Arch

معرفی سرویس ارتباطات با تأخیر کم و فوق‌العاده قابل اطمینان در شبکه نسل پنجم

سیده طاهره احمدی[1]، رامین دهدشت حیدری۲

۱-گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران .

۲-گروه مهندسی برق ، دانشکده فنی مهندسی ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران.

چکیده

ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا یکی از سه سناریوی مرتبط با نسل پنج رادیو جدید است که جنبه های طراحی لایه‌های فیزیکی برای آن مشخص شده است. با نسل پنج رادیو جدید می‌توانیم قابلیت اطمینان و تأخیر در شبکه‌های دسترسی رادیویی را تضمین نماییم. ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا در برنامه‌ها و ارتباطات بحرانی و مأموریت محور بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر ارائه ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بسیار چالش برانگیز است این چالش نیز از آن جهت است که باید همزمان دو مورد چالشی تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا را تأمین کند. هنگامی که سعی داریم تا قابلیت اطمینان را افزایش دهیم، از منابع بیشتری برای سیگنال‌دهی، انتقال مجدد و غیره استفاده می‌کنیم و این امر سبب افزایش تأخیر می‌شود. در حال حاضر بحث‌هایی برای استانداردسازی نسل ۵ رادیو جدید در حال انجام است و هدف از آن‌ها این است که نسخه اول آن در سال ۲۰۲۰ میلادی به مرحله تجاری برسد. در این مقاله اشاره‌ای به الزامات سرویس ارتباط با تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده شده است و در مورد برخی مسائل پیرامون لایه فیزیکی و لایه پیوند داده و توپولوژی شبکه برای ارائه این سرویس بحث شده است.

واژگان کلیدی: نسل پنج رادیو جدید، نسل پنج، تأخیر، قابلیت اطمینان، URLLC.

www.SID.ir

مقدمه

تفاوت بزرگ نسل پنجم[1] و نسل‌های قبلی سیستم‌های بی‌سیم موبایل را می‌توان در قالب دو حالت کلی از ارتباطات ماشین بیان کرد، ارتباطات فوق‌العاده قابل اعتماد با تأخیر فوق‌العاده کم[2] و ارتباطات از نوع ماشین گسترده[3]. بر طبق استانداردهای اتحادیه بین‌المللی ارتباطات راه دور[4] سه نوع سرویس توسط شبکه نسل پنج ارائه می‌شود: پهنای باند تلفن همراه پیشرفته[5]، mMTC و URLLC[6](ITU, 2015). ارتباطات از نوع URLLC را می‌توان به عنوان یکی از مهمترین ویژگی‌های نسل پنجم نام برد چرا که از این قابلیت در ارتباطات بحرانی و مهم مانند کنترل از راه دور ربات و یا هماهنگی بین وسایل نقلیه استفاده می‌شود. ارتباطات فوق‌العاده قابل اعتماد قادر به ایجاد برنامه‌های گسترده‌ای می‌باشد که بسیاری از آن‌ها همچنان ناشناخته است (Popovski, 2014). این اتصال بی‌سیم و قابلیت پردازشی آن باعث تغییرات و دگرگونی گسترده‌ای فراتر از مرزهای سنتی، در محصولات و کارآیی آن‌ها شده است، به عنوان مثال: یک محصول در طول عمر خود به منظور به‌روزرسانی و نگهداری با تولید کننده خود در ارتباط می‌ماند (Porter and Happelmann, 2014). ارتباط فوق‌العاده قابل اعتماد، سمت و سوی تغییر و تحولات را به شدت تغییر می‌دهد، تصور کنید هنگامی که یک طراح سیستم می‌تواند با احتمال بیش از ۹۹۹.۹۹۹ درصد یک اتصال در هر زمان و هر مکان را تضمین کند رویکرد طراحی سیستم به طور قطع متحول خواهد شد. رویکرد مکانیسم‌های ارتباطی مرتبط با برنامه‌های جدید، نسبت به ارتباط سنتی با مرکزیت انسان متفاوت است، این تفاوت‌ها را می‌توان در مواردی مانند: قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری، چگالی اتصال، تأخیر و راندمان انرژی مشاهده کرد و شبکه نسل پنجم به نوعی همزیستی ارتباطات با مرکزیت انسان و ارتباطات از نوع ماشین را ایجاد می‌کند. از آنجا که مکانیسم دسترسی رادیویی فعلی توانایی پشتیبانی از حجم عظیم تغییرات را ندارد، پروژه مشارکت نسل سوم[7] رابط هوایی جدیدی به نام رادیو جدید[8] را معرفی کرد. هدف اصلی رادیو جدید ارائه ویژگی‌ها و فناوری‌های کاملاً جدیدی است که لزوماً با سیستم‌های نسل ۴ و LTE فعلی سازگار نیستند. در حال حاضر بحث‌هایی برای استانداردسازی نسل ۵ رادیو جدید در حال انجام است و هدف از آن‌ها این است که نسخه اول آن در سال ۲۰۲۰ میلادی به مرحله تجاری برسد.

از بین سه نوع سرویسی که برای نسل ۵ معرفی شد، شاید URLLC چالش برانگیزترین آن‌ها باشد و این چالش نیز از آن جهت است که باید همزمان دو مورد چالشی تأخیر کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا را تأمین کند. هنگامی که سعی داریم تا قابلیت اطمینان را افزایش دهیم، از منابع بیشتری برای سیگنال‌دهی، انتقال مجدد، افزونگی و توازن استفاده می‌کنیم و این امر سبب افزایش تأخیر می‌شود (Soret et al, 2014). در حقیقت در سیستم‌های بی‌سیم فعلی که تنها هدف آن انتقال یک بسته طولانی برای به حداکثر رساندن توان عملیاتی[9] است، به طور کلی دستیابی به قابلیت اطمینان بالا و تأخیر کم به طور همزمان بسیار دشوار است. اگر اندازه بسته کوچک باشد، هزینه رسیدن به قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا، کاهش نرخ دسترسی است (Polyanskiy et al, 2010). در بسیاری از برنامه‌های مرتبط با URLLC که توان عملیاتی از اهمیت کمتری برخوردار است، می‌توان قابلیت اطمینان را بدون نقص کردن تأخیر با

www.SID.ir

استفاده از منابع فرکانسی، آنتن و دامنه‌ی فضایی بهبود داد. بدون شک، تداخل بین نیازهای توان عملیاتی، تأخیر و قابلیت اطمینان باعث می شود که طراحی لایه‌های فیزیکی URLLC پیچیده‌تر شود.

در ادامه در این مقاله، ابتدا برخی خدمات که نیاز به پشتیبانی نسل پنج دارند معرفی می‌شوند تا نیاز به این نسل و سرویس URLLC و پیوند آن با زندگی امروزی تا حدی مشخص شود، سپس به بیان ملزومات این سرویس می‌پردازیم، سپس مروری بر فناوری‌های لایه فیزیکی، طراحی لایه پیوند داده و توپولوژی شبکه برای این سرویس خواهیم داشت و در انتها نیز جمع‌بندی از موضوعات مطرح شده خواهیم داشت.

خدمات با تأخیر کم در نسل پنجم

موضوع تأخیر در بعضی از کاربردها از جمله تولید خودکار صنعتی، کنترل یا رباتیک، حمل و نقل، مراقبت‌های بهداشتی، سرگرمی، واقعیت مجازی، آموزش و فرهنگ بسیار حائز اهمیت است. اینکه در هر زمان و هر مکان امکان اتصال به هر چیزی را داشته باشیم (اینترنت اشیا) به سرعت در حال تحقق یافتن و تبدیل شدن به یک واقعیت است. دستگاه‌های پوشیدنی هوشمند (ساعت هوشمند، عینک، دستبند)، لوازم خانگی هوشمند (کنتور هوشمند، یخچال، تلویزیون)، سنسورها، اتومبیل‌ها خودران، دستگاه‌های متحرک شناختی (هواپیمای بدون سرنشین، ربات و غیره) و غیره، همگی به منظور ارتقا و بهبود سبک زندگی ما طراحی و ساخته شده‌اند. در حال حاضر ممکن است برخی اپراتورهای نسل سوم یا LTE به برخی از این سرویس‌ها خدماتی ارائه دهند ولی بسیاری از آنها به شبکه‌هایی با تأخیر کم، قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا، امنیت و جزئیات دقیق‌تری نیاز دارند. در برخی موارد به تأخیری در حد ۱میلی‌ثانیه نیاز است و نرخ از دست رفتن بسته‌ها نباید از 10^{-2} بزرگ‌تر باشد، لذا برخی از سرویس‌ها باید در قالب نسل پنج ارائه شوند و از این نسل خدمات دریافت کنند، این امر نیز به دلیل سرویس URLLC نسل پنج می‌باشد، که به واسطه این سرویس تأخیر فوق‌العاده کم و قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا خواهیم داشت. برخی از سرویس‌هایی که نیازمند نسل پنج هستند در ادامه بیان خواهند شد و در قالب جدول ۱ به بیان نیازهای آن‌ها از نظر تأخیر و نرخ داده و غیره خواهیم پرداخت (Parvez et al, 2018).

برخی از خدماتی که باید توسط نسل پنج پشتیبانی شوند عبارتند از:

www.SID.ir

- اتوماسیون کارخانه
- سیستم های حمل و نقل هوشمند
- واقعیت مجازی[۱۰]
- واقعیت افزوده[۱۱]
- مراقبت های بهداشتی
- بازی جدی[۱۲]
- شبکه هوشمند[۱۳]
- آموزش و فرهنگ

جدول ۱- الزامات خدمات

خدمات	تأخیر	نرخ داده
اتوماسیون کارخانه	0.25-10ms	1Mbps
سیستم های حمل و نقل هوشمند	10-100ms	10-700Mbps
واقعیت مجازی	1ms	1Gbps
مراقبت های بهداشتی	1-10ms	100Mbps
بازی جدی	1ms	1Gbps
شبکه هوشمند	1-20ms	10-1500kbps
آموزش و فرهنگ	5-10 ms	1Gbps

الزامات سرویس URLLC

برای رسیدن به راه‌حل‌های URLLC باید ابتدا با نیازها و ملزومات آن آشنا شویم. در این بخش به این موارد می‌پردازیم.

الزامات تأخیر

تأخیر لایه فیزیکی (T_L) را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

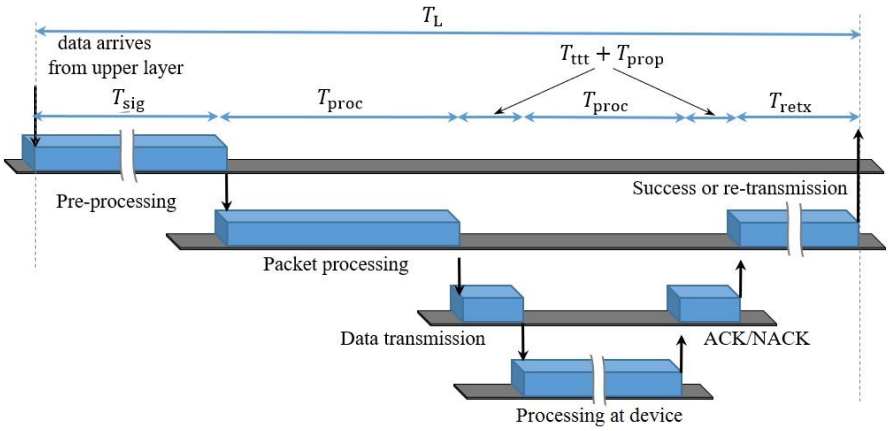
$$T_L=T_{ttt}+T_{Prop}+T_{Proc}+T_{retx}+T_{sig} \quad (۱)$$

www.SID.ir

در رابطه‌ی (۱) شاهد پنج مؤلفه هستیم که عبارتند از :

- T_{ttt}: تأخیر زمانی انتقال یک بسته
- T_{prop}: زمان انتشار سیگنال از فرستنده به گیرنده
- T_{proc}: زمان انجام رمزنگاری و رمزگشایی و تخصیص کانال در انتقال اولیه
- T_{retx}: مدت زمان انتقال مجدد
- T_{sig}: زمان لازم برای پیش‌پردازش در مبادله سیگنالینگ مانند: درخواست اتصال، هزینه برنامه‌ریزی، تأخیر در صف، آموزش کانال و بازخورد و غیره

برای تأمین الزامات 3GPP اتحادیه بین‌المللی ارتباطات راه دور تصمیم گرفت که میانگین تأخیر URLLC کمتر از ۰.۵ میلی‌ثانیه باشد [۱۴](3GPP, 2017)؛ برای پاسخگویی به این محدودیت، زمان انتقال بسته (T_{ttt}) باید در حد میکروثانیه باشد و از آنجایی که در ساختارهای LTE نسل چهار فعلی این زمان در حد ۱ میلی‌ثانیه است باید یک ساختار جدید برای کاهش T_{ttt} معرفی شود. از سوی دیگر تأخیر ناشی از تخصیص کانال و بازخورد می‌تواند برای URLLC محدودیت ایجاد کند، لذا باید طرح انتقالی را در نظر گرفت که متکی بر اطلاعات کانال نباشد. تأخیر لایه فیزیکی و مؤلفه‌های آن را می‌توانید در شکل ۱ مشاهده نمایید (Ji et al, 2018).



شکل ۱- مؤلفه‌های تأخیر

قابلیت اطمینان فوق‌العاده بالا

در سیستم‌های نسل چهارم، قابلیت اطمینان برای انتقال بسته در حدود ۰.۹۹ می‌باشد؛ برای رسیدن به این هدف دو عامل اساسی وجود دارد: ۱- کد گذاری کانال ۲- تکنیکی با نام درخواست تکرار خودکار دوگانه[۱۵] (انتقال مجدد جزیی برای بلوکی که نادرست ارسال شده است). سرویس URLLC باید عملکردی به مراتب بهتر از عملکرد سرویس‌های نسل چهارم داشته باشد، قابلیت اطمینانی که در URLLC به عنوان هدف تعیین شده است، رسیدن به قابلیت اطمینان ۰.۹۹۹۹۹ در زمان ۰.۱ میلی‌ثانیه است (3GPP, 2017). علاوه بر این در برنامه‌های حساس و بحرانی مانند اتومبیل‌های خودران و جراحی از راه دور قابلیت اطمینان باید در حدود $1\text{-}10^{-7}$ باشد (Schulz et al,2017). اولین کاری که

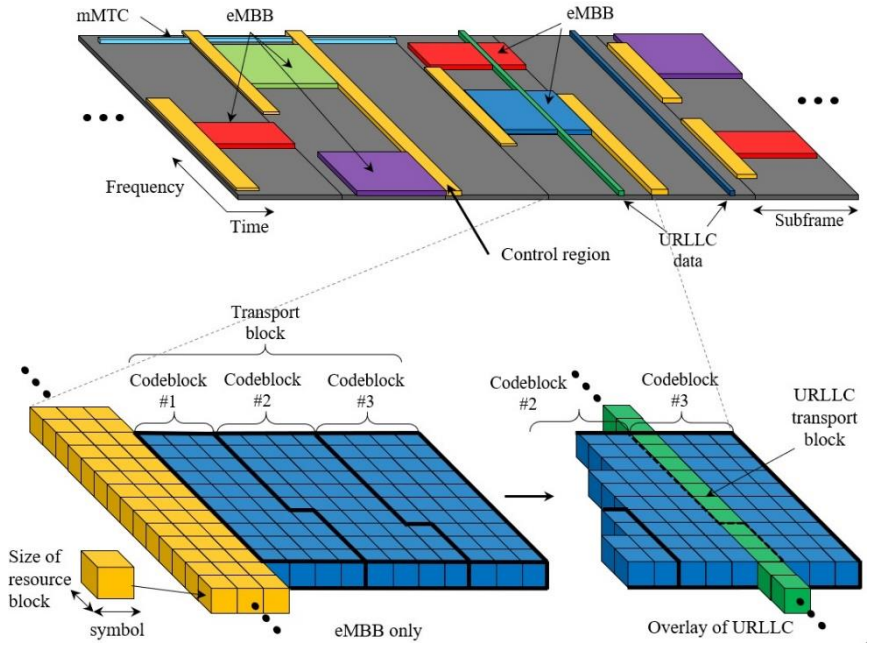
www.SID.ir

برای برآورده کردن این اهداف دقیق انجام می شود، بهبود دقت تخصیص کانال است زیرا برنامه‌نویسی کانال برای بسته‌های کوچک سودمندتر است و اگر در حین ارسال بسته‌ای از بین برود تا حد امکان از تخصیص مجدد کانال جلوگیری می‌شود و این کار نیز با اضافه کردن منابع بیشتر و استفاده از تکنیک تخصیص کانال پیشرفته انجام می‌شود. در این حالت نیز ممکن است عملکرد URLLC راضی کننده نباشد، چرا که برای بهبود قابلیت اطمینان منابع اضافی در فرکانس، آنتن و دامنه های مکانی لازم است و همچنین یک برنامه نویسی پیشرفته رمزنگاری مناسب برای انتقال بسته‌های کوچک باید استفاده شود. در صورت کوتاه بودن طول اسلات[۱۶]، طرح انتقال تکراری با استفاده از منابع دامنه زمانی نیز می‌تواند گزینه مناسبی باشد.

همزیستی با دو سرویس mMTC و eMBB

اگر در بازه زمانی سرویس mMTC یا eMBB و یا حتی در میانه انتقال بسته‌های این دو سرویس باشیم، اگر درخواست سرویس URLLC وجود داشته باشد ایستگاه پایه باید فوراً بسته URLLC را منتقل کند و ارسال بسته‌های دو سرویس دیگر باید بدون اطلاع قبلی متوقف شوند. هنگامی که یک بلوک انتقالی متشکل از ۳ بلوک‌کد[۱۷] برای سرویس eMBB منتقل می شود، هر بلوک‌کد به صورت متوالی با منابع فرکانس، زمان‌بندی و منطبق می‌شود. بنابراین هنگامی که درخواست سرویس URLLC در وسط بلوک انتقال eMBB آغاز می‌شود بخشی از نمادها در بلوک‌کد سوم با علائم بسته URLLC جایگزین می‌شوند. از آنجا که این وقفه به دستگاه‌های تلفن همراهی که در حال استفاده از سرویس‌های دیگر هستند اطلاع داده نشده است کیفیت دریافت خدمات eMBB و mMTC به شدت کاهش می‌یابد. این مشکل در 3GPP رادیو جدید، مسئله همزیستی نامیده می‌شود و یک نگرانی عمده در مورد سرویس URLLC است و باید مکانیسم‌های مناسب برای محافظت از خدمات در حال ارائه معرفی شوند. شکل ۲ این موضوع را نشان می‌دهد (Ji et al ,2018).

www.SID.ir



شکل ۲- انتقال بسته های eMBB ، mMTC و URLLC در زیرفریم، تصویری از برنامه‌ریزی بسته URLLC در میانه ارسال بسته eMBB

فناوری‌های لایه‌ی فیزیکی

طراحی لایه‌ی فیزیکی از جمله چالش برانگیزترین و مهمترین موضوعات برای سناریو ارتباطی برنامه‌های کاربردی URLLC است. برای URLLC در نسل پنجم رادیو جدید، زمان تأخیر برای هر دو مسیر فراسو[۱۸] و فروسو[۱۹]، حدود ۰.۵ میلی‌ثانیه است، در حالی که قابلیت اطمینان هدف برای موفقیت در انتقال یک بسته ۳۲ بایتی در مدت زمان ۱ میلی‌ثانیه ۹۹.۹۹۹ درصد است [۲۰](3GPP, 2019).

شماره شناسی انعطاف پذیر و ساختار قاب

در شبکه‌های نسل چهارم فعلی، فاصله زمانی انتقال[۲۱] چیزی در حدود ۱ میلی‌ثانیه است که این زمان برای تأمین نیاز تأخیر URLLC باید کاهش یابد. از دیدگاه ساختار قاب، دو روش برای کوتاه کردن فاصله زمانی انتقال وجود دارد. ۱- افزایش فاصله بین زیرحامل‌ها[۲۲]به‌طوری که مدت سمبول‌ها کاهش یابد. فاصله بین زیرحامل در نسل پنج رادیو جدید، انعطاف‌پذیر و به صورت $\Delta f=2^{\mu}.15$ kHz است و $\mu=0,1,2,3,4$. بنابراین فاصله زمانی انتقال را می‌توان با انتخاب فاصله بین زیرحامل‌های بزرگتر کاهش داد. ۲- روش دیگر برای کوتاه کردن فاصله زمانی انتقال، کاهش تعداد نمادهای مالتی پلکسینگ تقسیم فرکانس متعامد[۲۳] در یک فاصله زمانی انتقال است و به معنی معرفی اسلات‌های بسیار کوچک[۲۴] در نسل پنج رادیو جدید می‌باشد. تعداد سمبول‌های اسلات‌های بسیار کوچک در OFDM می‌تواند ۲، ۴ و یا ۷ باشد و در نتیجه می‌توانیم شاهد کاهش بیشتر فاصله زمانی انتقال باشیم (Feng et al, 2019).

www.SID.ir

ساختار اسلات خود محتاط[۲۵]

در حالت تقسیم زمان دوگانه[۲۶]، هنگامی که یک نقطه دسترسی[۲۷] درخواست برنامه‌ریزی را از تجهیزات کاربر دریافت می‌کند می‌بایست اسلات قابل دسترسی بعدی DL منتظر باشد تا کمک UL فرستاده شود. با این حال در یک پیکربندی سنگین UL، تعداد اسلات‌های DL کمتر است و زمان انتظار می‌تواند بسیار طولانی باشد و به طور مشابه در پیکربندی سنگین DL تأیید سریع برای دریافت داده از DL ممکن است در دسترس نباشد. بنابراین در نسل پنج رادیو جدید یک ساختار اسلات خود محتاط معرفی شده است که در آن سمبول‌های OFDM در یک اسلات می‌توانند به عنوان DL انعطاف‌پذیر یا UL طبقه بندی شوند، به عبارت دیگر هر دو جهت را می‌توان در یک اسلات واحد پشتیبانی کرد. در این حالت با کمک ساختار اسلات خود محتاط، می توان زمان انتظار در سیستم‌های تقسیم زمان دوگانه را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. به عنوان مثال، پس از دریافت داده‌ها از DL در ابتدای اسلات، تجهیزات کاربر می‌تواند تصدیق مربوط به داده‌های دریافتی را در انتهای همان اسلات ارسال کند (Feng et al, 2019).

جدول کیفیت شاخص و مدولاسیون و برنامه نویسی کانال برای URLLC

برای تضمین قابلیت اطمینان انتقال داده‌ها می‌بایست یک برنامه مدولاسیون و کدگذاری مناسب بر اساس شاخص کیفیت کانال از یک جدول جستجو[۲۸] برای رسیدن به هدف نرخ خطای بلوک[۲۹] انتخاب شود، هدف نرخ خطای بلوک در سرویس eMBB در حدود 10^{-1} در نظر گرفته شده است که مشابه همان مقدار در LTE است و برای URLLC هدف نرخ خطای بلوک کمتر از 10^{-6} در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر برای دستیابی به انتقال داده موفقیت‌آمیز پیام کنترل باید قابل اعتماد باشد خواه این پیام برای اختصاص منابع و یا برای بازخورد باشد. دو روش اساسی برای افزایش قابلیت اطمینان کنترل وجود دارد: ۱- افزایش منابع کنترل ۲- کوتاه کردن اندازه اطلاعات کنترل. هر دو روش به رمزنگاری پیام کنترل با نرخ کدگذاری پایین کمک می‌کنند تا قابلیت اطمینان افزایش یابد (Feng et al, 2019).

تجمیع اسلات‌ها و تکرارها

برای بهبود قابلیت اطمینان تجمیع اسلات‌ها (برای انتقال مبتنی بر کمک هزینه) و تکرار (برای انتقال بدون کمک هزینه) در رادیو جدید معرفی می‌شود. ایده اصلی تجمیع اسلات و تکرار این است که انتقال اولیه یک بسته را می‌توان با تکرارهای خودکار همان بسته در اسلات‌های متوالی دنبال کرد. ضریب تجمیع (یعنی تعداد تکرارها) توسط لایه بالاتر پیکربندی شده است و آن‌را K می‌نامیم. مقدار K برابر یک، به این معنی است که پس از انتقال اولیه هیچ تجمیع (تکرار) وجود ندارد. مطابق مشخصات رادیو جدید فعلی، بیشترین مقدار K برابر ۸ است که به اندازه کافی بزرگ است تا قابلیت اطمینان فوق‌العاده انتقال داده را تضمین کند. از سوی دیگر، از نظر تأخیر، جدول زمانی ارسال با استفاده از تکرارها کاهش می‌یابد. تکرارها به‌طور خودکار در اسلات‌های متوالی منتقل می‌شوند بدون اینکه منتظر دریافت کمک هزینه یا بازپرداخت مجدد باشند و در نتیجه به کاهش تأخیر کمک می کند (Feng et al, 2019).

طراحی لایه پیوند داده

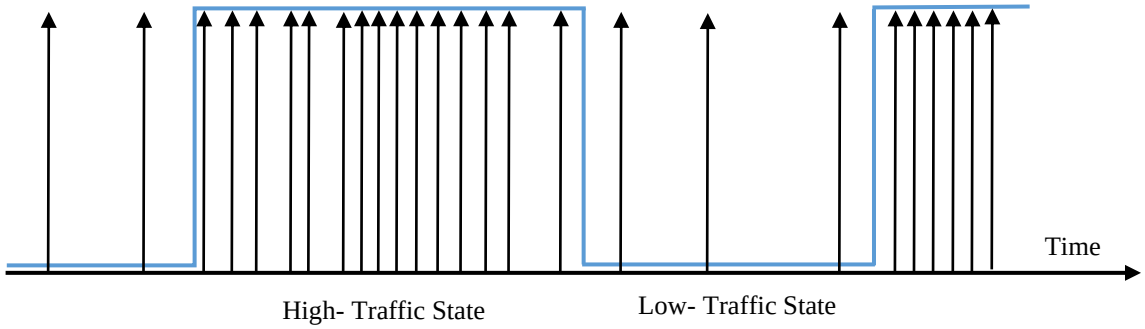
www.SID.ir

در این بخش بر روی طراحی لایه پیوند تمرکز کرده و سناریوهایی را که شامل فرآیندهای ورود بسته‌های تصادفی است را در نظر می گیریم. برای کاهش تأخیر، دسترسی بدون کمک هزینه برای انتقال فراسو و سیاست‌های برنامه‌ریزی فروسو در سیستم های ارتباطی و پردازشی خلاصه می شود.

دسترسی رایگان به کمک هزینه برای انتقال فراسو

در پروتکل فعلی LTE هنگامی که تجهیزات کاربر بسته‌ای برای انتقال دارد، ابتدا یک درخواست زمان‌بندی را به نقطه دسترسی ارسال می‌کند، سپس نقطه دسترسی یک کمک هزینه برای تجهیزات کاربر ارسال می‌کند و در نهایت تجهیزات کاربر می‌تواند بسته خود را بارگذاری کند. در این روش برنامه ریزی فروسو منجر به تأخیر دسترسی طولانی می‌شود که با دسترسی بدون کمک هزینه می‌توان آن را کاهش داد. رزرو پهنای باند اختصاصی برای هر یک از تجهیزات کاربر یک روش مرسوم برای جلوگیری از تأخیر در دسترسی است، اما این روش تنها برای تجهیزات کاربری که میزان ورود بسته به آن‌ها بالاست، مناسب است زیرا رزرو پهنای باند برای تجهیزات کاربر با نرخ ورود بسته‌های کم منجر به راندمان استفاده بسیار پایین از پهنای باند می شود. برای پرداختن به این مسئله روش دسترسی مبتنی بر مشاجره[۳۰] در (Singh et al, 2017) مورد مطالعه قرار گرفته است (طرح دسترسی slotted ALOHA) با دسترسی مبتنی بر مشاجره، کل پهنای باند به چندین کانال تقسیم می شود. در هر اسلات، تجهیزات کاربری که نیاز به ارسال بسته‌ها دارند یکی از کانال‌ها را به‌طور تصادفی برای انتقال داده انتخاب می‌کنند و اگر بیش از یک UE همان کانال را انتخاب کند، انتقال آن با شکست مواجه می‌شود. فرآیندهای ورود در بعضی از برنامه ها بسیار پراکنده هستند (Condoluci et al, 2017). میزان رسیدن یک فرایند ورود به صورت پراکنده بین حالت پرترافیک و کم‌ترافیک جابجا می شود این موضوع در شکل ۳ نشان داده شده است. برای جلوگیری از احتمال برخورد زیاد و صرفه جویی در پهنای باند ابتدا مراحل ورود را به حالت‌های پرترافیک و کم‌ترافیک طبقه‌بندی می‌کنند. سپس پهنای باند اختصاصی در حالت پرترافیک برای تجهیزات کاربر محفوظ است و طرح دسترسی slotted ALOHA برای تجهیزات کاربر در حالت کم‌ترافیک اعمال می‌شود. برای تضمین نیازهای قابلیت اطمینان، باید خطاهای هر طبقه‌بندی نیز در نظر گرفته شود (Hou et al, 2018).

www.SID.ir



شکل ۳- فرآیند انفجاری ورود بسته

سیاست‌های زمانبندی فروسو در سیستم‌های ارتباطی و محاسباتی

در سیستم‌های ارتباطی سنتی بسته‌ها به مقصدهای مختلف در صف‌های مختلف در بافر نقطه دسترسی منتظر هستند، چنین سیاستی می تواند تضمین کننده کیفیت سرویس برای هر کاربر باشد اما هنگامی شاهد بهره‌وری خواهیم بود که از منابع کمتر استفاده شود، در این حالت حتی اگر صف اختصاص داده شده به برخی از کاربران خالی باشد نمی‌توان از آن استفاده کرد و این صف را نمی‌توان به اشتراک گذاشت. به منظور بهبود بهره‌وری در استفاده از منابع می‌توان از سرور مالتی‌پلکسینگ آماری استفاده کرد، بسته های کاربران مختلف در یک صف باقی می‌مانند. اگر ورود هر کاربر یک فرآیند پواسون را دنبال کند و اندازه بسته‌ها یکسان باشد (هر بسته کوچک در URLLC شامل ۲۰ بایت)، سپس سرور مالتی‌پلکسینگ آماری می‌تواند کیفیت سرویس را برای بسته‌هایی با پهنای باند کمتر نسبت به پذیرش سرور جداگانه برای هر کاربر تضمین کند (She et al,2018). در سیستم‌های کاربردی زمان انتقال یا پردازش انواع مختلف بسته‌ها می‌تواند بسیار متنوع باشد. اندازه بسته در خدمات eMBB بسیار بزرگتر از خدمات URLLC است و زمان انتقال یا پردازش بسته‌های طولانی[۳۱] در خدمات eMBB بسیار طولانی‌تر از بسته‌های کوتاه در سرویس‌های URLLC است و در نتیجه اگر از سرورهای اولین ورود- اولین سرویس[۳۲]، استفاده کنیم بسته‌های کوتاهی که به دنبال یک بسته طولانی وارد سرور می‌شوند باید برای مدت زمان طولانی منتظر بمانند، برای جلوگیری از این مشکل سرور اشتراکی پردازنده[۳۳] یک راه حل ارائه شده است. در سرور پردازنده اشتراکی کل توانایی سرور به طور کلی به تمام بسته‌های موجود در بافر اختصاص داده می‌شود. در این روش بسته‌های کوتاه برای پردازش منتظر پردازش بسته‌های طولانی نیستند. اگر سرور از بسته‌های موجود در سرویس‌های مختلف آگاه باشد، می‌تواند خط مشی‌های مختلف برنامه ریزی را برای انواع مختلف خدمات طراحی کند (Balter, 2013).

دستگاه به دستگاه، رله و پیوندهای سلولی برای URLLC

www.SID.ir

در برخی از برنامه‌های URLLC مانند اتوماسیون کارخانه و شبکه‌های خودرو، هر دستگاه بسته‌های کوتاه را به دستگاه‌های اطراف منتقل می‌کند. در سناریوهای ارتباطی با مسیرهای کوتاه، ارتباطات ماشین به ماشین در مقایسه با پیوندهای سلولی می‌تواند عملکرد بهتری داشته باشد، اما هنگام استفاده از ارتباطات ماشین به ماشین در سناریو URLLC، باید از تداخل جلوگیری کرد. استفاده از نقاط دسترسی برای مدیریت منابع رادیویی و ارسال بسته‌های داده از طریق لینک دستگاه به دستگاه می‌تواند به عنوان یک راه حل برای جلوگیری از تداخل باشد. از آنجا که ارتباطات دستگاه به دستگاه توسط محدوده، محدود شده‌اند، می‌توان سیستم‌های رله را به کار گرفت. نتایج به کارگیری سیستم‌های رله نشان می‌دهد که این سیستم‌ها می‌توانند در مقایسه با انتقال مستقیم در هر دو سناریوی محدود به نویز و با محدودیت‌های تداخل، توان بالاتر و یا تأخیر در صف کمتری را داشته باشند (Hu et al, 2018). برای بهبود بیشتر قابلیت اطمینان یک تکنیک مهم، اتصال چندگانه[۳۴] است که شامل انتقال یک بسته از تمام پیوندهای موازی چندگانه مانند پیوندهای دستگاه به دستگاه ، رله و پیوندهای سلولی است. نتایج نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان حاصل شده با همبستگی متقابل[۳۵] سایه در بین پیوندهای موازی کاهش می یابد اما چگونگی تحلیل تأثیر همبستگی متقابل سایه بر قابلیت اطمینان موضوعی که باید در مورد آن تحقیق کرد (She et al, 2018).

توپولوژی شبکه

یکی دیگر از عوامل تعیین کننده برای URLLC نحوه اتصال دستگاه‌ها ، یعنی توپولوژی شبکه است.

تراکم ایستگاه های پایه

تراکم ایستگاه‌های پایه برای داشتن یک اتصال قابل اعتماد و دارای پوشش کافی بسیار با اهمیت است، این امر به کاربران اجازه می‌دهد تا بهترین انجمن را از میان انبوه ایستگاه‌های پایه همسایه خود انتخاب کنند. این امر در ۳ حالت به URLLC کمک می‌کند: ۱- فاصله کوتاه انجمن‌ها ۲- افزایش تخصیص منابع به ازای هر کاربر ۳- وجود چندین انجمن. کاهش فاصله انجمن ایستگاه‌های پایه کاربران باعث کاهش تلفات انتشار می‌شود، که برای کاربرانی که به شدت آسیب دیده‌اند بسیار مهم است. در نواحی محدود شده با سر و صدا و نویز بسیار، جایی که تداخل تجمعی در مقایسه با نویز ناچیز است، تراکم شبکه باعث افزایش قدرت سیگنال مورد نظر شده و قابلیت اطمینان را بهبود می‌بخشد. برای نواحی محدود شده با تداخل، مسافت‌های کوتاه انتشار نه تنها قدرت سیگنال مورد نظر را افزایش می دهد بلکه تداخلی را که ممکن است توسط بسیاری از کاربران ایستگاه‌های پایه همسایه ایجاد شود را کاهش می‌دهد. با این وجود، افزایش قدرت سیگنال بر افزایش تداخل ها به دلیل از بین رفتن مسیر غالب است، این امر به دلیل پیروی از قانون توان می‌باشد و به‌طور کلی، تراکم شبکه از طریق نسبت سیگنال به تداخل به علاوه نویز[۳۶] را برای همه کاربران افزایش می دهد (park et al, 2017).

www.SID.ir

تراکم شبکه همچنین منجر به استفاده مجدد از منابع و افزایش تخصیص منابع برای هر کاربر می‌شود، این افزایش منابع می‌تواند به طور مستقیم بر کاهش تأخیر اثرگذار باشد. تراکم شبکه باعث می‌شود ایستگاه‌های پایه با احتمال زیاد، تعداد معدودی کاربر داشته باشند و یا هیچ کاربر مرتبطی را تحت پوشش خود نداشته باشند، این موضوع خصوصاً در شبکه‌های فوق چگالی که تراکم ایستگاه‌های پایه از تراکم کاربر بیشتر باشد اتفاق می‌افتد. چنین ایستگاه‌های پایه‌ای بدون داشتن کاربر، در حالت آماده به کار قرار نمی‌گیرند و به منظور بهره‌وری در انرژی، سیگنال داده نیز ارسال نمی‌کنند، اما ممکن است باعث ایجاد انجمن‌ها اضافی برای کاربران URLLC شوند. این امر می‌تواند موجب افزایش تداخل فروسو در ایستگاه‌های پایه‌ی بیدار (در حال کار) شود و برای کاهش آن می‌توان از ایستگاه‌های پایه همسایه استفاده کرد. دو ایستگاه پایه همسایه را در نظر بگیرید که به دلیل فاصله کم بین ایستگاه‌های پایه، از طریق یک باند با سرعت بالا به هم متصل می شوند. فرض کنید که شبکه دارای دو نوع کاربر است: کاربر با تأخیر کم و کاربر با تحمل تأخیر، با تبادل سیگنال‌های داده و اطلاعات مربوط به ارتباط، این دو ایستگاه پایه می‌توانند همزمان و بدون ایجاد مداخله در خدمت کاربران خود باشند. این امر می‌تواند با استفاده از لغو تداخل یا اولویت‌بندی انتقال کاربران کم تأخیر انجام شود (Min Kim et al, 2017).

ارتباط دستگاه به دستگاه

ارتباطات سلولی سنتی بدون در نظر گرفتن موقعیت مکانی دستگاه نهایی، از توپولوژی فروسو به فراسو پیروی می کند؛ با این حال LTE Release-12 و نسل پنج از ارتباطات دستگاه به دستگاه نیز پشتیبانی می‌کنند، جایی که دستگاه‌های فیزیکی نزدیک (دو وسیله نقلیه) می‌توانند به‌طور مستقیم بر روی پیوند جانبی[۳۷] ارتباط برقرار کنند. در مقایسه با ارتباطات عادی فراسو-فروسو، ارتباطات دستگاه به دستگاه از فاصله پیوند کوتاه‌تری بهره می‌برند و تعداد گام کمتری دارند که این امر از دیدگاه قابلیت اطمینان حائز اهمیت است. از آنجا که ارتباط به صورت مستقیم است (بدون گره‌های میانی)، ارتباط دستگاه به دستگاه پتانسیل ارائه تأخیر بسیار کم را نیز دارد (Popovski et al, 2018).

جمع‌بندی

شبکه‌های فعلی نسل ۴ قادر به تأمین کلیه نیازهای برنامه‌ها و کاربردها از نظر تأخیر و قابلیت اطمینان نیستند و نیاز به شبکه‌ای است که توانایی ارائه این خدمات را داشته باشد. بر طبق استانداردهای اتحادیه بین‌المللی ارتباطات راه دور یکی از سرویس‌هایی که نسل پنج ارائه می‌دهد سرویس URLLC است، این سرویس به چالش تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا به طور همزمان می‌پردازد. در این مقاله الزامات این سرویس بیان شده و به برخی طراحی‌ها و فناوری‌هایی که برای دو لایه فیزیکی و لایه پیوند داده به منظور برآورد خواست‌های این سرویس ارائه شده اشاره گردیده است. در مورد توپولوژی شبکه نیز مسائلی مطرح شد. با توجه به گسترش هر چه بیشتر اینترنت اشیا و ارائه برنامه‌های متنوع‌تر، به‌طور قطع

www.SID.ir

مسائل پیرامون تأخیر و قابلیت اطمینان نیز در آینده پیچیده‌تر و گسترده‌تر خواهد شد و به راه‌حل‌های جدیدتر نیاز خواهیم داشت.

منابع

Petar Popovski. (2014). Ultra-reliable communication in 5G wireless systems. In *1st International Conference on 5G for Ubiquitous Connectivity*.

Michael E. Porter and James E. Heppelmann. (2014). How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. *Harvard Business Review*, *92*(11), 64–88.

Beatriz Soret ; Preben Mogensen ; Klaus I. Pedersen ; Mari Carmen Aguayo-Torres. (2014). Fundamental tradeoffs among reliability, latency and throughput in cellular networks. In *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*.

Yury Polyanskiy ; H. Vincent Poor ; Sergio Verdu. (2010). Channel Coding Rate in the Finite Blocklength Regime. *IEEE Transactions on Information Theory*, *56*(5), 2307–2359.

Imtiaz Parvez ; Ali Rahmati ; Ismail Guvenc ; Arif I. Sarwat ; Huaiyu Dai. (2018). A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Net.work and Caching Solutions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *20*(4), 3098–3130

Hyoungju Ji ; Sunho Park ; Jeongho Yeo ; Younsun Kim ; Juho Lee ; Byonghyo Shim. (2018). Ultra-Reliable and Low-Latency Communications in 5G Downlink: Physical Layer Aspects. *IEEE Wireless Communications*, *25*(3), 124–130.

Philipp Schulz,Maximilian Matthe,Henrik Klessig,Meryem Simsek,Gerhard Fettweis,Junaid Ansari,Shehzad Ali Ashraf,Bjoern Almeroth, Jens Voigt,Ines Riedel,Andre Puschmann,Andreas Mitschele-Thiel,Michael Muller,Thomas Elste, M. W. (2017). Latency Critical IoT Applications in 5G: Perspective on the Design of Radio Interface and Network Architecture. *IEEE Communications Magazine*, *55*(2), 70–78.

Daquan Feng ; Changyang She ; Kai Ying ; Lifeng Lai ; Zhanwei Hou ; Tony Q. S. Quek;Yonghui Li; Branka Vucetic; (2019). Toward Ultrareliable Low-Latency Communications: Typical Scenarios, Possible Solutions, and Open Issues. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, *14*(2), 94–102.

Bikramjit Singh ; Olav Tirkkonen ; Zexian Li ; Mikko A. Uusitalo. (2017). Contention-Based Access for Ultra-Reliable Low Latency Uplink Transmissions. *IEEE Wireless Communications Letters*, *7*(2), 182–185.

Massimo Condoluci ; Toktam Mahmoodi ; Eckehard Steinbach ; Mischa Dohler. (2017). Soft Resource Reservation for Low-Delayed Teleoperation Over Mobile Networks. *IEEE Access*, 10445–10455.

Zhanwei Hou ; Changyang She ; Yonghui Li ; Tony Q. S. Quek ; Branka Vucetic. (2018). Burstiness-Aware Bandwidth Reservation for Ultra-Reliable and Low-Latency

www.SID.ir

Communications in Tactile Internet. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *36*(11), 2401–2410.

Changyang She ; Chenyang Yang ; Tony Q. S. Quek. (2018). Joint Uplink and Downlink Resource Configuration for Ultra-Reliable and Low-Latency Communications. *IEEE Transactions on Communications*, *66*(5), 2266–2280.

Mor Harchol-Balter. (2013). *Performance modeling and design of computer systems: queueing theory in action*.

Yulin Hu ; M. Cenk Gursoy ; Anke Schmeink. (2018). Relaying-Enabled Ultra-Reliable Low-Latency Communications in 5G. *IEEE Network*, *32*(2), 62–68.

Changyang She ; Zhengchuan Chen ; Chenyang Yang ; Tony Q. S. Quek ; Yonghui Li ; Branka Vucetic. (2018). Improving Network Availability of Ultra-Reliable and Low-Latency Communications with Multi-Connectivity. *IEEE Transactions on Communications*, *66*(11), 5482–5496.

Jihong Park ; Dong Min Kim ; Petar Popovski ; Seong-Lyun Kim. (2017). Revisiting frequency reuse towards supporting ultra-reliable ubiquitous-rate communication. In *2017 15th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks (WiOpt)*.

Dong Min Kim ; Henning Thomsen ; Petar Popovski. (2017). On a User-Centric Base Station Cooperation Scheme for Reliable Communications. In *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*.

Petar Popovski ; Jimmy J. Nielsen ; Cedomir Stefanovic ; Elisabeth de Carvalho ; Erik Strom ; Kasper F. Trillingsgaard ;Alexandru-Sabin Bana; Dong Min Kim; Radoslaw Kotaba;Jihong Park;Rene B. Sorensen; (2018). Wireless Access for Ultra-Reliable Low-Latency Communication: Principles and Building Blocks. *IEEE Network*, *32*(2), 16–23.

[1] Fifth Generation (5G)
[2] ultra-reliable low-latency communications (URLLC)
[3] massive Machine-Type Communications (mMTC)
[4] International Telecommunication Union (ITU)
[5] enhanced mobile broadband (eMBB)
[6] ITU-R Rec. M.2083-0, “IMT Vision - Framework and Overall Objectives of the Future Development of IMT for 2020 and Beyond,” Sept. 2015.
[7] 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
[8] New Radio (NR)
[9] Throughput
[10] Virtual Reality (VR)
[11] Augmented Reality (AR)
[12] Serious Gaming
[13] Smart Grid
[14] 3GPP Technical Report 38.913, “Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies (Release 14),” v14.2.0, 2017.
[15] Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ)
[16] Slot
[17] Codeblock
[18] Uplink (UL)

www.SID.ir

[19] Downlink (DL)
[20] 3GPP, “Study on physical layer enhancements for NR ultra-reliable and low latency case (URLLC),” 3rd Generation Partnership Project, Sophia Antipolis, France, Rep. TR 38.824 V1.1.0, Release 16, 2019.
[21] Transmission Time Interval (TTI)
[22] Subcarrier Spacing (SCS)
[23] Orthogonal Frequency-division Multiplexing (OFDM)
[24] Mini slot
[25] Self-Contained
[26] Time-Division Duplex (TDD)
[27] Access Point (AP)
[28] Lookup Table
[29] Block error rate (BLER)
[30] Contention-based access
[31] مدت زمان مورد نیاز برای پردازش بسته مد نظر است، لذا واژگان طولانی و کوتاه استفاده می‌شود.
[32] First Come-First Serve (FCFS)
[33] Processor- Sharing
[34] Multiconnectivity
[35] Cross-Correlation
[36] Signal-to-Interference- Plus-Noise Ratio (SINR)
[37] Sidelink

www.SID.ir