



ارائه روشی پویا جهت بهبود نرخ دسترسی موفق و متوسط تاخیر دسترسی در شبکه‌های LTE به کمک فریم مجازی

سیده باهره حسن پور عبدالرسول قاسمی

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

دسترسی گسترده به ماشین‌های هوشمند و افزایش روزافزون تقاضا در ارتباطات ماشینی بر بستر شبکه‌های نسل چهارم مخابراتی، سرویس‌دهی و مدیریت درخواست‌ها را با چالش‌های اساسی روبرو کرده است. محدودیت منابع فیزیکی، تعدد کاربران و ارسال درخواست‌های انبوه همزمان می‌تواند منجر به بروز ازدحام شود. روش‌های متعددی به منظور کاهش دسترسی انبوه با ایجاد محدودیت در زمان دسترسی و یا توزیع زمان درخواست دسترسی مطرح شده‌اند. در روش فریم مجازی درخواست‌ها در فریم‌های متوالی پخش می‌شوند تا متوسط میزان درخواست‌های موفقیت‌آمیز را افزایش دهند. طول فریم مجازی که از کنار هم قرار گرفتن چندین زیرفریم متوالی بوجود می‌آید، باید با توجه به میزان بار شبکه و به طور مناسب انتخاب شود تا متوسط میزان تاخیر نامطلوب را در شبکه کاهش دهد. در این مقاله روشی پویا بر پایه روش‌های دسترسی تصادفی و پروتکل گسترش کد و با استفاده از روش فریم مجازی جهت حل مساله ازدحام در ارتباطات ماشینی بر بستر شبکه‌های نسل چهارم ارائه شده و مصالحه میان نرخ دسترسی موفق و متوسط تاخیر دسترسی استخراج شده است. در این راستا و به منظور حفظ بهره‌وری شبکه، طول فریم مجازی و فضای کدگذاری طی دو فاز تخمین و تصمیم‌گیری تعیین شده و متناسب با بار ورودی به شبکه تغییر می‌کند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و مقایسه این روش با یکی از متداولترین روش‌های پیاده‌سازی شده در شبکه‌های نسل چهارم موسوم به DACB نشان می‌دهد که در زمان ازدحام و شرایطی که تعداد آغازگرهای مجاز سیستم اندک است، استفاده از این روش بهره‌وری و متوسط زمان تاخیر در شبکه را بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: ارتباطات ماشینی با ماشین، کانال دسترسی تصادفی، کنترل ازدحام، تخمین برخط، فریم مجازی.

۱- مقدمه

ارتباطات ماشینی با قابلیت پشتیبانی از برنامه‌های مبتنی بر ارتباطات ماشینی بردارند [۲].

ارتباطات ماشینی یا ارتباطات ماشین با ماشین (M2M) که به ارتباط دو یا چند ماشین با یکدیگر و بدون دخالت انسان گفته می‌شود، انقلاب بزرگی در صنعت ارتباطات و فناوری به حساب می‌آید [۳]. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد رشد ارتباطات ماشین با ماشین تا سال ۲۰۲۰ به بیش از ۲۶ میلیارد ماشین می‌رسد که قصد اتصال به شبکه را دارند [۴]. وجود این‌گونه ارتباطات می‌تواند ایجاد برنامه‌های متنوع و کم‌نظیر بر پایه ارتباطات ماشینی و همچنین کسب‌وکار جدید در مدل‌های بازاریابی فعلی را تسهیل بخشد. پیاده‌سازی و راه‌اندازی این‌گونه ارتباطات چالش‌های بسیاری را در رشته‌های مختلف فناوری اعم از محاسبه، سنجش^۱ و یا تکنیک‌های ذخیره انرژی برمی‌انگیزد [۵]. انتظار می‌رود تا

شبکه‌های LTE یا همان Long Term Evolution که بیشتر با نام شبکه‌های نسل چهارم ارتباطی شناخته می‌شوند، استاندارد برای ارتباطات پرسرعت تلفنی هستند. این شبکه‌ها به عنوان نسل توسعه یافته شبکه‌های UMTS/GSM به جای استفاده از ارتباطات مبتنی بر روش مداری از ارتباطات داده بسته‌ای استفاده می‌کنند [۱]. به مرز اشباع رسیدن تعداد کاربرانی که از سرویس‌های شبکه‌های ارتباطی موبایل استفاده می‌کنند سبب شد تا اپراتورهای فراهم‌کننده ارتباطات مخابراتی گامی در جهت فراهم آوردن سرویس‌های جدید به منظور برقراری

۲- مروری بر کارهای پیشین

مکانیزم‌های متعددی برای حل مساله ازدحام در ایستگاه‌های مرکزی، بهبود مدیریت دسترسی تصادفی کاربران به کانال‌ها و همچنین بهبود مدیریت منابع فیزیکی در شبکه‌های ارتباطی از گذشته تا حال مطرح شده‌اند. بسیاری از تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه اساس مشکل ازدحام بار را ناتوانی ایستگاه‌های مرکزی در اختصاص منبع به کاربران دانسته و سعی در بهبود نحوه دسترسی انبوهی از ماشین‌ها به ایستگاه‌های مرکزی داشته‌اند [۱۸]. کنترل ناکارآمد منابع در ایستگاه‌های مرکزی سبب هدررفت منابع شده و علاوه بر کاهش بهره‌وری شبکه، تأخیر نامطلوبی در پاسخ‌دهی به وجود می‌آورد. مکانیزم‌های مدیریت ازدحام به شکلی کارآمد خود به دو دسته مکانیزم‌های تخصیص از درون و مکانیزم تخصیص از بیرون تقسیم می‌شوند [۱۹].

در روش‌های مبتنی بر مکانیزم تخصیص از درون، مدیریت ازدحام توسط ایستگاه‌های مرکزی انجام شده و کاربر ماشینی هیچگونه هوشمندی در جلوگیری از رخداد ازدحام ندارد. بنابراین کاربران فارغ از داشتن اطلاعاتی از روند ترافیکی شبکه، هر زمان که بخواهند درخواست خود را به سمت ایستگاه‌های مرکزی ارسال می‌کنند. ایستگاه مرکزی برحسب میزان ترافیک ورودی، بخشی از درخواست‌ها را پذیرفته و باقی را دور می‌ریزد. در روش‌های مبتنی بر مکانیزم تخصیص از بیرون، ماشین‌ها در مدیریت و کنترل ازدحام شبکه مشارکت داشته و با توجه به میزان بار فعلی شبکه و شرایط کانال، اقدام به ارسال بسته خود و آغاز عملیات RACH می‌کنند [۱۹].

یکی از ابتدایی‌ترین روش‌های مبتنی بر مکانیزم تخصیص از درون، جداسازی آغازگرهای انسانی از ماشینی بود تا تراکم بسته‌های ارسالی از سوی کاربران ماشینی امکان دسترسی به شبکه را از کاربران انسانی سلب نکند [۲۰]. در این روش بخشی از آغازگرها به ارتباطات ماشینی و باقی در اختیار کاربران انسانی قرار می‌گرفتند اما پیاده‌سازی این روش در شبکه با محدود کردن تعداد آغازگرهای مختص ارتباطات ماشینی به بحران ازدحام در شبکه‌های ماشینی دامن زد.

دسته‌ای دیگر از روش‌های مبتنی بر مکانیزم تخصیص از درون به تقسیم شیارهای زمانی^۹ مجاز پرداختند. روش دسترسی برش یافته^{۱۰} (SA) با تقسیم زمان به بازه‌های مساوی یا متغیر و اختصاص هر برش زمانی به کاربران ماشینی و انسانی در حالی که تعداد آغازگر در تمامی بازه‌ها برای همه انواع ترافیکی ثابت در نظر گرفته شده است، یکی از قدیمی‌ترین روش‌های موفق در مدیریت ازدحام ارتباطات ماشینی به شمار می‌رود [۲۱-۲۳]. روش‌ها و راه‌حل‌های متعددی برپایه این روش ارائه شده‌اند و به بهبود این روش در حوزه‌های مختلف پرداخته‌اند که در ادامه به توضیح سه روش مبتنی بر SA می‌پردازیم [۱۸].

۲-۱- کلاس ممنوعیت دسترسی پویا^{۱۱} (DACB)

ایده اصلی این روش گروه‌بندی کاربران ماشینی در گروه‌های مختلف براساس نیازمندی‌های آنان است. در این روش مدیریت و جلوگیری از ازدحام با تعریف پارامتر ACB که با نماد P نمایش داده می‌شود، صورت می‌پذیرد. ایستگاه مرکزی در ابتدای هر بازه زمانی تعریف شده، مقداری بین [۰ و ۱] را به عنوان پارامتر P در نظر می‌گیرد. کاربرانی که قصد دسترسی به شبکه را دارند، پیش از آغاز عملیات چهار مرحله‌ای RACH، عددی تصادفی بین [۰ و ۱] انتخاب می‌کنند. اگر عدد تصادفی انتخابی از مقدار P کمتر باشد، کاربر می‌تواند درخواست خود را به سمت ایستگاه مرکزی ارسال کند. در غیراینصورت باید تا آغاز بازه زمانی بعدی و امتحان مجدد شانس خود صبر کند. در زمان اوج بار ورودی به شبکه ایستگاه

سیستم‌های سلولی نقش بسیار مهمی در گسترش موفق ارتباطات ماشینی داشته باشند. در حقیقت ارتباطات سلولی سیار مزایای بسیاری نظیر ساختار استاندارد جهانی، اتصال مقرون به صرفه، نصب و نگهداری آسان را دارا هستند که برای پیاده‌سازی ارتباطات ماشینی مناسب‌اند [۶].

نیازها و ویژگی‌های ذاتی متفاوت میان کاربران ماشینی و کاربران انسانی، هدف و نوع نیاز از برقراری ارتباط را در ارتباطات ماشینی و انسانی از یکدیگر متمایز می‌کند [۵ و ۷]. پارامترهایی هم‌چون اندازه بسته، تحرک، بهره‌وری، مصرف انرژی و زمان تأخیر در ارتباطات ماشینی و انسانی متفاوت است. با توجه به مشترک بودن منابع شبکه میان ترافیک انسانی و ترافیک ماشینی، با افزایش تعداد ماشین‌ها در شبکه‌های بی‌سیم، شبکه با کمبود منابع فیزیکی روبروست. کمبود منابع و تقسیم شدن آن میان تعداد بسیار زیادی از کاربران از کیفیت سرویس‌دهی در شبکه کاسته و ناکارآمدی سیستم را به همراه دارد [۳، ۵، ۷، ۸].

شبکه‌های LTE به عنوان یکی از محبوب‌ترین فناوری‌ها با استفاده از رادیوهای پیشرفته جهت تطبیق ارتباطات ماشینی به کار می‌روند. معماری شبکه‌های LTE دارای سه بخش اساسی ایستگاه مرکزی، تجهیزات کاربری^۲ (UE) و هسته شبکه^۳ (CN) است [۹]. با توجه به مسطح^۴ بودن معماری این شبکه‌ها، ایستگاه‌های مرکزی خود وظیفه مدیریت و برقراری هماهنگی با سایر ایستگاه‌های مرکزی و هسته را برعهده دارند [۷]. هر کاربر ماشینی جهت اتصال به شبکه می‌بایست عملیات دسترسی تصادفی را که با نام RACH^۵ شناخته می‌شود با موفقیت انجام دهد [۱۰]. این عملیات از چهار مرحله تبادل اطلاعات میان کاربر ماشینی و ایستگاه مرکزی تشکیل شده است.

در گام نخست هر کاربر ماشینی یک آغازگر^۶ از میان آغازگرهای مجاز به طور تصادفی انتخاب کرده و درخواست خود را در محدوده زمان - فرکانس آن آغازگر به سمت ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. سپس به اندازه پنجره انتظار خود جهت دریافت پاسخی از ایستگاه مرکزی منتظر می‌ماند. آغازگرها ۶۴ رشته متعام هستند که عمدتاً تعدادی از آنها برای موارد خاصی رزرو بوده و تنها ۵۴ عدد از آنها جهت استفاده کاربران مجاز هستند [۱۱ و ۱۲]. اگر آغازگرها در ایستگاه مرکزی به درستی دریافت و شناسایی شوند، ایستگاه مرکزی به هر آغازگر دریافتی یک بلوک منبع^۷ (RB) در کانال RACH اختصاص می‌دهد و پیام پاسخ دسترسی تصادفی^۸ (RAR) را به همراه اطلاعاتی از وضعیت کانال به سمت کاربران انتخاب کننده آن آغازگر ارسال می‌کند [۱۳]. کاربر ماشینی در صورت موافقت با شرایط اعلام شده، تایید خود را جهت آغاز برقراری ارتباط برای ایستگاه مرکزی می‌فرستد. اگر تمام مراحل عملیات RACH با موفقیت انجام شود ایستگاه مرکزی یک ACK برای کاربران ماشینی ارسال می‌کند [۱۴]. عدم دریافت RAR در زمان معین نشان‌دهنده عدم موفقیت عملیات RACH بوده و کاربرانی که پیام RAR را دریافت نکرده‌اند موظف هستند تا زمان مجاز بعدی برای ارسال مجدد درخواست خود منتظر بمانند. شکل ۱- (ج) نمایشی از چهار مرحله عملیات RACH را نمایش می‌دهد.

رشد بی‌سابقه استفاده از ماشین‌های هوشمند و درخواست اتصال با کیفیت سرویس‌دهی‌های متفاوت بر بستر شبکه‌های LTE، چالش‌های جدیدی را در حوزه مدیریت منابع به وجود می‌آورد [۷]. اگر چه ترافیک تولیدی توسط هر ماشین به طور متوسط حجمی بسیار اندک دارد اما ویژگی جدایی‌ناپذیر ارتباطات ماشینی تولید بسته‌هایی با حجم اندک و فرکانس بالاست. بنابراین اولین و مهمترین چالش، ارسال درخواست انبوه هم‌زمان از سمت کاربران ماشینی است که منجر به ازدحام در ایستگاه‌های مرکزی می‌شود [۱۵]. نتیجه این ازدحام افزایش نرخ بسته‌های گم شده، تأخیر نامطلوب و سربار ارسال مجدد است [۱۶ و ۱۷]. در این مقاله مساله ازدحام ناشی از دسترسی هم‌زمان انبوه در ایستگاه‌های مرکزی بررسی می‌شود.

مرکزی مجاور با هماهنگی با یکدیگر فاکتور ACB خود را تغییر می‌دهند تا از بروز این مساله در شبکه جلوگیری شود [۲۶].

۲-۳- مکانیزم گسترش کد دسترسی تصادفی (CERA)

این روش با کنار هم قرار دادن شیارهای زمانی و تشکیل یک فریم مجازی رقابت میان کاربران ماشینی را از فضای اندک یک شیار زمانی به فضای بزرگتری از منابع در فریم مجازی تبدیل می‌کند (شکل ۱-ب). در گام نخست عملیات RACH هر کاربر به ازای تعداد شیار زمانی موجود در هر فریم مجازی، آغازگر انتخاب می‌کند. از کنار هم قرار دادن آغازگرها کدواژه^{۱۴} بوجود می‌آید. کاربرانی که کدواژه یکسانی انتخاب کرده باشند دچار تصادم شده و بسته‌های آنها دور ریخته می‌شود. این مکانیزم در زمان ازدحام مدیریت منابع را بهبود می‌بخشد اما تاخیر زیادی به سیستم اعمال می‌کند [۲۷]. مهمترین چالش در مکانیزم CERA تعیین اندازه طول فریم مجازی متناسب با شرایط سولوی و ترافیکی است. با انتخاب یک طول مناسب نرخ دسترسی موفق به میزان قابل توجهی افزایش داشته درحالیکه تاخیر اعمالی به سیستم در حد قابل قبولی نگاه داشته شده است. به‌منظور دستیابی به این مهم ایستگاه مرکزی می‌بایست از نرخ ترافیک ورودی مطلع باشد. در این مقاله ما روشی جهت بهبود مکانیزم CERA با استفاده از تخمین‌گرهای برخط ارائه می‌دهیم تا با یادگیری روند ترافیک ورودی به شبکه طول فریم مجازی را منطبق بر ترافیک ورودی محاسبه کند.

۳- مدل سیستمی

در این مقاله یک سلول ارتباطی از شبکه LTE به همراه یک ایستگاه مرکزی جهت مدیریت و سرویس‌دهی به کاربران ماشینی در نظر گرفته شده است [۲۸]. تعداد کل ماشین‌های موجود در سلول با N نمایش داده شده که در G خوشه مختلف توزیع شده‌اند (شکل ۱-الف). با انتخاب شاخص پیکربندی شماره سه در استاندارد ارتباطات ماشینی بر بستر شبکه‌های LTE، زمان به بازه‌های ۱۰ms به نام فریم تقسیم شده که متشکل از ۱۰ زیرفریم با اندازه ۱ms است. زیرفریم اول هر فریم مختص ارتباطات ماشینی بوده و باقی زیرفریم‌ها به ارتباطات انسان با انسان اختصاص دارند [۳]. همچنین پهنای باند کانال RACH ۲۰ مگاهرتز در نظر گرفته شده است. بنابراین تعداد کل بلوک‌های منبع موجود در هر فریم معادل ۱۰۰ عدد بوده که از این تعداد ۹۴ عدد آنها برای تخصیص به کاربران آزاد است. کلیه پارامترهای فیزیکی مفروض در جدول شماره ۱ نمایش داده شده است [۱۰ و ۱۳].

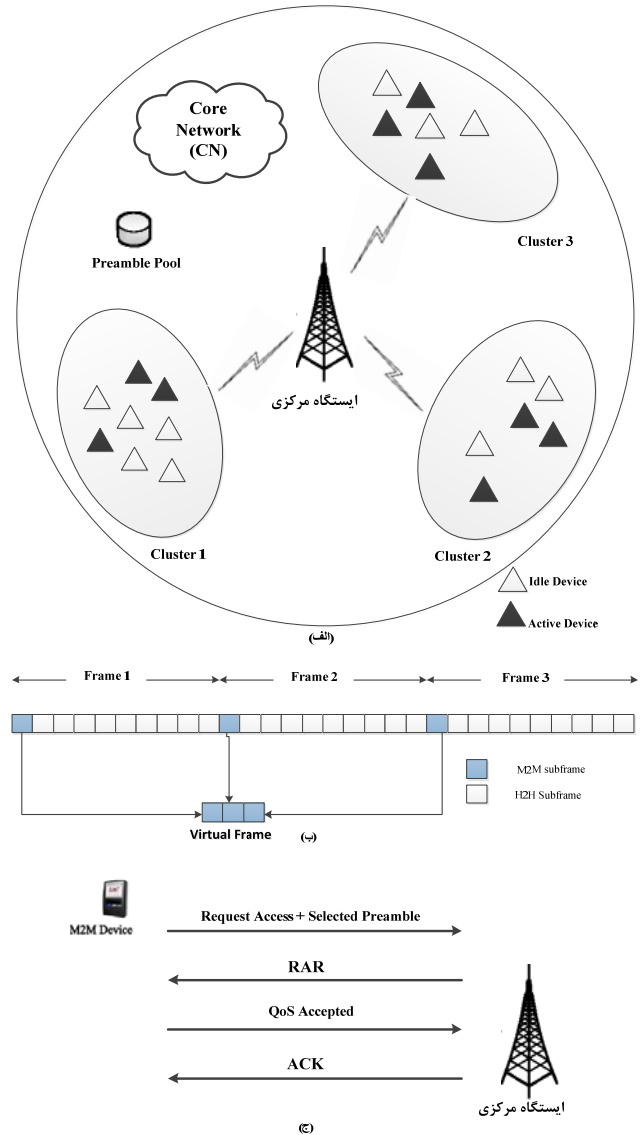
جدول ۱- پارامترهای فیزیکی و مقادیر آنها

مقدار	پارامترهای فیزیکی
۲۰ مگاهرتز	پهنای باند سلول
۳	شاخص پیکربندی PRACH
۵۴	تعداد کل آغازین مجاز در هر فریم
صفر	اندازه زمان محرومیت از ارسال
پنج زیرفریم	اندازه پنجره پاسخ

کاربران ماشینی در حالت فعال براساس توزیع احتمالاتی داده شده اقدام به تولید بسته می‌کنند. در معادله (۱)، N_{gi} و N_i به ترتیب تعداد کل کاربران ماشینی فعال و تعداد ماشین‌های فعال در خوشه g-m در فریم مجازی i-am را نمایش می‌دهند.

مرکزی با کاهش اندازه P مانع از ورود حجم زیادی از بسته‌های درخواستی به ایستگاه مرکزی می‌شود [۲۴].

این روش گرچه با جلوگیری از ارسال بسته‌های درخواست دسترسی توسط کاربران از بروز ازدحام در ایستگاه مرکزی جلوگیری می‌کند اما منجر به هدررفت منابع فیزیکی آزاد شبکه در هر فریم می‌شود [۲۵].



شکل ۱- الف) یک سلول به همراه ایستگاه مرکزی و سه خوشه - ب) فریم مجازی - ج) عملیات چهار - مرحله‌ای RACH

۲-۲- کلاس ممنوعیت دسترسی مشارکتی (CAB)

این روش به منظور بهبود مکانیزم ACB زمانی که سلول‌های مجاور با یکدیگر همپوشانی بالایی داشته باشند، استفاده می‌شود. در زمان رخداد ازدحام در یک سلول اگر یک ایستگاه مرکزی فاکتور ACB خود را به حداقل مقدار ممکن برساند، کاربرانی که در قست همپوشانی قرار دارند درخواست‌های خود را به سمت ایستگاه‌های مجاور ارسال می‌کنند. این مساله باعث می‌شود تا سیل ترافیکی دائمی از یک سلول به سلول‌های مجاور سرازیر شده و با کاهش ترافیک در سلول مرکزی مجدداً ترافیک از سلول‌های مجاور به سمت سلول مرکزی روانه شود. در نتیجه توازن و ثبات در شبکه مختل می‌شود. با استفاده از مکانیزم CAB ایستگاه‌های

تصادم نشود، در همان فریم i -ام سرویس گرفته و از لیست انتظار دسترسی خارج می‌شود. تأخیر دسترسی کاربر i -ام به شبکه برابر با حاصل ضرب اختلاف شماره فریم خروجی و ورودی کاربر در طول فریم مجازی برحسب میلی ثانیه است. تأخیر دسترسی کاربر i -ام و متوسط میزان تأخیر دسترسی به شبکه به ترتیب در رابطه‌های (۷) و (۸) محاسبه شده‌اند. دو متغیر F_{O_k} و F_{i_k} به ترتیب فریم‌های ورودی و خروجی درخواست کاربر i -ام را نمایش می‌دهند.

$$\tau_k = |F_{i_k} - F_{O_k}| \times 10 \quad (7)$$

$$\tau = \frac{\sum_{k=1}^{k=N} \tau_k}{N} \quad (8)$$

جدول شماره ۲ کلیه پارامترهای استفاده شده به همراه توضیحات آنها را نمایش می‌دهد.

جدول ۲- نمادهای سیستمی

توضیحات	پارامترها
تعداد کل کاربران درون سلول	N
تعداد ماشین‌های فعال در فریم i -ام	N_i
تعداد ماشین‌های موفق در فریم i -ام	N_{S_i}
تعداد ماشین‌های ناموفق در فریم i -ام	N_{C_i}
تعداد کل آغازین موجود	M
بازه زمانی فعال شدن کاربران	T_A
شماره فریم ورودی کاربر k -ام	F_{i_k}
شماره فریم خروجی کاربر k -ام	F_{O_k}
بهره‌وری شبکه در فریم i -ام	θ_i
متوسط بهره‌وری شبکه	θ
تأخیر دسترسی در فریم i -ام	τ_k
متوسط تأخیر دسترسی به شبکه	τ

۴- مکانیزم گسترش کد در فریم مجازی پویا^{۱۵} (DFLCE)

با توجه به تعداد کم آغازگرهای مجاز در شبکه نسبت به تعداد کاربران درخواست‌دهنده و همچنین دور ریخته شدن بسته‌های کاربرانی که در مرحله اول عملیات RACH آغازگر یکسان انتخاب کرده‌اند، عملیات RACH در ایستگاه‌های مرکزی را می‌توان گلوگاه یک شبکه ارتباطی در نظر گرفت. به منظور گسترش فضای رقابتی و کاهش احتمال انتخاب آغازگر یکسان، در روش پیشنهادی از روش کدگذاری به همراه فریم مجازی استفاده کرده‌ایم.

در این روش ابتدا هر کاربر به تعداد زیرفریم‌های مجازی به طور تصادفی آغازگر انتخاب می‌کند [۱۶]. بنابراین در انتهای هر فریم مجازی و با کنار هم قرار دادن آغازگرهای انتخابی، هر کاربر کدواژه‌ای به طول فریم مجازی که با L نمایش داده می‌شود، برای ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. با فرض آنکه تعداد آغازگرهای مجاز برای انتخاب در هر فریم مجازی M باشد، تعداد کل کدواژه‌های ممکن در هر فریم مجازی برابر با $Y = M^L$ است. با قرار دادن Y به جای M در روابط (۲ و ۳) محاسبه تعداد کاربران موفق در فریم i -ام از رابطه (۹) بدست می‌آید [۲۷].

$$N_s = \Pr[X = 1] \cdot Y = A_i \cdot \left(1 - \frac{1}{Y}\right)^{A_i-1} \quad (9)$$

$$N_i = \sum_{g=1}^G N_{g_i} \quad (1)$$

در شبکه‌های LTE، کاربران ماشینی جهت اتصال به ایستگاه‌های مرکزی باید عملیات چهار مرحله‌ای RACH را با موفقیت پشت سر بگذارند. در مرحله اول هر کاربر از میان M آغازگر مجاز به طور تصادفی یک آغازگر انتخاب کرده و برای ایستگاه مرکزی ارسال می‌کند. با توجه به عدم توانایی ایستگاه مرکزی در تشخیص فرستنده، بسته‌های تمامی کاربرانی که آغازگر یکسان انتخاب کرده‌اند دور ریخته می‌شوند. اگر احتمال انتخاب یک آغازگر توسط چند کاربر را با متغیر تصادفی X نشان دهیم، آنگاه احتمال آنکه یک آغازگر مشخص توسط k کاربر در فریم i -ام انتخاب شود از معادله (۲) بدست می‌آید [۲۷].

$$\Pr[X = k] = \binom{N_i}{k} \cdot \left(\frac{1}{M}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{N_i-k} \quad (2)$$

متوسط تعداد آغازگرهایی که توسط یک کاربر انتخاب می‌شوند از معادله (۳) محاسبه می‌شود. با توجه به وجود تناظر یک به یک میان تعداد کاربران با درخواست موفق و تعداد آغازگرهایی که توسط یک کاربر انتخاب شده‌اند، متوسط تعداد درخواست موفق نیز از رابطه (۳) محاسبه می‌شود [۲۷].

$$N_{S_i} = \Pr[X = 1] \cdot M = N_i \cdot \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{N_i-1} \quad (3)$$

در روش DACB، احتمال آنکه کاربری عملیات بررسی پارامتر P را با موفقیت پشت سر گذاشته و یک آغازگر از M آغازگر مجاز را انتخاب کند برابر با $\frac{P}{M}$ خواهد بود. با جایگذاری $\frac{P}{M}$ در رابطه (۲)، متوسط تعداد کاربران با درخواست موفق در روش DACB از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۲۴].

$$N_{S_i} = \Pr[X = 1] \cdot M = N_i \cdot P \cdot \left(1 - \frac{P}{M}\right)^{N_i-1} \quad (4)$$

برای به دست آوردن بیشینه متوسط تعداد کاربران موفق در هر فریم در روش DACB، از رابطه (۴) نسبت به پارامتر P مشتق گرفته و آرگومان P^* را معادل $\frac{M}{N_i}$ بدست می‌آوریم [۲۴].

بهره‌وری سیستم از تقسیم تعداد درخواست‌های موفق بر تعداد کل درخواست‌های ارسال شده محاسبه می‌شود. هدف از حفظ بهره‌وری، بالا بردن قدرت پاسخ‌دهی ایستگاه مرکزی و ممانعت از غرق شدن آن با اندک افزایش بار موجود در شبکه است. هرچند با افزایش بیش از حد تعداد درخواست‌ها عملاً جلوگیری از افت شدید بهره‌وری ممکن نیست، اما می‌توان زمان به صفر رسیدن تعداد درخواست موفق در هر فریم را افزایش داد. به منظور محاسبه بهره‌وری در هر فریم و متوسط میزان بهره‌وری شبکه با ازای تعداد کاربر و آغازگر مشخص در سلول به ترتیب از رابطه‌های (۵) و (۶) استفاده می‌شود [۲۷].

$$\theta_i = \frac{N_{S_i}}{N_i} \quad (5)$$

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^{T_A} \theta_i}{T_A} \quad (6)$$

متوسط میزان تأخیری که کاربر k -ام به منظور دسترسی به شبکه متحمل می‌شود با نماد T_k نمایش داده شده است. در این مقاله زمان سرویس کاربران صفر در نظر گرفته شده است. بنابراین اگر کاربری در فریم i -ام وارد سیستم شده و دچار

حداقل میزان ارباب بودن و MSE انتخاب شده و در رابطه (۱۱) نمایش داده شده است [۲۸].

۴-۲- فاز تصمیم‌گیری

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، هدف از تصمیم‌گیری در مورد اندازه طول فریم مجازی برقراری مصالح‌های میان بهره‌وری در شبکه و متوسط تاخیر دسترسی است. در راستای تحقق این هدف از دو پارامتر $\alpha = \frac{N(t)}{A_i}$ و γ استفاده کرده‌ایم. پارامتر α نسبت تعداد درخواست‌دهندگان تخمین زده شده به تعداد آغازگرهای مجاز در فریم مجازی i -ام را نمایش می‌دهد. پارامتر γ که در بازه $0 \leq \gamma \leq 1$ قرار دارد، سرعت افزایش یا کاهش اندازه L را براساس نیازهای هر شبکه تعیین می‌کند. پس از تخمین تعداد درخواست‌دهندگان در فاز قبل، ایستگاه مرکزی به ازای کلیه L های تعریف شده در شبکه، مقدار پارامتر α را محاسبه می‌کند. با توجه به این منطق که متوسط تعداد آغازگر موفق باید کمتر از تعداد کل منابع موجود در شبکه باشد، A_i های مجاز و بیشینه اندازه L را محاسبه می‌کند. سپس حداقل میزان α را با توجه به $\alpha \geq \gamma$ را به عنوان α مناسب انتخاب می‌کند و براساس آن L مناسب را از میان L های مجاز انتخاب کرده و در کانال فرسو منتشر می‌کند. پارامتر γ را می‌توان باتوجه به کاربرد شبکه و براساس شرایط سیستمی هر سلول تعیین کرده و تغییر داد. این پارامتر این امکان را به طراحان شبکه می‌دهد که در صورت پایین بودن میزان حساسیت کاربران به تاخیر با کاهش مقدار γ اندازه طول فریم مجازی را با سرعت بیشتری افزایش دهند و در صورت حساسیت کاربران به تاخیر مقدار پارامتر γ را نزدیک به یک در نظر بگیرند. نزدیک بودن پارامتر γ به یک به معنای افزایش میزان منابع مجازی دقیقاً به اندازه تعداد کاربران تخمین زده شده است [۲۸].

۵- نتایج و شبیه‌سازی

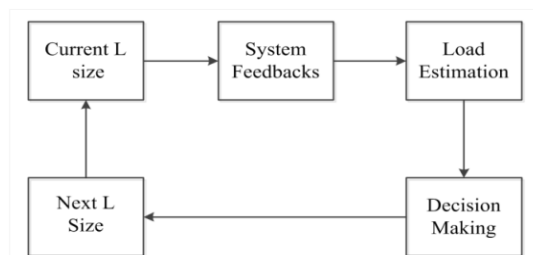
به منظور بررسی عملکرد روش تغییر اندازه فریم مجازی در شرایط ترافیکی کم و زیاد، تعداد $N = 20000$ را در سه نوع خوشه با سه توزیع ارسال بتا، پواسون و یکنواخت در سلول توزیع کردیم تا براساس الگوی ترافیکی خود در ۱۲۰۰ فریم متوالی فعال شده و درخواست خود را ارسال کنند. در این مقاله فرض شده است سیستم از لحظه صفر و با $L = 1$ آغاز به کار می‌کند. تعداد آغازگر مجاز را $M = 6$ ، اندازه بافر $\beta = 10$ و $\gamma = 0.1$ در نظر گرفتیم. در نهایت ما عملکرد روش پیشنهادی را با زمانی که در یک سناریو یکسان ایستگاه مرکزی از روند ترافیک ورودی آگاه باشد مقایسه کرده‌ایم. شکل ۳ عملکرد بهینه تخمین‌گر انتخابی را در شرایط وصف شده با اختلاف ۳/۴۸٪ نمایش می‌دهد که به منظور شفافیت بیشتر تنها ۵۵ فریم اول نمایش داده شده است.

۵-۱- مقایسه از لحاظ متوسط بهره‌وری

بهره‌وری شبکه که در رابطه (۶) بیان شده است، به‌عنوان یکی از فاکتورهای ارزیابی شبکه از تقسیم تعداد درخواست‌های موفق به تعداد کل درخواست‌های دریافتی در ایستگاه مرکزی محاسبه می‌شود. مکانیزم DACB به‌منظور کنترل ازدحام و نرخ پذیرش از پارامتر P استفاده می‌کند. در حالیکه در مکانیزم پیشنهادی DFLCE مدیریت ازدحام در ایستگاه مرکزی با تنظیم اندازه L و با هدف حفظ بهره‌وری شبکه در زمان ازدحام با استفاده از دو پارامتر α و γ صورت می‌پذیرد. با جایگذاری روابط محاسبه متوسط تعداد کاربران موفق در روش‌های

در زمان ارسال درخواست‌های انبوه و همزمان امکان انتخاب کد واژه‌های یکسان و در نتیجه رخداد ازدحام بالاتر می‌رود. بنابراین طول فریم مجازی باید قابلیت تطبیق براساس ترافیک ورودی به شبکه را داشته باشد.

همان‌طور که در بلوک دیاگرام شکل ۲ نمایش داده شده است، پس از دریافت تمامی درخواست‌ها در انتهای هر فریم مجازی ایستگاه مرکزی بهره‌وری شبکه را براساس بازخوردهای دریافتی از سیستم نظیر A_i و N_{S_i} ، محاسبه کرده و وارد فاز تخمین بار می‌شود [۲۸].



شکل ۲- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

۴-۱- فاز تخمین بار شبکه

تعداد درخواست‌های ارسالی در هر فریم مجازی کاملاً وابسته به ترافیک ورودی در فریم‌های مجازی پیشین است. به بیانی دیگر، یادگیری روند ترافیک ورودی بدون دانستن گذشته ترافیکی سیستم امکان‌پذیر نیست. بنابراین از یک بافر به طول β برای ذخیره میزان ترافیک ورودی به سیستم استفاده شده است. با توجه به اینکه تخمین میزان بار ورودی به شبکه و تصمیم‌گیری در مورد اندازه فریم مجازی بعدی باید در مدت زمان بسیار کوتاهی صورت پذیرد، از تخمین‌گرهای برخط با حداقل پیچیدگی محاسباتی استفاده شده است [۲۸]. تعداد کاربران درخواست‌دهنده تخمین زده شده در زمان t با $N'(t)$ نمایش داده شده است که از تابع تخمین $F(t, \beta)$ حاصل می‌شود (رابطه ۱۰).

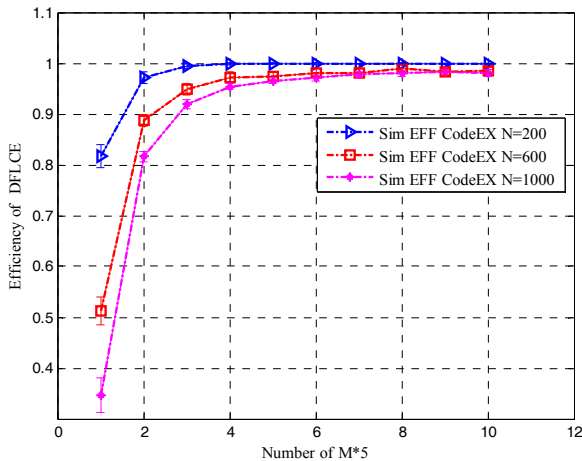
$$N'(t) = F(t, \beta) \quad (10)$$

ترافیک ورودی به سیستم از زمان $(t - \beta)$ تا $(t - 1)$ برای $t \in \{1, 2, \dots, T_A\}$ از صافی به نام $Q(j)$ که $j \in \{1, 2, \dots, \beta\}$ است، ذخیره می‌شود. T_A آخرین فریم مجازی در صف است. اگر اندازه β را بسیار کوچک انتخاب کنیم میزان تخمین زده شده با بازه زمانی کوتاهی از طیف ترافیک ورودی به سیستم همبستگی داشته و از دقت تخمین کاسته می‌شود. اگر اندازه β را بسیار بزرگ انتخاب کنیم مقدار تخمین زده شده همبستگی خود را با آخرین ترافیک ورودی به شبکه از دست می‌دهد [۲۸].

$$F_{MMF}(t, \beta) = \begin{cases} Q\left(\frac{\beta+1}{2}\right) & ; \text{if } \beta \text{ is odd} \\ \frac{Q\left(\frac{\beta}{2}\right) + Q\left(\frac{\beta+1}{2}\right)}{2} & ; \text{if } \beta \text{ is even} \end{cases} \quad (11)$$

دو فاکتور مهم در ارزیابی عملکرد تخمین‌گر، ارباب بودن^{۱۶} و متوسط مجذور خطای^{۱۷} (MSE) محاسباتی است. تخمین‌گری به عنوان تخمین‌گر برتر انتخاب می‌شود که اولاً ارباب نباشد، ثانیاً کمترین میزان متوسط خطای مجذور را دارا باشد. از میان پنج تخمین‌گر برخط با پیچیدگی اندک: ماکزیمم، مینیمم، آخرین مقدار مشاهده شده، میانه و میانگین، تخمین‌گر میانه با نماد $F_{MMF}(t, \beta)$ و با

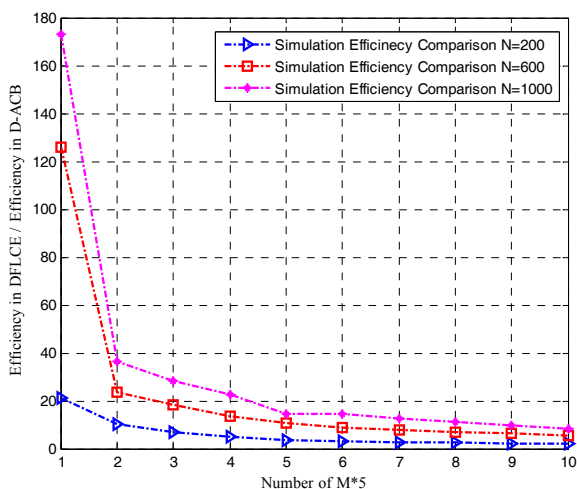
مقایسه این دو نمودار با توجه به مدل سیستمی و الگوی ترافیکی ارائه شده در شکل ۶ نمایش داده شده است. نسبت بهره‌وری این دو روش به ازای تمام مقادیر M ، بالاتر از یک است. بنابراین با پیاده‌سازی روش پیشنهادی DFLCE بهره‌وری شبکه همواره بیش از زمانی است که مکانیزم DACB در شبکه پیاده‌سازی شود. با افزایش تعداد آغازگرها، بهره‌وری دو روش به سمت یکدیگر میل می‌کنند. این امر نشان‌دهنده مزیت استفاده از روش پیشنهادی DFLCE نسبت به DACB در تعداد آغازگرهای کم‌تر است.



شکل ۵- متوسط بهره‌وری در روش پیشنهادی به ازای تعداد کاربران و آغازگرهای مختلف

۵-۲- مقایسه از لحاظ متوسط تأخیر دسترسی

یکی دیگر از پارامترهای ارزیابی کارایی شبکه متوسط میزان تأخیر دسترسی به شبکه است. این پارامتر که در رابطه (۸) محاسبه شده است، معرف مدت زمانی است که یک کاربر ماشینی به‌طور متوسط جهت دسترسی به شبکه منتظر می‌ماند. در این مقاله زمان سرویس صفر در نظر گرفته شده است یعنی کاربر ورودی در فریم A در صورت موفق بودن درخواست در همان فریم سرویس می‌گیرد. بنابراین در روش DACB، کاربران موفق فریم زمانی ورود و خروج یکسانی داشته و در محاسبه متوسط تأخیر دسترسی تأثیری ندارند.

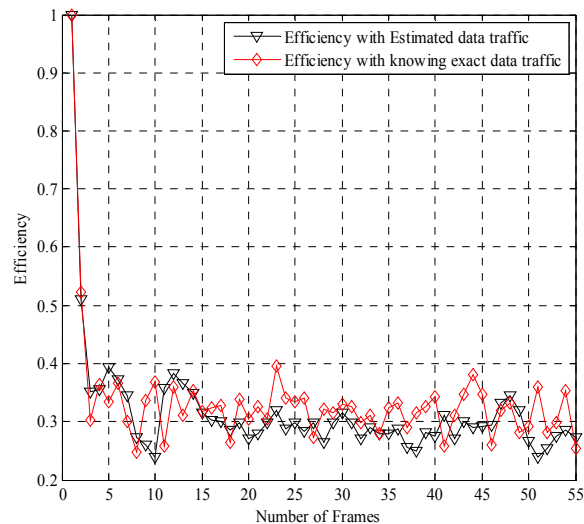


شکل ۶- نسبت بهره‌وری روش پیشنهادی به روش DACB به ازای تعداد کاربران و آغازین‌های مختلف

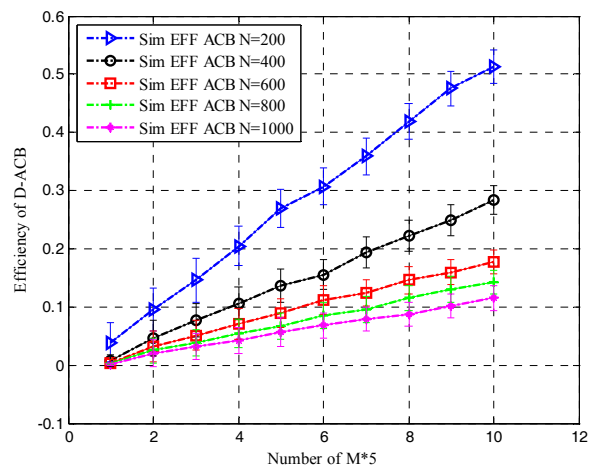
DFLCE و DACB، که در روابط ۴ و ۸ محاسبه شده است، در معادلات محاسبه بهره‌وری که در روابط ۴ و ۵ نمایش داده شده است، رابطه محاسبه متوسط بهره‌وری شبکه در هر دو روش محاسبه می‌شود.

به‌منظور بررسی عملکرد هر دو روش ذکر شده از یک سناریو شبیه‌سازی یکسان به همراه تابع تخمین برخط میانه با طول بافر ۱۰ استفاده شده و تأثیر پیاده‌سازی هر یک از دو روش بر بهره‌وری شبکه و متوسط تأخیر دسترسی مورد بررسی قرار گرفته است. تابع ترافیکی پیشنهادی جهت شبیه‌سازی، تابع ترافیک بتا در نظر گرفته شده و شبیه‌سازی به ازای تعداد کاربران مختلف از مجموعه $N \in \{200, 600, 1000\}$ و تعداد آغازگرهای مختلف از مجموعه $\{5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55\}$ انجام شده است. N کاربر موجود در سلول با الگوی ترافیکی بتا 30 فریم متوالی فعال می‌شوند.

با توجه به تصادفی بودن انتخاب آغازگر توسط کاربران از تست مونت کارلو با حلقه ۳۰۰ تایی استفاده شده است. شکل‌های ۴ و ۵ متوسط بهره‌وری شبکه را به ازای تعداد کاربران و آغازگرهای متعدد در هر دو روش نمایش می‌دهند. بازه اطمینان ۹۵٪ در نمودارها نشان‌دهنده نزدیکی داده‌های به دست آمده در آزمایش‌های مختلف حول نقطه میانگین است.

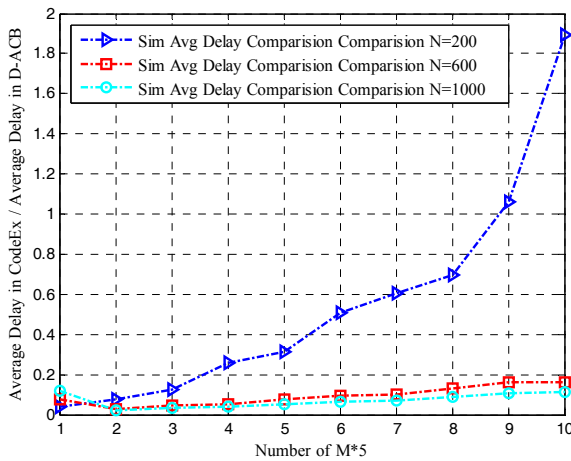


شکل ۳- نمودار بهره‌وری در روش پیشنهادی



شکل ۴- متوسط بهره‌وری در روش DACB به ازای تعداد کاربران و آغازگرهای مختلف

اگر تعداد کاربران و تعداد آغازگرهای مجاز درون شبکه از حدی کمتر باشد، برای مثال تعداد کاربران برابر با ۲۰۰ و تعداد آغازگر کمتر از ۴۵ باشد، نسبت تاخیر روش DFLCE به روش DACB کمتر از یک خواهد بود. بنابراین هر چه تعداد آغازگرهای مجاز درون سیستم کمتر باشد استفاده از روش DFLCE متوسط تاخیر دسترسی وارد شده به کاربران را کاهش می‌دهد. با افزایش تعداد آغازگرهای مجاز و کاهش تعداد کاربران درخواست‌دهنده درون سلول، نسبت متوسط تاخیر روش پیشنهادی به روش DACB افزایش پیدا کرده و استفاده از روش پیشنهادی اثر نامطلوبی بر روی تاخیر دسترسی می‌گذارد.



شکل ۹- نسبت تاخیر دسترسی در روش پیشنهادی به روش DACB به ازای تعداد کاربران مختلف و آغازین‌های متفاوت

۶- نتیجه‌گیری

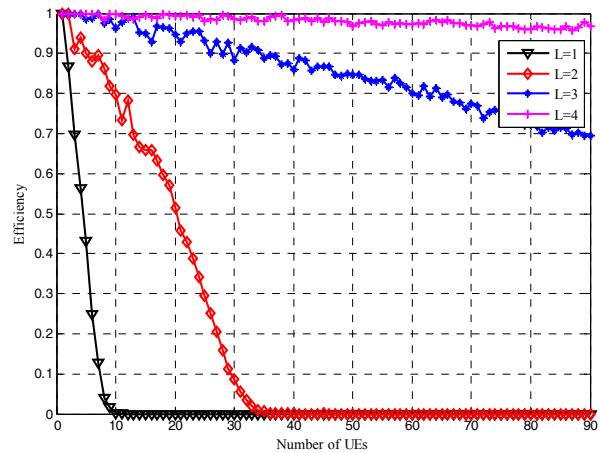
در این مقاله روشی پویا جهت حفظ بهره‌وری ارتباطات ماشینی بر بستر شبکه‌های LTE با برقراری نوعی مصالحه میان متوسط نرخ اتصال موفق و متوسط تاخیر دسترسی، با استفاده از روش فریم مجازی و کدگذاری آغازگرها، ارائه شده است. در انتهای هر فریم مجازی، ایستگاه مرکزی وارد فاز تخمین بار شده و میزان بار ورودی در فریم مجازی بعدی را براساس یادگیری روند ارسال داده و میزان بسته‌های ناموفق در اتصال به شبکه تخمین می‌زند. سپس وارد فاز تصمیم‌گیری شده و براساس تخمینی از میزان بار ورودی در فریم مجازی بعدی، میزان حساسیت ماشین‌های موجود در سلول به تاخیر و همچنین تعداد منابع آزاد موجود در شبکه، طول فریم مجازی بعدی را محاسبه و در طول کانال منتشر می‌کند. به منظور جلوگیری از انجام حجم زیادی از محاسبات و پردازش داده جهت تخمین ترافیک ورودی به شبکه در فریم بعدی، از تخمین‌گر برخط میانه در ایستگاه مرکزی استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد این روش با تخمینی با متوسط درصد خطای ۳٪ و در مقایسه با روش DACB که از متداولترین روش‌های پیاده‌سازی شده در ارتباطات ماشینی بر بستر شبکه‌های LTE است در زمان اوج بار ورودی و در شرایطی که تعداد آغازگر مجاز در شبکه بسیار اندک است، نه تنها بهره‌وری شبکه را به میزان قابل توجهی بهبود بخشیده بلکه متوسط تاخیر دسترسی به شبکه را نیز کاهش می‌دهد.

مراجع

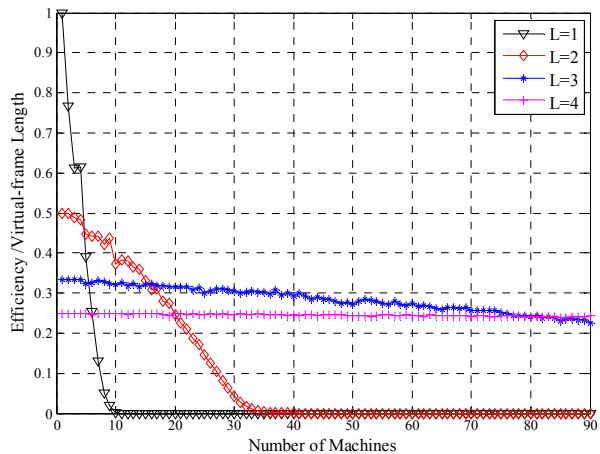
[1] *The LTE Network Architecture*. [Online]. Available: <http://www.alcatel-lucent.com>.

روش DFLCE اگر چه بهره‌وری شبکه را با گسترش فضای رقابتی از طریق کدگذاری آغازگرها افزایش می‌دهد اما با افزایش طول فریم مجازی تاخیر محسوسی به سیستم وارد می‌کند. نمودار شکل ۷ و میزان بهره‌وری شبکه را به ازای $L < 4$ نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشخص است، افزایش طول فریم مجازی تا اندازه مجاز سبب بهبود بهره‌وری در زمان اوج بار می‌شود اما با توجه به تعیین موفق یا ناموفق بودن دسترسی در انتهای هر فریم مجازی، کاربران با درخواست موفق جهت دسترسی به شبکه باید به اندازه طول فریم مجازی در انتظار بمانند. لذا اندازه فریم مجازی، حداقل میزان تاخیری است یک کاربر ماشینی برای اتصال به شبکه باید تحمل کند. با تقسیم میزان بهره‌وری به اندازه فریم مجازی، نمودار شکل ۸ به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل مشخص است وقتی تعداد کاربران از حدی کمتر باشد افزایش طول فریم مجازی تاخیر دسترسی را به سیستم تحمیل می‌کند. بنابراین در این روش نه تنها تعداد کاربران ناموفق بلکه به ازای $L > 1$ کاربران موفق نیز به اندازه زمان $L - 1$ متحمل تاخیر شده و در محاسبه متوسط تاخیر دسترسی تاثیرگذارند. تعداد کاربران ناموفق از رابطه $N_i - N_{S_i}$ به دست می‌آید.

نسبت متوسط تاخیر دسترسی روش پیشنهادی به متوسط تاخیر دسترسی در روش DACB در شکل ۹ نمایش داده شده است. همان‌طور که در نمودار مشخص است در یک آغازگر ثابت، نسبت تاخیر روش پیشنهادی به روش DACB با افزایش تعداد کاربران درون سلول کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۷- نمودار میزان بهره‌وری کاربری به‌ازای طول فریم‌های مجازی مختلف



شکل ۸- نسبت بهره‌وری به طول فریم مجازی به‌ازای اندازه‌های مختلف فریم مجازی

- [16] ETSI TS 102 689 V1.1.1 (2010-08): Machine-to-Machine Communications, MTC Service Requirements, Aug. 2010.
- [17] A. Amokrane, A. Ksentini, Y. Hadjadi, and T. Taleb, "Congestion Control for Machine Type Communication," *IEEE International Conference in Communications (ICC)*, pp. 778-782, June 2012.
- [18] 3GPP TR 37.868 V11.0, Study on RAN Improvements for Machine-type Communications, Oct. 2011.
- [19] O. Arouk, A. Kestini, Y. Hadjadj-Aoul, and T. Taleb, "On Improvement the Group Paging method For Machine – type-Communications," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Sydney Australia, pp. 484-489, June 2014.
- [20] D. Lee, S. Kim, and B. Yi, "Throughput Comparison of Random Access Methods for M2M Service over LTE Networks," in *2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps)*, pp. 373–377, Dec. 2011.
- [21] S.-Y. Lien, K.-C. Chen, and Y. Lin, "Toward Ubiquitous Massive Accesses in 3GPP Machine-to-machine Communications," *IEEE Communication. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 66–74, April 2011.
- [22] F. Zhou, and H. Zhang, "A New Dynamic Framed Slotted ALOHA for RFID," *International Communications Circuits and Systems, ICCAS*, pp. 47-50, 2007.
- [23] C. Stefanovic, K. F. Trilingsgaard, N. K. Pratas, and P. Popovski, "Joint estimation and contention-resolution protocol for wireless random access," *IEEE ICC in Proc.* 2013.
- [24] J.-P. Cheng, C. Han Lee, and T.-M. Lin, "Prioritized random access with dynamic access barring for RAN overload in 3gpp LTE-A networks," *GLOBECOM Workshops*, pp. 368–372, Dec. 2011
- [25] F. Ghavimi, and H. Chen, "M2M Communications in 3GPP LTE/LTE-A Networks: Architecture, Service Requirements, Challenges, and Applications," *IEEE Communication. Surveys Tutorials*, vol. 17, no. 2, pp. 525–549, May. 2015.
- [26] S.-Y. Lien, T.-H. Liao, C.-Y. Kao, and K.-C. Chen, "Cooperative Access Class Barring for Machine-to-Machine Communications," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 11, no. 1, pp. 27-32, Jan. 2012.
- [27] K. Pratas, H. Thomas, C. Stefanovic, P. Popovski, "Code-Expanded Random Access for Machine-Type Communications," in *IEEE Globecom Workshop*, pp. 1681-1686, 2012.
- [28] B. Hassanpour, and A. Ghasemi, "Online Load Estimation for Efficient Random Access of Machine Type Communications in LTE Networks," *Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Shiraz, Iran, pp. 732-737, May 2016.
- [2] LTE PHY Fundamentals. [Online]. Available: <http://www.ee.columbia.edu/~roger/>
- [3] A. Laya, L. Alonso, and J. Zarate, "Is the random access channel of LTE and LTE-A suitable for M2M communication? A survey of alternatives," *IEEE Communication. Surveys Tutorials*, vol. 16, no. 1, pp. 4–16, Feb. 2014.
- [4] N. Nikaein, and S. Krco, "Latency for Real Time Machine-to-Machine Communication in LTE-Based System Architecture," *Sustainable Wireless Technologies (European Wireless), 11th European Wireless Conference*, pp 1-6, Vienna Austria, 27-29 April 2011.
- [5] S. Gharbi, and N. Zangar, "Adaptive multiple Access Class Barring factors for M2M communications in LTE-A Networks," *IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, pp. 605-606, Jan. 2015.
- [6] Y. Pang, G. Lin, and H. Wei, "Context Aware Dynamic Resource Allocation for cellular Communication," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. PP, No. 99, pp. 1, Nov. 2015.
- [7] P. Si, Y. Yang, S. Chen, and H. Xi, "Adaptive Massive Access Management for QoS Guarantees in M2M Communications," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, pp. 3152-3166, July. 2015.
- [8] P. Si, Y. Yang, S. Chen, and H. Xi, "Optimal Access Class Barring for Stationary Machine Type Communication Device With Timing Advance Information," *IEEE Transaction on Wireless Communication*, pp. 5374-5388, Oct. 2015.
- [9] A. Molisch, "3GPP Long-Term Evolution," *Wireless Communication, Second Edition, 2011*.
- [10] LTE in a Nutshell: The physical Layer. [Online]. Available: <https://www.telecomsource.net>.
- [11] M. Chang, G. Lin, and H. Wei, "Overload Control for Machine-type-Communications in LTE-Advanced System," *IEEE Communication Magazine*, vol. 50, Issue. 6, pp 38-45, June 2012.
- [12] R. Liu, W. Wu, H. Zhu, and D. Yang, "M2M-oriented qos categorization in cellular network," *Proc. IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM)*, 2011.
- [13] 3GPP TS 36.321 V10.2.0 (2011-06): Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, June 2011.
- [14] ETSI TS 36.212 V8.8.0 (2010-01), LTE evolved Universal Terrestrial Radio Access Multiplexing and channel coding, Jan 2010.
- [15] T. Taleb, and A. Ksentini, "On alleviating MTC overload in EPS," *Elsevier Ad Hoc Networks*, vol. 18, pp 24-39, July 2014.

سیده باهره حسن پور مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر گرایش سخت‌افزار را از دانشگاه شهید بهشتی تهران و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش معماری کامپیوتر از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی اخذ کرده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان ارتباطات ماشین با ماشین، معماری شبکه‌های مخابراتی نسل چهارم و پنجم و مدیریت منابع در شبکه‌های بی‌سیم است.



آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

bahereh.hassanpour@ee.kntu.ac.ir

عبدالرسول قاسمی مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان و مدرک کارشناسی ارشد و دکتری خود را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران در رشته مهندسی برق - الکترونیک اخذ نموده و هم‌اکنون دانشیار دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل علوم شبکه و شبکه‌های پیچیده، پروتکل‌های شبکه، مدیریت منابع در شبکه‌های بی‌سیم و کاربرد بهینه‌سازی و تئوری بازی‌ها در شبکه است.



آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارت است از:

arghasemi@kntu.ac.ir

اطلاعات بررسی مقاله:

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۱/۲۰

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۶/۰۳/۲۶

تاریخ قبول شدن: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱

نویسنده مرتبط: دکتر عبدالرسول قاسمی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

¹Sensing

²User Equipment

³Core Network

⁴Flat

⁵Random Access Channel

⁶Preamble

⁷Resource Block

⁸Random Access Response

⁹Time Slot

¹⁰Slotted Aloha

¹¹Dynamic Access Class Barring

¹²Cooperative Access Barring

¹³Code-Expanded Random Access

¹⁴Code-Word

¹⁵Dynamic V-Frame Length in Code-Expanded

¹⁶Biased

¹⁷Mean Squared Error