

УДК 654.16

# ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ДВУХ ТИПОВ ТРАФИКА ТОЧКОЙ ДОСТУПА В ДИАПАЗОНЕ MMWAVE<sup>1</sup>

**Ф.А. Москалева**

*Российский университет дружбы народов*  
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: [moskaleva-fa@rudn.ru](mailto:moskaleva-fa@rudn.ru)

**В.А. Бесчастный**

*Российский университет дружбы народов*  
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: [beschastnyy-va@rudn.ru](mailto:beschastnyy-va@rudn.ru)

**А.К. Самуйлов**

*Российский университет дружбы народов*  
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: [aksamuylov@gmail.com](mailto:aksamuylov@gmail.com)

**Д.А. Молчанов**

*Российский университет дружбы народов*  
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: [moltchanov.dmitri@gmail.com](mailto:moltchanov.dmitri@gmail.com)

**Ю.В. Гайдамака**

*Российский университет дружбы народов*  
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6  
E-mail: [gaydamaka-yuv@rudn.ru](mailto:gaydamaka-yuv@rudn.ru)

**Ключевые слова:** СМО, mmWave, многоадресные и одноадресные сессии.

**Аннотация:** Ожидается, что технология беспроводного доступа 3GPP New Radio (NR) станет основой систем 5G, обеспечивающих исключительно высокие скорости передачи данных на интерфейсе радиодоступа. Передача данных в таких системах будет вестись в миллиметровом диапазоне длин волн, особенностью которого является необходимость прямой видимости между устройствами, участвующими в соединении. Одной из задач в сетях, построенных на основе миллиметровых точек доступа, является задача нахождения оптимального расположения точек доступа для обеспечения зоны покрытия сети устойчивой связью. В работе построена аналитическая модель для описания обслуживания точкой доступа одноадресного и многоадресного трафика, порождаемых запросами пользователей, расположенных в зоне покрытия точки доступа. В модели учитывается комбинация двух типов трафика, а также случайный объем требований к ресурсам, который зависит от местоположения оборудования мобильного пользователя, типа телекоммуникационной услуги, требуемой скорости передачи данных, потери радиосигнала. Особенностью модели является учет эффекта блокировки прямой видимости между передатчиком и приемником, характерной для передачи данных в миллиметровом диапазоне длин волн с узкой диаграммой направленности антенн. Основными показателями

---

<sup>1</sup> Публикация подготовлена при поддержке Программы РУДН «5-100» и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов №17-07-00845 и № 18-07-00576.

производительности системы, представляющими интерес, являются вероятности сброса запросов на установление одноадресных и многоадресных соединений, а также коэффициент использования ресурсов точки доступа.

## 1. Введение

Стандартизованный консорциумом 3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project (3 GPP) в рамках Release 15 [1] радиointерфейс 3GPP New Radio (NR), работающий в полосе частот миллиметрового диапазона, должен стать основной технологией передачи данных в мобильных системах пятого поколения (5G). Особенностью передачи в миллиметровом диапазоне длин волн является чувствительность соединения к блокировкам прямой видимости между приемо-передающими устройствами, которые приводят к резкому снижению достижимой скорости передачи в радиоканале, вплоть до разрыва соединения [2]. Одним из способов решения этой проблемы является применение принципа опоры на несколько точек доступа (англ. multiconnectivity) - одновременного резервирования ресурса для поддержания соединения на нескольких точках доступа. Это принцип предусматривает соединение с точкой доступа, дающей лучшее качество передачи в канале, таким образом, при появлении препятствия на линии прямой видимости соединение переключается на другую точку доступа. Одной из задач в сетях миллиметровых волн является нахождение оптимального расположения точек доступа для обеспечения зоны покрытия сети устойчивой связью.

При передаче одноадресного трафика узконаправленные антенны дают высокий коэффициент усиления сигнала как на стороне пользовательского оборудования (англ. user equipment, UE), так и на стороне точки доступа (англ. access point, AP), что позволяет располагать точки доступа на значительном расстоянии друг от друга. В случае многоадресного трафика эффективным представляется использование антенн с широкой диаграммой направленности, поскольку принцип мультивещания предполагает передачу одной копии данных для всех пользователей в зоне покрытия луча антенны. Однако, следствием широкой диаграммы направленности является малый радиус зоны покрытия. В случае многоадресной передачи использование большого числа антенных элементов с узкими лучами и большим радиусом зоны покрытия сопровождается необходимостью дублировать многоадресную информацию для каждого сектора, соответствующего антенному лучу. Задача состоит в построении модели системы беспроводной связи для обслуживания комбинации одноадресного и многоадресного трафика, которая позволит проводить анализ системы с точки зрения основных показателей производительности, а именно, вероятностей сброса запросов на установление одноадресных и многоадресных соединений и коэффициента использования ресурса [3]. Эта модель, дополненная моделями антенн и процедурой управления лучом, может в дальнейшем использоваться для определения оптимального расстояния между точками доступа для систем NR 3GPP.

## 2. Системная модель

Объектом исследования является точка доступа в миллиметровом диапазоне длин волн, обслуживающая запросы на установление сессий для предоставления услуг как по принципу «точка-точка» (одноадресный трафик), так и по принципу «точка- много точек» (многоадресный трафик). В зоне покрытия точки доступа находятся стационарные пользователи, генерирующие запросы на предоставление услуг, а также подвиж-

ные блокаторы - препятствия, которые могут перекрывать прямую видимость (Line-of-Sight, LoS) между устройствами пользователей и точкой доступа. Предметом исследования является качество предоставления услуг связи. Метриками, исследованными в работе, являются вероятности сброса сессии каждого типа, а также коэффициент использования ресурсов точки доступа.

## 2.1. Описание системы

Схема зон покрытия двух соседних точек доступа  $AP_1$  и  $AP_2$  изображена на рис. 1. Зона покрытия имеет форму круга, радиус которого определяется моделью распространения сигнала. Для обслуживания запросов пользователей, случайным образом распределенных внутри круга, точкой доступа выделяется радиоресурс, при этом объем ресурса зависит от местоположения пользователя и является случайной величиной. Предположим, что с точки зрения требований к объему ресурса зона покрытия разбита на две области - ближний к точке доступа круг, в центре которого расположена сама  $AP$ , и оставшуюся область вплоть до границ зоны покрытия, которая имеет форму кольца. Также предположим, что требования к объему ресурса для обслуживания запросов как на одноадресные, так и на многоадресные соединения от пользователей, находящихся в круге, ниже соответствующих требований от пользователей в кольце. Это предположение соответствует простейшей модели распространения сигнала, согласно которой объем ресурса обратно пропорционален расстоянию между оборудованием пользователя и точкой доступа.

Модель также учитывает возможность блокировки прямой видимости препятствиями для пользователей в круге и в кольце. При появлении препятствия на линии прямой видимости, соответствующей соединению между точкой доступа и пользовательским устройством в круге, соединение не прерывается, но увеличивается объем ресурса, выделенный точкой доступа для его поддержания. При этом многоадресные соединения имеют приоритет по сравнению с одноадресными – при недостатке свободного ресурса, который необходимо дополнительно выделить для поддержания многоадресного соединения в момент появления препятствия прямой видимости, прерывается обслуживание соответствующего числа одноадресных соединений.

Когда ситуация блокирования прямой видимости возникнет для устройства в кольце, то качество передачи данных в радиоканале падает настолько, что для поддержания соединения необходимо сменить опорную точку доступа. На схеме рис. 1 для пользователя из кольца с препятствием прямой видимости до точки доступа  $AP_1$  соединение переключается на точку доступа  $AP_2$ . Поскольку расстояние до  $AP_2$  больше расстояния до  $AP_1$ , объем ресурса, выделенного точкой  $AP_2$ , больше объема, ранее выделенного точкой  $AP_1$ . При удалении препятствия прямой видимости восстанавливается соединение с использованием прежнего объема ресурса на  $AP_1$ .

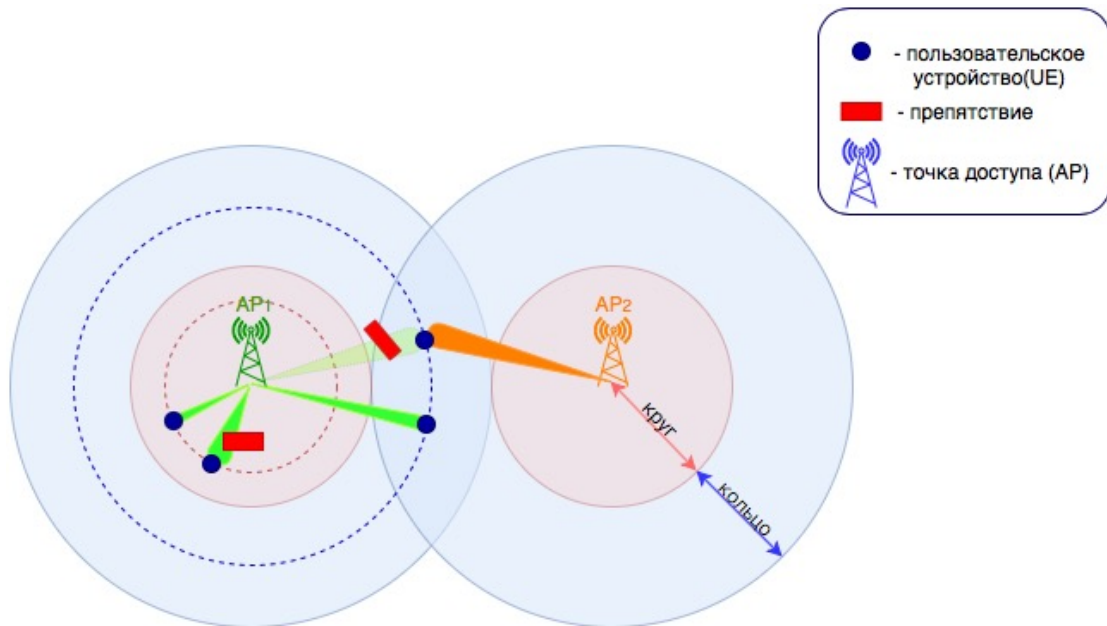


Рис. 1. Модель системы.

Для запросов на одноадресные сессии отказ в установлении нового соединения (сброс сессии) может произойти в случае, если объем свободного ресурса недостаточен для установления нового одноадресного соединения. Также интересной метрикой является прерывание одноадресного соединения, которое возможно, если ресурс потребуется. Для запросов на многоадресные сессии сброс может произойти в случае, если в момент его поступления нет ни одной сессии такого типа и объем свободного ресурса недостаточен для установления нового многоадресного соединения. Для описанных ситуаций будем использовать термин «сброс», поскольку термин «блокировка» уже занят в контексте прямой видимости. Для анализа этих показателей производительности системы в следующем разделе построена модель в виде системы массового обслуживания (СМО) с двумя типами трафика, ресурсом конечного объема и случайными требованиями к ресурсу.

## 2.2. Модель в виде СМО

Для описания процесса обслуживания сессий пользователей точкой доступа рассмотрим ресурсную СМО с неограниченным числом приборов и ограниченным количеством ресурса, равным  $R$ . На систему поступают два потока заявок, соответствующие потокам запросов пользователей на установление одноадресных и многоадресных сессий. Предположим, что оба потока – пуассоновские с параметрами  $\lambda_U$  и  $\lambda_M$  соответственно. Длительности обслуживания подчиняется экспоненциальному распределению с параметрами  $\mu_U$  и  $\mu_M$  соответственно. Поступившая в систему одноадресная заявка принимается на обслуживание, если в момент ее поступления в системе достаточно свободного ресурса, занимает один прибор и ресурс заданного объема, а по окончании обслуживания освобождает прибор и ресурс. Поступившие в систему многоадресные заявки обслуживаются в соответствии с принципом мультивещания. Многоадресная заявка, поступившая в систему, в которой нет многоадресных заявок, принимается на обслуживание, если в момент ее поступления в системе достаточно свободного ресурса, занимает один прибор и ресурс заданного объема на все время обслуживания, а по окончании обслуживания освобождает прибор и ресурс. Эта первая заявка определяет длительность сессии мультивещания: все заявки, поступающие в систему на периоде её

обслуживания, обслуживаются вместе с ней на выделенном для её обслуживания ресурсе, и покидают систему вместе с ней.

Движение блокаторов моделируется с помощью двух экспоненциально распределённых случайных величин  $\theta_{in}$  и  $\theta_{out}$  – длительности интервала времени между соседними появлениями блокатора LoS и длительности интервала блокировки LoS (т.е. длительности нахождения UE в состоянии nLoS) соответственно.

Сделаем несколько упрощающих предположений.

1. Блокаторы влияют только на объем ресурса, выделяемого для обслуживания многоадресных сессий. Объем требований к ресурсам, необходимых для обслуживания одноадресных сессий, является постоянным и равен  $d > 0$ .
2. Начало обслуживания многоадресных сессий всегда происходит в условиях прямой видимости LoS. Объем требований к ресурсам многоадресных сессий пользователей в круге задается случайными величинами  $b_0$  в состоянии прямой видимости и  $b_1$  в заблокированном состоянии соответственно, причем  $b_0 < b_1$ . Требования к ресурсам для кольца -  $b_2 < b_3$  соответственно.

Функционирование системы можно описать с помощью многомерного случайного процесса с пятью компонентами, которые соответствуют числу одноадресных соединений в зоне покрытия, наличию многоадресных соединений в состоянии LoS в круге, в кольце, наличию блокатора хотя бы одного многоадресного соединения в состоянии LoS в круге, в кольце. Иллюстрацию этого подхода проведем на примере упрощенной модели – трехмерного случайного процесса  $X_{\text{круг}}(t)$ , описывающего состояние системы в момент  $t$  при обслуживании сессий в круге. Состояния СП  $X_{\text{круг}}(t) = (s(t), m(t), n(t))$  имеют вид  $(s(t), m(t), n(t))$ , где  $s(t) \in \{0,1\}$  – индикатор наличия блокаторов заявок multicast (0 – нет, т.е. состояние LoS, 1 – есть, т.е. nLoS),  $m(t) \in \{0,1\}$  – индикатор наличия заявок типа multicast в системе (0 – нет ни одной, 1 – есть одна или более), а число одноадресных соединений в системе равно  $n(t) \in \left\{0, 1, \dots, \left\lfloor \frac{R-b_1}{d} \right\rfloor, \dots, \left\lfloor \frac{R-b_0}{d} \right\rfloor, \dots, \left\lfloor \frac{R}{d} \right\rfloor\right\}$ . Такой случайный процесс позволяет описать присутствие блокаторов многоадресных сессий, наличие хотя бы одной многоадресной сессии и число одноадресных сессий в круге.

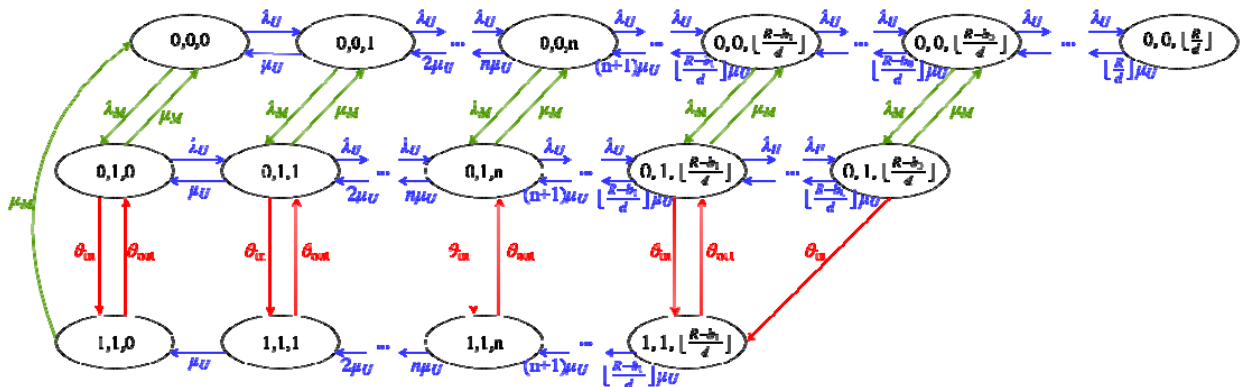


Рис. 2. Граф интенсивностей переходов СП  $X_{\text{круг}}(t)$ .

На рис. 2 представлена диаграмма интенсивностей переходов между состояниями СП  $X_{\text{круг}}(t)$  для упрощенной системы, где синие стрелки соответствуют переходам за счет одноадресных соединений, зеленые стрелки – переходам за счет многоадресных соединений, красные стрелки – переходам за счет появления блокаторов в системе).



Таким образом, в данном разделе были представлены основные показателями производительности, представляющими интерес, а именно вероятности сброса одноадресных и многоадресных сеансов и среднее количество используемых ресурсов.

### 3. Заключение

В данной работе представлены разработанная модель для анализа производительности систем 5G NR, обслуживающих смесь одноадресных и многоадресных сессий. Основными показателями производительности, представляющими интерес, являются вероятности сброса одноадресных и многоадресных сессий. Эта модель, дополненная моделями антенн и процедурой управления лучом, может в дальнейшем использоваться для определения оптимального расстояния зоны покрытия для систем NR 3GPP.

Задачей дальнейших исследований является построение имитационных моделей для анализа вероятностей сброса одноадресных и многоадресных сессий, как поступающих заявок, так и уже принятых на обслуживание.

### Список литературы

1. 3GPP, "Release description (Release 15)", 3GPP TR 21.915 V0.4.0, December 2018.
2. 3GPP, "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz (Release 14)", 3GPP TR 38.901 V14.1.1, July 2017.
3. Samuylov A., Moltchanov D., Krupko A., Kovalchukov R., Moskaleva F., Gaidamaka Yu. Performance Analysis of Mixture of Unicast and Multicast Sessions in 5G NR Systems // 10<sup>th</sup> International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT 2018). Moscow, Russia, 2018.