

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ D2D НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

О. А. Хуссейн^{1*}, А. И. Парамонов¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: oshdihussein@yahoo.com

Аннотация

Научные исследования в области построения сетей 5G являются приоритетными и востребованными в мире, так как направлены на подготовку к очередному шагу развития сетей подвижной связи. Одной из особенностей современной концепции построения сетей 5G является использования технологий D2D, позволяющих в ряде случаев существенно влиять на устойчивость и качество предоставления услуг связи. **Предмет исследования.** Статья посвящена исследованию потенциальных возможностей использования технологий установления прямых связей между абонентскими терминалами (устройство-устройство D2D). Авторы исследуют потенциальные возможности доставки данных между абонентскими терминалами и их зависимость от параметров сети связи (плотности пользователей, радиуса связи терминалов). **Метод.** Авторы предлагают модель сети на основе случайного графа, в которой оценивается вероятность связности, которая характеризует потенциальную возможность доставки данных между терминалами. Для оценки вероятности связности авторы применяют теорему Эрдеша-Реньи. **Основные результаты.** Получены зависимости вероятности связности от плотности абонентских терминалов и зоны связи терминала. **Практическая значимость.** Результаты данной работы показывают потенциальную возможность применения технологий D2D, а также оценить эффект снижения трафика на базовые станции сети связи при ее использовании.

Ключевые слова

5G – пятое поколение, D2D – устройство-устройство, повышение доступности, снижение трафика, связность сети.

Информация о статье

УДК 621.395

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 14.05.18, принята к печати 01.07.18.

Ссылка для цитирования: Хуссейн О. А., Парамонов А. И. Анализ влияния технологий D2D на функционирование беспроводных сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 2. С. 79–86.

ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE D2D TECHNOLOGIES ON FUNCTIONING OF WIRELESS NETWORKS OF COMMUNICATION

O. Hussein^{1*}, A. Paramonov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: oshdihussein@yahoo.com

Abstract—Scientific research in the field of 5G networks is a priority and in demand in the world, as they are aimed at preparing for the next step in the development of mobile communication networks. One of the features of the modern concept of building 5G networks is the use of D2D technologies, which in some cases significantly affect the stability and quality of providing communication services. **Subject of study.** The article is devoted to the investigation of potential possibilities of using technologies for establishing direct communications between subscriber terminals (device-device D2D). The authors explore the potential of data delivery between subscriber terminals and their dependence on the parameters of the communication network (user density, terminal communication radius). **Method.** The authors propose a network model based on a random graph model in which the probability of connectivity is estimated. This parameter characterizes the potential possibility of delivering data between terminals. To estimate the connectivity probability, the authors apply the Erdős–Rényi theorem. **Core results.** The dependencies of the connectivity probability on the density of subscriber terminals and the communication zone of the terminal are obtained. **Practical relevance.** The results of this work show the potential application of D2D technologies, as well as assess the effect of reducing traffic to the base stations of the communication network when using it.

Keywords—5G – fifth generation, D2D – the device to device, accessibility Increase, Lowering of traffic, network connectivity.

Article info

Article in Russian.

Received 14.05.18, accepted 01.07.18.

For citation: Hussein O., Paramonov A.: Analysis of Influence of the D2D Technologies on Functioning of Wireless Networks of Communication // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 2. pp. 79–86 (in Russian).

Введение

Эволюция технологий беспроводной связи привела к широчайшему проникновению услуг беспроводной радиотелефонной связи и беспроводного доступа. Рост пропускной способности на уровне абонентского доступа и плотности абонентов, внедрение новых услуг приводят к существенному росту интенсивности абонентского трафика. Это в ряде случаев приводит к снижению качества обслуживания на уровне доступа. Для предотвращения этого нежелательного явления приходится прибегать к уменьшению зоны обслуживания базовых станций и увеличению их количества [1].

В основе построения современных сетей беспроводной связи лежит принцип многогранной архитектуры, на нижнем уровне которой находятся абонентские терминалы, а на следующем узлы доступа – базовые станции или точки доступа. Данный принцип исключает возможность горизонтальных связей (терминал – терминал). Это позволяет полностью контролировать функционирование абонентских терминалов, однако исключает возможность их непосредственного взаимодействия и требует покрытия всей области их расположения базовыми станциями. Следует отметить, что взаимодействие терминалов без участия базовых станций реализовано, например, в системах радиосвязи точка-точка и системах транкинговой связи, однако, из-за специфики их применения оно получило ограниченное распространение. Непосредственное взаимодействие между терминалами (далее D2D) позволяет повысить такие показатели сети как надежность и устойчивость к различным деструктивным факторам, в том числе снизить интенсивность абонентской нагрузки на базовые станции.

В ряде случаев, например, в условиях чрезвычайных ситуаций применение технологий D2D позволяет значительно увеличить эффективность связи и управления. Развитие принципов построения одноранговых самоорганизующихся сетей [2] явилось стимулом их реализации в концепции построения перспективных сетей пятого поколения (5G) наряду с традиционными принципами построения многогранной сети.

В данной работе приводятся результаты анализа влияния технологий D2D на основные показатели функционирования сети связи.

1 Особенности реализации технологии D2D в сетях пятого поколения

Технология D2D в сетях 5G предполагает возможность организации соединений типа:

- Терминал А – терминал R (или несколько терминалов) – БС. Устройства взаимодействуют с базовой станцией через ретрансляцию информации с помощью других устройств.
- Терминал А – БС – терминал В. Имеет место прямое взаимодействие без участия базовой станции, но их взаимодействие координируется оператором.
- Терминал А – терминал R (или несколько терминалов) – терминал В. Устройства источника и получателя несут ответственность за координацию взаимодействия с использованием ретрансляторов. В этом случае устройства источника и потребителя имеют прямую связь друг с другом без какого-либо контроля со стороны оператора,
- Терминал А – терминал В. имеют прямую связь друг с другом без участия базовой станции и без какого-либо контроля со стороны оператора (рис. 1).

Возможность установления связи D2D определяется возможностью организации маршрута между терминалами А и В. Эта возможность определяется взаимным расположением этих терминалов и терминалов, которые могут выполнять функции транзита трафика. Таким образом, возможность организации D2D коммуникаций в значительной степени определяется распределением пользователей сети.

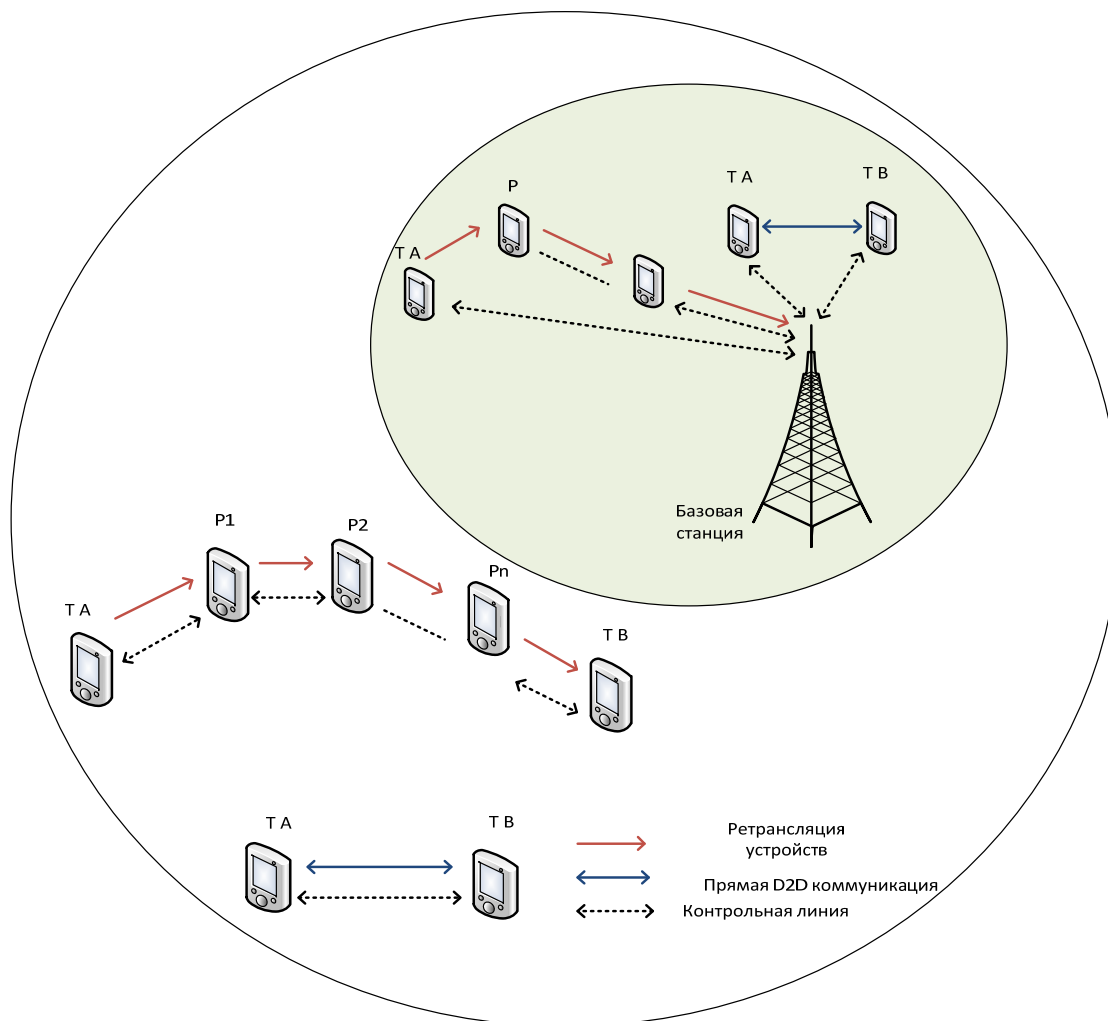


Рис. 1. Варианты коммуникаций в сети 5G

2 Эффект от использования технологий D2D

2.1 Повышение доступности

Будем полагать, что терминалы сети распределены в зоне обслуживания случайным образом и образуют пуассоновское поле [3]. При достаточно большом числе терминалов можно воспользоваться моделью случайного графа [4]. Тогда, следуя модели Эрдеша-Реньи [5] вероятность доступности терминала B терминалу A будет определяться связностью сети, которая зависит от вероятности существования ребра графа (связи) между двумя произвольными узлами сети i и j . Пороговая величина этой вероятности определяется как $p = \ln(n)/n$, где n число терминалов сети. При данном значении p вероятность связности сети равна 0,5. Вероятность p для терминала сети определяется средним числом доступных ему терминалов. Для пуассоновского поля она равна $\bar{k} = \rho \cdot S$, где ρ – плотность терминалов, S – площадь зоны связи терминала. На рис. 2 приведены результаты имитационного моделирования связности сети, и ее зависимости от радиуса связи терминала.

При уменьшении радиуса связи до 20 м приведенная структура сети «рассыпается» на изолированные подсети (кластеры) и изолированные терминалы. Теоретически, при достаточно большом радиусе связи, который можно вычислить из определения пороговой вероятности и свойств пуассоновского поля, вероятность связности терминалов A и B может быть достаточно близка к единице.

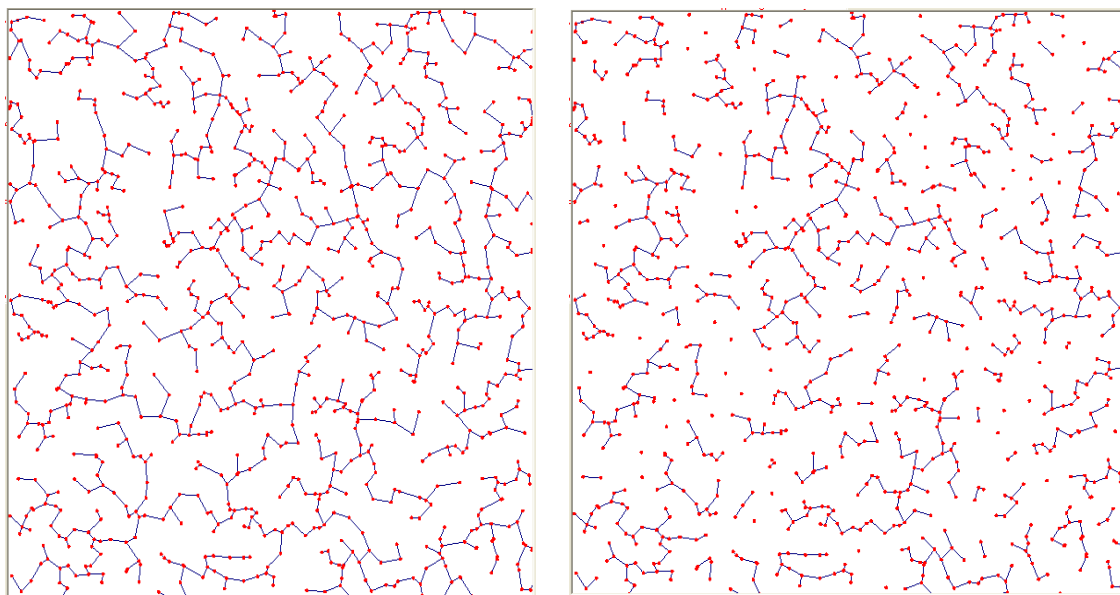


Рис. 2. Зависимость связности сети от радиуса связи терминала

В этом случае не ограничивается число возможных транзитов, что на практике недопустимо как из-за сложности реализации процедур маршрутизации, так и из-за снижения качества обслуживания. Приведенный пример можно сопоставить с распределением абонентов в объектах городской инфраструктуры: жилых и иных зданиях и сооружениях, на тротуарах и в транспорте. Эти элементы представляют собой области компактного размещения пользователей, в пределах которых радиус связи терминала достаточен для обеспечения связности сети в границах этого элемента. Из условий связности можно определить соотношение между радиусом связи терминала и плотностью пользователей, при котором достигается необходимая вероятность связности сети.

Рассматривая $3D$ модель при случайном распределении терминалов в пространстве (пуассоновское поле) можно оценить вероятность доступности терминала как

$$\bar{p} = \frac{4\pi R^3}{3n} \cdot \rho \cdot \nu,$$

где R – радиус связи терминала, м;

n – количество терминалов в рассматриваемом пространстве;

ρ – плотность терминалов, шт./м³.

Условие связности сети из пороговой вероятности определим как

$$\bar{p} > p, \Rightarrow \frac{4\pi R^3}{3n} \cdot \rho > \frac{\ln n}{n} \Rightarrow \frac{4\pi R^3}{3} \cdot \rho > \ln n \Rightarrow R > \sqrt[3]{\frac{3 \ln n}{4\pi\rho}}. \quad (1)$$

Из модели Эрдеша–Реньи следует, что при выполнении условия (1) вероятность связности сети будет более 0,5. Например, при допущении, что плотность терминалов составляет $4,4 \cdot 10^{-3}$ терминалов/м³, а их количество равно 200, из условия (1) получаем, что радиус связи узла должен превышать 6,6 м. Эти численные значения ориентировочно описывают сеть в 200 квартирном жилом здании, при условии, что в количестве терминалов в ней равно количеству квартир. Разумеется, данный пример не учитывает особенностей планировки здания и расположения жилых помещений, однако он дает возможность оценки порядка этой величины. Если оценить возможный радиус связи внутри помещения, например, для стандарта IEEE 802.11n¹, с помощью модели ITU-R P.1238-7², то он будет составлять 25...50 м, в зависимости от особенностей конструкции здания. Сопоставляя эту величину с полученным выше значением 6,6 м можно предположить, что в границах таких объектов городской инфраструктуры как жилые, офисные, производственные и другие здания может быть достигнута высокая вероятность связности D2D коммуникаций.

Приведенные выше рассуждения дают основания полагать, что возможность D2D коммуникаций потенциально позволяет повысить доступность терминалов, находящихся вне зоны действия БС, а также существенно повысить устойчивость сети за счет возможности связи в локальных зонах.

2.2 Снижение трафика на БС

Возможность организации соединений D2D дает потенциальную возможность замыкания доли трафика непосредственно между пользователями, минуя инфраструктуру сети. При некоторых допущениях можно предположить, что вероятность пропуска трафика через соединение D2D равна вероятности связности. Тогда трафик производимый пользователями сети будет распределяться на инфраструктуру сети и D2D коммуникации согласно выражению:

$$y = y_{BS} + y_{D2D},$$

где y_{BS} – трафик пользователей, производимый на инфраструктуру сети;

y_{D2D} – трафик пользователей, обслуживаемый соединениями D2D.

$$y_{D2D} = p_c \cdot y,$$

$$y_{BS} = (1 - p_c) y,$$

где p_c – вероятность связности.

¹ IEEE 802.11n – 2009. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. P. 502.

² ITU-R P.1238-7. Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radio communication systems and the radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz. Geneva: ITU-R Recommendations, 2001. P. 22.

Согласно приведенной в выше модели вероятность связности можно охарактеризовать с помощью пороговой вероятности доступности $p_0 = \frac{\ln n}{n}$.

Если предположить гипотетическую 2D модель сети города с 4 млн. абонентов (терминалов) равномерно распределенных по площади 1 439 км², то абонентская плотность составит 2,78 10⁻³ терминалов/м². При радиусе связи терминала $R = 50$ м доступность составит 5,46 10⁻⁶, в то время как $p_0 \approx 3,8 \cdot 10^{-6}$. Следовательно, при данных условиях можно предположить, что вероятность связности более $p_c > 0,5$. Данная модель не учитывает неравномерности распределения абонентов по территории города, многоэтажных зданий, акваторий, а также ограничений на длину маршрута. Однако, на этом примере можно видеть, что в городе с достаточно большим числом абонентов имеется потенциальная возможность обслуживания значительной доли трафика соединениями D2D.

Выводы

В работе были рассчитаны гипотетические модели связности между терминалами в жилом доме и на территории, эквивалентной по площади и числу терминалов многонаселенному городу. Полученные результаты показали высокую вероятность связности в том и другом случае.

Основные результаты показали, что технология D2D в сетях 5G:

- 1) Позволяет существенно расширить возможности по взаимодействию между пользователями сети;
- 2) Позволяет повысить доступность терминалов, находящихся вне зоны действия БС, а также существенно повысить устойчивость сети к деструктивным воздействиям;
- 3) В городе с достаточно большим числом абонентов имеется потенциальная возможность обслуживания значительной доли трафика соединениями D2D.

Литература

1. Tehrani M. N., et al. Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52. Iss. 5. PP. 86–92.
2. Yilmaz O. N. C., et al. Smart Mobility Management for D2D Communications in 5G Networks // IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW). 2014. pp. 219–223.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука. 1969. 576 с.
4. Райгородский А. М. Модели случайных графов и их применения // Труды МФТИ. 2010. Т. 2. № 4. С. 300–325.
5. Дистель Р. Теория графов. Новосибирск: Изд-во института математики. 2002. 335 с.

References

1. Tehrani M. N., et al. Device-to-Device Communication in 5G Cellular Networks: Challenges, Solutions, and Future Directions // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52. Iss. 5. pp. 86–92.
2. Yilmaz O. N. C., et al. Smart Mobility Management for D2D Communications in 5G Networks // IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW). 2014. pp. 219–223.
3. Ventsel' E. Probability Theory. M.: Nauka. 1969. 576 p.

4. Raigorodskiy A. Models of Random Graphs and their Applications // Trudy MFTI. 2010. Vol. 2. No. 4. pp. 300–325.
5. Distel' R. Graph Theory. Novosibirsk: Izd-vo instituta matematiki. 2002. 335 p.

Хуссейн Ошди Абдулкарим

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация, oshdihussein@yahoo.com

Парамонов Александр Иванович

– доктор технических наук, профессор, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
alex-in-spb@yandex.ru

Hussein Oshdi

– Postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg,
193232, Russian Federation,
oshdihussein@yahoo.com

Paramonov Alexander

– Doctor of Engineering Sciences, Full Professor,
SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,
alex-in-spb@yandex.ru