

УДК 537.86

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 5G И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

**Макеев Александр Юрьевич**

Магистрант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет» г. Тверь

Aumakeev\_97@mail.ru

### Аннотация

В статье представлены преимущества внедрения технологии 5G и основные сферы ее применения. Показаны особенности разделения канала в 5G и проведен расчет скорости передачи данных для рассматриваемой технологии. На основании приведенного расчета показано, что возможности технологии 5G превосходят возможности использования технологии LTE.

**Ключевые слова:** мобильная связь, скорость передачи, технология 5G, пространственное кодирование сигнала, эффективность.

## USING 5G TECHNOLOGY AND FEATURES OF DATA TRANSFER RATE CALCULATION

**Alexander Yu. Makeev**

Master Student

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Tver State Technical University, Tver.

### ABSTRACT

The article presents the benefits of introducing 5G technology and the main areas of its application. The features of channel separation in 5G are shown and the calculation of the data transfer rate for the technology under consideration is carried out. Based on the above calculation, it is shown that the capabilities of 5G technology are superior to those of using LTE technology.

**Keywords:** mobile communications, transmission rate, 5G technology, spatial signal coding, efficiency.

Развитие мобильных сетей происходит с шагом около 10 лет. Так, в начале 90-ых появилась технология 2G, в 2000-ых – 3G, в 2009 году состоялся запуск первой сети LTE, и к 2022 году на рынок начинают выходить 5G решения. Начало разработки спецификации для мобильных сетей пятого поколения началось в 2015 году консорциумом 3GPP.

Новые полосы частот для 5G определены спецификацией 38.211 V1.2.0 и поделены на 2 блока, работающие в частотах ниже 6 ГГц и выше соответственно. Использование высокочастотного диапазона позволяет использовать более широкие полосы одного радиоканала. Так, если в диапазоне до 6 ГГц максимальная ширина полосы составляет 20 МГц, то в миллиметровом диапазоне до 400 МГц без учета агрегации несущих [1].

Частотные диапазоны для сетей 5G представлены в виде таблицы 1.

Таблица 1 - Частотные диапазоны для сетей 5G

Блок радиочастот	Радиочастотный диапазон
FR1	450 МГц – 6000 МГц
FR2	24500 МГц – 52600 МГц

Использование миллиметровых волн для мобильных сетей открывает возможности формирования луча (Beam Forming). Большое число антенных элементов, объединенных в одну Massive MIMO антенну, сможет динамически формировать общую диаграмму направленности таким образом, чтобы обеспечить лучшее качество покрытия для всех пользователей. Увеличенный показатель SNR (Signal Noise Ratio) позволит использовать более высокий порядок модуляции, что в свою очередь, увеличит скорость в направлении DL.

В общей концепции сетей 5G предусматривается разделение сети (Network Slicing) на слои, предназначенные для различных услуг, где каждому слою будет выделяться набор ресурсов для обеспечения необходимых показателей. Всего определяется три базовых сценария «нарезки» сети:

- eMBB (enhanced Mobile Broadband) – сверхширокополосная мобильная связь;
- URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communication) – сверхнадежная связь с низкими задержками;
- mMTC (Massive Machine-Type Communications) – массовая межмашинная связь [2].

Использование сетей 5G для предоставления услуг eMBB и URLLC может вызывать вопросы, т.к. существующие сети LTE обеспечивают достаточно высокие скорости, удовлетворяющие потребностям пользователей. Однако с ростом индустрии развлечений растут и требования к сетям передачи данных, а учитывая, что все больше приложений работает на смартфонах, требования растут и к мобильным сетям.

На рисунке 1 представлены сферы применения и требования приложений к задержке и пропускной способности.

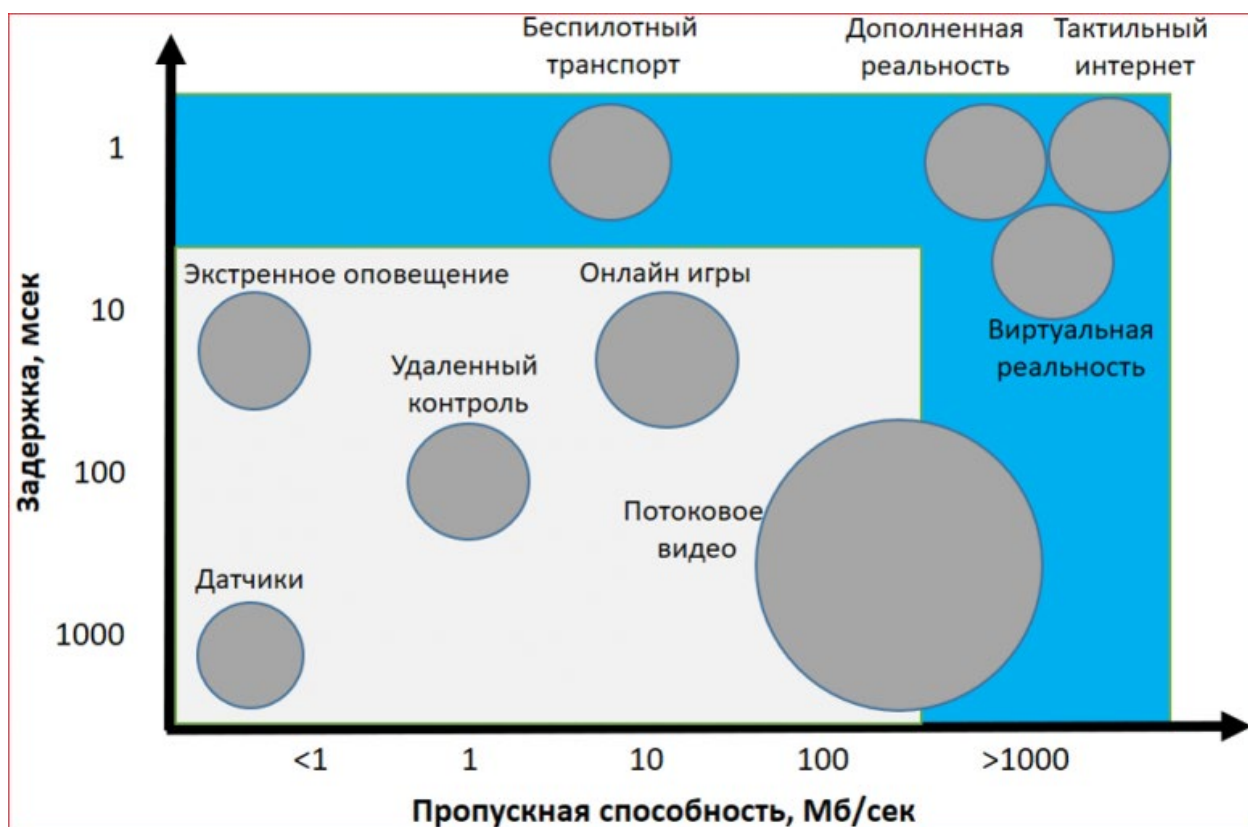


Рисунок 1 – Требования приложений к задержкам и пропускной способности в мобильной сети

На данном рисунке не закрашенная часть - приложения, для которых достаточно качества, обеспечиваемого существующими сетями LTE. В закрашенной области находятся те приложения, сервисы и услуги, которые можно будет предоставить клиентам в сетях пятого поколения.

Кроме пользовательских приложений с высокими требованиями к скорости загрузки сети 5G обеспечат и высокую скорость в направлении UL, что даст толчок в развитии систем «умный город», в частности в вопросах видеонаблюдения. Обработка видео высокой четкости с городских камер существенно повысит безопасность, позволяя точнее определять правонарушителей. Помимо этого ожидается, что кроме смартфонов к сетям 5G будут подключаться и ноутбуки в соответствии с концепцией «Sky Office» [3].

В сетях 5G множественный доступ предоставляется на основе технологии NOMA (Non-orthogonal multiple access, неортогональный множественный доступ). Данная технология фундаментально отличается от OFDMA, т.к. при использовании NOMA все пользователи передают информацию на одной частоте, в одно время и с одинаковым кодированием, но используя различные уровни мощности. В частности, меньший уровень мощности будет отдаваться пользователям, которые находятся в хороших радиоусловиях. Также в NOMA предусмотрено последовательное декодирование приемными устройствами. То есть устройства, находящиеся в хороших радиоусловиях, должны декодировать и передавать информацию для других пользователей, т.е. быть ретрансляторами.

Распределение мощности при использовании NOMA для пользовательских устройств значительно влияет на пропускную способность [4].

Таким образом, сети 5G имеют следующие преимущества над другими технологиями:

1. Высокая спектральная эффективность. в любой момент времени суток, не менее 80 процентов городских пользователей мобильной связи находятся в закрытых помещениях.

Это означает, что преимущественный размер сот является малым, включая микро, пико и фемто соты. Малые соты имеют очень высокую плотность пользователей (торгово-развлекательные центры, вокзалы, рестораны, метро и пр.). К тому же, плотные зоны пользователей мигрируют в течение суток, нарушая стационарность проектируемых сетей. Отсюда возникла концепция – в центр внимания поставить конкретного пользователя, а не сеть связи. Во внимание принимаются лишь малые сети, являющиеся окончательным звеном высокопроизводительных кабельных линий связи.

2. Энергетическая эффективность. Энергетическая эффективность (ЕЕ) останется одним из важнейших аспектов в процессе разработки 5G. Сегодня инфокоммуникационные технологии используют около 5% электроэнергии, вырабатываемой в мире, и ответственные за приблизительно двухпроцентный мировой уровень выброса газов в атмосферу, что эквивалентно авиационной промышленности. Более важен тот факт, что, если не принимать никаких мер по уменьшению выброса углекислого газа в атмосферу, то этот уровень удвоится к 2025 году.

Преимущества энергетически эффективных систем многообразны. Во-первых, это огромная роль в уменьшении собственно самого влияния мобильной индустрии в области углекислого загрязнения воздуха. Во-вторых, инфокоммуникационные технологии как ключевые технологии будущих мегаполисов могут сыграть гигантскую роль в уменьшении уровня этого загрязнения другими секторами промышленности (например, транспорта). В-третьих, они могут значительно повысить доходы мобильных операторов путем уменьшения их операционных расходов посредством сокращения затрат на электроэнергию. В-четвертых, уменьшая затраты в "джоулях на бит", мобильные операторы позволят сохранить доступными свои услуги для пользователей, несмотря на 10-100х увеличение уровня передачи данных, ожидаемого к 2025 году. И последнее, они могут продлить жизнь батарей мобильных устройств, что также немаловажно.

3. Архитектура. Интеграция человеческих и машинных трафиков в единые сети требует архитектуры и протоколов, отличных от традиционных сетей прошлых поколений. В таком контексте, 5G является не одной технологией, а целой экосистемой технологий беспроводных сетей, работающих вместе, для предоставления цельной коммуникационной системы услуг конечному пользователю. Итак, можно сказать, что переход от 4G к 5G означает сдвиг от одиночной высокоскоростной системы данных к целой мультисистеме.

Возможности сетей самоорганизации (SON) являются еще одним ключевым компонентом 5G. Учитывая, что почти 80% беспроводного трафика генерируется внутри помещений, то, чтобы передать это огромное количество трафика, необходима развертка небольших сот внутри помещений - установленных и настроенных для пользователей, отдельно от операторов. Эти ячейки должны быть самоконфигурируемыми и установленными наподобие Plug & Play. В дальнейшем, они будут иметь возможность SON для "умной" самонастройки на другие соседние ячейки при минимальной интерференции между ними. К примеру, небольшая ячейка может это осуществить посредством автономной синхронизации с сетью и настройки на ее радиопокрытие.

4. Развитие RAT в миллиметровом диапазоне. Преимущество миллиметровых волн проявляется и в использовании антенных технологий. В миллиметровом диапазоне длин волн размер антенных решеток мал (порядка нескольких сантиметров), что позволяет использовать их не только в базовых станциях, но и в мобильных устройствах. Этот факт позволяет расширить возможности антенных технологий для существенного улучшения характеристик связи.

Технология расчета скорости передачи данных в 5G сильно отличается от LTE, так как зависит от большего количества факторов. Формула для расчета скорости передачи, которая широко используется [5]:

$$V = 10^{-6} * \sum_{j=1}^J \left( v_{Layers}^{(j)} * Q_m^{(j)} * f^{(j)} * R_{max} * \frac{N_{PRB}^{BW(j),\mu} * 12}{T_s^\mu} * (1 - OH^{(j)}) \right), (1)$$

где  $10^{-6}$  - коэффициент для перевода из бит/с в Мбит/с,

$\sum_{j=1}^J ()$  - суммирование агрегированных несущих,

$v_{Layers}^{(j)}$  - разрядность MIMO,

$Q_m^{(j)}$  - показатель позиционности модуляции,

$f^{(j)}$  - коэффициент масштабирования,

$R_{max}$  - коэффициент, зависящий от индекса кодирования и модуляции. Скорость кода, деленная на 1024,

$N_{PRB}^{BW(j),\mu}$  - количество ресурсных блоков в выделенной полосе частот в зависимости от нумерологии,

$T_s^\mu$  - длительность OFDM-символа в зависимости от нумерологии.  $T_s^\mu = \frac{10^{-3}}{14 * 2^\mu}$ ,

$(1 - OH^{(j)})$  - поправка на заголовок. Для направления DL в FR1  $OH = 0.14$ , в FR2  $OH = 0.18$  [5].

Нумерология в 5G - это показатель используемой ширины поднесущей. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Нумерология в 5G

Нумерология	Ширина поднесущей, кГц
0	15
1	30
2	60
3	120
4	240

Кроме того, в 5G уменьшен шаг между поднесущими, за счет чего в полосе пропускания помещается большее количество ресурсных блоков. Количество ресурсных блоков в 5G в FR1 с шириной полосы до 40 МГц представлено в таблице 3.

Таблица 3 - Количество ресурсных блоков в 5G в FR1 с шириной полосы до 40 МГц

Поднесущая, кГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц	40 МГц
	Количество ресурсных блоков						
15	25	52	79	106	133	160	216
30	11	24	38	51	65	78	106
60	-	11	18	24	31	38	51

Количество ресурсных блоков в 5G в FR2 представлено в виде таблицы 4.

Таблица 4 - Количество ресурсных блоков в 5G в FR2

Поднесущая, кГц	50 МГц	100 МГц	200 МГц	400 МГц
	Количество ресурсных блоков			
60	66	132	264	-
120	32	66	132	264

Рассчитаем скорость передачи данных в 5G. За основу возьмем одну несущую шириной 20 МГц, без MIMO, нумерология - 0.  $R_{max}$  примем равным 0.925781, тип модуляции - QAM-256. Частотный диапазон - FR1. Количество ресурсных блоков - 106 [5].

Тогда:

$$\begin{aligned}
 V &= 10^{-6} * \sum_{j=1}^J \left( v_{Layers}^{(j)} * Q_m^{(j)} * f^{(j)} * R_{max} * \frac{N_{PRB}^{BW(j),\mu} * 12}{T_s^\mu} * (1 - OH^{(j)}) \right) = \\
 &= 10^{-6} * \sum_{j=1}^J \left( 1 * 8 * 1 * 0.925781 * \frac{106 * 12}{\frac{10^{-3}}{14 * 2^0}} * (1 - 0.14^{(j)}) \right) = \\
 &= 10^{-6} * 1 * 8 * 1 * 0.925781 * \frac{106 * 12}{\frac{10^{-3}}{14 * 2^0}} * (1 - 0.14) \approx 113.42 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}.
 \end{aligned}$$

Результаты расчетов возможных скоростей передачи в 5G при использовании полос разной ширины и различной нумерологии представлены в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Возможные скорости передачи данных в 5G при использовании полос разной ширины и различной нумерологии

Нумерология	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц	40 МГц
	Скорость в DL, Мбит/с						
0	26.75	55.64	84.53	113.42	142.32	171.2	231.13
1	23.54	51.36	81.32	109.14	139.1	166.92	226.85
2	-	47.08	77.04	102.72	132.69	162.65	218.29

Все данные, указанные в таблице, при использовании MIMO NxN возрастают кратно N.

Исходя из приведенных выше расчетов можно сделать вывод, что возможности 5G существенно превосходят возможности наиболее распространенного сегодня LTE. Увеличение позиционности модуляции, более плотное размещение поднесущих, высокие порядки MIMO дают значимый прирост в скорости, что, несомненно, востребовано и будет востребовано в скором будущем. Возможность изменения ширины поднесущих позволяет сократить временные задержки. Таким образом, переход к мобильным сетям 5-го поколения откроет множество новых возможностей как для рядовых пользователей, так и для организаций, чтобы удовлетворить запросы своих клиентов и расширить спектр предоставляемых услуг.

#### Список литературы:

1. Zhang K.Q.T. Wireless Communications. Principles, Theory and Methodology. - John Wiley & Sons, 2016. - 580 p.
2. Hwang L.-T., Horng T.-S. J. Advanced Stacking and Planar Solutions for 5G Mobility. - Wiley, 2018. - 452 p.
3. Duong T.Q., Chu X., Suraveera H.A. Ultra-dense Networks for 5G and Beyond. - Wiley, 2019. - 302 p.
4. Alexiou A. 5G Wireless Technologies. - Springer, 2017. - 418 p.
5. Sauter M. From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G. - John Wiley & Sons, 2017. - 520 p.

#### References:

1. Zhang K.Q.T. Wireless Communications. Principles, Theory and Methodology. - John Wiley & Sons, 2016. - 580 p.
2. Hwang L.-T., Horng T.-S. J. Advanced Stacking and Planar Solutions for 5G Mobility. - Wiley, 2018. - 452 p.

3. Duong T.Q., Chu X., Suraveera H.A. Ultra-dense Networks for 5G and Beyond. – Wiley, 2019. – 302 p.
4. Alexiou A. 5G Wireless Technologies. – Springer, 2017. – 418 p.
5. Sauter M. From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G. – John Wiley & Sons, 2017. – 520 p.