

بررسی تحلیلی تخمین تقاضا و مدل‌های طراحی شبکه‌های شهری

سیاوش خرسندی^۱، رضا فرحبخش^۲، مصطفی صالحی^۳، امیرمهدی عبدالحسینی^۴

^۱ عضو هیات علمی دانشگاه امیرکبیر - دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

^۲ دانشگاه اصفهان - دانشجوی کارشناسی ارشد معماری سیستم‌های کامپیوتری

^۳ دانشگاه امیرکبیر - دانشجوی کارشناسی ارشد معماری سیستم‌های کامپیوتری

^۴ کارشناس ارشد مهندسی برق - مخابرات سیستم - شرکت فاوا گستر پارس

khorsand@aut.ac.ir

چکیده

با توسعه حجم، تنوع و حساسیت خدمات الکترونیکی، توسعه شبکه‌های شهری و استانی برای ایجاد زیرساخت‌های لازم برای ارائه این خدمات از اولویت و در عین حال از پیچیدگی ویژه‌ای برخوردار شده‌اند. در این مقاله، ابتدا مدل کلانی برای ساختار شبکه‌های شهری و استانی و نیز مدل کلانی برای فرایند طراحی شبکه‌ها ارائه می‌گردد. در ادامه، به بررسی دو مسئله اصلی تخمین تقاضا و مدل‌های طراحی لایه‌های هسته و تجمیع استانی پرداخته می‌شود.

در این مقاله روش نوینی مبتنی بر تئوری تخمین LSE^۱ چند متغیره، جهت تخمین ضریب نفوذ IT بر مبنای متغیرهای تصادفی وابسته (correlated) ارائه می‌گردد. ضریب نفوذ IT از مهمترین پارامترهای مورد بررسی در مسئله تخمین تقاضا می‌باشد. این روش برای تخمین روند رشد ضریب نفوذ IT در استانهای کشور بکار رفته و نتایج آن ارائه می‌گردد. سپس مدل‌های طراحی لایه‌های هسته و تجمیع استانی دسته‌بندی و با مقایسه انواع تکنولوژی‌های شبکه‌های شهری، مزایا و معایب راه‌حل‌های پیاده‌سازی لایه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی

شبکه‌های شهری (MAN)، شبکه‌های تجمیع شهری (Metro Aggregation Networks)، تخمین ضریب نفوذ IT، تخمین تقاضا

۱- مقدمه

است [2],[1]. از طرف دیگر، فرآورده‌های فرایند طراحی وابسته به اطلاعات طراحی مورد نیاز می‌باشند که از مهمترین آنها اطلاعات ضریب نفوذ انواع سرویسها و روند رشد تقاضا می‌باشد. روند رشد تقاضای سرویسهای دیتا و چند رسانه‌ای در شبکه‌های نسل جدید از مدل سنتی رشد شبکه‌های مخابراتی تبعیت نمی‌کند و این امر تخمین تقاضا را به چالشی مهم در فرایند طراحی شبکه‌های شهری تبدیل نموده است. بعلاوه، برخلاف شبکه‌های ملی که تخمین تقاضا در سطح کلان صورت می‌پذیرد، در طراحی شبکه‌های شهری، باید ویژگیهای محلی و منطقه‌ای هر ناحیه در فرایند تخمین مورد نظر قرار گیرد.

در این مقاله، سعی گردیده است به دو چالش اصلی مطرح شده یعنی مسئله تخمین ضریب نفوذ و تقاضای سرویسهای نسل جدید با در نظر گرفتن ویژگیهای محلی و منطقه‌ای و نیز ارائه مدلی مقایسه‌ای برای ساختار شبکه‌های شهری پاسخ داده شود. در این رابطه برای اولین بار روشی مبتنی بر تئوری تخمین LSE چند متغیره، جهت تخمین ضریب نفوذ IT بر مبنای متغیرهای تصادفی وابسته ارائه شده است. مدل ریاضی ایجاد شده می‌تواند بعنوان روشی برای تخمین اختلاف فاز

شبکه‌های شهری در سالهای اخیر از رشد فزاینده‌ای برخوردار بوده‌اند. این شبکه‌ها بطور جدی بعنوان بستر ارائه سرویسهای سه‌گانه^۲ شامل سرویسهای ارتباط داده، ارتباطات صوتی و نیز ارتباطات چند رسانه‌ای مطرح گردیده‌اند. فعالیتهای بسیاری در زمینه فراهم نمودن امکانات ارائه خدمات فوق از نظر فناوری‌های ارتباطی و انواع سرویسهای شبکه صورت پذیرفته است که از آن میان می‌توان به توسعه تکنولوژیهای NG-SDH، RPR، VPN های لایه دو مانند VPLS و VPWS و فناوری Q-in-Q اشاره نمود [5-1]. یک مسئله مهم در تمامی فعالیتهای فوق، نحوه ارائه سرویسهای متمایز به منظور تامین کیفیت سرویس مورد نیاز هر یک از کاربردها و تضمین پهنای باند در سطح سرویس‌ها و نیز کاربران است.

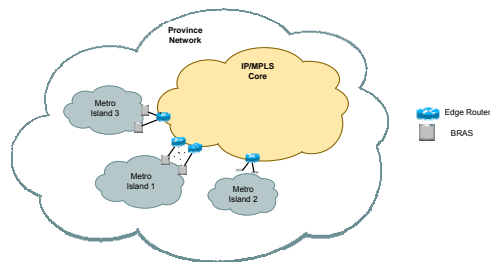
گرچه راهکارهای ارائه شده، از نقطه نظر فناوری، ارائه سرویسهای سه‌گانه را امکان پذیر ساخته است، تنوع راهکارهای موجود و پیچیدگی ارتباطات بین انواع تجهیزات و قابلیت‌های متفاوت و غیر متناظر آنها، مسئله طراحی شبکه‌های شهری را به چالشی جدید تبدیل ساخته

توسعه IT در زیر مجموعه های هم روند بکار گرفته شود. بدین ترتیب روشی برای نگاشت اختلاف سطح ضریب نفوذ IT به اختلاف فاز تاخیری بدست آمده است.

ادامه مقاله بشرح زیر می باشد. در فصل ۲، ابتدا مدل کلانی برای ساختار شبکه های شهری و استانی و نیز مدل کلانی برای فرایند طراحی شبکه ها ارائه می گردد. در ادامه، به بررسی دو مسئله اصلی تخمین تقاضا و مدل های طراحی لایه های هسته و تجمیع استانی پرداخته می شود. در فصل ۳ روش ارائه شده مبتنی بر تئوری تخمین LSE چند متغیره جهت تخمین ضریب نفوذ IT بر مبنای متغیرهای تصادفی وابسته مورد بحث قرار می گیرد. این روش برای تخمین روند رشد ضریب نفوذ IT در استانهای کشور بکار رفته و نتایج آن ارائه می گردد. سپس در فصل ۴، مدل های طراحی لایه های هسته و تجمیع استانی دسته بندی و با مقایسه ای بین انواع تکنولوژی های شبکه های شهری، مزایا و معایب راه حل های پیاده سازی شبکه های استانی و شهری در لایه های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل کلان ساختار و فرایند طراحی شبکه های شهری و استانی

شبکه های استانی از جزایر به هم پیوسته شبکه های شهری (Metro Islands) تشکیل می گردند. جزایر شبکه های شهری در استان از طریق لایه هسته استانی بهم و به شبکه کشوری متصل می گردند. نقاط حضور (PoP) لایه هسته استانی را می توان بعنوان نقاط لبه (Edge) کشوری در نظر گرفت که معمولاً از سوییچهای IP/MPLS برای اتصال به هسته IP/MPLS کشوری استفاده می کنند و نیز شامل تجهیزات BRAS متمرکز برای مدیریت مشترکین می باشند. شکل (۱) تصویری کلی از جزایر شبکه های شهری در یک منطقه و نحوه اتصال آنها به یکدیگر را ارائه می نماید.



شکل (۱) : تصویری کلی از جزایر شبکه های شهری در یک منطقه و نحوه اتصال آنها به یکدیگر

در ادامه، به بررسی ساختار داخلی اجزاء فوق می پردازیم و یک مدل

چهار لایه ای برای شبکه های شهری ارائه می نمایم. پیش از این مدل هایی برای شبکه های شهری ارائه گردیده است که به [6] و [7] و [8] می توان اشاره نمود. مدل های فوق با نگاه نقاط تجمیع ترافیک^۵ ارائه گردیده اند و از منظر سازندگان تجهیزات صرفاً به نوع تجهیزات در هر سطح می پردازند. مدل ارائه شده در این مقاله از منظر طراحی شبکه ارائه گردیده است و در مورد هر لایه، چهار موضوع اصلی مطرح می گردد: (۱) تکنولوژی ارتباطی بکار رفته و ساختار درونی، (۲) نوع سرویس های شبکه، (۳) نوع مشترکین و نحوه اتصال به لایه پایین (۴) نحوه اتصال به لایه بالا. در شکل (۲) ساختار شبکه های شهری، لایه های مختلف آن، چگونگی تعامل اجزای آن با یکدیگر و چگونگی ارتباط با مشترکین ارائه شده است. همانطور که در تصویر مشاهده می شود، مشترکین به چهار دسته اصلی مشترکین خانگی، شرکت های کوچک و متوسط، ساختمان های اداری/تجاری و سازمان های تجاری و ادارات بزرگ تقسیم بندی می شوند. در این شکل مشخص شده است که هر یک از انواع مشترکین در کدام لایه یا لایه ها از شبکه سرویس می گیرند. همچنین شکل (۲) انواع سرویس ها و کاربردها در لایه های مختلف را نشان می دهد. لایه های مختلف شبکه های مترو که در شکل فوق نشان داده شده اند، ذیلاً به اختصار توضیح داده می شود.

۲-۱- لایه لبه شهری

این لایه، حلقه اتصالی شبکه شهری با هسته استانی و کشوری می باشد. این لایه شامل تجهیزات MSCG و BRAS می باشد. اتصال شبکه شهری به هسته کشوری از طریق این تجهیزات برقرار می گردد. این تجهیزات مسئولیت پیاده سازی توابع کنترل کیفیت ارتباطات، امنیت شبکه و تصدیق اصالت را بر عهده دارد، به جهت رعایت افزونگی، در بخش لبه هر شبکه شهری (M.I.) دو تجهیز BRAS بصورت Redundant که از پروتکل VRRP حمایت می کنند، قرار می گیرد. [9]

درون لایه لبه، بخش Edge-Intelligence قرار دارد که تجهیزات مربوط به سرویس های پیشرفته و مدیریت سرویس ها قرار می گیرد. بخشی از این تجهیزات عبارتند از:

- سرورهای AAA شامل سرور Radius برای تصدیق اصالت مشترکین
- Soft Switch جهت ارائه خدمات تلفنی و IP Telephony
- Media Gateway Controller
- سرورهای Media

این تجهیزات به BRAS ها متصل می گردند که ترافیک کنترلی و نشست های داخلی را به سمت این تجهیزات هدایت می کنند.

۲-۲- لایه هسته شهری

این لایه شامل تجهیزاتی است که در مراکز مخابراتی اصلی پرفریت وظیفه تجمیع ترافیک مشترکین سازمانی و ترافیک مراکز فرعی کم ظرفیت را بر عهده دارند. در سطح لایه هسته، ممکن است VLAN های نقطه به نقطه موجود در شبکه به EoMPLS^۶ Virtual Circuit و VLAN های چند نقطه به چند نقطه^۷ به انواع VPLS^۸ نگاشت گردند [10]. وظایف اصلی سویچهای هسته شهری عبارتند از:

- دروازه عملکرد سرویسهای IP و MPLS در شبکه
- تعریف سرویسهای VPLS و سرویسهای VPWS^۹
- پشتیبانی از ارائه سرویسهای VPN در سطح لایه ۳
- هدایت محلی ترافیک برای سرویسهای اترنت
- دارا بودن قابلیت MAC address learning برای پشتیبانی از سرویسهای چندنقطه‌ای VPN در سطح لایه ۲
- مدیریت پیشرفته ترافیک و ازدحام
- تقسیم بار ترافیک بین لینکهای چندگانه با هزینه یکسان (ECMP^{۱۰} Links)

پیاده سازی مکانیزمهای افزونگی برای EAD^{۱۱} هایی که دارای دو یا چند N-PE هستند.

۲-۳- لایه تجمیع شهری

این لایه شامل تجهیزاتی است که در مراکز مخابراتی فرعی کم ظرفیت وظیفه تجمیع ترافیک مشترکین را بر عهده دارند. توصیه می‌گردد تجهیزات موجود در این لایه صرفاً در سطح لایه دو عمل نمایند و نیز باید قابلیت تضمین کیفیت سرویس را داشته باشند.

سایر وظایف لایه تجمیع عبارتند از:

- تجمیع مؤثر و کارآمد ترافیک
- مدیریت ازدحام و Traffic Multiplexing
- هدایت محلی ترافیک در سطح لایه ۲

اتصالات در این لایه با رعایت افزونگی صورت می‌گیرد بنحوی که سویچهای لایه دسترسی می‌توانند بصورت Dual-Home به سویچهای موجود در لایه تجمیع متصل گردند و از این طریق پایداری شبکه را بهبود بخشند. در سطح لایه ۲ شبکه مسایل بازیابی خطاها و افزونگی با بکارگیری نوع خاصی از پروتکل درخت پوشا که در استاندارد IEEE 802.1 w/1s مشخص شده است، قابل حل است.

۲-۴- لایه دسترسی

این لایه شامل تجهیزاتی است که ترافیک مشترکین را به سمت مراکز فرعی و اصلی می‌کنند. بخشی از این تجهیزات عبارتند از:

- DSLAM ها برای اتصال مدارس، مراکز تجاری کوچک و کاربران خانگی
- Wimax base station ها برای اتصال کاربران بیسیم
- سوئیچ های لایه دو (Dark fiber) برای اتصال مشترکین بزرگ، ادارات، سازمانهای بزرگ و دانشگاهها
- OLT (فیبر اشتراکی) برای اتصال مجتمع‌ها و مشترکین خانگی و تجاری کوچک
- Access Gateway ها برای ارائه سرویس شبکه‌های نسل جدید (NGN) مانند سرویس های IMS

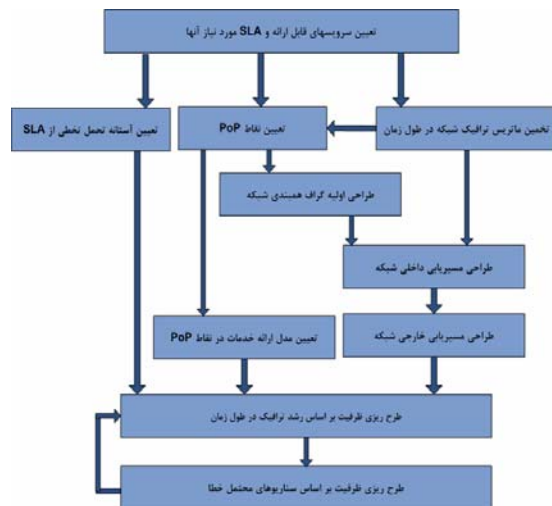
از آنجا که سویچهای دسترسی دروازه ورود به شبکه توزیع محسوب می‌شوند، جنبه های امنیتی در آنها باید به اندازه کافی رعایت شده باشد.

وظایف اصلی سوییچهای دسترسی عبارتند از :

- جمعیت ترافیک مربوط به کاربران متفاوت در سطح لایه دسترسی
- تعریف سرویسهای اترنت با فراهم کردن مشخصات واسط کاربر-شبکه (UNI-۱۲) متناسب برای آنها، برای مثال 802.1 Q tunnelling(Q in Q) و 802.1 Q trunking .
- جدا سازی ترافیک کاربران با استفاده از یک VLAN ID یکتا در شبکه توزیع برای هر سرویس
- بکارگیری تکنیکهای کلاس بندی^{۱۳} و سیاست گذاری ترافیک^{۱۴} ، علامتگذاری^{۱۵} و صف بندی ترافیک^{۱۶} برای اطمینان بخشی از اینکه پهنای باند موجود نیازمندیهای SLA کاربر را تأمین می کند.
- اجرای سیاستهای مربوط به Service and Admission control
- پشتیبانی از سرویسهای مدیریت ازدحام و Traffic Multiplexing

۲-۵- فرایند طراحی

متدولوژی طراحی شبکه های وسیع IP یک پروسه مرحله به مرحله می باشد. در هر مرحله پارامترهای موثر مختلفی دخیل می باشد. در شکل (۳) متدولوژی کلی در طراحی شبکه نشان داده شده است.



شکل (۳) - متدولوژی طرح ریزی ظرفیت شبکه های وسیع IP

مرحله اول: تعیین سرویسهای قابل ارائه و SLA مورد نیاز آنها در نخستین مرحله با توجه به رویکرد Service-Driven در طراحی شبکه ابتدا می بایست کلاسهای سرویس مشخص شده و SLA ارائه شده به مشترکین به ازای هر کلاس سرویس مشخص گردد. به عبارت دیگر طیف وسیع سرویسهای مشترکین، در هسته و لبه یک شبکه وسیع IP به تعداد محدودی کلاس سرویس نگاشت می شود.

مرحله دوم: تخمین ماتریس ترافیک شبکه در طول زمان

یکی از مهمترین مراحل در متدولوژی طراحی شبکه مساله تخمین ماتریس ترافیک می باشد. برای این منظور ابتدا باید حجم کل ترافیک محاسبه شده و سپس فلوهای ترافیکی شبکه از آن استخراج شود.

مرحله سوم: تعیین نقاط PoP

در مرحله بعدی نقاط حضور شبکه مشخص می گردد. در انتخاب این نقاط پارامترهای مختلفی شامل ترافیک، جمعیت، ضریب نفوذ IT، زیرساخت انتقال و درگاههای انتقال صوت بسته ای در نظر گرفته شده است.

مرحله چهارم: طراحی اولیه گراف همبندی شبکه

مرحله پنجم: طراحی مسیریابی داخلی و خارجی شبکه

مرحله ششم: تعیین مدل ارائه خدمات در نقاط PoP

در این مرحله پس از تعیین آنکه چه سرویسهایی در چه نقاطی به مشترکین ارائه می شود، مدل ارائه خدمات به مشترکین نیز تعیین می گردد. مدل اتصال و پروتکل ارتباط مشتری با شبکه فراهم کننده سرویس و همچنین چگونگی تخصیص آدرس به مشترکین و چگونگی توزیع این آدرسها در شبکه فراهم کننده سرویس تاثیر زیادی بر عملکرد شبکه دارد. اگر استراتژی مناسبی در نحوه ارتباط مشتری با شبکه فراهم کننده سرویس در نظر گرفته شود، بهبود عملکرد قابل توجهی در شبکه ایجاد خواهد شد.

مرحله هفتم: طرح ریزی ظرفیت شبکه بر اساس رشد ترافیک و سناریوهای محتمل خطا

در نهایت در یک پروسه بازگشتی ظرفیت شبکه با بهره گیری از تمامی پارامترها و طراحیهای مراحل پیشین به گونه ای تعیین می شود که شبکه به ازای رشد ترافیک دچار کمبود ظرفیت نشده و در مقابل سناریوهای محتمل خطا مقاوم باشد.

۳- تخمین ضریب نفوذ IT با در نظر گرفتن

ویژگیهای محلی

۳-۱- پارامترهای موثر در ضریب نفوذ IT

برای تخمین ضریب نفوذ IT، از روش تخمین بر مبنای متغیرهای وابسته استفاده می کنیم [11]. روش ارائه شده در سطح کشور بکار گرفته شده و نتایج بدست آمده در ادامه آورده شده است. میزان ترافیک فعلی شبکه IP کشور به عنوان مهمترین پارامتر مرتبط با ضریب نفوذ IT، با استفاده از سرورهای MRTG موجود در کشور به تفکیک استانها جمع آوری شده است. جهت شناسایی پارامترهای اصلی موثر در رشد IT، مجموعه ای از پارامترها مورد توجه قرار گرفته اند. این پارامترها عبارتند از ضریب نفوذ تلفن ثابت در سطح استانها، سرانه مرسولات پستی، درصد سواد، درصد اشتغال، درصد بیکاری، درصد جوانی، سرانه تعداد دانش آموزان، سرانه موسسات آموزشی و دانشگاهی، سرانه تعداد کل کارگاهها و سرانه دانشجویان دوره های عالی. در ابتدا میزان همبستگی و کوواریانس هر یک از پارامترهای مذکور با ترافیک

فعلی کشور در سطح استانها محاسبه گردیده و پارامترهایی که بیشترین تاثیر را در ضریب نفوذ دارند، بعنوان پارامترهای اصلی برای تخمین استفاده می‌کنیم. جدول (۱) میزان همبستگی پارامترهای مذکور با سرانه ترافیک کشور را نشان می‌دهد.

جدول (۱): میزان همبستگی پارامترهای اجتماعی و اقتصادی و

ترافیک دیتای کشور

شاخص های موثر در ضریب نفوذ IT	همبستگی	کوواریانس
سرانه ترافیک و ضریب نفوذ تلفن ثابت	0.6974	0.0005
سرانه ترافیک و سرانه مرسولات پستی	0.7610	0.0389
سرانه ترافیک و درصد باسواد ها	0.5309	0.0005
سرانه ترافیک و میزان اشتغال	-0.0338	-0.0019
سرانه ترافیک و درصد بیکاری	0.0338	0.0019
سرانه ترافیک و درصد جوانی	0.5208	0.0012
سرانه ترافیک و سرانه تعداد کل کارگاهها	0.6411	0.0000
سرانه ترافیک و سرانه تعداد دانش آموز	0.4018	0.0000
سرانه ترافیک و سرانه تعداد آموزشگاه	0.2018	0.0000
سرانه ترافیک و سرانه تعداد مراکز آموزش عالی	0.3460	0.0000
سرانه ترافیک و سرانه دانشجویان دوره عالی	0.3415	0.0001
سرانه ترافیک و سرانه تعداد کل کارمندان	0.0418	0.0000

از شاخص‌های ذکر شده در بالا ۶ پارامتر که بالاترین همبستگی و کوواریانس را با ترافیک فعلی IP دارند برای تخمین ضریب نفوذ IT انتخاب شده است. این پارامترها عبارتند از ضریب نفوذ تلفن ثابت، سرانه مرسولات پستی، درصد باسوادی، درصد جوانی، سرانه تعداد کل کارگاهها و سرانه دانشجویان دوره عالی.

۳-۲- روش تخمین ضریب نفوذ IT

روش بکار رفته، روشی مبتنی بر تئوری تخمین LSE چند متغیره، جهت تخمین ضریب نفوذ IT بر مبنای متغیرهای تصادفی وابسته است. در این روش بر مبنای مدل ریاضی ایجاد شده، برای تخمین اختلاف فاز توسعه IT در زیر مجموعه های هم روند به منظور نگاشت اختلاف سطح ضریب نفوذ IT به اختلاف فاز تاخیری الگوریتمی ارائه گردیده است.

در روش پیشنهادی، محاسبه ضریب نفوذ بر اساس استفاده از پارامترهای اجتماعی موجود می‌باشد. اولین گام در این روش جمع آوری پارامترهای موثر در ضریب نفوذ IT می‌باشد که در بخش ۲ به آن پرداخته شده است. پس از انتخاب X_i های اصلی از بین پارامترهای موثر، با استفاده از میزان همبستگی و کوواریانس هر یک از پارامتر

های مذکور با ترافیک، ماتریس کوواریانس پارامترهای منتخب با یکدیگر محاسبه می‌گردد و ماتریس K را (رابطه ۱) تشکیل می‌دهیم. در این فرمول M_{ij} کوواریانس پارامترهای i, j با یکدیگر است.

$$K = [\mu_{ij}]_{n \times n} \quad (1)$$

محاسبه تخمین ضریب نفوذ به روش مذکور از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$\hat{X} = \sum_{i=1}^n a_i X_i + b \quad (2)$$

در رابطه فوق، X_i مقدار پارامترآم موثر مورد بررسی، در هر استان است و $a_i X_i$ ها میزان تاثیر پارامتر های در نظر گرفته شده برای تخمین است، a_i ها اعضای بردار A در رابطه (۳) می‌باشند که از رابطه $A = K^{-1} * \tilde{K}_0$ بدست می‌آید [12] و [13] و داریم:

$$K_0 = [\mu_{01} \quad \mu_{02} \quad \dots \quad \mu_{0n}] \quad (3)$$

بنا به تعریف، $i=0$ مربوط به پارامتر موثر اصلی است که ترافیک فعلی دیتا در نظر گرفته شده است. متغیر b نیز میزان تاثیر میانگین جهانی و یا کشوری می‌باشد، درحالت بهینه اگر این مقدار صفر در نظر گرفته شود، ضریب نفوذ تنها از روی پارامترهای در نظر گرفته شده تاثیر می‌پذیرد، مقدار b نیز از فرمول (۴) قابل محاسبه است.

$$b = \eta_0 - \sum_{i=1}^n a_i \eta_i \quad (4)$$

در این رابطه η_0 مقدار میانگین پارامتر های مورد نظر در کشور است [12]. با محاسبات بالا، پارامترهای مورد نیاز در رابطه (۲) بدست می‌آید.

رابطه فوق با وجود اینکه مبتنی بر اطلاعات دقیق آماری می‌باشد، فقط برای محاسبه حالت حدی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد چرا که مطالعات تطبیقی صورت گرفته در این مورد نشان می‌دهد هنگامی که مقدار ضریب نفوذ به ناحیه اشباع خود می‌رسد با سرعت کمتری افزایش می‌یابد به عبارت دیگر از یک نقطه به بعد دیگر رشد غیر خطی پیدا می‌کند که توسط مدل خطی فوق نمی‌تواند مدل گردد. رشد غیر خطی ضریب نفوذ در نزدیکی نقطه اشباع و اینکه تمام استانها با هم به نقطه اشباع نمی‌رسند و همچنین نقاط اشباع در استانها با یکدیگر متفاوت است نیز از نکات مهم می‌باشد. برای مثال تهران زودتر از دیگر استانها به نقطه اشباع خود در ضریب نفوذ می‌رسد و شاید این مقدار از استانهای دیگر بالاتر باشد، رشد ضریب نفوذ IT بعد از اشباع بسیار کند می‌شود و از تابع خطی پیروی نمی‌کند [14]. بعنوان مثال هنگامی که ضریب نفوذ IT در تهران به حدود ۶۰ درصد برسد، بصورت مجانبی به رشد خود ادامه خواهد داد و در این مدت برخی از استانها هنوز به محدوده اشباع خود نرسیده و نرخ رشد بالاتری در برابر استانهایی که به محدوده اشباع خود رسیده‌اند، خواهند داشت. برای مدل کردن رفتار غیر خطی نرخ رشد در زمان، تابع S در مدل

Rogers بعنوان منحنی اشباع شونده پذیرش تکنولوژی مطرح می باشد [15] که در بخش بعد به آن می پردازیم.

۳-۳- شیوه پیش بینی نرخ رشد در روش Rogers

بر پایه مدل Rogers اگر نرخ رشد را تابع نمودار "پذیرش فن آوری" از نوع S بدانیم، رشد ابتدا کند است [15]. سپس ناگهان یک رشد سریع را دنبال می کند و در پایان به حالت اشباع می رسد. این روند از یک نمودار به شکل حرف S کشیده شده پیروی می کند.

شیوه کار در بررسی نرخ رشد به کمک مدل S (Rogers) به این صورت است که به کمک آمارهایی که از پیش گردآوری شده و نمونه گیری کنونی، موقعیت خود را در نمودار پذیرش نوآوری مشخص می کنیم و به کمک آن می توانیم برای چند سال آینده نرخ رشد مورد نظر را پیش گویی کنیم. برای به دست آوردن نمودار پذیرش فن آوری S-type به روش زیر عمل می کنیم. تابعی که این نمودار را توصیف می کند یک تابع دیفرانسیل مرتبه اول است که در رابطه (۵) نمایش داده می شود.

$$\frac{dN}{dt} \propto N(M - N) \quad (5)$$

در این معادله M نقطه اشباع است و N میزان نفوذ را مشخص می کند. اگر معادله بالا را حل کنیم، N(t) به شکل معادله (۶) به دست می آید.

$$N(t) = \frac{M}{1 + e^{-(at+b)}} \quad (6)$$

ضریب a نشان دهنده نرخ پذیرش فن آوری است و b ثابت معادله دیفرانسیل حل شده است. معادله بالا را می توان به شکل فرمول (۷) تغییر داد و به کمک آن ضریبهای a و b را به دست آورد.

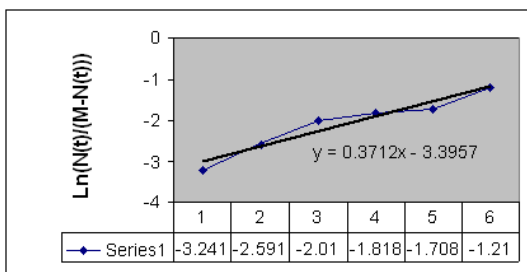
$$\ln\left(\frac{N(t)}{M - N(t)}\right) = at + b \quad (7)$$

اکنون به کمک آمارهای مختلف در زمانهای مختلف از پذیرش فن آوری داشته ایم و جایگذاری این مقادیر در طرف چپ این رابطه نمونه هایی به دست می آیند که با اعمال یک رگرسیون خطی بر روی این اعداد می توان بهترین خط گذرنده از این نقطه ها را به دست آورد و ضرایب a و b را محاسبه کرد. نقطه وسط این نمودار که نقطه عطف نمودار است نیز از رابطه (۸) به دست می آید.

$$t_{1/2} = -\frac{b}{a} \quad (8)$$

اینکار برای کشور انجام گردیده است. مقدار M که حد اشباع را تعریف می کند بر اساس مطالعات تطبیقی در حدود ۷۰٪ در نظر گرفته شده است. با مشخص شدن مقدار M و با توجه به مقادیر ارائه شده در شکل ۲ و با جایگذاری در سمت چپ معادله (۷)، شکل (۴) به دست آمده

است.



شکل (۴): مقدارهای بدست آمده از جایگذاری در معادله ۷

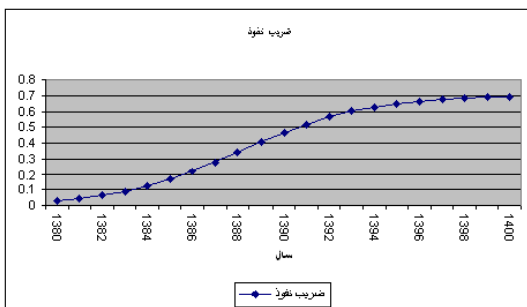
با اعمال رگرسیون خطی بر روی نتایج موجود در شکل ۳، معادله خطی (۹) به دست می آید.

$$y = 0.3712x - 3.3957 \quad (9)$$

و در نهایت معادله (۱۰) نمودار تخمینی ضریب نفوذ اینترنت در ایران به روش Rogers را نشان می دهد.

$$N(t) = \frac{50}{1 + e^{-(0.3712t - 3.3957)}} \quad (10)$$

نمودار شکل (۵) تعداد کاربران اینترنت را برای سال های آتی کشور بر اساس معادله فوق را نشان می دهد



شکل (۵): تعداد کاربران اینترنت را برای سال های آتی کشور بر روش Rogers

۳-۴- اعمال مدل Rogers بصورت محلی

رابطه (۱۰) روند کلی کشور را نشان می دهد. برای طراحی شبکه های شهری استانها، لازم است مدل رشد غیر خطی بصورت محلی در سطح هر استان بدست آید. تفاوت استانها در دو مورد اصلی است:

- سطح اشباع ضریب نفوذ IT
 - اختلاف فاز زمانی در رسیدن به نقطه اشباع
- مقدار اول از رابطه تخمین ارائه شده در بخش ۳-۲ محاسبه می گردد و مقدار دوم بر اساس مدل Rogers بدست آمده و وضعیت موجود استانها از نظر رشد IT که با مقدار ترافیک دیتای آنها (f) سنجیده میشود، محاسبه می گردد. رابطه (۱۱) مقدار اختلاف فاز زمانی هر استان را نسبت به یک نقطه مرجع فرضی بدست می دهد.

جدول (۲) مقایسه ای بین انواع تکنولوژی های شبکه های شهری

Technology	RPR	MPLS	L2 Ethernet	NG-SDH	
Cost	CAPE X	Low/Medium	High	Low	High
	OPEX	Low	High/Medium	Low	Low/Medium
Resiliency	High (50ms)	High (FRR 50ms)	Low (STP 30s, RSTP 3s)	High (50ms)	
OAM	Low	High	Low/Medium	High	
Scalability	Capacity	Low	Low	Low	High
	Node	Low	High	Low (Ring) & High (hub & spoke)	Low
QoS capability	Medium	High	Low	High	

۴-۲- انواع راه حل های پیاده سازی شبکه های

استانی و شهری در لایه های مختلف

جدول (۳) چهار راه حل مختلف برای شبکه های استانی و شهری را نشان می دهد. در این جدول نوع تجهیزات و تکنولوژی انتقالی که برای لایه های هسته استانی و تجمیع شهری در هر یک از این راه حل ها دیده می شود، در ادامه به تشریح هر یک از این راه حل ها می پردازیم.

جدول (۳): چهار راه حل مختلف برای شبکه های استانی و شهری

راه حل	لایه تجمیع شهری	لایه هسته استانی
۱	L1: NG-SDH (Ethernet Over SDH/ CWDM)	L1: NG-SDH (Ethernet Over DWDM)
۲	L1: NG-SDH (Ethernet Over SDH/CWDM)	L3: Router (Dark Fiber)
۳	L2: RPR (Ethernet Over RPR)	L3: Router (Dark Fiber)
	L2: Switch (Dark Fiber)	
۴	L3: Router (Dark Fiber)	L3: Router (Dark Fiber)

۴-۳- راه حل ۱- لایه هسته استانی لایه ۱، لایه

تجمیع شهری لایه ۱

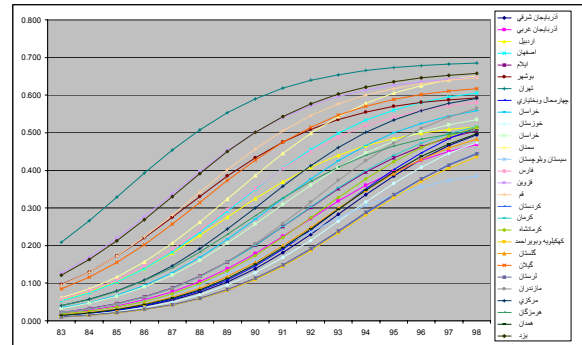
در این مدل از رینگ های SDH یا CWDM در لایه تجمیع شهری استفاده می شود. برای استفاده بهینه از پهنای باند شبکه از تجهیزات NG-SDH استفاده می شود که امکان تخصیص پهنای باند با درشت-نمایی های مناسب را فراهم می سازد. در لایه هسته استانی نیز که دارای حجم ترافیکی بالایی است، برای فراهم نمودن امکان افزایش

$$t = \frac{1}{a} \left(\ln \frac{f}{Mp - f} - b \right) \quad (11)$$

برای در نظر گرفتن مقدار حد اشباع برای ضریب نفوذ، با توجه به اینکه مقدار حد اشباع در تمام استانهای کشور یکسان نخواهد بود، ضریب نفوذ نقطه اشباع ۷۰ درصد برای تهران در نظر گرفته شده و برای سایر استانها ضریب نفوذ نقطه اشباع (Mp) از رابطه (۲) محاسبه شده است. حال رشد ضریب نفوذ استانی با رابطه (۱۲) مدل می گردد که پارامتر (α) نشان دهنده زمان نسبی در آینده نسبت به نقطه مرجع (حال حاضر) می باشد.

$$f = \frac{Mp}{1 + e^{(0 - (a(t + \alpha) + b))}} \quad (12)$$

شکل (۶) منحنی رشد ضریب نفوذ IT به تفکیک استانی را نشان می دهد.



شکل (۶): ضریب نفوذ تا سال ۱۴۰۰ بروش VLSE به تفکیک استانها با سناریوی دوم

۴-۴- تحلیل انواع تکنولوژی های شبکه های شهری

هدف از این بخش تعیین تکنولوژی و مدل ساختاری مناسب برای شبکه های شهری و استانی با توجه به پارامترهای اصلی طراحی می-باشد [16]. برای این منظور، ابتدا مقایسه ای بین انواع تکنولوژی های شبکه های شهری صورت گرفته است و در ادامه چهار مدل برای شبکه های شهری ارائه و مقایسه شده اند.

۴-۴-۱- مقایسه انواع تکنولوژی های شبکه های

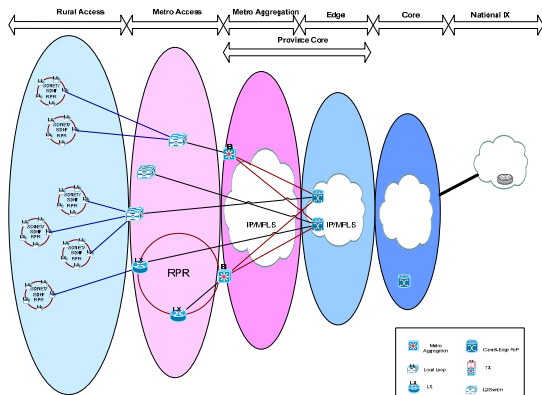
شهری

در جدول (۲) مقایسه ای بین انواع تکنولوژی های شبکه مترو از نظر پارامترهای مهم در طراحی صورت گرفته است [20-17]. چهار تکنولوژی اصلی RPR، MPLS، Ethernet و NG-SDH از نظر پارامترهای متعددی مانند هزینه، قابلیت گسترش، مدیریت پذیری و تضمین کیفیت خدمات با هم مقایسه شده اند.

۴-۵- راه حل ۳ - لایه هسته استانی لایه ۳، لایه

تجمیع شهری لایه ۲

در این مدل برای تجهیز لایه هسته استانی بصورت لایه ۳ی از سوئیچ روتر و برای لایه تجمیع شهری از حلقه های RPR یا سوئیچ های لایه ۲ استفاده میشود که به ترتیب توپولوژی حلقه و ستاره را ایجاد می کنند. حلقه های RPR میتواند دارای ظرفیت های متفاوتی (2.5Gbps، 10Gbps، ..) باشد. در شکل (۹) این مدل بصورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۹): راه حل ۳ - لایه هسته استانی لایه ۳، لایه تجمیع شهری لایه ۲

در مدل مذکور میتوان برای افزایش اطمینان VLAN های جداگانه ما بین نقاط لایه تجمیع شهری و هسته استانی ایجاد کرد. VLAN های زده شده، وظیفه ارائه سرویس های مولتی مدیا را نیز بر عهده دارند. برای بالابردن اطمینان می توان VLAN های افزونه ای بصورت غیر فعال تعریف نمود. در این مدل برای پشتیبانی از سرویس های چند پخش مثل VoD و IPTV لازم است که تجهیزات بکار رفته قابلیت پشتیبانی از پروتکل PIM را داشته باشند. این پروتکل برای مسیریابی در سرویس های چندپخش بکار میرود.

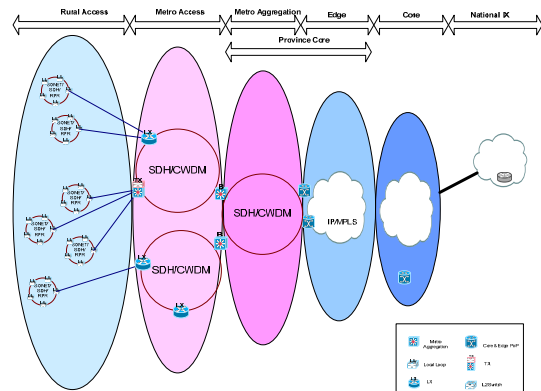
۴-۶- راه حل ۴ - لایه هسته استانی لایه ۳، لایه

تجمیع شهری لایه ۳

در سال های اخیر شبکه های ارتباطی شهری دچار تغییراتی شده اند. تعداد مشترکین سرویس های باند گسترده و تقاضای آنها برای پهنای باند بیشتر، به سرعت رشد می کند. همچنین روز به روز مشترکین بیشتری سرویس های سه گانه را شناخته و متقاضی گرفتن این نوع سرویس ها میشوند. نیازمندی های سرویس های سه گانه بار زیادی بر روی شبکه خواهد گذاشت. برای پاسخ به این نیازها راه حل ۴ مناسب می باشد.

در این راه حل هر دو لایه هسته استانی و تجمیع شهری به وسیله سوئیچ روترها، لایه ۳ ای تجهیز می شوند. این راه حل در کنار هزینه

پهنای باند با تعریف طول موج های جدید، از رینگ های DWDM استفاده می شود. شکل (۷) نحوه قرار گرفتن این دو لایه را در کنار هم نشان می دهد.

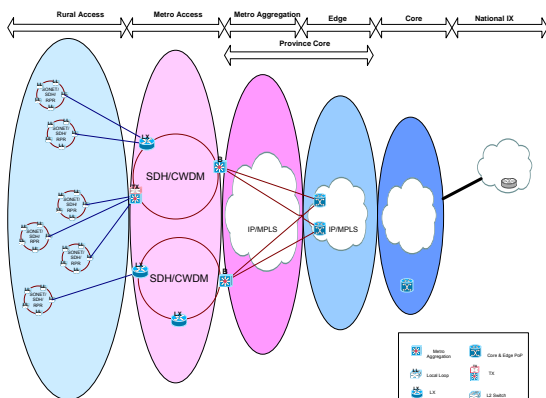


شکل (۷): راه حل ۱ - لایه هسته استانی لایه ۱، لایه تجمیع شهری لایه ۱

۴-۴- راه حل ۲ - لایه هسته استانی لایه ۳، لایه

تجمیع شهری لایه ۱

در این راه حل، لایه تجمیع شهری به صورت یک کریبر اترنت مطرح است که با استفاده از تجهیزات NG-SDH پیاده سازی می شود. در اینجا لایه هسته استانی با استفاده از روترها پیاده سازی می شود. همچنین از قابلیت مهندسی ترافیک همراه با ارائه کیفیت سرویس که در پروتکل MPLS فراهم شده است، برای ارائه انواع سرویس های باند گسترده استفاده می شود. برای ایجاد ارتباط لایه ۲ بین شبکه های دسترسی که کریبر اترنت هستند، از مکانیزم VPLS استفاده می شود تا ارتباط شفاف لایه ۲ی برای مشتریان فراهم شود. شکل (۸) این مدل را به صورت شماتیک نشان می دهد.



شکل (۸): راه حل ۲ - لایه هسته استانی لایه ۳، لایه تجمیع شهری لایه ۱

- [8] Fujitsu white paper, "A Layered Network Architecture and Implementation for Ethernet Services," Fujitsu Network Communications Inc., 2004
- [9] Agilent white paper, "Understanding DSLAM and BRAS Access Devices" Copyright Agilent Technologies, Inc. 2006
- [10] L. Andersson and T. Madsen, "Provider Provisioned Virtual Private Network (VPN) Terminology," IETF RFC4026, 2005.
- [11] M.Vaughn, M.Chia ,R.Wagner, "A bottom-up traffic demand model for long haul and metropolitan optical networks", IEEE 2003, vol.1, pp 139- 140 ,2003.
- [12] A. Medina, N. Taft, K. Salamatian, S. Bhattacharyya. "Traffic Matrix Estimation: Existing Techniques Compared and New Directions". In ACM SIGCOMM, Pittsburgh, PA, August 2002.
- [13] L.C. Ludeman, "Random processes filtering, estimation, and detection", wiley, 2003.
- [14] L.G. Roberts, "Beyond Moore's law: Internet growth trends" IEEE, Vol. 33, no. 1, pp. 117-119. Jan. 2000
- [15] E.M. Rogers, "Diffusion of Innovation", Fifth Edition NY: Free Press. 2003.
- [16] "Toward a Service-Driven Metro Network —A Service Provider's Guide for Enabling Metro Business Services", 2004 Cisco Systems, Inc.
- [17] JP. Fernandez-Palacios, A. Ferreiro, JF. Lobo "Migration Scenarios for Metro Networks A migration roadmap for metro access networks", IEEE, 2006
- [18] S.J. Ben; Ch. Gee-Kung; Li. Guangcheng; Ch. Kwok-wa "Technologies for convergence in the metro network", Proceedings of the SPIE, Volume 5626, pp. 333-340 (2005)
- [19] JP. Fernandez-Palacios, A. Ferreiro, JF. Lobo, "Migration Scenarios for Metro Networks A migration roadmap for metro access networks", IEEE, 2006
- [20] Metro Ethernet Forum Service Definitions, <http://www.metroethernetforum.org>

¹ Least-squares estimation

² Triple Play Services

³ Resilient Packet Ring

⁴ Least-squares estimation

⁵ Traffic Multiplexing

⁶ Ethernet-Over-MPLS

⁷ Multipoint-to-Multipoint

⁸ Virtual Private LAN Service

⁹ Virtual Private Wire Service

¹⁰ Equal-Cost Multipath links

¹¹ Ethernet Access Devices

¹² User Network Interface

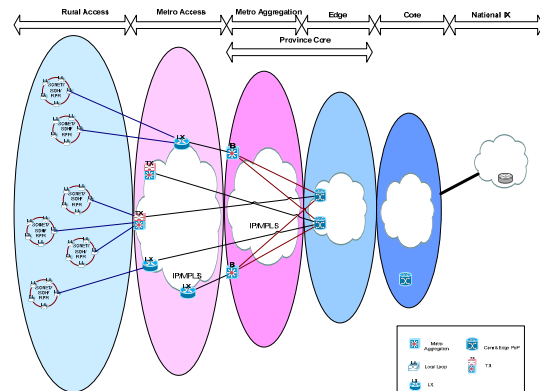
¹³ Traffic Classification

¹⁴ Policing

¹⁵ Marking

¹⁶ queuing

بالایی که برای تجهیز مراکز دارد، برای توسعه وسیع سرویس‌های سه گانه مناسب است. همچنین سود بیشتری را از نظر سطح پوشش و قابلیت اطمینان سرویس‌های چندپخش، صوت و VPN سازمانی، عاید فراهم کنندگان سرویس می‌نماید. شکل (۱۰) به صورت شماتیک این راه حل را در لایه‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل (۱۰): راه حل ۴- لایه هسته استانی لایه ۲، لایه تجمیع شهری لایه ۳

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، ابتدا به مسئله مدل‌سازی و تخمین ضریب نفوذ IT به تفکیک استانی پرداخته شد که بعنوان یک ورودی اصلی برای محاسبه میزان تقاضای سرویس و نیز تخمین حجم ترافیک استانی در مسئله طراحی مورد نیاز می باشد. مدل آماری ارائه شده انواع پارامترهای اجتماعی و اقتصادی و نیز رفتار غیر خطی رشد ضریب نفوذ را در تخمین در نظر می گیرد. سپس تکنولوژیهای مورد استفاده در شبکه های استانی بررسی و چهار مدل پایه برای پیاده سازی آنها ارائه گردید و مورد نقد و تحلیل قرار گرفت.

مراجع

- [1] Sam Halabi, "Metro Ethernet" Cisco Press, 2003, ISBN: 1-58705-096-X
- [2] Ch. Hellberg, D. Greene, T. Boyes, "Broadband network architectures designing and deploying TRIPLE-PLAY services" , 2007 , PRENTICE HALL ,ISBN 0-13-230057-5
- [3] Ericsson white paper, "Full Service Broadband Metro Architecture" November 2007, Ericsson AB, Technical Report # 284 23-3116, Nov. 2007
- [4] Metro Ethernet Forum white paper, "Comparison to Legacy SONET/SDH MANs for Metro Data Service Providers" Copyright MEF 2003
- [5] Huawei white paper, "Technical White Paper for Ethernet over RPR", 2007 Huawei Technologies Co.
- [6] The Metro Ethernet Forum, "Metro Ethernet Network Architecture Framework, Part 1: Generic Framework," , Approved Draft Version 2.0, April 15, 2003.
- [7] The Metro Ethernet Forum, "Metro Ethernet Network Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer," , April 2005