

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



عنوان گزارش کار:

Selective packet dropping for VoIP and TCP flows

درس: شبکه های کامپیوتری پیشرفته

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر حسینی

با تشکر از جناب آقای مهندس سجادی

گرد آورنده:

سلاله جوادزاده امینی

شماره دانشجویی: ۹۰۶۳۸۵۷۲۰۶

sjavadzadeamini@gmail.com

خرداد ۱۳۹۲

چکیده

اتخاذ پروتکل IP برای بکارگیری در کاربردهای گوناگون، از نیاز به مکانیزم هایی برای پیشگیری از ازدحام شبکه در سناریوهایی با انواع ترافیک مختلف برمی خیزد که (واکنشی و غیر واکنشی) در منابع شبکه محدودی سهم می باشد. برای پرداختن به این موضوع، تعدادی الگوریتم برای AQM (مدیریت صف فعال) پیشنهاد شده است. به هر حال، اکثر آنها در این نوع ترافیک مشاهده نمی شوند و معمولاً به این دانش بی توجه هستند. بدین ترتیب، خدمات ارائه شده نمی تواند احتیاجات قطعی انواع ترافیک متفاوت مثل خدمات VOIP را برطرف نماید که به نرخ اتلاف و رکود(تاخیر) بسته محدود نیاز دارند.

این مقاله رویکرد جدیدی را برای کاربرد در پیشگیری از ازدحام شبکه در روترهای AQM پیشنهاد می کند. الگوی ما شامل روالی برای انتخاب بسته ای می باشد که حذف می کند تا اعتدال(عدالت) بین کلاسهای مختلف جریان ها را بهبود بخشد. ما استفاده از این رویکرد را برای الگوهای AQM قطعی در سناریوهای دارای میزان ترکیب ترافیکی UDP و TCP متفاوت ارزیابی می کنیم. معیارهای کارایی درونی و بیرونی نیز گزارش می شوند. ارزیابی تجربی نشان می دهد که رویکرد ما، اعتدال بین کلاسهای ترافیکی متفاوت را بدون استفاده از هیچ جدول زمانبندی کننده ی بسته، بهبود می بخشد. در حقیقت، این رویکرد کارایی ترافیکی VOIP را از لحاظ احتمال حذف بسته، متوسط امتیاز نظریات (MOS) و قابلیت فهم، بهبود می بخشد. ما همچنین نشان می دهیم که رویکرد ما اثر منفی بر تاخیر بسته ندارد. بعلاوه، آن از برآمد ترافیک واکنشی TCP حاصل نمی شود.

کلمات کلیدی

مدیریت صف فعال ، RED ، VOIP ، TCP، دوستانه ، اعتدال(عدالت) ، ترکیب ترافیکی

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۱-۱- مسأله تحقیق	۱
۲-۱-اهداف تحقیق	۱
۲- مرور مختصری بر مناسب ترین رویکردهای AQM	۲
۳-الگوریتم انتخاب قربانی Drop-Sel	۴
۴-ارزیابی آزمایشی Drop-Sel	۶
۴-۱-مقدمات آزمایشی	۶
۴-۲-ارزیابی عدالت Drop-Sel	۹
۴-۳-ارزیابی QoS سطح- شبکه ای Drop-Sel	۱۲
۴-۳-۱- تاخیر بسته	۱۲
۴-۳-۲- احتمال اتلاف بسته	۱۴
۴-۴-ارزیابی مفهومی Drop-Sel	۱۶
۴-۴-۱- ارزیابی کیفیت E-model	۱۶
۴-۴-۲- ارزیابی مفهومی مبتنی بر ASR	۱۸
۵-نتیجه گیری	۲۱
۶- مراجع	۲۲

فهرست اشکال

Fig. 1 Drop-sel flow diagram	۵
Fig. 2 Dumbbell topology for scenarios S1 and S2	۶
Fig. 3 Complex topology for scenario S3	۸
Fig. 4 Average throughput for victim selection algorithms in S1, for cases CA1, CA2, CA3 and CA4	۹
Fig. 5 Average throughput for victim selection algorithms in scenario S2, for cases CA5, CA6, CA7 and CA8	۱۰
Fig. 6 Average throughput for victim selection algorithms in scenario S2, for AVQ and REM schemes	۱۱
Fig. 7 Average throughput for victim selection algorithms in RED and PUNSI schemes	۱۲
Fig. 8 Cumulative distribution fraction of VoIP packet delay in scenario S1, for the RED scheme	۱۴
Fig. 9 E-MODEL based MOS evaluation of Drop-Front, Drop-Tail, and Drop-Sel under different traffic conditions	۱۷

فهرست جداول

Table 1 VoIP flows specification for dumbbell and complex topologies	۷
Table 2 Workloads of UDP and TCP traffic flows for scenario S1	۷
Table 3 Workloads of UDP and TCP traffic flows for scenario S2	۷
Table 4 Workloads of UDP and TCP traffic flows for scenario S3	۸
Table 5 Average delay in scenario S1 (dumbbell topology)	۱۳
Table 6 VoIP packets loss rates for scenario S2 (dumbbell topology)	۱۵
Table 7 VoIP packets loss rates for scenario S3 (complex topology)	۱۶
Table 8 Word Accuracy rates of VoIP packet by flow for case CA7 in scenario S2	۱۹
Table 9 Correct Sentence rates of VoIP packet by flow for case CA7 in scenario S2	۲۰

۱ - مقدمه

تقریباً در سرتاسر جهان در شرایط کوتاه مدت و میان مدت، پذیرفته شده است که پروتکل IP برای به هم پیوستگی شبکه‌ها، تکنولوژی همگرایی تلقی شود. تمام کاربردها، در محدوده محاسبات وسیع و فراگیر و مولتی مدیا تا محاسبات سنتی تر، به عنوان کاربران IP تلقی می‌شوند. در نتیجه، تکنولوژی همگرایی مبتنی بر IP از انواع خدمات وسیع با مشخصات ترافیکی بسیار متفاوت و احتیاجات کیفی برخوردار است و حمایت می‌کند. اکثر این کاربردها یا مبتنی بر پروتکل TCP هستند که به اتلاف‌های بسته برای اجتناب از ازدحام شبکه پاسخ می‌دهند و یا مبتنی بر پروتکل UDP هستند که ابداً به اتلاف‌های بسته پاسخ نمی‌دهند. این تنوع زیاد جریان‌های ترافیکی که برای منابع شبکه مشابهی رقابت می‌کنند، چالش‌های جالب و مفیدی را به شبکه‌های حامل، تحمیل می‌نمایند.

۱-۱ - مسأله تحقیق

یکی از چالش‌های بحرانی و مهمی که تکنولوژی‌های مبتنی بر IP با آن روبرو هستند، مسئله پیشگیری از ازدحام شبکه است. برای رویارویی با این مشکل، تعدادی الگوریتم توصیف شده‌اند که اکثر آنها بر رویکرد مدیریت صف RED (تشخیص تصادفی زود) تکیه دارند. دروازه‌های RED هر بسته ورودی را با یک احتمال معین drop یا mark می‌کنند، که در آن احتمال دقیق، تابعی از متوسط اندازه صف است.

۱-۱ - اهداف تحقیق

بطور کلی، الگوهای AQM با حذف یا علامت زدن بسته‌ها در صف خروجی در روتر مشخص شده، از ازدحام پیشگیری می‌کنند. به هر حال، این الگوها به نوعی به اطلاعات نوع ترافیک بسته‌ها در صف خروجی توجهی نمی‌کنند. مقاله حاضر، رویکرد جدیدی را پیشنهاد می‌کند تا در الگوهای AQM بکار برده شود که نوع ترافیک را در انتخاب بسته برای حذف شدن، لحاظ می‌کند. ما فرض می‌کنیم که صف AQM خروجی هم برای ترافیک واکنشی و هم برای ترافیک غیر واکنشی استفاده می‌شود. همانطور که در زیر توضیح می‌دهیم، الگوی توصیف شده، ترافیک شبکه را در صف مشاهده می‌کند و بطور مطابق با آن، بسته را انتخاب می‌کند تا از کلاس ترافیک دارای بالاترین مصرف حافظه روتر حذف نماید.

الگوریتم‌های طراحی شده، با ابزار و مفاهیم شبیه‌سازی‌های شبکه‌ای در سناریوهای مختلف با میزان ترکیب ترافیکی TCP و UDP مختلف، ارزیابی شده‌اند.

برای ترافیک VoIP، ما کارایی را از لحاظ QoS (کیفیت سرویس) و QoE (کیفیت تجربه یا آزمایش) ارزیابی می‌کنیم. متریک کارایی دومی با این تصور ارزیابی می‌شود که انحصاراً، QoS فوق‌العاده سطح پایینی را ایجاد می‌کند که در صورتی که با رضایت مندی کاربر انتهایی (سطح بالا) همبستگی نداشته باشد، بی‌فایده است. عیناً، ما اثر این الگوی پیشنهادی را برای ترافیک VoIP در مقیاس MOS گزارش می‌کنیم. برای تکمیل ارزیابی، در برخی از آزمایشات ارائه شده، ما QoE را از لحاظ قابلیت فهم، برآورد می‌نماییم. برای این منظور، ما امتیازات یک تشخیص دهنده سخنگوی اتوماتیک واقع شده در فرضیات دریافت کننده را نیز فراهم می‌نماییم.

ارزیابی آزمایشی یا تجربی نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی بطور معناداری، اعتدال میان کلاسهای ترافیکی مشخص را بدون نیاز به هیچ جدول زمان بندی کننده ی بسته بهبود می بخشد. بعلاوه، کارایی ترافیک VoIP را از لحاظ احتمال حذف بسته، MOS و قابلیت فهم بدون تاوان (جریمه) ترافیک واکنشی نیز بهبود می بخشد.

باقیمانده این مقاله بصورت زیر ساختار بندی می شود:

بخش ۲: مرور مختصری بر مناسب ترین رویکردهای AQM دارد.

بخش ۳: الگوریتم حذف بسته انتخابی پیشنهاد شده را تشریح می کند

در راستای شبیه سازی های انجام شده، بخش ۴: کارایی این رویکرد پیشنهادی را ارزیابی می کند.

ما ارزیابی VoIP QoS سطح – کاربر (امتیازات MOS) ومعیارهای QoS سطح – شبکه (از لحاظ اعتدال، تاخیر بسته و احتمال اتلاف) را فراهم می آوریم. در این بخش، تست قابلیت فهم بر اساس امتیازات ASR (تشخیص سخنگوی اتوماتیک) را برای مقایسه با سیستم مرجع انجام می دهیم.

در نهایت، در بخش ۵ نتیجه گیری های مهم را ارائه می کنیم.

۲- مرور مختصری بر مناسب ترین رویکردهای AQM

مدیریت فعال صف (AQM). کلاسی از الگوریتم های صف بندی بسته است که برای پیشگیری از ازدحام شبکه به کار می رود. AQM برای پاسخ به شرایط ازدحام از رویکرد احتمالات استفاده می کند. کارهای گذشته مربوط به دروازه های (روش های) اجتناب از ازدحام مثل ERD (حذف تصادفی جدید) و الگوهای DECBIT بر مقاله ی اصلی و ابتدایی الگوریتم RED (تشخیص تصادفی زود) مقدم می باشد. دروازه های RED هر بسته ورودی را با احتمال معینی drop یا mark می کنند که در نتیجه، احتمال دقیق، تابع افزایشی یکنواختی از متوسط اندازه صف می باشد. معایب اصلی این الگو این است که تحت برخی شرایط، RED می تواند به کندی واکنش نشان دهد و اثربخشی آن شدیداً به تنظیم پارامترهای بستگی دارد. رویکردهای تطبیقی برای غلبه بر این مشکلات پیشنهاد شده اند که عبارتند از:

ARED : Adaptive RED یا RED تطبیقی

PD-RED : Proportional-Differential RED یا RED افتراقی – متناسب (تناسبی)

ARED احتمال حذف RED را مطابق با بار ترافیک شبکه، افزایش یا کاهش می دهد تا متوسط اشغال صف را درون یک محدوده ی عینی (هدف) حفظ نماید. PD-RED از یک کنترل کننده ی افتراقی – تناسبی استفاده می کند تا احتمال حذف را مطابق با میانگین خطا و سائزهای صف هدف تنظیم نماید. با این وجود، چون این روش ها تنها اشغال صف را لحاظ می کنند، استفاده از ظرفیت لینک خروجی را به حداکثر نمی رسانند.

علی رغم رویکردهای مبتنی بر RED، برخی از سیستم های جدیدتری هستند که احتمال حذف را تابعی از طول صف محاسبه می کنند، مثل کنترل کننده ی AQM فازی اتونومیک (خود مختار) و سریع. این الگو یک الگوریتم منطق فازی قوی و یک مکانیزم خود-پیکربندی کننده ای را برای کاهش اشغال صف و بطور مطابق برای کاهش تاخیر آنها – به-انتهای بسته ها، در خود می گنجاند. دو الگوی دیگری که با کنترل ترافیک ورودی (وارد شونده) یا نرخ اتلاف، ازدحام را تشخیص می دهند عبارتند از:

Adaptive Virtual Queue : AVQ یا صف مجازی تطبیقی

.GREEN

عملیات AVQ مبتنی بر یک صف مجازی است که ظرفیت آن به نرخ بسته های ورودی بستگی دارد و همچنین GREEN نیز میزان اعلام ازدحام را بر اساس برآورد نرخ ورودی و میانگین ظرفیت خروجی، تنظیم می کند. رویکردهای AQM دیگر، احتمال حذف بسته را به عنوان تابعی از نه تنها اندازه صف، بلکه نرخ ترافیک ورودی یا واحدهای نسبت اتلاف محاسبه می کنند. مثلاً (Random Exponential Marking) REM [10] علامت گذاری نمایی (توانی) تصادفی و RaQ [11].

سیستم REM برای تنظیم طول صف از احتمال نمایی (توانی) استفاده می کند. و از یک تابع قیمتی استفاده می کند که بصورت تابعی از اندازه صف و نرخ بسته ورودی محاسبه می شود. آن، نرخ ورودی را با ظرفیت لینک تثبیت می نماید و لذا در نتیجه اندازه صف کاهش می یابد. RaQ نیز با استفاده از مفاهیم تئوری کنترل، طول صف را تثبیت می کند و اساساً از یک سیستم کنترل فیدبک دو حلقه ای استفاده می کند تا نرخ تناسبی را بکاربرد و طول صف انتگرال - تناسبی را کنترل نماید.

بطور کلی، الگوهای AQM از پیش تعیین شده، رفتار واکنشی منابع ترافیکی دخیل را لحاظ نمی کنند. اگر جریانات واکنشی و غیر واکنشی (مثل مبداهای UDP و TCP) در یک صف واحد ترکیب شوند، الگوهای AQM مذکور پاسخ به ازدحام را تشخیص نمی دهند (صرف نظر از ماهیت واکنشی ترافیک مشمول). انتظار می رود که این مسئله در صورتی کاهش یابد که الگوریتم، کلاسهای ترافیکی گوناگونی را لحاظ نماید. مطابق با این ایده، الگوریتم های دارای پیچیدگی کم که از اساس اطلاعات در هر جریان-حالت استفاده می کنند، پیشنهاد شده اند. برای مثال FRED (حذف اولیه تصادفی جریان) و AFD حذف متعادل تقریبی (تقریباً معتدل).

بعلاوه روش D-CBT (آستانه های مبتنی بر کلاس دینامیک) با استفاده از طبقه بندی جریان و اعمال سیاستهای مشخص مطابق با کلاس جریان معین، از ازدحام پیشگیری می کنند. بعلاوه، الگوریتم هایی هستند که خود انحصاری (انحصار طلبی) پهنای باند را بدون در نظر گرفتن اطلاعات در هر جریان-حالت، حل می کنند که عبارتند از:

Core-Stateless Fair Queuing : CSFQ یا صف بندی متعادل بدون حالت - هسته [15].

Rainbow Fair Queuing : RFQ یا صف بندی متعادل رنگین کمان [16].

هر دوی آنها سطح بالای اعتدال را به وجود می آورند، ولی نیازمند همکاری روترهای هسته و لبه ای (edge) هستند. تاکنون، روترهای لبه ای، هر بسته را با اطلاعاتی نامگذاری (برچسب گذاری) می کردند که در روترهای هسته برای محاسبه احتمال حذف استفاده می شد. علی رغم اینکه هر دو، اعتدال سطح جریان را پدید می آورند ولی نمی توانند احتیاجات بلادرنگ برخی از جریانات را برآورده نمایند (همانطور که از جریانات VoIP تعاملی تقاضا می شود). برای غلبه بر این مشکل، الگوریتم تشخیص Jitter ([17], JD) بسته ها را به دو کلاس (طبقه) تقسیم می کند یعنی TCP و UDP.

در کلاس TCP از الگوریتم RED استفاده می شود و کلاس UDP تحت الگوی JD مدیریت می شود. الگوی دومی، احتمال حذف UDP را بصورت تابع یکنواخت نمایی (توانی) تاخیر بسته محاسبه می کند. الگوی RED-Worcester [18] از

یکنواخت نمایی مقادیر آنی (لحظه ای) تاخیرهای اشاره شده برای تنظیم احتمال حذف استفاده می نماید. بدین ترتیب، میانگین اشغال صف را با محدوده هدف تطبیق می دهد و احتیاجات هر بسته را لحاظ می نماید. پس، یک اصطلاح جدیدی برای CHOKe (انتخاب و حفظ جریانات واکنشی، انتخاب و از بین بردن جریانات غیرواکنشی [19]) به نام PUNSI پیشنهاد شده است [20]. PUNSI احتمال حذف بسته های TCP را مشابه با RED محاسبه می کند و از سیاستهای اضافی، هنگامی استفاده می کند که بسته ورودی به یک جریان UDP تعلق داشته باشد. با وجود این اصلاح و رفتار متفاوت شده، سیاست به کار رفته برای سودبری جریانات TCP، شدیداً جریانات UDP را وادار به تحمل خسارت و جبران می نماید.

۳- الگوریتم انتخاب قربانی Drop-Sel

هر وقت که یک الگوی AQM تعیین کند که یک بسته باید علامت زده شود یا حذف شود، برای انتخاب بسته جهت علامت گذاری یا حذف، الگوریتم انتخاب قربانی اجرا می شود. به منظور سادگی، در این کار ما فرض می کنیم که سیاست اتخاذ شده برای بسته ها، بجای علامت گذاری، drop یا حذف باشد.

الگوریتم های انتخاب، به سادگی انتخاب آخرین، اولین بسته یا یک بسته تصادفی از صف می باشد. آن الگوریتمها، از این به بعد به ترتیب Drop - Tail، Drop - Front، و Drop - Random (حذف از انتهای صف)، (حذف از ابتدای صف) و (حذف تصادفی) نام گذاری می شوند. اکثر الگوهای AQM از این نوع مکانیزم ها برای انتخاب بسته ای که باید حذف شود، استفاده می کنند. به هر حال، این تصمیم گیری ممکن است به یک رفتار ترافیکی غیر عادلانه منتهی شود که نرخ اتلاف غیر متعادلی را پدید می آورد و احتمالاً، ممکن است منابع شبکه را کمتر از حد مصرف نماید.

به علاوه، موضوع مهم دیگر مربوط به جریانات VoIP، میانگین تاخیر صف بندی بسته می باشد. اگر تاخیر انتها به انتهای یک بسته VoIP بزرگتر از ۳۰۰ ms باشد، اتلاف تلقی می گردد. به علاوه، کیفیت یک جریان VoIP شدیداً به میانگین تاخیر بسته بستگی دارد [21] و لذا به حداقل رساندن آن مهم است. در این رابطه، تحقیقات قبلی نشان داده اند که الگوی Drop-Front در کاهش میانگین تاخیر صف بندی بهتر عمل می کند [22,23]. علی رغم این مزیت، الگوی انتخاب، بین جریانات تبعیض قائل نمی شود و در نتیجه، کلاسی از ترافیک ممکن است شانس بالاتری برای انتخاب شدن داشته باشد و مجبور شود که سهم تعادلی پهنای باندش کمتر باشد. یک الگوریتم انتخاب قربانی موثرتر در صورتی می تواند انتظار رود، که انتخاب با توجه به کلاس ترافیکی که بسته به آن تعلق دارد، صورت بگیرد. در این راستا، کارآیی بهتر برای تمام کلاس های ترافیکی مشمول، امیدواریم که بتواند بدون نیاز به استفاده از هر جدول زمانبندی اضافی بدست آید.

ما یک الگوریتم انتخاب قربانی را که از این به بعد Drop-Sel نام دارد، پیشنهاد می کنیم. هدف ما، بهبود اعتدال (عدالت) و در صورت امکان، بکارگیری شبکه بهتر سرتاسری است.

Drop-Sel از زمان بند (جدول زمان بندی کننده) یک بسته که از صف های خروجی متعددی با استفاده از همان صف واحد برای هر نوع ترافیکی استفاده می کند، اجتناب می نماید. هدف اصلی ما وراء Drop-Sel، ارائه سرویس عادلانه برای منابع واکنشی و غیر واکنشی است تا در هر زمان ممکن، QoS و QoE کاربردهای VoIP را بهبود بخشد.

مسلماً چون جریان های بسته با بالاترین بارکاری، شرکت کنندگان اصلی واقعه ازدحام هستند، الگوی ما به سادگی بسته های متعلق به چنین کلاس ترافیکی ایی را شناسایی می نماید و آنها را برای محافظت از جریانات دیگر جدا می کند.

بنابراین این الگوریتم، منابع دارای بالاترین اشغال صف را با تعیین آنها با یک احتمال بالاتری از حذف شدن، جریمه می نماید. در نتیجه، رفتار متفاوتی برای هر بسته براساس کلاس ترافیکی اش انجام می شود.

در این کار، مشابه با [14]، ما سه کلاس ترافیک را در نظر می گیریم :

۱- کلاس بلادرنگ UDP غیرواکنشی تعاملی (جریانات VoIP)

۲- جریانات UDP غیر بلادرنگ دیگر

۳- کلاس TCP

برای ارائه یک سرویس (خدمات) ارسالی متعادل، Drop-Sel برای هر کلاس ترافیکی، شمارش بسته های به صف درآمده خاص در بایت ها (byte) را حفظ می کند. Drop-Sel، نزدیکترین بسته به جلوی صف را از کلاس ترافیکی دارای بالاترین شمارش بر می گزیند. لذا، وقتی بسته ای وارد صف می شود، بصورت (VoIP) بلادرنگ، (O-UDP) UDP های دیگر، یا (TCP) elastic، طبقه بندی می کند و شمارنده بطور مطابق با آنها آپدیت (به روز) می شود. معمولاً، بسته با احتمالی که به نظم AQM بستگی دارد، به صف در می آید و یا حذف می شود (خارج می شود). اگر الگوریتم AQM تصمیم به حذف بسته بگیرد، الگوریتم انتخاب قربانی اجرا می شود. برای این کار، شمارنده های VoIP، O-UDP و TCP جهت تعیین کلاسی با بالاترین اشغال صف، مقایسه می گردند. سپس، الگوریتم به دنبال بسته ای در درون کلاس منتخب می گردد که نزدیکترین بسته به جلوی صف است و آن را drop می کند. در شکل ۱، روند Drop-Sel در یک فلوچارت ساده خلاصه شده است.

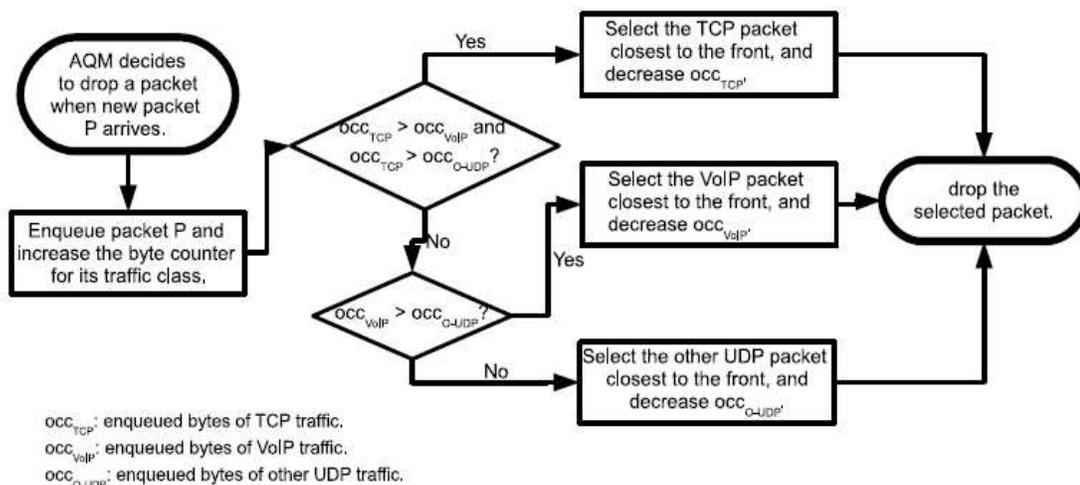


Fig. 1 Drop-sel flow diagram

Drop-Sel ترجیحاً بسته هایی را از کلاس های ترافیکی دارای پایین ترین مصرف فضای حافظه در صف در طی دوره های ازدحام می پذیرد. نتیجتاً، همانطور که نشان داده می شود، الگوریتم، شانس بهتری را برای کلاسهای ترافیکی ای که منابع کمتری را مصرف می کنند، بوجود می آورد.

مزایای Drop-Sel به طور خاص عبارتند از :

۱- آن، تنها اشغال صف آنی را در یک رویکرد مبتنی بر هر-کلاس، به جای رویکرد مبتنی بر هر-جریان لحاظ می کند. در این رابطه، Drop-Sel مقیاس پذیر (قابل قیاس) است.

۲- برای کلاس های ترافیکی مشخص، از یک صف واحد استفاده می کند. لذا برای ایجاد اعتدال، نیازی به زمان بند (scheduler) ندارد. بعلاوه، حتی اگر برخی کلاس ها نیاز به استفاده از سهم عادلانه منابع شبکه هایشان نباشد (حافظه و پهنای باند)، Drop-Sel بطور عادلانه ای منابع اضافی استفاده نشده ای را به کلاس های ترافیکی دیگر می دهد.

۳- منابع نیازی به درج اطلاعات سیگنالی اضافی در هدرهای (headers) بسته ندارند.

۴- ارزیابی آزمایشی Drop-Sel

برای مقایسه کارایی الگوریتم های انتخاب قربانی توصیف شده در بخش ۳، برخی از شبیه سازی ها با شبیه ساز ns-2 انجام شدند [24]. مجموعه ای از الگوهای AQM منتخب تحت انواع توپولوژی های شبکه، منابع ترافیکی و نیز سطوح ازدحام مختلف ارزیابی شدند.

برای ارزیابی مناسب مزایای حاصل از الگوی پیشنهادی برای جریانهای VoIP، در این نوع ترافیک ما هم پارامترهای QoS سطح-شبکه (نرخ اتلاف و متوسط تاخیر بسته) و هم امتیازات مفهومی QoS سطح-کاربر را اندازه گیری کردیم.

۴-۱- مقدمات آزمایشی

برای انجام یک ارزیابی تجربی یا آزمایشی جامع، ما کل سه سناریو را شبیه سازی کرده ایم. هر سناریو (یعنی S1 و S2 و S3) از نظر توپولوژی اتخاذ شده و بار ترافیکی اعمال شده به هر کلاس ترافیکی، با سناریوی دیگر فرق دارد.

برای سناریوهای S1 و S2 ما توپولوژی دمبل (single bottleneck dumbbell) خیلی باریک واحدی را (شکل ۲) ملاحظه می کنیم. در این الگو، تعدادی از جریانهای TCP و VoIP و UDP بدون صدای دیگر برای منابع مشترک روتر AQM (R0) رقابت می کنند. برخی از منابع FTP، سگمنت های TCP با طول برابر ۱۵۰۰ بایت را تولید می کنند، و منابع VoIP بسته های RTP [25] را تولید می کنند (محفوظ شده از طریق دیتاگرام های UDP) که از صدای کدگذاری شده G.711 حمایت می نماید [26]. سایز دیتاگرام های UDP بدون-صدا (غیرصدایی) نیز معادل ۱۵۰۰ بایت است.

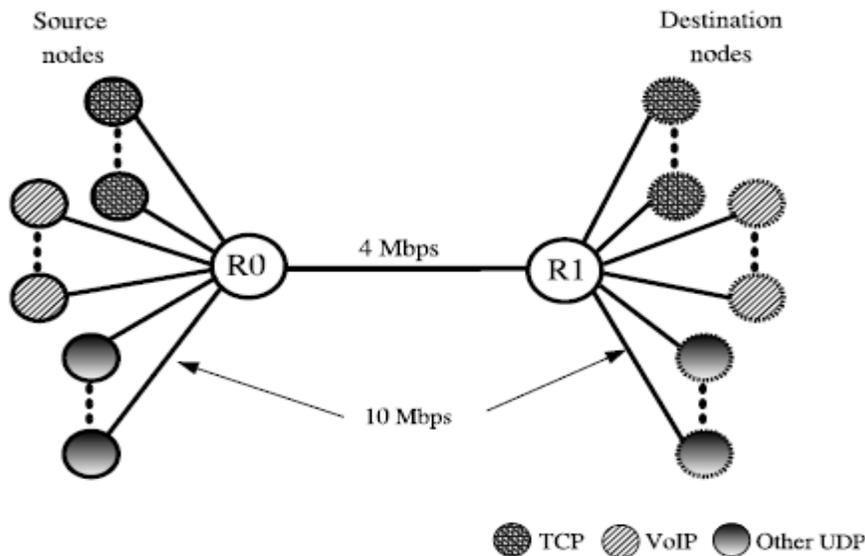


Fig. 2 Dumbbell topology for scenarios S1 and S2

جریانات VoIP شبیه سازی شده با استفاده از سه کاربرد VoIP (A , B , C) با دوره های میان-بسته ای و سایزهای بسته ای مختلف (جدول ۱) تولید می شوند. برای بررسی اثر تاخیر انتها-به-انتها، در سناریوی S1 ، همه کاربردهای VoIP، تاخیر انتها-به-انتها برابری دارند (۳۹ ms)؛ درحالی که در سناریوی S2، تاخیرهای انتها-به-انتها در محدوده ۳۹ تا ۲۶۹ ms قرار دارند.

Table 1 VoIP flows specification for dumbbell and complex topologies

Application	Interpacket period	Packet size
A	10 ms	92 bytes
B	30 ms	252 bytes
C	60 ms	492 bytes

در سناریوی S1، روتر R0 با ۴ بار کاری متفاوت خلاصه شده در جدول ۲، یعنی (موارد CA1 و CA2 و CA3 و CA4) تحت فشار قرار می گیرد. برای سناریوی S2، که در آن تاخیرهای مختلفی بررسی می شوند، ما چهار مورد اضافی را شبیه سازی می کنیم (تحت عنوان CA5 و CA6 و CA7 و CA8 در جدول ۳). در هر دو سناریوی S1 و S2 ، R0 دارای یک الگوی Drop-Tail RED AQM فرض می شود.

Table 2 Workloads of UDP and TCP traffic flows for scenario S1

Case	VoIP	O-UDP	Total UDP	TCP
CA1	25%	50%	75%	25%
CA2	50%	25%	75%	25%
CA3	25%	25%	50%	50%
CA4	12%	12%	24%	76%

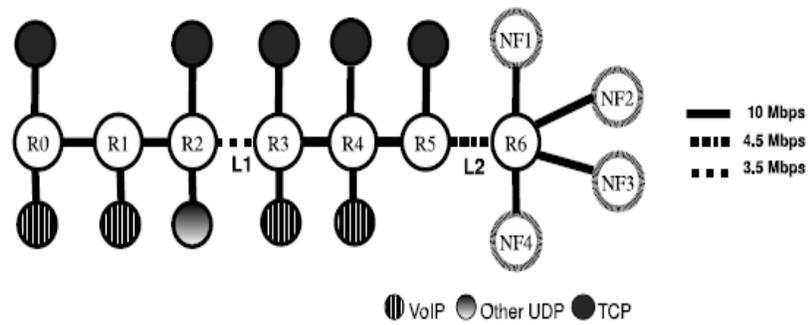
Table 3 Workloads of UDP and TCP traffic flows for scenario S2

Case	VoIP	O-UDP	Total UDP	TCP
CA5	47%	36%	83%	17%
CA6	54%	19%	73%	27%
CA7	13%	52%	65%	35%
CA8	29%	6%	35%	65%

در آزمایشات سناریوی S1، تمام منابع ترافیکی در لحظه صفر ثانیه شروع می شوند و تا پایان یافتن شبیه سازی یعنی ۵۰۰ ثانیه (5MS) فعال می مانند. بالعکس، در S2، تمام منابع با استفاده از الگوهای ترافیکی ON/OFF مدلسازی می شوند. دوره ON برای کاربرد VoIP، ۱۸۰ ثانیه طول می کشد، در حالیکه دوره OFF، ۱۰۰ ثانیه طول می کشد [27]. ترافیک FTP، از یک توزیع Pareto دارای پارامتر shape $K=1.4$ ، یک دوره میانگین ON برابر با ۲ ثانیه و دوره OFF پیروی می کند که

یک توزیع نمایی دارای مدت میانگین ۱ ثانیه را دنبال می نماید [28]. در نهایت، برای کاربردهای UDP دیگر، دوره ON، ۳۰۰ ثانیه و OFF، ۲۰۰ ثانیه طول می کشد. هر ژنراتور (مولد) ترافیکی، شروع به ارسال بسته های دارای یک احتمال تصادفی یکنواخت در طی اولین ۱۵ ثانیه شبیه سازی می نماید. بدین ترتیب، با فرض اینکه جریانهای متفاوت هماهنگ (همزمان) نمی شوند، برخی از دوره های ازدحام بطور تصادفی تولید می شوند. برای تکمیل ارزیابی، ما سناریوی سوم (S3) را تعریف می کنیم، بطوریکه در آن ما به توپولوژی واقع گرایانه تری با لینک های متعددی می پردازیم. توپولوژی شبیه سازی شده (شکل ۳)، متشکل از مجموع ۷ روتر (تحت عنوان R0 تا R6) و ۴ نود sink (تحت عنوان NF1 تا NF4) می باشد. پهنای باند لینک ها، همگی 10Mbps تعیین می شوند، به استثناء لینک های R2-R3 و R5-R6 که باعث ایجاد ازدحام شبکه در نودهای AQM (R2, R5) می شوند. پهنای باند لینک R2-R3 به 3.5 Mbps محدود می شود و پهنای باند لینک R5-R6 برابر با 4.5 Mbps می باشد. بنابراین، R2-R3 و R5-R6 لینکهای بسیار باریک ("bottleneck") هستند (در شکل ۳). چون لینکهای باقیمانده ظرفیت غلبه بر ترافیک بوجود آمده را دارند، هیچ تاخیر صف بندی اضافه ای وارد نمی شود.

Fig. 3 Complex topology for scenario S3



یک مجموعه از منابع TCP و UDP نیز برای این توپولوژی مرتب می شوند. به ویژه، برای S3، ما بارهای کاری خلاصه شده در جدول ۴ را اتخاذ می کنیم. کاربردهای VoIP و FTP و UDP دیگر بصورت منابع ترافیکی ON/OFF مدل سازی می شوند (مثل سناریوی S2) تعدادی منبع مطابق با توزیع نسبی آنالیز شده در [29] تعیین می شود.

Table 4 Workloads of UDP and TCP traffic flows for scenario S3

Case	VoIP	O-UDP	Total UDP	TCP
CA9	12%	39%	51%	49%
CA10	12%	21%	33%	67%

جریانهای شبیه سازی شده، از منابع متصل به یک روتر، به منبعی از نودهای سینک می روند و به طور خاص تر، از روتر R0 به NF1، از R5، R2، R1 به NF2، از R3 به NF3 و از R4 به NF4 می روند.

۲-۴- ارزیابی عدالت Drop-Sel

در این بخش، ما اثر گنجاندن روش انتخاب قربانی Drop-Sel را در RED، AVQ، REM را ارزیابی کرده و بحث می‌نماییم. به ویژه، ما اثر آن را بر میانگین گذردهی کلاس‌های ترافیکی در نظر گرفته شده (TCP، VoIP و دیگر UDP رقابتی) تحت شرایط بارکاری مختلف می‌آزماییم. به عنوان نتیجه اصلی، ما پیش‌بینی می‌کنیم که Drop-Sel، اعتدال کلی بین کلاس‌های ترافیک را حتی زمانی که بار ترافیکی تقریباً بوسیله منابع غیر واکنشی (UDP، VoIP) بدون جریمه کردن منابع واکنشی TCP تولید می‌شود، بهبود می‌بخشد.

در ابتدا، ما در شکل ۴ میانگین گذردهی خروجی و ورودی را برای هر یک از الگوریتم‌های انتخاب قربانی شبیه‌سازی شده در R0، برای الگوی RED و سناریوی S1 (موارد CA1 و CA2 و CA3 و CA4 جدول ۲) نشان می‌دهیم. ما می‌توانیم به وضوح مشاهده کنیم که در مورد CA1 (شکل ۴a)، الگوهای Drop-Front و Drop-Tail عادلانه نیستند. بالعکس، Drop-Sel گذردهی خروجی را برای سه کلاس ترافیکی، صرف‌نظر از ماهیت واکنشی منابع رقابتی، برابر می‌نماید. بطور مشابه، برای مورد CA2 در سناریوی S1 (جدول ۲) که در آن جریان‌های O-UDP، TCP و با جریان‌های غالب VoIP رقابت می‌نمایند، ما مشاهده می‌کنیم که Drop-Sel مصرف پهنای باند VoIP را (۳۴٪) با ترافیک TCP (۳۵٪) و ترافیک O-UDP (۳۱٪) (شکل ۴b) برابر می‌سازد. به علاوه، برای موارد CA3 و CA4 (شکل ۴c و ۴d) که در آنها منابع TCP به ترتیب ۵۰٪ و ۷۶٪ از بار ترافیکی را تشکیل می‌دهند، Drop-Sel بطور معناداری منابع TCP را جریمه می‌نماید. می‌توان گفت به خاطر ماهیت واکنشی منابع TCP است که این کار انجام می‌شود. برای منابع TCP، وقتی Drop-Sel یک بسته‌ای را حذف می‌کند، نرخ ارسال با پهنای باند موجود تطبیق می‌یابد. در این روش، وجود (حضور) بسته‌های TCP در صف، بیشتر کاهش می‌یابد و نتیجتاً، Drop-Sel احتمال انتخاب یک بسته TCP را به عنوان قربانی کاهش می‌دهد.

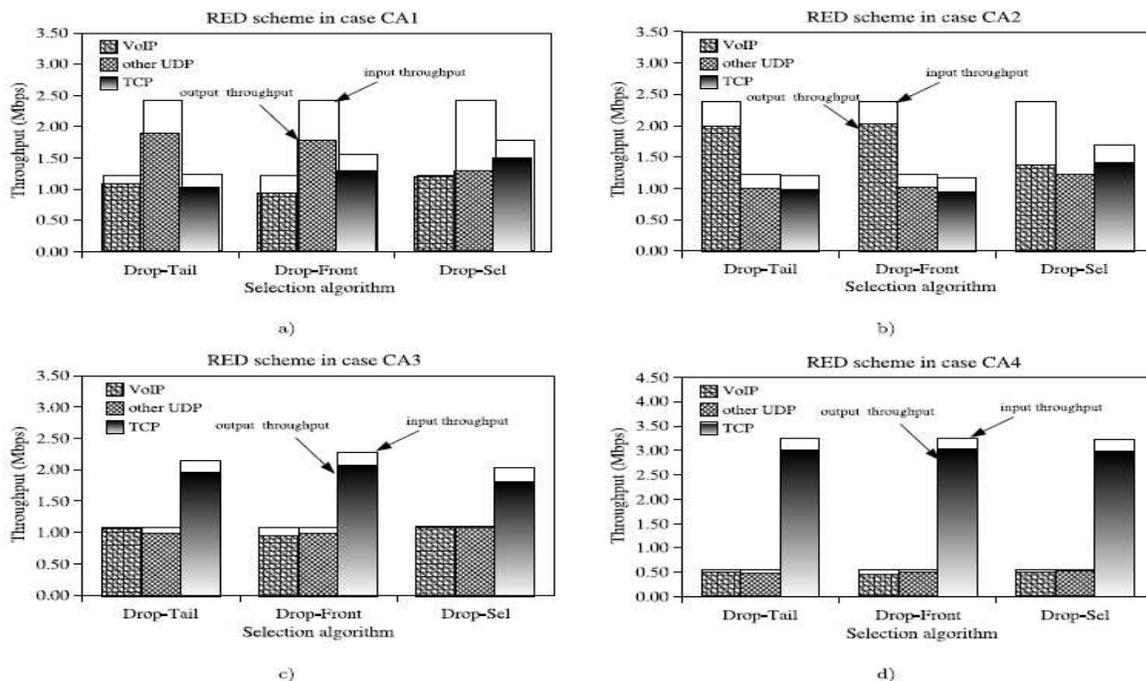


Fig. 4 Average throughput for victim selection algorithms in S1, for cases CA1, CA2, CA3 and CA4

برای سناریوی S2، که در آن یک توپولوژی دمبل (dumbbell) با تاخیرهای انتها-به-انتهای متفاوتی دیده می شود، Drop-Sel نیز اعتدال بین کلاس های ترافیکی را بهبود می بخشد. برای نشان دادن این حالت، ما اثر کارآیی میانگین را در زمان اتخاذ RED بررسی کرده ایم. این نتایج در شکل ۵a و ۵b و ۵c و ۵d ارائه می شود. (موارد CA5 و CA6 و CA7 و CA8 از جدول ۳).

به عنوان اولین نتیجه، می توان دید که گذردهی TCP بدست آمده با Drop-Sel، بالاتر از یا برابر با گذردهی حاصل از الگوهای دیگر (شکل ۵) می باشد. این امر برای موارد CA5، CA6، CA7، CA8 رخ می دهد، چرا که TCP به طور جدی از زمان اشغال اکثریت صف به وسیله بسته های VoIP و UDP جریمه نمی شود. در نتیجه، بسته های TCP غالباً کمتر حذف می شوند و منابع TCP، ازدحام را اعلام نمی کنند و نرخ ارسالشان drop نمی شود. وقتی TCP (مورد CA8) غالب می شود، می توان کنترل کرد که VoIP و O-UDP پهنای باندی را بدست می آورند که بدون آسیب به ترافیک TCP به آن نیاز دارند، چرا که گذردهی شان کمتر از سهم تناسبی آنهاست (شکل ۵d).

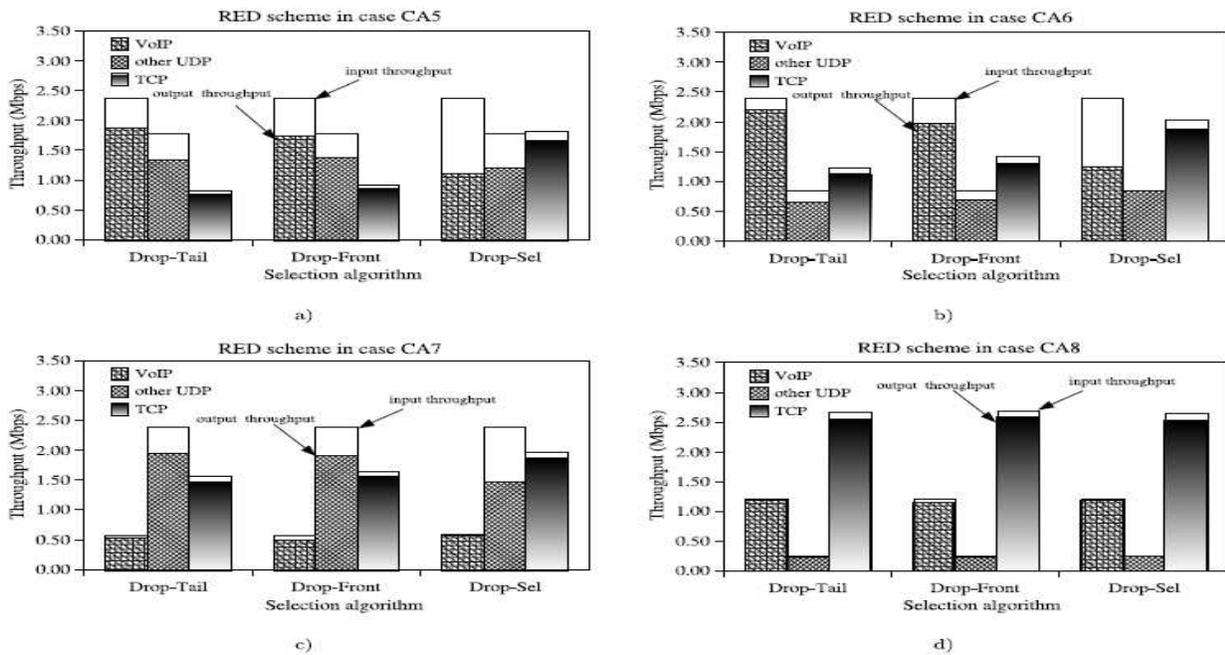


Fig. 5 Average throughput for victim selection algorithms in scenario S2, for cases CA5, CA6, CA7 and CA8

شایان ذکر است که، چون بسته ها با یک الگوی تصادفی تولید می شوند، گذردهی خروجی، توزیع دقیق بین منابع ترافیکی را بدست نمی آورد. با این وجود، شکل ۵ نشان می دهد که Drop-Sel استفاده قابل تساوی تری (برابر شدنی ایی) از پهنای باند را نسبت به Drop-Tail و Drop-Front نتیجه می دهد.

از این نتایج، ما نتیجه گیری می کنیم که با استفاده از Drop-Sel، ترافیک TCP بطور معناداری جریمه نمی شود و ترافیک VoIP و O-UDP به سهم تساوی توان عملیاتی (گذردهی) نزدیک می شوند.

Drop-Sel می تواند اعتدال در الگوهای دیگر AQM را نیز بهتر نماید. برای ایجاد برخی از آگاهی ها، ما مثلاً تاثیر میانگین گذردهی در REM و AVQ را بررسی می کنیم. برای مثال، شکل ۶a با مورد CA6 از سناریوی S2 (جدول ۳) که در آن بار ترافیکی VoIP تولید شده، غالب می شود (۵۴٪)، برابر و متناظر است؛ در حالی که منابع TCP و O-UDP به ترتیب بار

کلی ۲۷٪ و ۱۹٪ را تولید می کنند. در این مورد، وقتی AVQ الگوی Drop-Tail را اتخاذ می کند، ترافیک VoIP تقریباً سهم پهنای باند مضاعفی (double) را در مقایسه با TCP بدست می آورد. به هر حال، Drop-Sel به ترتیب ۴۰٪ و ۳۹٪ از پهنای باند را برای جریانات TCP و VoIP تهیه می کند. در حالی که منابع O-UDP آنچه را که نیاز دارند کسب می کنند (۲۱٪). عیناً، این رفتار قابل تساوی Drop-Sel برای الگوی REM نیز حفظ می شود، به طوری که در شکل ۶a برای مورد CA7 که در آن بار ترافیکی UDP دیگری غلبه می کند، نشان داده شده است.

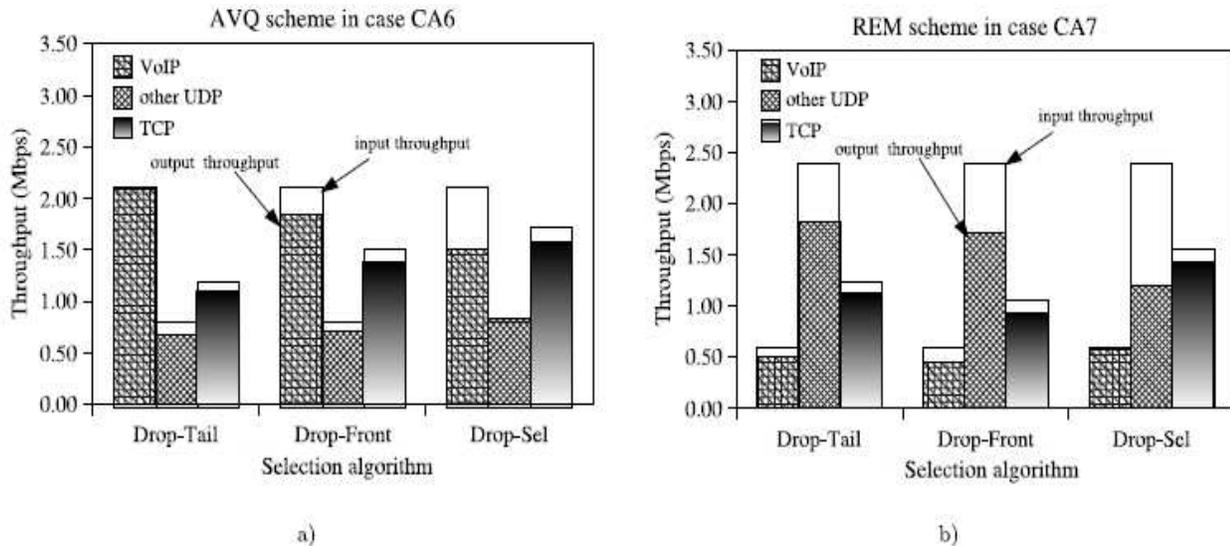


Fig. 6 Average throughput for victim selection algorithms in scenario S2, for AVQ and REM schemes

در پایان، نتایج بدست آمده نشان می دهند که Drop-Sel یک TCP دوستانه است. چرا که اعتدال الگوهای AQM RED , AVQ , REM را زمانی بهتر می کند که منابع ترافیکی مختلف برای همان منابع شبکه بدون اثر قابل توجهی بر روی منابع واکنشی حتی تحت شرایط ترافیکی بی که در آن منابع TCP غالب هستند، رقابت نمایند.

برای پایان دادن به ارزیابی اعتدال Drop-Sel، ما هم اکنون الگوی AQM PUNSI را بررسی می کنیم [20]. PUNSI بطور خاص برای توجه به جریانات غیر واکنشی طراحی گردید. PUNSI مانع از این می شود که جریانات غیر واکنشی، پهنای باند موجود را به انحصار خود درآورند و به منابع واکنشی آسیب برسانند. PUNSI جریانات غیر واکنشی را با احتمال بیشتری از جریانات منابع واکنشی مطابق با قطاری بودن (انفجاری) آنها جریمه می کند.

ما الگوی PUNSI را برای مورد CA2 در سناریوی S1 (جدول ۲) شبیه سازی می نماییم. در این مورد، چون PUNSI تنها دو کلاس مختلف را بررسی می کند، جریانات VoIP , O-UDP در یک کلاس ترافیکی جمع می شوند. در شکل ۷a، ما توان عملیاتی (گذردهی) خروجی و ورودی PUNSI را پلات بندی (ترسیم) می کنیم و برای مقایسه اهداف، نتایج RED را با Drop-Tail , Drop-Sel به تصویر می کشیم. شایان ذکر است که، چون PUNSI فرق بین انواع بسته های UDP را تشخیص نمی دهد، ترافیک O-UDP جریمه می شود. از طرف دیگر، Drop-Sel RED برای منابع O-UDP توان عملیاتی (گذردهی) لازم را با ایجاد توزیع قابل تساوی بی بین TCP و VoIP در همان زمان به وجود می آورد.

برای وضوح (روشنی) بهتر، ما یک سناریوی نهایی را بررسی می کنیم که در آن منابع UDP غیر واکنشی، ۶۶٪ کل بار کاری را تولید می کنند. شکل ۷b نتایج حاصله را نشان می دهد. همانطور که می بینیم، هر وقت ترافیک غیر واکنشی غالب می شود، PUNSI به طور هیجان انگیزی آن را جریمه می کند، در حالی که Drop-Sel RED سهم اعتدالی را فراهم می آورد.

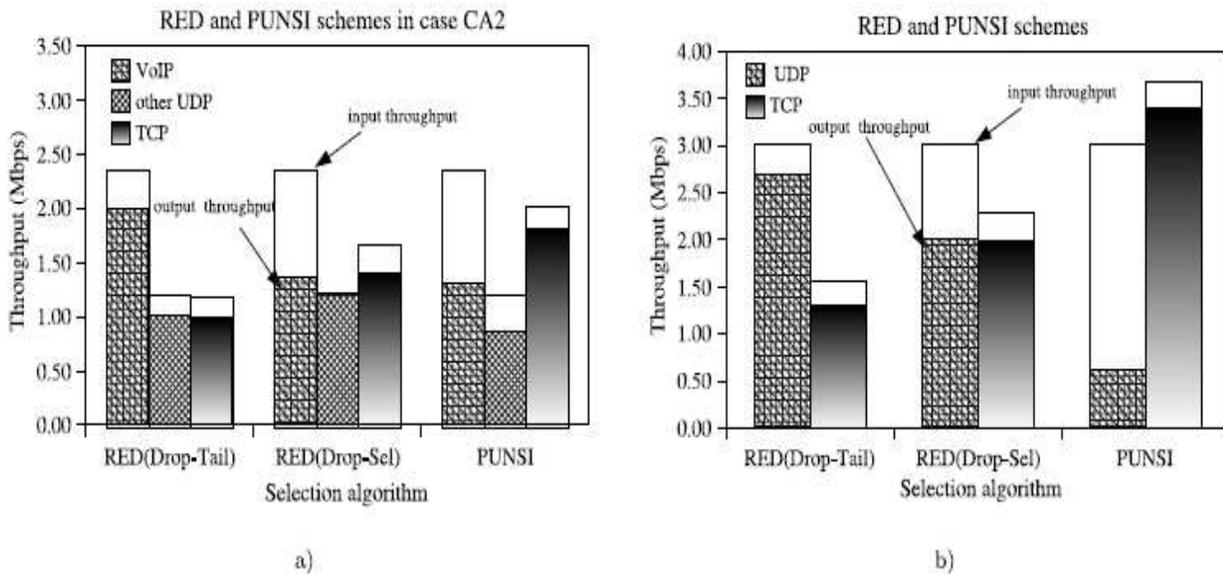


Fig. 7 Average throughput for victim selection algorithms in RED and PUNSI schemes

۳-۴- ارزیابی QoS سطح- شبکه ای Drop-Sel

QoS ایجاد شده در کاربردهای VoIP شدیداً به تاخیر بسته انتها-به-انتها بستگی دارد. برای هر بسته، دینامیک های شبکه، و به طور خاص تر، فواصل زمانی انتظار کشیدن صف روتر، تاثیر عمیقی بر تاخیر انتها-به-انتها دارد.

۳-۴-۱- تاخیر بسته

همانطور که در [22] دیدیم، احتمال اینکه یک بسته طولانی تر از مقدار معین شده در یک سیستم دارای حذف جلویی (front dropping) تاخیر داشته باشد با مقدار معین در یک سیستم با حذف عقبی، برابر بوده و یا کمتر است. بنابراین، Drop-Sel نزدیک ترین بسته (برای کلاس ترافیکی منتخب) به جلوی صف را حذف می کند. بدین ترتیب، بسته حذف شده، یک شکاف خالی، یک تغییر صف، و نتیجتاً یک کاهش زمان انتظار صف را برای تمام بسته های پشت سرش ایجاد می کند. بنابراین، حذف جلویی منجر به کاهش تاخیر انتها-به-انتها می شود؛ آنچه که به ویژه برای ترافیک VoIP معنادار است، این است که آن تعداد بسته های بی فایده (بدون استفاده) در رسیور یا گیرنده را کاهش می دهد. به علاوه، می توان گفت که برای منابع واکنشی، حذف جلویی، تشخیص ازدحام و ضمناً واکنش آن را شدت می بخشد.

شکل ۸ تابع توزیع تجمعی (CDF) تاخیر انتها-به-انتها بسته را برای هر یک از الگوریتم های انتخاب قربانی ملاحظه شده نشان می دهد. در این مورد، ما فرض می کنیم که RED AQM اتخاذ می شود. ۴ بار کاری ترافیکی مختلف لحاظ می شوند: (موارد CA1 , CA2 , CA3 , CA4 از جدول ۲).

در شکل ۸a می توان دید که Drop-Sel تاخیر انتها-به-انتها را در مقایسه با روند های انتخاب قربانی دیگر کاهش می دهد. گرایش مشابهی در موارد CA2 , CA3 , CA4 در شکل های ۸b و ۸c و ۸d دیده می شود. این رفتار می تواند به خاطر کاهش موثر میانگین تاخیر صف (جدول ۵) توسط Drop-Sel و انتخاب کلاس ترافیکی مناسب برای حذف شدن، به طور مستقل از شرایط باری باشد. با وجود اینکه Drop-Front همیشه نزدیکترین بسته به خروجی صف را drop می کند، میانگین تاخیر انتها-به-انتها بالاتری را نسبت به DROP-SEL پدید می آورد. مثلاً در مورد CA3 , CA4 (شکل ۸c و ۸d)، اگرچه بار ترافیکی TCP غالب می شود، ولی Drop-Front به طور بالقوه نرخ حذف ترافیک واکنشی را کاهش می دهد تا از ازدحام پیشگیری نماید. این حقیقت میزان منابع TCP را بالا می برد و اشغال صف را افزایش می دهد و میانگین تاخیر صف بندی را بالا می برد.

Table 5 Average delay in scenario S1 (dumbbell topology)

Case	Victim selection algorithms								
	Drop-Tail			Drop-Front			Drop-Sel		
	Queuing delay (ms)	End-to-end delay (ms)	End-to-end variance	Queuing delay (ms)	End-to-end delay (ms)	End-to-end variance	Queuing delay (ms)	End-to-end delay (ms)	End-to-end variance
CA1	83	123	22×10^{-3}	68	108	42×10^{-3}	65	105	40×10^{-3}
CA2	84	124	19×10^{-3}	71	111	42×10^{-3}	67	107	48×10^{-3}
CA3	71	110	17×10^{-2}	75	114	34×10^{-3}	55	94	13×10^{-2}
CA4	58	97	25×10^{-2}	73	112	83×10^{-2}	51	91	12×10^{-2}

لذا، ما نتیجه می گیریم که Drop-Sel ، QoS را برای کلاس های ترافیکی VoIP صرف نظر از بار ترافیکی بهبود می بخشد. به علاوه، شکل ۴ نشان می دهد که Drop-Sel توان عملیاتی (گذردهی) منابع رقابتی (واکنشی و غیرواکنشی) دیگر را از بین نمی برد.

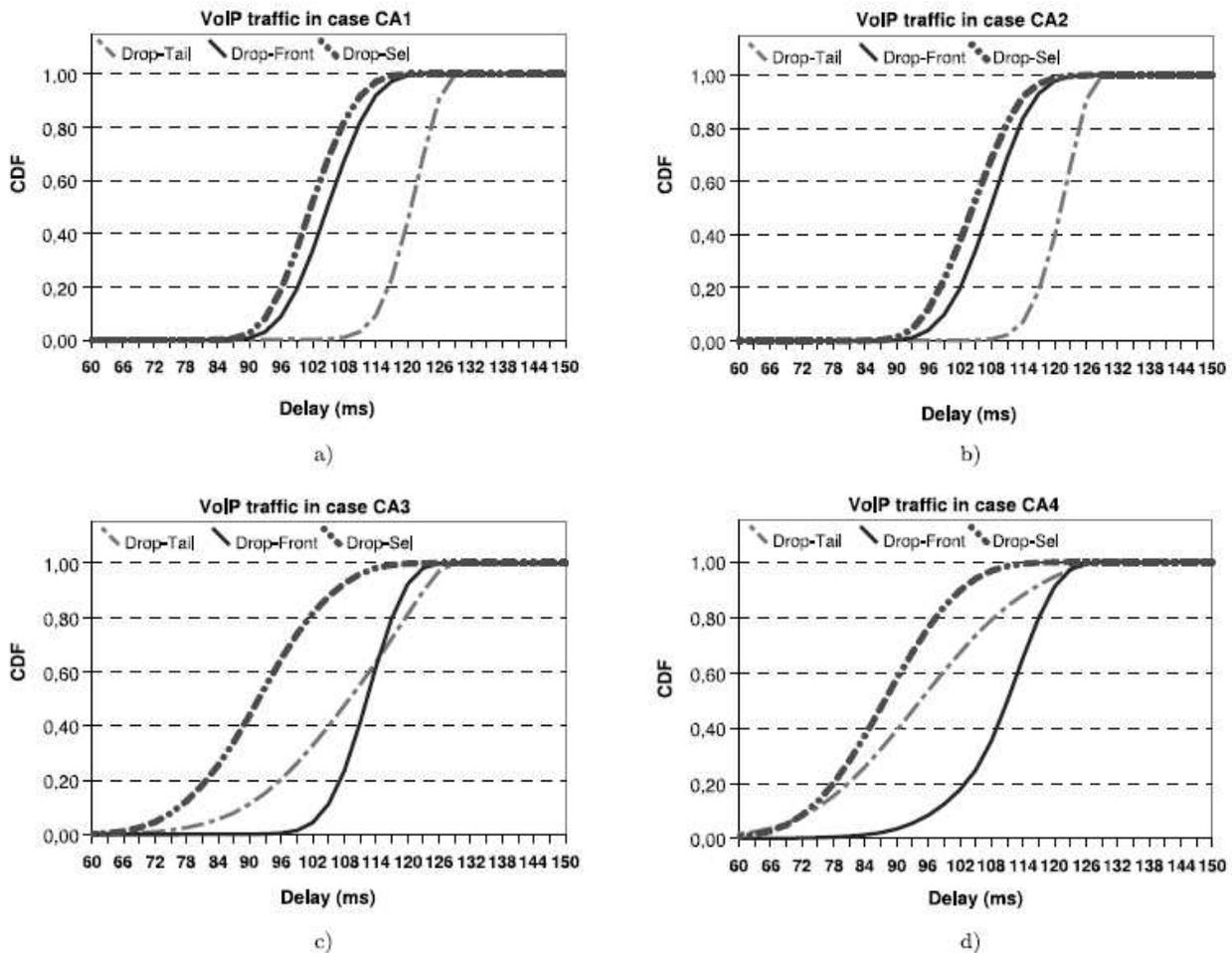


Fig. 8 Cumulative distribution fraction of VoIP packet delay in scenario S1, for the RED scheme

۲-۳-۴- احتمال اتلاف بسته

به طور کلی و به ویژه برای ترافیک VoIP، ارزیابی نرخ اتلاف، به خاطر کیفیت آزمایش شده نهایی که به این پارامتر بستگی دارد، حائز اهمیت می باشد. دو رویداد سبب اتلاف بسته می گردد که عبارتند از:

- ۱- بسته ها در روتر AQM برای اعلام و پیشگیری از ازدحام drop شوند.
- ۲- بسته های بی فایده (بدون استفاده)، (آنهايي که تاخير انتها به انتها بزرگتر از ۳۰۰ ms را انباشته می کنند) نیز در کاربران نهایی drop شوند.

برای نشان دادن اثر روش های انتخاب قربانی بسته AQM بر روی احتمال اتلاف بسته VoIP، جدول ۶ نتایج بدست آمده برای بار کاری ترافیکی مختلف در توپولوژی دمبل نشان می دهد. در این مورد، نتایج برای موارد مختلف سناریوی S2 گزارش می شوند. از لحاظ احتمال اتلاف کلی، RED کمترین تناسب را برای تمام نرخ های ترافیکی VoIP ملاحظه شده دارد. آن کندترین واکنش را به ازدحام دارد. در نتیجه، میانگین زمان به صف در آمدن آن، بالاست و بنابراین، نرخ اتلاف در کاربر نهایی افزایش می یابد. برای مثال، در مورد CA6، میزان بسته های بلا استفاده RED Drop-Tail در کاربر نهایی 14.19%

است. به هر حال، با الگوریتم های AVQ و REM، این مقدار به ترتیب تا 0.12% و 9.05% پایین می آید. به علاوه، نتایج برای موارد CA7 ، CA8 از جدول ۶ نشان می دهد که Drop-Sel مجموع نرخ اتلاف VoIP را در کاربر نهایی کاهش می دهد. این بدین خاطر است که Drop-Sel ، کمترین تاخیر صف بندی را برای این ترافیک به وجود می آورد ، از این رو منابع TCP غالب می شوند و بر این اساس با کاهش اشغال صف، بیشترین جریمه را می پذیرند.

به علاوه، ما می توانیم نتیجه بگیریم که در صورتی که جریانات VoIP بیش از سهم تعادلی شان نگیرند، Drop-Sel میزان drop صف را به حداقل می رساند. در این وضعیت، Drop-Sel کارآیی بالقوه کلاس ترافیکی VoIP را بدون توجه به رویکرد رزرو منابع ضمنی، تضمین می کند. مثلاً در CA7 ، RED Drop-Tail میزان drop صف 8.80% را تولید می کند و Drop-Sel آن را تا 0.00% کاهش می دهد. اگر موارد CA7 ، CA8 برای REM ، AVQ ملاحظه شوند، عجیب است که دوباره روش Drop-Sel منجر به بهبود هم میزان drop در روتر AQM و هم در بسته های بلا استفاده در کاربر نهایی می شوند.

از طرف دیگر، اگر منابع VoIP بر بار ترافیکی غالب شوند، Drop-Sel شدیداً آنها را جریمه می کند و این به خاطر خاصیت اعتدال دوستانه ی TCP Drop-Sel است. ما اکنون باید پیامدهای این گرایش را برای ترافیک VoIP ببینیم. برای نمونه، در مورد CA6، نرخ حذف Drop-Tail RED برابر با 7.88% است در حالی که Drop-Sel آن را تا 48.17% بالا می آورد.

Table 6 VoIP packets loss rates for scenario S2 (dumbbell topology)

Case		AQM Schemes								
		RED DropTail	RED DropFront	RED DropSel	AVQ DropTail	AVQ DropFront	AVQ DropSel	REM DropTail	REM DropFront	REM DropSel
CA5	R0 queue (%)	21.03	23.79	54.01	2.36	24.19	29.37	5.23	26.45	53.21
	final user (%)	11.94	7.13	4.33	0.07	0.40	0.57	7.91	5.88	3.90
	Total	32.97	30.92	58.34	2.43	24.59	29.94	13.14	32.33	57.11
CA6	R0 queue (%)	7.88	11.59	48.17	1.26	16.57	38.94	3.17	16.98	47.82
	final user (%)	14.19	13.29	5.60	0.12	0.19	0.69	9.05	11.99	5.26
	Total	22.07	24.88	53.77	1.38	16.76	39.63	12.22	28.97	53.08
CA7	R0 queue (%)	8.80	16.14	0.00	0.35	15.51	0.00	2.22	13.64	0.74
	final user (%)	11.84	11.78	4.24	0.43	0.39	0.00	8.71	6.23	1.41
	Total	20.64	27.92	4.24	0.78	15.90	0.00	10.93	19.87	2.15
CA8	R0 queue (%)	1.21	4.31	0.26	0.18	5.80	0.02	0.72	5.56	0.28
	final user (%)	5.63	11.29	3.23	0.12	0.07	0.10	4.04	8.19	2.89
	Total	6.84	15.60	3.49	0.30	5.87	0.12	4.76	13.75	3.17

جدول ۷ نتایج حاصله را زمانی که سناریوی پیچیده S3 با لینک های خیلی باریک (bottleneck) متعددی لحاظ می شود را نشان می دهد. همانطور که دیدیم، تاثیر روشهای انتخاب قربانی بسته AQM بر احتمال اتلاف بسته VoIP ، مشابه اثرات مشاهده شده در توپولوژی دمبل است.

Table 7 VoIP packets loss rates for scenario S3 (complex topology)

Case		AQM Schemes								
		RED DropTail	RED DropFront	RED DropSel	AVQ DropTail	AVQ DropFront	AVQ DropSel	REM DropTail	REM DropFront	REM DropSel
CA9	R2 queue (%)	1.44	5.16	0.00	0.05	5.65	0.01	0.47	4.81	0.10
	R5 queue (%)	12.02	14.12	0.00	1.87	11.99	0.01	2.00	13.82	0.12
	final user (%)	8.86	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	8.29	1.11	0.20
	Total	22.32	21.13	0.00	1.92	17.64	0.02	10.76	19.74	0.42
CA10	R2 queue (%)	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	R5 queue (%)	9.61	12.15	0.00	2.14	11.07	0.03	1.88	10.32	0.05
	final user (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	9.62	12.16	0.00	2.15	11.07	0.03	1.88	10.32	0.05

برای نتایج تجربی مذکور، ما می توانیم نتیجه بگیریم که در AQM، اعتدال بهتر در صورتی می تواند بوجود آید که روشهای dropping ترافیک شبکه را ببیند و بسته را از سنگین ترین ترافیک انتخاب نمایند. به علاوه، برای ترافیک VoIP، این روش انتخاب می تواند QoS را نیز از لحاظ تاخیر انتها-به-انتها و احتمال میزان اتلاف بسته در هر لحظه ای که منابع VoIP بر بار ترافیکی غالب نشوند، بهبود دهد.

۴-۴- ارزیابی مفهومی Drop-Sel

برای ارزیابی کامل کیفیت تصور شده ی حاصل از مکانیزم پیشنهادی، ما دو معیار از کیفیت مفهومی را ارائه می کنیم:

- (۱) امتیاز نظریه های متوسط
- (۲) سطح قابلیت فهم جریان های VoIP

۴-۴-۱- ارزیابی کیفیت E-model

برای ارزیابی کیفیت مفهومی بدست آمده از Drop-Sel، ما از توصیه نامه ITU-T ، E-model ، G.107 استفاده می کنیم [30]. E-model ابتدا برای اهداف طرح برنامه ریزی شبکه تصور می شد؛ آن اثر درونی ترکیبات معیوب را با استفاده از اطلاعات ذخیره شده بر روی اثرات عیب های فردی به تصویر می کشد. به هر حال، E-model برای برآورد QoS درونی تصور شده ی کاربر در بسیاری از سیستم های انتقال صوت نیز اتخاذ شده است. برای این منظور، این مدل معمولاً به خاطر عملی شدن، ساده می شود. از این به بعد، ما مقدمات پیشنهادی E-model را در [31] اتخاذ می کنیم و با استفاده از (1) عامل R را بدست می آوریم :

$$R = 94.2 - 0.11 \cdot (d - 177.3) \cdot H - 0.024 \cdot d - 30 \cdot \log(1 + 15 \cdot p)$$

که در آن d به میلی ثانیه است و برای بسته های VoIP، میانگین تاخیر انتها-به-انتها است و P احتمال اتلاف بسته بوده و H مطابق معادله زیر همکاری (سهام) تاخیر را تشکیل می دهد:

$$H = \begin{cases} 0 & \text{if } (d - 177.3) < 0, \\ 1 & \text{if } (d - 177.3) \geq 0. \end{cases}$$

برای ارزیابی های درونی خوانا تر، عامل R می تواند به نقطه گذاری MOS نگاشت شود [30]. شکل ۹، مقادیر MOS بدست آمده برای شرایط بار ترافیکی مختلف (موارد CA5 ، CA6 ، CA7 ، CA8 ، CA9 ، CA10 از جداول ۳ و ۴) را نشان می دهد. بطور کلی، می توان دید که RED صرف نظر از بار ترافیکی VoIP ، کمترین امتیاز MOS را بدست می آورد.

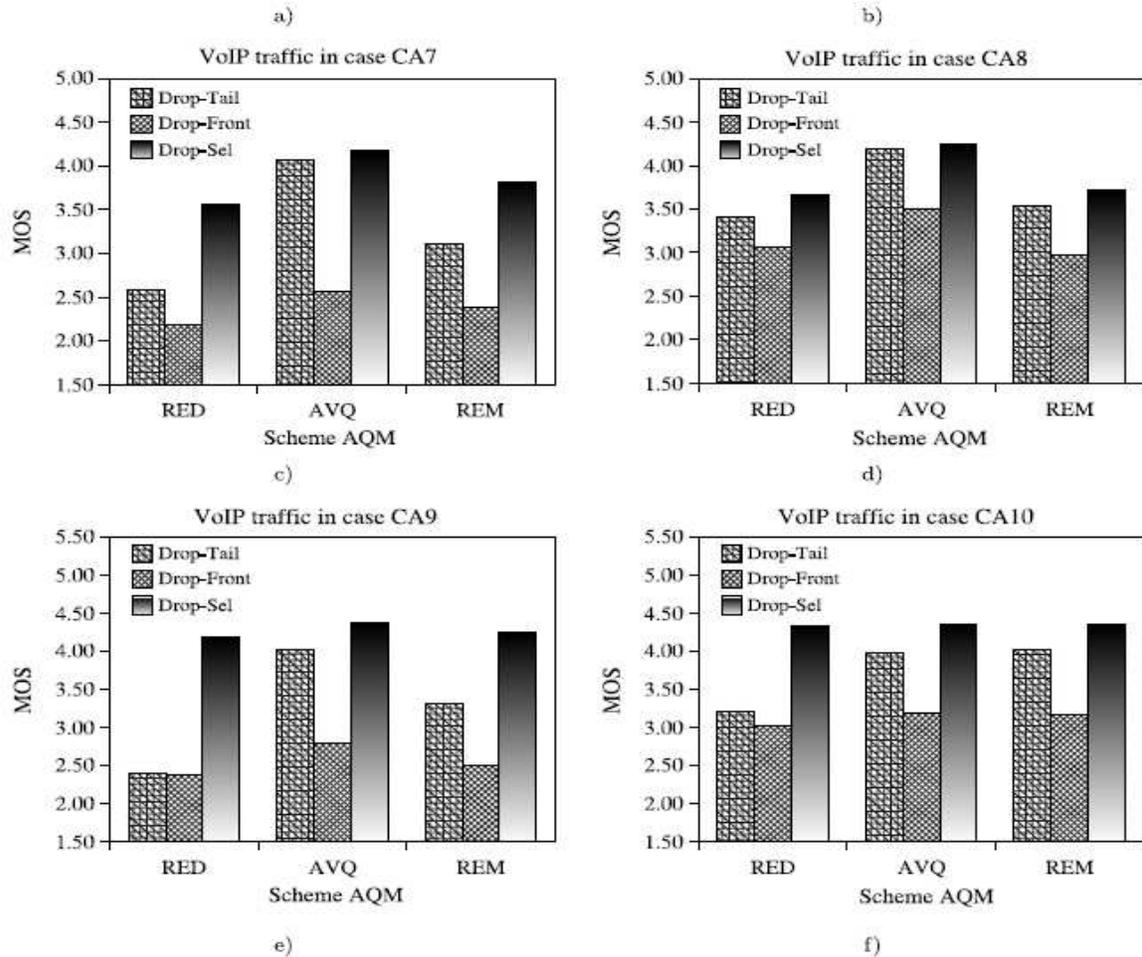


Fig. 9 E-MODEL based MOS evaluation of Drop-Front, Drop-Tail, and Drop-Sel under different traffic conditions

مطابق ارزیابی بیرونی گزارش شده در جداول ۶ و ۷، همانطور که انتظار می رود، AVQ بهترین کارایی درونی را بوجود می آورد. این امر بخاطر این است که استراتژی AVQ تاخیر صف بندی AQM را و نهایتاً میزان کل اتلاف بسته را کاهش می دهد.

به جز موارد CA5 ، CA6 ، Drop-Sel کیفیت آزمایش شده کاربر نهایی را برای تمام الگوهای AQM شبیه سازی شده، بهبود می بخشد. برای مثال در موارد CA7 ، CA8 ، CA9 ، CA10 ، نه تنها اعتدال را بهبود می دهد بلکه اثر مثبت قابل توجهی نیز بر کیفیت درونی ایجاد شده دارد (مثل شکل های ۹c و ۹d و ۹e و ۹f). شایان ذکر است که در این موارد، منابع O-UDP یا واکنشی بر بار ترافیکی غالب می شوند. هر چند که وقتی منابع VoIP بخاطر غلبه بر بار ترافیکی سبب ازدحام می شوند، Drop-Sel ، ترافیک VoIP را جریمه می کند (شکل های ۹a و ۹b). این امر برای موارد CA5 ، CA6 نیز رخ می دهد،

چرا که درصد ترافیک VoIP تولید شده بیشتر از 33.33% پهنای باند موجود است و سهمیه متعادل برای هر نوع ترافیک رقابتی از 100% پهنای باند استفاده می کند.

ارزیابی آزمایشی (تجربی)، یک همبستگی (ارتباط) معقولی را بین برآوردهای کیفیت سطح-کاربر و سطح-شبکه نشان می دهد. بنابراین، نتیجه می گیریم که Drop-Sel اعتدال و کیفیت تصور شده را مخصوصاً هنگامی که درصد ترافیک VoIP، سهمیه عادلانه ترافیک باقیمانده را خراب نمی کند، بهبود می بخشد. به علاوه، وقتی ترافیک VoIP از پیش بر سناریوهایی غالب می شود که در آنها اعتدال لازم نیست و کیفیت VoIP اولویت دارد، ما پیشنهاد می کنیم که مکانیزم هایی بصورت اتوماتیک برای سوئیچ از Drop-Sel به الگوریتم دیگری افزوده شوند.

۴-۲-۴- ارزیابی مفهومی مبتنی بر ASR

علاوه بر این، برای تکمیل ارزیابی خودمان، یک امتیاز متناوب سومی برای تعیین قطعی اثر Drop-Sel بر کیفیت تصور شده کاربر نهایی در نظر می گیریم.

در این بخش، ما خوبی مکانیزم Drop-Sel پیشنهادی را با برآورد قابلیت فهم صوت انتها-به-انتها ارزیابی می کنیم. برای این کار، ما یک موتور تشخیص کلام اتوماتیک را اتخاذ می کنیم. امتیاز تشخیص مداوم اتوماتیک انتها-به-انتها (که از لحاظ میزان صحت(دقت) کلمه یا جمله اندازه گیری می شود) می تواند برای ارزیابی کیفیت کلام نوسازی شده، استفاده شود [32,33].

میزان صحت کلمه و جمله مستقیماً به قابلیت فهم نهایی درک شده بوسیله کاربر، مرتبط می باشد. لذا، افزایش قابلیت فهم، برای هر الگوریتم انتقال صدای پیشنهاد شده، یک هدف محسوب می شود. ما معتقدیم این روش ارزیابی برای تست کردن بهبودی های بدست آمده از هر الگوی انتقال صدای پیشنهاد شده، یک ابزار الزامی تلقی می گردد که بر اساس مزایای زیر می باشد که عبارتند از:

۱- امتیاز ASR، موضوعاتی را لحاظ می کند که در غیر این صورت اندازه گیری آنها مشکل می باشد، در حالی که هیچ مدل ضمنی بی نیاز نیست که اتخاذ شود، چرا که تکنولوژی تشخیص کلام، اکنون به اندازه کافی رشد کرده است.

۲- هزینه ی آن پایین است و معیارهای قابل تعمیم زیادی را به وجود می آورد.

عمل تشخیص به کار رفته مبتنی بر دیتابیس کلام Aurora 2 می باشد [34] که یک مجموعه ای است که متشکل از ترتیب های عددی پیوسته ای برای گویندگان انگلیسی آمریکایی می باشد. بعد از انتقال (مخبره)، سیگنال کلام برای کاهش تغییرپذیری ذاتی اش پردازش می گردد و یک استخراج کننده ویژگی (مشخصه) سپس سیگنال کلام دریافت شده را به فریم های روی هم افتاده ی (overlap) ۲۵ ms در هر ۱۰ ms تقسیم بندی می نماید. هر فریم کلام با یک بردار مشخصه ۱۴ بعدی نمایش داده می شود که دارای ۱۳ MFCCs (ضرایب کپستروم فرکانس Mel) به علاوه log-Energy می باشد. در نهایت، بردارهای مشخصه (ویژگی) به اولین و دومین مشتق تعمیم یا توسعه می یابند. ماشین تشخیص دهنده کلام ما مبتنی به HMM (مدل مارکوف مخفی) می باشد و از یازده مدل واژه HMM مداوم ۱۶ حالتی (بعلاوه سکوت و مکث، که به ترتیب دارای ۳ و ۱ حالت هستند)، با سه گوسی (Gaussian) در هر حالت (به استثناء سکوت، با ۶ گوسی Gaussian در هر حالت) استفاده می کند.

مدل های HMM بصورت off-line با مجموعه ای از ۸۴۴۰ جمله بدون نویز (noise-free) آموزش داده می شوند ولی تست مجموعه متشکل از ۴۰۰۴ جمله خارج از-آموزش بدون نویز می باشد. شرایط آزمایش مذکور برای آزمایشات گزارش شده اتخاذ شدند.

(۱) *Word accuracy* یا صحت کلمه (واژه)

برای ارزیابی کارایی تشخیص دهنده کلام، ما WER (میزان خطای کلمه) را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$WER = \frac{n_i + n_s + n_d}{n_t} * 100$$

که در آن، n_s تعداد کلمات جایگزین شده است و n_i تعداد کلمات بدلی (نادرست) درج شده و n_d تعداد کلمات پاک شده (حذف شده) و n_t تعداد کل کلمات است. قبل از شمارش خطاهای جایگزینی، حذف و درج، برنامه نویسی پویا (دینامیک) برای هم تراز کردن جمله تشخیص داده شده با رونویسی صحیح اش استفاده می شود. بر اساس WER، صحت کلمه (WA) بصورت زیر تعریف می گردد:

$$WA = 100 - WER$$

میزان WA بدست آمده از شبیه سازی های مورد CA7 از سناریوی S2 در جدول ۸ نشان داده می شود و مخصوصاً، چندین منبع O-UDP و TCP با کل ده جریان VoIP رقابت می کنند که بوسیله سه کاربرد VoIP توصیف شده در جدول ۱ تولید شده اند. به ویژه، کاربرد A دوجریان (تحت عنوان A1، A2)، کاربرد B، شش جریان (B1، B2، B3، B4، B5، B6) و کاربرد C، دو جریان (یعنی C1، C2) را تولید می کند.

Table 8 Word Accuracy rates of VoIP packet by flow for case CA7 in scenario S2

Flow	AQM Schemes								
	RED DropTail	RED DropFront	RED DropSel	AVQ DropTail	AVQ DropFront	AVQ DropSel	REM DropTail	REM DropFront	REM DropSel
A1	98.58	98.18	99.02	99.02	97.88	99.02	98.96	98.31	98.99
A2	98.73	98.21	99.02	99.02	98.42	99.02	99.00	98.56	99.02
B1	98.60	97.39	99.02	99.01	96.77	99.02	98.95	97.71	98.97
B2	98.35	97.57	99.02	99.02	96.49	99.02	98.94	97.82	98.99
B3	98.50	96.89	99.02	98.99	96.44	99.02	98.90	97.38	98.92
B4	78.54	38.85	90.50	98.04	91.48	98.59	85.18	71.77	97.19
B5	78.30	37.81	90.43	98.09	91.34	98.62	84.98	70.79	96.87
B6	78.55	39.41	91.11	98.10	94.77	98.62	85.40	72.76	97.10
C1	96.70	93.44	99.02	98.78	96.38	99.02	97.65	93.87	98.56
C2	96.98	91.42	99.02	98.59	95.53	99.02	97.65	92.88	98.49

بطور کل، امتیازات بدست آمده از Drop-Sel، امتیازات Drop-Tail و Drop-Front را بهتر اجرا می کند(کارایی بالاتری نسبت به این دو تا دارد). این بهبودی ها برای جریانات B6 و B5 و B4 قابل توجه هستند، چرا که دورترین منابع بوده و برای تولید بسته های اخیر، مستعدترین می باشند. مخصوصاً، وقتی که RED اتخاذ می شود، Drop-Sel بطور میانگین 51.1% از امتیاز WA حاصل از Drop-Front و 12.2% امتیاز WA حاصل از Drop-Tail را برای B4، B5، B6 بهتر می کند. این بهبودی بدست آمده از Drop-Sel، بخاطر تعداد کمتر بسته VoIP حذف شده در روتر و تولید کمتر بسته های آخر(اخیر) در کاربر نهایی آن می باشد.

(2) Correct-sentence rate یا میزان جمله - صحیح

میزان جمله-صحیح، معیار تکمیلی قابلیت فهم را پدید می آورد. یک جمله، زمانی صحیح تلقی می شود که هیچ درج لغت یا جانشینی کلمه ای را متحمل نشود.

جدول ۹ این میزان های صحیح - جمله بدست آمده از مورد CA7 را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، میزان های Drop-Sel همیشه بهتر از یا برابر با نتایج Drop-Front، Drop-Tail می باشد. لذا، ما بطور آزمایشی و تجربی نشان می دهیم که توجه به الگوی انتخاب قربانی پیشنهاد شده، قابلیت فهم انتها-به-انتها را بهبود می بخشد. این امر برای جریانات دارای کیفیت بدتر، معنادارتر است، یعنی می توان گفت که برای جریانات کلام ایجاد شده در منابع دور و فاصله دار، که به خاطر اثر تاخیر بر امتیاز MOS مدل-E، معیوب ترین جریان است، معنادارتر می باشد. برای این منابع دور دست ماهیت تعاملی کلام اهمیت زیادی دارد. برای مثال، جریانات B4، B5 (جدول ۹) میزان 53.92% و 53.52% را با RED DROP-TAIL بدست می آورند، در حالی که الگوی Drop-Sel میزان جمله صحیح را به ترتیب تا 76.47% و 76.72% بالا می برد. در Drop-Tail REM، جریان B4 به میزان 76.27% و جریان B5 به میزان 75.79% می رسد. به هر حال، Drop-Sel به ترتیب میزان 92.96% و 92.21% را که یک بهبودی در قابلیت فهم تلقی می شود، پدید می آورد.

Table 9 Correct Sentence rates of VoIP packet by flow for case CA7 in scenario S2

Flow	AQM Schemes								
	RED DropTail	RED DropFront	RED DropSel	AVQ DropTail	AVQ DropFront	AVQ DropSel	REM DropTail	REM DropFront	REM DropSel
A1	95.73	94.78	97.08	97.08	93.79	97.08	96.85	95.06	96.98
A2	96.20	94.73	97.08	97.08	95.38	97.08	97.00	95.68	97.08
B1	95.90	92.49	97.08	97.08	90.84	97.08	96.88	93.26	96.90
B2	95.08	93.11	97.08	97.08	90.41	97.08	96.85	93.66	97.03
B3	95.55	91.04	97.08	96.98	90.41	97.08	96.70	92.36	96.78
B4	53.92	18.91	76.47	94.71	78.95	95.88	76.27	57.07	92.96
B5	53.52	18.86	76.72	94.86	78.47	96.05	75.79	56.67	92.21
B6	54.09	19.86	78.02	94.81	86.31	96.00	76.20	57.84	93.01
C1	90.61	82.85	97.08	96.28	89.74	97.08	93.06	83.37	95.70
C2	91.46	78.80	97.08	95.75	87.81	97.05	92.86	81.62	95.50

در مجموع، در مقایسه با روش های انتخاب قربانی دیگر، بعد از ارزیابی انجام شده می توان نتیجه گرفت که الگوریتم Drop-Sel برای ترافیک VoIP صرف نظر از ایجاد بهبودی های سطح-شبکه ای گزارش شده از قبل، قابلیت فهم انتها-به-انتها را بهتر می نماید.

۵- نتیجه گیری

برای پیشگیری از ازدحام شبکه، مدیریت صف فعال (AQM) به طور وسیع بررسی شده است. در نتیجه، برخی از الگوهای مفید پیشنهاد شده اند. بطور کلی، اگر انواع مختلف ترافیک (منابع واکنشی یا غیر واکنشی) در صف خروجی AQM سهمیم باشند، باید متمایز شده و بطور متفاوتی پردازش شوند. در این شرایط، اعتدال و کیفیت درونی انتها-به-انتهای نهایی به روش انتخاب قربانی اتخاذ شده بستگی دارد.

در این مقاله، ما چگونگی بهبود معیارهای درونی و بیرونی توسط کارآیی شبکه (میزان اتلاف و تاخیر بسته) با مشاهده ساده و انتخاب کلاس ترافیکی شبکه جهت جبران کردن پیشگیری از ازدحام را ارزیابی کردیم.

با این طرز فکر، ما یک الگوی مستقیم و درستی را جهت کاربرد در الگوهای AQM پیشنهاد کرده ایم. این رویکرد پیشنهادی، تقاضاهای کنترل ازدحام این کاربرد را بررسی می کند. مخصوصاً، ما یک روش ساده را برای انتخاب بسته جهت حذف شدن در روتر AQM ارائه کردیم. برای ردیابی (تشخیص) ترافیکی که سبب ازدحام می شود، ما یک الگوریتمی را ارائه می کنیم که کلاس ترافیکی یی را که بطور مطابق جریمه می شود، شناسایی می نماید. در میان رویکردهای شبیه سازی شده مرجع، ما بطور تجربی ثابت کردیم که الگوریتم ارائه شده، اعتدال را برقرار می کند و کیفیت انتها-به-انتهای را بهبود می بخشد.

الگوی پیشنهادی تحت عنوان Drop-Sel، مشترکاً با مجموعه ای از الگوهای AQM مربوطه ارزیابی می گردد: RED، AVQ، REM، برای ارزیابی های دارای الگوهای قطعی - لبه، PUNSI نیز شبیه سازی شد. ما تعدادی سناریو با توپولوژی های گوناگون و بارهای ترافیکی مختلف را ملاحظه کرده ایم که در آنها هر دو جریان TCP، UDP برای شرکت در منابع شبکه ای محدود به وجود آمده اند. در شبیه سازی هایمان، مبدأها و مقصدهای ترافیکی مختلف، در مکان های متنوعی گنجانده شده اند تا یک محدوده وسیعی از احتمالات را فراهم آورند. آزمایشات انجام شده نشان دادند که Drop-Sel یک بهبود اعتدال عالی یی را فراهم می کند.

برای ترافیک مولتی مدیا و به ویژه برای VoIP، ما معتقدیم که رسیدن به QoS سطح فوق العاده پایین در صورتی می تواند بی فایده باشد که با رضایتمندی کاربر نهایی (سطح بالا) همبستگی نداشته باشد. بر این اساس، برای تکمیل این ارزیابی، ما مزایای اتخاذ الگوی پیشنهادی را به طور درونی اندازه گیری کردیم. در این مورد، E-model برای ارزیابی اهداف استفاده گردید. مخصوصاً، ما امتیاز MOS را تحت محدوده وسیع شرایط آزمایشی (تجربی) برآورد کردیم. به علاوه، ما همچنین نشان دادیم که برای ترافیک VoIP، این الگوی پیشنهادی (Drop-Sel) قابلیت فهم کاربر انتهایی را نیز بهتر می کند و این امر با اتخاذ روش شناسی مبتنی بر معیارهای تشخیص کلام اتوماتیک انتها-به-انتهای نشان داده می شود.

در مجموع، این کار، چگونگی ایجاد خدمات عادلانه برای VoIP و انواع دیگر ترافیک UDP، بدون آسیب به توان عملیاتی (گذردهی) TCP، بوسیله الگوریتم انتخاب قربانی سبک وزن (کم اهمیت) اثبات گردید. در مواردی که در آنها ترافیک VoIP، از قبل غالب نشده است، Drop-Sel می تواند کیفیت مفهومی جریانات VoIP، امتیازات قابلیت فهم و MOS، و مزایای منابع TCP را بالا ببرد. اگر ترافیک VoIP شایع شود (غالب شود)، ترافیک VoIP، بر این اساس برای حفظ اعتدال جریمه می شود.

1. Floyd, S., & Jacobson, V. (1993). Random early detection gateways for congestion avoidance. *IEEE/ACM Transactions on Networking*.
2. Reguera, V. A., Álvarez Paliza, F. F., Godoy, W. Jr., & García Fernández, E. M. (2008). *Computer Communications*, 31, 73–87.
3. Hashem, E. (1989). *Analysis of random drop for gateway congestion control*. MIT-LCS-TR-465.
4. Jain, R., Ramakrishnan, K. K., & Chiu, D. (1988). Congestion avoidance in computer networks with a connectionless network layer. In *Proceedings of SIGCOMM '88*.
5. Floyd, S., Gummadi, R., & Shenker, S. (2001). Adaptive RED: An algorithm for increasing the robustness of RED's active queue management. Available from: <http://www.icir.org/floyd/papers/adaptiveRed.pdf>, August 1, 2001.
6. Jinsheng, S., Ko, K.-T., Guanrong, C., Chan, S., & Zukerman, M. (2003). PD-RED: to improve the performance of RED. *Communications Letters, IEEE*, 7, 406–408.
7. Hadjadj Aoul, Y., Mehaoua, A., & Skianis, C. (2007). A fuzzy logic-based AQM for real-time traffic over Internet. *Computer Networks*, 51, 4617–4633.
8. Kunniyur, S., & Srikant, R. (2004). An adaptive virtual queue (AVQ) algorithm for active queue management. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12, 286–299.
9. Wydrowski, B., & Zukerman, M. (2002). GREEN: an active queue management algorithm for a self managed Internet. In *Proceedings of IEEE international conference on communications, ICC'2002* (Vol. 4, pp. 2368–2372), April 2002.
10. Athuraliya, S., Low, S. H., Li, V. H., & Qinghe, Y. (2001). REM: active queue management. *IEEE Network Magazine*, 15(3), 48–53.
11. Sun, J., & Zukerman, M. (2007). RaQ: a robust active management scheme based on rate and queue length. *Computer Communications*, 30, 1731–1741.
12. Lin, D., & Morris, R. (1997). Dynamics of random early detection. In *Proceedings of ACM SIGCOMM '97* (pp. 127–137).
13. Pan, R., Breslau, L., Prabhakar, B., & Schenker, S. Approximate fairness through differential dropping. *Proceedings of ACM SIGCOMM Computer Communications Review*, 33(2), 23–39.
14. Chung, J., & Claypool, M. Dynamic-CBT and ChIPS- Router support for improved multimedia performance on the Internet (Tech.Rep.). Computer Science, Worcester Polytechnic Institute. Available from: <http://web.cs.wpi.edu/claypool/papers/dcbt-chips/>.
15. Stoica, I., Shenker, S., & Zhang, H. (1998). Core-stateless fair queuing: achieving approximately fair bandwidth allocations in high speed networks. In *Proceedings of ACM SIGCOMM*.
16. Cao, Z., Wang, Z., & Zegura, E. (2000). Rainbow fair queuing: fair bandwidth sharing without per-flow state. In *Proceedings of INFOCOM* (pp. 922–931).
17. Chan, S., Kok, C., & Wong, A. K. (2005). Multimedia streaming gateway with jitter detection. *Proceedings of Transactions on Multimedia*, 7(3), 585–592.

18. Phirke, V., Claypool, M., & Kinicki, R. (2002). RED-Worcester traffic sensitive active queue management. In *Proceedings of 10th IEEE international conference on network protocols*. Available from: <http://csdl2.computer.org/comp/proceedings/icnp/2002/1856/00/18560194.pdf>.
19. Pan, R., Prabhaker, B., & Psounis, K. (2000). CHOKe: a stateless active queue management scheme for approximating fair bandwidth allocation. In *Proceedings of IEEE INFOCOM '00* (pp. 942–951).
20. Yamaguchi, T., & Takahashi, Y. (2007). A queue management algorithm for Fair bandwidth allocation. *Computer Communications*, 30, 2048–2059.
21. Perkins, C., Hodson, O., & Hardman, V. (1998). A survey of packet-loss recovery techniques for streaming audio. In *Proceedings of IEEE Network* (pp. 40–48).
22. Yin, N., & Hluchyj, M. G. (1993). Implication of dropping packets from the front of a queue. *Proceedings of IEEE Transactions on Communications*, 41(6), 846–851.
23. Lakshman, T. V., Neidhardt, A., & Ott, T. J. (1996). *The drop from front strategy in TCP and in TCP over ATM*. New York: IEEE.
24. Network Simulator ns2. Available from: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
25. Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R., & Jacobson, V. (2003). Rfc3550 RTP: *A transport protocol for real-time applications*, July 2003.
26. ITU-T, Recommendation, G. 711, Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies.
27. Iacovoni, G., Morsa, S., Parisi, D., & Pierotti, D. (2002). *Broadband FRA scenario and traffic modeling*. Information Society Technologies.
28. Liu, S. G., Wang, P. J., & Qu, L. J. (2005). Modeling and Simulation of self similar data traffic. In *Proceedings of the fourth international conference on machine learning and cybernetics* (pp. 3921–3925).
29. Fomenkov, M., Keys, K., Moore, D., & Claffy, K. (2004). Longitudinal study of Internet traffic in 1998–2003. In *Proceedings ACM international conference* (Vol. 58).
30. ITU-T, Recommendation, G.107, The E-model, a computational model for use in transmission planning, March 2005.
31. Cole, R. G., & Rosenbluth, J. H. (2001). Voice over IP performance monitoring. *Proceedings of SIGCOMM Computer Communication Review*, 31(2), 9–24.
32. Ramos-Muñoz, J. J., Lopez-Soler, J. M., & Gomez, A. M. (2005). Intelligibility evaluation of a VoIP multi-flow block interleaver. In *Proceedings of IFIP IWAN*, Sophia-Antipolis France, November 2005.
33. Jiang, W., & Schulzrinne, H. (2002). Speech recognition performance as an effective perceived quality predictor. In *Tenth IEEE international workshop on quality of service* (pp. 269–275).
34. Hirsch, H. G., & Pearce, D. (2000). The AURORA experimental framework for the performance evaluation of speech recognition systems under noisy conditions. In *Proceedings of ISCA ITRW ASR: automatic speech recognition: challenges for the next millennium* (pp. 181–188).