ارایهٔ الگوریتمی برای افزایش کارایی منابع رادیوییِ ترافیکِ صوت و داده در *UMTS-WCDMA* و ارزیابیِ تأثیر تداخلِ کاربران بر ظرفیت سیستم

ایمان دهار[i]، محمود کمره‌ای[ii]، جهانگیر دادخواه چیمه[iii]

چکیده

یکی از سرویس‌های اصلی سیستم‌های نسل سوم مخابرات سیار، انتقال مولتی‌مدیا در بخش بی‌سیم شبکه است. در این راستا مسألهٔ چگونگی ارایهٔ سرویس به کاربران، به علت محدود بودن منابع و تفاوت در نوع سرویس‌های درخواست شده بسیار مهم خواهد بود. در این مقاله، الگوریتمی برای افزایش کارایی منابع رادیویی ارایه شده است که باعث افزایش ظرفیت سیستم در حالت ترافیک ترکیبی می‌شود؛ این افزایش ظرفیت به معنی کاهش میزان مسدود شدن بسته‌ها و در نتیجه، افزایش تعداد کاربران فعال درون سیستم است. مسألهٔ تداخل تولید شده به وسیله کاربران فعال و تأثیر آن بر ظرفیت سیستم نیز ارزیابی شده است. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که با استفاده از مُدل‌سازی مناسبِ ترافیک مولتی‌مدیا می‌توان ظرفیت سیستم، یعنی تعداد کاربران را برحسب احتمال مسدود شدن در سیستم افزایش داد.

کلمات کلیدی

نسل سوم، ظرفیت، کارایی سیستم، کنترل منابع رادیویی، مُدل ترافیکی صوت و داده، تداخل، کیفیت سرویس

An Algorithm for Increasing Radio Resource Performance of Voice and Data Traffic in UMTS-WCDMA and Evaluation of Users' Interference Effects in System Capacity

I. Dahar; M. Kamarei; J. Dadkhah Chimeh.

ABSTRACT

A main service of 3G mobile systems is multimedia transmission in UTRAN. This article, has applied an algorithm for increasing radio resource performance, which increases system capacity in mix traffic mode. In other words, this algorithm decreases the percent of packet blocking and so increases the number of active users in the system. In other part of this investigation, we have evaluated the system capacity with respect to the interference generated by users activity and considered the importance of traffic modeling in system simulations and capacity improvement. Results indicate that with proper traffic modeling we can increase system capacity.

KEYWORDS

3G, UMTS, Capacity, System performance, RRC, Voice and Data traffic models, Interference, QoS.

[i] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق، گرایش مخابرات سیستم، دانشکدهٔ مهندسی برق دانشگاه تهران: I.Dahar@ece.ut.ac.ir.

[ii] عضو هیأت علمی دانشگاه تهران، استاد مهندسی برق، گرایش مخابرات: Kamarei@ut.ac.ir .

[iii] عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات مخابرات ایران، دانشجوی دوره دکتری مهندسی برق، گرایش مخابرات: Dadkhah@itrc.ac.ir .

۱- مقدمه

امروزه پرکاربردترین تکنولوژی بی‌سیم، شبکه‌های سیار سلولی هستند که باعث بروز تحولات عظیمی در انواع روش‌های ارتباطی و سرویس‌های مخابراتی گشته‌اند.

نسل سومِ شبکه‌های سیار سلولی پس از به‌وجود آمدن برخی ارتقاهای نسل دوم و تکامل آنها پدید آمد و قابلیت‌های بسیار فراتری نسبت به نسل‌های پیشین خود دارد. هدفِ عمدهٔ سیستم‌های نسل سوم، فراهم کردن دسترسی به اینترنت سرعت بالا و سرویس‌های مولتی‌مدیا است. در گروه‌های استانداردسازی، تکنولوژی WCDMA به‌عنوان واسط رادیویی منطبق بر نسل سوم (UMTS) پذیرفته شده و خصوصیات آن در درون 3GPP به وجود آمده است [۱].

WCDMA نرخ بیت از هشت کیلوبیت بر ثانیه تا دو مگابیت بر ثانیه را به‌طور همزمان در یک کانال پنج مگاهرتزی پشتیبانی می‌کند که هر یک از این کانال‌ها می‌توانند در یک لحظه بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ تماس صوتی را، با توجه به قِطاع‌بندی آنتن، شرایط انتشار، سرعت کاربر و ...، پشتیبانی کنند [۲].

با توجه به تقاضای روزافزون کاربران برای دسترسی به سرویس‌های بدون سیمِ پُرسرعت، مسأله ارزیابی و مُدل‌سازی سرویس‌های موجود و نحوهٔ کنترل و افزایش کارایی منابع رادیویی و تخمین ظرفیت مورد نیاز، امری ضروری خواهد بود. به این ترتیب، برای داشتن کیفیت سرویس مطلوب و استفادهٔ بهینه از منابع رادیویی، در شبیه‌سازیِ یک سیستم مبتنی بر UMTS، باید به دنبال نحوهٔ کنترل منابع رادیویی و میزان احتمال بروز خطا در سیستم، برای ارزیابیِ کارایی و تخمینِ ظرفیتِ مورد نیاز بود. به همین دلیل، در این مقاله با توجه به مُدل‌های ترافیکی مولتی‌مدیا؛ که آن را مراجع استانداردسازی نسل سوم (مثل [٤]) عرضه کرده‌اند، به ارایهٔ الگوریتمی برای افزایش کارایی منابع رادیویی ترافیک صوت و داده پرداخته شده است. بعلاوه، تأثیر میزان تداخلی؛ که کاربران موجود در یک سلول در هنگام فعالیت تولید می‌کنند، بر کارایی سیستم و در نتیجه بر ظرفیت سیستم، بررسی و شبیه‌سازی شده است.

۲- برنامهٔ کنترل منابع رادیویی

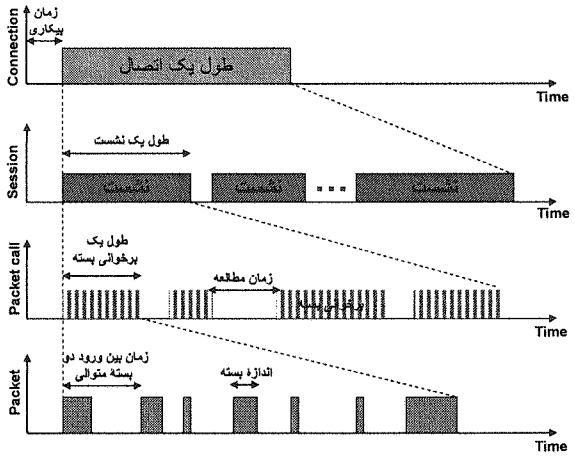
برنامهٔ کنترل منابع رادیویی در محیط MATLAB پیاده‌سازی گشته و از چهار بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: تولید کننده ترافیک، کنترل پذیرش، بافر درونی و لینک خروجی. این برنامه علاوه بر انجام عمل صف‌بندیِ پیشنهاد شدهٔ 3GPP [۴]، مکانیزمی را برای کاهش تلفات بسته‌ها در لینک و در نتیجه، افزایش ظرفیت سیستم ارایه می‌کند. برنامهٔ نوشته شده همچنین مسألهٔ میزان زمان انتظار بسته‌های درون صف را بررسی می‌کند.

۲-۱- مُدل‌های آماریِ ترافیک صوت و داده

مُدل‌های ترافیکی استفاده شده در این شبیه‌سازی منطبق با مُدل‌های ارایه شدهٔ ETSI [۴] هستند که نشان دهنده چگونگیِ ورودِ دیتای بسته‌ای به یک بافر، قبل از واسط هوایی هستند. در این مُدل‌ها، کاربران بر اساس یک فرآیند پواسن به سیستم وارد می‌شوند.

به‌طور کلی، سرویس‌ها به دو شکلِ بلادرنگ و غیربلادرنگ به کاربران ارایه می‌شوند. ترافیک صوت و ویدئو از نوع بلادرنگ و ترافیک داده از نوع غیربلادرنگ هستند. مُدل ترافیکی برای سرویس‌های بلادرنگ، باید به‌صورتِ یک مُدلِ on/off باشد که دوره‌های فعال و غیرفعال آن براساس یک توزیع نمایی با زمان متوسط سه ثانیه تولید شده‌اند.

نمونه‌ای از سرویس‌های غیربلادرنگ، یک سرویسِ جستجوی وِب است که متشکل از سه رَده با نام‌های «نشست» (session)، «بَرخوانیِ‌بسته» (packet call)، و «بسته» (packet) می‌باشد؛ هر «اتصال» (connection) می‌تواند یک یا چند نشست را شامل شود؛ یک نشست دارای یک یا چند برخوانیِ‌بسته است، و در طیِ یک برخوانیِ‌بسته، ممکن است چندین بسته تولید شود [۴]. این مُدل در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): مُدل ترافیکی سرویس‌های غیربلادرنگ (جستجوی وِب)

در یک نشستِ جستجوی وِب، هر برخوانیِ‌بسته متناظر با بارگذاریِ (download) یک مستند وب در ترمینالِ کاربر است. پس از اینکه آن مستند به‌طور کامل به ترمینال کاربر وارد شد، مُدت زمانی برای مطالعهٔ آن اطلاعات صَرف می‌شود که «زمان مطالعه» نام دارد. سپس، کاربر تقاضای بعدی خود را ارسال می‌کند، یعنی بر روی لینک دیگری در همان نشست کلیک می‌کند. این در واقع شروعِ یک برخوانیِ‌بستهٔ دیگر، در همان

نشست است [۴]. تعدادِ برخوانیِ‌بسته در یک نشست و تعداد بسته‌های درون هر برخوانیِ‌بسته توزیعی هندسی به ترتیب با میانگین پنج و ۲۵ دارند. زمان بین ورود دو بستهٔ متوالی نیز توزیعی هندسی دارد که برای لینک خروجیِ استفاده شده در شبیه‌سازی‌های این مقاله دارای میانگین ۰/۰۱۰۴ ثانیه است.

اندازهٔ بسته‌ها از توزیع Pareto با cut-off پیروی می‌کند که تابع چگالی احتمال آن به‌صورت فرمول زیر است [۴]:

$$f_x(x)=\begin{cases}\dfrac{\alpha.k^{\alpha}}{x^{\alpha+1}},.....k\le x<m\\ \beta,.....x=m\end{cases} \qquad (۱)$$

که β احتمالِ $(x>m)$ بوده و m حداکثر اندازه مجاز بسته‌ها و مساوی ۶۶۶۶۶ بایت است. متوسط این تابع مساوی مقدار زیر خواهد بود [۴]:

$$\mu_n=\frac{\alpha.k-m.\left(\frac{k}{m}\right)^{\alpha}}{\alpha-1} \qquad (۲)$$

با در نظر گرفتن مقدار ۱/۱ برای α و ۸۱/۵ برای k در (۲)، اندازهٔ متوسط بسته‌ها مساوی ۴۸۰ بایت به‌دست می‌آید.

به این ترتیب، بخشِ تولید کننده ترافیک در برنامهٔ شبیه‌ساز، ترافیک مورد نیاز برای کاربرانِ صوت و داده را تولید می‌کند. ترافیک تولید شده به‌صورت ماتریسی دو سطری است که سطر اول آن برای ترافیک داده، زمان ورود بسته‌ها و برای ترافیک صوت، زمان شروع دوره‌های فعال است و سطر دوم آن برای ترافیک داده شامل اندازهٔ بسته‌ها و برای ترافیک صوت شامل اندازهٔ کل بسته‌های درون هر دورهٔ فعال، بر حسبِ بیت است.

۲-۲- الگوریتم برنامهٔ کنترل منابع رادیویی

در اولین مرحله، ترافیکی را که کاربران درخواست کرده‌اند است، بخشِ تولید کننده ترافیک تولید می‌کند؛ سپس زمان وارد شدن کاربران به سیستم، که بر اساس یک فرآیند پواسن تولید شده است، برای تنظیم زمان‌های موجود در سطر اول ماتریس‌های ترافیک بر اساس زمان ورود کاربران به سیستم، به سطر اول ماتریس‌های ترافیکِ صوت و داده افزوده می‌شود. به این ترتیب، اکنون ترافیک مورد نظر بر اساس زمان تقاضای کاربران تولید شده و آمادهٔ استفاده است. بسته‌های کاربران بر اساس زمانِ ورودشان به سیستم سرویس‌دهی شده و بر روی لینکِ خروجی قرار می‌گیرند. اگر بسته‌ای در هنگام سرویس دادن به بستهٔ دیگری وارد شود، به درون صف (بافر) ارسال می‌شود که این در واقع، از مقایسهٔ زمان سرویس گرفتنِ بستهٔ انتهاییِ صف و زمان ورود بستهٔ جدید استنتاج می‌شود. چنانچه زمان ورودِ بستهٔ جدید از زمان سرویس گرفتنِ بستهٔ انتهایی صف کوچک تر باشد به این معنی است که بستهٔ انتهای صف هنوز سرویس نگرفته است و بستهٔ جدید باید درصورت پُر نبودن صف به آن وارد شود.

صفی که در این برنامه استفاده شده است یک صفِ FIFO است؛ بنابراین بسته‌ها به انتهای صف اضافه می‌شوند و بر اساس ترتیب ورودشان به صف سرویس می‌گیرند [۵]. اگر بسته‌ای با صف پُر مواجه شود مسدود (block) می‌شود که این بدان معناست که بخش کنترل پذیرش به آن بسته اجازهٔ ورود به سیستم را نمی‌دهد؛ و این باعث بروز تلفات در ارسال برای لینک خروجی خواهد بود. در حالت بدتر، اگر بسته‌ای که با صف پُر مواجه شده است اولین بستهٔ یک کاربر باشد، آن کاربر به‌طور کلی مسدود می‌شود؛ یعنی اگر کاربر وب باشد با عدم شروع بارگذاریِ صفحه مورد نظرش و اگر کاربر صوت باشد با بوقِ عدمِ سرویس مواجه می‌شود [۵].

در این مقاله، مواجه شدن با صف پُر به معنی رسیدن طول صف به حداکثر میزان مجاز خود است. در برنامهٔ شبیه‌ساز طول صف از مقدار صفر شروع شده و تا اندازه‌ای که در آن هیچ بسته‌ای از کاربران مسدود نشود و بسته‌ها بدون تلفات به لینک خروجی ارسال شوند، افزایش می‌یابد. در هر دفعه افزایش طول مجاز صف، حلقهٔ اصلیِ درونی یک بار اجرا شده و به همهٔ کاربران سرویس می‌دهد. به این ترتیب، این «حداکثر طول مجاز صف» است که هر دفعه در حلقهٔ خارجی تعیین می‌شود و در نهایت تا میزانی که هیچ بسته‌ای مسدود نشود، افزایش می‌یابد.

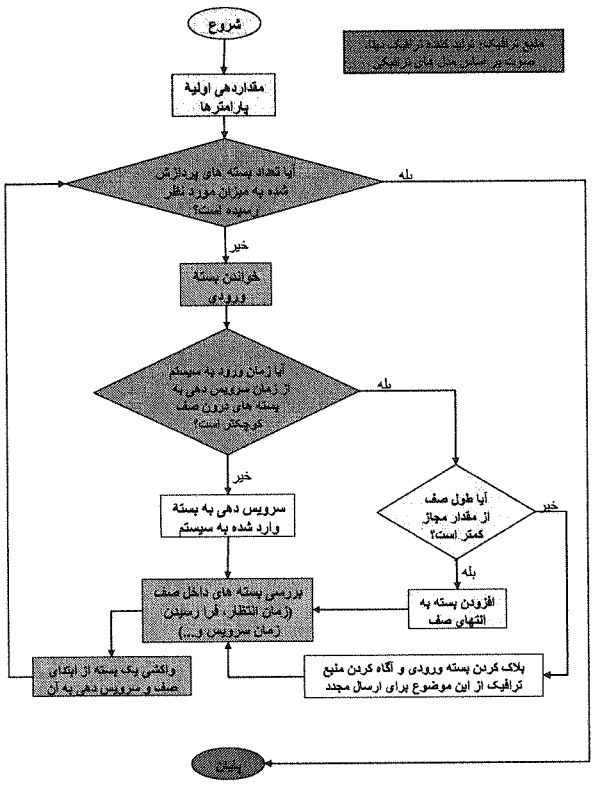
در برنامهٔ شبیه‌ساز، برای کاهش مسألهٔ مسدود شدن بسته‌ها الگوریتمی ارایه شده است؛ این الگوریتم مکانیزمی را به روش پیشنهاد شده از طرف 3GPP [۴] اضافه می‌کند.

رفتار سیستم در مقابل ترافیک داده و صوت، متفاوت است که این به دلیل ماهیت متفاوت آنهاست. حساسیت ترافیک داده نسبت به میزان خطا، بیشتر از ترافیک صوت است، درحالی‌که حساسیت ترافیک صوت به میزان تأخیر بیشتر از ترافیک داده می‌باشد[۲]، [۶]؛ به همین دلیل، هنگام ارایهٔ سرویس به یک کاربرِ صوت همهٔ بسته‌های درون یک دورهٔ فعال از یک نشست، همراه با هم برای او ارسال می‌شوند، اما بسته‌های موجود در یک برخوانیِ‌بسته از یک نشستِ جستجوی وب الزاماً همراه با هم برای کاربر ارسال نمی‌شوند.

مکانیزم استفاده شده به این صورت است که برای هر طول صف معین، اگر بسته‌ای با صف پُر مواجه شده و مسدود شود، این مسأله به تولید کنندهٔ ترافیک اطلاع داده می‌شود؛ در این حالت، تولید کنندهٔ ترافیک به زمان ورودِ بستهٔ مسدود شده و بسته‌های باقیمانده از نشستِ تقاضا شده، یک شیفت زمانی اِعمال می‌کند که این معادل با ارسالِ مجددِ بستهٔ مسدود شده،

بدون از دست دادن بقیهٔ بسته‌ها، برای کاربر است. البته به این دلیل که تکرار بیش از حد این عمل باعث ایجاد تأخیرهای بسیار زیادی در ارایهٔ سرویس به کاربران می‌شود، تعداد دفعات تکرار آن برای هر بسته از هر کاربر، محدود شده است و به وسیلهٔ اُپراتور قابل تنظیم است. در واقع، این مسأله که «هر بستهٔ هر کاربر چند بار با صف پُر مواجه شده است» به وسیلهٔ برنامه قابل شناسایی است. همچنین میزان شیفت زمانی اِعمال شده نیز به وسیلهٔ اُپراتور قابل تنظیم خواهد بود.

مسألهٔ دیگری که در این شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است، رها شدن (dropping) بسته‌ها، و حداکثر زمان انتظار درون صف است. در این برنامه، اگر بسته‌ای بیش از حد مجاز درون صف منتظر بماند، رها می‌شود؛ که اگر این بسته اولین بستهٔ یک کاربر باشد، آن کاربر رها شده و سرویس نمی‌گیرد. فلوچارت حلقهٔ درونی، یعنی برنامه‌ای که پس از هر بار افزایشِ طولِ مجازِ صف اجرا می‌شود، در شکل () نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوچارتِ برنامهٔ شبیه‌سازِ کنترل منابع رادیویی

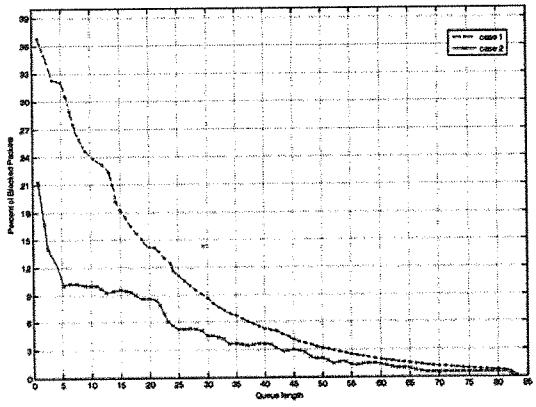
۲-۳- فرضیات شبیه‌سازیِ برنامهٔ کنترل منابع رادیویی

در این برنامه، سرعت لینک خروجی ۳۸۴ Kbps فرض شده و شیفت زمانی اِعمال شده برای مکانیزم ارسال مجدد، سه ثانیه انتخاب گشته است؛ همچنین تعداد سعیِ مجدد برای ارسال یک بستهٔ مسدود شده سه بار فرض شده است. حداکثر زمان انتظار در صف هم از یک ثانیه شروع شده و برای هر افزایش طول مجاز صف، به‌طور خطی افزایش می‌یابد. ترافیک صوت و داده (وب) بر اساس آنچه در بخش ۲-۱- بیان شد، تولید شده‌اند و زمان مطالعه برای نشست‌های جستجوی وب نیز مساوی ۴۱۲ ثانیه در نظر گرفته شده است [۴].

این شبیه‌سازی در سه حالتِ (case) مختلف انجام و میزان درصدِ بسته‌های مسدود شده و میزان تأخیر به‌وجود آمده، در هر یک از این حالات بررسی شده است. حالتِ یک، حالت «بدون استفاده از مکانیزم ارسال مجدد» و در واقع، شبیه‌سازیِ روش پیشنهادیِ 3GPP [۴] است. حالتِ دو، حالتِ «با استفاده از مکانیزم ارسال مجدد» است؛ کاربران در این دو حالت فقط از یک نوع ترافیک استفاده می‌کنند. حالتِ سوم مانند حالتِ دوم است با این تفاوت که در آن، ترافیک به‌صورت ترکیبی وجود دارد. در حالتِ اول و دوم برای ۵۰ کاربر صوت و ۵۰ کاربر داده به‌صورت جداگانه شبیه‌سازی انجام شده است. در حالتِ سوم، ۵۰ کاربر وجود دارد که ۲۵ عدد از آنها کاربر داده و بقیه کاربر صوت هستند.

۲-٤- نتایج شبیه‌سازیِ برنامهٔ کنترل منابع رادیویی

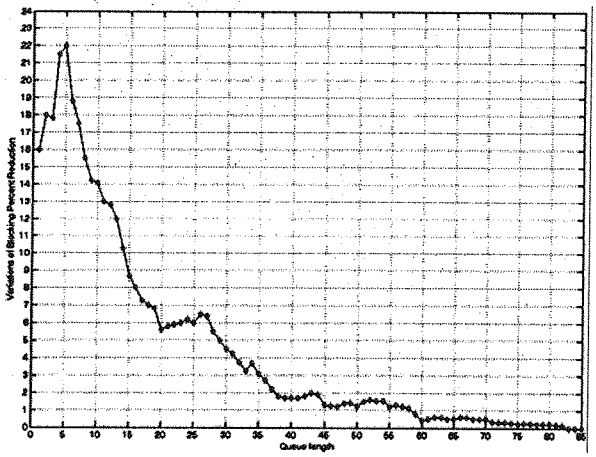
برای ۵۰ کاربر وب: در شکل () میزان درصد بسته‌های مسدود شده بر حسب طول صف، در حالت اول و دوم نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از مکانیزم ارسال مجدد در حالتِ دوم باعث کاهش درصد مسدود شدن بسته‌ها می‌شود که این به دلیل تکرار در ارسال بسته‌هایی است که با صف پُر مواجه می‌شوند. در ابتدا، میزان کاهش بسته‌های مسدود شده با اِعمال مکانیزم ارسال مجدد، حدود ۱۶/۰۵ درصد است؛ اما با افزایش طول صف، این مقدارِ کاهش، بیشتر می‌شود و در طول صف مساوی ۵ به حداکثر خود؛ یعنی ۲۲ درصد می‌رسد و سپس شروع به کم شدن می‌کند.



شکل (۳): درصد مسدود شدن بسته‌ها در حالت اول و دوم

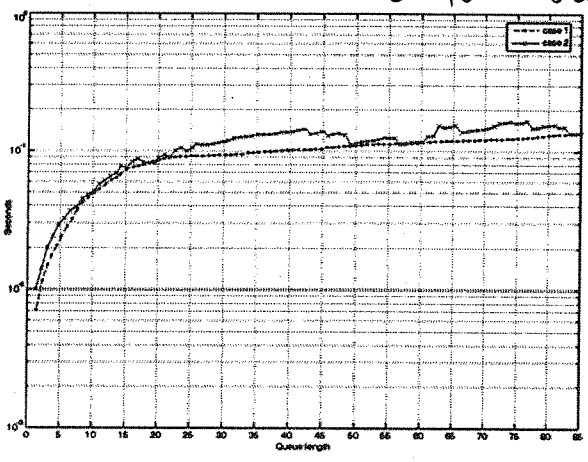
توجیه این حالات به این صورت است که در هنگامی که طول صف مساوی صفر است، اِعمال مکانیزم اثر کمتری نسبت

به حالتِ وجود صف دارد؛ زیرا بسته‌هایی که مجدداً ارسال می‌شوند فقط در صورتی که هنگامِ سرویس گرفتنِ یک بستهٔ دیگر وارد نشوند ارسال می‌شوند. هنگامی که طول صف بسیار زیاد می‌شود، میزان کاهش درصد بسته‌های مسدود شده، شروع به کم شدن می‌کند، که این به علت کمتر مواجه شدن بسته‌ها با صف پُر است. تغییرات میزان کاهش درصد مسدود شدن بسته‌ها بر اثر اِعمال مکانیزم ارسال مجدد در شکل () نشان داده شده است. استفاده از این مکانیزم (در حالت دوم) باعث زیاد شدن تأخیر متوسط بسته‌ها می‌شود که این به علت شیفت زمانی اِعمال شده به بسته‌هاست. افزایش میزان تأخیر متوسط بسته‌ها در دو حالت یک و دو بر حسب طول صف در شکل () نمایش داده شده است.



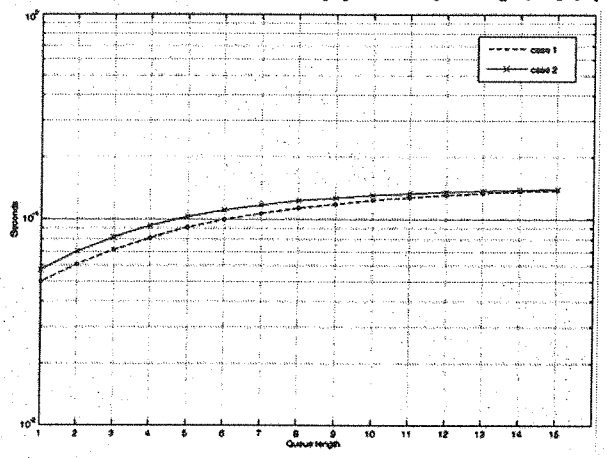
شکل (۴): تغییرات میزان کاهش درصد مسدود شدن بسته‌ها

برای ۵۰ کاربر صوت: در شکل () میزان تأخیر متوسط هر دورهٔ فعال نشست‌های صوتی، بر حسب طول صف، برای حالت اول و حالت دوم نشان داده شده است.



شکل (۵): تأخیر بسته‌های ۵۰ کاربر وب در حالتِ اول و دوم

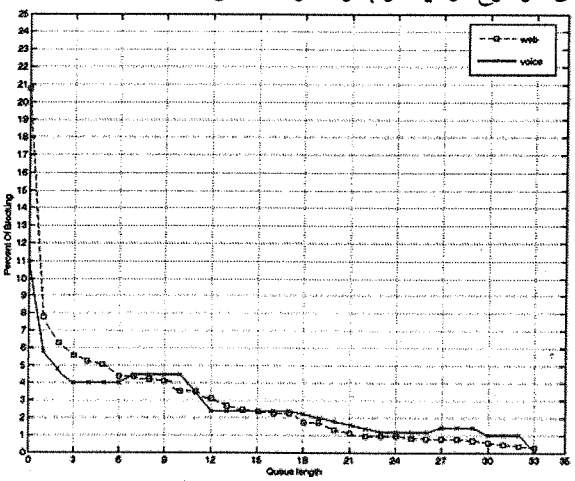
دیده می‌شود که اِعمال مکانیزم ارسال مجدد برای ترافیک صوت نیز باعث افزایش تأخیر متوسط می‌شود. ملاحظه می‌شود که میزان تأخیر متوسط وارد شده به کاربران صوت بیشتر از کاربران دیتای وب است؛ که این به دلیل طبیعت رگباری ترافیک صوت است [۶].



شکل (۶): تأخیر بسته‌های ۵۰ کاربر صوت در حالتِ اول و دوم

نکتهٔ قابل توجه در این شبیه‌سازی، مؤثر نبودن مکانیزم ارسال مجدد برای کاهش درصد مسدود شدن ترافیک صوت است. پس از اینکه ۵۰ کاربر صوت در حالت دوم مورد ارزیابی قرار گرفتند مشاهده شد با اینکه تعداد کاربرانی که مسدود شده بودند اندکی کاهش یافت؛ اما میزان درصد مسدود شدن دوره‌های فعال، کاهش نیافته و تلفات در ارسال بسته‌ها افزایش پیدا کرد، که این به علت ماهیت ترافیک صوت است (همهٔ بسته‌های یک دورهٔ فعال با هم ارسال می‌شوند).

برای ترافیک ترکیبی: همان‌طور که گفته شد در حالتِ سوم سیستم قادر به تشخیص نوعِ ترافیک مورد تقاضاست. به این ترتیب، با توجه به نتایج به دست آمده در دو حالتِ قبل، سیستم به صورت مؤثر از مکانیزمِ ارسال مجدد بهره می‌برد. این، یعنی مکانیزم را برای ترافیک وب استفاده می‌کند و در صورتی که ترافیک صوت درخواست شود این مکانیزم را به‌کار نمی‌برد و تنها از عمل صف‌بندی استفاده می‌کند. در شکل () درصد مسدود شدن در حالت ترافیک ترکیبی بر حسب طول صف برای دو نوع ترافیک وب و صوت نشان داده شده است.

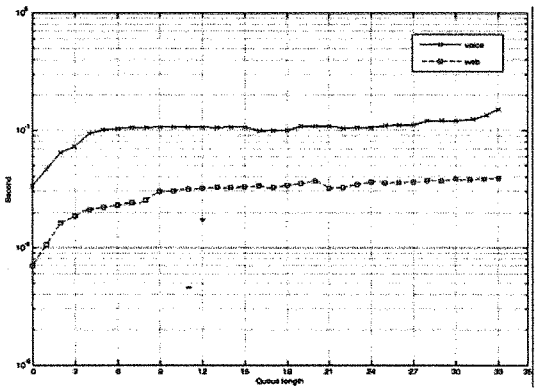


شکل (۷): درصد مسدود شدن در حالتِ ترافیک ترکیبی (حالتِ سوم)

دیده می‌شود که این میزان برای ترافیک وب و ترافیک

صوت نسبت به یک نوع ترافیک در حالتِ اول (بدون استفاده از مکانیزم ارسال مجدد) کاهش یافته است.

به این ترتیب، میزان تلفات در ارسال به لینک خروجی پایین می‌آید. دلیل این کاهش استفادهٔ مؤثر و مناسب از مکانیزم ارسال مجدد و استفاده از یک بافر برای هر دو نوع ترافیک است. جدول (۱) نتایج شبیه‌سازی را در حالت اول و دوم و جدول (۲) نتایج شبیه‌سازی را در حالت سوم نمایش می‌دهد. شکل () نیز میزان تأخیر متوسط را برای کاربران صوت و داده نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود تأخیر ایجاد شده برای کاربران صوت تفاوتِ چندانی با تأخیر نشان داده شده در شکل ()، در حالتِ اول، نکرده است.



شکل (۸): میزان تأخیر در حالت ترافیک ترکیبی

جدول (۱): نتایج شبیه‌سازی برای حالت اول و دوم

	برای ۵۰ کاربر داده		برای ۵۰ کاربر صوت	
	حالت اول	حالت دوم	حالت اول	حالت دوم
حداکثر بسته‌های مسدود شده †	٪ ۳۷	٪۲۱/۴	٪ ۱۱/۳	٪ ۲۰/۰۴
تأخیر متوسط (میلی‌ثانیه)	۹۳/۸۵	۱۳۵/۱۸	۱۱۵/۷	۱۲۴/۸۱
تعداد کاربران مسدود شده	۷	۱	۵	۰
درصد بسته‌های رها شده	٪ ۵/۱۴	٪ ۴/۳۱	۰	۰
زمان متوسط هر نشست	۲۶/۵۴ دقیقه		۱۲۵/۴۲ ثانیه	
حداکثر طول صف	۸۳ بسته		۱۴ دوره فعال	

جدول (۲): نتایج شبیه‌سازی در حالت ترافیک ترکیبی

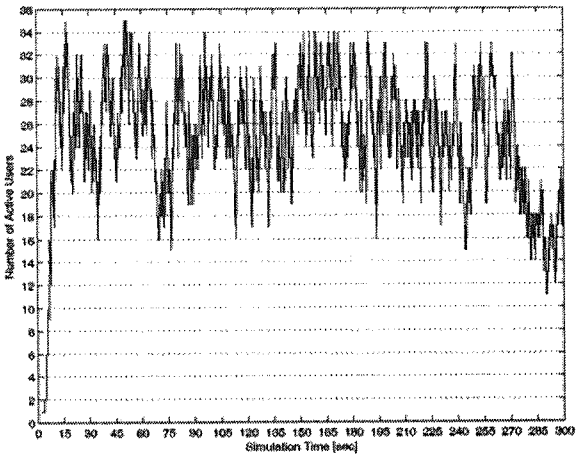
	حالت سوم (ترافیک ترکیبی)	
	کاربران وب	کاربران صوت
حداکثر بسته‌های مسدود شده †	٪ ۲۰/۹	٪ ۱۰/۹
تأخیر متوسط (میلی‌ثانیه)	۳۳/۰۶	۱۰۸/۱۴
تعداد کاربران مسدود شده	۶، ۵، ۴، ۲، ۱، ... و ۰ ††	۰
درصد بسته‌های رها شده	٪ ۰/۶۴	۰

† برای کاربران ترافیک صوت: حداکثر *دوره‌های* مسدود شده.

†† به ترتیب برای طول صف صفر، یک، دو، سه و چهار تا ۳۳.

۳- تأثیر تداخل بر احتمال مسدود شدنِ کاربران

در این بخش، ۵۰ کاربر صوت در سیستم وجود دارند که بر اساس یک فرآیند پواسن به سیستم وارد و بر طبق مُدل آماریِ بیان شده برای ترافیک صوت در بخش ۲-۱- ایجاد شده‌اند. شکل () چگونگیِ تغییرات تعداد کاربران فعال درون سیستم را در بخشی از زمان شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

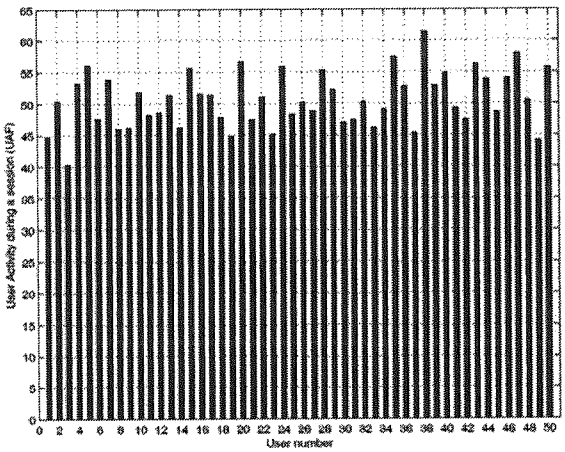


شکل (۹): تعداد کاربران فعالِ سیستم بر حسب زمان شبیه‌سازی

در اینجا پارامتری به نام «فاکتور فعالیت کاربر» به‌صورت (۳) تعریف می‌کنیم که نشان دهندهٔ میزان فعال بودن هر کاربر در طول یک نشست است [۷].

$$\frac{\text{مجموع دوره‌های فعال کاربر در طول نشست}}{\text{کُلِ زمان نشست}} \qquad (۳)$$

شکل () میزان فعالیت ۵۰ کاربر صوت مفروض در این بخش را نشان می‌دهد.

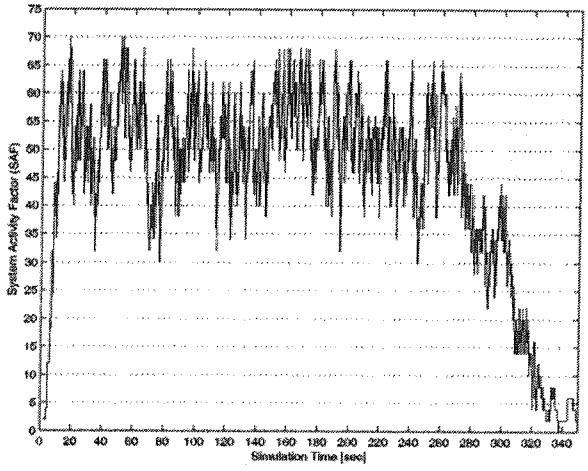


شکل (۱۰): میزان درصد فاکتور فعالیت کاربران

برای نشان دادن نسبتِ کاربران فعال در سیستم، پارامتری به نام «فاکتور فعالیت سیستم» تعریف می‌کنیم که مساوی است با نسبت تعداد کاربران فعال در هر زمان از شبیه‌سازی به کل کاربران موجود در سیستم [۷]. این پارامتر برای کاربران

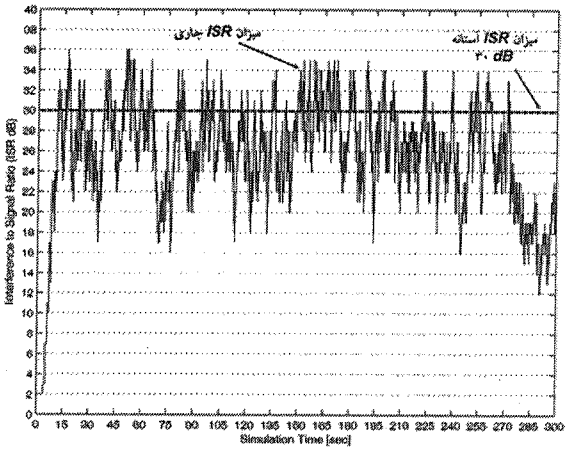
مفروض، در شکل () نشان داده شده است.

در این مقاله با فرض اینکه همهٔ کاربران در یک سلول باشند، فرض شده که هر کاربر در مدت زمانی که فعال است، یک دسیبل تداخل ایجاد می‌کند.



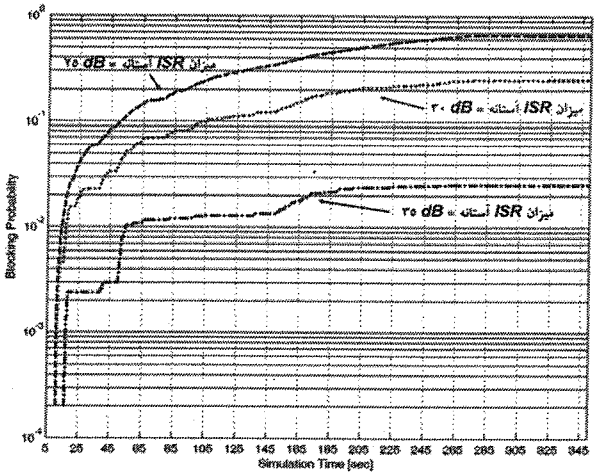
شکل (۱۱): میزان درصد فاکتور فعالیت سیستم

در شکل () میزان نرخ تداخل به سیگنالِ (ISR) ایجاد شده از طرف ۵۰ کاربر در طی دورهٔ شبیه‌سازی دیده می‌شود. احتمال مسدود شدن برخوانی‌ها نیز برای سطوح مختلف آستانهٔ نرخ تداخل به سیگنال، در شکل () نشان داده شده است. هنگامی که یک کاربر برای دریافت اطلاعات انتخاب می‌شود، سیستم (برنامه) میزان ISR جاری را با حداکثر میزان مجازِ ISR، یعنی میزان آستانهٔ ISR مقایسه می‌کند و اگر بیشتر از آن بود، آن کاربر را مسدود می‌کند. بنابراین، احتمال مسدود شدن برخوانی‌ها به‌صورت (احتمالِ ISR جاری بزرگ تر از ISR آستانه) تعریف می‌شود [۷].



شکل (۱۲): میزان ISR سیستم بر حسب زمان شبیه‌سازی

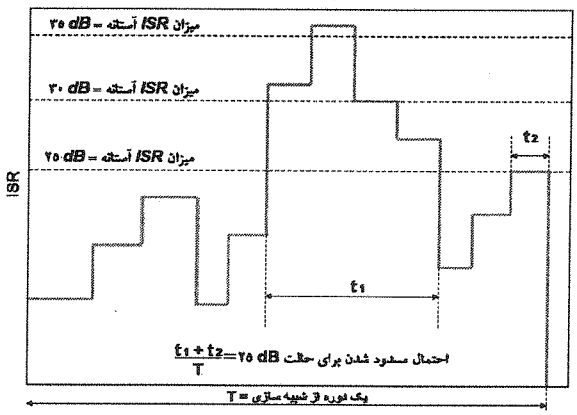
از طرفی برای محاسبهٔ احتمال مسدود شدن کاربران در سیستم برحسب مقادیر متفاوتِ ISR آستانه، می‌توان بر اساس میزان فعالیت کاربران در دوره‌های مشخصِ زمانی در طولِ شبیه‌سازی عمل کرد؛ این یعنی هنگامی که ظرفیت سیستم بر اساس مقدار تداخلِ به وجود آمده به وسیلهٔ کاربران معین می‌شود، میزان فعالیت کاربران و در نتیجه میزان فعالیت سیستم به‌طور مستقیم بر ظرفیت تأثیر می‌گذارد [۷]. بنابراین، باید برای داشتنِ کیفیت سرویسِ مطلوب، احتمال مسدود شدن کاربران را بر اساس میزان تداخلِ مجاز بیابیم. در شکل () میزان فعالیت سیستم در یک دورهٔ زمانی از شبیه‌سازی نشان داده شده است.



شکل (۱۳): احتمال مسدود شدن کاربران بر حسب زمان شبیه‌سازی

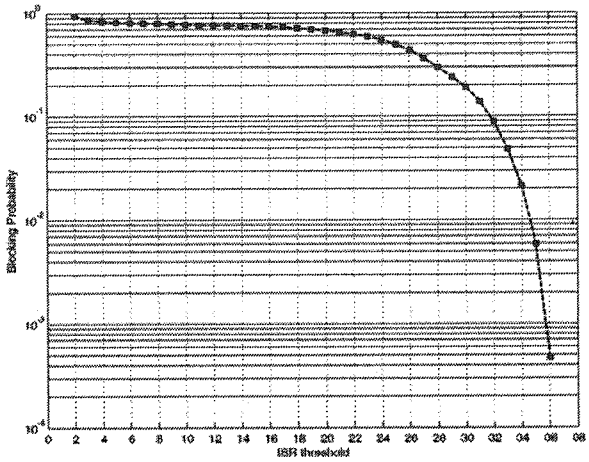
همان‌طور که از شکل () دیده می‌شود، احتمال مسدود شدن در سیستم را می‌توان با در نظر گرفتن میزان ISR مشخصی، به‌عنوان بخشی از زمان؛ که در آن فعالیت سیستم موجب زیادتر شدن میزان ISR از حدِ آستانه می‌شود، پیدا کرد. به این ترتیب احتمالِ مسدود شدن مساوی (٤) است [۷]:

$$\frac{\text{مجموع زمان‌هایی که ISR از حد آستانه تجاوز می‌کند}}{\text{کُلِ زمان اندازه‌گیری}} \qquad (۴)$$



شکل (۱۴): فعالیت سیستم درون یک دورهٔ زمانی از شبیه‌سازی

اگر کیفیت سرویس را بر اساس میزان قابل قبولی از ISR آستانه اندازه‌گیری کنیم، می‌توان احتمال مسدود شدن در سیستم را برحسب کیفیت سرویس نشان داد. این مسأله در شکل () دیده می‌شود.



شکل (۱۵): احتمال مسدود شدن در سیستم بر حسب ISR آستانه

ملاحظه می‌شود که با افزایش ISR آستانه، به علت کمتر شدنِ زمان‌هایی که ISR جاری از حد آستانه زیادتر می‌شود، احتمالِ مسدود شدن کاربران کاهش می‌یابد و در نتیجه، ظرفیت سیستم افزایش پیدا می‌کند.

٤- نتیجه

در این مقاله، الگوریتمی برای افزایش کارایی منابع ترافیکی صوت و داده و افزایش ظرفیت سیستم ارایه شد؛ شبیه‌سازی‌ها در سه حالت انجام شد: در حالت اول، مکانیزم پیشنهاد شده از طرف 3GPP به تنهایی و بدون استفاده از مکانیزم ارسال مجدد، برای یک نوع ترافیک با ۵۰ کاربر، مُدل‌سازی شد. در حالت دوم، مکانیزم ارسال مجدد به حالتِ اول اضافه گشت و در حالتِ سوم از ترافیک ترکیبیِ صوت و دیتا برای ۵۰ کاربر استفاده شد. ملاحظه شد که با استفاده از مکانیزم ارسال مجدد می‌توان درصد مسدود شدن بسته‌های ترافیک وب را حداکثر تا میزان ۲۲ ٪ کاهش داد که البته این در مقابلِ افزایش تأخیر است. در حالتِ سوم ملاحظه شد که با اِعمال مکانیزم ارسال مجدد بر اساس تشخیص نوع ترافیک درخواستی به وسیلهٔ برنامه، حداکثر بسته‌های مسدود شده برای ۵۰ کاربر وب نسبت به حالت اول ۱۶/۱ ٪ و نسبت به حالت دوم حداقل ۰/۵ ٪ کاهش پیدا کرده است.

برای ترافیک صوت نیز میزان درصد تلفات دوره‌های فعال از ۱۱/۳ ٪ در بدترین حالت به ۱۰/۹ ٪ کاهش پیدا کرده است. میزان رها شدن بسته‌های کاربران وب نشان دهندهٔ تأثیر مثبت مکانیزم ارسال مجدد بر این پارامتر است. به این ترتیب می‌توان با استفادهٔ مؤثر از مکانیزم ارایه شده ظرفیت سیستم را برای پشتیبانی از ارسال به لینک خروجی با حداقلِ تلفات، افزایش داد.

مورد دیگری که در این مقاله ارزیابی و شبیه‌سازی شد، تأثیر میزان تداخل ایجاد شده از طرف کاربران فعال بر احتمال مسدود شدن و در نتیجه بر میزان ظرفیت سیستم است. پس از انجام شبیه‌سازی‌ها برای ۵۰ کاربر صوت دیده شد که ظرفیت سیستم و در واقع احتمال مسدود شدن کاربران به‌طور مستقیم با میزان فعالیت کاربران و میزان فعالیت سیستم و در نتیجه با نحوه مُدل‌سازی ترافیک رابطه دارند.

از طرفی مشاهده شد که با افزایش زمان شبیه‌سازی و افزایش میزان فعالیت سیستم، با توجه به حد آستانهٔ ISR، احتمال مسدود شدن کاربران به شدت افزایش می‌یابد. همچنین اگر در طول یک دورهٔ مشخصِ شبیه‌سازی، کیفیت سرویسِ مطلوب را بر اساس ISR آستانه اندازه‌گیری کنیم، ملاحظه می‌شود با افزایش سطحِ آستانهٔ ISR احتمال مسدود شدن کاربران کاهش یافته و در نتیجه ظرفیت سیستم افزایش پیدا می‌کند. به این ترتیب، باید بین ظرفیت سیستم و کیفیت سرویس مصالحه‌ای صورت گیرد.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله مراتب سپاس و تشکر خود را از حمایت‌های مادی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران و قطب علمی سیستم‌های الکترومغناطیسِ کاربردی دانشگاه تهران در انجام این تحقیق اعلام می‌کنند.

۶- مراجع

[۱] Minoru Etoh; Next Generation Mobile Systems, 3G And Beyond. DoCoMo communication Lab, USA, John Wiley & Sons,Ltd, 2005.

[۲] David Soldani; "QoS Manegment in UMTS Terrestrial Radio Access FDD Networks" Helsinki University of Technology, Phd Thesis, October 2005.

[۳] 3GPP, R5, TS 25.211 "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)"; www.etsi.org

[۴] 3GPP, R5, TR 101.112 "Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS"; www.etsi.org

[۵] David Soldani and Jaana Laiho "A Virtual Time Simulator for QoS Management Function in UTRAN"; Nokia Networks, IP Mobility Networks, IEEE 2003.

[۶] A. Capone, M. Cesana, G. D'Onofrio, and L. Fratta "Mixed Traffic in UMTS Downlink"; IEEE Microwave and wireless components letters, Vol. 13, No. 8, August 2003.

[۷] T. Van Nguyen "Capacity Improvement Using Adaptive Sectorization in WCDMA Cellular Systems With Non-Uniform and Packet Mode Traffic"; Victoria University, Melbourne, PhD Thesis, March 2005.