

Технологии мобильной связи пятого поколения: анализ и перспективы развития

С. М. Гурский¹, В. А. Баев², А. В. Дьяков³

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

¹sgursk@yandex.ru, ²bovass@mail.ru, ³eceh4ik@gmail.com

Аннотация. The relevance of the introduction of fifth-generation technologies in the practice of mobile communication is shown. Possible implementation options are analyzed. It is concluded that with all the advantages of the mobile communication standard 5G-high speed, high bandwidth, etc. - noticeable difficulties to its implementation at this time will be the prevalence only in places with increased requirements for connecting communication networks and passing telephone traffic. It follows that covering large areas with this standard can entail significant financial costs.

Ключевые слова: the mobile communication; standard of the fifth generation

I. ВВЕДЕНИЕ

Эволюция систем мобильной связи на сегодняшний день насчитывает несколько поколений: 1G, 2G, 3G и 4G, где «G» – Generation (англ. «поколение»). Каждое из них в свое время явилось новым витком в развитии мобильных технологий (рис. 1). Предполагается, что потребность перехода к пятому поколению ожидается в 2020 году [1, 2, 4].

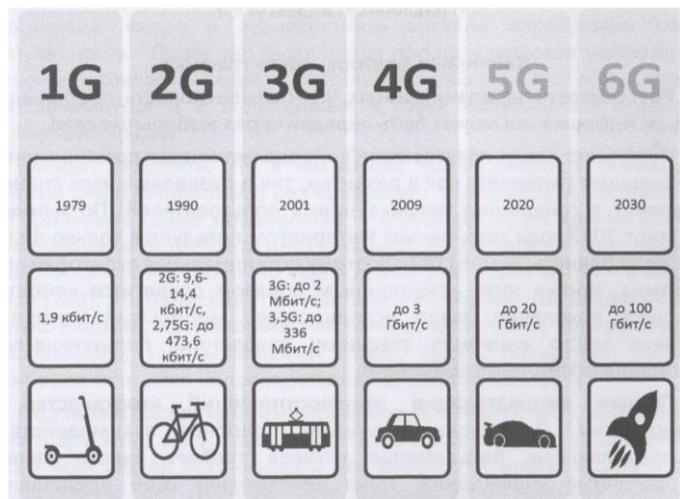


Рис. 1. Правило «10 лет»

На данный момент реализуются программы по разработке основ стандарта пятого поколения 5G и можно предположить, что новое поколение сети 5G появится примерно в 2020 году. Постоянно растущий объем трафика, передаваемого в мобильных сетях связи, создание новых приложений, требующих высоких скоростей передачи данных, требует развития и внедрения в

практику нового поколения связи 5G. В настоящем докладе приведен краткий анализ технологий мобильной связи пятого поколения 5G и возможные перспективы их развития [1–17]. Увеличение числа персональных устройств, требующих постоянное взаимодействие с сетью интернет, а, следовательно, и возросший трафик, требует качественное изменение нынешнего стандарта связи 4G. Предполагается, что данным критериям будет соответствовать новое поколение 5G [3].

II. Краткое сравнение основ стандартов четвертого 4G и пятого 5G поколений

Новая мобильная сеть 5G фундаментально отличается от существующих поколений мобильной связи. Одна из главных особенностей состоит в том, что 5G использует крайне высокие частоты в диапазоне от 30 ГГц до 300 ГГц, в то время как наиболее эффективный в настоящее время формат 4G работает на частотах ниже 6 ГГц. Высокие частоты способны обеспечить большую скорость передачи и увеличение переносимой информации. Высокочастотные диапазоны до сих пор не перегружены существующей сотовой связью и готовы обеспечить растущие требования к сети. Особенностью работы на таких частотах является четкая направленность сигнала, которая обеспечивает параллельный обмен данными с другими беспроводными устройствами, не вызывая интерференцию (взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких когерентных волн при их наложении друг на друга). Изменение длины волны предполагает уменьшение антенн, при более точной регулировке направленности. Это значит, что, когда сети 5G станут широко доступны, данные будут передаваться на крайне высоких скоростях большему количеству пользователей. Точность передачи возрастет, а задержки будут минимальны [1–18].

Еще одно различие между 5G и 4G состоит в том, что низкое энергопотребление достигается адаптивностью к передаваемому контенту, когда устройства не используются или работают на низких скоростях, а за тем при необходимости переключаются на более высокие скорости. Крайне высокие частоты это не только плюсы, но и минусы, выраженные в ограниченных пределах прямой видимости между антеннами передающей и приёмной – приемным устройством. К тому же, в данном диапазоне электромагнитные волны сильно затухают при передаче на дальние дистанции, так как их энергия поглощается средой, через которую они проходят. Таким

образом установка антенн в сетях пятого поколения 5G должна быть детально продумана: это будут небольшие антенны на каждом здании или мобильные ретрансляторы, чтобы обеспечивать поддержку 5G на большие расстояния. Цена, затрачиваемая на переход к новому стандарту, оправдывает себя в долгосрочной перспективе. Визуально эволюцию сетей мобильной связи от 4G к 5G можно изобразить в виде схемы на рис. 2 [1–18].



Рис. 2. Расширение ключевых показателей от LTE-A (Long Term Evolution Advanced – улучшенный вариант стандарта мобильной связи «Долговременное развитие») до 5G

A. Потенциальные технологии в стандарте 5G

За счет использования сетей пятого поколения можно улучшить использование существующих сервисов, где задействована работа с большим объемом трафика [1–11]:

- MIMO (Multiple Input – Multiple Output – множественная передача (вход) – множественный приём (выход)) – это технология, позволяющая использовать сразу несколько антенн на приемопередатчиках, благодаря чему возрастает скорость передачи данных и улучшается качество сигнала.
- Переход в сантиметровый и миллиметровый диапазоны. На данный момент сети четвертого поколения занимают узкий частотный диапазон, что не обеспечивает полноценного функционирования мобильной связи. Тогда как новый стандарт предполагает увеличение диапазона почти в 100 раз (рис. 3).
- Мультитехнологичность. Обеспечивает поддержку старых технологий, таких как UMTS, GSM, LTE, а также и других, работающих не в рамках мобильной связи, например, технология Wi-Fi.
- D2D (Device-to-device – прибор к прибору) – технология device-to-device позволяет устройствам, находящимся неподалеку друг от друга, обмениваться данными напрямую, без участия сети 5G.

- Проект «умный город» – позволит передавать и отслеживать информацию с огромного числа сенсоров по всему городу с различных объектов в реальном времени. Например, это могут быть сенсоры освещения, звука, установленные в целях обеспечения безопасности и порядка.

III. ОБЗОР ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ 5G

Основные технические требования к сетям 5G изображены на рис. 2. Указанные требования предлагается реализовать в том числе использованием нижеперечисленных технологий [1–4, 7, 8, 16].

Дуплекс (duplex – двухсторонний). В мобильной сети 5G возможно применение частотного (FDD) и временного (TDD) дуплекса – принципа двухсторонней связи между устройствами, для разделения каналов на нисходящее (DL) и восходящее (UL) направление [1–4, 8, 10, 11].

- Технология мультиплексирования. В основе радиодоступа сети 5G лежит метод передачи с ортогональными гармоническими сигналами. В англоязычной литературе этот метод – OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов). Идея данного метода основывается на технике передачи цифровых данных с применением множества гармонических поднесущих, использующих одну и ту же широкую полосу частот и заключается в том, что «быстрый» поток передаваемых данных разделяется на множество, состоящее из N параллельных «медленных» потоков, модулирующих поднесущие колебания с разными центральными частотами [1–4, 7–9, 11].
- В 5G модуляция осуществляется следующими схемами – $\pi/2$ -BPSK (Binary Phase Shift Keying – двоичная фазовая манипуляция), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – квадратурная фазовая манипуляция), 16-, 64-, 256-QAM (Quadrature Amplitude Modulation – квадратурная амплитудная модуляция). Применение модуляции $\pi/2$ -BPSK (неиспользуемая в сетях 4G) возможно только в восходящем (UL) канале в режиме DFT-s-OFDM (Discrete Fourier Transform – дискретного преобразования Фурье), и актуально для энергоэффективных сетей интернета вещей. [1–4, 7–9, 11].

IV. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Эффективность применения MIMO-OFDM обусловлена следующими причинами: увеличением среднего отношения сигнал/шум вследствие когерентного сложения сигналов, излучаемых передающими антеннами; ослаблением воздействия межканальной интерференции; применением пространственно-временного кодирования данных; вычислительно эффективными методами формирования и приёма сигнала; изящным способом борьбы с межсимвольной интерференцией [7, 16].

Необходимость и пути внедрения технологий MIMO-OFDM в практику действий систем военной связи стран-участниц блока НАТО обсуждались ещё в 2008 году. Чешская фирма DICOM продемонстрировала устройство персональной радиосвязи PR-20, в котором кроме скачкообразного изменения несущей частоты реализовано пространственное мультиплексирование OFDM-сигналов по технологии MIMO со схемой "2 передатчика – 2 приемника". Результаты тестирования устройства в городских условиях и внутри зданий показали, что вероятность ошибок в пакетах данных в режиме MIMO может быть снижена в 4 раза при расстоянии передачи 70–80 м [12]. Показано, что использование предлагаемых в работах [13, 14] технических решений может позволить повысить отношение сигнал/шум на выходе приёмных модулей цифровых антенных решёток в системах военной связи с технологиями MIMO-OFDM в условиях локальных вооружённых конфликтов.

Добавление новых диапазонов радио-спектра, согласно требованиям к скорости передачи сигналов, числа устройств, роста трафика многочисленных приложений 5G. Новые диапазоны 5G NR лежат в пределах от 2,5 до 40 ГГц. Ведутся обсуждения об использовании спектра до 100 ГГц (рис. 3) [1–11, 15–18].

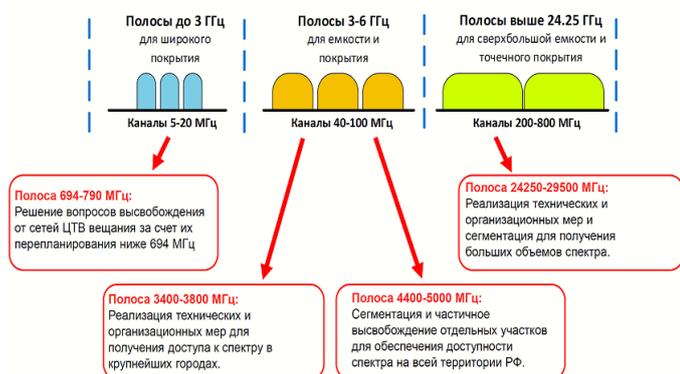


Рис. 3. Выделение новых частот для мобильной связи пятого поколения 5G в России

Оптимизированная технология OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов). Эта технология уже была успешно применена в 4G/LTE-A, а также в последних версиях Wi-Fi [1–11, 15–18].

Формирование лучей (Beamforming). Это технология, которая лишь в последние годы перешла от концепции к реализации, и которая способна реализовать многие преимущества 5G. Beamforming даёт возможность направлять луч радиоволн от базовой станции на определённые устройства, как движущиеся, так и неподвижные, без влияния на другие лучи, направленные на те же устройства [1–11, 15–18].

MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO – Метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, который в 5G был значительно усовершенствован, в частности, в многопользовательском режиме MU-MIMO

(Multi-User-MIMO) в базовых станциях 5G, антенны которых состоят из матрицы излучающих элементов. Это даёт возможность усиливать уровень сигнала для конкретного пользователя, в то же время минимизируя влияние данного сигнала на других пользователей [1–11, 15–18].

Технологии совместного использования спектра (Spectrum sharing). Многие спектры радиочастот, соответствующим образом распределённые, часто не используются эффективно. Для решения этой задачи были разработаны технологии Spectrum sharing [1–11, 15–18].

Унифицированное межчастотное взаимодействие (Unified design across frequencies). Поскольку в 5G NR добавлено множество новых частотных диапазонов, важно обеспечить интерфейс взаимодействия при переходе канала с одной частоты на другую при хендвере между базовыми станциями [1–11, 15–18].

Маленькие соты (Small cells). Уплотнение сетевого покрытия ведёт к тому, что число базовых станций должно увеличиваться. Поэтому было предложено решение Small Cells – решение недорогих, простых в установке и обслуживании базовых станций небольшой мощности. Их можно развешивать на мачтах уличного освещения, на стенах домов и других объектах. Сеть 5G способна эффективно координировать их работу, перераспределяя нагрузку между антеннами [1–11, 15–18].

При этом можно использовать распределённые антенные системы DAS (Distributed Antenna System) фактически «закрывая» одной или несколькими базовыми станциями многоэтажные здания. Небольшие антенны с радио-блоками можно располагать практически в каждом помещении, обеспечивая наилучшее качество связи [1–11, 15–18].

Особенность архитектуры сети 5G состоит в том, что традиционное понятие «архитектура сети», основанной на аппаратных решениях, в сети 5G теряет актуальность. Поэтому 5G чаще называют не сетью, а системой, или «платформой», под которой имеется в виду платформа программная, а не аппаратная. Если сети 1/2/3/4G строились на базе аппаратных решений (оборудования), то платформа 5G строится на базе программных решений, в частности, программно-конфигурируемых сетей SDN (Software Defined Network), а также виртуализации сетевых функций NFV (Network Function Virtualization). Функции 5G реализуются в виртуальных программных функциях VNF (Virtual Network Function), которые работают в инфраструктуре NFV. Различие между этими похожими по звучанию понятиями состоит в том, что VNF – это функция, а NFV – это технология. В свою очередь, NFV реализуется в физической инфраструктуре дата-центров (data center, DC, центр обработки данных, ЦОД), на базе стандартного коммерческого оборудования COTS (Commercial Off The Shelf). Оборудование COTS включает лишь три вида стандартных, относительно недорогих устройств – сервер (вычислительное устройство), коммутатор (сетевое устройство) и система хранения данных (устройство хранения) [4, 8, 18].

Предпосылки появления 6G. Переход от сетей 5G к 6G предопределён и неизбежен. Если смена поколений 3G-4G-5G обуславливалась, в основном, необходимостью увеличения скоростей и снижения задержек передачи данных, то необходимость сетей 6G будет диктоваться изменением самого подхода к построению сетевой инфраструктуры. Например, будет невозможно вписать в прежнюю концепцию такие факторы как: резкое ужесточение норм на безопасность передачи данных; появление новых мест размещения базовых станций: на дронах (беспилотных летательных аппаратах, управляемых дистанционно или осуществляющих полёт автономно, без помощи пилота или самодвижущийся нелетающий аппарат аналогичного типа действия), аэростатах, автомобилях и т.д.; необходимость обеспечения работы систем межконтинентальной и межпланетной связи как для массового потребителя (развитие межконтинентальных и межпланетных путешествий, колонизации других планет), так и решения задач управления Вооружёнными Силами в интересах укрепления обороноспособности России. Согласно так называемому «правилу 10 лет», появление сетей 6G ожидается в 2030 году. На рис. 1 приведены заявленные условные максимальные скорости поколений и ориентировочные года их появления. Одной из краеугольных задач сетей 6G будет решение проблемы лавинообразного роста трафика, передаваемого в мировых сетях мобильной связи. По разным оценкам его месячный объём на момент появления сетей 6G будет достигать 5000 эксабайт (эксабайт (Эбайт, ЭБ, Eb) — единица измерения количества информации, равная 10^{18} (квинтиллион) байт. Основной документ Международной системы единиц «Брошюра СИ» рекомендует использовать «экса-» только для обозначения 10^{18} , а для величины 2^{60} применять наименование эксбибайт, введённое Международной электротехнической комиссией) [4, 18].

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трудно говорить о точных сроках и возможностях реализации сетей пятого 5G и шестого 6G поколений, так как пока над разработками соответствующих технологий и их внедрению ведутся интенсивные исследования. Для реализации этой перспективы потребуются решить проблему распространённости его в местах только с повышенными требованиями к присоединению сетей связи и пропуска телефонного трафика. Проведено немало исследований в области развития 5G, например, недавно учрежденный консорциум METIS (Mobile and wireless communications Enablers for the Twentytwenty Information Society) 5G, на котором определялись дальнейшие пути развития мобильной связи [1–18].

Следовательно, можно сделать вывод о том, что предложение к внедрению стандартов пятого поколения 5G возможно уже через несколько лет не только в гражданских, но и в военных телекоммуникационных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лохвицкий М.С., Сорокин А.С., Шорин О.А. Мобильная связь: стандарты, структуры, алгоритмы, планирование. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 264 с.
- [2] Бакулин М.Г., Крейнделин В.Б., Панкратов Д.Ю. Технологии в системах радиосвязи на пути к 5G. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 280 с.
- [3] Сергиенко А.Б. Цифровая связь. Курс для магистрантов [электронный ресурс] URL: <http://sites.google.com/site/eltechdigicom>.
- [4] Степутин А.Н., Николаев А.Д. Мобильная связь на пути к 6G. В 2 Т. Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. Том 1. 380 с. Том 2. 416 с.
- [5] Документация MatLab [электронный ресурс] URL: <http://docs.exponenta.ru/documentation-center.html>.
- [6] Технологии связи [электронный ресурс] URL: <http://itechinfo.ru>.
- [7] Аджемов А.С., Санников В.Г. Общая теория связи: Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 624 с.
- [8] Технология OFDM. Учебное пособие для вузов / М.Г. Бакулин, М.Г. Крейнделин, А.М. Шлома, А.П. Шумов. М.: Горячая линия – Телеком, 2017. 352 с.
- [9] Технологии мобильной связи: услуги и сервисы / А.Г. Бельтов, И.Ю. Жуков, Д.М. Михайлов, А.В. Стариковский. М.: ИНФРА-М, 2019. 206 с.
- [10] Сборник статей: технологии связи – архитектура сети 5G; сеть радиодоступа 5G; коррекция ошибок в сетях 5G – <https://itechinfo.ru/>.
- [11] Системы связи 5G. [электронный ресурс] URL: <http://exponenta.ru/5g>.
- [12] Слюсар В. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий // Электроника: наука, технология, бизнес. №4. 2008. С. 66–71.
- [13] Гурский С.М. Математические модели элементов антенно-волноводных трактов радиолокационных систем с повреждениями // Современные наукоемкие технологии. №2. 2019. С. 43–46. DOI: 10.17513/snt.37406.
- [14] Пат. РФ № 2146076 / А.И. Гелесев, С.М. Гурский, Б.М. Егоров, С.Л. Панов, С.Д. Сапрыкин, И.В. Ювченко. Аналого-цифровой модуль; Опубл. 27.02.00. Бюл. №6.
- [15] Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Высохин В.П. Сети мобильной связи LTE/LTE Advanced: технологии 4G, приложение и архитектура. М.: Издательский дом Медиа Паблшер, 2014. 384 с.
- [16] Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б. Технология ММО: принципы и алгоритмы. М.: Горячая линия – Телеком, 2014. 242 с.
- [17] Голиков А.М. Модуляция, кодирование и моделирование в телекоммуникационных системах. Теория и практика: учеб. пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2018. 452 с.
- [18] 5G в России: перспективы, подходы к развитию стандарта и сетей. Обзор исследования, май 2018. [электронный ресурс]. <https://www.pwc.ru/ru/assets/5g-research.pdf>.