Archive of SID

مسیریاب‌های IP با کارآیی بالا

مسعود صبائی
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
sabaei@aut.ac.ir

۱. مقدمه

شبکه‌های اینترنت و پروتکل مقاوم و قابل اطمینان آن (IP[۱])، به طور گسترده‌ای به عنوان زیر ساخت و بستر ارتباطی انتقال اطلاعات فعلی و آینده مورد ملاحظه قرار گرفته است. سرعت انتقال اطلاعات با بکارگیری فیبرهای نوری با پهنای باند زیاد به طور فوق العاده‌ای در حال افزایش است. با در دسترس بودن پهنای باند بسیار زیاد، توسعه سرویس‌های چند رسانه‌ای نظیر یادگیری از راه دور، کنفرانس ویدیویی، پخش رادیو و تلویزیونی، و ... امکان پذیر شده است. تکنولوژی‌های دسترسی موجود نظیر DSL[۲] و WiMax[۳] راه‌حل‌های مناسبی برای دسترسی کاربران خانگی به اینترنت فراهم کرده است. علاوه بر آن، با دسترسی از طریق اترنت گیگا بیت[۴] بر روی فیبر نوری انتظار می‌رود سرعت دسترسی کاربران تجاری نیز به صورت فوق العاده‌ای افزایش یابد. بدیهی است که نتیجه بکارگیری تکنولوژی‌های دسترسی با پهنای باند گسترده موجب افزایش تقاضای پهنای باند اینترنت خواهد شد. به همین سبب، پژوهشگران همواره در پی بهبود سیستم‌های ارسال سریع‌تر و تکنولوژی‌های سوییچینگ سریع‌تر بوده‌اند. پیدایش تکنولوژی فیبرهای نوری همچون همتافتگری تقسیم طول موج با چگالی بالا (DWDM[۵])، همتافتگرهای اضافه کننده- کاهش دهنده[۶]، و ... تأثیر بسیار زیادی بر روی پایین آوردن هزینه انتقال دیجیتال داشته است. به عنوان نمونه، می‌توان بر روی یک رشته فیبر در مسافت ۷۰۰ کیلومتر، با استفاده از همتافتگری تقسیم طول موج، ۳۰۰ کانال ۱۱/۶ گیگا بیت در ثانیه، مجموعاً ۳/۴۸ پتا بیت در ثانیه، را ارسال و دریافت نمود[۱]. به علاوه، با بکارگیری فناوری سیستم‌های میکرو الکترونیکی مکانیکی (MEMS[۷])، سیستم‌های سوییچینگ اتصال‌های متقاطع نوری (OXC[۸]) ۱۲۹۶×۱۲۹۶ با مجموع ظرفیت سوییچینگ ۲/۰۷ پتا بیت در ثانیه ساخته شده است[۲]. هدف از این مقاله مروری بررسی وضعیت زیرساخت شبکه و روند طراحی و تأثیرات آن‌ها بر روی نسل جدید مسیریاب‌های IP می‌باشد. بدین منظور، معماری مسیریاب‌های IP با کارآیی بالا و چالش‌هایی که در طراحی مسیریاب‌های IP با کارآیی بالا و اندازه بزرگ مطرح است نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ادامه این مقاله بدین شکل سازماندهی شده است: در بخش ۲ معماری شبکه‌های اینترنت موجود و آینده مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش ۳ به انواع معماری‌های مسیریاب‌ها IP و اجزاء تشکیل دهنده آن‌ها می‌پردازد. اهداف طراحی و چالش‌های پیش روی طراحان مسیریاب‌های هسته[۹] شبکه در بخش ۴ بررسی خواهد شد و نهایتاً بخش ۵ به نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است.

۲. معماری شبکه‌های اینترنت: حال و آینده

در حال حاضر شبکه اینترنت از هزاران شبکه تجاری و فراهم کننده سرویس شبکه به گونه‌ای تشکیل شده است که برای یک سرویس دهنده عملاً امکان‌پذیر نیست تا بتواند دو گره مجزای شبکه را بر روی اینترنت به هم متصل کند. فراهم کنندگان سرویس در اینترنت (ISP[۱۰]) نیازمند پشتیبانی از یکدیگر برای برقراری ارتباط هستند. ISPها بر اساس اندازه شبکه، به سه دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند. دسته اول شرکت‌های مخابراتی بزرگ هستند که شبکه‌های پر سرعت آن‌ها ستون فقرات[۱۱] شبکه اینترنت را تشکیل می‌دهد. ISPهای دسته اول ظرفیت شبکه را از ISPهای دیگر خریداری یا اجاره نمی‌کنند. بلکه آن‌ها منابع شبکه خود را به ISPهای کوچکتر دسته دوم می‌فروشند یا اجاره می‌دهند. ISPهای دسته سوم، فراهم کنندگان سرویس اینترنت محلی هستند. ISPهای دسته اول با ارتباطات نظیر به نظیر[۱۲] با ISPهای همتای خود ستون فقرات شبکه اینترنت را تشکیل می‌دهند. مسیریاب‌های لبه‌ای در نقاط حضور (POP[۱۳]) به یکدیگر متصل شده‌اند (شکل ۱). هر POP ممکن است به POPهای همان ISP، تجهیزات سوییچینگ، به POPهای ISPهای دیگر از طریق همتاسازی، و یا به مسیریاب‌های ستون فقرات پیوند[۱۴] داشته باشد. هر مسیریاب لبه‌ای برای بالا بردن قابلیت اطمینان و ایجاد افزونگی حداقل به دو مسیریاب ستون فقرات متصل می‌باشد. شبکه‌های ستون فقرات شبکه دارای طراحی‌های متفاوتی هستند. بعضی از این شبکه‌ها دارای POPهای بزرگ

www.SID.ir

در شهرهای بزرگ هستند که هر کدام متصل به POPها در شهری کوچک‌تر می‌باشند[۳]. در واقع این نوع شبکه‌ها دارای تعداد POPهای زیاد با ساختار درختی هستند (شکل ۲- الف). در مقابل این نوع طراحی، طراحی دیگری نیز وجود دارد که POPها با تعداد کمتر که به خوبی بهم متصل شده‌اند در شهرهای بزرگ وجود دارند و پیوند شهرهای کوچک به POP از طریق ISPهای کوچک انجام می‌شوند (شکل ۲- ب). از آنجایی که هزینه فیبرهای نوری و تجهیزات نوری هر روزه در حال کاهش است، بعضی از طراحان شبکه معتقد هستند که شبکه‌های آینده شامل مسیریاب‌های IP یا MPLS[۱۵] با اندازه متوسط در لبه شبکه هستند که از طریق OxC و تکنیک انتقال DWDM به یکدیگر به صورت مستقیم و یا چند گامه متصل هستند. مسئله مهم نرخ بالای ارسال OxC و افزایش روز افزون آنها می‌باشد. OxCها در حال حاضر، دارای نرخ ارسال ۱۰ گیگا بیت در ثانیه هستند که در آینده نزدیک به ۴۰ گیگا بیت در ثانیه خواهد رسید. راه حل اول دارای کمترین میزان

شکل ۱: نقاط حضور (POP).

(الف) (ب)

شکل ۲: طراحی‌های متفاوت شبکه‌های ستون فقرات اینترنت[۳].

بهره‌وری پیوند است و راه حل دوم دارای تأخیر زیاد است. بنابر این، بعضی از طراحان شبکه اعتقاد دارند که بهتر آن است که مسیریاب‌های با ظرفیت سوییچینگ بالا IP یا MPLS در POP ایجاد شوند. این مسیریاب‌ها، ترافیک‌ها از مسیریاب‌های لبه‌ای در پیوندهای با سرعت بالا تجمیع می‌کنند. آن‌ها از طریق تجهیزات ارسال DWDM مستقیماً به دیگر مسیریاب‌های بزرگ شبکه در POPهای دیگر متصل هستند. این روش دارای بهره‌وری پیوند بیشتری و همچنین تعداد گام کمتری (در نتیجه تأخیر کمتر) می‌باشد.

تکنولوژی‌های مسیریاب‌های موجود پاسخگوی تقاضای ظرفیت سوییچینگ بالای حال و آینده نمی‌باشد. لذا، از تکنیک‌های کلاسترینگ با تعدادی مسیریاب‌های با اندازه متوسط با پیوندهای زیاد و کارت‌های خط[۱۶] گران قیمت استفاده می‌شود. راه حل مناسب، جایگزینی

www.SID.ir

Archive of SID

مسیریاب‌های کلاستر شده با یک مسیریاب با ظرفیت بالا مطابق شکل ۳ می‌باشد. این امر باعث کاهش قابل توجه هزینه تعداد پیوندها، کارت‌های خط و حتی فضای خواهد شد. یکی دیگر از مزایای این راه حل عدم جایگزینی مسیریاب‌ها به دلیل رشد ترافیک شبکه اینترنت هر چند سال یکبار می‌باشد. علاوه بر آن مزیت عمده دیگر این طرح کارآیی و اطمینان بالاتر بدلیل پیکربندی، مدیریت و نگهداری تعداد مسیریاب‌های کمتر می‌باشد.

۳. معماری مسیریاب‌های IP

عملیاتی که یک مسیریاب IP انجام می‌دهد به دو بخش عمده کارکرد بخش مسیر داده[۱۷] و کارکرد بخش کنترل تقسیم می‌شود[۴]. کارکرد بخش مسیر داده، عملیاتی همچون تصمیم جلورانی[۱۸]، جلورانی بسته‌ها، زمانبندی پیوند خروجی می‌باشد که به ازای هر بسته که از مسیریاب عبور می‌کند انجام می‌شود. زمانی که یک بسته به مسیریاب می‌رسد در موتور جلورانی، آدرس مقصد آن در جدول جلورانی جستجو می‌شود تا بهترین گام بعدی (پورت خروجی) برای جلورانی بسته تعیین شود. بهترین پورت خروجی بر اساس

شکل ۳: جایگزینی مسیریاب‌های کلاستر شده با یک مسیریاب با ظرفیت بالا مقیاس‌پذیر.

پیدا کردن پیشوند با بیشترین تطابق انتخاب می‌شود. در بعضی از کاربردها برای تأمین کیفیت سرویس یا فیلتر کردن بسته‌ها، بر اساس ۱۰۴ بیت اطلاعات سرآیند[۱۹] پروتکل IP و پروتکل لایه حمل[۲۰] یعنی فیلدهای آدرس‌های IP مبدأ و مقصد، و پروتکل، از سرآیند بسته‌های IP و شماره‌های پورت‌های ورودی و خروجی از سرآیند سگمنت TCP[۲۱] یا داده نگار UDP[۲۲]، جداسازی بسته‌ها[۲۳] صورت می‌پذیرد. بر اساس نتایج جداسازی بسته‌ها، ممکن است بسته حذف (کاربرد دیواره آتش[۲۴]) و یا در سطوح اولویت‌های مختلف سرویس (تأمین کیفیت سرویس) داده شوند. سپس مقدار TTL[۲۵] بسته یک واحد کم شده و بیت‌های چک کننده خطا مجدداً محاسبه می‌شوند.

کارکردهای بخش کنترل در برگیرنده عملیاتی نظیر پیکربندی سیستم، مدیریت و تبادل اطلاعات مسیریابی می‌باشد. کنترل کننده مسیر (RC[۲۶]) و کنترل کننده مدیریت (MC[۲۷]) از زیر بخش‌های اصلی بخش کنترل می‌باشند. کنترل کننده مسیر اطلاعات توپولوژی شبکه را با توجه پروتکل مسیریابی، نظیر پروتکل‌های RIP[۲۸]، OSPF[۲۹]، و BGP[۳۰]، با مسیریاب‌ها دیگر شبکه تبادل می‌کند و جدول مسیریابی را تولید می‌کند. همچنین کنترل کننده مسیر، جداول جلورانی بسته‌ها را برای موتورهای جلورانی تولید می‌کند. کنترل کننده مدیریت نیز عملیات مدیریت پیکربندی سیستم و همچنین وظایف مرتبط با نماینده[۳۱] مدیر شبکه را انجام می‌دهد. از آنجایی که کارکردهای بخش کنترل به ازای هر بسته انجام نمی‌شود، این بخش محدودیت سرعت خیلی سختی ندارند و این کارکردها می‌توانند به صورت نرم‌افزاری پیاده‌سازی شوند.

معماری مسیریاب‌های IP به طور کلی به دو دسته متمرکز (شکل ۴ – الف) و توزیع شده (شکل ۴ – ب) تقسیم می‌شوند. در معماری متمرکز مطابق با شکل ۴ – الف، واسط‌های شبکه، موتورهای جلورانی، کنترل کننده مسیر و کنترل کننده مدیریت از طریق سوییچ اصلی[۳۲] بهم متصل شده‌اند. در این معماری واسط‌های ورودی با دریافت بسته سرآیند آن را از طریق سوییچ اصلی به موتورهای جلورانی می‌فرستند. سپس موتورهای جلورانی پورت خروجی که بسته باید از آن خارج شود را تعیین می‌کند. این اطلاعات به واسط ورودی متناظر داده می‌شود تا بسته

www.SID.ir

برای ارسال به واسط خروجی تعیین شده فرستاده شود. در این معماری، موتورهای جلورانی که وظیفه پردازش سرآیند بسته‌ها را دارند، به طور مشترک توسط همه واسط‌ها استفاده می‌شوند. کارکردهای دیگر نظیر انجام پروتکل‌های مسیریابی، رزرو منابع، پردازش بسته‌های خاص، و مدیریت عملیات توسط کنترل کننده مسیر و کنترل کننده مدیریت انجام می‌شوند. یک مثال از این نوع مسیریاب‌ها، مسیریاب چند گیگا بیتی BBN است[۵].

شکل ۴ - ب معماری توزیع شده مسیریاب IP را نشان می‌دهد. تفاوت این معماری با معماری متمرکز در این است که کارکردهای موتورهای جلورانی در کارت‌های واسط قرار داده شده است. اکثر مسیریاب‌های IP با کارآیی بالا از این معماری استفاده می‌کنند. کنترل کننده مسیر، بر اساس پروتکل مسیریابی، جدول مسیریابی را نگهداری، ایجاد و بروز می‌کند. کنترل کننده مسیر با استفاده از جدول مسیریابی جداول جلورانی را تولید کرده و آن‌ها درون کارت‌های واسط بارگذاری می‌کند. بدیهی است بروز رسانی جدول مسیریابی، موجب بارگذاری مجدد جداول جلورانی خواهد شد. بروز رسانی مسیرها به صورت دوره‌ای و از مرتبه زمانی دقیقه انجام می‌شود. کنترل کننده مسیر باید بتواند جدول مسیریابی پویا و با سرعت بروز رسانی بالا را پشتیبانی کند.

(الف) (ب)

شکل ۴: انواع معماری‌های مسیریاب‌های IP، (الف) متمرکز، (ب) توزیع شده.

شکل ۵ معماری یک مسیریاب نمونه با چند کارت خط (واسط‌های ورودی/خروجی)، کنترل کننده مسیر و کنترل کننده مدیریت که از طریق سوییچ اصلی به هم متصل شده‌اند را نشان می‌دهد. تبادل اطلاعات بین RC، MC و کارت‌های خط از طریق سوییچ اصلی و یا یک شبکه اتصال دهنده دیگر همچون اترنت می‌باشد. کارت‌های خط نقاط ورود و خروج بسته‌ها به/از مسیریاب هستند. این کارت‌ها واسط لایه فیزیکی و لایه‌های بالاتر به بخش اصلی سوییچ می‌باشند. با توسعه کاربردهای جدید و پروتکل‌های مرتبط کارکردهای کارت‌های خط پیچیده‌تر می‌شوند. این کارت‌ها حداقل یک اتصال دوطرفه پر سرعت در سمت شبکه و یک ورودی/خروجی به سوییچ اصلی دارند.

یک کارت خط شامل اجزایی همچون فرستنده/گیرنده[۳۳]، قاب‌بندی[۳۴]، پردازنده شبکه (NP[۳۵])، مدیریت کننده ترافیک (TM[۳۶])، و پردازنده مرکزی (CPU[۳۷]) می‌باشد.

- فرستنده و گیرنده: این بخش عهده دار کارکردهای لایه فیزیکی از مدل OSI می‌باشد. دریافت و ارسال سیگنال و انجام عملیاتی از قبیل تبدیل سیگنال‌های نوری به الکتریکی و الکتریکی به نوری، و تبدیل سری به موازی و موازی به سری از جمله وظایف این بخش می‌باشد[۶ و ۷].
- قاب‌بندی: این بخش عهده دار کارکردهای مرتبط با لایه پیوند داده می‌باشد. عملیات همگام‌سازی، پردازش سرآیند قاب و استخراج بسته (سلول) از قاب از جمله وظایف این بخش می‌باشد.
- پردازنده شبکه: این بخش عهده دار کارکردهای پردازشی مرتبط با بسته‌ها (سلول‌ها) می‌باشد. عملیات جستجو در جدول جلورانی، جداسازی بسته‌ها و تغییر سرآیند بسته از جمله وظایف این بخش می‌باشد.

www.SID.ir

- مدیریت کننده ترافیک: این بخش عهده دار عملیات تأمین نیازمندی‌های کیفیت سرویس هر اتصال و رده سرویس[۳۸] می‌باشد. کنترل دسترسی ترافیک، مدیریت بافر و زمانبندی ارسال بسته‌های (سلول‌های) جریان‌های ترافیکی از جمله کارکردهای بخش مدیریت کننده ترافیک می‌باشد.
- واحد مرکزی پردازش: این بخش عهده دار کارکردهای مرتبط با صفحه کنترل[۳۹] مسیریاب می‌باشد. عملیات برقراری، نگهداری و رهاسازی ارتباط، برروز رسانی جدول مسیریابی، مدیریت بافر و ثبات‌ها، پشتیبانی از استثنأها از جمله وظایف CPU کارت‌های خط می‌باشد.

۴. طراحی مسیریاب‌های هسته

کارآیی بالا از نظر عبور حداکثر ترافیک داده‌ها یکی از مهم‌ترین اهداف طراحی مسیریاب‌های هسته می‌باشد. با تعریف سرویس‌های متنوع در لبه‌های شبکه و رشد سریع نیازمندی‌های پهنای باند، مسیریاب‌های هسته باید به گونه‌ای طراحی شوند که دارای انعطاف‌پذیری بیشتر و قابلیت گسترش بالاتری نسبت به گذشته باشند. در نتیجه اهداف طراحی مسیریاب‌های هسته به طور کلی به صورت زیر می‌باشد:

شکل ۵: معماری نوعی مسیریاب IP.

- کارآیی جلورانی بسته‌ها: برای پشتیبانی از سرویس‌های موجود در لبه‌های شبکه، تغییر و رشد آن‌ها در آینده، مسیریاب‌های هسته شبکه باید کارآیی جلورانی بسته‌ها در محدوده چند صد میلیون بسته در ثانیه را فراهم کند.
- مقیاس‌پذیری: با رشد سریع نرخ ترافیک در لبه‌های شبکه، فراهم کنندگان سرویس مجبورند هر چند سال یکبار تجهیزات شبکه خود را ارتقاء دهند. بنابر این مسیریاب‌های هسته باید به گونه‌ای ماجولار طراحی شوند تا به راحتی، با هزینه پایین و با زمان کوتاه قابل ارتقاء باشند. رعایت نکات مقیاس پذیری در طراحی موجب عدم نیاز به آموزش مجدد کاربران برای کار با مسیریاب جدید بدلیل عدم تغییر نرم‌افزار و واسط‌های کاربر در خلال ارتقاء سیستم می‌شود.
- چگالی پهنای باند: یکی از نکات دیگر در ارتباط با مسیریاب‌های هسته فضای فیزیکی مورد نیاز و توان مصرفی لازم می‌باشد. فراهم نمودن چگالی پهنای باند بیشتر در فاکتورهای شکل دهنده کمتر نیز از نکات مهم طراحی مسیریاب‌های هسته است. به عنوان نمونه اخیراً، مسیریاب‌های هسته ۳۲ واسط OC-192 یا ۱۲۸ واسط OC-48 را در یک فضای کمتر از نصف یک رک فراهم می‌کنند که موجب اشغال فضای کمتر و مصرف انرژی کمتر می‌شود.
- ویژگی‌های تحویل سرویس: برای فراهم‌سازی کیفیت سرویس به صورت انتها و انتها، مسیریاب هسته باید به گونه‌ای طراحی شود تا بتوانند از سرویس‌های مختلف نظیر رده‌های سرویس DiffServ[۴۰]، فیلتر کردن بسته‌ها، نظارت و کنترل ترافیک، محدود نمودن نرخ، و مانیتور کردن ترافیک در سرعت‌های بالا پشتیبانی کنند. انجام این سرویس‌ها در مسیریاب‌های هسته باید بدون تأثیر گذاری بر کارآیی جلورانی بسته‌ها صورت پذیرد.

www.SID.ir

- در دسترس بودن: از آنجایی که مسیریاب‌های هسته در یکی از با اهمیت‌ترین بخش‌های شبکه (ستون فقرات) استفاده می‌شوند، هر گونه اختلال عملکرد در این مسیریاب‌ها تأثیرات نامطلوبی بر سرویس‌های شبکه دارد. بنابر این، ایجاد قابلیت در دسترس بودن بالا یکی از نکات مهم دیگر است که باید در طراحی این مسیریاب‌ها در نظر گرفته شود. ایجاد افزونگی، اجزای سخت‌افزاری قابل تعویض در حین کار، و طراحی نرم‌افزار ماجولار و قابل ارتقاء به صورت بر خط [۴۱] از نکات مرتبط با قابلیت در دسترس بودن می‌باشد.
- امنیت: مسیریاب‌های هسته، به عنوان ستون فقرات شبکه، باید امنیت لازم در ارتباط کارکردها را تأمین نمایند. علاوه بر طراحی و پیاده‌سازی امن، آن‌ها باید بتواند با تهدیدات امنیتی نظیر حمله ممانعت از سرویس و آسیب‌پذیری‌های دیگر مقابله کنند. این مسیریاب‌ها، همچنین باید عملیات کنترل نرخ، فیلتر کردن، ثبت و پیگیری رویدادها را برای پشتیبانی از امنیت سرویس‌ها در شبکه‌های لبه‌ای فراهم کنند.

طراحی مسیریاب‌های IP با ظرفیت چند صد ترا بیت در ثانیه تا چند پتا بیت در ثانیه به صورت هزینه کارآ بسیار چالش برانگیز است. بدیهی است با افزایش سرعت پیوندهای فیزیکی و تعداد ورودی/خروجی‌های مسیریاب‌ها، پردازش و جلورانی بسته‌ها با محدودیت‌های زیادی از قبیل محدودیت سرعت دسترسی و حجم حافظه‌ها، توان مصرفی، و شبکه سوییچ اصلی روبرو هستند. مباحث متعددی در طراحی مسیریاب‌های با کارآیی بالا مطرح هستند که در ادامه به طور اجمالی به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

- سرعت حافظه: در حال حاضر سرعت وسایل الکتریکی و نوری در حدود ۱۰ گیگا بیت در ثانیه (OC-192) است، اما تقاضا و همچنین تکنولوژی برای ایجاد کانال‌های فیبر نوری تا ۴۰ گیگا بیت در ثانیه (OC-768) می‌باشد. همچنین بر مقابله با مسائلی از قبیل رقابت خروجی، سربار حمل مسیریابی، کنترل جریان و اطلاعات کیفیت سرویس در سرآیند بسته‌ها (سلول‌ها) سرعت خط معمولاً دو برابر در نظر گرفته می‌شود. بنابر این، پهنای باند تجمیع شده I/O حافظه در یک پورت سوییچ ۱۲۰ گیگا بیت در ثانیه است. اگر طول بسته را در بدترین حالت ۴۰ بایت فرض کنیم، سیکل خواندن/نوشتن حافظه باید کمتر از ۲/۶۶ نانو ثانیه باشد که با تکنولوژی موجود حافظه‌ها، خصوصاً زمانی که حجم حافظه بسیار زیاد است امکان مجتمع‌سازی حافظه با بخش‌های مدیریت کننده ترافیک یا تراشه‌های دیگر واسط سوییچ به صورت ASIC یکی از موضوعات چالش برانگیز است.
- داوری بسته‌ها: اگر به طور همزمان بیش از یک بسته از پورت‌های ورودی مختلف بخواهند به یک پورت خروجی بروند، مسئله رقابت برای پورت خروجی بوجود می‌آید و نیاز به یک داوری کننده بسته برای حل این مشکل است. اگر سرعت هر پیوند سوییچ را ۴۰ گیگا بیت در ثانیه در نظر بگیرید و اندازه بسته‌ها را ۴۰ بایت در نظر بگیریم، یک داوری کننده فقط ۴ نانو ثانیه زمان دارد تا رقابت برای پورت ورودی را حل کند. با توجه به محدودیت زمان، محاسبات داوری کننده باید به صورت سخت‌افزاری انجام شود. اگر مدار داوری کننده به صورت متمرکز پیاده‌سازی از هر پورت باید یک اتصال به این مدار وجود داشته باشد که دارای پیچیدگی زیاد و هزینه بالا می‌شود. از طرف دیگر، پیاده‌سازی توزیع شده آن در کارت‌های خط، بدلیل فقدان در دسترس بودن وضعیت تمام ورودی‌ها و خروجی‌ها، موجب کاهش گذردهی و افزایش تأخیر خواهد شد.
- کیفیت سرویس‌دهی: مشابه با مسئله داوری بسته‌ها، اعمال مکانیزم‌های نظارت، کنترل و شکل‌دهی ترافیک در پورت‌های ورودی و همچنین مدیریت بافر و زمانبندی بسته‌ها در پورت‌های خروجی با افزایش سرعت ورودی‌ها می‌تواند بسیار پیچیده و چالش برانگیز باشد. ظرفیت بافر در هر کارت معمولاً به میزانی است که بتواند حداقل ۱۰۰ میلی ثانیه بسته را نگهداری کند. بنابر این، برای یک خط ۴۰ گیگا بیت در ثانیه، ظرفیت بافر باید ۵۰۰ مگا بایت باشد که می‌تواند چند هزار بسته را در خود نگهداری می‌کند. بنابر این، مکانیزیم‌های زمانبندی خروج بسته‌ها و یا حذف بسته باید در زمان بین ۴ تا ۸ نانو ثانیه انجام شوند که بسیار چالش برانگیز است. علاوه بر این، نگهداری وضعیت جریان‌های ترافیکی عبوری، برای تأمین کیفیت سرویس آن‌ها از نظر حجم حافظه مورد نیاز و پردازش بسیار هزینه‌بر و گران قیمت است. با توجه به تعداد جریان‌های بسیار زیاد و همچنین سرعت بالای پیوندها در مسیریاب‌های هسته، راه حل جایگزین، انجام مکانیزم‌های زمانبندی بسته‌ها و مدیریت بافر به ازای رده‌های سرویس است.
- اتصالات نوری: مسیریاب‌های با ظرفیت زیاد معمولاً نیاز به چندین رک برای کارت‌های خط، کارت‌های پورت (اختیاری)، کارت‌های سوییچ اصلی، کارت‌های کنترل کننده مسیر و مدیریت، و کارت‌های توزیع پالس ساعت دارند. هر رک با توجه به چگالی خطوط و کارت‌های اصلی سوییچینگ ظرفیتی بین ۰/۵ تا ۱ ترا بیت در ثانیه دارد که نیاز به تبادل اطلاعات با رک‌های دیگر دارد. با تکنولوژی موجود VCSEL[۴۲]، یک فرستنده/گیرنده نوری با ۱۲ کانال SERDES[۴۳] سرعت انتقال ۲/۵ تا ۳/۱۲۵ گیگا بت در ثانیه در فاصله ۳۰۰ متر را دارد[۸]. تعداد اتصالات در هر بورد بدلیل توان مصرفی وسایل VCSEL محدود خواهد شد. بنابر این تعداد بوردها و در

www.SID.ir

نتیجه هزینه پیاده‌سازی افزایش خواهد یافت. تعداد زیاد فیبرهای نوری برای اتصال رک‌ها به یک دیگر، هزینه‌های نصب را افزایش داده و موجب پیچیده شدن عملیات پیکربندی و نگهداری فیبرهای نوری خواهد شد. آرایش فیبرها نیاز به طراحی با دقت برای کاهش قطع احتمالی به دلیل خطاهای انسانی دارد و همچنین نصب فیبرهای جدید برای گسترش ظرفیت مسیریاب، مستعد اشتباه و در نتیجه اختلال در سرویس‌های موجود است.

- توان مصرفی: تکنولوژی SERDES اجازه داشتن بیش از چند صد کانال دو طرفه با سرعت ۲/۵ تا ۳/۱۲۵ گیگا بیت در ثانیه بر روی یک تراشه COMS[۴۴] را می‌دهد [۹ و ۱۰] که اتلاف توان آن‌ها ۲۰ وات است. با تکنولوژی VCSEL، توان مصرفی هر اتصال دو طرفه ۲۵۰ میلی وات است و با توجه به اینکه به ازای هر رک ۱ ترا بیت در ثانیه پهنای باند مورد نیاز است، برای اتصال رک‌ها توان مصرفی هر رک حدود ۱۰۰۰ وات (۴۰۰ کانال دو طرفه ۲/۵ گیگا بیت در ثانیه) خواهد شد. بدلیل محدودیت اتلاف حرارتی هر رک، تعداد اجزاء و کارت‌هایی که می‌تواند در هر رک قرار بگیرد محدود شود.
- انعطاف‌پذیری: چنانچه مسیریاب‌های هسته به سمت لبه شبکه‌ها حرکت داده شوند، این مسیریاب‌ها باید بتوانند از پروتکل‌های متنوع و سرویس‌های در دسترس در لبه شبکه پشتیبانی کنند. بنابر این، طراحی مسیریاب باید به گونه‌ای ماجولار باشد تا بتواند با نیازمندی‌های آینده تکامل پیدا کند. بنابر این نمی‌توان خیلی به مدارات سریع ASIC متکی بود و باید بین کارآیی و انعطاف‌پذیری با بکارگیری مدارهای ASIC قابل برنامه‌ریزی موازنه‌ای انجام شود.

۵. نتیجه‌گیری

سیستم‌های ارسال سرعت بالا و تکنولوژی‌های سوییچینگ با کارآیی بالا، ازجمله عوامل مهم توسعه شبکه‌های سرعت بالا می‌باشند. از آنجایی که اینترنت به عنوان تکنیک انتقال شبکه‌های نسل آینده مورد توجه قرار گرفته است، طراحی و پیاده‌سازی شبکه‌های اینترنت پر سرعت از موضوعات مورد توجه پژوهشگران است. با توسعه تکنولوژی فیبرهای نوری، و رشد سیستم‌های ارسال و دستیابی به سرعت‌های بسیار بالای ارسال، طراحی و پیاده‌سازی مسیریاب‌ها IP با کارآیی بالا از جمله چالش‌های ایجاد شبکه‌های پر سرعت می‌باشد. روند طراحی شبکه‌های ستون فقرات، خصوصاً در بخش POP، به سمت استفاده از مسیریاب‌های IP با کارآیی بالا، ماجولار و مقیاس پذیر به جای استفاده از تعداد زیادی مسیریاب‌های با اندازه متوسط کلاستر شده می‌باشد. کارآیی بالا جلورانی بسته‌ها، مقیاس پذیری، چگالی پهنای باند، ویژگی‌های تحویل سرویس، در دسترس بودن، و امنیت از اهداف مهم طراحی مسیریاب‌های IP با کارآیی بالا می‌باشد. با در نظر گرفتن مباحثی نظیر سرعت دسترسی حافظه‌ها، داوری بسته‌ها، کیفیت سرویس‌دهی، اتصالات نوری، توان مصرفی، و انعطاف پذیری، طراحی یک مسیریاب IP با کارآیی بالا و به صورت هزینه-کارآ هنوز به عنوان یک چالش باقی مانده است.

فهرست مراجع:

[1] G. Vareille, F. Pitel, and J. F. Marcerou, '3-Tbit/s (300 × 11.6 Gbit/s) transmission over 7380 km using C+L band with 25 GHz channel spacing and NRZ format,' in *Proc. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit*, Anaheim, California, vol. 4, pp. PD22-1-3 (Mar. 2001).

[2] R. Ryf *et al.*, '1296-port MEMS transparent optical crossconnect with 2.07 petabit/s switch capacity,' in *Proc. Optical Fiber Communication Conference and Exhibit*, Anaheim, California, vol. 4, pp. PD28-P1 (Mar. 2001).

[3] N. Spring, R. Mahajan, and D.Wetherall, 'Measuring ISP topologies with rocketfuel,' in *Proc. ACM SIGCOMM*, Pittsburgh, Pennsylvania, pp. 133–145 (Aug. 2002).

[4] N. Mckeown, 'A fast switched backplane for a gigabit switched router,' *Business Communications Review*, vol. 27, no. 12 (Dec. 1997).

[5] C. Partridge *et al.*, 'A fifty gigabit per second IP router,' *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 3. pp. 237–248 (June 1998).

[6] *VIT10: 10G transponder and VSC8173/75: physical layer multiplexer/demultiplexer*, Vitesse. [Online]. Available at: http://www.vitesse.com

[7] *CA16: 2.5 Gbit/s DWDM with 16-channel 155 Mb/s multiplexer and demultiplexer and TB64:Uncoded 10 Gbit/s transponder with 16-channel 622 Mbit/s Multiplexer and Demultiplexer*, Agere. [Online]. Available at: http://www.agere.com

[8] *Plugable fiber optic link* (12 × 2.5 *Gbps*), Paracer. [Online]. Available at: http://www.paracer.com

[9] *M21150 and M21155 144 × 144 3.2 Gbps Crosspoint Switch*, Mindspeed. [Online]. Available at: http://www.mindspeed.com

www.SID.ir

[10] *VC3003 140 × 140 Multi-Rate Crosspoint Switch with Clock, Data Recovery at Each Serial Input*, Velio. [Online]. Available at: http://www.velio.com

[1] Internet Protocol
[2] Digital Subscriber Line
[3] Worldwide Interoperability for Microwave Access
[4] Gigabit Ethernet
[5] Dense Wavelength Division Multiplexing
[6] Add-Drop Multiplexer
[7] Micro-Electro-Mechanical System
[8] Optical Cross-Connect
[9] Core Routers
[10] Internet Service Provider
[11] Backbone
[12] Peer-to-Peer
[13] Point Of Presence
[14] Link
[15] Multiprotocol Label Switching
[16] Line Cards
[17] Datapath Functions
[18] Forwarding
[19] Header
[20] Transport
[21] Transmission Control Protocol
[22] User Datagram Protocol
[23] Packet Classification
[24] Firewall
[25] Time To Live
[26] Route Controller
[27] Management Controller
[28] Routing Information Protocol
[29] Open Shortest Path Protocol
[30] Border Gateway Protocol
[31] Agent
[32] Switch Fabric
[33] Transponder/Transceiver
[34] Framing
[35] Network Processor
[36] Traffic Manager
[37] Central Processing Unit
[38] Class of Service
[39] Control Plane
[40] Differentiated Services
[41] Online
[42] Vertical Cavity Surface Emitting Laser
[43] SERializer/DESerializer
[44] Complementary Metal Oxide-Semiconductor

www.SID.ir