

روش زمان‌بندی جدید بر اساس ترکیب وزن‌دار شده توابع نمایی و لگاریتمی برای بهبود پارامترهای کیفیت سرویس در شبکه‌های سلولی نسل چهارم

فاطمه اسداللهی^۱، کارشناسی ارشد؛ رامین دهدشت حیدری^۲، استادیار

۱- گروه مهندسی کامپیوتر - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرمانشاه - کرمانشاه - ایران - faezeh.asadollahi@iauksh.ac.ir

۲- گروه مهندسی برق - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرمانشاه - کرمانشاه - ایران - dehdashtheydari@iauksh.ac.ir

چکیده: امروزه پخش زنده محتوای چندرسانه‌ای مانند ترافیک‌های ویدئو و VoIP، در شبکه‌های سلولی به شکل فزاینده‌ای مرسوم شده است. شبکه LTE باهدف ارائه سرعت بالا، همراه با تأمین کیفیت سرویس و درنهایت به دست آوردن رضایت بیشتر مشتریان به بازار معرفی شده است. مدیریت منابع رادیویی، راهکاری است که برای رسیدن به این اهداف در این شبکه‌ها وجود دارد. برای دست یافتن به این مهم، از زمان‌بندها به صورت آگاه از وضعیت کانال و آگاه از کیفیت سرویس برای تخصیص منابع به انواع ترافیک‌ها استفاده می‌شود. یکی از این زمان‌بندهای مهم و کارا، روش زمان‌بندی تابع نمایی (EXP RULE) است که باوجود کارایی خوب آن، از نظر پارامترهایی همچون نرخ از دست رفتن بسته و تأخیر نیازمند بهبود است تا به حد مطلوب برسد. در این مقاله، باهدف بهبود نرخ از دست رفتن بسته و تأخیر به طور خاص و به طور کلی بهبود سایر پارامترهای کیفیت سرویس در شبکه‌های LTE، یک روش زمان‌بندی جدید معرفی شده است که نام‌گذاری آن بر اساس عملکرد این زمان‌بند به صورت ترکیبی وزن‌دار شده از توابع نمایی و لگاریتمی (HWEL) است. در این مقاله انجام شبیه‌سازی و مقایسه عملکرد روش زمان‌بندی تابع نمایی و روش پیشنهادشده توسط نرم‌افزار LTE-Sim انجام شده است. برای ترافیک‌های پخش زنده ویدئو و VoIP مشاهده گشته است که زمان‌بند پیشنهادی در این تحقیق توانسته است پارامترهای تأخیر، نرخ از دست رفتن بسته، توان عملیاتی و منصفانه بودن را در ترافیک ویدئو به ترتیب به میزان ۲۱، ۲۹/۸، ۷/۸ و ۱/۱ درصد و همچنین پارامترهای تأخیر و توان عملیاتی را در ترافیک VoIP به ترتیب به میزان ۲۳/۵ و ۰/۷ درصد بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم زمان‌بندی نسل چهارم، تخصیص منابع رادیویی، ترافیک پخش زنده، ترکیب وزن‌دار شده قاعده‌های نمایی-لگاریتمی (HWEL)، تکامل بلندمدت، کیفیت سرویس.

A New Hybrid Weighted Exponential-Logarithm (HWEL) Scheduler for Modification of QoS Parameters of 4G Cellular Networks

F. Asadollahi¹, MSc; R. Dehdasht-Heydari², Assistant Professor

1- Department of Computer Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.
Email: faezeh.asadollahi@iauksh.ac.ir

2- Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran.
Email: dehdashtheydari@iauksh.ac.ir

Abstract In recent cellular networks, the real-time broadcast of multimedia contents such as VoIP and Video traffics is increasingly becoming common. In this regard, 4G/LTE networks have been introduced due to providing high speed data along with QoS assurance, more security, and ultimately customer satisfaction. To accomplish these goals, radio resources management is a critical requirement and then schedulers are used in order to allocate the resources as Channel-Aware/QoS-Aware for the various traffics. One of the most important and effective schedulers is known as EXP RULE method; however these networks requires to improve in some of QoS parameters such as Packet Loss Rate (PLR) and Delay values to achieve further real-time information. In this paper, a new scheduling called Hybrid Weighted Exponential-Logarithm (HWEL) scheduler has been proposed to improve the PLR and Delay especially and improve the other QoS parameters generally in 4G/LTE networks. By performing simulations and comparisons between EXP-Rule and HWEL methods using LTE-Sim package for VoIP and Video traffics, it is observed that the proposed scheduler is a very good candidate to improve delay, PLR, throughput and fairness in the video traffics up to 21%, 29.8%, 7.8% and 1.1% and improve delay and PLR in the VoIP traffics up to 23.5% and 0.7% respectively.

Keywords: 4G Scheduling algorithm, Hybrid Weighted EXP-LOG (HWEL), Long Term Evolution (LTE), Radio Resource Allocation, Real-time traffic, Quality of Services (QoS).

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷، ۱۳۹۶/۰۸/۱۲ و ۱۳۹۶/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۰۳

نام نویسنده مسئول: رامین دهدشت حیدری

نشانی نویسنده مسئول: ایران - کرمانشاه - شهرک متخصصین - دانشگاه کرمانشاه - دانشکده فنی و مهندسی - گروه مهندسی برق.

۱- مقدمه

نسل چهارم بی‌سیم یا 4G، واژه‌ای است که برای توصیف شبکه‌های بی‌سیم تکامل‌یافته یا فراتر از شبکه‌های نسل سوم با عنوان LTE توسط پروژه مشارکتی نسل سوم یا 3GPP، به بازار جهانی معرفی گردید [۱]. پروژه مشارکتی نسل سوم، توسط استانداردهایی از قبیل 3GPP، ARIB، ETSI، TTA، ATIS و CCSA شکل گرفته است و از چندین گروه مشخصات فنی (TSGs) تشکیل شده است [۲]. هدف این پروژه، ارتقای صنعت مخابرات در سال ۲۰۲۰ است. مهم‌ترین و برجسته‌ترین ویژگی شبکه LTE این است که تمامی زیرساخت آن بر اساس پروتکل اینترنت (IP) است. به عبارت دیگر، بخش هسته شبکه، کاملاً همگام با پروتکل‌های TCP/IP است و از سیگنالینگ معمولی که در شبکه‌های قدیمی‌تر به خصوص GSM استفاده می‌شد، خبری نیست. حداکثر نرخ انتقال داده در این فناوری ۱۰۰ مگابیت در کانال ارتباطی برای دریافت سیگنال و ۵۰ مگابیت بر ثانیه در کانال ارتباطی برای ارسال سیگنال در طیف فرکانسی ۲۰ مگاهرتز است. در شبکه نسل سوم پیشرفته یا همان HSPA، تأخیر در حدود ۴۰ تا ۵۰ میلی‌ثانیه است، اما در LTE به حدود ۱۰ میلی‌ثانیه کاهش یافته است. از لحاظ فنی، سرعت دریافت اطلاعات و ارسال اطلاعات در شبکه LTE نسبت به نسل‌های قبل بسیار بیشتر و ملموس‌تر است. البته آنچه باعث افزایش کیفیت فوق‌العاده در ترافیک‌هایی نظیر ویدئو کنفرانس و ترافیک‌های تعاملی گردیده است را می‌توان به نرخ بالای داده و نیز تأخیر کمتر در ارسال بسته‌ها نسبت داد [۳].

با توجه به نقاط قوتی که در مورد شبکه‌های نسل چهارم یا LTE بیان گشت، از دیدگاه مصرف‌کنندگان، بزرگ‌ترین حسن LTE میزان سرعت بیشتر در انتقال اطلاعاتی همچون صدا، تصویر و داده است. علی‌رغم این ویژگی‌ها، در این شبکه، با چالش‌هایی مواجه هستیم. از جمله این چالش‌ها می‌توان به مبحث تأمین کیفیت سرویس در این گونه شبکه‌ها اشاره نمود. در این شرایط، از آنجاکه تعداد کاربران و تنوع رفتاری آن‌ها بسیار زیاد است و پیرو آن تنوع ترافیک در شبکه نیز بالا می‌رود، نیازمند به طراحی الگوریتم‌هایی هستیم که کیفیت سرویس را به بهترین حالت در شبکه تأمین نمایند [۴، ۵]. تأمین کیفیت سرویس مناسب در شبکه، یکی از عوامل مهم در جلب رضایتمندی است [۶]. لذا، در این مقاله، تلاش و هدف بر این است که تا حد امکان، با مدیریت منابع رادیویی، علاوه بر بهبود پارامترهای مهم کیفیت سرویس مانند تأخیر، نرخ از دست رفتن بسته، توان عملیاتی و منصفانه بودن بتوان شرایطی را فراهم نمود تا میزان رضایت کاربران در استفاده از این شبکه‌ها افزایش یابد.

زمان‌بندی بسته، به معنای مدیریت منابع رادیویی در شبکه LTE است. این عمل، در لایه کنترل دسترسی به رسانه (MAC) که درون گره eNodeB که همان ایستگاه پایه رادیویی در شبکه‌های LTE است، صورت می‌گیرد. درون این گره، همه توابع مدیریت منابع رادیویی، کنترل ارتباط رادیویی و کنترل دسترسی به رسانه قرار دارند

[۷]. درون لایه MAC، اکثر توابع مهم مانند تسهیم‌کننده‌ها (Multiplexing)، تقسیم‌کننده‌ها (Demultiplexing)، رویه‌های دسترسی تصادفی و درخواست‌های مرتبط با زمان‌بندی انجام می‌شوند. بهبود کیفیت سرویس در شبکه دسترسی LTE، با پیاده‌سازی الگوریتم‌های زمان‌بندی مناسب در eNodeB در دو سمت ارسال و دریافت اطلاعات محقق می‌شود. وظیفه اصلی هر الگوریتم زمان‌بندی، افزایش بازده شبکه و فراهم آوردن عدالت میان کاربران در تخصیص پهنای باند است [۸].

در این مقاله، به دلیل ماهیت بی‌سیم شبکه‌های نسل چهارم، تمرکز ما بر روی زمان‌بندی‌های آگاه از وضعیت کانال و آگاه از کیفیت سرویس است که با توجه به شرایط ناهمگن محیط‌های بی‌سیم طراحی شده‌اند. بر اساس مطالعاتی که انجام گرفته است [۵]، بهترین روش زمان‌بندی که تا به حال توسط محققان در این زمینه معرفی شده، روش زمان‌بندی تابع‌نمایی (EXP RULE) است. این زمان‌بند، با توجه به شرایط شبکه، زمان‌بندی مناسب را برای انواع ترافیک‌ها انجام می‌دهد. در نتیجه، پارامترهای کیفیت سرویس را به میزان چشمگیری بهبود داده و منجر به کاهش میزان تأخیر و نرخ از دست رفتن بسته نسبت به روش‌های دیگر زمان‌بندی بسته مانند روش‌های M-LWDF، EXP/PF و LOG RULE شده است [۹، ۱۰]. باین حال، این روش نیازمند بهبود و ارتقا بیشتر کیفیت سرویس بخصوص در پارامترهای تأخیر و نرخ از دست رفتن بسته برای ترافیک‌های پخش زنده است.

از آنجاکه، در این مقاله بر روی ترافیک‌های پخش زنده مانند ویدئو و VoIP تمرکز شده، بهبود عملکرد روش زمان‌بندی تابع‌نمایی مدنظر است. بدین منظور، روش جدیدی برای اولویت‌بندی بسته‌های ترافیکی جهت ارسال از طریق شبکه با عنوان ترکیب وزن‌دار شده توابع نمایی و لگاریتمی یا HWEL RULE طراحی گشته است. این ترکیب، با اعمال ضرایب خاصی برای وزن‌دار شدن رابطه، تکمیل شده است. انتخاب وزن، امری بسیار مهم برای بهبود کیفیت سرویس شبکه LTE است. روش پیشنهادی در این مقاله، با کاهش میزان تأخیر و نرخ از دست رفتن بسته و افزایش توان عملیاتی و منصفانه بودن، به‌طور کلی باعث افزایش کیفیت سرویس در شبکه و بهتر شدن کیفیت محتوای دریافتی در گیرنده و در نهایت موجب افزایش رضایت کاربران می‌گردد [۱۱، ۱۲].

بخش دوم مقاله حاضر به مروری بر طراحی چند روش زمان‌بندی که تا به حال توسط محققان معرفی شده، پرداخته است و در ادامه روش پیشنهادی در این تحقیق معرفی خواهد شد. بخش سوم این مقاله، شامل سناریوی طراحی شده جهت شبیه‌سازی و تنظیمات مربوطه است. در بخش چهارم، مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش نمایی از نقطه نظر پارامترهای کیفیت سرویس، گردآوری شده است. در نهایت بخش پنجم، که در آن به نتیجه‌گیری کلی از کارهای انجام گرفته در این مقاله پرداخته شده و در انتهای این بخش، با عنایت به تحقیق صورت پذیرفته در این مقاله، پیشنهادهایی جهت انجام پژوهش‌های آتی ارائه خواهد شد.

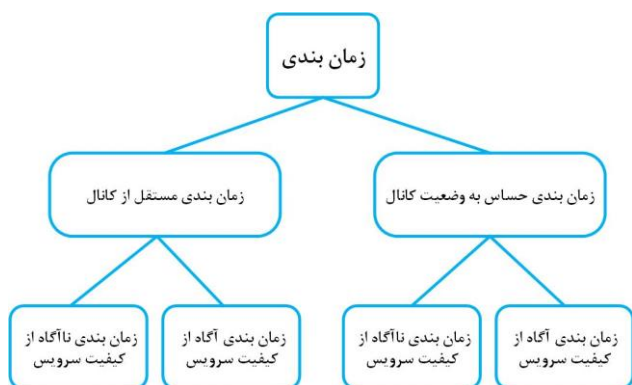
تعیین می‌شود که می‌بایست از کدام بلوک منبع کانال مشترک، ارسال صورت گیرد [۱۶].

در کانال ارتباطی برای دریافت سیگنال در شبکه LTE، کوچک‌ترین واحد منبع رادیویی که برای تبادل داده به یک کاربر تخصیص داده خواهد شد، به‌عنوان بلوک منبع فیزیکی (RB) شناخته می‌شود که هم در حوزه زمان و هم در حوزه فرکانس تعریف شده است [۱۷]. در حوزه فرکانس، پهنای باند کلی در دسترس به ۱۸۰ کیلوهرتز زیرکانال تقسیم می‌شود، هر زیرکانال برابر با ۱۲ زیرحامل متوالی با پهنای باند ۱۵ کیلوهرتز است (هر زیر کانال برابر با $15 \times 12 = 180$ KHz). در حوزه زمان، زمان به چندین فریم تقسیم شده که هر فریم شامل ۱۰ بازه زمانی انتقال داده است. لازم به توضیح است که بازه زمانی هر انتقال برابر با ۱ میلی‌ثانیه بوده و شامل دو شکاف زمانی است که هر شکاف برابر با ۰/۵ میلی‌ثانیه است. هر شکاف زمانی نیز، مربوط به ۷ سمبل OFDM (با پیشوند چرخه‌ای کوتاه) است [۳].

تخصیص منابع رادیویی، براساس هر بازه زمانی انجام می‌شود. یک منبع رادیویی زمانی یا فرکانسی که شامل یک شکاف زمانی ۰/۵ میلی‌ثانیه در حوزه زمان و یک زیرکانال (۱۸۰ کیلوهرتز) حاوی ۱۲ زیرحامل در حوزه فرکانس است، به‌عنوان بلوک منبع شناخته می‌شود. در حوزه زمان، برای تبادل داده در هر بازه زمانی انتقال، جفت‌های بلوک منبع به یک کاربر تخصیص داده می‌شوند [۳، ۴، ۱۸].

۲-۲- الگوریتم‌های زمان‌بندی بسته

هدف الگوریتم زمان‌بندی بسته در شبکه‌های LTE، توزیع منابع بین کاربران به شکل عادلانه و پربازده است، به‌نحوی که افزایش حداکثری عملکرد سیستم را در پی داشته باشد. برای پشتیبانی از ترافیک‌های پخش زنده و غیرزنده، روش‌های مختلفی برای زمان‌بندی ارائه شده است. استراتژی زمان‌بندی برای هر نوع شبکه بیسیم به‌صورت کلی در شکل ۱ قابل مشاهده است [۱۹].



شکل ۱: استراتژی کلی زمان‌بندی در شبکه‌های بیسیم [۱۹]

زمان‌بندی مستقل از وضعیت کانال، با این فرض انجام می‌شود که کانال بدون خطا و مستقل از زمان است، این مدل از زمان‌بندی، ابتدا

همچنین، به دلیل استفاده مکرر از عبارات اختصاری در متن مقاله، در جدول ۱ تعریف این واژه‌ها بیان گشته است.

جدول ۱: کلمات اختصاری

عبارت کامل	کلمه اختصاری
Third Generation Partnership Project	3GPP
Fourth generation	4G
Channel Quality Indicator	CQI
Earliest Deadline First	EDF
Evolved Node B	eNodeB
Exponential Rule	EXP RULE
Exponential Proportional Fairness	EXP/PF
First-in-First-out	FIFO
Global System for Mobile communication	GSM
High Speed Packet Access	HSPA
Hybrid weighted EXP LOG RULE	HWEL RULE
Internet Protocol	IP
Logarithmic Rule	LOG RULE
Long Term Evolution	LTE
Largest Weighted Delay First	LWDF
Media Access Control	MAC
Modified-Largest Weighted Delay First	M-LWDF
Maximum Throughput	MT
Orthogonal Frequency Division Multiple	OFDM
Proportional Fairness	PF
Resource Block	RB
Round Robin	RR
signal-to-interference-plus-noise ratio	SINR
Transmission Control Protocol/ Internet Protocol	TCP/IP
Transmission Time Interval	TTI
Voice over Internet Protocol	VoIP
Weighted Fair Queuing	WFQ

۲-۲- مروری بر کارهای پیشین

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، در این مقاله تمرکز بر روی زمان‌بندی آگاه از شرایط کانال و آگاه از کیفیت سرویس در شبکه‌های LTE است. در این بخش، ابتدا در زیر بخش اول به موضوع زمان‌بندی بسته در حالت کانال ارتباطی برای دریافت سیگنال در شبکه‌های LTE پرداخته خواهد شد. در ادامه، نحوه عملکرد چند روش زمان‌بندی شناخته شده که تاکنون ارائه شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲-۱- زمان‌بندی بسته در شبکه‌های LTE

برای تأمین کیفیت سرویس مناسب و به دنبال آن تأمین خواسته‌های کاربران در شبکه، راهکارهای مختلفی وجود دارد. یکی از راهکارهای مهم و اساسی، نحوه دسترسی به منابع رادیویی برای ارسال و دریافت محتوا توسط کاربران است. این مهم، از طریق فرآیند زمان‌بندی بسته صورت می‌پذیرد [۹]. از این‌رو، تاکنون روش‌های زمان‌بندی مختلفی توسط محققان طراحی و معرفی شده است [۱۳، ۱۴، ۱۵].

هدف زمان‌بندی بسته در کانال ارتباطی برای دریافت سیگنال این است که مقصد هر بسته ارسالی را تعیین کند (بسته به کدام کاربر ارسال شود). همچنین برای هر یک از کاربر (کاربران) انتخاب‌شده،

مقابل، عدالت در بین کاربران بسیار کاهش خواهد یافت و برای برخی کاربران که وضعیت کانال خوبی ندارند (مثلاً در لبه سلول هستند) زمان‌بندی انجام نمی‌شود و در اصطلاح دچار قحطی می‌شوند. متریک، بیان‌کننده اندازه یا مقداری است که در هر روش زمان‌بندی، بر اساس تعداد کاربران و تعداد منابع رادیویی برای ترافیک مربوطه محاسبه می‌شود. متریک روش MT، در رابطه (۱) قابل مشاهده است [۱۹، ۹]:

$$m_{i,k}^{MT} = d_k^i(t); 1 \leq i \leq N \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، $d_k^i(t)$ نرخ داده قابل قبول برای i -امین کاربر در زمان t بر روی k -امین RB و N برابر با تعداد کاربران موجود در شبکه است. در محاسبه توان عملیاتی، مقدار SINR نیز استفاده می‌شود [۹، ۵]. روش محاسبه $d_k^i(t)$ در معادله (۲) نشان داده شده است:

$$d_k^i(t) = \log[1 + \text{SINR}_k^i(t)] \quad (۲)$$

۲-۲-۲- زمان‌بندی به روش PF

این روش، یک تعادل میان بازده طیفی و عدالت بین کاربران فراهم می‌آورد. به این صورت که برای کاربرانی که وضعیت کانال مناسبی ندارند نیز زمان‌بندی صورت می‌گیرد. متریک این روش برای i -امین کاربر بر روی k -امین RB به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$m_{i,k}^{PF} = \frac{d_k^i(t)}{R_i(t-1)}; 1 \leq i \leq N \quad (۳)$$

که $\overline{R_i(t-1)}$ میانگین توان عملیاتی به دست آمده تا زمان $t-1$ است و از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$\overline{R_i(t)} = (1 - \frac{1}{T})\overline{R_i(t-1)} + \frac{1}{T}r_i(t) \quad (۴)$$

در این رابطه، T پنجره معیار عدالت با طولی برابر TTI است. همچنین $r_i(t)$ نرخ داده دریافتی توسط i -امین کاربر در زمان t است [۱۹].

۲-۲-۳- زمان‌بندی به روش M-LWDF

این زمان‌بند، روش توسعه یافته زمان‌بند LWDF است [۲۰] و به صورت آگاه از وضعیت کانال بوده که در شبکه‌های بیسیم استفاده می‌شود. در این الگوریتم، برای ترافیک‌های پخش زنده و پخش غیرزنده اولویت‌های

برای شبکه‌های سیمی معرفی گردید [۹]. مثال‌هایی از این نوع روش‌های FIFO، RR، WFQ، EDF، LWDF می‌باشند. برخی از این الگوریتم‌ها، کیفیت سرویس مورد نیاز را تأمین می‌نمایند و برخی دیگر پیاده‌سازی ساده‌ای دارند [۱۹].

به کمک نشانگر شاخص کیفیت کانال یا CQI که برای آگاهی از وضعیت کانال از طرف کاربران به eNodeB ارسال می‌گردد، کیفیت کانال برای کاربران توسط زمان‌بند تخمین زده می‌شود. به این مدل از زمان‌بندی، زمان‌بندی آگاه از وضعیت کانال یا حساس به وضعیت کانال گفته می‌شود. در این مدل از زمان‌بندی، به دو حالت و برای دو هدف متفاوت عمل زمان‌بندی صورت می‌پذیرد. در حالت یا هدف اول، تأمین کیفیت سرویس مناسب برای کاربران و در حالت یا هدف دوم ایجاد عدالت در تخصیص پهنای باند در دسترس میان کاربران مهم است. لازم به ذکر است که به حالت یا هدف دوم، زمان‌بندی غیر آگاه از کیفیت سرویس گفته می‌شود. به عنوان مثال‌هایی از زمان‌بندی آگاه از وضعیت کانال می‌توان به روش‌های MT، PF، M-LWDF، EXP/PF، EXP RULE و LOG RULE اشاره نمود. در شبکه‌های LTE برای ترافیک‌های پخش زنده، فقط زمان‌بندی آگاه از وضعیت کانال انجام می‌شود که بر اساس گزارش نشانگر CQI از طرف کاربران صورت می‌گیرد [۱۹].

در این بخش، به قاعده کاری چند الگوریتم زمان‌بندی آگاه از وضعیت کانال پرداخته و در نهایت روش پیشنهادی در این مقاله ارائه خواهد شد. همچنین، در جدول ۲، تعاریف مربوط به عبارات مورد استفاده در محاسبات و رابطه‌ها مشاهده می‌شود.

جدول ۲: عبارات مورد استفاده در محاسبه متریک‌های

عبارت	مفهوم
$m_{i,k}$	متریک عمومی برای i -امین کاربر بر روی k -امین RB
$d_k^i(t)$	نرخ داده قابل قبول برای i -امین کاربر در زمان t بر روی k -امین RB
N	تعداد کاربران موجود در شبکه
$\overline{R_i(t)}$	میانگین توان عملیاتی به دست آمده تا زمان $t-1$
$r_i(t)$	نرخ داده دریافتی توسط i -امین کاربر در زمان t
α_i	پارامتر وزن دهی
$D_{HOL,i}$	تأخیر بسته سر خط برای هر کاربر
N_{rt}	تعداد ترافیک پخش زنده
Γ_k^i	بازده طیفی کانال به دست آمده از i -امین کاربر در k -امین RB

۲-۲-۱- زمان‌بندی به روش MT

این روش زمان‌بندی، توان عملیاتی سیستم را با تخصیص هر RB به کاربرانی که وضعیت کانال بهتری دارند، افزایش می‌دهد. به این معنی که کاربری که وضعیت کانال خوبی دارد همواره در اولویت قرار می‌گیرد. با این روش، توان عملیاتی سیستم افزایش می‌یابد. اما در

از لحاظ پارامترهای تأخیر و توان عملیاتی طراحی شده است. این روش انواع ترافیک را بر اساس رابطه (۸) اندازه‌گیری و زمان‌بندی می‌کند [۵، ۹، ۲۳]:

$$m_{i,k}^{LOG-RULE} = b_i \log(1.1 + \alpha_i D_{HOL,i}) \Gamma_k^i \quad (۸)$$

$m_{i,k}^{LOG-RULE}$ ، متریکی است که برای i -امین کاربر بر روی k -امین Resource Block بر اساس LOG RULE برای انواع ترافیک محاسبه می‌شود. بر اساس متریک محاسبه‌شده، مشخص می‌شود منابع رادیویی، چگونه به انواع ترافیک اختصاص داده شوند. پارامترهای مختلفی مانند α_i و b_i در رابطه (۹) قابل تنظیم می‌باشند. پارامتر Γ_k^i نشان‌دهنده بازده طیفی کانال به دست آمده از i -امین کاربر در k -امین RB است که در آن $1 \leq i \leq N$ است. لازم به ذکر است که با مقاردهی به پارامترهای α_i و b_i در رابطه (۹)، عملکرد زمان‌بندی بهتر به دست می‌آید [۹]:

$$\alpha_i \in \left[\frac{5}{(0.99\tau_i)}, \frac{10}{(0.99\tau_i)} \right], b_i = \frac{1}{E[\Gamma^i]} \quad (۹)$$

α_i ، نماد مقدار آستانه زمان انتظار بسته است و به عنوان مقداری از مجموعه مشخص شده در رابطه ۹، انتخاب می‌شود. ضریب ۰/۹۹ در مخرج مربوط به پارامتر α_i ، بجای ضریب ۱، بدین دلیل است که عملکرد زمان‌بندی با این انتخاب بهینه می‌گردد. درواقع، تغییرات جزئی در این انتخاب سبب می‌گردد ضریب متریک زمان‌بند LOG RULE دقیق‌تری عمل نماید. همچنین، پارامتر b_i ، در رابطه (۹)، معکوس امید ریاضی (میانگین) بازدهی طیفی کانال به دست آمده از i -امین کاربر در k -امین RB است.

۲-۲-۶- روش زمان‌بندی به روش EXP RULE

روش زمان‌بندی نمایی (EXP RULE)، یک استراتژی زمان‌بندی بااطلاع از وضعیت کانال و کیفیت سرویس و ارتقاء یافته روش EXP/PF است که برای تضمین کیفیت سرویس کاربران در یک لینک بیسیم مشترک ارائه شده است. این الگوریتم برای زمان‌بندی بسته‌ها، به وضوح وضعیت کانال و صف‌ها را در نظر می‌گیرد. متریک زمان‌بندی به روش نمایی به ترتیب زیر محاسبه می‌گردد [۵، ۹، ۲۳]:

$$m_{i,k}^{EXP-RULE} = b_i \exp \left(\frac{\alpha_i D_{HOL,i}}{1 + \sqrt{\frac{1}{N_{RT}} \sum_{j=1}^{N_{RT}} D_{HOL,j}}} \right) \Gamma_k^i \quad (۱۰)$$

مختلفی در نظر گرفته می‌شود. هدف این الگوریتم، تضمین توان عملیاتی خوب برای سیستم و سطح عدالت مناسب برای کاربران است. متریک این روش به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌گردد:

$$m_{i,k}^{M-LWDF} = \alpha_i D_{HOL,i} \frac{d_k^i(t)}{R_i(t-1)}; 1 \leq i \leq N \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، α_i پارامتر وزن دهی و $D_{HOL,i}$ تأخیر بسته سر خط برای هر کاربر است. بررسی‌های نظری در مورد معیار عدالت برای روش M-LWDF نشان می‌دهد که میزان معیار عدالت برای این روش به وضعیت کانال، فرآیند رسیدن بسته به کاربر و نیاز به سطوح مختلف کیفیت سرویس برای ترافیک‌های مختلف بستگی دارد [۲۱]. برای بهبود معیار عدالت در روش زمان‌بندی M-LWDF، بررسی‌های نظری انجام شد و در نهایت یک روش تغییر یافته بر اساس روش M-LWDF ارائه شد که برای ترافیک‌های پخش زنده عملکرد بهتری نسبت به M-LWDF در سمت کانال ارتباطی برای دریافت سیگنال فراهم می‌آورد [۲۲].

۲-۲-۴- زمان‌بندی به روش EXP/PF

این زمان‌بند، برای ترافیک‌های پخش غیر زنده از روش PF و برای ترافیک‌های پخش زنده از یک تابع نمایی برای تأخیر استفاده می‌کند. این روش، به منظور بهبود تأخیر و بیشینه کردن توان عملیاتی برای ترافیک‌های پخش زنده طراحی شده و سطح مناسبی از عدالت را نیز بین کاربران فراهم می‌آورد. متریک روش زمان‌بندی EXP/PF در رابطه (۶) مشاهده می‌شود:

$$m_{i,k}^{EXP/PF} = \exp \left(\frac{\alpha_i D_{HOL,i} - \bar{D}_{HOL,i}}{1 + \sqrt{\bar{D}_{HOL,i}}} \right) \frac{d_k^i(t)}{R_i(t-1)} \quad (۶)$$

$1 \leq i \leq N$

در رابطه بالا، میانگین تأخیر بسته سر خط برای هر کاربر $\bar{D}_{HOL,i}$ از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$\bar{D}_{HOL,i} = \frac{1}{N_{RT}} \sum_{i=1}^{N_{RT}} \alpha_i D_{HOL,i} \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، N_{RT} برابر با تعداد ترافیک پخش زنده در سمت کانال ارتباطی برای دریافت سیگنال است [۵، ۹، ۱۹].

۲-۲-۵- زمان‌بندی به روش LOG RULE

روش زمان‌بندی لگاریتمی (LOG RULE)، با محدود نگه داشتن پارامتر تأخیر، کیفیت سرویس مطلوبی را برای کاربران شبکه فراهم می‌آورد. این روش، یک استراتژی زمان‌بندی بااطلاع از وضعیت کانال و کیفیت سرویس است که برای متعادل نگه داشتن کیفیت سرویس

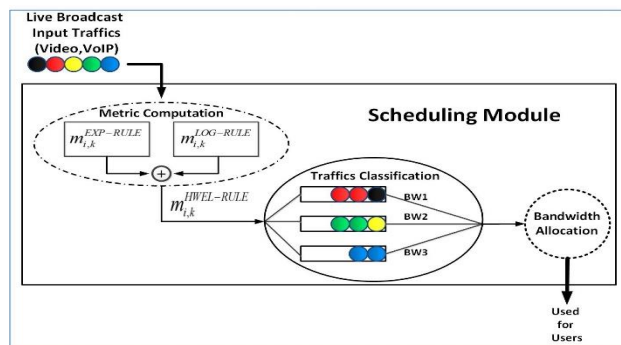
جدول ۳: مقادیر در نظر گرفته شده برای ضرایب u و z

در روش پیشنهادی

ترکیب توابع	z	u
ترکیب ۹ به ۱	۹	۱
ترکیب ۸ به ۲	۸	۲
ترکیب ۷ به ۳	۷	۳
ترکیب ۶ به ۴	۶	۴

همچنین، بر اساس نتایج شبیه سازی‌های گوناگون که انجام شده است، ما را به سمت انتخاب این عدد با بهترین نسب ۹ به ۱ سوق داده است. نتایج آزمایش‌های مختلف در این مقاله برای این روش نشان داده است که بهترین نتیجه از نظر بهبود پارامترهای کیفیت سرویس (تأخیر، توان عملیاتی سیستم و دیگر پارامترهای کیفیت سرویس) زمانی رخ می‌دهد که $z = 9$ ، $u = 1$ باشند. افزایش ترم نمایی در این روش باعث

بهبود تأخیر و نرخ از دست رفتن بسته خواهد شد. اما افزایش ترم لگاریتمی باعث بهبود نرخ از دست رفتن بسته و افزایش تأخیر می‌شود. لذا، بهترین حالت زمانی است که ترم نمایی بیشترین ضریب را داشته باشد. همان‌طور که در نتایج شبیه سازی‌ها قابل مشاهده است، می‌توان دریافت، از آنجاکه تأثیر تابع نمایی در روش پیشنهادی بیشتر است، در نتیجه رفتار نمودارهای پارامترهای مختلف در روش پیشنهادی این مقاله، در مقایسه با روش EXP RULE بسیار شبیه به یکدیگر هستند و با ترکیب متریک روش LOG RULE، پارامترهای ذکر شده نسبت به روش EXP RULE، در حد مطلوبی بهبود یافته‌اند.



شکل ۲: زمان‌بندی به روش ترکیب وزن دار شده توابع نمایی و لگاریتمی

در شکل ۲، شماتیکی از عملکرد این روش پیشنهادی طراحی و تنظیم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این شکل، فرض بر این است که ۵ نوع بسته ترافیکی مختلف (ترافیک پخش زنده) وارد ماژول زمان‌بندی می‌شوند. در این ماژول، ابتدا برای هر بسته با توجه به وضعیت بازدهی کانال، تأخیر، توان عملیاتی و نرخ از دست رفتن بسته، متریک مربوط به تابع لگاریتمی و تابع نمایی به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود. سپس حاصل جمع دو مقدار

در این روش نیز، همچون روش لگاریتمی، محدودیت‌هایی برای پارامترهای α_i و b_i ارائه شده است [۹]. مقادیر این ثابت‌ها در رابطه (۱۱) نشان داده شده‌اند:

$$\alpha_i \in \left[\frac{5}{(0.99\tau_i)}, \frac{10}{(0.99\tau_i)} \right], b_i = \frac{1}{E[\Gamma^i]} \quad (11)$$

بر اساس چند اندازه‌گیری، زمان‌بندی به روش نمایی در پارامترهای تأخیر، معیار عدالت و توان عملیاتی سیستم، بهبود حاصل کرده است [۲۵، ۲۴]. می‌توان به این نکته اشاره کرد که این روش، به ترافیک پخش زنده نسبت به ترافیک غیرزنده اولویت بیشتری می‌دهد [۲۵]. ایراد این روش آن است که در زمان‌بندی بسته‌ها، توان عملیاتی دریافتی توسط کاربران در هر لحظه در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین این روش، برای بسته‌هایی که زمان انقضای آن‌ها نزدیک است، اولویت زیادی در نظر نمی‌گیرد که این امر باعث افزایش نرخ از دست رفتن بسته می‌شود.

۳- فرمولاسیون روش پیشنهادی HWEL RULE

روش زمان‌بندی ترکیب وزن دار شده توابع نمایی و لگاریتمی (HWEL RULE)، به منظور بهبود پارامترهای کیفیت سرویس، به خصوص تأخیر، نرخ از دست رفتن بسته و توان عملیاتی سیستم برای ترافیک‌های پخش زنده نسبت به روش قاعده نمایی ارائه شده است. این روش به صورت ترکیبی از دو روش زمان‌بندی قاعده نمایی و لگاریتمی بوده و متریک آن طبق رابطه (۱۲) به دست می‌آید:

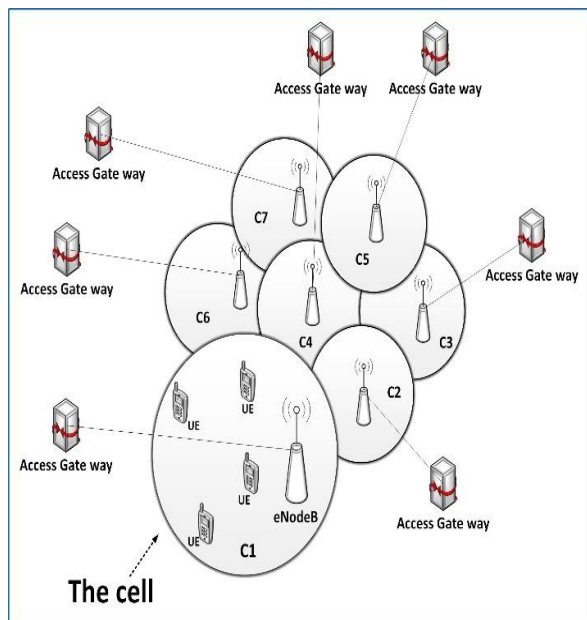
$$m_{i,k}^{Hybrid-EXP-LOG} = z(m_{i,k}^{EXP-RULE}) + u(m_{i,k}^{LOG-RULE}) \quad (12)$$

where : $z + u = 10$

در رابطه بالا، z و u ضرایب صحیح و ثابت‌اند که به ترتیب نشان‌دهنده وزن متریک‌های توابع نمایی و لگاریتمی در روش پیشنهادی می‌باشند. مجموع دو ضریب z و u ، عدد ۱۰ است. این عدد، به عنوان ضریب صد در صد نرمالیزه شده و رسیدن به این عدد بر مبنای شبیه سازی‌های مختلف با ترکیب‌های گوناگون جهت رسیدن به بهترین مقدار ترکیبی توابع است. مقادیر در نظر گرفته شده برای ضرایب z و u در این ترکیب جهت انجام آزمایش‌های مختلف و به دست آوردن بهترین نتیجه، در جدول زیر قابل مشاهده است:

۴- تنظیمات شبیه‌سازی

نرم‌افزار LTE-Sim یک چارچوب منبع باز برای شبیه‌سازی شبکه‌های LTE است [۲۶]. در این مقاله، برای انجام آزمایش‌ها و بررسی نتایج از شبیه‌ساز مذکور استفاده شده است.



شکل ۳: توپولوژی LTE برای سناریوهای شبیه‌سازی

شکل ۳، توپولوژی LTE برای سناریوی شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. در این توپولوژی، سلول موردنظر با فرکانس F1 و با پهنای باند ۵ مگاهرتز در نظر گرفته شده است و بقیه سلول‌ها با فرکانس‌های دیگر طوری در نظر گرفته شده‌اند که در سلول موردنظر تداخل ایجاد می‌کنند. این کار به جهت نزدیک شدن شرایط شبیه‌سازی به محیط واقعی است تا نتایج به دست آمده به صورت عملی قابل استفاده باشند. لازم به ذکر است که فرکانس F1 برای شبکه LTE بر اساس اپراتور کشورهای مختلف، متفاوت است. در این مقاله، ترکیبی از طیف ۹۰۰ مگاهرتز و طیف ۱/۸ مگاهرتز که ترکیب رایجی است، برای فرکانس کاری F1 در شبیه‌ساز LTE-Sim استفاده شده است. بدین صورت که، ۵ مگاهرتز از طیف اول و ۱۰ مگاهرتز از طیف دوم انتخاب گشته است. سایر سلول‌های تداخلی نیز از دو طیف فوق با تغییرات پهنای باند مشابهی بهره می‌برند. این شرایط در شبیه‌سازی نیز اعمال گشته است. برای انجام شبیه‌سازی، بعد از پیاده‌سازی سناریوی مربوطه، باید تنظیماتی برای شبکه طراحی شده در نظر گرفته شود. این تنظیمات در جدول ۴ قابل مشاهده هستند.

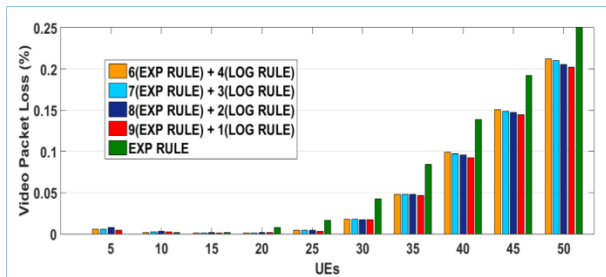
به عنوان متریک نهایی مربوط به عنوان پیشنهادی ($m_{i,k}^{HWEL-RULE}$) برای هر بسته در نظر گرفته می‌شود. حال با توجه به متریک نهایی به دست آمده برای هر بسته، آن‌ها را در چند صف دسته‌بندی می‌نماییم. جهت روشن تر شدن روند عملکرد زمان‌بند طراحی شده در این مقاله، به صورت مدلی کلی و برای ساده تر شدن مطلب، از سه صف به عنوان مثال و به صورت فرضی استفاده شده و این موضوع بدان معنا است که در شبیه‌سازی صرفاً از سه صف استفاده نشده است. برای دسته‌بندی در سه صف، دو مقدار آستانه m_1 و m_2 را که در آن $m_1 > m_2$ است، در نظر می‌گیریم (تعداد مقادیر آستانه = تعداد صف - ۱). رابطه دسته‌بندی به صورت زیر است:

$$\begin{cases} Q_1 \text{ if } m_{i,k}^{HWEL-RULE} > m_1 \\ Q_2 \text{ if } m_2 < m_{i,k}^{HWEL-RULE} < m_1 \\ Q_3 \text{ if } m_{i,k}^{HWEL-RULE} < m_2 \end{cases} \quad (۱۳)$$

که Q_1 ، Q_2 و Q_3 صف اول تا سوم می‌باشند. پس از دسته‌بندی، به هر صف پهنای باند متناسب با نوع ترافیک موجود در آن تخصیص داده می‌شود (BW_1 ، BW_2 ، BW_3). به طور مثال در شکل ۲، ترافیک به رنگ مشکی بیشترین نرخ از دست رفتن بسته و ترافیک به رنگ آبی کمترین نرخ از دست رفتن بسته را دارد و برای ترافیک‌های دیگر، به ترتیب از مشکی به آبی نرخ از دست رفتن بسته کاهش می‌یابد. همچنین تأخیر برای ترافیک مشکی تا آبی سیر نزولی داشته و توان عملیاتی سیر صعودی دارد. از آنجاکه، روش پیشنهادی HWEL RULE بیشتر روی پارامتر تأخیر تمرکز دارد، لذا در زمان‌بندی به بسته‌هایی که تأخیر آن‌ها بیشتر باشد اولویت بیشتری می‌دهد. بدین معنی که هرچه تأخیر برای یک بسته بیشتر باشد، متریک به دست آمده برای این بسته عدد بزرگ‌تری به خود می‌گیرد (ذکر این نکته الزامی است که پارامترهای دیگر مانند توان عملیاتی و نرخ از دست رفتن بسته نیز در محاسبه متریک تأثیرگذار هستند اما برای سادگی، در توصیف زمان‌بندی پارامتری در نظر گرفته شده که برای روش پیشنهادی بیشترین اهمیت را دارد و از پارامترهای دیگر صرف‌نظر شده است).

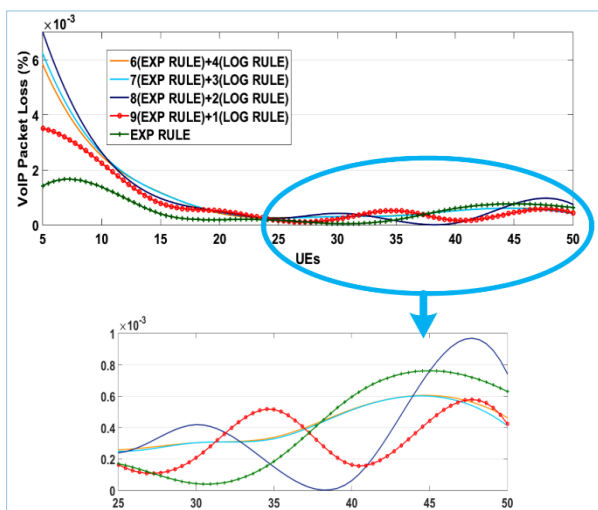
همان‌طور که در شکل ۲ طراحی گردیده است، به ترافیک‌های با تأخیر بیشتر، پهنای باند بیشتری اختصاص داده شده است که این امر باعث می‌شود این ترافیک‌ها زودتر زمان‌بندی شده و در نهایت تأخیر آن‌ها کاهش یابد. به عنوان مثال، برای تخصیص پهنای باند اگر فرض شود $BW_1 = 0/7$ ، $BW_2 = 0/2$ و $BW_3 = 0/1$ باشند و در هر ثانیه ۱۰۰ بسته از زمان‌بند خارج شده و به سمت کاربران هدایت شوند، ۷۰ بسته از صف اول، ۲۰ بسته از صف دوم و ۱۰ بسته از صف سوم خارج می‌شوند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، نرخ از دست رفتن بسته برای ترافیک ویدئو در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵: نرخ از دست رفتن بسته برای ترافیک ویدئو

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، کمترین نرخ از دست رفتن بسته یا به عبارتی بیشترین بهبود، برای روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) به دست آمده است. به طور مثال، زمانی که تعداد کاربران موبایل برابر ۵۰ است و به نوعی حجم ترافیک شبکه افزایش می‌یابد، نرخ از دست رفتن بسته در روش نمایی برابر ۲۵ درصد و در روش HWEL RULE با نسبت ۹ به ۱، برابر ۲۰ درصد است. ذکر این نکته الزامی است که برای ترافیک ویدئو، حداکثر نرخ از دست رفتن بسته برای قابل قبول بودن کیفیت دریافتی آن توسط کاربران، کمتر از ۱ درصد است [۲۷].



شکل ۶: نرخ از دست رفتن بسته برای ترافیک VoIP

در شکل ۶، نرخ از دست رفتن بسته برای ترافیک VoIP نشان داده شده است. برای این نوع ترافیک، نرخ از دست رفتن بسته در هر تعداد از کاربران موبایل و برای همه روش‌ها، کمتر از ۱ درصد و نزدیک به صفر است. لازم به ذکر است که نرخ از دست رفتن بسته قابل تحمل برای ترافیک VoIP، می‌بایست کمتر از مقدار ۱ درصد باشد [۲۸].

از نتایج به دست آمده برای نرخ از دست رفتن بسته در هر روش می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی در این مقاله (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) برای ترافیک ویدئو نسبت به روش نمایی در مجموع ۲۹/۸ درصد بهبود داشته و برای نسبت‌های ۸ به ۲، ۷ به ۳ و ۶ به ۴ به ترتیب ۲۷/۷، ۲۷/۱ و ۲۶/۴ درصد بهبود داشته است. برای ترافیک

جدول ۴: تنظیمات شبیه‌سازی

مقادیر	پارامترها
۴۶ ثانیه	مدت زمان شبیه‌سازی
۴۰ ثانیه	مدت زمان تولید محتوا
۵۰	تعداد کاربران
۵ مگاهرتز	پهنای باند
TDD	ساختار فریم
تک‌سلولی همراه با ایجاد تداخل	سناریوی شبیه‌سازی
۷	تعداد سلول
best-effort	ترافیک پیش‌زمینه به صورت غیرزنده
ویدئو و VoIP	ترافیک پخش زنده
۳ کیلومتر بر ساعت	سرعت حرکت گره‌ها

پس از اعمال تنظیمات لازم به سناریوی شبیه‌سازی مربوطه، برای پیاده‌سازی الگوریتم زمان‌بندی موردنظر، لازم است که فایل ایجاد شده که در آن کدهای مربوط به الگوریتم زمان‌بندی قرار دارند را در بخش زمان‌بند بسته در شبیه‌ساز ذخیره شود. با اجرای سناریوی شبیه‌سازی، فایل زمان‌بند موردنظر در برنامه فراخوانی شده و بر انواع ترافیک موجود در شبکه اعمال می‌شود. شبیه‌ساز به روش زمان‌بندی پیشنهادی HWEL در شکل ۴ قابل مشاهده است.

```

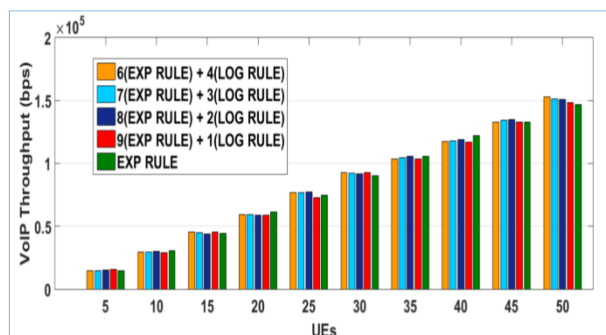
ComputeSchedulingMetric (RadioBearer *bearer, double spectralEfficiency, int subChannel)
{
    GetApplicationID
    double metric;
    if ((ApplicationType == INFINITE_BUFFER) || (ApplicationType == CBR))
        metric = (spectralEfficiency * 180000.) / AverageTransmissionRate;
    else
        QoSParameters *qos = GetQoSParameters;
        double HOL = HeadOfLinePacketDelay;
        double targetDelay = MaxDelay;
        double logTerm = log (1.1 + ((5 * HOL) / targetDelay));
        //COMPUTE METRIC USING OF HWEL RULE:
        double numerator = (6/targetDelay) * HOL;
        double denominator = (1 + sqrt (m_avgHOLDelays));
        double weight = (spectralEfficiency * 180000.) / bearer->GetAverageTransmissionRate();
        metric = 9*((exp (numerator/denominator) * weight)) + (1*logTerm);
    }
    return metric;
}

```

شکل ۴: شبیه‌ساز الگوریتم زمان‌بندی HWEL RULE

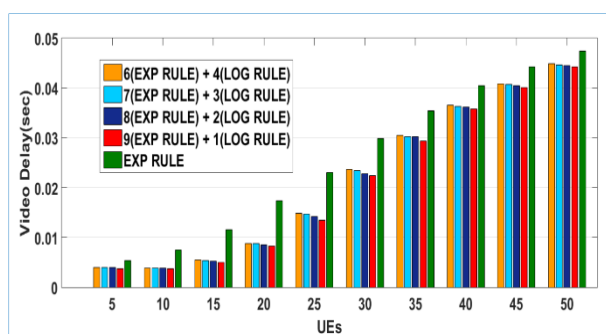
۵- نتایج شبیه‌سازی

پس از اعمال شرایط شبیه‌سازی ارائه شده در بخش ۴، به سناریوی مربوطه و میانگین‌گیری از ۵ مرتبه اجرای شبیه‌سازی، نتایج مقایسه روش زمان‌بندی HWEL RULE پیشنهادی با روش زمان‌بندی نمایی از نظر پارامترهای مختلف کیفیت سرویس، به ترتیب زیر است:



شکل ۸: توان عملیاتی سیستم برای ترافیک VoIP

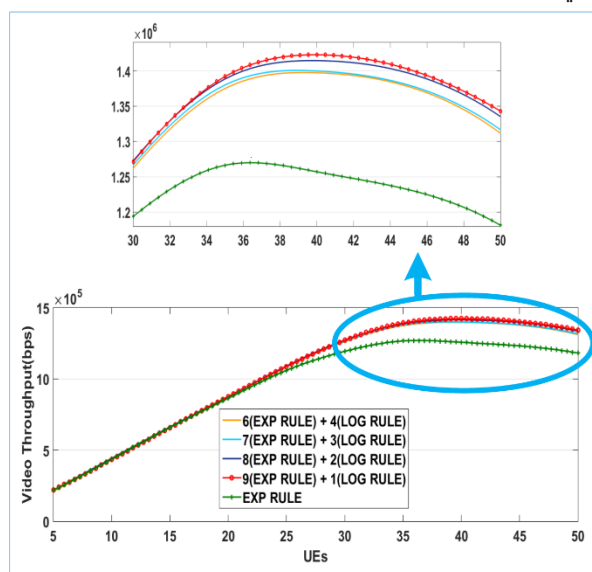
همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، توان عملیاتی سیستم برای ترافیک VoIP، با افزایش تعداد کاربران افزایش یافته است. در تعداد کاربران ۵۰، بیشترین توان عملیاتی سیستم برای این نوع ترافیک، مربوط به روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۶ به ۴) است که این مقدار برابر ۱۵۲۹۷۹ بیت‌بر ثانیه به‌دست‌آمده است. این در حالی است که میزان توان عملیاتی در همین بازه برای روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) و قاعده نمایی، به ترتیب برابر ۱۴۸۵۷۲ و ۱۴۶۷۱۶ بیت‌بر ثانیه است. از نتایج توان عملیاتی به‌دست‌آمده برای هر روش می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) برای ترافیک VoIP نسبت به روش نمایی به میزان ۰/۷ درصد توان عملیاتی سیستم را بهبود داده است. این بهبود برای روش‌های دیگر با نسبت ۸ به ۲، ۷ به ۳ و ۶ به ۴ به ترتیب برابر ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۲ درصد می‌باشند. تأخیر آنها به انتها، برای هر دو نوع ترافیک ویدئو و VoIP به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده‌شده‌اند.



شکل ۹: تأخیر به‌دست‌آمده برای ترافیک ویدئو

VoIP نیز، در تمامی روش‌ها، نرخ از دست رفتن بسته نزدیک به صفر بوده است و درواقع عملکرد یکسانی داشته‌اند. توان عملیاتی شبکه برای ترافیک‌های ویدئو و VoIP به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده‌شده‌اند.

مطابق شکل ۷ برای ترافیک ویدئو، بیشترین توان عملیاتی در تعداد کاربران موبایل ۴۰ و مربوط به روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) به‌دست‌آمده است. در این تعداد از کاربران، میزان توان عملیاتی برای روش مذکور، برابر ۱۴۲۲۷۵۲ بیت‌بر ثانیه به‌دست‌آمده است و این در حالی است که در روش نمایی، این مقدار برابر ۱۲۵۷۰۵۵ بیت‌بر ثانیه است.



شکل ۷: توان عملیاتی سیستم برای ترافیک ویدئو

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱)، توان عملیاتی سیستم برای ترافیک ویدئو را نسبت به روش نمایی به میزان ۱۶۵۶۹۷ بیت‌بر ثانیه افزایش داده است. با توجه به شکل ۷، برای ترافیک ویدئو با افزایش تعداد کاربران موبایل به بیش از ۴۰ کاربر، توان عملیاتی سیستم کاهش می‌یابد. به‌طور مثال در تعداد کاربران به میزان ۵۰، توان عملیاتی سیستم برای روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱)، برابر ۱۳۴۳۱۱۹ بیت‌بر ثانیه به‌دست‌آمده است که با توجه به کاهش توان عملیاتی، همچنان به میزان ۱۶۱۷۱۵ بیت‌بر ثانیه نسبت به روش نمایی افزایش داشته است. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده برای ترافیک ویدئو نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با نسبت ۹ به ۱ در مقایسه با روش نمایی توان عملیاتی سیستم را ۷/۸ درصد بهبود داده است. همچنین، ترکیب‌های دیگر روش پیشنهادی با نسبت‌های ۸ به ۲، ۷ به ۳ و ۶ به ۴ به ترتیب ۷/۷، ۶/۹ و ۶/۵ درصد توان عملیاتی سیستم را برای ترافیک ویدئو نسبت به روش نمایی بهبود داده‌اند.

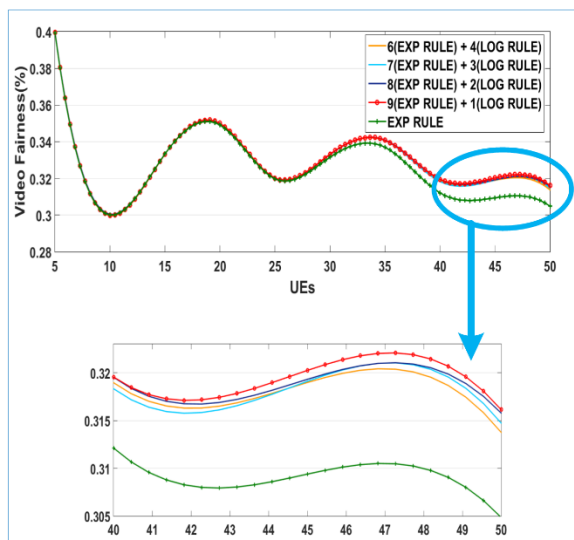
۲، ۷ به ۳ و ۶ به ۴ به ترتیب برابر با مقادیر ۲۲/۵، ۲۰ و ۱۹/۵ درصد است.

در شبیه ساز LTE-Sim، پارامتر عدالت بر اساس معیار نرخ عبور یا نرخ اطلاعات مفیدی که در واحد ثانیه منتقل می‌شوند و به دست کاربر می‌رسند، محاسبه می‌گردد. همچنین، این پارامتر، به صورت رابطه (۱۴) قابل محاسبه است:

$$\text{Fairness} = \frac{\text{sum-goodput}}{n * \text{sum-goodput}} \quad (14)$$

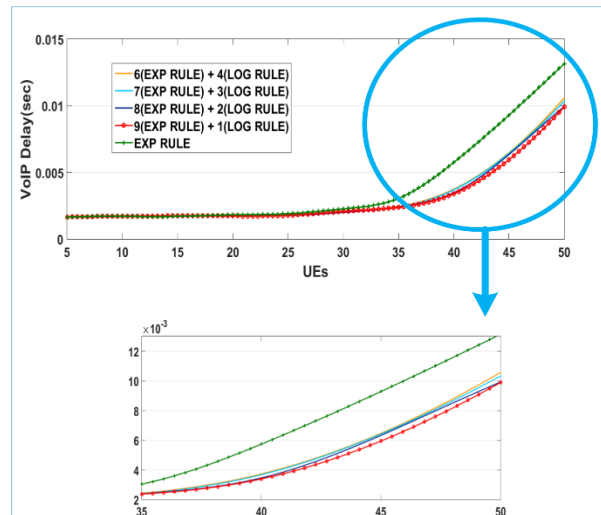
که در این رابطه، n تعداد کاربران و sum-goodput حاصل جمع نرخ عبور است [۲۹].

از بررسی نتایج به دست آمده در رابطه با معیار عدالت برای ترافیک ویدئو، می‌توان به این نتیجه دست یافت که روش پیشنهادی در این مقاله نسبت به روش نمایی مقدار ناچیزی بهبود حاصل کرده است. البته ذکر این نکته الزامی است که همیشه بهبود تمامی پارامترهای کیفیت سرویس با یک روش امکان پذیر نیست و به ازای بهبود در پارامتری، ممکن است با کاهش عملکرد پارامتر (پارامترهای) دیگری مواجه شویم. با توجه به این نکته، ضمن اینکه در روش پیشنهادی قادر به ایجاد بهبود در چند پارامتر کیفیت سرویس مانند تأخیر، نرخ از دست رفتن بسته و توان عملیاتی شدیم، با این حال باعث کاهش عملکرد معیار عدالت نشدیم و حتی توانستیم به بهبود ناچیزی دست پیدا نماییم. این پارامتر برای روش HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) نسبت به روش نمایی در ترافیک ویدئو، ۱/۱ درصد بهبود داشته است. همچنین این بهبود برای نسبت‌های دیگر روش پیشنهادی مانند ۸ به ۲، ۷ به ۳ و ۶ به ۴ به ترتیب برابر با ۱، ۰/۹۹ و ۰/۹۶ درصد است.



شکل ۱۱: معیار عدالت برای ترافیک ویدئو

برای ترافیک VoIP، روش HWEL RULE با نسبت ضرایب مختلف در مقایسه با روش نمایی از نظر پارامتر معیار عدالت، عملکرد یکسانی داشته‌اند. لذا، با توجه به توضیحاتی که در پاراگراف قبل بیان شد،



شکل ۱۰: تأخیر به دست آمده برای ترافیک VoIP

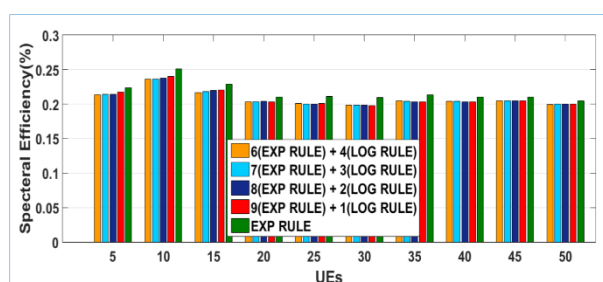
مطابق نمودار شکل ۹ برای ترافیک ویدئو، روش پیشنهادی HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) نسبت به روش نمایی، از نظر پارامتر تأخیر در تمام بازه‌ها عملکرد بهتری داشته و برای این پارامتر به میزان چشمگیری بهبود حاصل گشته است. بیشترین میزان بهبود تأخیر، در تعداد کاربران موبایل برابر ۲۵ رخ داده که روش پیشنهادی در این بازه به میزان ۱۰ میلی ثانیه کاهش تأخیر را به همراه داشته است. همچنین، کمترین میزان بهبود تأخیر، در کاربران موبایل با تعداد ۵ و به میزان ۲ میلی ثانیه است. شایان ذکر است که حداکثر بهبود تأخیر برای دریافت جریان ویدئو با کیفیت مناسب توسط کاربران، ۱۵۰ میلی ثانیه است [۲۷].

از نتایج به دست آمده مربوط به میزان تأخیر ترافیک ویدئو، می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) نسبت به روش نمایی، به طور کلی ۲۱ درصد بهبود تأخیر را به همراه داشته است. همچنین، میزان بهبود تأخیر برای حالت‌های دیگر روش پیشنهادی این مقاله با نسبت‌های ۸ به ۲، ۷ به ۳ و ۶ به ۴ به ترتیب برابر با مقادیر ۱۹، ۲۰ و ۱۸/۶ درصد است.

بر اساس شکل ۱۰ که مربوط به پارامتر تأخیر برای ترافیک VoIP است، مشاهده می‌شود که به طور کلی، روش پیشنهادی در این تحقیق نسبت به روش نمایی باعث بهبود پارامتر تأخیر شده است. این شرایط با افزایش تعداد کاربران موبایل به تعداد ۳۵ بیشتر نمایان می‌گردد به طوری که در تعداد برابر با ۵۰ کاربر موبایل، بیشترین میزان بهبود برابر ۳ میلی ثانیه است. در استاندارد ITU G.114 بیان شده است که اگر میزان تأخیر برای ترافیک پخش زنده VoIP کمتر از ۱۵۰ میلی ثانیه باشد، کیفیت دریافت آن کاهش پیدا نمی‌کند [۲۷، ۲۸]. از نتایج به دست آمده برای پارامتر تأخیر ترافیک VoIP، می‌توان به این نتیجه دست یافت که روش پیشنهادی HWEL RULE (ترکیب با نسبت ۹ به ۱) نسبت به روش نمایی، به میزان ۲۳/۵ درصد بهبود داشته است و این میزان بهبود برای حالت‌های دیگر روش پیشنهادی با نسبت‌های ۸ به

جدول ۵: مقایسه عملکرد روش HWEL RULE در مقایسه با روش EXP RULE

روش HWEL RULE	نوع ترافیک	بهبود تأخیر %	بهبود نرخ از دست رفتن بسته %	بهبود توان عملیاتی %	بهبود معیار عدالت %	بهبود بازده طیفی %
با نسبت ۹ به ۱	ویدئو	۲۱	۲۹/۸	۷/۸	۱/۱	-۳/۸۲
	VoIP	۲۳/۵	عملکرد یکسان	۰/۷	عملکرد یکسان	
با نسبت ۸ به ۲	ویدئو	۲۰	۲۷/۷	۷/۷	۱	-۴/۱۳
	VoIP	۲۲/۵	عملکرد یکسان	۰/۵	عملکرد یکسان	
با نسبت ۷ به ۳	ویدئو	۱۹	۲۷/۱	۶/۹	۰/۹۹	-۴/۲۰
	VoIP	۲۰	عملکرد یکسان	۰/۳	عملکرد یکسان	
با نسبت ۶ به ۴	ویدئو	۱۸/۶	۲۶/۴	۶/۵	۰/۹۶	-۴/۲۱
	VoIP	۱۹/۵	عملکرد یکسان	۰/۲	عملکرد یکسان	



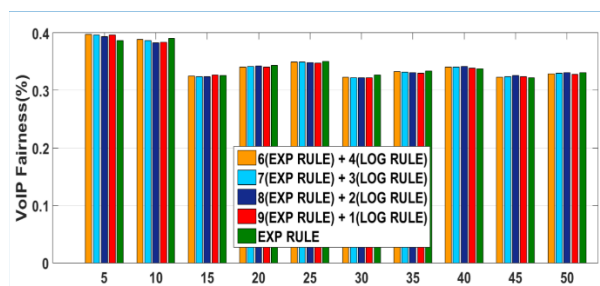
شکل ۱۳: بازده طیفی شبکه

در جدول ۵، میزان درصد بهبود روش پیشنهادی HWEL RULE، نسبت به روش‌های تنظیم شده است. لازم به ذکر است که کاهش عملکرد، برای برخی پارامترها در روش پیشنهادی به‌طوری است که مقادیر به‌دست‌آمده برای آن پارامتر در محدوده مجاز قرار دارند. همچنین درصد‌های بهبود نسبت به روش‌هایی در جدول مذکور قابل مشاهده می‌باشند.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش زمان‌بندی Hybrid Weighted EXP-LOG RULE (ترکیبی از قاعده‌های نمایی- لگاریتمی) ارائه شده است. پس از ارائه الگوریتم پیشنهادی، آن را از نقطه‌نظر پارامترهای مختلف کیفیت سرویس شامل تأخیر، نرخ از دست رفتن بسته، توان عملیاتی، منصفانه بودن و بازده طیفی شبکه با الگوریتم زمان‌بندی تابع‌نمایی، توسط نرم‌افزار LTE-Sim شبیه‌سازی کرده و سپس به مقایسه و ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مذکور پرداختیم. نتایج ارزیابی در این تحقیق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی HWEL RULE عملکرد بهتری نسبت به روش‌هایی داشته است و توانسته است در پارامترهای مهم کیفیت از جمله تأخیر، نرخ از دست رفتن بسته، توان عملیاتی و

اینکه روش پیشنهادی باعث افت پارامتر معیار عدالت نشده است، بیانگر عملکرد مناسب این روش است. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ که به ترتیب نشان‌دهنده معیار عدالت برای ترافیک‌های ویدئو و VoIP می‌باشند، گویای این امر هستند.



شکل ۱۲: معیار عدالت برای ترافیک VoIP

بازده طیفی، میزان استفاده مؤثر از منابع رادیویی است [۹]. در شبیه‌سازی مورد استفاده در این مقاله، بازده طیفی به صورت رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود [۲۹]:

$$\text{spectral- efficiency} = (\text{tot- goodput} / \text{time}) / \text{BW} \quad (15)$$

که در این رابطه، tot-goodput مجموع نرخ عبور، time زمان و BW پهنای باند است.

شکل ۱۳، بازده طیفی به‌دست‌آمده برای روش‌های مختلف را در تعداد کاربران مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این پارامتر برای روش پیشنهادی با نسبت ضرایب مختلف در این تحقیق نسبت به روش‌هایی مقدار کمتری را به دست آورده است، چرا که این روش با هزینه کردن این پارامتر، پارامترهای مهم دیگری همچون نرخ از دست رفتن بسته، تأخیر و توان عملیاتی سیستم را بهبود داده است.

- International Symposium and Programming Systems (ISPS), Algeria, 2011, pp. 32-38.
- [13] N.N. Sirhan, G.L. Heileman, C.C. Lamb and R. Piro-Rael. (2015). QoS-Based Performance Evaluation of Channel-Aware/QoS-Aware Scheduling Algorithms for Video-Applications over LTE/LTE-A. *Computer Science & Information Technology (CS & IT)*. 5(7), pp. 49-65.
- [14] N. Ferdosian, M. Othman, B.M. Ali and K.Y. Lun, "Throughput-aware Resource Allocation for QoS Classes in LTE Networks," in *International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCCSI 2015)*, 2015, pp. 115-122.
- [15] M. Iturralde, A. Wei, T. Ali-Yahiya and A.L. Beylot. (2013, Mar.). Resource Allocation for real time services in LTE networks: resource allocation using cooperative game theory and virtual token mechanism. *Wireless Personal Communications*. 72(2), pp. 1415-1435.
- [16] E. Dahlman, S. Parkvall and J. Skold, "4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband," in *LTE*, 2nd ed., 2013.
- [17] H. Holma and A. Toskala, "LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access," in *LTE*, 1st ed., United Kingdom, 2009, pp. 1-22.
- [18] فرهاد دانائی یگانه، افشین ابراهیمی، « مدیریت انتخاب مجدد سلول در نسل‌های مختلف شبکه‌های سلولی مبتنی بر GPP3 و تحلیل دو چالش یک اپراتور داخلی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۶، شماره ۳، صفحه ۹۶۲-۱۷۹، پاییز ۹۵.
- [19] S. Fouziya Sulthana, R. Nakkeeran. (2014, Dec.). Study of downlink scheduling algorithms in LTE networks. *Journal of Networks*. 9(12), pp. 3381-3391.
- [20] A. L. Stolyar and K. Ramanan. (2001, Feb.). Largest weighted delay first scheduling: Large deviations and optimality. *Annals of Applied Probability*. 11(1), pp. 1-48.
- [21] Y. J. Xian, F. C. Tian, C. B. Xu and Y. Yue. (2011, Aug.). Analysis of M-LWDF fairness and an enhanced M-LWDF packet scheduling mechanism. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*. 18(4), pp. 82-88.
- [22] M. Iturralde, T. A. Yahiya, A. Wei and A. L. Beylot, "Performance study of multimedia services using virtual token mechanism for resource allocation in LTE networks," in *Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, IEEE, San Francisco, CA, 2011, pp. 1-5.
- [23] B. Sadiq, S.J. Baek and G. De. Veciana. (2011, Apr.). Delay-optimal opportunistic scheduling and approximations: The log rule. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*. 19(2), pp. 405-418.
- [24] S. Ali, M. Zeeshan and A. Naveed. (2013, Dec.). A capacity and minimum guarantee-based service class-oriented scheduler for LTE networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2013(1), pp. 1-15.
- [25] S. Ali and M. Zeeshan, "A utility based resource allocation scheme with delay scheduler for LTE service-class support," in *2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Shanghai, 2012, pp. 1450-1455.
- [26] G. Piro, L.A. Grieco, G. Boggia and F. Capozzi. (2011, Feb.). Simulating LTE cellular systems: an open-source framework. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 60(2), pp. 498-513.
- [27] D. Robalo and F. J. Velez, "A Model for Mapping between the Quality of Service and Experience for Wireless Multimedia Applications," in *IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, Seoul, 2014, pp. 1-7.
- منصفانه بودن شبکه به‌طور کلی در بازه‌ای بین ۰/۹۶ درصد تا ۲۹/۸ درصد بهبود حاصل نماید.
- با توجه به اهمیت تأمین کیفیت‌سرویس برای کاربران مختلف شبکه، هر الگوریتم یا راهکاری که در این زمینه ارائه می‌شود، همچنان نیازمند بهبود بیشتر است. ترکیب الگوریتم‌های زمان‌بندی مختلف راه‌حل مناسبی برای طراحی الگوریتم‌هایی است که کیفیت‌سرویس مطلوبی در شبکه فراهم می‌نمایند. به‌عنوان کارهای آینده می‌توان الگوریتم پیشنهادی در این مقاله را طوری در نظر گرفت که شبکه از چند سلول دیگر تشکیل‌شده و امکان Handover نیز در آن شبکه وجود داشته باشد. همچنین می‌توان با آر سال نمودن ویدئوی زنده در شبکه و بررسی نتایج حاصل از دریافت این ویدئوها، به محاسبه کیفیت تجربه (QoE) کاربران در شبکه LTE پرداخت.
- ### مراجع
- [1] M. Kalil, A. Shami and A. Al-Dweik. (2015, Aug.). QoS-aware power-efficient scheduler for LTE uplink. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 14(8), pp. 1672-1685.
- [2] <http://www.3gpp.org/about-3gpp/about-3gpp>
- [3] I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez and E. CH. Reyes. (2010, Dec.). The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. *Physical Communication*. 3(4), pp. 217-244.
- [4] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Skold and P. Beming, "Background of 3G evolution," in *3G evolution: HSPA and LTE for mobile broadband*, 2nd ed., UK: Oxford, Academic Press, 2008.
- [5] E. M. Ang, K. K. Wee, Y. H. Pang and K. K. Phang. (2015, Dec.). A performance analysis on packet scheduling schemes based on an exponential rule for real-time traffic in LTE. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2015(1), pp. 1-12.
- [6] محمد حامدیان، بهروز شاهقلی قهفرخی، ندا مقیم، «یک پروتکل MAC آگاه از کیفیت تجربه کاربر مبتنی بر استاندارد IEEE 802.11e»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، جلد ۴۷، شماره ۲، صفحه ۴۷۰-۴۸۰، تابستان ۹۶.
- [7] A. Kumar, J. Sengupta and Y. Liu. (2012, Feb.). 3GPP LTE: The future of mobile broadband. *Wireless Personal Communications*. 62(3), pp. 671-686.
- [8] 3GPP TS 36.321 V9.0.0 (2010-10), "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 9)".
- [9] F. Capozzi, G. Piro, L.A. Grieco, G. Boggia and P. Camarda. (2013, May). Downlink packet scheduling in LTE cellular networks: Key design issues and a survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 15(2), pp. 678-700.
- [10] F. Afroz, S. Barua and K. Sandrasegaran. (2014, Oct.). Performance analysis of FLS, EXP, LOG and M-LWDF packet scheduling algorithms in downlink 3GPP LTE system. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*. 6(5), pp. 77-91.
- [11] T. Jiang, H. Wang and A.V. Vasilakos. (2012, Aug.). QoE-driven channel allocation schemes for multimedia transmission of priority-based secondary users over cognitive radio networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 30(7), pp. 1215-1224.
- [12] H. Rifai, S. Mohammed and A. Mellouk, "A brief synthesis of QoS-QoE methodologies," in *2011 10th*

[29] G Piro, LTE Simulator. (The LTE Simulator, 2007), <http://telematics.poliba.it/index.php/en/lte-sim>

[28] http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/solutions_docs/QoS_solutions/QoSVoIP/QoSVoIP.pdf

زیر نویس‌ها

¹ Channel aware	3
¹ QoS aware	4
¹ Time Division Duplex	5
¹ Frequency Division Duplex	6
¹ Radio Resource Allocation	7
¹ Channel sensitive	8
¹ Starvation	9
² Metric	0
² Spectral efficiency	1
² Delay Head of Line	2
² Open Source	3
² Goodput	4

¹ Downlink	
² Uplink	
³ Delay	
⁴ Download	
⁵ Upload	
⁶ Quality of Service	
⁷ Fairness	
⁸ Throughput	
⁹ Fairness	
¹ Packet Scheduling	0
¹ Radio Resource Management	1
¹ Radio Communication	2