمعی[2]، ضربی[3]، و مقعر[4]. فرض کنید n1 و n2 نودهای شبکه بوده و m(n1,n2) شاخصی برای لینک (n1,n2) باشد، برای هر مسیر p = (n1,n2,n3,…,ni,nj) ، شاخص m:

- جمعی است اگر $m(p) = m(n1,n2)+m(n2,n3)+\ldots+m(ni,nj)$

شاخصهای تأخیر، تغییرات تأخیر، هزینه و تعداد جهش مثالهایی از این دست می‌باشند. بعنوان مثال، تأخیر مسیر مجموع تأخیرهای هر یک از لینک‌های مسیراست.

- ضربی است اگر $m(p) = m(n1,n2)*m(n2,n3)*\ldots*m(ni,nj)$

قابلیت اطمینان[5] مثالی است از این دست که $0 < m(ni,nj) <1$

- مقعر است اگر $m(p) = \min\{m(n1,n2),m(n2,n3),\ldots,m(ni,nj)\}$

مثلاً پهنای باند یک شاخص مقعر است. منظور از پهنای باند یک مسیر، حداقل پهنای باند در دسترس (قابل رزرو) بین تمامی لینک‌های روی مسیر می‌باشد.

---

[1] - metric
[2] - Additive
[3] - Multiplicative
[4] - Concave
[5] - Reliability

۱۴-۶-۳- طبیعت اتصال گرای سرویسهای مبتنی بر کیفیت سرویس

شبکه جهانی اینترنت بدون اتصال و بدون حالت[1] است. بدون حالت بودن یعنی اینکه مسیریابهای موجود در طول مسیر جریان ترافیک، اطلاعات بخصوص در مورد وضعیت هر جریان را نگهداری نمی‌کنند. بسته‌های یک جریان ترافیکی، فقط براساس جدول مسیریابی مسیریابها، مسیریابی می‌گردد، در حالیکه این ایده ساده و قیاس‌پذیر است و سبب موفقیت اینترنت می‌گردد، اما برای ارائه کیفیت سرویس به جریان‌های ترافیکی کافی نیست. برخلاف سرویسهای بهترین تلاش، سرویسهایی که کیفیت سرویس برای آنها اهمیت دارد، اغلب نیاز دارند که منابع در خواست شده از طرف آنها، از سوی شبکه برایشان رزرو گردد. مسیرمناسب از قبل برای این سرویس‌ها تعیین شده و منابع به آن تخصیص داده می‌شوند. با اتمام کار انتقال داده‌ها، مسیر یا اتصال بین مبدا و مقصد آزاد می‌شود.

برای انتخاب مسیر، اطلاعات وضعیت شبکه مربوط به نودهای مختلف، باید در اختیار نودی قرار گیرد که می‌خواهد مسیر را تعیین نماید تا این نود با استفاده از الگوریتم مسیریابی مورد نظر، مسیری را بیابد که بتواند نیازهای کیفیت سرویس لازمه را ارضا نموده و مسیر بهینه نیز باشد. سپس باید منابع مورد نیاز برای انتقال اطلاعات روی این مسیر رزرو گردند.

انتشار اطلاعات وضعیت نودهای شبکه و نگهداری این اطلاعات، بر عهده پروتکل مسیریابی و رزرو کردن منابع روی مسیر بمنظور انتقال داده‌ها و نیز آزاد کردن این منابع پس از انتقال داده‌ها، وظیفه پروتکل‌های سیگنالینگ می‌باشد. آنچه باقی می‌ماند نحوه یافتن مسیر است که توسط الگوریتم مسیریابی مبتنی برکیفیت سرویس انجام می‌پذیرد. الگوریتمی که براساس آن و با توجه به اطلاعات وضعیت شبکه و همچنین نیازهای کیفیت سرویس درخواست رسیده، مسیر مناسب و بهینه تعیین می‌گردد.

۱۴-۶-۴-اهداف مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس

پروتکلهای فعلی مسیریابی در اینترنت مانند OSPF، RIP، BGP پروتکلهای مسیریابی بهترین تلاش نام دارند که فقط از کوتاهترین مسیراستفاده می‌نمایند. بعبارت دیگر، بطور عادی از الگوریتم‌های بهینه سازی تک منظوره بهره می‌گیرند که فقط یک شاخص (یا پهنای باند یا تعداد پرش ها و یا هزینه) را لحاظ می‌کنند. لذا تمام ترافیکها به کوتاهترین مسیر موجود مسیریابی می‌شوند. حتی اگر مسیرهای دیگری نیز وجود داشته باشند، مادامی که کوتاهترین مسیر نباشند، مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. عیب عمده این گونه مسیریابی این است که موجب ازدحام[2] در برخی لینک‌ها می‌شوند در حالیکه برخی از لینک‌های دیگر کاملاً و یا حتی اصلاً مورد استفاده قرار نمی گیرند. این همان مشکلی است که مهندسی ترافیک برای حل آن بکار گرفته می‌شود. ثانیاً مسیریابی بهترین تلاش، وقتی که مسیر بهتری یافت شود، ترافیک را به آن مسیر جدید منتقل می‌نماید. حتی اگر مسیر فعلی نیازهای سرویس آن ترافیک را تأمین کند. این امر سبب ناپایداری[3] در مسیریابی می‌گردد.

مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس برای رفع این معایب طراحی شده است که اهداف عمده آن عبارتند از:

- تأمین نیازهای کیفیت سرویس کاربران انتهایی:یافتن مسیری که نیازهای پهنای باند، تأخیر، تغییرات تأخیر، احتمال از دست دادن بسته و ... را ارضا نماید.
- بهینه سازی در استفاده از منابع شبکه: مسیریابی مبتنی برکیفیت سرویس باید ترافیک را به گونه‌ای مسیریابی وجهت‌دهی کند که بتواند میزان گذردهی کلی شبکه را به حداکثر برساند. یافتن کوتاهترین مسیر به این مسئله کمک می‌کند زیرا که مسیر طولانی‌تر، منابع بیشتری از شبکه را مصرف می‌نماید.

---

[1] - Stateless
[2] - Congestion
[3] - Un stability

- مسیریابی مبتنی بر کیفیت سرویس باید بخصوص در حالتی که حجم بار ترافیکی سنگین است، کارایی بهتری را نسبت به مسیریابی بهترین تلاش از خود نشان دهد (مثلاً میزان گذردهی بهتری داشته باشد).

پرسش های فصل

۱. فیلدهای موجود درسرآیند MPLS را نوشته و عملکرد هریک را توضیح دهید.
۲. اهدافی که درطراحی MPLS مد نظر است را توضیح دهید.
۳. معماری پشته MPLS را رسم کنید.
۴. مفهوم LSR و LER را درMPLS توضیح دهید.
۵. مفهوم LSR پایین جریان و بالا جریان را توضیح دهید.
۶. مزایای مسیریابی MPLS را برمسیریابی متداول لایه سوم توصیف نمایید.
۷. واحد NHLFE را درMPLS توضیح دهید.
۸. اطلاعاتی که توسط NHLFE مشخص می‌شود را توصیف نمایید.
۹. نحوه عملیات تعویض برچسب را در MPLS توضیح دهید.
۱۰. انواع روش‌های کنترل LSP را نوشته و تفاوت آنها را بایکدیگر مشخص نمایید.
۱۱. مفهوم مجتمع سازی ترافیک در MPLS را توضیح داده و مزایای آن را بنویسید.
۱۲. روش‌های مختلف استفاده از سوئیچ‌های ATM به‌عنوان LSR های شبکه MPLS را توضیح دهید.
۱۳. عملیات ادغام برچسب درMPLS را توضیح داده و مزایای آن را بنویسید.
۱۴. انواع روش‌های اختصاص برچسب در MPLS را توضیح دهید.
۱۵. مشخصات اصلی پروتکل LDP را نوشته و انواع پیام‌های آن را توصیف نمایید.
۱۶. نحوه تعیین مسیر LSP، را درپروتکل LDP توصیف کنید.
۱۷. تفاوت پروتکل CR-LDP را با LDP بنویسید.
۱۸. مراحل برقراری LSP و اختصاص برچسب با استفاده از پروتکل RSVP را توضیح دهید.
۱۹. تفاوت مسیریابی مبتنی برسیاست و مسیریابی مبتنی برکیفیت سرویس را توضیح دهید.
۲۰. با ذکر یک مثال مشکلات مسیریابی سنتی IP را ذکر نموده و توضیح دهید که هر مشکل را به چه صورت می توان حل نمود؟
۲۱. اهداف اصلی مهندسی ترافیک درMPLS را تشریح نمایید.
۲۲. با مراجعه به اینترنت حداقل یک الگوریتم مسیریابی کیفیت سرویس را بدست آورده و عملکرد آن را توضیح دهید.