

Модель обслуживания трафика NR на базовых станциях LTE

Е. С. Голос*, Е. Ю. Лисовская*[†], Д. А. Молчанов[‡]

** Кафедра прикладной информатики и теории вероятностей,
Российский университет дружбы народов,
ул. Миклуто-Маклая, д.6, Москва, Россия, 117198*

*[†] Кафедра теории вероятностей и математической статистики,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
пр. Ленина, д. 36, Томск, Россия, 634050*

*[‡] Лаборатория электроники и инженерии связи,
Университет Тампере, Тампере, Финляндия, 33720*

Email: goloselizaveta@gmail.com, lisovskaya-eyu@rudn.ru, dmitri.moltcanov@tuni.fi

Динамическая блокировка путей распространения сигнала в плотном трафике автомобильных дорог требует передовых технологий для сохранения непрерывности сессии в будущих сетях доступа технологии New Radio (NR), работающих в миллиметровом диапазоне частот (mmWave). В данной работе используются инструменты теории массового обслуживания для формализации и решения математической модели обслуживания трафика NR на базовых станциях технологии, работающей в микроволновом диапазоне частот (например, LTE или NR в полосе частот ниже 6 ГГц) при наличии конкурирующего трафика LTE. Предложенная модель отражает динамику обслуживания сессий абонентских устройств поддерживающих работу как в сетях NR, так и LTE в случае потери связи с текущей базовой станцией NR.

Ключевые слова: New Radio, millimeter wave, развертывание, блокировки, отключение, поддержка LTE, мультисвязность.

1. Введение

Планируется, что технология 3GPP New Radio (NR), работающая в миллиметровом диапазоне частот (mmWave – Millimeter Wave), станет основой мобильных сетей связи следующего поколения, обеспечивая достаточную пропускную способность и низкую задержку для абонентского трафика. Однако, использование миллиметрового диапазона частот приводит как к большим потерям при распространении, так и к блокировкам сигнала небольшими объектами в канале, например, людьми, автомобилями, деревьями [5]. Это значительно снижает радиус покрытия базовых станций mmWave NR.

В качестве альтернативного подхода для первоначальных развертываний технологии mmWave NR, 3GPP рассматривает одновременную поддержку нескольких технологий радиодоступа на пользовательском оборудовании через функцию мультисвязности, включая микроволновые технологии, такие как LTE, LTE-A, а также NR в полосе частот ниже 6 ГГц [1]. В настоящее время производители оборудования уже начали тестирование доступа в сетях связи 5G NR, одновременно работающих в полосах частот 3,5 ГГц и 28 ГГц. Предлагаемое решение позволяет перенаправлять трафик на канал ниже 6 ГГц вместо того, чтобы сбрасывать сессию, когда канал mmWave NR становится недоступным [4, 6]. Однако, емкость микроволновых точек доступа часто в разы меньше, чем емкость mmWave NR БС, что означает, что практические выгоды от использования микроволновых систем могут быть ограничены. Кроме того, наличие трафика mmWave NR также может существенно повлиять на производительность микроволновых систем и качество обслуживания абонентов.

В этой работе изучается необходимость обеспечения приоритета микроволнового трафика LTE перед миллиметровым NR. С помощью инструментов теории массового обслуживания формулируется модель процесса обслуживания сессий на микроволновой БС при отсутствии требований к минимальной скорости, предъявляемых к сеансам обоих типов трафика. В предложенной модели учитывается возможность перенаправления трафика между разными технологиями радиодоступа при развертывании точек доступа mmWave NR на улице.

2. Системная модель

Предполагается, что емкость LTE точки доступа, работающей в микроволновой полосе частот составляет R первичных ресурсных блоков (Physical Resource Block, PRB), измеряемых в МГц. Пусть трафик, соответствующий запросам LTE, описывается однородным пуассоновским потоком с интенсивностью λ_L . В общем случае значение λ_L зависит от покрытия базовой станции, а также от условий развертывания сети доступа. Чтобы сделать модель независимой от этих параметров, считаем, что λ_L известен разработчику системы. Каждая сессия характеризуется параметром μ_L экспоненциального распределения длительности нахождения в системе [7]. Также, трафик является эластичным по своей природе, то есть n_L сеансов в системе совместно используют R доступных ресурсов, причем каждый получает R/n_L PRB. Следует отметить, что фактическая пропускная способность, предоставляемая сессиям, отличается из-за разной спектральной эффективности пользователей.

Теперь необходимо охарактеризовать интенсивность λ_N поступления сессий mmWave NR выгружаемых на микроволновую LTE БС, а также параметр длительности их пребывания на обслуживании, μ_N . Эти параметры определяются следующими факторами: общей длиной улиц, числом полос на каждой улице, плотностью развертывания mmWave NR БС, вероятностью начала сессии пользователями в каждом автомобиле, условиями движения и т.д., и приводятся в [2]. Трафик, генерируемый сеансами mmWave NR, также считается эластичным.

3. Математическая модель

Пусть на базовой станции существует некоторое количество PRB R , λ_L и λ_N являются интенсивностями пуассоновских входящих потоков, соответствующих потокам запросов на установление сессий трафика LTE и NR, а μ_L и μ_N – параметры экспоненциального распределения длительности обслуживания каждой сессии. Оба потока, включая временно выгруженные из системы mmWave NR, совместно используют ресурсы. Следует отметить, что в этой схеме не происходит потерь сессий, и единственный недостаток, связанный с выгрузкой сессий – скорость действующих сессий [3]. Поэтому ставится задача, вычислить среднюю скорость сессий в трафике LTE в стационарном режиме.

Для решения поставленной задачи рассмотрим двумерный марковский процесс $\mathbf{K}(t) = \{K_L(t), K_N(t), t > 0\}$, где $K_L(t)$ – число LTE сессий, $K_N(t)$ – число NR сессий в системе в момент t . Пространство возможных состояний этого процесса имеет вид: $\mathbb{K} = \{(k_L, k_N) : k_L, k_N \in \{0, 1, \dots\}\}$, где k_L, k_N – текущее число LTE и NR сессий в системе.

Известно, что распределение вероятностей состояний этого процесса является мультипликативным и может быть записано в следующем виде:

$$p(k_L, k_N) = \left(\sum_{(i,j) \in \mathbb{K}} \frac{\rho_L^i}{i!} \frac{\rho_N^j}{j!} \right)^{-1} \frac{\rho_L^{k_L}}{k_L!} \frac{\rho_N^{k_N}}{k_N!},$$

где $\rho_L = \lambda_L/\mu_L$ and $\rho_N = \lambda_N/\mu_N$ – загрузка системы LTE и NR сессиями [8].

Полученное распределение вероятностей позволяет найти интересующую нас характеристику – среднюю скорость сессий в трафике LTE. Очевидно, что для

Таблица 1

Данные для численного эксперимента

Обозначение	Значение	Описание
R_s	500 м	Радиус покрытия LTE БС
R	500 PRB	Емкость LTE БС
W	180 КГц	Ширина полосы пропускания LTE БС
G_T	28,7 Вт	Коэффициент усиления передающей антенны
G_R	7,2 Вт	Коэффициент усиления принимающей антенны
N_0	4.14×10^{-21} Вт	Мощность шума
μ_L	0,033 1/с	Интенсивность обслуживания LTE сессий
μ_N	3,704 1/с	Интенсивность обслуживания NR сессий

рассматриваемой системной модели каждой сессии на LTE БС будет выделяться одинаковое количество PRB $r = R/(k_L + k_N)$. Тогда среднее число занятого ресурса одной LTE сессией можно вычислить по формуле:

$$M\{r\} = \sum_{k_L=1}^{\infty} \sum_{k_N=0}^{\infty} \frac{R}{k_L + k_N} p(k_L, k_N).$$

Заметим также, что ресурсы не полностью характеризуют интересующую нас метрику. Используя формулу Шеннона, можно получить средние скорости сессий:

$$c = rW \log_2(1 + G_T G_R A x^{-\gamma} / r W N_0),$$

где G_T, G_R, N_0, A – константы, характеризующие технические особенности системы [2], W – ширина полосы пропускания, x – расстояние до LTE БС. Здесь мы имеем две случайные величины, x , имеющая плотность вероятности $2x/R_s^2$, где R_s – радиус покрытия LTE БС, и r , ряд распределения которой определяется вероятностями состояний \mathbb{K} .

Тогда для средней скорости одной сессии имеем:

$$M\{c\} = \int_0^{R_s} \sum_{k_L=1}^{\infty} \sum_{k_N=0}^{\infty} \frac{R}{k_L + k_N} W \log_2 \left(1 + \frac{G_T G_R A x^{-\gamma}}{N_0 W} \frac{k_L + k_N}{R} \right) p(k_L, k_N) \frac{2x}{R_s^2} dx.$$

4. Численные результаты

Для проведения численного исследования используем данные, представленные в таблице 1. На рисунке 1 изображены графики изменения средней скорости сессий (раздел 3), как функции от интенсивности поступления сессий трафика NR на базовые станции LTE.

Как видно из графика, скорость сессий значительно падает с ростом интенсивностей поступления сессий обоих типов трафика. Это позволяет сделать вывод о том, что необходимо приоритезировать трафик LTE на микроволновых базовых станциях LTE, предоставляя некоторые гарантии по минимальной скорости сессий, а также резервируя некоторое количество ресурса базовой станции для основного трафика LTE. Однако, в этом случае необходимо следить и за вероятностью сброса сессий, связанной с нехваткой ресурсных блоков для обеспечения минимальной гарантии по скорости в момент поступления запроса.

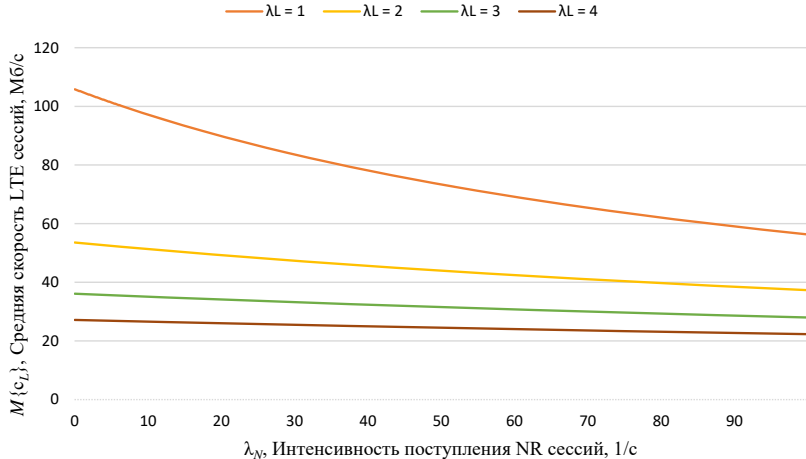


Рис. 1. График изменения средней скорости сессий трафика LTE

5. Заключение

В работе рассмотрена модель обслуживания трафика mmWave NR выгружаемых на микроволновые базовые станции LTE в присутствии конкурирующего трафика LTE. Данная модель построена для анализа характеристик обслуживания LTE и NR трафика на LTE БС. Численные результаты показали необходимость приоритизации LTE трафика, поэтому в дальнейших исследованиях рассмотрим модели с резервированием некоторого количества PRB для трафика LTE, а также предоставим гарантии по минимальному количеству выделяемого ресурса для каждой из сессий.

Литература

1. 3GPP, System Architecture for the 5G System, TS 23.501 V15.2.0, July 2018.
2. V. Begishev, A. Samuylov, D. Moltchanov, E. Machnev, Y. Koucheryavy, K. Samouylov, Connectivity properties of vehicles in street deployment of 3GPP NRsystems, In 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps) 2018, December, IEEE. P. 1–7.
3. M. Gerasimenko, D. Moltchanov, M. Gapeyenko, S. Andreev, Y. Koucheryavy, Capacity of Multiconnectivity mmWave Systems With Dynamic Blockage and Directional Antennas, in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 4, pp. 3534–3549, April 2019.
4. V. Begishev, D. Moltchanov, E. Sopin, A. Samuylov, S. Andreev, Y. Koucheryavy, K. Samouylov, Quantifying the impact of guard capacity on session continuity in 3GPP new radio systems, in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 12, pp. 12345–12359, 2020.
5. V. Petrov, M. Komarov, D. Moltchanov, J. Jornet, Y. Koucheryavy, Interference and SINR in millimeter wave and terahertz communication systems with blocking and directional antennas, in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 16, no. 3, pp. 1791–1808, 2017.

6. K. Venugopal, R.W. Heath, Location based performance model for indoor mmWave wearable communication, Proc. of International Conference on Communications (ICC), IEEE, 2016. – P. 1–6.
7. Г.П. Башарин, Ю.В. Гайдамака, К.Е. Самуйлов, Н.В. Яркина, Модели для анализа качества обслуживания в сетях связи следующего поколения: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 137 с.
8. Г.П. Башарин, Введение в теорию вероятностей: Учеб. пособие для студентов II–III курсов специальностей «Математика», «Прикладная математика». – М.: Изд-во РУДН, 1990. – 228 с.

UDC 519.6

Service process of multi-band NR/LTE UE traffic at LTE base stations

E. Golos*, E. Lisovskaya*[†], D. Moltchanov[‡]

** Department of Applied Probability and Informatics
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str. 6, Moscow, 117198, Russia*

*† Department of Probability Theory and Mathematical Statistics
Tomsk State University
Lenin ave. 36, Tomsk, 634050, Russia*

*‡ Laboratory of Electronics and Communications Engineering
Tampere University, 33720 Tampere, Finland*

Email: goloselizaveta@gmail.com, lisovskaya-eyu@rudn.ru, dmitri.moltchanov@tuni.fi

The dynamic blockage of propagation paths requires advanced techniques to preserve the session continuity in future millimeter wave (mmWave) New Radio (NR) access networks. We use the tools of queuing theory to formulate the mathematical framework capturing session service dynamics of user equipment (UE) supporting multi-band operation via 3GPP standardized multiconnectivity operation, where microwave base station (e.g., LTE or sub-6 GHz NR) is used to temporarily serve a session experiencing outage at mmWave NR BSs.

Key words and phrases: New Radio, millimeter wave, street deployment, blockage, outage, LTE support, multiconnectivity.