ششمین همایش بین‌المللی افق های نویـن در
مهندسی برق، کامپیوتـر و مکانیک
6th International Conference on the New Horizons in
Electrical Engineering, Computer and Mechanical
www.mhconf.ir

بررسی استفاده از پراکسی در عملکرد پروتکل TCP/IP در لینک ماهواره به کمک شبیه ساز OPNET

جواد رنجبر
دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء (ص)، تهران jranjbar@yahoo.com

چکیده

با پیشرفت تکنولوژی در زمینه مخابرات ماهواره‌ای و گسترش استفاده از لینک‌های ماهواره در شبکه اینترنت، برای دستیابی به کارآیی مناسب، سازوکار پروتکل‌های مورداستفاده در لایه‌های مختلف شبکه‌های زمینی باید با شرایط لینک‌های ماهواره نیز تطبیق داده شوند. یکی از این پروتکل ها، پروتکل لایه انتقال، TCP[1]، است که در حال حاضر نقش مهمی در سرویس‌های ارائه شده در شبکه اینترنت ایفا می‌کند. ازآنجایی‌که در لینک ماهواره بروز خطای ناشی از تأخیر امری اجتناب نا پذیر است، لذا کم کردن نرخ ارسال اطلاعات که TCP در شبکه‌های زمینی جهت مقابله با خطا اعمال می‌کند، عملی بیهوده است. در این مقاله راه‌حل‌های پیشنهادشده برای بهبود عملکرد TCP در محیط لینک ماهواره و هماهنگ نمودن آن با شرایطی مانند نرخ خطای بالا و تأخیر انتشار زیاد مورد بررسی قرارگرفته و استفاده از یک PEP[2] به‌عنوان راه حل بهینه مطرح شده است. سپس یک مدل منطقی از یک اتصال TCP در نرم‌افزار شبیه ساز OPNET طراحی شده است و نشان داده شده است می‌توان به کمک یک PEP خطا را به‌اندازه قابل‌ملاحظه ای کاهش داد.

واژه‌های کلیدی

لینک ماهواره، IP، PEP،TCP

[1] Transmission Control Protocol
[2] Performance Enhancing Proxy

۱. مقدمه

در دهه های اخیر از TCP در اینترنت بطور گسترده ای استفاده‌شده است و بخش عمده موفقیت آن هم بدلیل توانایی آن در استفاده از پهنای باند بلا استفاده شبکه با کم کردن سرعت ارسال آن در هنگام تراکم در شبکه است که به این مکانیزم اجتناب از تراکم گویند[1].

پروتکل TCP، زمانی که از یک محیط ارتباطی که شامل ماهواره نیز می‌شود، استفاده می‌کنیم، یک جریان داده مطمئن را فراهم می‌کند. خصوصیات گوناگونی از یک لینک ماهواره‌ای می‌تواند عملکرد TCP را کاهش دهد[2]. تأخیر بالا اولین عاملی است با افزایش مدت زمان دوره های شروع آهسته که به مقدار زمان رفت و برگشت یک اتصال وابسته است، عملکرد TCP در مخابرات ماهواره‌ای را کاهش می‌دهد[3].

خصوصیت پر اتلاف بودن لینک ماهواره نیز باعث ایجاد مشکل می‌شود. مکانیزم کنترل جریان TCP بر پایه بسته‌های از دست رفته ای استوار است که وجود تراکم را مشخص می‌کند. با وجود اینکه این فرض برای شبکه‌های با سیم درست است اما برای شبکه‌های بیسیم، مانند مخابرات ماهواره‌ای، ایجاد مشکل می‌کند[4] .

برای تطبیق پروتکل TCP برای مخابرات ماهواره‌ای راه‌های گوناگونی پیشنهاد شده است. برخی راه‌حل‌ها شامل ارائه تغییرات بر روی مکانیزم پروتکل است که این پروتکل را با خصوصیات لینک‌های ماهواره همگون می سازد [5]. این اصلاحات اولیه، کنترل خطا و کنترل جریان را برای افزایش عملکرد تغییر می‌دهد.

ایجاد تغییرات در مکانیزم کنترل جریان TCP مانند New Reno [6] و Peach [7] مثال هایی از توسعه پروتکل را ارائه می‌دهند. در SACK[8] نیز با استفاده از تغییر مکانیزم کنترل خطا در TCP از اتلاف منابع ماهواره از طریق ارسال مجدد، جلوگیری می‌کند.

برخی دیگر از راه‌حل‌ها نیازمند تغییر در ساختار شبکه هستند. در این حالت، واسطه‌هایی وجود دارند که عمل پردازش را به‌جای نقاط پایانی TCP برای رسیدن به عملکرد بهتر انجام می‌دهند. یکی از این نوع تکنیک‌ها شامل جداسازی اتصالات به سگمنت زمینی و هوایی و یا تکه‌تکه کردن اتصالات است.

۲. پراکسی‌های افزایش‌دهنده کارایی (PEPs)

پراکسی‌های افزایش‌دهنده کارایی (PEPs) اجزایی از شبکه هستند که برای بهبود عملکرد پروتکل‌های اینترنت، در محیط‌هایی که در آن‌ها برخی ویژگی‌های لینک و یا زیر شبکه، عملکرد مکانیزم های اولیه شبکه مانند نرخ ارسال داده و گذردهی را کاهش می‌دهند، طراحی‌شده‌اند.

PEP ها ازلحاظ ساختاری انواع گوناگونی دارند. یک PEP از نوع یکپارچه از یک نود تنها در شبکه تشکیل‌شده و اغلب در لبه دو شبکه‌ای که دارای ماهیت متفاوت و ویژگی‌های متمایز هستند، قرار می‌گیرند؛ اما یک PEP توزیعی شامل دو یا چند نود بوده و معمولاً در نقاط انتهایی لینک‌هایی که باید بهبود یابند، قرار می‌گیرند.

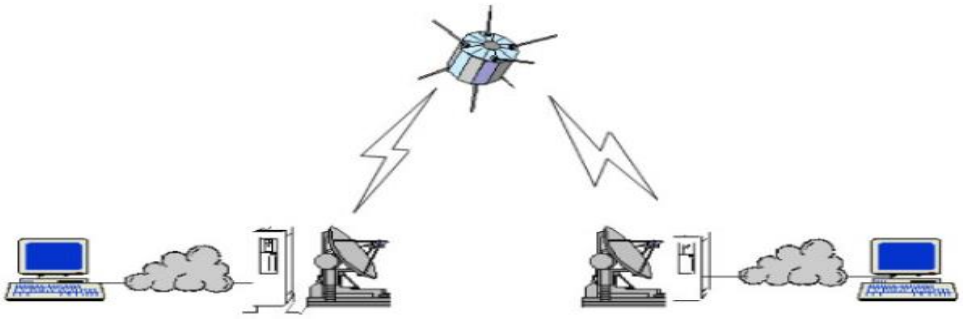
یک PEP ممکن است به‌صورت متقارن و یا نامتقارن عمل کند که این موضوع بستگی به چگونگی جریان ترافیک در دو طرف ارسال و دریافت دارد.

یکی دیگر از ویژگی‌های PEP سطح وضوح و شفافیت آن است. یک PEP می‌تواند کاملاً نسبت به اجزای مختلف شبکه واضح و شفاف باشد، ولی این قابلیت همیشگی نیست.

برای استفاده از بعضی پراکسی‌ها نیاز به تغییر ساختار کاربر داشته و برخی دیگر نیز نیاز به تغییر و بهینه‌سازی در نرم‌افزار کاربر و سرور دارند[9].

PEP ها معمولاً در محیط‌های ماهواره‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرند زیرا لینک‌ها در این محیط‌ها به‌شدت متأثر از تأخیر و عدم تقارن در پهنای باند هستند[10] .

یکی از تکنیک‌های اصلی که PEP های توزیعی از آن استفاده می‌کنند، جداسازی اتصالات است که معنای آن شکستن اتصال ابتدا به انتهای TCP به سه قسمت است که عبارت‌اند از جداسازی قسمت کاربر توسط PEP قسمت کاربر، استفاده از یک لینک بهینه برای تبادل داده و سپس کامل کردن اتصال به سرور با استفاده از یک جریان TCP توسط PEP قسمت سرور (شکل ۱). فایده این روش این است که اتصال میانی بین شتاب‌دهنده‌ها تشکیل‌شده است و می‌توان با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته و توسعه‌یافته بدون مطلع کردن نقاط انتهایی واقعی، بهینه شوند[11] .



شکل ۱. استفاده از تکنیک جداسازی اتصالات با استفاده از PEP ها

PEP ها برای بهبود عملکرد شبکه می‌توانند از روش‌های مختلف و گوناگونی استفاده کنند. مکانیزم های معمولی و رایج PEP شامل استفاده تکنیک‌های تصدیق داخلی TCP و ارسال مجدد و همچنین فشرده‌سازی می‌شود. PEP های توزیعی نیز ممکن است از فرم‌های گوناگون تونلینگ استفاده کنند. مکانیزم های دیگری نظیر استفاده از مالتی پلکسینگ ترافیک مبتنی بر رعایت اصل اولویت‌بندی و تقویت‌کننده‌های پروتکل نیز وجود دارند که PEP ها می‌توانند از آن‌ها استفاده کنند[11].

۳. استفاده از پراکسی در لینک ماهواره

شبیه‌سازی دقیق یک شبکه ماهواره‌ای نیاز به مدل‌سازی جزئی و دقیق پارامترهایی مانند مشخصات فرکانس رادیویی، تعامل بین پروتکل‌ها، خطای لینک، تأخیر از مبدأ تا مقصد و گذردهی دارد. بااین‌وجود برای بررسی مشخصات کلی و عمومی شبکه‌های ماهواره‌ای، بسیاری از پارامترهای جزئی و غیرضروری قابل‌حذف هستند. به‌عنوان‌مثال برای مطالعه عملکرد TCP روی یک لینک ماهواره، مدل تقریبی کانال ماهواره‌ای و یک مدل خطای کانال از درجه اول نیز کارایی خوبی دارد و به کار بردن مدل‌های دقیق‌تر تأثیر چندانی در دقت نتایج به‌دست‌آمده نخواهد داشت و تنها بار محاسباتی عملیات شبیه‌سازی را افزایش می‌دهد. بدین منظور در این مقاله تنها از مدل‌های ساده و تقریبی محیط ماهواره‌ای، استفاده‌شده است.

۱،۳. مدل ماهواره مدار ثابت زمین

ماهواره‌های مدار ثابت زمین در مداری به ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتر بالای خط استوا به دور زمین می‌چرخند و مکان آن‌ها بر اساس طول جغرافیایی تصویر ماهواره روی خط استوا تعیین می‌شود. در عمل ماهواره‌ها ثابت نبوده و به دلیل عوامل جاذبه‌ای گاها کمی از مدار خود منحرف می‌شوند، اما در شبیه‌سازی لزومی به مدل‌سازی این اثرات جزئی و گذرا وجود ندارد.

دو مدل برای ماهواره GEO[۳] قابل‌تعریف است. یکی مدل ماهواره‌های GEO متداول که در آن ماهواره تنها نقش یک تکرارکننده را دارد و هر آنچه توسط کانال uplink دریافت می‌کند روی کانال downlink ارسال می‌کند. در این حالت ماهواره از دید پروتکل‌های مسیریابی مخفی است. مدل دوم مطابق ماهواره‌های نسل جدید قابلیت پردازش بسته‌ها و مسیریابی را نیز داراست. مدلی که ما برای شبیه‌سازی در نظر گرفته‌ایم از نوع اول است به این معنی که ماهواره را فاقد قدرت پردازش در نظر گرفته و تنها به‌عنوان یک تکرارکننده سیگنال دریافتی از آن استفاده می‌کنیم.

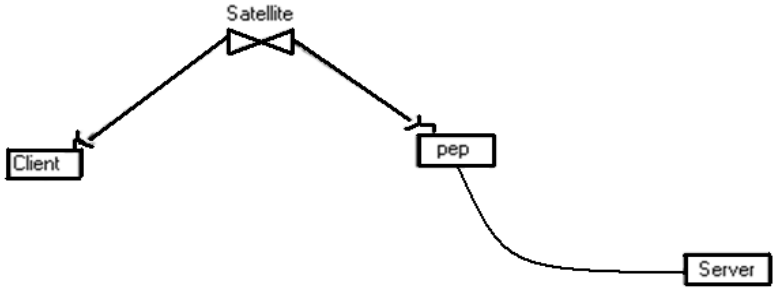
[3] Geocentric orbit

۲،۳. مدل‌های خطا

مدل‌های خطا در نرم‌افزار OPNET برای ایجاد خطا در بسته‌ها و با احتمالات مختلف تعریف‌شده‌اند. مدل‌های خطای موجود ساده هستند و نمی‌توانند تمام شرایط خطا در یک شبکه ماهواره‌ای را پوشش دهند. این مدل‌ها می‌توانند درصد خطای بیت یا بستهٔ دلخواه را روی کانال با توزیع چگالی احتمال یکنواخت در مدت زمان شبیه‌سازی ایجاد کنند. مدل‌های خطای پیچیده‌تری نیز قابل‌تعریف و پیاده‌سازی هستند که از توضیح آن‌ها صرف‌نظر می‌کنیم. مدل خطای فعلی بکار رفته برای تولید خطای بسته با نرخ مشخص و پراکندگی زمانی تصادفی با چگالی یکنواخت تعریف‌شده است.

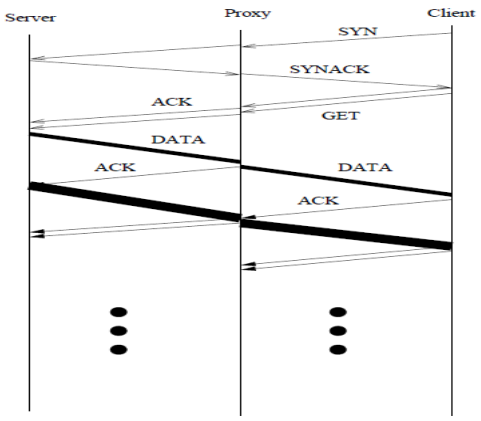
3.3. شمای کلی مدل شبکه ماهواره‌ای

در این روش که در شکل ۲ مشاهده می‌شود از یک سیستم ماهواره‌ای برای ارسال اطلاعات از سرور به کاربر استفاده می‌شود.



شکل ۲. اجزای اصلی سیستم ماهواره‌ای در شبیه‌سازی

پراکسی جداکننده اتصال بین سرور و ماهواره قرار داده شده است. زمانی که پراکسی فعال نشده باشد، یک بسته فرستاده‌شده از سرور به کاربر نهایی از PEP عبور می‌کند و PEP مانند یک روتر معمولی عمل می‌کند. زمانی که پراکسی فعال شده باشد، اتصال ابتدا به انتهای سرور و کاربر به دو قسمت تقسیم می‌شود و ACK هایی که به هم می‌دهند مانند شکل ۳ است.



شکل ۳. تکه‌تکه کردن یک اتصال توسط یک پراکسی

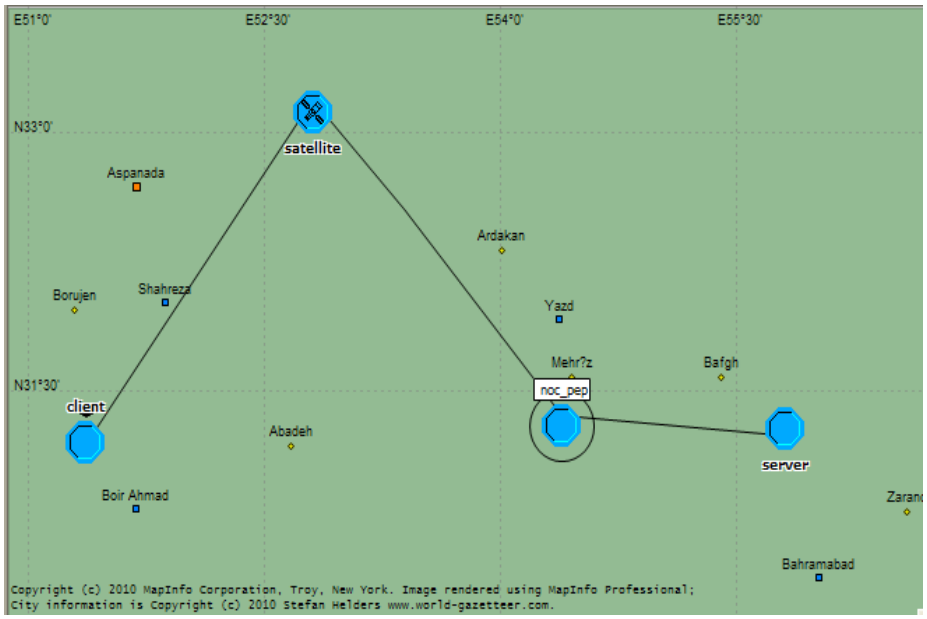
در این شکل با ایجاد یک اتصال جدید پراکسی بسته‌های SYN وSYNACK را ارسال و دریافت می‌کند؛ بنابراین سرور شروع به ارسال اطلاعات می‌کند. پراکسی اطلاعات را از سرور گرفته و برای سرور یک ACK ارسال می‌کند. ازآنجایی‌که آدرس پراکسی همان آدرس کاربر است سرور ACK برگشتی از پراکسی را به‌منزله تصدیق از طرف کاربر می‌داند و اندازه پنجره خود را افزایش می‌دهد. ازآنجایی‌که

پراکسی به سرور نزدیک است زمان رفت‌وبرگشت کم شده و نرخ ارسال در سرور افزایش می‌یابد. پراکسی از دید کاربر نیز به‌منزله سرور است. حال اگر اطلاعات به‌درستی به کاربر نرسد یک ACK تکراری به پراکسی می‌دهد و ازآنجایی‌که ارسال مجدد بر عهده پراکسی است همین امر موجب افزایش سرعت و بهبود کارایی سیستم می‌گردد.

۴. شبیه‌سازی یک ارتباط TCP

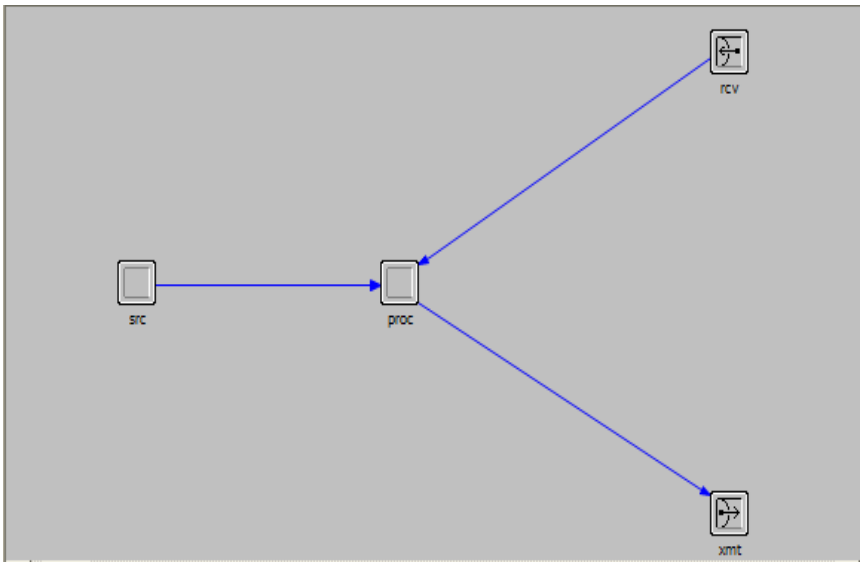
در این مقاله ما به شبیه‌سازی یک سیستم ارتباط که شامل لینک ماهواره است می‌پردازیم. این سیستم شامل یک سرور و یک کاربر است که از طریق یک ماهواره با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. ازآنجایی‌که در یک ارتباط ماهواره‌ای ارتباط ابتدا به انتهای بین سرور و کاربر با مشکلات زیادی همراه است، ما با پیاده‌سازی یک سیستم TCP به‌صورت منطقی، مبادرت به تکه‌تکه کردن اتصالات کرده و نتایج در مقایسه بازمانی که از این روش استفاده نمی‌شود را با استفاده از بسته‌های مختلف IP آزمایش نموده‌ایم و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است.

همان‌طور که گفته شد یکی از راه‌های مقابله با مشکل ارتباط‌های ماهواره‌ای روش تکه‌تکه کردن ارتباط ابتدا به انتها بین سرور و کاربر است. در این شبیه‌سازی از یک PEP استفاده‌شده است (شکل ۴) که در طرف سرور قرارگرفته و ازنظر سرور به‌عنوان کاربر شناخته‌شده و از طرف کاربر به‌عنوان سرور شناخته می‌شود.



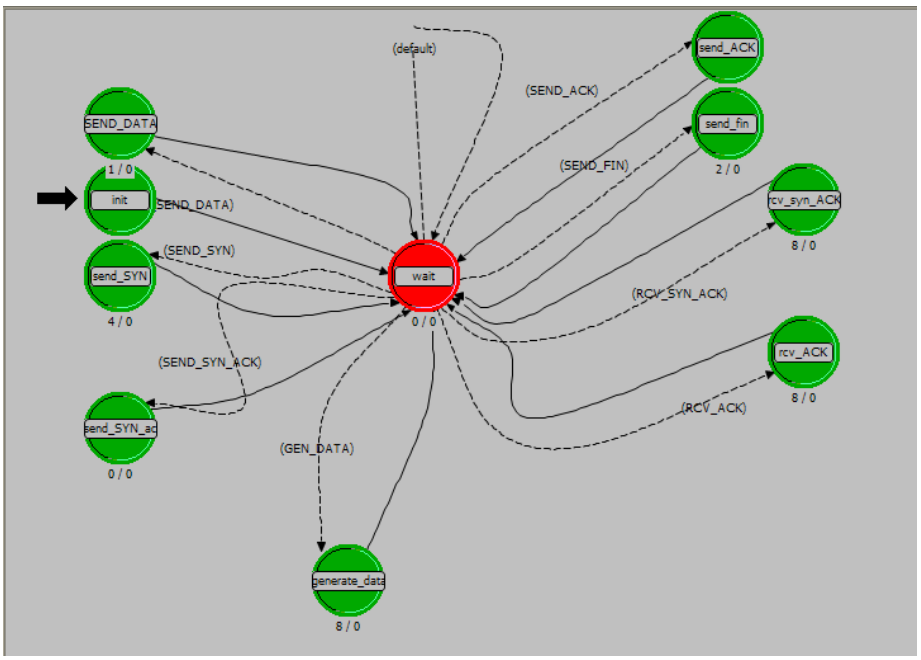
شکل ۴. اضافه کردن یک PEP به سیستم

در شکل ۵ مدل گره سرور و کاربر را مشاهده می‌کنید که دارای یک فرستنده و گیرنده و همچنین یک پردازشگر و یک منبع می‌باشد.

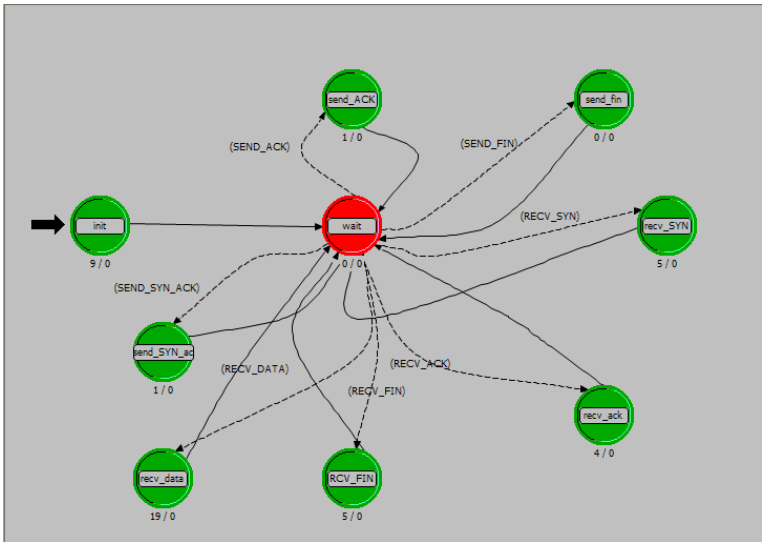


شکل ۵. مدل گره برای سرور و کاربر

در شکل ۶ و ۷ مدل پردازشی کاربر و سرور را مشاهده می‌کنید که وظایف هر قسمت با کدهای مربوط مشخص شده است.



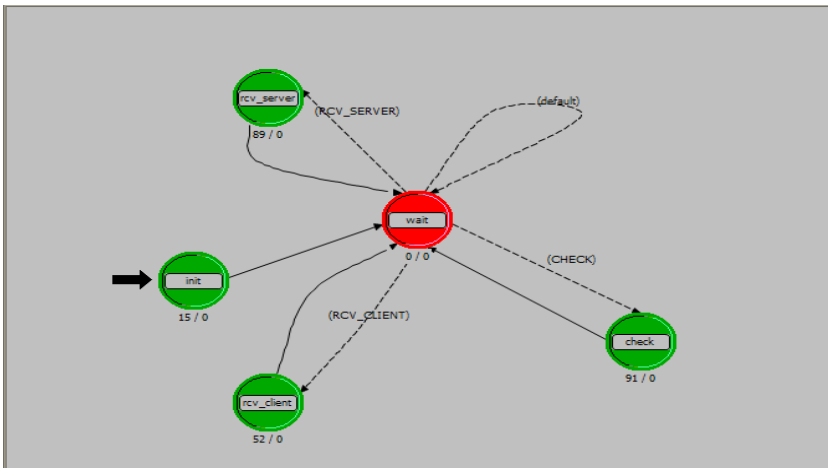
شکل ۶. مدل پردازشی سرور



شکل ۷. مدل پردازشی کاربر

در این شبیه‌سازی از ماهواره تنها به‌عنوان یک روتر معمولی استفاده‌شده که اطلاعات دریافتی از سرور و یا کاربر را بدون هیچ‌گونه پردازشی به‌طرف مقابل ارسال می‌کند.

در شکل ۸ نیز مدل پردازشی PEP را مشاهده می‌کنید.



شکل ۸. مدل پردازشی PEP

۱،۴. معیارهای اندازه‌گیری کیفیت سرویس

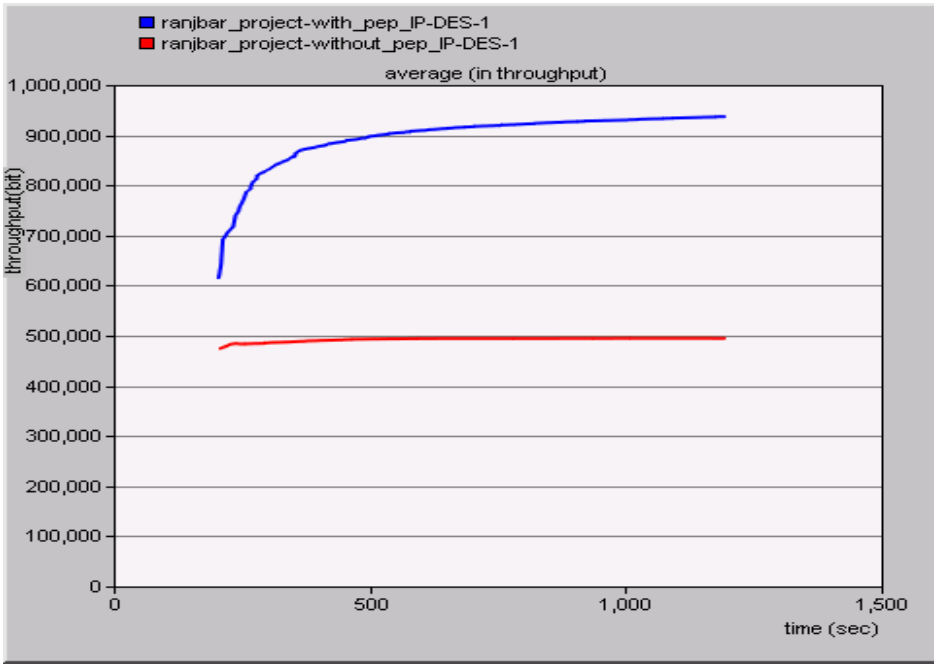
بهترین معیارهای اندازه‌گیری عملکرد و کیفیت خدمات در سطح لایه شبکه عبارت‌اند از: گذردهی، تأخیر، لرزش و نرخ اتلاف بسته‌ها. منظور از گذردهی عبارت است از میزان بیت‌های مفید منتقل‌شده از ارائه‌کننده سرویس به دریافت‌کننده آن. گذردهی در مورد ترافیک‌هایی که از پروتکل TCP استفاده می‌کنند شامل عبور بسته‌های ارسال مجدد نیز می‌گردد. درحالی‌که در معیار دیگر تنها بسته‌های حاوی اطلاعات مفید و اولیه در نظر گرفته می‌شوند. در این مقاله میزان گذردهی ابتدا به انتها برای ترافیک‌های TCP بدون در نظر گرفتن بسته‌های ارسال مجدد، محاسبه و ملاک مقایسه قرارگرفته است. میزان گذردهی در فواصل زمانی معینی محاسبه و در فایل‌های خروجی ذخیره می‌شود.

برای ترافیک TCP زمان بین ارسال درخواست و زمان دریافت پاسخ کامل در سمت کاربر را به‌عنوان تأخیر دریافت سرویس در نظر می‌گیریم. تأخیر ابتدا به انتها از تفاوت زمان دریافت بسته در مقصد و زمان ارسال بسته در مبدأ به دست می‌آید. البته با توجه به زیاد بودن تعداد بسته‌های عبوری از شبکه، میانگین تأخیر بسته‌ها در بازه‌های زمانی معین اندازه‌گیری و در نتایج شبیه‌سازی از آن استفاده‌شده‌است.

یکی از فاکتورهای مهم دیگر در عملکرد شبکه خصوصاً در گلوگاه‌ها میزان اتلاف بسته‌ها است. نرخ اتلاف بسته‌ها در ترافیک TCP به دلیل مکانیزم ارسال مجدد، تأثیر چندانی ندارد. البته در این نوع ترافیک به دلیل اینکه از دست رفتن بسته‌ها باعث تشخیص ازدحام از سوی پروتکل TCP و کاهش اندازهٔ پنجرهٔ ارسال می‌گردد، کنترل میزان اتلاف بسته‌ها می‌تواند در افزایش گذردهی کلی مؤثر باشد.

۲,۴. نتایج شبیه‌سازی

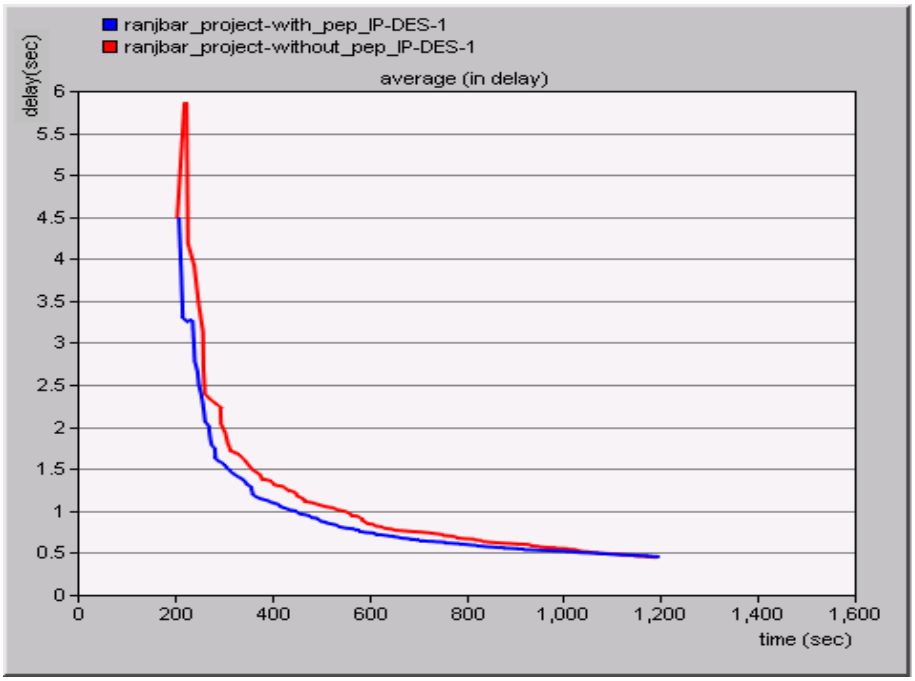
در ابتدا به مقایسه گذردهی در لینک ماهواره زمانی که از PEP استفاده نشده است در مقایسه با زمانی می‌پردازیم که از PEP استفاده می‌کنیم.



شکل ۸. مقایسه نرخ گذردهی با توجه و بدون توجه به اعمال PEP در لینک ماهواره

با توجه به شکل بالا کاملاً واضح است که با اعمال PEP در لینک ماهواره‌ای میزان گذردهی به‌اندازه تقریباً دو برابر حالت قبل بهبودیافته است.

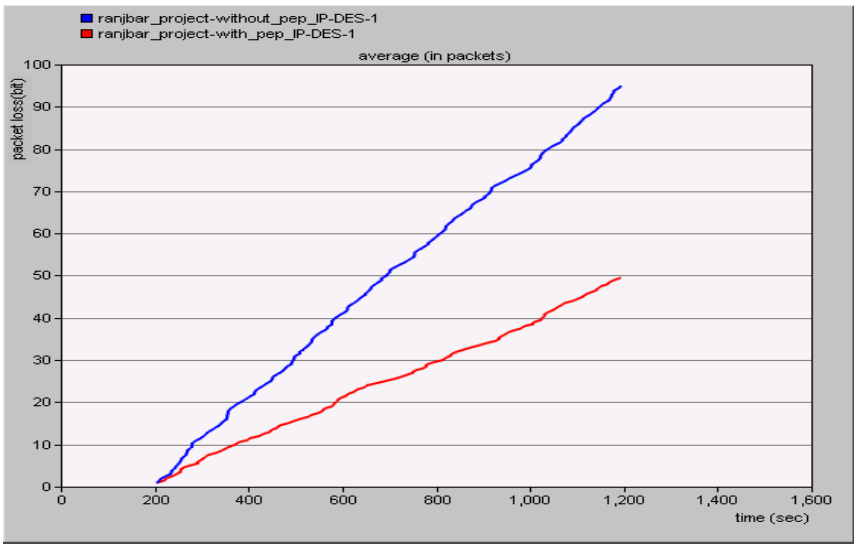
سپس به بررسی تأخیر یکی دیگر از معیارهای اندازه‌گیری کیفیت سرویس در لینک ماهواره می‌پردازیم.



شکل ۹. مقایسه میانگین تأخیر با توجه و بدون توجه به اعمال PEP در لینک ماهواره

در این شکل نیز مشهود است که با فعال‌سازی PEP در لینک ماهواره میزان تأخیر به نسبت خوبی کاهش‌یافته است که این کاهش تأخیر، نشان از بهبود لینک ماهواره با توجه به اعمال PEP در آن می‌باشد.

در ادامه به مقایسه یکی دیگر از معیارهای اندازه‌گیری کیفیت سرویس یعنی میزان اتلاف بسته‌های ارسالی می‌پردازیم.



شکل ۱۰. مقایسه نرخ اتلاف بسته‌ها با توجه و بدون توجه به اعمال PEP در لینک ماهواره

مقایسه دو حالت استفاده و عدم استفاده از PEP در لینک ماهواره‌ای نشان می‌دهد که با اعمال PEP نرخ اتلاف بسته‌های ارسالی تقریباً به‌اندازه نصف کاهش‌یافته است که نشان از بهبود لینک ماهواره در مورد اتلاف بسته‌های ارسالی می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری

دو تفاوت عمده میان لینک ماهواره و لینک‌های شبکه زمینی وجود دارد که عبارت‌اند از تأخیر زیاد و نرخ خطای بالا در لینک ماهواره. ازآنجایی‌که پروتکل TCP بر اساس خصوصیات شبکه زمینی طراحی‌شده است این دو تفاوت عمده باعث شده است که TCP در هنگام کار در محیط لینک ماهواره با مشکلاتی روبرو شود. برای رویارویی با این مشکلات تاکنون راه‌حل‌های مختلفی پیشنهادشده است که پرکاربردترین آن‌ها استفاده از یک PEP است. مزیت استفاده از PEP در این است که نیازی به اعمال تغییرات در لایه کاربر نیست و تغییری در نرم‌افزارهای کاربردی و پروتکل TCP مورداستفاده در لایه انتقال در مبدأ و مقصد انجام نمی‌گیرد. در این مقاله با طراحی و پیاده‌سازی یک مدل منطقی از لینک ماهواره و پروتکل TCP در نرم‌افزار OPNET اقدام به اعمال PEP در لینک ماهواره‌ای نمودیم که نتایج به‌دست‌آمده از قابلیت قابل‌ملاحظه استفاده PEP در لینک ماهواره خبر می‌دهد و با توجه به بهبود قابل‌ملاحظه‌ای که در لینک ماهواره به عمل می‌آورد می‌توان آن‌ها به‌عنوان یک بهبوددهنده کارایی TCP در شبکه‌های ماهواره‌ای مورداستفاده قرار داد. برای ارزیابی عملکرد در ابتدا نرخ گذردهی، بررسی شد که نتایج به‌دست‌آمده در زمانی که از PEP استفاده‌شده است تقریباً دو برابر حالتی است که از PEP استفاده نشده است. در ادامه به بررسی یکی دیگر از معیارهای کیفیت سرویس یعنی تأخیر از مبدأ تا مقصد پرداخته‌ایم که نتایج حاصله در حالت استفاده از PEP نسبت به حالتی که از آن استفاده نمی‌شود، بهبودیافته است. در انتها نیز به بررسی میزان تلفات بسته‌ها به‌عنوان یکی دیگر از معیارهای کیفیت سرویس پرداخته شده است که نرخ اتلاف بسته‌ها زمانی که از PEP استفاده‌شده است نسبت به زمانی که از آن استفاده نشده است، تقریباً نصف شده است.

منابع

[1] Thomas R. Henderson, Randy H. Katz, 1999,” TCP Performance over Satellite Channels”, EECS Department University of California, Berkeley Technical Report No. UCB/CSD-99-1083.

[2] Craig Partridg, 1997,”TCP/IP Performance over Satellite Links”, IEEE Network, 11(5).

[3] V. Jacobson, 1988, “Congestion Avoidance and Control”, Proc. of SIGCOMM ‘88, pp. 314-329.

[4] W. Stevens, 1997, “TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms”, RFC 2001.

[5] M. Allman, D. Glover, L. Sanchez, 1999, “Enhancing TCP over Satellite Channels Using Standard Mechanism”, RFC 2488.

[6] S. Floyd, T. Henderson, 1999, “The New Reno Modification to TCP's Fast Recovery Algorithm,” RFC 2582.

[7] I. F. Akyildiz, G.Morabito, S. Palazzo, 2001, “TCP-Peach: a New Congestion Control Scheme for Satellite IP Networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking Volume 9, Issue 3, Pages 307-321.

[8] M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd, A. Romanow, 1996, “TCP Selective Acknowledgment Options”.

[9] J. Border, M. Kojo, J. Griner, G. Montenegro and Z. Shelby, 2001, “Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations”, RFC 3135.

[10] S. Philopoulos and K. Ferens, 2002. “Proxy-Based Connection-Splitting Architectures for Improving TCP Performance over Satellite Channels”. Electrical and Computer Engineering.

[11] D. Feldmeier, A. McAuley, J. Smith, D. Bakin, W. Marcus, and T. Raleigh,1998,“Protocol Boosters”.IEEE Journal on Selected Areas in Communications (Special Issue on Protocol Architectures for 21st Century Applications, 16(3):437–444.