

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ 5G/IMT-2020 В РОССИИ, КИТАЕ, США И ЕВРОПЕ

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-6-20-32

Manuscript received 21 January 2021

Accepted 02 March 2021

Данешманд Бехруз Мехди,
Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет информационных
технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург,
Россия, daneshmandbehrooz@gmail.com

Ключевые слова: 5G/IMT-2020, SDN, сеть связи,
программно-конфигурируемая сеть, виртуализация,
сетевое оборудование, технология, 5G проекты,
спектр 5G, поколение связи 5G, развития 5G

В данной статье поднимается вопрос перспективы развития 5G сетей в России, Китае, США и Европе. В настоящее время в мире и в России существуют четыре ярко выраженные поколения сотовой связи. Развитие каждого последующего поколения связи по мере совершенствования технических и экономических возможностей и распространение доминирующих стандартов происходили примерно каждые 10 лет. Исследовательское сообщество и отрасль в целом согласны с тем, что в будущем невозможно удовлетворить будущий спрос на мобильный трафик и требования приложений, просто развивая текущую архитектуру четвертого поколения. Вместо этого существует необходимость в значительном пересмотре системы мобильной сети: такие усилия обычно называют архитектурой будущего пятого поколения (5G), и по всему миру были запущены крупномасштабные инициативы для решения этой проблемы. Исследовательское сообщество уже вложило очень значительные усилия в определение новых индивидуальных технологий. Тот факт, что все новые предложения помечены как 5G, создал большую путаницу в том, что такое 5G на самом деле. Цель этой статьи – пролить свет на текущее состояние определения архитектуры 5G и тенденции в отношении необходимых технологий в России, США, Китае и Европе. Ключевой вклад заключается в следующем: (1) анализируются требования к 5G, определенные различными мировыми инициативами, подчеркивая сходства и различия в развитии сети 5G в России, Китае, США и Европе; (2) обсуждаются текущие тенденции в технологиях, показывающие, что существует широкий консенсус по ключевым факторам, способствующим развитию 5G в этих странах; (3) прилагаются усилия, чтобы понять новые концепции, которые необходимо разработать, опираясь на вспомогательные средства, чтобы удовлетворить желаемые требования.

Информация об авторе:

Данешманд Бехруз Мехди, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики", факультет инфокоммуникационных технологий, г. Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования:

Данешманд Бехруз Мехди. Сравнительный анализ концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в России, Китае, США и Европе // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №6. С. 20-32.

For citation:

Behrooz Daneshmand (2021) Comparative analysis of the concept of creation and development of 5G/IMT-2020 networks in Russia, China, USA and Europe. *T-Comm*, vol. 15, no.6, pp. 20-32. (in Russian)

Введение

Хорошо известно, что потребление мобильных данных стремительно растет, что обусловлено, среди прочего, все более широким распространением интеллектуальных устройств, улучшенных экранов и привлекательных услуг. В то же время появляющиеся услуги связи предъявляют к сети новые требования: Для таких случаев использования, как тактильный Интернет, автомобильная связь, потоковое видео с высоким разрешением, безопасность дорожного движения или место управления в реальном времени, предъявляются строгие требования к пропускной способности, задержке, надежности и устойчивости. Широко признано, что все эти новые требования не могут быть удовлетворены простым развитием существующей архитектуры четвертого поколения (4G). Поэтому необходимо вводить новые архитектурные образцы и решения. Это особенно повлияет на базовую сеть. Новая архитектура, которая появится в результате этой модернизации, обычно называется архитектурой пятого поколения (5G).

Таблица 1

Пятое поколение (5G) ключевые показатели эффективности (КПЭ) по разным инициативам

КПЭ	5G-PPP	5G Americas	IMT-2020 (5G) PG	5G/IMT-2020	METIS-II
Скорость передачи данных	10 Гбит/сек	100x	10 Гбит/с	10 Гбит/с	10 Гбит/с
Задержка	5 мс (E2E)	5x to 100x	1 мс (E2E)	0,5 - 4 мс(E2E)	1-5 мс (E2E)
Подключенные устройства	1 м ² /км	10x to 100x	1 м ² /км	1 м ² /км	10x to 100x
Вместимость	10 Tbps/ км ²	1000x to 5000x	10 Tbps/км ²	10 Tbps/км ²	1000x
Энергопотребление	10x	-	100x	-	10x
Мобильность	≈ 500 км/ч	> 350 км/ч	>500 км/ч	>500 км/ч	-
Стоимость сверхнизкая	сверхнизкий	< 4G	100x	сверх-низкий	как сегодня
Время создания услуги	90 мин	-	-	-	-

Сокращения: 5G-PPP, 5G Infrastructure Public Private Partnership.
КПЭ: Key Performance Indicators; 10x означает в 10 раз лучше.

В связи с указанными выше тенденциями в настоящее время во всем мире предпринимаются огромные усилия по определению новой архитектуры 5G с такими инициативами, как: (1) Государственно-частное партнерство инфраструктуры 5G (5G-PPP) в Европе [1], (2) 5G Америка (Americas) в Америке [2], (3) IMT-2020 (5G) PG3 в Китае [3], (4) 5G/IMT-2020 в Российской Федерации [4].

Целью этой статьи является обзор основных мероприятий, происходящих в этой области, и наведение порядка в нынешнем наводнении строительных блоков 5G. Остальная часть статьи организована следующим образом. В разделе 1 представлен обзор интегрированной производительности, которой должны соответствовать системы 5G, и подчерки-

ваются сходства и различия между требованиями, предъявляемыми различными схемами, вытекающими из предложенных KPI (ключевые показатели эффективности). В разделе 2 описаны технологии, на которых основаны новые концепции 5G для удовлетворения ожидаемых требований. В разделе 3 определены концепции 5G, подходы, на которых будет построена архитектура 5G. В разделе 4 подробно описана текущая деятельность в России, Китае, Европе и США.

1. Потребность в 5G

Как и при проектировании любой системы, цели с точки зрения КПЭ (ключевые показатели эффективности) являются ключевыми для развертывания будущих систем 5G. С этой целью основные движущие силы 5G недавно приложили очень значительные усилия не только для определения, но и для количественной оценки целей технологии 5G с точки зрения ключевых показателей эффективности. В таблице 1 показаны ключевые KPI, предложенные участниками технологии 5G, включая Европу (5G-PPP и METIS-II [5]), Америку (5G Америка), Китай (IMT-2020 (5G) PG), Россия (5G/IMT-2020).

Из таблицы 1 видно, что, помимо традиционных KPI для производительности сети, 5G также включает в себя некоторые дополнительные индикаторы, которые имеют решающее значение для будущей сети. Действительно, классические показатели для проектирования сети, такие как пиковая скорость передачи данных, средняя пользовательская пропускная способность и пропускная способность на границе соты, а также общая пропускная способность соты, будут по-прежнему важны для проектирования сети 5G. Однако также необходимо определить дополнительные КПЭ:

- Из-за массового использования машинного трафика, поддерживающего новые вертикальные группы пользователей в промышленности и бизнесе, очень важную роль играют такие ключевые показатели эффективности, как доступность сети, покрытие (как внутри помещений, так и для редких сельских районов), устойчивость и надежность.
- Текущие тенденции к Интернету вещей, который является одним из основных вариантов использования 5G, указывают на поддержку резко возросшего количества устройств почти нулевой сложности с длительным временем ожидания, все они необходимы для поддержки такого варианта использования.

- Другие очень важные варианты использования в 5G, такие как тактильный Интернет и автомобильная связь, требуют чрезвычайно низких задержек, что является одним из самых строгих КПЭ, включенных в таблицу.

- Другой серьезной проблемой является энергоэффективность, обусловленная необходимостью поддерживать растущие объемы мобильных данных без увеличения энергопотребления, что приводит к более экологичным операциям и соответствующей экономии затрат.

В связи с широким распространением фиксированных ставок операторы мобильной связи должны будут поддерживать рост объема мобильных данных в результате вышеуказанных ключевых показателей эффективности (KPI) без увеличения абонентской платы; Таким образом, рентабельность останется ключевой задачей для будущего развития сетей.

Таблица 2

Между различными игроками 5G существует приблизительный консенсус относительно поддерживаемых технологий

	Spec- trum	mMIMO	SDN	NFV	C- RAN	Local Offloading	Small Cells
5G-PPP (Европа)	•	•	•	•	•	•	•
5G Americas (Америка)	•	•	•	•	•	•	•
IMT-2020 (5G) PG (Китай)	•	•	•	•	•	•	•
5G/IMT-2020 (Россия)	•	•	•	•	•	•	•
METIS-II (Европа)	•	•	•	•	•	•	•

Аббревиатура: mMIMO – массивный Многоканальный вход/ многоканальный выход, C-RAN централизованного радиодоступа, NFV – Визуализация сетевых функций, SDN – программно-конфигурируемая сеть, 5G-PPP – 5G Государственно-частное партнёрство (ГЧП)

При сравнении данных, представленных в таблице 1 для различных участников, основное наблюдение состоит в том, что все они в значительной степени согласны с целевой производительностью систем 5G. Хотя параметры, предоставляемые некоторыми из этих субъектов, более конкретны, чем другие, и могут быть небольшие отклонения в некоторых параметрах, цифры, предоставленные различными форумами, почти во всех случаях находятся в пределах одного порядка величины. Таким образом, главный вывод заключается в том, что существует широкий консенсус в отношении требований к производительности будущих систем 5G.

В таблице 1 есть один КПЭ, который указывается только 5G-PPP и никаким другим форумом: время создания услуги. Действительно, гибкость простой настройки сетевой инфраструктуры для новых услуг может быть одним из определяющих критериев проектирования в 5G. Поэтому почему-то удивительно, что такой КПЭ игнорируется другими участниками.

На более общем уровне КПЭ, представленные в этой таблице, в основном относятся к производительности плоскости данных, и мало внимания уделяется гибкости адаптации поведения сети к конкретным требованиям различных операторов и предоставляемых ими услуг. Учитывая текущие тенденции к виртуализации и softwarization сети, обусловленные потребностью в гибкости, кажется, что будущие сети должны уделять гораздо больше внимания этому типу КПЭ.

2. Развитие технологий

Требования, которые должны быть удовлетворены в будущих сетях 5G, явно требуют новых технологий и архитектур, поскольку простого развития существующих развертываний 4G будет недостаточно. Хотя эти новые технологии, которые мы называем в этой статье 5G *enablers*, являются важными составляющими будущей технологии 5G, сами по себе они недостаточны для удовлетворения выявленных требований. Необходимые новые концепции, а также сопос-

тавление факторов, концепций и требований 5G изучаются в разделе 3.

Затем определяем и описываем основные факторы, обеспечивающие 5G, на основе существующих компонентов, которые рассматриваются наиболее важными участниками (Россия, Китай, Европа и США) исследовательского сообщества и сообщества стандартизации. Среди этих ключевых игроков существует довольно приблизительный консенсус в отношении технологий, которые считаются основными факторами, способствующими развитию 5G [1-20]. В таблице 2 графически показано, какие из выявленных факторов поддержки 5G рассматриваются каждым из этих игроков. Мы ослепили и объединили выбранных поставщиков (NEC, Huawei, Ericsson, Samsung, Nokia), чтобы подчеркнуть этот момент: мы не претендуем на интерпретацию будущих стратегий поставщиков сетевого оборудования и не предоставляем их исчерпывающее видение 5G. Наша цель – представить точную информацию из их официальных документов, чтобы дать полезную информацию о соответствующих технологических тенденциях в 5G.

Спектр и массивный MIMO (Многоканальный вход/ многоканальный выход)

Будущие сети должны будут справляться не только с более высокими скоростями передачи данных, но они также должны будут обеспечивать чрезвычайно низкие задержки и поддерживать значительно большее количество подключенных устройств. Использовалась исключительно информация, содержащаяся в техническом документе о видении 5G каждого игрока [1-20]. В сравнении не учитывается участие поставщиков в деятельности по стандартизации или разработке продукта.

Для решения этой проблемы требуется сочетание новых передовых механизмов эффективности использования спектра (например, методов агрегации несущих) и использование новых полос частот (таких как 60 ГГц и миллиметровые волны). Например, нелицензированный спектр можно использовать в сочетании с лицензированным спектром (для передачи сигналов управления и обеспечения мобильности) для увеличения пропускной способности. Дополнительные спектры также могут быть получены с авторизованным совместным доступом, при котором сотовая система может получить доступ к дополнительному свободному спектру, в противном случае распределяемому для использования другими (не телекоммуникационными) услугами. Использование высокочастотных диапазонов также позволяет использовать массивный метод множественного входа-множественного выхода (mMIMO), который, используя антенные решетки с несколькими сотнями антенн одновременно, может обслуживать многие десятки терминалов в одном и том же частотно-временном ресурсе, увеличивая пропускную способность в 10 и более раз и позволяет значительно сократить время ожидания на радиоинтерфейсе [17]. Эти новые технологии доступа в реальной сетевой парадигме долгосрочного развития (LTE) будут реализованы отдельно, поскольку они не позволяют использовать множественные соединения с использованием различных технологий. Таким образом, невозможно полностью использовать их преимущества.

Программно-Конфигурируемая Сеть (SDN)

В настоящее время чрезвычайно сложно выразить сетевые политики оператора высокого уровня, поскольку требуется настройка каждого отдельного сетевого устройства отдельно с помощью низкоуровневых и часто специфичных для поставщика команд. Сети вертикально интегрированы. Плоскость управления и плоскость данных объединены внутри сетевых устройств, что снижает гибкость и препятствует инновациям и развитию сетевой инфраструктуры.

SDN (Software Defined Networks) – новая сетевая парадигма, в которой архитектура переходит от традиционной полностью распределенной модели к более централизованному подходу. Парадигма программно-определяемых сетей (SDN) разделяет плоскости управления и пересылки данных [18]. Этот подход также характеризуется разделением плоскости данных и плоскости управления. Такое разделение позволяет быстрее инициализировать и настраивать сетевые подключения. Плоскость данных включает в себя элементы, выполняющие пересылку (коммутаторы и маршрутизаторы), а плоскость управления включает контроллер [34]. С помощью SDN сетевые администраторы могут централизованно программировать поведение как трафика, так и сети, не требуя независимого доступа и настройки каждого из сетевых аппаратных устройств. Этот подход отделяет систему, которая принимает решения о том, куда направляется трафик (Плоскость управления), от базовой системы, которая перенаправляет трафик в выбранный пункт назначения (Плоскость данных). Помимо других преимуществ, это упрощает работу в сети и развертывание новых протоколов и приложений. Кроме того, благодаря возможности программирования трафика и устройств сеть SDN может быть гораздо более гибкой и эффективной, чем традиционная.

Перспективы использования технологий SDN/NFV в сетях операторов связи обусловлены следующим [38]:

- высокая масштабируемость сети, гибкое централизованное управление сетью и сетевыми ресурсами;
- снижение капитальных расходов на закупку оборудования COTS; снижение операционных расходов благодаря использованию виртуальных сетевых функций;
- улучшение энергетической эффективности за счёт использования высокопроизводительных серверов центров обработки данных;
- уменьшение времени запуска новых сетевых сервисов;
- возможность использования оборудования различных вендоров;
- повышение уровня безопасности;
- использование облачных платформ в центрах обработки данных на периферии оператора для повышения качества сервиса.

Виртуализация сетевых функций (NFV)

В современных сетях каждый раз при развертывании новой услуги операторам приходится покупать проприетарные устройства, производство которых часто требует много времени из-за требований к качеству операторского уровня. Этому оборудованию требуется физическое пространство для его установки и энергия для работы. И последнее, но не менее важное: для установки, настройки и эксплуатации требуется обученный персонал. Новые требования 5G к более разнообразным и новым (недолговечным) услугам с вы-

сокими скоростями передачи данных заставили операторов еще более неохотно следовать текущей модели работы сетей. Они воодушевлены и полны надежд с появлением технологий виртуализации в области сетей, которые широко известны как виртуализация сетевых функций (NFV) [19].

NFV заменяет сетевые функции, реализуемые специализированными устройствами, такими как маршрутизаторы, выравниватели нагрузки и межсетевые экраны, виртуализованными экземплярами ПО, работающими на готовом стандартном оборудовании, что снижает стоимость осуществления изменений и модернизации сети [35].

Ключевой концепцией NFV является отделение физического сетевого оборудования от выполняемых на нем функций (отделение интеллекта от исходной емкости). При таком подходе сетевые функции (например, балансировщик нагрузки) теперь распределяются как программные компоненты, что позволяет для консолидации многих типов сетевого оборудования на крупных коммерческих серверах, коммутаторах и хранилищах, которые могут быть расположены в центрах обработки данных, распределенных сетевых узлах и в помещениях конечных пользователей.

Виртуальные сетевые функции (VNF), которые предоставляют сетевые сервисы, могут быть гибко переопределены и перемещены в другие сетевые местоположения по мере необходимости, поскольку они могут работать на аппаратном обеспечении общего назначения, что ускоряет и удешевляет ввод новых сервисов в эксплуатацию. Кроме того, в сочетании с SDN он позволяет создавать многопользовательские и сегментированные сети, в которых несколько поставщиков услуг совместно используют физические ресурсы, сокращая время и затраты на развертывание новой службы.

Функции виртуальной сети (NFV), которые предоставляют сетевые сервисы, могут быть гибко переопределены и перемещены в другие сетевые местоположения по мере необходимости, поскольку они могут работать на аппаратном обеспечении общего назначения, что ускоряет и удешевляет ввод новых сервисов в эксплуатацию. Кроме того, в сочетании с SDN он позволяет создавать многопользовательские и сегментированные сети, в которых несколько поставщиков услуг совместно используют физические ресурсы, сокращая время и затраты на развертывание новой службы.

К преимуществам NFV относятся [40]:

1. Упрощенное развертывание и обновление программного обеспечения и оборудования.
2. Снижение стоимости благодаря применению стандартных серверов.
3. Возможность объединения отдельных сервисов в единую группу.
4. Возможность к быстрому масштабированию как программной, так и физической составляющей сети.
5. Миграция виртуальных машин.
6. Удобный мониторинг и контроль сетевой архитектуры.
7. Независимость от специализированного и дорогого оборудования поставщиков.

Централизованного Радиодоступа (Centralized RAN)

Централизованная сеть радиодоступа (C-RAN) – это один из возможных способов эффективной централизации вычислительных ресурсов путем подключения нескольких сайтов

к центральному центру обработки данных, где выполняется вся обработка основной полосы частот. Обмен радиосигналами между удаленными радиоголовками и центром обработки данных осуществляется по выделенным линиям передачи (так называемым fronthaul). При чистом подходе C-RAN только оптоволоконные линии сегодня способны поддерживать требуемые скорости передачи данных (например, около 10 Гбит / с для LTE с временным разделением каналов с полосой пропускания 20 МГц и 8 приемными антеннами), что является необходимостью для большей пропускной способности – главный недостаток C-RAN [20].

Компромисс между централизованной обработкой, требующей высокопроизводительных прямых линий связи, и децентрализованной обработкой с использованием традиционной транспортной сети (backhaul) для транспортировки пользователя и управления данными в/из точек радиодоступа инициировал разработку подходов к облачной RAN. Это позволяет гибко и адаптивно развертывать программное обеспечение, используя огромный потенциал облачных вычислений. В гибкой облачной среде RAN различные функции RAN могут быть оптимально и динамически распределены и перемещены между точками радиодоступа и центрами обработки данных, развернутыми в сети, даже в ядре. C-RAN считается революционной технологией, крайне необходимой для реализации сетей 5G. Это облачная архитектура радиосети, в которой вместо модулей распределенной обработки сигналов на базовых станциях подвижной связи используются технологии виртуализации в сочетании с централизованными процессорами, что снижает затраты на развертывание плотных мобильных сетей на основе малых сот [35].

Локальная Разгрузка (Local offloading)

Предполагается, что сети 5G будут совместно использовать ресурсы для удовлетворения разнородных требований к трафику от разнородных пользователей/приложений (например, Интернет вещей и потоковое видео высокой четкости 4K). Некоторые службы могут получить выгоду от возможностей локальной обработки на границе сети, тогда как другие службы могут потребовать централизованной обработки из-за конфиденциальности или юридических проблем.

В этой неоднородной среде необходимы стратегии локальной разгрузки, чтобы гибко и оппортунистически (1) обеспечить чрезвычайно высокие скорости передачи данных, низкие задержки и низкое энергопотребление, используя близость пользовательского оборудования, и (2) уменьшить нагрузку на сеть и повысить эффективность использования спектра за счет прямой передачи среди устройств [21]. Для мобильных сетей более перспективным методом является межсетевое взаимодействие между устройствами, при котором два соседних устройства могут связываться друг с другом с ограниченным участием базовых станций.

Помимо всех преимуществ, как для поставщиков услуг, так и для пользователей, обмен данными между устройствами ставит новые задачи, такие как безопасность и управление помехами, что требует также новых моделей ценообразования [22].

Европейский институт стандартов электросвязи, признавая важную роль стратегий локальной разгрузки, стандартизировал новую технологию под названием Мобильные

граничные вычисления (Mobile Edge Computing) [23-25] с целью повышения ее эффективности. Мобильные граничные вычисления обеспечивает среду обслуживания информационных технологий и возможности облачных вычислений в RAN, рядом с мобильными абонентами. Таким образом, он может уменьшить задержку, обеспечить высокоэффективную работу сети и предоставление услуг, а также продемонстрировать вычислительную гибкость в процессе разгрузки вычислений.

Мобильные пограничные вычисления – Естественное развитие в развитии мобильных базовых станций и конвергенции телекоммуникационных сетей и информационных технологий. Основанная на виртуализированной платформе, MEC признана европейским исследовательским органом 5G PPP (5G Infrastructure Public Private Partnership) как одна из ключевых новых технологий для сетей 5G (вместе с виртуализацией сетевых функций (NFV) и программными сетью (SDN)) [46].

В этой гетерогенной среде существует необходимость гибко и гибко разрешать локальное разделение выбранного трафика ближе к границе (т. е. разгрузку ядра сети) и использование различных шлюзов для трафика с различными требованиями к подключению и мобильности.

Малые Соты (Small Cells)

Увеличенное пространственное повторное использование (то есть более плотные сети и малые соты) было доминирующим фактором в увеличении пропускной способности системы сотовых сетей по сравнению с новыми технологиями физического уровня. Следовательно, использование очень плотных сетей с малым энергопотреблением и малыми сотами – очевидный вариант для удовлетворения будущих требований к скорости передачи данных. В сверхплотных развертываниях используются два основных эффекта: (1) расстояние между точкой радиодоступа и пользователем сокращается, что приводит к более достижимым скоростям передачи данных, и (2) спектр используется более эффективно из-за повторного использования частотно-временных ресурсов по несколько ячеек.

Малые соты не заменяют, а дополняют существующие развертывания макросотовых сетей, которые по-прежнему необходимы для обеспечения покрытия для быстро перемещающихся пользователей и в областях с низкой плотностью пользователей. Чем плотнее сеть, тем выше вероятность того, что отдельная точка доступа несет небольшую нагрузку. Следовательно, необходимы интеллектуальные механизмы координации и управления для более эффективного использования спектральных и энергетических ресурсов [26].

Поскольку в ближайшем будущем ожидаются как более высокие индивидуальные скорости передачи данных по потоку, так и совокупные предлагаемые нагрузки, малые соты вместе с новым спектром и MIMO являются ключевыми факторами, обеспечивающими 5G.

В отрасли распространена точка зрения, что развертывание малых сот в городских районах с плотной застройкой в целях повышения качества существующих сетей 4G, вероятно, будет способствовать удовлетворению предполагаемых повышенных требований, предъявляемых к пропускной способности технологией 5G и первыми услугами eMBB2.

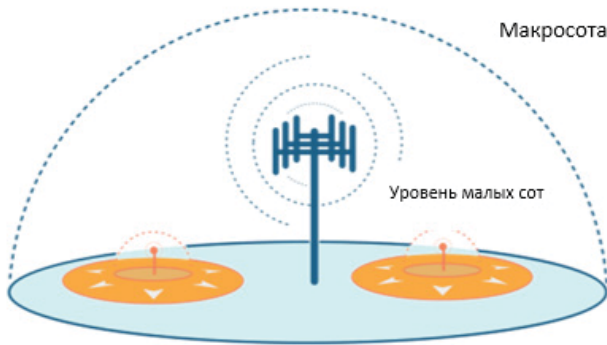


Рис. 1. Сети с большими и малыми сотами [47]

3. Концепция 5G

В связи с появлением новых технологий (которые мы называем *enablers* 5G в Разделе 2) необходимо разработать новые решения. В самом деле, необходимы новые алгоритмы и протоколы, чтобы использовать вышеупомянутые технологии для достижения целей, указанных в разделе 1.

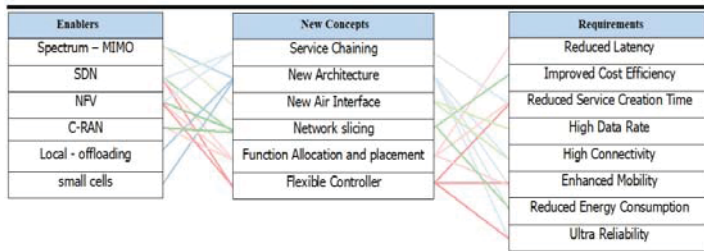


Рис. 2. Новые концепции, возможности и требования пятого поколения (5G)

На рисунке указаны факторы, на которые опирается каждая концепция и каким требованиям она способствует. C-RAN, централизованная сеть радиодоступа; MIMO, Многоканальный вход/многоканальный выход NFV, Виртуализация сетевых функций; SDN, Программно-конфигурируемые сети.

В этом разделе рассматриваются и классифицируются наиболее важные из имеющихся в литературе. На рисунке 2 представлено графическое представление предлагаемой таксономии. На нем показаны *enablers* (активаторы), которые мы определили в предыдущем разделе, и выделены новые концепции 5G, которые они в основном способствуют реализации. Затем раскрывается, какие требования могут быть удовлетворены с помощью новых концепций (представлены только основные связи между акторами, чтобы сосредоточиться на их основной роли).

Service Chaining (Цепочка сервисов)

Фундаментальным компонентом достижения гибкости, необходимой в будущих сетях 5G, является способность самоадаптации. Обычно сетевые службы строятся на основе нескольких четко определенных функций (например, межсетевых экранов и балансировщиков нагрузки). В традиционных концепциях сети размещение этих функций было тесно связано с базовой топологией сети. Разработка концепций

SDN и NFV существенно изменила правила игры. Возможность запуска сетевой функции практически в любом месте центра обработки данных (на серверном оборудовании общего назначения) отделяет последовательность сетевых функций, необходимых службе, от физической топологии. Следовательно, сетевые функции развертываются не в соответствии с их функциональными возможностями (например, размещение балансировщиков нагрузки рядом с серверами), а определяются и связываются абстрактным образом [27].

Главное преимущество такого подхода – гибкость. Цепочки можно не только создавать в сети, но и изменять в соответствии с требованиями пользователей к качеству обслуживания (QoS). Например, оптимизатор видео или промежуточный блок сети распространения контента можно легко разместить внутри цепочки на лету, если это необходимо в текущих условиях сети. Следовательно, объединение сервисных функций в цепочки позволяет быстро разрабатывать новые сервисы: новые функциональные цепочки могут быть развернуты по запросу, вместо того, чтобы заставлять изменять топологию сети для вставки новой функции, необходимой целевой службе.

New Architecture (Новая Архитектура)

Принимая во внимание текущие тенденции в потреблении мобильных данных, запросы новых услуг (например, массовые межмашинные коммуникации) и постоянно увеличивающееся количество подключенных устройств, текущая архитектура сотовой сети ясно показывает свои недостатки. Предоставление очень разнородных услуг с использованием одной и той же инфраструктуры в ближайшем будущем станет невозможным, даже при очень эффективных схемах модуляции и кодирования. По этой причине будущие сети 5G будут основаны на архитектуре пластичного доступа, используя также небольшие соты и интеллектуальную разгрузку потока, когда это возможно. Эта структура беспроводного доступа требует очень тщательной координации между всеми элементами сети: что-то маловероятно достижимо с устаревшей архитектурой, но возможно при использовании новых концепций 5G в качестве гибкого контроллера мобильной сети (FMNC).



Рис. 3. Объединенная архитектура будущего: несколько вертикалей пятого поколения (5G) используют гетерогенные технологии доступа. Ядро 5G предоставляет унифицированный интерфейс прикладного программирования для управления ими

В свою очередь, оптимизированное использование спектра обеспечит повышенную производительность (с точки зрения доступной пропускной способности и емкости) с повышенной эффективностью с точки зрения энергии. Более того, наличие Малых сот с высокой емкостью способностью,

безусловно, улучшит качество сигнала, принимаемого пользовательским устройством, помогая достичь предполагаемых целей по снижению энергопотребления и общей надежности системы. На рисунке 3 показан пример того, как будущие сети 5G обеспечивают единый интерфейс для управления и контроля гетерогенных технологий доступа к различным услугам 5G.

New Air Interfaces (Новые Радиointерфейсы)

В сетях 4G доступные технологии радиодоступа каким-то образом были ограничены сотовыми: LTE Advanced (LTE-A) и Worldwide Interoperability for Microwave Access. В сетях 5G внутренняя гибкость предлагаемых архитектур позволяет развертывать более гетерогенные технологии радиодоступа. Появление новых технологий связи на физическом уровне и уровне управления доступом к среде передачи данных стимулирует исследования новых радиointерфейсов. Доступность большего количества и более быстрых каналов связи позволяет достичь трех предполагаемых целей 5G: сокращение задержки, более высокая скорость передачи данных и снижение энергопотребления.

Таким образом, сети 5G предлагают полное переключение парадигм: не только предоставление пользователям большей полосы пропускания, но и ее достижение за счет бесшовной интеграции новых частотных диапазонов в диапазоне от 6 до 100 ГГц (доступных с использованием развертываний mMIMO), передовых методов управления (особенно в устаревшей полосе частот ниже 6 ГГц) эффективно использования спектра и их интеграции [28].

Среди рассмотренных нововведений усовершенствованные формы сигналов, но кодирование беспроводной сети будет играть важную роль при определении новых радиointерфейсов 5G. Это также касается уровня управления доступом к среде с определением интегрированной структуры кадра, способной допускать разные типы трафика.

Ключевой момент заключается не только во внедрении новых технологий доступа, но и в их использовании, обеспечивая возможность множественного подключения, что дает возможность подключать одного и того же пользователя с использованием различных технологий доступа, таких как 5G, Wi-Fi, LTE, 6 ГГц, миллиметровые волны или видимый световые коммуникации при этом. Главное новшество не в разработке новых технологий, а в их совместном использовании, повышая, таким образом, их эффективность.

Текущий консенсус состоит в том, что 5G, чтобы обеспечить очень высокую скорость передачи данных и уменьшить задержку, необходимо сочетать использование новых частотных диапазонов (более высоких частот), передовых методов повышения эффективности использования спектра в унаследованном диапазоне и бесшовных интеграция лицензионных и нелицензионных диапазонов.

Network Slicing (Нарезка сети)

В настоящее время очень разные приложения используют одну и ту же инфраструктуру связи, но сети связи не создавались с учетом этого. В связи с тенденцией к увеличению неоднородности сети 5G необходимо проектировать с учетом этого с самого начала. Конечная цель 5G – не только поддерживать очень разнородные услуги, но и снижать затраты (операционные расходы и капитальные затраты).

Теоретически этой цели можно достичь, развернув несколько физических сетей, по одной для каждой службы (или даже по одной для каждого бизнеса). Таким образом, изолированные службы могут оптимально использовать свои ресурсы и предотвращать реконфигурацию оборудования и сетей. Этот подход не может быть применен к реальным сетям и требует решения, которое позволяет как эффективное совместное использование ресурсов (например, *Мультитенантность*), так и их использование.

Сетевым слайсингом, или сегментацией сети, называют концепцию параллельного развертывания ряда автономных, логических и независимых сетей на единой инфраструктурной платформе [36].

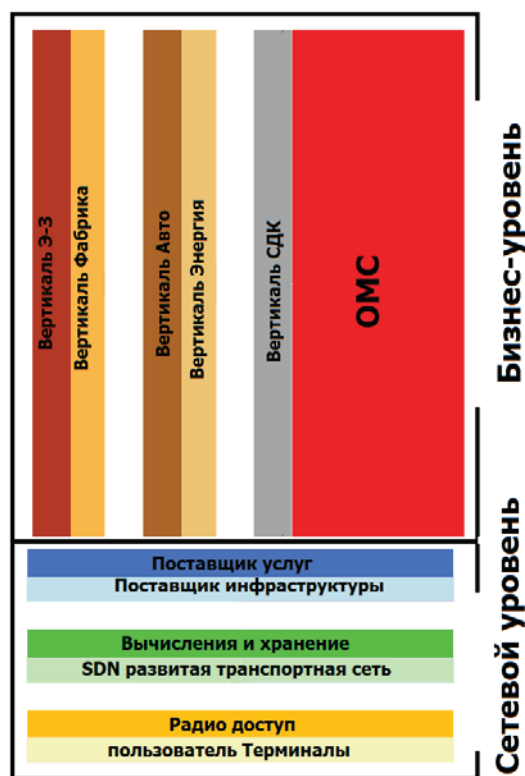


Рис. 4. Мультитенантность в нарезке сети представлении: Сеть Доставки Контента, СДК (content distribution network); Фабрика будущего, оператор мобильной сети (OMC); Программно-Конфигурируемая Сеть (SDN)

Мягкий подход к Мультитенантности, в основном пассивный, уже стандартизирован и применяется многими операторами, которые в настоящее время используют общиe сотовые узлы. Однако оборудование по-прежнему принадлежит каждому оператору, что ограничивает, следовательно, снижение затрат. Сети 5G пойдут еще на один шаг, продвигая активное совместное использование ресурсов между различными арендаторами, допуская создание так называемых *вертикалей* (verticals), где также неоператорам может потребоваться использование сети.

Такой подход может быть реализован благодаря функции программирования будущих сетей 5G, которые будут в значительной степени основаны на парадигмах NFV и SDN. Следовательно, разные арендаторы могут использовать одно и то же оборудование общего назначения, чтобы предоставить конечным пользователям все необходимые функции.

Первый подход в этом смысле был предложен сетей мобильной связи следующего поколения (NGMN) с введением концепции сегмента сети [29]. Программное обеспечение (Softwarization) сети является еще одним движущим фактором для разделения сети, поскольку реализация сетевых функций и оборудования с помощью программного обеспечения считается ключом к концепции разделения сети. Программно-конфигурируемые сети (SDN) и виртуализация сетевых функций (NFV) – две основные технологии, позволяющие создавать сетевые сегменты на ресурсах физической инфраструктуры [50].

Следовательно, сегмент сети можно определить как подмножество ресурсов инфраструктуры виртуальной сети, выделенных конкретному клиенту, который может использовать его для предоставления предполагаемых услуг. Уровень виртуализации между различными сегментами и физической инфраструктурой обеспечивает экономию на масштабе, что предполагает жизнеспособность подхода сегментации сети.

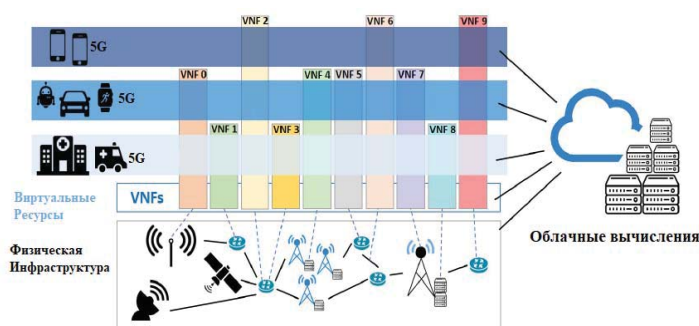


Рис. 5. Физическая инфраструктура и виртуальные ресурсы (сеть, вычисления, хранилище) в цепочке сервисов для сегментов 5G

Каждый слайс имеет конкретное назначение и тип конечного устройства, но несколько слайсов могут использовать одни и те же типы виртуальные сетевые функции (VNF) для предоставления услуг своим пользователям (см. рис. 5). VNF для каждого слоя разделены для обеспечения конфиденциальности и безопасности [41].

Сетевые сегменты создаются в основном для бизнес-целей: следуя духу вертикалей 5G, поставщик инфраструктуры назначает один или несколько сетевых сегментов каждой услуге из портфеля поставщиков услуг (например, сегмент автомобильной сети, фабрика будущего сегмента, и нарезка сети здоровья; см. рисунок 4,5) [41],[48]. Требуемые KPI предоставляются только при необходимости и там, где это необходимо, что позволяет улучшить использование сети с последующим сокращением эксплуатационных расходов. Требуемые КПЭ предоставляются только при необходимости и там, где это необходимо, что позволяет улучшить использование сети с последующим сокращением эксплуатационных расходов.

Разделение сети требует гибкой архитектуры, способной координировать и настраивать все объекты, используемые сетевым сегментом. Эту роль выполняет FMNC.

Network Functions Allocation and Placement (Распределение и размещение сетевых функций)

Если цепочка сервисных функций (service function chaining, SFC) определяет набор сетевых функций (middleboxes

на устаревшем жаргоне) через которые должен проходить трафик данных в сетевом срезе, и как их связать (т.е. как обеспечить, чтобы трафик проходил через различные функции в правильном порядке), их фактическое создание в сети – еще одна часть проблемы. В настоящее время middleboxes были виртуализированы и заменены Виртуальные сетевые функции (VNFs), которые более гибкие и могут масштабироваться по требованию [42]. Этому подходу явно не хватает гибкости, и он определенно подвержен ошибкам конфигурации.

Развивающаяся технология NFV позволяет перейти от аппаратной к программной обработке пакетов с возможностью развертывания сетевой функции повсюду в сети. Гибкость, обеспечиваемая NFV (и SDN), имеет свою цену, в то время как с устаревшими промежуточными ящиками проблемы QoS решались за счет избыточного выделения ресурсов в сети; Используя подход NFV/SDN, управление QoS может осуществляться более эффективным, но сложным способом.

Увеличенная гибкость может использоваться для многих целей – от снижения затрат за счет лучшего использования инфраструктуры, до более эффективных и детализированных сетевых функций. Например, с помощью этого подхода можно более эффективно реализовать схемы расширенного управления мобильностью. Конкретные функции, связанные с мобильностью, могут быть расположены ближе к фактическому местоположению пользователя и, возможно, перемещены при большой мобильности пользователя, чтобы всегда обеспечивать наилучшее возможное QoS.

Чтобы воспользоваться преимуществами NFV, виртуальные сетевые функции (VNF) должны быть обеспечены достаточными ресурсами и работать без влияния на качество обслуживания сети (QoS). Концепция C-RAN расширяет возможность наличия функциональных цепочек также для части основной полосы частот [43-45].

Flexible Control (гибкий контроль)

С введением FMNC (Flexible Mobile Network Controller – гибкий контроллер мобильной сети) будущие сети 5G выведут концепцию сетевого программирования за пределы SDN. Хотя SDN разделяет возможности маршрутизации и пересылки в коммутаторе с использованием контроллера SDN, FMNC выполняет такое разделение между *логикой* и *агентом* для любой сетевой функции в сети. То есть принципы SDN распространяются на все функции управления, плоскости данных и управления, обычно развертываемые в мобильных беспроводных сетях, которые в конечном итоге можно разделить на три категории: (1) функции уровня управления, (2) функции уровня данных и (3) функции беспроводного управления [50].

Первые пункты являются довольно естественным продолжением применения принципов SDN, тогда как последние отражают ключевой аспект FMNC: Функции беспроводного управления больше не будут реализовываться в специализированном оборудовании (например, в усовершенствованном LTE NodeB), а будут представлять собой часть программного обеспечения. Следовательно, многие функции, такие как: выбор канала, планирование, выбор схемы модуляции и кодирования и управление мощностью, будут предоставляться с использованием подхода, определяемого программным обеспечением.

Все эти функции выполняются (виртуализированным) программируемым центральным элементом управления, который обеспечивает очень важные преимущества для работы мобильной сети.

Преимущества многообразны. Первый касается повышения гибкости сети, одной из текущих проблем, с которыми сетевые операторы сталкиваются сегодня в своем беспроводном оборудовании (помимо высокой стоимости). Используя программируемость подхода FMNC, операторы смогут удовлетворить свои потребности, просто перепрограммировав контроллер, что снизит затраты. Этот метод также позволяет увеличивать и уменьшать виртуальные функции, а также повышать надежность. Эта гибкость доступна не только операторам сети, но и третьим сторонам, которые могут приобретать сетевые ресурсы, выполняя заранее определенное соглашение об уровне обслуживания. Программируемость также позволяет настраивать сеть, повышая качество восприятия пользователями.

Подход FMNC подразумевает наличие уникальной точки управления для сети: логического централизованного контроллера, который унифицирует различные сетевые технологии (см. рис. 5). Контролируя сокращенное количество FMNC, операторы сети упрощают управление сетью.

Плотные беспроводные сети, как это предусмотрено в 5G, особенно отдают предпочтение подходу FMNC: управление схемами мобильности пользователей и динамическими характеристиками радиосвязи отвечает за FMNC, который может использовать специально адаптированные алгоритмы в зависимости от сегмента сети, в котором они развернуты. При необходимости VNF могут быть развернуты рядом с пользователями (то есть в сегменте автомобильной сети), уменьшая задержку.

Следовательно, новые сервисы могут быть включены путем простого изменения функций контроллера: сервисы, которые изначально не были включены оператором в его архитектуру, теперь могут быть введены путем реализации улучшений для конкретных сервисов. Поведение FMNC также можно изменить для удовлетворения конкретных потребностей приложения или для лучшей адаптации к конкретному сценарию.

Хорошим примером является управление планировщиками базовых станций: поскольку FMNC имеет глобальное представление о сегменте сети, он может оптимизировать алгоритмы планирования и распределение ресурсов между ними. Эту концепцию можно распространить на управление ресурсами по сегментам сети.

Еще одно возможное использование FMNC – управление мобильностью. Как указано выше, FMNC является расширением концепции SDN для любых сетевых функций в мобильной сети. Итак, простая поправка к диалекту SDN, способное напрямую обрабатывать туннели протокола туннеля службы пакетной радиосвязи, может использоваться для непосредственного управления объектами сети обслуживающего шлюза (S-GW) и Пакетный шлюз (P-GW). Однако ту же идею можно использовать для прямого управления другими низкоуровневыми пользовательскими потоками, направляя трафик через сетевые функции, реализующие архитектуру C-RAN. Таким образом, одна централизованная гибкая логика приложения может управлять функциями гетерогенной сети через специализированные интерфейсы.

Следовательно, FMNC, следуя принципам SDN, имеет интерфейсы северного и южного направления. Северный интерфейс используется приложениями FMNC для обмена сообщениями высокого уровня с контроллером. FMNC применяет эти высокоуровневые команды к базовым сетям на основе SDN/NFV через южные интерфейсы, которые используются для их фактической настройки.

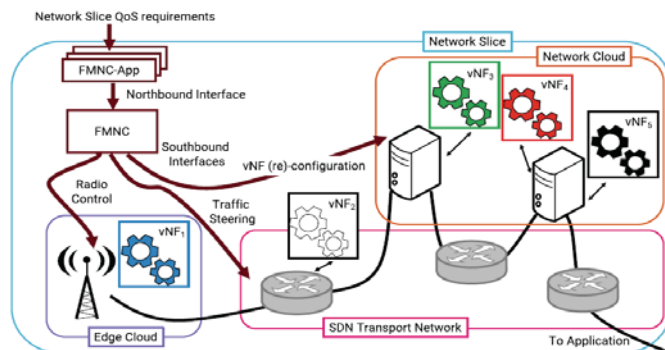


Рис. 6. Пример гибкого контроллера мобильной сети (FMNC): QoS – качество услуги; VNF – Виртуальные сетевые функции

С помощью FMNC поставщики услуг смогут приспособить оборудование к своим потребностям, просто перепрограммировав контроллер с использованием четко определенных интерфейсов прикладного программирования, и, таким образом, предоставит новую услугу с очень ограниченным объемом внедрения, тестирования и развертывания.

4. Текущая деятельность

Внимание и усилия, прилагаемые к сетям 5G, значительно возросли в последние годы с появлением всемирных инициатив, направленных на определение новой архитектуры, конкретных технологий и решений к 2020 году. Наиболее актуальные текущие проекты включают в себя:

5G-PPP – совместная европейская инициатива европейской индустрии информационных и коммуникационных технологий и Европейской комиссии с целью переосмысления инфраструктуры и создания коммуникационных сетей и услуг следующего поколения, которые обеспечат повсеместное сверхбыстрое соединение и бесперебойное предоставление услуг в все обстоятельства. Он состоит из 19 различных проектов (Flex5Gware, 5G-XHaul, 5G-Ensure, METIS-II, Euro 5G, 5G NORMA, Charisma, Sesame, Selfnet, CogNet, Virtuwind, 5GEx, Fantastic 5G, Coherent, SONATA, Superfluidity, 5G Crosshaul, mmMagic, and Speed5G) где сотрудничают представители промышленности и академических кругов. В июле 2016 года они выпустили официальный документ [30], в котором основное внимание уделяется определению ключевых моментов общей архитектуры 5G. После определения требований 5G он предоставляет первую предварительную логическую и функциональную архитектуру, начиная от физического уровня до уровня управления и оркестровки. Больше внимания уделяется программному обеспечению (в том числе NFV/SDN) в 5G, которое рассматривается как важный инструмент для создания следующей сети связи.

5G Americas – отраслевая торговая организация беспроводной связи, в состав которой входят ведущие поставщики

и производители телекоммуникационных услуг, а также голосовая связь 5G и LTE для Америки. Он фокусирует свои усилия на продвижении беспроводной технологии LTE и ее эволюции за пределы 5G во всех сетях, сервисах, приложениях и устройствах с беспроводным подключением в Америке. В ноябре 2016 года 5G Americas выпустила официальный документ [31], в котором подробно описывается реализация сегментации сети по отношению к технологиям 5G, признавая эту новую концепцию одной из наиболее важных для удовлетворения различных сценариев использования и требований 5G, включая масштабируемость и гибкость.

IMT-2020 (5G) PG в Китае – это программа, начатая сектором радиосвязи Международного союза электросвязи для разработки новой системы международной мобильной связи и 5G. Это основная платформа для продвижения исследований 5G в Китае, и в ее состав входят ведущие операторы, поставщики, университеты и исследовательские институты в области мобильной связи. В сентябре 2016 года они обнародовали результаты первого раунда исследования и разработки технологий 5G, посвященного основным ключевым технологиям для 5G, таким как mMIMO, новый множественный доступ, новая мультимедийная связь, высокочастотная связь, разделение сети, мобильные пограничные вычисления, управление/разделение плоскости пользователя и реконструкция сетевой функции. Результаты доказывают, что реализация вышеупомянутых технологий приводит к поддержке разнообразных требований 5G, таких как скорость передачи данных в гигабитах в секунду, сквозная задержка на уровне миллисекунд и 1 миллион подключений на квадратный километр. Следующий шаг будет сосредоточен на технических схемах радиоинтерфейса 5G и испытаниях сетей и систем [32].

IMT-2020 (5G) в России, 5G Интернет в России полноценно планируется запустить в 2023 году а количество подключений 5G к 2025 году достигнет 46 млн. По планам Правительства Российской Федерации массовое строительство и запуск сетей пятого поколения начнется в конце 2021 года. Частоты, доступные операторам связи будут определены в конце этого года. При прямой видимости, дальность 5G можно оценить в 1-2 км. В городских условиях России, 300-700 м. В России разработками в сфере 5G в настоящее время занимаются «Ростелеком», «Мегафон», «Билайн», «МТС» и др. операторы связи. Так, например, «Ростелеком» тестирует 5G-оборудование от Huawei в Казани в наукограде «Иннополис». Кроме того, пилотные зоны на базе 5G тестируются и в других городах Татарстана: Казани, Альметьевске, Набережных Челнах [37]. Считается, что на сегодняшний день российские операторы не готовы инвестировать деньги в 5G и в полном объеме развивать сети нового поколения. По мнению экспертов, рынок устройств с поддержкой 5G станет массовым и рентабельным в России только к 2023 году [37].

Мы легко понимаем, что мировое внимание и усилия по определению и развитию новой сети 5G огромны. Стоит отметить, что наиболее актуальные текущие проекты согласовывают ключевые требования, которые должна будет предоставить новая сеть, а также ключевые технологии и средства поддержки, даже если каждый из них нацелен на свою цель.

Заключение

Рассмотрены наиболее важные вспомогательные технологии и их использование для достижения целей, поставленных для сетей 5G на наиболее известных форумах.

Цели сетей 5G решаются путем применения новых концепций к устаревшим беспроводным сетям. В статье перечислили многие из них, подчеркнуто взаимодействие между поддерживаемыми технологиями и конечной целью. Несмотря на то, что многие современные технологии softwarization и виртуализации считаются переоцененными, отмечен их фундаментальный вклад в достижение целей 5G, помещая их в новый ландшафт концепций 5G.

В этой статье рассмотрены текущие исследовательские работы, проводимые ведущими странами в этой области, и освещены будущие тенденции, которые в конечном итоге приведут к созданию сетевой технологии 5G. Несмотря на то, что такие темпы развития считаются выше средних по миру, Россия продолжает существенно отставать от стран-лидеров в сфере внедрения и разработки 5G – Китая, США, Европа и др. Российская Федерация находится в числе стран второй волны запуска 5G, что позволяет сформировать концептуальную основу 5G на основе лучшего мирового опыта. Существует план развития цифровой экономики Российской Федерации [4] на период 2020-2025 гг., в котором основными показателями развития 5G и IoT являются системы связи нового поколения.

Литература

1. 5G-PPP. 5G Vision. The 5G Infrastructure Public Private Partnership: The Next Generation of Communication Networks and Services. <http://bit.ly/1GZuqHW> Published February 2015.
2. 4G Americas. 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions. <http://bit.ly/2pCiGvv>. Published October 2014.
3. IMT. 5G Vision and Requirements https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-E.pdf. Published May 2015.
4. Концепция создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации. <https://digital.gov.ru/uploaded/files/proekt-kontseptsii-sozdaniya-i-razvitiya-setej-5g-imt-2020-v-rossijskoj-federatsii.pdf>
5. Monserrat J.F., Mange G., Braun V., Tullberg H., Zimmermann G., Bulakci Ö. METIS research advances towards the 5G mobile and wireless system definition. EURASIP J Wirel Commun Netw. 2015. №2015(1). С. 53-68.
6. Osseiran A., Boccardi F., Braun V., et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project. IEEE Commun Mag. 2014. № 52(5). С. 26-35.
7. Nokia Networks. Network Architecture for the 5G Era. <http://bit.ly/2qugPsC>. Published March 2015.
8. Ziegler V, Theimer T, Sartori C, et al. Architecture vision for the 5G era. Paper presented at: 2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC); May 2016; Kuala Lumpur.
9. Ericsson. 5G Radio Access. <http://bit.ly/2qurxzn>. Published June 2014.
10. Samsung. 5G Vision. <http://bit.ly/2quqvTX>. Published February 2015.
11. Huawei. 5G Network Architecture—A High-Level Perspective. <http://bit.ly/2q4PZ9b>. Published July 2016.
12. Rost P., Banchs A., Berberana L., et al. Mobile network architecture evolution toward 5G. IEEE Commun Mag. 2016. №54(5). С. 84-91.

13. Marsch P., Da Silva I., Bulakci O., et al. 5G radio access network architecture: Design guidelines and key considerations. *IEEE Commun Mag.* 2016. №54(11). С. 24-32.
14. Monserrat J.F., Droste H., Bulakci Ö., et al. Rethinking the mobile and wireless network architecture: TheMETIS research into 5G. Paper presented at: 2014 European Conference on Networks and Communications (EuCNC); June 2014; Bologna.
15. Agyapong P.K., Iwamura M., Staehle D., Kiess W., Benjebbour A. Design considerations for a 5G network architecture. *IEEE Commun Mag.* 2014. №52(11). С. 65-75.
16. NEC. Network Evolution Toward 2020 and Beyond. <http://bit.ly/1JCRP4n>. Published March 2015.
17. Larsson E.G., Edfors O., Tufvesson F., Marzetta T.L. MassiveMIMO for next generation wireless systems. *IEEE CommunMag.* 2014. №52(2). С. 186-195.
18. Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for <https://www.opennetworking.org>. Published April 2012.
19. NFV ISG. Network Functions Virtualisation (NFV)—Network Operator Perspectives on Industry Progress. <http://bit.ly/1oAZ7yv>. Published October 2013.
20. NGMN Alliance. Suggestion on Potential Solutions for C-RAN. <http://bit.ly/2qJnpLN>. Published January 2013.
21. Fodor G., Dahlman E., Mildh G., et al. Design aspects of network assisted device-to-device communications. *IEEE Commun Mag.* 2012. №50(3). С. 170-177.
22. Tehrani M.N., Uysal M., Yanikomeroglu H. Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions. *IEEE Commun Mag.* 2014. №52(5). С. 86-92.
23. ETSI GS MEC 001. Mobile Edge Computing (MEC) Terminology. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/001/01.01.01_60/gs_MEC001v010101p.pdf. Published March 2016.
24. ETSI GS MEC 002. Mobile Edge Computing (MEC) Technical Requirements. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/002/01.01.01_60/gs_MEC002v010101p.pdf. Published March 2016.
25. ETSI GS MEC 003. Mobile Edge Computing (MEC) Framework and Reference Architecture. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/01.01.01_60/gs_MEC003v010101p.pdf. Published March 2016.
26. NGMN Alliance. SmallCells: Recommendations for Small Cell Development and Deployment. Deliverable D5. <http://bit.ly/2qjr95M>. Published September 2015.
27. John W., Pentikousis K., Agapiou G., et al. Research directions in network service chaining. Paper presented at: 2013 IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS); November 2013; Trento.
28. METIS. Deliverable D2.3. Components of a New Air Interface Building Blocks and Performan https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D2.3_v1.pdf. Published April 2014.
29. NGMN Alliance. NGMG 5G White Paper. <http://bit.ly/19gv3jU>. Published February 2015.
30. 5G-PPP. View on 5G Architecture. <http://bit.ly/2qJpvvr>. Published July 2016.
31. 5G Americas. Network Slicing for 5G Networks and Services. <http://bit.ly/2ri7twT>. Published November 2016.
32. IMT-2020 (5G) Promotion Association. <http://www.imt-2020.cn>.
33. 5GMF. 5G Mobile Communications Systems for 2020 and Beyond. <http://bit.ly/2qJcB0f>. Published July 2016.
34. Семеновых А.А., Лапонина О.П. Сравнительный анализ SDN-контроллеров // *International Journal of Open Information Technologies ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.7, 2018.*
35. Подготовка к внедрению 5G: возможности и проблемы. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-R.pdf.
36. Muhizi S., Kirichyok R.V. Comparative evaluation of models and methods of network slicing // *Information technologies and telecommunications.* 2018. Vol.6, № 3. P. 79-97.
37. Гурлев И.В. Проблемы развития сетей связи и управления поколения 5G в России // *Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal* <https://esj.today> 2019, №5, Том 11.
38. Концепция создания и развития сетей 5G/ИМТ-2020 в Российской Федерации (Проект) // <https://digital.gov.ru/uploaded/files/proekt-kontseptsii-sozdaniya-i-razvitiya-setej-5g-imt-2020-v-rossijskoj-federatsii.pdf>.
39. Huawei заявляет о высокой энергоэффективности своих базовых станций 5G // Портал «SERVERNEWS», <https://servernews.ru/991122> (дата обращения: 11.10.2019).
40. Yan Z., Zhang P., Vasilakos A.V. A security and trust framework for virtualized networks and software-defined networking // *Security and communication networks.* 2016. Vol. 9. No. 16. P. 3059-3069.
41. McClellan M., Cervelló-Pastor C., Sallent S. Deep Learning at the Mobile Edge: Opportunities for 5G Networks , 2020 // *Appl. Sci.* 2020, Vol.10, issue 14, 4735 <https://doi.org/10.3390/app10144735>
42. Akshay Gadre, Anix Anbiah and Krishna M. Sivalingam, Centralized approaches for virtual network function placement in SDN-enabled networks // *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* volume 2018, Article number: 197 (2018).
43. Dejene Boru Oljira, Karl-Johan Grinnemo, Javid Taheri, Anna Brunstrom, A model for QoS-aware VNF placement and provisioning // 2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), 2017.
44. Abdelquodouss Laghrissi, Tarik Taleb, A Survey on the Placement of Virtual Resources and Virtual Network Functions // 2019, Vol. 21, Issue 2, Journal Article, Publisher: IEEE.
45. Satyam Agarwal, Francesco Malandrino, Carla Fabiana Chiasserini, Swades De, VNF Placement and Resource Allocation for the Support of Vertical Services in 5G Networks // Year: 2019 ,Vol. 27, Issue 1, Journal Article, Publisher: IEEE.
46. Мутханна А. С. А., Атея А. А., Филимонова М. И. Исследование облачных вычислений в сотовых сетях // *Информационные технологии и телекоммуникации.* 2017. Том 5. № 3. С. 45-59.
47. Подготовка к внедрению 5G: возможности и проблемы // https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-R.pdf, Опубликовано в Швейцарии Женева, 2018 г .
48. S. O. Oladejo and O. E. Falowo, "5G network slicing: A multi-tenancy scenario," *2017 Global Wireless Summit (GWS)*, Cape Town, 2017, pp. 88-92, doi: 10.1109/GWS.2017.8300476.
49. Akihiro Nakao, Ping Du, Yoshiaki Kiriha, Fabrizio Granelli, Anteneh Atumo Gebremariam, Tarik Taleb, Miloud Bagaa, "End-to-end Network Slicing for 5G Mobile Networks" // *Journal of Information Processing.* Vol.25. P. 153-163 (Feb. 2017).
50. Mehrdad Shariat, Ömer Bulakci, Antonio De Domenico, Christian Mannweiler, Marco Gramaglia, Qing Wei, Aravinthan Gopalasingham, Emmanouil Pateromichelakakis, Fabrizio Moggio, Dimitris Tsolkas, Borislava Gajic, Marcos Rates Crippa, Sina Khatibi, "A Flexible Network Architecture for 5G Systems", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2019, Article ID 5264012, 19 p., 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5264012>

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONCEPT OF CREATION AND DEVELOPMENT OF 5G/IMT-2020 NETWORKS IN RUSSIA, CHINA, USA AND EUROPE

Behrooz Daneshmand, ITMO University, St. Petersburg, Russia, daneshmandbehrooz@gmail.com

Abstract

This article raises the question of the prospects for the development of 5G networks in Russia, China, the United States and Europe. Currently, there are four distinct generations of cellular communication in the world and in Russia. The development of each subsequent generation of communication as technical and economic capabilities improved and the spread of dominant standards occurred approximately every 10 years. The research community and industry in general agree that in the future it is impossible to meet future mobile traffic demand and application requirements simply by evolving the current fourth generation architecture. Instead, there is a need for a significant overhaul of the mobile network system: such an effort is commonly referred to as the future fifth generation (5G) architecture, and large-scale initiatives have been launched around the world to address this issue. The research community has already invested a very significant effort in identifying new individual technologies. The fact that all new offerings are labeled 5G has created a lot of confusion about what 5G really is. The purpose of this article is to shed light on the current state of the definition of 5G architecture and trends in the required technologies in Russia, the United States, China and Europe. Key contributions are: (1) analyze the 5G requirements defined by various global initiatives, highlighting the similarities and differences in 5G network development in Russia, China, the United States and Europe; (2) discuss current technology trends showing that there is broad consensus on the key factors driving 5G development in these countries; (3) strive to understand the new concepts that need to be developed with assistive technology to meet the desired requirements.

Keywords: 5G / IMT-2020, SDN, communication network, software-defined network, virtualization, network equipment, technology, 5G projects, 5G spectrum, 5G communication generation, 5G development.

References

1. 5G-PPP. 5G Vision. The 5G Infrastructure Public Private Partnership: The Next Generation of Communication Networks and Services. [Http://bit.ly/1GZuqHW](http://bit.ly/1GZuqHW) Published February 2015.
2. 4G Americas. 4G Americas' Recommendations on 5G Requirements and Solutions. <http://bit.ly/2pCiGvv>. Published October 2014.
3. IMT. 5G Vision and Requirements. https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!PDF-E.pdf. Published May 2015.
4. Concept of creation and development of 5G / IMT-2020 networks in the Russian Federation. <https://digital.gov.ru/uploaded/files/proekt-kontseptsii-sozdaniya-i-razvitiya-setej-5g-imt-2020-v-rossijskoj-federatsii.pdf>.
5. Monserrat JF, Mange G, Braun V, Tullberg H, Zimmermann G, Bulacki. METIS research advances towards the 5G mobile and wireless system definition. *EURASIP J Wirel Commun Netw.* 2015; 2015 (1). P. 53-68.
6. Osseiran A, Boccardi F, Braun V, et al. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: *The vision of the METIS project.* *IEEE Commun Mag.* 2014; 52 (5). P. 26-35.
7. Nokia Networks. Network Architecture for the 5G Era. [Http://bit.ly/2qugPsC](http://bit.ly/2qugPsC). Published March 2015.
8. Ziegler V, Theimer T, Sartori C, et al. Architecture vision for the 5G era. *2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC); May 2016; Kuala Lumpur.*
9. Ericsson. 5G Radio Access. <http://bit.ly/2qurxzn>. Published June 2014.
10. Samsung. 5G Vision. <http://bit.ly/2quqvTX>. Published February 2015. In the meantime, there is no need to worry about it.
11. Huawei. 5G Network Architecture - A High-Level Perspective. [Http://bit.ly/2q4PZ9b](http://bit.ly/2q4PZ9b). Published July 2016.
12. Rost P, Banchs A, Berberana I, et al. Mobile network architecture evolution toward 5G. *IEEE Commun Mag.* 2016; 54 (5). P. 84-91.
13. Marsch P, Da Silva I, Bulacki O, et al. 5G radio access network architecture: Design guidelines and key considerations. *IEEE Commun Mag.* 2016; 54 (11). P. 24- 32.
14. Monserrat JF, Droste H, Bulacki O, et al. Rethinking the mobile and wireless network architecture: The METIS research into 5G. *2014 European Conference on Networks and Communications (EuCNC); June 2014; Bologna.*
15. Agyapong PK, Iwamura M, Staehle D, Kiess W, Benjebbour A. Design considerations for a 5G network architecture. *IEEE Commun Mag.* 2014; 52 (11). P. 65-75.
16. NEC. Network Evolution Toward 2020 and Beyond. <http://bit.ly/1JCRP4n>. Published March 2015.
17. Larsson EG, Edfors O, Tufvesson F, Marzetta TL. MassiveMIMO for next generation wireless systems. *IEEE Commun Mag.* 2014; 52 (2). P. 186-195.
18. Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. <https://www.opennetworking.org>. Published April 2012.
19. NFV ISG. Network Functions Virtualization (NFV) -Network Operator Perspectives on Industry Progress. <http://bit.ly/1oAZ7yv>. Published October 2013.
20. NGMN Alliance. Suggestion on Potential Solutions for C-RAN. [Http://bit.ly/2qJnpLN](http://bit.ly/2qJnpLN). Published January 2013.
21. Fodor G, Dahlman E, Mildh G, et al. Design aspects of network assisted device-to-device communications. *IEEE Commun Mag.* 2012; 50 (3). P. 170-177.

22. Tehrani MN, Uysal M, Yanikomeroglu H. Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions. *IEEE Commun Mag.* 2014; 52 (5). P. 86-92.
23. ETSI GS MEC 001. Mobile Edge Computing (MEC) Terminology. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/001/01.01.01_60/gs_MEC001v010101p.pdf. Published March 2016.
24. ETSI GS MEC 002. Mobile Edge Computing (MEC) Technical Requirements. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/002/01.01.01_60/gs_MEC002v010101p.pdf. Published March 2016.
25. ETSI GS MEC 003. Mobile Edge Computing (MEC) Framework and Reference Architecture. http://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/01.01.01_60/gs_MEC003v010101p.pdf. Published March 2016.
26. NGMN Alliance. SmallCells: Recommendations for Small Cell Development and Deployment. Deliverable D5. <http://bit.ly/2qjr95M>. Published September 2015.
27. John W, Pentikousis K, Agapiou G, et al. Research directions in network service chaining. Paper presented at: 2013 IEEE SDN for Future Networks and Services (SDN4FNS); November 2013; Trento.
28. METIS. Deliverable D2.3. Components of a New Air Interface Building Blocks and Performance. https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D2.3_v1.pdf. Published April 2014.
29. NGMN Alliance. NGMG 5G White Paper. <http://bit.ly/19gv3jU>. Published February 2015.
30. 5G-PPP. View on 5G Architecture. <http://bit.ly/2qjpvvr>. Published July 2016.
31. 5G Americas. Network Slicing for 5G Networks and Services. <http://bit.ly/2ri7twr>. Published November 2016.
32. IMT-2020 (5G) Promotion Association. <http://www.imt-2020.cn>
33. 5GMF. 5G Mobile Communications Systems for 2020 and Beyond. <http://bit.ly/2qjCB0f>. Published July 2016.
34. A. A. Semenovykh, O. R. Laponin. Comparative analysis of SDN controllers. *International Journal of Open Information Technologies* ISSN: 2307-8162 vol. 6, no.7, 2018.
35. Preparing for the implementation of 5G: opportunities and challenges. https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-R.pdf.
36. S. Muhizi, Kirichyok R.V. comparative evaluation of models and methods of network slicing. *Information technologies and telecommunications*. 2018. - Vol.6, No. 3. P. 79-97.
37. Gurlev Igor Valentinovich. Problems of 5G generation communication and control networks development in Russia // *Bulletin of Eurasian Science / The Eurasian Scientific Journal* <https://esj.today> 2019, No. 5, Volume 11.
38. The concept of creation and development of 5G / IMT-2020 networks in the Russian Federation (Draft) // <https://digital.gov.ru/uploaded/files/proekt-kontseptsii-sozdaniya-i-razvitiya-setej-5g-imt-2020-v-rossijskoj-federatsii.pdf>
39. Huawei declares high energy efficiency of its 5G base stations. SERVERNEWS portal, <https://servernews.ru/991122> (date accessed: 11.10.2019). In the meantime, there is no need to worry about it.
40. Yan, Z.; Zhang, P. and Vasilakos, A. V. A security and trust framework for virtualized networks and software-defined networking // *Security and communication networks*. 2016. Vol. 9.No. 16. P. 3059-3069.
41. M. McClellan, C. Cervell?Pastor and S. Sallent, Deep Learning at the Mobile Edge: Opportunities for 5G Networks, 2020 // *Appl. Sci.* 2020, Vol.10, issue 14, 4735 <https://doi.org/10.3390/app10144735>
42. Akshay Gadre, Anix Anbiah * and Krishna M. Sivalingam, Centralized approaches for virtual network function placement in SDN-enabled networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. Vol. 2018, Article number: 197 (2018).
43. Dejene Boru Oljira; Karl-Johan Grinnemo; Javid Taheri; Anna Brunstrom, A model for QoS-aware VNF placement and provisioning. *2017 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN)*, 2017.
44. Abdelquodouss Laghrissi; Tarik Taleb, A Survey on the Placement of Virtual Resources and Virtual Network Functions. 2019, Vol. 21, Issue 2, Journal Article, Publisher: IEEE.
45. Satyam Agarwal; Francesco Malandrino; Carla Fabiana Chiasserini; Swades De, VNF Placement and Resource Allocation for the Support of Vertical Services in 5G Networks. 2019, Vol. 27, Issue: 1, Journal Article, Publisher: IEEE.
46. Mutkhanna A.S., Ateya A.A., Filimonova M.I. Research of cloud computing in cellular networks. *Information technologies and telecommunications*. 2017. Volume 5. No. 3. P. 45-59.
47. Preparing for 5G implementation: opportunities and challenges // https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-R.pdf, Published in Switzerland Geneva, 2018.
48. S. O. Oladejo and O. E. Falowo, 5G network slicing: A multi-tenancy scenario, *2017 Global Wireless Summit (GWS)*, Cape Town, 2017. P. 88-92, doi: 10.1109 / GWS.2017.8300476.
49. Akihiro Nakao, Ping Du, Yoshiaki Kiriha, Fabrizio Granelli, Anteneh Atumo Gebremariam, Tarik Taleb, Miloud Bagaa, "End-to-end Network Slicing for 5G Mobile Networks", *Journal of Information Processing*. Vol. 25. P 153-163 (Feb. 2017).
50. Mehrdad Shariat, ?mer Bulakci, Antonio De Domenico, Christian Mannweiler, Marco Gramaglia, Qing Wei, Aravinthan Gopalasingham, Emmanouil Pateromichelakis, Fabrizio Moggio, Dimitris Tsolkas, Borislava Gajic, Marcos Rates Arippa, Khatibi. Flexible Network Architecture for 5G Systems. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Vol. 2019, Article ID 5264012, 19 p. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5264012>