

طراحی الگوریتم جدید زمان‌بندی با توجه به کیفیت سرویس برای کاربران متحرک بلادرنگ و غیربلادرنگ با سرعت های متفاوت در شبکه‌های LTE

مجیدرضا رضایی، مهدی مهدوی

دانشجوی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان، majidreza.rezaee1989@gmail.com

دانشیار دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، m_mahdavi@cc.iut.ac.ir

چکیده

مهمترین معضل در تخصیص منابع در شبکه های بدون سیم، اختصاص منبع به کاربران با سرعت های مختلف می‌باشد به نحوی که کیفیت سرویس درخواستی این گونه کاربران برآورده شود. در این مقاله الگوریتمی پیشنهاد می‌شود که کیفیت سرویس را برای کاربران با سرعت های مختلف در شبکه LTE فراهم آورده و نرخ ارسال شبکه را افزایش می دهد. کاربران با توجه به نوع ترافیک به دودسته بلادرنگ یا غیربلادرنگ با کیفیت سرویس های متفاوت تقسیم بندی می‌شوند. در الگوریتم پیشنهادی علاوه بر نوع ترافیک کاربر، سرعت نیز لحاظ می‌شود و بخصوص به کاربران دارای سرعت بالا که دارای همبستگی کانال در بازه‌ی زمانی ارسال نیستند نیز به گونه‌ای منبع تعلق می‌گیرد که پارامترهای کیفیت سرویس آنها حفظ شود. به همین جهت در این الگوریتم برای کاربران با توجه به نوع ترافیک آنها معادله‌ای تعیین می‌شود که بر اساس این معادله انتخاب کاربر و اختصاص منبع به آن انجام می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی بیان گر آن است که استفاده از الگوریتم پیشنهادی در شبکه LTE می‌تواند پارامترهای کیفیت سرویس نظیر متوسط نرخ ارسال، تاخیر و نرخ از دست رفتن بسته را نسبت به الگوریتم های مطرح موجود بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی

LTE، کاربران متحرک، زمان‌بندی ارسال، کیفیت سرویس، ترافیک بلادرنگ

۱- مقدمه

با رشد سریع سرویس های اینترنتی و بلادرنگ نظیر صدا و تصویر و نیاز به برآورده کردن کیفیت سرویس مورد نیاز کاربران، انتظار می‌رود که نسل‌های اخیر شبکه‌های سلولی نظیر LTE نیز دسترسی در همه نقاط را برای کاربران موبایل فراهم نمایند. LTE از دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی عمود بر هم (OFDMA) در جهت فرسو واز دسترسی SC-FDMA در فراسو استفاده می‌کند. هدف از طراحی شبکه‌ی LTE فراهم آوردن نرخ بالای اطلاعات، کاهش تاخیر و مهیا نمودن کارایی بالای طیف در حضور کاربران با سرعت های متفاوت می‌باشد [۱۰]. برای رسیدن به این اهداف در مدیریت منابع رادیویی، از عملکردهای لایه‌ی فیزیکی و زیرلایه‌ی کنترل دسترسی (MAC) استفاده می‌شود. از جمله‌ی این عملکردها می‌توان به اشتراک گذاشتن منابع، ارسال گزارش نشان‌دهنده‌ی کیفیت کانال و روش کدینگ و مدولاسیون وفقی (AMC) اشاره نمود. در ادامه و در بخش بعد پیشینه تحقیقات انجام گرفته ارائه می‌گردد. سپس الگوریتم پیشنهادی به‌همراه جزئیات مورد نیاز توضیح داده می‌شود. سپس شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی انجام و عملکرد آن با الگوریتم‌های مطرح انجام می‌گردد. در نهایت نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

برای فراهم کردن کیفیت سرویس کاربران در شبکه‌های LTE الگوریتم‌های زمان‌بندی مختلفی طراحی شده‌است. از جمله الگوریتم‌هایی که طراحی شده است می‌توان به الگوریتم PF و کاربرد های آن که در [۳-۱] آمده، اشاره کرد. این نوع الگوریتم‌ها برای کاربران غیربلادرنگ و برای برقراری عدالت بین کاربران طراحی شده‌است. از دیگر مقالاتی که در این زمینه ارائه شده است می‌توان به الگوریتم LWDF [۴] اشاره کرد که برای کاربران بلادرنگ طراحی شده است. در این الگوریتم برای تعیین کاربر تاخیر بسته‌ی سرفس مد نظر قرار داده می‌شود به گونه‌ای که کاربری که بسته‌ی سرفس مدت زمان بیشتری در صف بوده باشد، انتخاب می‌شود. نویسندگان [۵] الگوریتم EXP را پیشنهاد داده اند که با استفاده از قانون EXP اولویت کاربران را تعیین می‌کند. این قانون نرخ ارسال بهینه را ایجاد و کمک به پایداری صف می‌کند. بعضی از پیشنهادها براساس پیشینه‌سازی مواردی نظیر نرخ ارسال و عدالت می‌باشد [۶،۷]. نویسندگان در [۸] الگوریتمی بر اساس الگوریتم Round Robin ارائه کرده‌اند. این الگوریتم، با این که در شبکه‌های سیمی به‌خوبی پاسخ گوی نیازهای کاربران می‌باشد ولی به علت اینکه شرایط کانال را در نظر نمی‌گیرد، برای کاربردهای بلادرنگ مناسب نیست. در [۹] الگوریتمی با نام M-LWDF برای سرویس‌های بلادرنگ طراحی شده‌است. از مزایای این الگوریتم می‌توان به در نظر گرفتن کیفیت سرویس مورد نیاز شرایط کانال اشاره نمود. ولی ایرادی که می‌توان به این الگوریتم گرفت، عملکردش درمورد از

زمان برابر با یک بازه‌ی زمانی ارسال در نظر گرفته شده است)، سرعت نور و فرکانس مرکزی که مقدارش مطابق با استاندارد 3GPP برابر ۲ گیگاهرتز در نظر گرفته شده، می‌باشند. بعد از محاسبه‌ی سرعت مرزی، برای تعیین زمان ارسال گزارش از شرایط کانال توسط کاربر برای ایستگاه مبنا، تعداد بلوک منابع پی در پی که کاربر با سرعت v بر روی آن‌ها دارای همبستگی کانال است از رابطه (۲) محاسبه می‌شود [۱۱]:

$$v = \frac{20c}{4mf * 10^{-2}} \quad (2)$$

در رابطه‌ی ۲، n بیانگر تعداد بلوک منابع برای کاربری که با سرعت v در حرکت است و همبستگی کانالش روی این تعداد بلوک حفظ می‌شود، می‌باشد. عدد 10^{-2} بیانگر طول فریم [۱۲] (مطابق با استاندارد ۱۰ میلی-ثانیه) و عدد ۲۰ در صورت رابطه‌ی ۲، بیانگر تعداد بلوک منابع پی‌درپی در حوزه‌ی زمان در ساختار فریم LTE است. با محاسبه‌ی سرعت مرزی دیگر نیازی نیست که تمامی کاربران در ابتدای هر بازه‌ی زمان‌بندی گزارش کانال خود را ارسال کنند، در نتیجه سربرار کم می‌شود. بعد از محاسبه‌ی سرعت مرزی، کاربران به صورت زیر به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. در این تقسیم‌بندی منظور از MUD و FD نحوه‌ی تخصیص بلوک منبع به کاربر است. در MUD بلوک منابع به کاربران در کنار هم و در یک زیر کانال تخصیص می‌یابد در صورتی که در FD بلوک منبع در زیرکانال‌های مختلف تخصیص داده می‌شود.

گروه I: این گروه شامل کاربران با سرعت کمتر از 135 km/h بوده و به صورت MUD بلوک منبع دریافت می‌کنند لازم به ذکر است که سرعت 135 km/h با جایگذاری مقادیر سرعت نور و فرکانس مطابق با استاندارد 3GPP و مقدار n که برابر با ۲ که مطابق با یک بازه‌ی زمانی ارسال است، در نظر گرفته شده و از رابطه‌ی ۲ بدست آمده است.

گروه II: شامل کاربران با سرعت بیشتر از 135 km/h هستند که به علت بالا بودن سرعتشان و عدم همبستگی کانالشان به صورت FD بلوک منبع دریافت می‌کنند.

- مرحله ۲: تعیین نرخ ارسال داده کاربران تا ایستگاه مبنا

برای محاسبه‌ی متوسط نرخ ارسال کاربران ابتدا باید مقدار سیگنال به نویز هر کاربر در تمامی زیرکانال‌ها محاسبه شود. برای هر دو گروه کاربران با سرعت کمتر از 135 km/h و کاربران با سرعت بیشتر از 135 km/h ، مقدار سیگنال به نویز در هر زیر کانال تا ایستگاه مبنا با استفاده از رابطه ۳ برای کاربر i در زیر کانال j محاسبه می‌شود [۱۲]:

$$SNR_{i,j}(t) = \frac{P_{total} \times Gain_{i,j}(t)}{N_B(I + N_o)} \quad (3)$$

در رابطه‌ی ۳، پارامترهای P_{total} کل توان ارسالی ایستگاه مبنا، N_B تعداد بلوک منابع در دسترس، N_o توان نویز حرارتی و I توان تداخل بین

دست رفتن بسته برای تعداد کاربران بیشتر از ۳۰ می‌باشد. در [۱۰] الگوریتمی با نام DAPS ارائه شده است که کیفیت سرویس را برای کلاس‌های ترافیکی مختلف با در نظر گرفتن شرایط کانال، عدالت، نرخ اطلاعات و مقداری که به عنوان وزن تاخیر معرفی می‌کند، مهیا می‌سازد. نتایج شبیه‌سازی موجود در [۱۰] بیانگر این است که این الگوریتم از نظر تاخیر برای ترافیک‌های غیر بلادرنگ نامناسب است و نسبت به الگوریتم‌های دیگر تاخیر بیشتری برای ترافیک‌های غیر بلادرنگ دارد. بررسی الگوریتم‌های ارائه شده در تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که در این الگوریتم‌ها به سرعت کاربر و تاثیر آن بر پارامترهای کیفیت سرویس مانند نرخ از دست رفتن بسته یا تاخیر و همچنین به ظرفیت شبکه توجهی نشده است بلکه تلاش بر این بوده است که با افزایش تعداد کاربران دارای عملکرد مناسبی باشند.

۳- الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم ارائه شده با عنوان SAW-QoS برای جهت فروسو طراحی شده است اما می‌تواند برای جهت فراسو نیز مورد استفاده قرار گیرد. هدف از طراحی این الگوریتم، تاثیر دادن مناسب سرعت کاربران بر نرخ ارسال شبکه و پارامترهای کیفیت سرویس نظیر تاخیر و نرخ از دست رفتن بسته- است. این الگوریتم از ۵ مرحله تشکیل شده است که در ابتدای هر بازه‌ی زمانی ارسال این مراحل به صورت روبرو انجام می‌شوند: ۱- تقسیم‌بندی کاربران براساس سرعت حرکت آنها، ۲- محاسبه‌ی نرخ ارسال داده کاربران تا ایستگاه مبنا، ۳- محاسبه‌ی تعیین اولویت هر صف مربوط به کاربر، ۴- محاسبه‌ی تعداد بلوک منابع به هر صف کاربر برای تامین کیفیت سرویس‌شان و تخصیص بلوک منبع به کاربران. در ادامه هر کدام از این مراحل توضیح داده می‌شوند.

۴- توضیح مراحل الگوریتم

- مرحله ۱: تقسیم بندی کاربران براساس سرعت حرکت

در این مرحله کاربران براساس سرعتشان به دو دسته تقسیم می‌شوند. برای این تقسیم‌بندی نیاز است که سرعت کاربر را محاسبه نمود. بر اساس مقدار سرعت کاربران به دو گروه مجزا بخش می‌شوند. گروه اول که در بازه‌ی زمانی ارسال دارای کانال همبسته‌ای هستند و گروه دوم دارای کانال همبسته نمی‌باشند. از این رو سرعتی به نام سرعت مرزی مطابق با رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود. منظور از سرعت مرزی سرعتی است که در سرعت-های بالاتر از آن تعداد بلوک منبع تخصیص یافته به کاربر برای همبستگی کانال کاربر تغییر می‌کند و کمتر می‌شود:

$$T_c = \frac{c}{4fv} \quad (1)$$

در رابطه‌ی ۱، پارامترهای c ، T_c و f به ترتیب بیانگر سرعت حرکت کاربر، مدت زمانی که کانال کاربر با سرعت حرکت v همبسته است (این

مطابق با [۱۳] در رابطه‌ی ۶، $\overline{Rate}_{i,eNB}^t$ از رابطه‌ی ۵ بدست می‌آید که بیانگر متوسط نرخ کاربران در بازه‌ی زمانی ارسال t ام می‌باشد. پارامتر γ با توجه به نوع ترافیک کاربر t ام تعیین می‌شود که برای اولویت دادن به ترافیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مقدار برای ترافیک صدا برابر با ۱، برای ترافیک ویدئو برابر با ۰/۸ و برای ترافیک صفحات اینترنت نیز برابر با ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود. همچنین $r_{i,k}^t$ با استفاده از رابطه‌ی ۷ بدست می‌آید که به ترتیب نرخ ارسال داده کاربر t ام در زیر کانال k ام بر حسب بیت بر سمبل در بازه‌ی زمانی ارسال قبلی ($t-1$) و فعلی می‌باشد. همچنین $\overline{Rate}_{i,eNB}^{t-1}$ متوسط نرخ کاربر i تا ایستگاه مبنا در بازه‌ی ارسال قبلی می‌باشد [۱۴]:

$$r_{i,k}^{t-1} = 0.8r_{i,k}^{t-1} + 0.2\overline{Rate}_{i,eNB}^{t-1} \quad (7)$$

همانطور که از رابطه ۶ مشخص است برای محاسبه‌ی اولویت کاربران نیاز به محاسبه‌ی F_i می‌باشد. برای ترافیک‌های بلادرنگ با توجه به این که حساس به تاخیر هستند، F_i مشابه [۱۵] از رابطه‌ی ۸ قابل حصول می‌باشد:

$$F_i = delay_i - W_i - \Delta T_i \quad (8)$$

در این رابطه $delay_i$ حداکثر تاخیر قابل تحمل بسته‌ی سر صف کاربر t ام بوده که با توجه به نوع ترافیک بسته مشخص می‌شود. W_i مدت زمان انتظار بسته‌ی سر صف کاربر t در ابتدای بازه‌ی زمانی ارسال t ام است. ΔT_i نیز برابر با زمان احتیاط برای دوری از، از بین رفتن بسته است که این مقدار برابر با ۱ میلی‌ثانیه پیشنهاد می‌شود. مقدار F_i برای کاربران غیربلادرنگ نیز از به صورت مشابه با توجه [۱۳] از رابطه‌ی ۹ بدست می‌آید:

$$\begin{cases} F_i = \frac{\bar{\eta}_i^t}{\eta_i} \\ \bar{\eta}_i^t = 0.8 \times \bar{\eta}_i^{t-1} + \frac{0.2 \times q_i}{T_c} \end{cases} \quad (9)$$

که η_i حداقل نرخ ارسال کاربر t ام می‌باشد. q_i تعداد بیت‌های قابل ارسال صف کاربر t ام در بازه‌ی زمانی ارسال t ام با توجه به متوسط نرخ بیتش روی تمام زیر کانال‌های موجود است. T_c برابر با بازه‌ی زمانی ارسال یعنی یک میلی‌ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

- مرحله ۴: محاسبه و تخصیص بلوک منابع هر صف

برای تعیین تعداد بلوک قابل اختصاص به هر کاربر در هر بازه زمانی، ابتدا صف‌ها براساس اولویت‌های محاسبه شده مرتب می‌شوند. سپس هر صف براساس اولویت مربوطه اش تا جایی بلوک منبع دریافت می‌کنند که دیگر بلوک منبعی در این بازه‌ی زمانی ارسال در زیرکانال‌ها برای تخصیص وجود نداشته باشد. کاربران در هر بازه‌ی زمانی ارسال تعدادی بیت به عنوان بیت ضروری دارند که اگر در بازه‌ی زمانی ارسال جاری ارسال نگردد از بین خواهد رفت. براین اساس تعداد بلوک منابع مورد نیاز هر کاربر (به عنوان مثال کاربر u_i) در ابتدای بازه‌ی زمانی ارسال از رابطه‌ی ۱۰ بدست می‌آید:

سلولی را نشان می‌دهند. همچنین مقدار بهره‌ی کانال برای کاربر t ام در زیرکانال t ام و در بازه‌ی زمانی ارسال t ، از رابطه‌ی ۴ بدست می‌آید [۱۲]:

$$Gain_{i,j} = 10^{\left(\frac{pl_i(t)}{10}\right)} \times 10^{\left(\frac{\xi_i(t)}{10}\right)} \times 10^{\left(\frac{mpath_i(t)}{10}\right)} \quad (4)$$

در رابطه‌ی ۴، $pl_i(t)$ نشان‌دهنده‌ی افت مسیر کاربر i در بازه‌ی زمانی ارسال t ام بر حسب دسی‌بل، $\xi_i(t)$ بیانگر اثر سایه کاربر i در بازه‌ی زمانی ارسال t ام بر حسب دسی‌بل و $mpath_{i,j}$ نشان‌دهنده‌ی محوشدگی چند مسیری کاربر i در بازه‌ی زمانی ارسال t و در زیر کانال t ام بر حسب دسی‌بل را نشان می‌دهد. ایستگاه مبنا بعد از محاسبه‌ی مقدار سیگنال به نویز، مقدار متوسط نرخ کاربران تا ایستگاه مبنا را بر اساس رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌کند:

$$\overline{Rate}_{i,eNB}^t = \frac{\sum_{k=1}^L R_{i,eNB}^{k,t}}{L} \quad (5)$$

در رابطه‌ی ۵، k بیانگر تعداد زیرکانال‌ها بوده که با توجه به پهنای باند مشخص می‌شود و متوسط‌گیری بر روی آن‌ها انجام می‌شود، $R_{i,eNB}^{k,t}$ و $\overline{Rate}_{i,eNB}^t$ به ترتیب بیانگر نرخ کاربر i تا ایستگاه مبنا در زیرکانال k و متوسط نرخ کاربر t ام تا ایستگاه مبنا در بازه‌ی زمانی ارسال t ام هستند. همچنین مقدار L در مخرج عبارت برابر با تعداد زیر کانال‌ها می‌باشد.

- مرحله ۳: محاسبه‌ی اولویت هر صف

در این مرحله اولویت هر صف محاسبه می‌شود. مقدار اولویت صف مربوط به کاربر t ام در زیر کانال k ام با $m_{i,k}^{SAW-QoS}$ نشان داده می‌شود. برای هر صف مقدار اولویت در هر بازه‌ی زمانی ارسال محاسبه شده و صفی که بیشترین الویت را دارد، انتخاب می‌شود تا به عنوان اولین صف (کاربر) داده‌های خود را ارسال کند. بعد از محاسبه‌ی اولویت، در بین صف‌های با مقدار معیار یکسان، به صفی که بسته‌ی سرصف آن تاخیر بیشتری دارد، اولویت داده می‌شود. اگر این عامل نیز در بین صف‌ها یکسان باشد، صفی که ترافیکش اولویت بالاتری دارد، انتخاب می‌شود یعنی ابتدا ترافیک صدا و سپس ترافیک ویدئو و در نهایت ترافیک صفحات اینترنت برای ارسال داده‌هایشان انتخاب می‌شوند. چنانچه صف‌هایی وجود داشته باشند که همه‌ی موارد مذکور در آن‌ها یکسان باشد، یک صف به تصادف از میان هر کدام از صف‌ها و با احتمال یکسان انتخاب می‌شود. برای ترافیک‌های بلادرنگ و غیر بلادرنگ مقدار اولویت هر صف از رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$m_{i,k}^{SAW-QoS} = \begin{cases} \gamma \frac{\overline{Rate}_{i,eNB}^t}{r_{i,k}^t} & F_i \geq 1 \\ \gamma & F_i < 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$path_loss = 128.1 + 37.6 \log(d) \quad (13)$$

در رابطه‌ی ۱۳، d بیانگر فاصله‌ی بین کاربر و ایستگاه مبنا بر حسب کیلومتر می‌باشد. اثر سایه نیز بر اساس استاندارد 3GPP بر اساس [۱۶] به صورت یک توزیع log-normal با متوسط صفر دسی‌بل و انحراف معیار ۸ دسی‌بل و محوشدگی چند مسیریگی کانال به صورت رایلی در نظر گرفته شده‌اند. کاربران ابتدا در فواصل ۱۰ تا ۱۰۰ متری ایستگاه مبنا طبق توزیع یکنواخت قرار گرفته‌اند و سپس به صورت شعاعی و با سرعت ثابت از ایستگاه مبنا دور می‌شوند. لازم به ذکر است که تعداد کاربران صدا و ویدئو هر کدام برابر با ۲۰ و تعداد کاربران وب نیز برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است.

الگوریتم‌های انتخابی برای مقایسه به شرح زیر می‌باشند:

- الگوریتم M-EDF-PF [۱۷]:

این الگوریتم بدین دلیل انتخاب شده است که ساختاری با پیچیدگی کم دارد و به صورت ترکیبی از دو الگوریتم EDF و PF طراحی شده است تا کیفیت سرویس را برای ترافیک‌های بلادرنگ در جهت فروسو بالا ببرد. الگوریتم M-EDF-PF هر دو ویژگی آگاه از شرایط کانال و آگاه از کیفیت سرویس را دارا است. همچنین هر دوی ویژگی عدالت با توجه به وجود الگوریتم PF و ضمانت حد تاخیر با توجه به وجود الگوریتم EDF را دارا بوده و یک تعادل خوب بین گذردهی، عدالت و کیفیت سرویس را برقرار می‌سازد.

- الگوریتم FBAQ [۱۸]:

این الگوریتم بدین دلیل انتخاب شده است که یک معیار برای انتخاب کاربران بلادرنگ و یک معیار برای انتخاب کاربران غیربلادرنگ در نظر می‌گیرد و مانند الگوریتم پیشنهادی برای کاربران بلادرنگ و غیربلادرنگ از قبل بلوک منابعی را رزرو می‌کند که بعد از تعیین اولویت به آن‌ها تخصیص دهد که این موضوع خود باعث داشتن کیفیت سرویس برای کاربران است.

- الگوریتم TLS [۱۹]:

این الگوریتم بدین دلیل انتخاب شده که در دو سطح برای برقراری کیفیت سرویس برای کاربران طراحی شده است. ایده‌ی سطح بالاتر این الگوریتم بر اساس نظریه کنترل خطی زمان گسسته بوده و در سطح پایین از دو الگوریتم زمان‌بندی یکی برای انتخاب کاربران بلادرنگ و دیگری برای کاربران غیربلادرنگ استفاده می‌نماید. همچنین در این الگوریتم در هر بازه‌ی زمانی ارسال، بلوک منابع براساس تعداد بیت باقیمانده در صف به کاربران تخصیص داده می‌شود که این امر باعث می‌شود که در هر مرحله تعداد بیت بیشتری ارسال شود و کیفیت سرویس بهتری برقرار شود.

- بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی

همانطور که در بخش ۳-۲ مشخص شد، مقدار گاما در انتخاب کاربران نقش مهمی دارد و مقدار آن باید به گونه‌ای باشد که اگر برای تعیین کاربر نیاز به استفاده از ضابطه‌ی دوم رابطه‌ی ۶ بود (یعنی حالتی که $F_i < 1$ باشد)، کاربران بلادرنگ انتخاب شوند. به همین علت مقادیر

$$N_{\min}^{RB u_i} = \left\lceil \frac{I_u^i}{Rate_{i,eNB}^t . M} \right\rceil \quad (10)$$

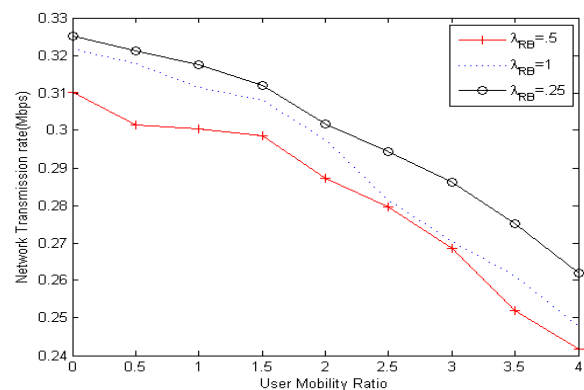
در رابطه‌ی ۱۰ بیانگر تعداد بیت ضروری در صف بوده و M نیز از رابطه‌ی ۱۱ محاسبه خواهد شد:

$$M = \frac{N_C N_s}{T} \quad (11)$$

در رابطه‌ی ۱۱، N_s و N_c به ترتیب برابر با تعداد زیر حامل‌ها و تعداد سمبل‌های OFDM در هر بلوک منبع بوده و T نیز طول زمانی یک بلوک منبع را نشان می‌دهد. برای جلوگیری از تخصیص تمامی بلوک منابع موجود در یک بازه‌ی زمانی ارسال به یک کاربر محدودیتی بر روی تعداد بلوک منابع مورد نیاز هر کاربر مطابق با رابطه‌ی زیر قرار می‌گیرد:

$$N_{\min}^{u_i} = \min \left(\lambda_{RB}, \left\lceil \frac{I_u^i}{Rate_{i,eNB}^t . M} \right\rceil \right) \quad (12)$$

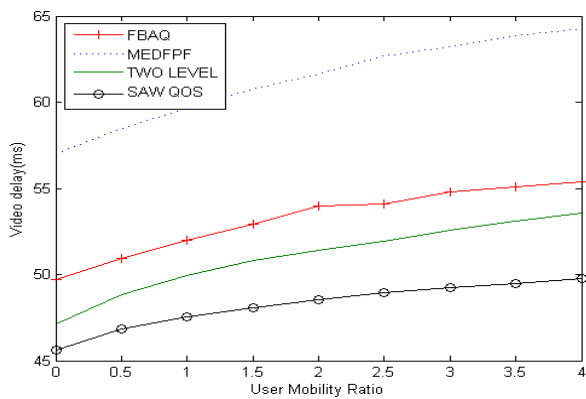
λ_{RB} حداکثر بلوک منبعی است که می‌توان به هر کاربر اختصاص داد. نتایج شبیه‌سازی (شکل ۱) نشان می‌دهد که در مقدار $\lambda_{RB} = 0.25$ نرخ ارسال شبکه بالاتر از سایر مقادیر λ_{RB} می‌باشد. بنابراین مقدار ۰/۲۵ برای λ_{RB} انتخاب می‌شود. پس از محاسبه‌ی بلوک منابع مورد نیاز هر کاربر، تخصیص منابع به کاربران باید انجام شود. برای تخصیص بلوک منبع، ابتدا کاربران بر اساس اولویت محاسبه شده مرتب نمود و سپس کاربر با بالاترین اولویت انتخاب می‌شود و به ترتیب از بیشترین به کمترین اولویت بلوک منبع تعلق می‌گیرد. کاربران گروه I بر اساس روش MUD و کاربران گروه II مطابق با روش FD بلوک منبع دریافت می‌کنند.



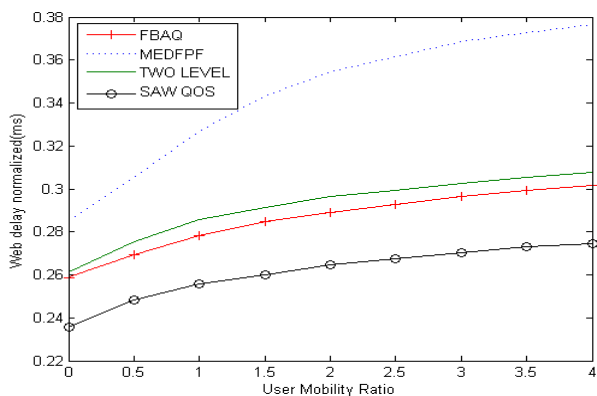
شکل ۱: تغییرات نرخ ارسال شبکه با تغییرات λ_{RB}

۵- شبیه‌سازی و نتایج

در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم ارائه شده و سه الگوریتم مقایسه شده با آن بوسیله‌ی نرم‌افزار OPNETv.14.5 آورده شده است. افت مسیر برای هر کاربر در ابتدای بازه‌ی زمانی ارسال مطابق با رابطه‌ی ۱۳ محاسبه می‌شود [۱۶].

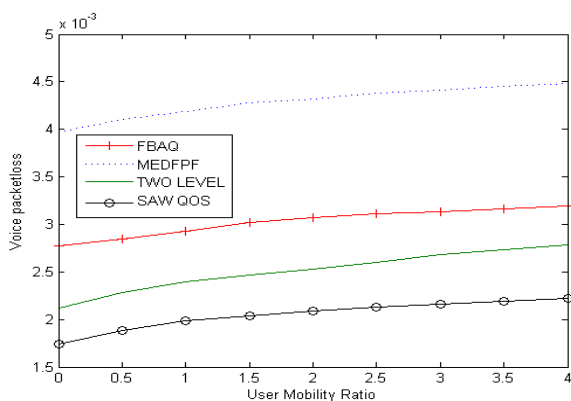


شکل ۴: تاخیر بسته‌های ویدئو



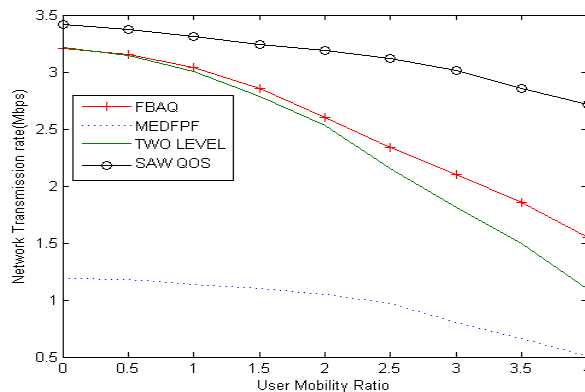
شکل ۵: تاخیر بسته‌های وب نسبت به بیشینه تاخیر

شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب نرخ از دست رفتن بسته‌های صدا و ویدئو را نشان می‌دهند. مطلب کلی که از دو شکل ۶ و ۷ مشخص می‌باشد، افزایش نرخ از دست رفتن بسته‌ها با افزایش سرعت است. در الگوریتم پیشنهادی به علت استفاده از بیت‌های ضروری نرخ از دست رفتن بسته نسبت به سه الگوریتم دیگر کمتر می‌باشد. در سرعت‌های بالاتر از 135km/h نیز با توجه به نحوه تخصیص بلوک منابع و عدم توانایی سه الگوریتم FBAQ، MEDFPF و TLS در مقابله با محو شدگی، نرخ از دست رفتن بسته این سه الگوریتم نسبت به الگوریتم پیشنهادی بیشتر است.



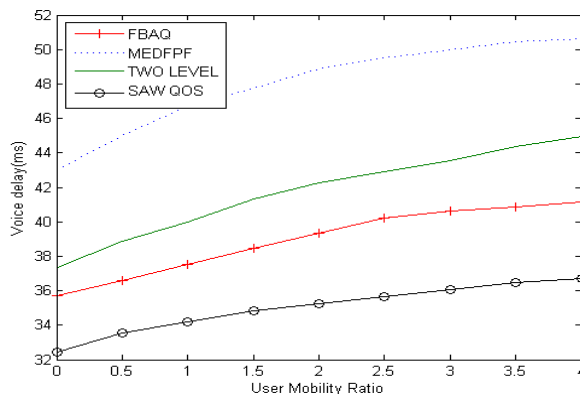
شکل ۶: نرخ از دست رفتن بسته‌های صدا

به‌گونه‌ای تنظیم شده‌اند که هدف بیان شده برقرار شود. در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی و همچنین الگوریتم‌های موجود در [۱۷]، [۱۸] و [۱۹] ارائه می‌شوند. شکل ۲ نشان دهنده نرخ ارسال شبکه برای هر ۴ الگوریتم می‌باشد.



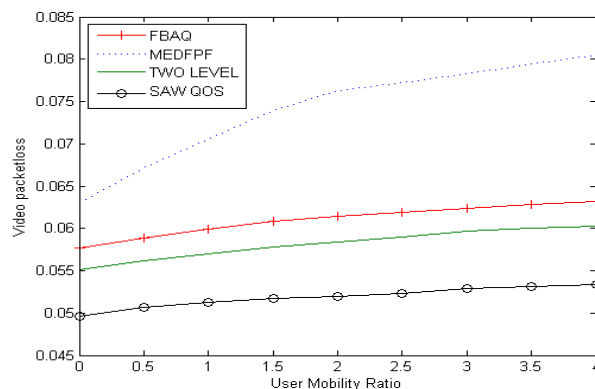
شکل ۲: نرخ ارسال شبکه

با توجه به شکل ۲ مشخص است که نرخ ارسال شبکه در هر چهار الگوریتم با افزایش سرعت کاربران کاهش می‌یابد. همانطور که بیان شد سه الگوریتم FBAQ، MEDFPF و TLS در تمامی سرعت‌ها به روش MUD به کاربران بلوک منبع تخصیص می‌دهند ولی الگوریتم پیشنهادی در سرعت‌های بالای 135km/h به روش FD به کاربران بلوک منبع تخصیص می‌دهد. این نحوه تخصیص با محو شدگی و عدم همبستگی کانال مقابله می‌کند. به همین علت در سرعت‌های بالاتر 135km/h ، نرخ ارسال شبکه در الگوریتم پیشنهادی نسبت به سه الگوریتم دیگر بالاتر و نسبت به FBAQ و TLS افت کمتری دارد. در سرعت‌های کمتر از 135km/h نیز الگوریتم پیشنهادی نیز به علت ارسال به موقع شرایط کانال کاربران عملکرد بهتری نسبت به سه الگوریتم دیگر دارد. برتری الگوریتم پیشنهادی در کاهش تاخیر بسته‌ها برای کاربردهای صدا، ویدئو و صفحات اینترنت در شکل‌های ۳ الی ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۳: تاخیر بسته‌های صدا

- [9] Afroz, Farhana, Kumbesan Sandrasegaran, and Pantha Ghosal, "Performance analysis of PF, M-LWDF and EXP/PF packet scheduling algorithms in 3GPP LTE downlink", *IEEE Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC)*, pp.87-92, Nov 2014
- [10] Sueng Jae Bae, Bum-Gon Choi, Min Young Chung, "Delay-Aware Packet Scheduling Algorithm for Multiple Traffic Classes in 3GPP LTE System", *Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, pp.33-37, October 2011
- [11] Khan, Farooq, "LTE for 4G mobile broadband: air interface technologies and performance", Cambridge University, 2009
- [12] Ali, Salman, and Muhammad Zeeshan, "A utility based resource allocation scheme with delay scheduler for LTE service-class support", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp.1450-1455, April 2012
- [13] T. Gholipur, M. Mahdavi, and A. Zeidaabadi Nezhad, "A novel scheduling algorithm for low and high mobility users in multi-hop WiMAX network", *Wireless personal communications*, pp. 1203-1228, March 2013
- [14] Hatoum, Abbas, et al, "Cluster-based Resource Management in OFDMA Femtocell Networks with QoS Guarantees", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.63, pp. 2378-2391, June 2014
- [15] Liu, Qingwen, Xin Wang, and Georgios B. Giannakis, "A cross-layer scheduling algorithm with QoS support in wireless networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 55, pp. 839-847, May 2006
- [16] 3GPP TS 36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation", *Physical layer procedure Release 8*, 2007
- [17] Liu, Bin, Hui Tian, and Lingling Xu, "An efficient downlink packet scheduling algorithm for real time traffics in LTE systems", *IEEE Consumer communications and networking conference (CCNC)*, pp.364-369, Jan 2013
- [18] Jang, Hung-Chin, and Chien-Piao Hu, "Fairness-based adaptive qos scheduling for LTE", *IEEE international conference on convergence (ICTC) International Conference*, pp.626-631, Oct 2013
- [19] Piro, Giuseppe, et al, "Two-level downlink scheduling for real-time multimedia services in LTE networks", *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol.13, Issue 5, pp. 1052-1065, Sep 2011



شکل ۷: نرخ از دست رفتن بسته‌های ویدئو

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش سرعت حرکت کاربران، تاخیر و نرخ از دست رفتن بسته افزایش می‌یابد. اما با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی از روش تخصیص بیت ضروری و زمان ارسال به موقع گزارش سیگنال به نوبت توسط کاربران استفاده می‌کند، دارای عملکرد بهتری نسبت به سه الگوریتم مقایسه شده می‌باشد. برای ادامه تحقیق پیشنهاد می‌شود که الگوریتم برای حالت فراسو نیز مورد استفاده قرار گیرد و نتایج حاصل از آن تحلیل و بررسی شود.

۷- مراجع

- [1] Afroz, Farhana, Kumbesan Sandrasegaran, and Pantha Ghosal, "Performance analysis of PF, M-LWDF and EXP/PF packet scheduling algorithms in 3GPP LTE downlink", *IEEE Telecommunication Networks and Applications Conference (ATNAC)*, pp.87-92, Nov 2014
- [2] A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj. "Data Throughput of CDMAHDR: a High Efficiency-High Data Rate Personal Communication Wireless System" *Proceeding of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Sprint 2000)*, May 2000, vol.3, pp. 1854- 1858.
- [3] J. Lim, H. Myung, K. Oh, and D. Goodman, "Proportional Fair Scheduling of Uplink Single-Carrier FDMA Systems," pp. 1 –6, sep. 2006.
- [4] Stolyar, Alexander L, and Kavita Ramanan, "Largest weighted delay first scheduling: Large deviations and optimality", *Annals of Applied Probability*, vol.11, pp.1-48, Nov 2001
- [5] Sadiq, Bilal, Seung Jun Baek, and Gustavo De Veciana, "Delay-optimal opportunistic scheduling and approximations: The log rule", *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, Vol. 19, pp.405-418, April 2011
- [6] N. Prasad, H. Zhang, H. Zhu, and S. Rangarajan, "Multi-user scheduling in the 3GPP LTE cellular uplink, 10th International symposium on modeling and optimization in mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), 262-269, 2012
- [7] G. Song and Y. L., "Cross-layer optimization for OFDM wireless networks—part I-II," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 2, pp. 614-634, Mar. 2005
- [8] Wu, Shih-Jung, and Liou Chu, "A novel packet scheduling scheme for downlink LTE system", *IEEE Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP) Conference*, pp.25-28, Oct 2011