

مدیریت بهینه پهنای باند در هسته شبکه‌های نسل آینده مبتنی بر سرویس‌های متمایز و MPLS

مرضیه عبدوس

شرکت مخابرات استان سمنان Abdoos@semnantelecom.ir

چکیده - DiffServ-Aware Traffic Engineering (DS-TE) یکی از ساختارهای ارائه تضمین کیفیت در شبکه‌های مبتنی بر پروتکل اینترنت می‌باشد. کارایی بالای این ساختار موجب شده است که از این ساختار، در هسته انتقال شبکه‌های نسل آینده استفاده گردد. یکی از مدل‌های محدودیت پهنای باند، در این ساختار، مدل عروسک روسی، می‌باشد که نسبت به مدل‌های دیگر، عملکرد بهتری دارد. در این مقاله الگوریتم جدیدی مبتنی بر این مدل، ارائه شده است، که اشکالات این مدل را رفع کرده و عملکرد آن را بهبود بخشیده است. الگوریتم ارائه شده در زمان ازدحام، سیاست تقلیل (برای ترافیک‌هایی که این قابلیت را دارند) و در صورت نیاز، سیاست قبضه کردن را به گونه‌ای اجرا می‌کند، که همواره انتخاب بهینه در کاهش و یا حذف پهنای باند مسیرهای سوئیچینگ برچسبی صورت گیرد. انتخاب بهینه مسیرهای سوئیچینگ برچسبی بر مبنای پارامترهای: نوع کلاس، اولویت کلاس، اولویت مسیر، تعداد کمینه حذف و یا کاهش مسیرهای سوئیچینگ برچسبی و پهنای باند مورد نیاز، توسط برنامه‌ریزی خطی انجام می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی، کاهش تعداد ترافیک‌های مسدود شده و استفاده بهتر از منابع موجود را نسبت به روش‌های ارائه شده دیگر، اثبات می‌کند.

کلید واژه : شبکه‌های نسل آینده، کیفیت سرویس، مدیریت پهنای باند، RDM، DS-TE

۱- مقدمه

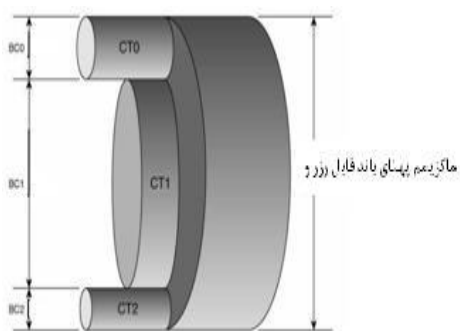
سرویس‌های متمایز (Diffserv) یک ساختار برای ارائه کیفیت سرویس در شبکه‌های پیشرفته مبتنی بر پروتکل اینترنت می‌باشند. در این ساختار، سرویس‌های مورد نیاز، علامت‌گذاری و کلاس‌بندی شده و بر مبنای این علامت‌گذاری، مسیریاب‌ها و سوئیچ‌ها، سیاست‌های متفاوتی را انجام می‌دهند، این ساختار با اعمال تغییراتی می‌تواند ساختار قابل قبولی برای شبکه‌های نسل آینده باشد. MPLS^۱ نیز به عنوان روشی برای پشتیبانی از مهندسی ترافیک عرضه شده، اما به تنهایی نمی‌تواند تفکیکی بین سرویس‌های مختلف ایجاد نماید و نیاز به استفاده از ساختار دیگری برای

رفع این مشکل دارد. از طرفی ساختار سرویس‌های متمایز، به گونه‌ای است که نمی‌تواند یک کیفیت سرویس انتها به انتها را ارائه نماید، به دلیل آنکه هیچ تاثیری بر روی مسیر بسته‌ها ندارد و فقط بر اساس اولویت بسته‌ها، شروع به ارسال می‌نماید و هیچ‌گونه کنترل در برابر خرابی و ازدحام نخواهد داشت، بنابراین با ترکیب MPLS و سرویس‌های متمایز که ساختار DS-TE^۲ نامیده می‌شود، به توانایی کاملی خواهیم رسید که از مزایای MPLS و سرویس‌های متمایز برخوردار می‌باشد [۱]. این روش به دلیل بازدهی بالا در انتقال هسته شبکه‌های نسل آینده استفاده می‌شود. در این پایان نامه، ارائه روشی بهینه جهت مدیریت پهنای باند در شبکه‌های مجهز به ساختار DS-TE، مورد هدف می‌باشد، یکی از روش‌های مدیریت پهنای باند در این

^۲ DiffServ-Aware MPLS Traffic Engineering

^۱ Multi Protocol Label Switching

زمانی که ازدحام وجود ندارد، می‌تواند از مقدار محدوده-شان تخطی کرده، و مقدار ظرفیت به صورت دینامیکی تغییر کند. در مقاله [۵] این سه مدل مقایسه شده و به این نتیجه رسیده است که مدل عروسک روسی (RDM)، بیشترین کارایی را در ساختار DS-TE دارد. شکل (۱) عملکرد مدل تخصیص بیشینه را برای سه کلاس نشان می‌دهد.



شکل ۱ تخصیص پهنای باند مشخص، به انواع کلاس‌های مختلف، در مدل تخصیص بیشینه [۶]

در شکل (۱)، کل پهنای باند اتصال، به سه کلاس ترافیکی تخصیص یافته است. مقدار BC_0 بیشینه پهنای باند قابل استفاده توسط کلاس نوع ۰، مقدار ۱ BC_1 بیشینه پهنای باند قابل استفاده توسط کلاس نوع ۱ و مقدار BC_2 بیشینه پهنای باند قابل استفاده توسط کلاس نوع ۲ می‌باشد. شکل (۲) عملکرد مدل عروسک روسی را برای سه کلاس نشان می‌دهد.

$$X_2 \leq BC_2 \text{ و}$$

$$\text{و } X_1 + X_2 \leq BC_1$$

$$X_0 + X_1 + X_2 \leq BC_0$$

ساختار، محدود کردن ترافیک، بسته به نوع سرویس می‌باشد. از آنجا که مدل عروسک روسی (RDM)^۱، از بین مدل‌های استاندارد شده دارای عملکرد بهتری می‌باشد، مبنای روش پیشنهادی این تحقیق قرار گرفته و ایرادات وارد شده به این مدل، از جمله عدم تضمین حداقل پهنای باند کلاس‌های مختلف ترافیکی، با استفاده از سیاست قبضه کردن^۲ و مشکل مسیریابی مجدد^۳ ترافیک‌های قبضه شده، با استفاده از اجرای سیاست تقلیل^۴ حل شده است، همچنین برای ایجاد عدالت در کلاس‌های مختلف ترافیکی که این سیاست‌ها بر روی آنها اعمال گردیده، از علم تصمیم‌گیری و برنامه ریزی خطی استفاده شده است.

۲- مدل‌های محدودیت پهنای باند

محدودیت پهنای باند عبارت است از درصدی از

پهنای باند یک اتصال، که یک نوع کلاس یا گروهی از انواع کلاس‌ها آن را مورد استفاده قرار می‌دهند، الگوریتم‌های مدیریت منابع و پهنای باند در شبکه‌های DS-TE

زمینه تحقیقات بسیاری از مقالات می‌باشد. موسسه IETF سه مدل تخصیص پهنای باند، برای این ساختار را استاندارد نموده است: مدل تخصیص بیشینه (MAM) [۲]، مدل عروسک روسی (RDM) [۳] و مدل تخصیص بیشینه با رزرو (MAR) [۴]. مدل تخصیص بیشینه (MAM)، یک محدودیت را به یک نوع کلاس، نگاشت می‌کند. در مدل عروسک روسی (RDM)، اجازه داده می‌شود پهنای باند انواع کلاس‌ها، بین یکدیگر تقسیم شود، مدل تخصیص بیشینه با رزرو (MAR) از یک نگاه، مدل تخصیص بیشینه توسعه یافته است، با این فرق که ظرفیت تخصیص داده شده به کلاس‌ها، در

¹ Russian Doll Model

² Preemption

³ Rerouting

⁴ Reduction

سوئیچینگ برچسبی مسدود شده) و سود (استفاده بهینه از منابع با در نظر گرفتن اولویت ترافیک یا مسیر سوئیچینگ برچسبی) را به حداکثر برساند.

۳- ساختار مدیریت بهینه پهنای باند

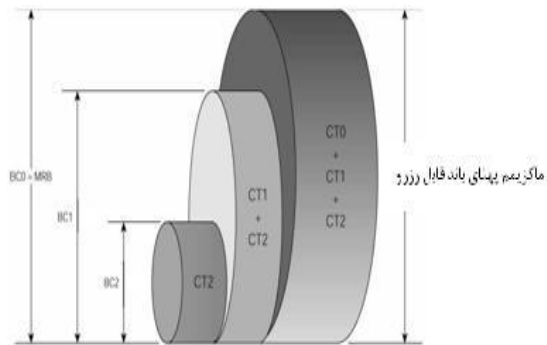
چهار قدم اساسی در برقرار کردن یک مسیر سوئیچینگ برچسبی جدید وجود دارد: اول مسیریاب مبدأ، یک مسیر به مقصد را بر پایه ساختار شبکه و نوع کلاس و پهنای باند مورد نیاز محاسبه می‌کند. مسیر به مقصد را بر پایه ساختار شبکه و نوع کلاس و پهنای باند مورد نیاز محاسبه می‌کند.

دوم، مبدأ یک درخواست با پارامترهای پهنای باند مورد نیاز، نوع کلاس و ... (bw, ct, ...) را به همه مسیریاب‌هایی که برای مسیر انتخاب شده‌اند، ارسال می‌نماید. سوم هر مسیریاب روی مسیر، پهنای باند درخواست شده را کنترل می‌نماید و در صورتی که منابع فراهم باشد، یک پیغام مثبت را به فرستنده می‌فرستد (در این تحقیق برای افزایش گذردهی، این عملیات اضافه شده است: اگر پهنای باند کافی فراهم نباشد، هر مسیریاب، عملیات بهینه‌سازی و در صورت لزوم عملیات بهینه‌سازی قبضه کردن را اجرا و در صورتی که این عملیات موفقیت آمیز بود، پیغام مثبت و گرنه پیغام منفی را بر می‌گرداند). چهارم اگر همه مسیریاب‌های در طول مسیر پیغام مثبت برگردانند، برقراری مسیر سوئیچینگ برچسبی با موفقیت همراه است و پهنای باند مورد تقاضا رزرو می‌گردد.

۴- آماده سازی ورودی‌ها برای انجام شبیه

سازی

در صورتیکه تعداد کلاس‌های ترافیکی یک شبکه، Nct و تعداد اولویت‌های در نظر گرفته شده برای هر کلاس Nsp باشد، هر مسیر سوئیچینگ برچسبی به یک کلاس ct و به یک اولویت حفظ ارتباط نگاشته می‌شود، ماتریس R برای حفظ پهنای باند رزرو شده هر مسیر سوئیچینگ برچسبی بکار می‌رود. در $R[i,j]$ ، i نوع کلاس



شکل ۲ تخصیص پهنای باند با استفاده از مدل عروسک روسی [۶]

X2 پهنای باند استفاده شده توسط کلاس دو (سخت-گیرترین کیفیت سرویس) و BC2 مقدار بیشینه استفاده از پهنای باند برای کلاس دو می‌باشد. X1 پهنای باند استفاده شده توسط کلاس یک و BC1 مقدار بیشینه استفاده از پهنای باند برای کلاس‌های یک و دو می‌باشد. X0 پهنای باند استفاده شده توسط کلاس صفر و BC0 مقدار بیشینه استفاده از پهنای باند برای کلاس‌های صفر و یک و دو می‌باشد. روابط فوق با افزایش تعداد کلاس‌ها، قابل تعمیم بوده و پهنای باند در دسترس نیز از رابطه (۱) قابل محاسبه است [۷]:

$$BC[ct] - \sum_{i=ct}^{Nct-1} \sum_{j=0}^{Nsp-1} R[i,j] \quad (1)$$

روش پیشنهادی این تحقیق، اعمال برخی سیاست‌ها به روش پایه عروسک روسی (RDM) است که موجب افزایش کارایی آن شده است. استفاده از سیاست قبضه کردن، تضمین حداقل پهنای باند تخصیصی برای هر کلاس ترافیکی را فراهم آورده و استفاده از سیاست تقلیل (برای ترافیک‌هایی که این قابلیت را دارند)، قبل از اعمال سیاست قبضه کردن، باعث افزایش کارایی شبکه گردیده و انتخاب مسیر سوئیچینگ برچسبی (LSP) مناسب، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شده است، مبنای تصمیم‌گیری بر اساس نوع کلاس و اولویت مسیر و پهنای باند می‌باشد به طوری که هزینه را حداقل (تعداد ترافیک یا مسیر

و اولویت مسیر سوئیچینگ برچسبی را نشان می‌دهد. R یک ماتریس NctxNsp است (در این مقاله تعداد Nct با Nsp یکسان می‌باشد). هر زمان که یک مسیر سوئیچینگ برچسبی با پهنای باند bw ایجاد و یا حذف گردد ماتریس R با رابطه (۲) بروز می‌گردد.

$$R[ct, sp] = R[ct, sp] + bw \quad (2)$$

که در صورت ایجاد مسیر سوئیچینگ برچسبی bw مقداری مثبت و در صورت حذف مقداری منفی خواهد داشت. C ظرفیت کل اتصال می‌باشد. در این مقاله، سه کلاس [CT0 CT1 CT2] و هر کلاس دارای سه اولویت [P0 P1 P2]، برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. بنابراین ما ۹ کلاس ترافیکی را مدل کرده‌ایم (CT2 مربوط به ترافیک کاربردهای بلادرنگ می‌باشد و رفتاری که روی آن اعمال می‌شود، از نوع ارسال سریع یا EF می‌باشد، کلاس CT0 و CT1 برای ترافیک‌های AFxx و BE که شامل ترافیک‌های ویدئویی غیر بلادرنگ و بهترین تلاش می‌باشد. پس هر یک از مسیرهای سوئیچینگ برچسبی ایجاد شده در شبکه، یکی از ۹ حالت فوق می‌باشند، شایان ذکر است P0 دارای بیشترین اولویت در کلاس مربوط به خود می‌باشد). اگر پارامترهای هر ترافیک جدید وارد شونده، شامل پهنای باند مورد نیاز، نوع کلاس و اولویت کلاس، با (bw, ct, sp) نشان داده شود، ct متعلق به یکی از کلاس‌های [CT0 CT1 CT2] و sp متعلق به یکی از اولویت‌های [P0 P1 P2] می‌باشد، روابط (۳) و (۴) پهنای باند قابل دسترس، برای هر ترافیک وارد شونده جدید را محاسبه می‌کند:

$$Z(ct) = BC(ct) - \sum_{k=ct}^{Nct-1} \sum_{j=0}^{Nsp-1} bw(k, j) \quad (3)$$

$$\Delta = Capacity - \sum_{k=0}^{Nct-1} \sum_{j=0}^{Nsp-1} bw(k, j) \quad (4)$$

BC(ct) بیشینه پهنای باند قابل استفاده توسط کلاس نوع (ct) و Capacity ظرفیت کل منبع می‌باشد. Z(ct)

مقدار پهنای باند در دسترس، در سطح کلاس ct را محاسبه می‌نماید، در صورتی که پهنای باند درخواستی جدید از مقدار Z(ct) بیشتر باشد، باید عملیات تقلیل یا قبضه کردن با در نظر گرفتن اولویت‌ها، در سطح کلاس ct انجام گردد. مقدار Δ نیز پهنای باند استفاده نشده منبع می‌باشد.

```
Req=[bw, ct, sp]
While (true)
{
    if (bw <= Z(ct))
        if (bw <= Δ)
            {create_LSP()
             Exit()}
        else
            CT={ctj, j=0,1,2,...,Nct-1}
    else
        CT={ctj, j=1}
        R = 1/2 ∑ bwj | R is sum of bandwidth CT that capable reduced
        While (bw > R)
            {Pr=bw-R
             P = ∑ |bw'j - bwj| | bw'j is sum of bandwidth that borrow from other classes
             if (Pr > P)
                 {remove_LSP()
                  Exit()}
             else
                 {RunOptimizedPreemption()
                  Update (R) // R is sum of bandwidth is use for all classes }
            }
        if (bw <= R)
            {RunOptimizedReduction()
             Update (Z(ct)) // according to eq. (7)
             Update (Δ) // according to eq. (8) }
}
```

۵- مساله برنامه‌ریزی خطی

هنگام ورود ترافیک‌های اولویت بالاتر، ترافیک‌های اولویت پایین به گونه‌ای حذف و یا کاهش یابند که استفاده از منابع حداکثر و تعداد قبضه یا کاهش حداقل گردد و در عین حال مینیمم ظرفیت هر کلاس تضمین گردد. مراحل زیر را جهت ارائه حل مساله تصمیم‌گیری، با ورود یک درخواست جدید با نوع کلاس ct و پهنای باند مورد نیاز bw و اولویت sp تعریف کرده‌ایم [۸]:

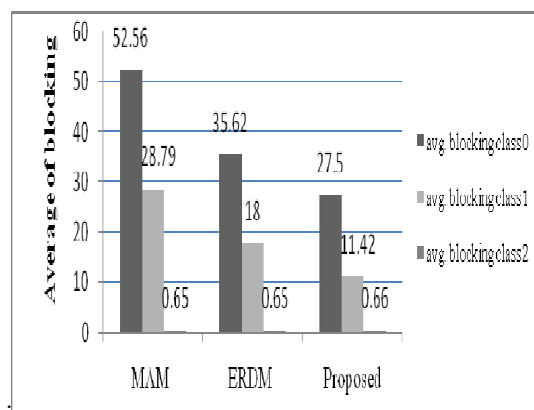
مرحله (۱) تعریف متغیر تصمیم^۱: متغیرهای تصمیم در این مساله عبارتند از Xj

¹ Decision Variable

(قابلیت کاهش در عملیات تقلیل) را دارا می‌باشند، هر یک از مسیرهای سوئیچینگ برچسبی که باید حذف گردد یا کاهش یابد (بسته به اجرای نوع عملیات)، مشخصه X آنها یک می‌گردد.

۶- نتایج شبیه‌سازی

نتایج شبیه‌سازی بر اساس چندین بار، اجرای برنامه و میانگین‌گیری بر روی نتایج خروجی حاصل شده است: از آنجا که مدل‌های تخصیص بیشینه (MAM) و عروسک روسی با قبضه کردن (ERDM)، مدل‌های کلیدی در محدودیت پهنای باند به حساب می‌آیند، روش پیشنهادی با این دو روش، مقایسه شده است. شکل (۳) مقایسه روش‌های فوق، در شرایط ترافیکی یکسان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در نمودار مشخص است در شرایط ترافیکی یکسان، تعداد ترافیک‌های مسدود شده در روش پیشنهادی، کمتر از روش‌های مقایسه شده دیگر می‌باشد.



شکل ۳ مقایسه روش‌ها از نظر میانگین ترافیک‌های مسدود شده

مقایسه روش‌های مختلف، از لحاظ استفاده از منابع، در شرایط یکسان ورود ترافیک، در شکل (۴) نشان داده شده است، همان‌گونه که مشخص است روش ارائه شده، استفاده بهتر از منابع را نسبت به روش‌های دیگر دارا است.

اگر مسیر سوئیچینگ برچسبی، برای عملیات بهینه‌سازی انتخاب گردد: $x_j = 1$
اگر مسیر سوئیچینگ برچسبی، بدون تغییر باشد: $x_j = 0 \quad (j=1,2,\dots,n)$

n تعداد مسیرهای سوئیچینگ برچسبی ورودی است که قابلیت حذف شدن (در عملیات قبضه‌کردن) و یا کاهش پذیری (در عملیات تقلیل) را دارند. مرحله ۲) تعریف تابع هدف (تابع هدف از نوع کمینه است)

- مجموع پهنای باند مسیرهای سوئیچینگ برچسبی که باید حذف گردند یا کاهش یابند، حداقل پهنای باندی باشد که می‌توانند شرط را برآورده نمایند.

- تعداد مسیرهای سوئیچینگ برچسبی حذف شده یا کاهش یافته حداقل باشد.

- مسیرهای سوئیچینگ برچسبی که وزن (ارزش) کمتری دارند، برای حذف شدن ارجح‌تر هستند، پارامتر-های موثر در تعیین وزن عبارتند از: نوع کلاس، اولویت کلاس و نوع مسیرترافیک (احتمال حذف و کاهش پهنای باند مسیرهایی که دارای تاخیر بیشتری هستند بالاتر است) به عبارت دیگر:

$$W = f(CT, Priority, Path Priority) \quad (5)$$

که در آن W وزن محاسبه شده هر مسیر سوئیچینگ برچسبی بر مبنای نوع کلاس (CT)، اولویت کلاس (Priority) و اولویت مسیر (Path Priority) می‌باشد.

محدودیت، شامل مقدار پهنای باندی است که باید آزاد شود تا تامین منابع برای درخواست جدید، فراهم گردد. مرحله ۳) تعریف محدودیت‌های مدل

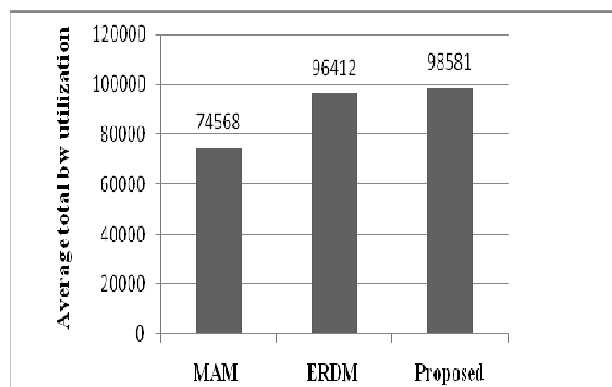
$$\sum_{j=1}^n b w_j . X_j \geq b w \quad (6)$$

که در این رابطه، n تعداد مسیرهای سوئیچینگ برچسبی است که قابلیت حذف در عملیات قبضه‌کردن

بررسی دیگر، مربوط به مقایسه دو عملکرد شبکه پیشنهادی، با استفاده از برنامه ریزی خطی و بدون آن می‌باشد. شکل (۶) تعداد ترافیک‌های مسدود شده، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و بدون برنامه‌ریزی خطی را نشان می‌دهد، که استفاده از برنامه‌ریزی خطی، عملکرد بهتری را نشان می‌دهد.

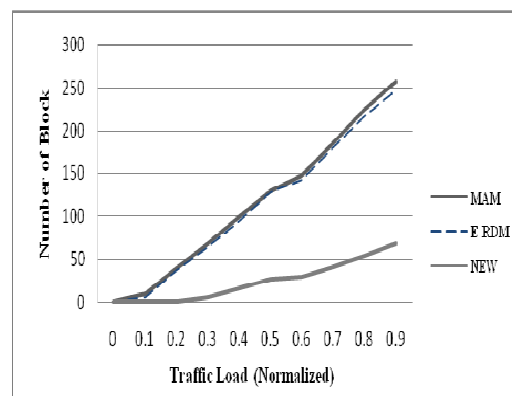
نتیجه‌گیری

شبکه‌های نسل آینده، بازه وسیعی از کاربردها را پشتیبانی می‌نماید. DS-TE ساختاری مناسب، برای ارائه کیفیت سرویس در هسته شبکه‌های نسل آینده می‌باشد. محدودیت پهنای باند یکی از الزامات مهم در این ساختار می‌باشد که سه روش استاندارد شده محدودیت پهنای باند: روش تخصیص بیشینه (MAM)، روش تخصیص بیشینه با رزرو (MAR) و روش عروسک روسی (RDM) تاکنون معرفی شده است، در این پایان‌نامه، از روش محدودیت پهنای باند بر پایه روش عروسک روسی (RDM) استفاده شده است و الگوریتمی برای تخصیص متناسب پهنای باند به سرویس‌های مختلف، و استفاده بهینه از منابع، ارائه می‌دهد. همچنین استفاده از برنامه‌ریزی خطی و تصمیم‌گیری چند معیاره، باعث گردیده همواره بهترین انتخاب، در حذف و یا کاهش مسیرهای سوئیچینگ برجسی، بر اساس پارامترهای مختلف ترافیکی و شبکه ای انجام و تضمین کمینه پهنای باند برای کلاس‌های مختلف حاصل گردد. با توجه به نتایج حاصل شده، روش پیشنهادی، عملکرد بالایی، خصوصا هنگام ازدحام برای ترافیک‌های اولویت‌دار، دارد و از آنجا که اکثر خرابی‌ها عمدتا در زمان کوتاهی مرتفع می‌گردند، این روش، کیفیت سرویس را در زمان ازدحام با مدیریت در سطوح نوع کلاس، اولویت کلاس، اولویت مسیر، کمترین تعداد قبضه شدن مسیرهای سوئیچینگ برجسی و استفاده بهینه از منابع را به نحو احسن انجام می‌دهد.

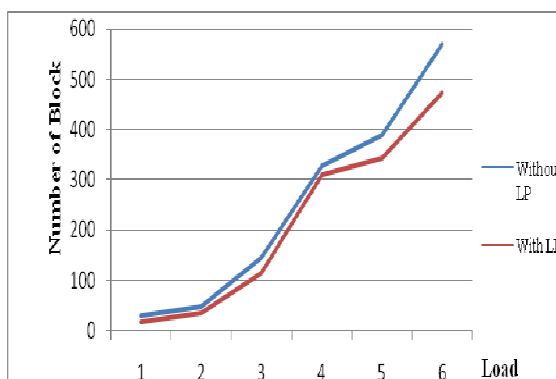


شکل ۴ مقایسه روش‌ها از نظر استفاده بهینه از پهنای باند

شکل (۵) میانگین ترافیک‌های مسدود شده را در سه روش مقایسه می‌کند. این نمودار در حالتی که ترافیک وارد شده به شبکه افزایش می‌یابد، را نشان داده است.



شکل ۵ مقایسه روش‌ها از نظر تعداد ترافیک‌های مسدود شده



شکل ۶ مقایسه روش پیشنهادی با برنامه ریزی خطی و بدون برنامه ریزی خطی

مراجع

- [1] F. L. Faucheur and W. Lai, "Requirements for support of differentiated services-aware MPLS traffic engineering," IETF, RFC 3564, July 2003.
- [2] F. Le Faucheur et al., "Maximum Allocation Bandwidth Constraints Model for Diff-Serv-Aware MPLS Traffic Engineering," IETF Internet draft, 2004.
- [3] F. Le Faucheur et al., "Russian Dolls Bandwidth Constraints Model for Diff-Serv-Aware MPLS Traffic Engineering", RFC 4127, June 2005.
- [4] J. Ash, "Max Allocation with Reservation Bandwidth Constraints Model for DiffServ-Aware MPLS Traffic Engineering and Performance Comparison", IETF Internet draft, Jan. 2004.
- [5] F. Le Faucheur, "Considerations on bandwidth constraint models for DS-TE", IETF, Internet Draft, work in progress, June 2002.
- [6] S. Olejnik, "voip deployment for dummies", Wiley, 2009
- [7] Tong Shan, and Oliver W.W. Yang, "Bandwidth Management for Supporting Differentiated-Service-Aware Traffic Engineering", IEEE Transactions on Parallel and Distributed System, Vol. 18, No. 9, pp.1320-1331, SEPTEMBER 2007

[۸] ع. آذر، "تحقیق در عملیات مفاهیم و کاربردهای برنامه ریزی خطی"، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات نشر علوم نوین، ۱۳۸۳