

01.04.00. Физика**М.Н. Иманкул****доцент кафедры радиотехники, электроники и
телекоммуникаций, к.т.н.,****Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина****M.N. Imankul****associate professor of Radio Engineering and Communications****Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University****(mimamkul57@gmail.com 87089081851)****Е.А. Мамбет****магистрант,****Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина****E.A. Mambet****Undergraduate,****Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical University****(Attila96@mail.ru 87089081851)****ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕЙ 5G**

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы в организации сетей нового поколения мобильной связи 5G. Приведены отличительные особенности технологических и архитектурных решений систем и сетей 5G по сравнению с предшествующими поколениями стандартов сотовой связи как 4G / Long Term Evolution. Рассматриваются имеющиеся ограничения при реализации и внедрении нового стандарта IMT-2020. Отражены основные требования к характеристикам систем 5G, а также облачные, опорные, вычислительные и прочие технологии, на которые они будут опираться. Отмечено, что с целью удовлетворения противоречивых потребностей различных устройств / машин / приложений / людей вводится технология «нарезки» сетей. Показано, что технология виртуализации сетевых функций гарантирует гибкое перераспределение сетевых ресурсов между различно настроенными режимами работы пользователей. Рассмотрены реализованные на ранних этапах развития сетей 5G варианты неавтономной и автономной архитектур системы 5G. Отмечено, что для амбициозных сценариев использования 5G требуются более мощные плоскости переадресации данных, обеспечивающие более эффективную поддержку неоднородных сетей, многолучевую связь, хранение в сети и реализацию политики операторов. Описаны: предложения компании Nokia по дальнейшему развитию спецификаций 3GPP 5G (фазы 1 и фазы 2); технологические разработки компании Huawei типа Polar code, F-OFDM, F-OFDM; микрочипы Intel для стандарта 5G; антенные системы MIMO и необходимость использования антенной технологии бифарминга для снижения взаимных помех устройств в сетях стандарта IMT-2020. Приведены экономические выгоды, которые будут получены в результате внедрения услуг 5G. В заключение приводятся ожидаемые возможности сетей нового перспективного поколения 5G.

Annotation. In the article the problems of organization of networks of the new generation of mobile communication 5G are considered. The distinctive features

of technological and architectural solutions of 5G systems and networks are compared with previous generations of cellular communication standards as 4G / Long Term Evolution. The main requirements for the characteristics of 5G systems, as well as cloud, reference, computing and other technologies, on which they will be based, are reflected here. It is acclaimed that in order to meet the conflicting needs of various devices/machines/applications/people, the technology of "cutting" networks is introduced. It is shown that the virtualization technology of network functions guarantees flexible reallocation of network resources between differently configured user work modes. The versions of the non-autonomous and autonomous architectures of the 5G system realized at the early stages of development of the 5G networks are studied here. It is noted that for ambitious 5G scenarios, more powerful data redirection planes are required, which provide more efficient support for heterogeneous networks, multipath communication, network storage and implementation of operator policies. Described here: Nokia's proposal for the further development of 3GPP 5G specifications (phase 1 and phase 2); technological developments of Huawei such as Polar code, F-OFDM, F-OFDM; Intel microchips for the standard 5G; antenna systems MIMO and the need to use antenna technology BeamForming to reduce interference of devices in the networks of the IMT-2020 standard. The economic benefits that will result from the introduction of 5G services are presented. In conclusion, the expected capabilities of the new generation 5G network are presented.

Ключевые слова: Интернет Вещей, неавтономные и автономные архитектуры 5G, «нарезка» сетей.

Key words: Internet of Things, Non-Standalone и Standalone architecture 5G, network slicing.

Введение. Растет число устройств, подключенных к Интернету, и количество соединений между этими устройствами. К 2025 г. около 20% генерируемых данных будут представлять собой информацию, получаемую в реальном времени, причем более 95% будут данные, принятые от устройств Интернета Вещей IoT (Internet of Things). Поэтому требуются новые совершенные сети, способные обеспечить данное взаимодействие рационально. Сети 5G/IMT-2020 (International Mobile Telecommunications-2020) не будут ограничиваться смартфонами, а будут охватывать и вычислительные устройства, встраиваемые в окружающие объекты, позволяя выполнять сбор, отправку и получение данных [1]. Они будут использовать более эффективные/практичные методы и конфигурации систем радиосвязи, работающие в широком диапазоне радиочастотного спектра. Отметим, что уже в 2015 г. IT-гигант Google запустил свой проект SkyBender – 5G-сеть для дронов. Особенно 5G пригодится в тех сегментах IoT, где объекты сильно удалены (например, в сельском хозяйстве) или требуется быстрая реакция (например, для беспилотных машин).

К нынешнему моменту разработаны требования к IMT-2020. В связи с массовыми подключениями сенсоров, носимых гаджетов и других устройств в будущем возникнут новые задачи, которые не смогут решить существующие сети беспроводной связи. К абонентам добавятся приложения (например, IoT/IIoT (**Industrial IoT**), «подключенный автомобиль», самоуправляемый транспорт, приближенные к реальности (immersive) видео-приложения) и устройства. Развитие сетей 5G будет зависеть от их возможности работать со столь разными устройствами/приложениями.

Цели работы: в сфере 5G следует выявить: требования, которые не могут быть удовлетворены посредством нынешних сетей; технологии, которые можно применять для создания сетей 5G; технические требования к характеристикам системы 5G; ос-

новые тренды в организации сетей стандарта IMT-2020.

Основная часть. Под любым новым поколением мобильной связи понимаются революционные изменения в сотовой сети в ее архитектуре и, в первую очередь, в сегменте радиодоступа [2]. Принципиальное отличие поколения 5G состоит в переходе из сантиметрового диапазона волн (поколение 4G) в миллиметровый, то есть на частоты порядка десятков ГГц.

Отличительной особенностью 5G служит сосуществование различных протоколов радиодоступа в одной сети, и даже в одном частотном канале. Стандарты сетей 5G будут способны обеспечить реализацию требований, предъявляемых к IoT, и способствовать решению проблем с мобильной связью, вызванных ростом трафика и другими факторами.

Одной из проблем, тормозящих повсеместное развертывание сетей 5G, служит новая инфраструктура высокоскоростных сетей, дающая глобальное сетевое покрытие и высоконадежную бесперебойную работу. Это требует роста количества операторского оборудования, высоких затрат. Технические требования к характеристикам системы 5G [3]:

- максимальная скорость передачи пользовательских данных: DownLink (линия вниз – от базовой станции к пользователю) – 100 Мбит/с; UpLink (линия вверх – от пользователя к базовой станции) – 50 Мбит/с;

- сверхвысокая/пиковая пропускная способность: линия вниз – 20 Гбит/с; линия вверх – 10 Гбит/с;

- задержка: 4 мс для широкополосного доступа (для услуг высокоскоростной связи eMBB (enhanced Mobile BroadBand)); 0,5 мс – для услуг ультранадежной связи с низкими задержками URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications);

- мобильность: до 500 км/час;

- плотность подключения: 1 млн устройств на км²;

- спектральная эффективность: вниз 30 бит/с/Гц и вверх 15 бит/с/Гц;

- пропускная способность: 10 Мбит/с/м².

Высокая скорость передачи данных в 5G-сетях резко увеличит нагрузку на инфраструктуру. В частности, обеспечение пропускной способности до 20 Гбит/с позволит предоставить сервисы дополненной и виртуальной реальности, 3D-видео с ультравысоким разрешением UHD (Ultra High Definition), голографические звонки. Ключевые решения требований к характеристикам системы 5G составляют техническую концепцию перспективной сети радиодоступа FRA (Future Radio Access) и включают в себя:

- малые соты (фемтосоты) со сверхплотным распределением;

- многомерные/массивные антенные системы MIMO (Multiple Input Multiple Output);

- полный дуплекс в общей полосе частот;

- новые методы многочастотной модуляции.

Связь 5G будет опираться на облачные и инновационные вычислительные / транспортные технологии и технологии центров обработки данных. Планируется применение автоматических фазированных антенных решеток, способных динамически изменять диаграмму направленности антенных систем и использовать весь доступный частотный диапазон (например, миллиметровые волны на коротких дистанциях).

Программизация и «нарезка» сетей, находящаяся в основе глубоко программируемых сетей, которые могут быть «нарезаны» на виртуальные сети с узкоспециали-

зированными функциональными возможностями, будут играть доминирующую роль для динамичного распределения сетевых ресурсов в 5G, обеспечивая гибкость сетей, необходимую для поддержки специфических потребностей любого вида конкретного применения систем 5G [4].

«Нарезка» нужна для использования инфраструктурных ресурсов спектра, антенны и всей сети и оборудования серверной части для создания большого числа подсетей с различными свойствами. Каждая подсеть сквозным образом «обрезает» часть ресурсов от физической сети для создания собственной независимой сети без внутренних ограничений для своих приоритетных видов применений [5].

Для удовлетворения различающихся потребностей разных видов машин и устройств интерфейс между устройством и антеннами (радиоинтерфейс) будет иметь несколько настроенных режимов работы – слоев. Слои могут быть следующих типов [5]:

- слой, ориентированный на обеспечение сверхмалой задержки и высокой надежности;
- слой, предназначенный для устройств, не имеющих большой аккумуляторной батареи (например, датчики (автономные температурные сенсоры, HD-видеокамеры наблюдения, транслирующие в онлайн большой поток видео)) и для которых важно низкое энергопотребление;
- слой, гарантирующий пиковые/сверхвысокие скорости, необходимые для передачи видеоданных в формате 4K/3D с эффектом погружения.

Виртуализация архитектуры 5G позволит оптимизировать использование ресурсов и повысит производительность сетей. В основе технологии 5G лежат программно-определяемые сети SDN (Software Defined Networking) и виртуализация сетевых функций NFV (Network Function Virtualization), без которых невозможна эффективная поддержка облаков и IoT. SDN – сеть передачи данных, в которой устройство управления реализуется программно и отделено от устройств передачи данных, NFV – сетевая архитектура, использующая технологию виртуализации целых классов функций сетевых узлов в виде составных элементов, объединенных для создания телекоммуникационных сервисов. NFV обеспечивает перераспределение сетевых ресурсов между слоями пользователей.

Предусматриваются методы совместного использования слоев (виртуализация и облако) в инфраструктуре сети, поддерживающей связь 5G (и, вероятно, 4G), позволяющее нескольким типам слоев сосуществовать без чрезмерного увеличения кратности ресурсов. Так же незанятые слои смогут использовать ресурсы друг друга, а для этого применяют облачные методы и методы пакетного статистического мультиплексирования. В итоге реализуется N слоев в сети при числе ресурсов меньшем, чем N. Для работы такой сети необходима согласованная работа всех компонентов – оркестровка, обеспечивающая согласованную сквозную работу сети.

В сети 5G будет работать колоссальное число разных устройств с разными скоростями передачи, соответственно у всех устройств будут разные запросы на качество сети. Сегодня таким запросам удовлетворяют только проводные сети. Видеотрафик (например, видеоданные в формате виртуальной/дополненной реальности с различными битрейтами и профилями защиты) требует огромной полосы пропускания и значительно нагружает сеть. Многие амбициозные сценарии использования 5G требуют более мощных плоскостей переадресации данных, которая будет обеспечивать более эффективную поддержку неоднородных сетей, многолучевую связь, хранение в сети и реализацию политики операторов [6]. В мобильных сетях на сегодня пока нет

гарантии заявленного качества сети.

Концепция Massive MIMO в системах 5G подразумевает обслуживание пользователей в различных пространственных сегментах одного сектора базовой станции, или внутри узконаправленных лучей. В данной концепции несколько пользователей обслуживаются в разных пространственных сегментах, разных лучах диаграммы направленности антенны, и им предоставляются одни и те же частотно-временные ресурсы радиоканала [7].

В конце 2017 г. в спецификациях фазы 0 стандарта 5G (релиз 15 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project)) определены минимальный набор требований, архитектура и протоколы, необходимые для запуска сетей 5G. Релиз 15 служит лишь глубокой модернизацией стандарта LTE, и во многом совместим с предыдущим поколением 4G. Специфицированный вариант неавтономной NSA (Non-Standalone) архитектуры 5G (рис. 1) упрощает запуск первых сетей 5G, так как можно использовать действующие опорные сети LTE – EPC (Evolved Packet Core). В этой сети 5G-базовые станции gNB (gNodeB) работают в связке с LTE-базовыми станциями eNB (eNodeB). Абонентская станция функционирует в режиме «двойного соединения», взаимодействуя одновременно с базовой станцией LTE и базовой станцией 5G [7].

Архитектура сетей 5G, где в опорной сети используются элементы нового поколения (позволяющие реализовать множество нововведений, например, необходимых для более эффективной работы приложений IoT), называется автономной. В сети автономной SA (Standalone) архитектуры 5G, которая будет стандартизирована в середине 2018 г., базовые станции 5G будут работать в связке с новой опорной сетью 5G NGC (5G next-generation core network) (рис. 1).



Рис. 1. Варианты архитектуры системы 5G

Автономные SA и неавтономные NSA релизы основаны на одинаковых характеристиках физического уровня, поэтому предполагается, что оборудование NSA будет полностью совместимо с техникой SA после ее стандартизации в 2018 г.. NSA режим стандарта 5G нормирует применение eMBB в сетях стандарта LTE.

Компания Nokia внедряет решения с ранними спецификациями 5G, дополнив свои решения 5G FIRST спецификациями из протокола 3GPP 5G фазы 1 – стандартом радиointерфейса 5G NR (New Radio), предназначенного для поддержки самых разных устройств и сервисов 5G [8]. Решение 5G FIRST изначально имеет облачную архитектуру, поддерживающую высокую гибкость / производительность / масштабируемость, необходимые операторам для оперативной и экономичной доставки сервисов 5G. Стандарт 5G NR подразумевает использование новых частотных диапазонов, обе-

спечаивающих увеличение скорости обмена данными при снижении латентности, а спецификации следующего релиза 16 (2-я фаза спецификаций, которая будет принята до декабря 2019 г.) будут описывать поддержку сервисов массового подключения и обмена данными между машинными терминалами mMTC (massive Machine Type Communications), предоставляющих миллиарды соединений. В эпоху 5G решение Nokia для мобильного бэкхола (опорной сети, транспорта) поддерживает радиорелейную технологию, IP-, оптические и фиксированные средства доступа, что позволит снять проблемы полосы пропускания, надежности и задержки.

Компания Huawei предложила кодирование сетей 5G по принципу Polar code (полярный код), имеющее ряд преимуществ: минимум в 3 раза повышается частотный спектр высокоскоростной сети по сравнению с используемыми сегодня стандартами радиодоступа; реализация декодирования линейной сложности позволяет сократить до минимума стоимость внедрения запуска сетей 5G в будущем [9]. Это субквадратичное кодирование, характеристики которого способны приблизить скорость передачи данных к предельным значениям, то есть к пределу Шеннона. При декодировании при помощи простого поляризованного канала с последовательным подавлением помех технология Polar code обеспечивает результат, подобный тому, что достигается при декодировании по методу максимального правдоподобия, но сложность использования полярных кодов значительно меньше [9].

Huawei также прорабатывает: технологию F-OFDM (filtered Orthogonal Frequency Division Multiplexing), то есть мультиплексирование, в основу которого положено ортогональное разделение частот каналов при наличии фильтрации внеполосных излучений; внедрение разреженных кодов SCMA (Sparse Code Multiple Access), которые должны реализовать многостанционный доступ, а также коды типа Grant Free и Short TTI (Transmission Time Interval).

Компания Intel создала радиомодемы для стандарта 5G, которые смогут передавать гигабайты данных в секунду по беспроводной сети [10]. Микрочипы Intel XMM 8000, способные обрабатывать комплексные радиосигналы, функционируют в диапазоне до 6 ГГц и предназначены для широкого спектра устройств (персональных компьютеров, смартфонов, гаджетов IoT). В Intel отмечают, что эпоха 5G наступит тогда, когда сети, облачные сервисы и конечные устройства станут работать как единое целое на базе новой платформы.

Так как в системах 5G будет одновременно работать огромное количество устройств, то с целью снижения уровня взаимных помех требуется создать сети, в которых передача информации будет происходить через любые устройства (например, роутер может использоваться в качестве ретранслятора сигналов других пользователей). Использование адаптивных антенн с технологией бифарминг (BeamForming) позволяет организовать связь между устройствами напрямую и, соответственно, уменьшить взаимные помехи устройств.

5G – новая парадигма услуг телекоммуникаций и информационных технологий [11]. Сеть 5G будет представлять собой плотно распределенную матрицу (Fabric) функций вычисления, хранения и сети. 5G будет иметь глобальную операционную систему, способную управлять конвергированной инфраструктурой мобильной и фиксированной сети.

Сеть 5G позволяет устройствам с чипом IoT быть подключёнными вне зависимости от времени и места и позволяет им взаимодействовать между собой без участия человека. Большинство аналитиков предполагают высокий экономический рост, стимулированный развитием технологий 5G. Консалтинговая фирма Accenture прогнози-

рует, что распространение инфраструктуры сетей 5G может к 2020 году породить создание 3 млн. новых рабочих мест и добавить более 500 млн.\$ в экономику США [11]. Однако полный экономический эффект, согласно исследованию Qualcomm, будет реализован только к 2035 г. Требуется значительная либерализация регулирования и рефарминг спектра частот для услуг 5G. До полномасштабного внедрения услуг 5G операторам необходимо пройти процесс «цифровой трансформации» своей сети, бизнеса и организационной структуры.

Выводы. Именно технология 5G станет рычагом к формированию цифрового будущего. 5G – это другой уровень требований со стороны приложений и клиентов. 5G – сеть, управляемая сервисом, которую можно построить только на принципах SDN и NFV. Технологии SDN/NFV позволяют разделить сеть на логические сегменты, каждый из которых настраивается в соответствии с параметрами, необходимыми для задействования определенных услуг.

5G – конвергентная технология, группирующая отдельные компоненты сети в единый оптимизированный вычислительный комплекс с помощью виртуализации оборудования. В частности, технология Polar code имеет весомые конкурентные преимущества по сравнению с другими вариантами кодирования канала 5G, что значительно ускоряет процесс стандартизации и развертывании сетей для коммерческой эксплуатации.

В сетях 5G будут надежно устанавливаться соединения в 10-15 раз больше конечных устройств, не являющихся мобильными телефонами. Возможности технологии 5G будут интегрированы с облачными технологиями, искусственным интеллектом, большими данными и Интернетом вещей. «Нарезка» сетей – сетевое сегментирование, позволяющее операторам настраивать необходимую функциональность и параметры обслуживания в сети 5G. Радиопокрытие сети 5G будет подстраиваться под нужды абонентов в отличие от сетей 4G. 5G – новое поколение сети мобильной связи, преобразующее архитектуру сети в целях упрощения, автоматизации, виртуализации доставки самого разнообразного набора услуг с использованием неоднородных сетей мобильного доступа.

Источники:

1. Кристофер Берджи Мобильные тенденции в 2017 году // <http://www.mobilecomm.ru/mobilnye-tendentsii-v-2017-godu>
2. Варукина Л. 5G: В новый 2017 год – с новым стандартом 5G. Обзор технологии и статус стандартизации // <http://www.mforum.ru/news/article/117626.htm>
3. Проект Отчета МСЭ-R M.[IMT-2020. TECH PERF REQ] от 23 февраля 2017 г.
4. Чхе Суб Ли. Новый этап оркестровки для 5G // Информационные телекоммуникационные сети. №7-8 (131-132). – 2017. – С.16.
5. Эшвуд-Сми П. Почему сквозная «нарезка» сети 5G на слои будет иметь важное значение для 5G? // Информационные телекоммуникационные сети. №7-8 (131-132). – 2017. – С. 17-18.
6. Карофильо Д. Ключ к сетям 5G; использование ориентированных на информацию сетей (ICN) // Информационные телекоммуникационные сети. №7-8 (131-132). – 2017. – С. 20.
7. Варукина Л. 5G: Низкий старт для систем мобильной связи пятого поколения // <http://www.mforum.ru/news/article/118728.htm>
8. Nokia расширяет разработки и проекты 5G FIRST [02 августа 2017] // <http://www.iksmedia.ru/news/5427187-Nokia-rasshiryaet-razrabotki-i-proe.html>
9. Полярные коды – эффективное решение для сетей 5G // <http://1234g.ru/novosti/polyarnye-kody-dlya-5g>
10. <https://hightech.fm/2017/11/17/intel-5g-modem>
11. Шалагинов А. 5G: Новая парадигма телекоммуникаций // <https://shalaginov.com/2017/03/20/5g>

Sources:

1. Christopher Berdzhi Mobile trends in 2017 // <http://www.mobilecomm.ru/mobilnye-tendentsii-v-2017-godu>

2. Varukina L. 5G: In the new year 2017 - with the new standard 5G. Overview of technology and the status of standardization // <http://www.mforum.ru/news/article/117626.htm>
3. Draft Report ITU-R M. [IMT-2020. TECH PERF REO] dated February 23, 2017.
4. Chae Sub Lee. A new stage of orchestration for 5G // Information telecommunication networks. No. 7-8 (131-132). - 2017. - C.16.
5. Ashwood-Smee P. Why is the through-cutting of the 5G network into layers important for 5G? // Information telecommunication networks. No. 7-8 (131-132). - 2017. - C. 17-18.
6. Karofilo D. The key to the networks of 5G; use of information-oriented networks (ICN) // Information telecommunication networks. No. 7-8 (131-132). - 2017. - P. 20.
7. Varukina L. 5G: Low start for fifth generation mobile communication systems // <http://www.mforum.ru/news/article/118728.htm>
8. Nokia expands the development and projects of 5G FIRST [Aug 02, 2017] // <http://www.iksmedia.ru/news/5427187-Nokia-rasshiryet-razrabotki-i-proe.html>
9. Polar Codes - an Effective Solution for 5G Networks // <http://1234g.ru/novosti/polyarnye-kody-dlya-5g>
10. <https://hightech.fm/2017/11/17/intel-5g-modem>
11. Shalaginov A. 5G: A New Telecommunication Paradigm // <https://shalaginov.com/2017/03/20/5g>