

Воробьев Александр Михайлович

соискатель, доцент

Марченко Степан Александрович

студент

Файзуллин Марат Ильдарович

студент

ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический
университет им. М.Т. Калашникова»
г. Ижевск, Удмуртская Республика

DOI 10.21661/r-588688

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ СЕТЕЙ 5G

Аннотация: в статье рассматриваются основные принципы и особенности построения архитектуры мобильных сетей пятого поколения (5G). Проведен краткий обзор хронологии развития сетей от 2G до 4G и разобраны причины, по которым старые подходы больше не удовлетворяют современные требования к телеком-индустрии. Главное внимание в работе уделяется таким особенностям 5G, как сервис-ориентированная архитектура (Service-Based Architecture, SBA), виртуализация сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV), сетевой слайсинг и новые принципы сетей радиодоступа (Next Generation Radio Access Network, NG-RAN). Также затронуты вопросы практического внедрения сетей через неавтономную (Non-Standalone, NSA) и автономную (Standalone, SA) архитектуры.

Ключевые слова: архитектура сети, мобильная связь, базовая сеть, радиодоступ, сетевой слайсинг, SBA, NSA.

Тема развертывания сетей пятого поколения (5G) сегодня особенно актуальна, так как весь мир постепенно переходит к концепции «Индустрия 4.0» и полностью цифровой экономике. Объемы данных, которые пользователи и

устройства передают каждый день, растут в геометрической прогрессии. К интернету сейчас подключаются не только смартфоны, но и огромное количество умных устройств, датчиков, транспортных средств и промышленного оборудования. Ранее построенные сети просто не были рассчитаны на такие колоссальные нагрузки и постепенно достигают предела своих возможностей пропускной способности. Сегодня от инфраструктуры мобильной связи требуется решать сразу несколько сложных задач одновременно. Во-первых, нужен очень быстрый интернет для обычных пользователей – обеспечение сверхвысокой скорости (enhanced Mobile Broadband, eMBB). Во-вторых, сеть должна справляться с миллионами мелких датчиков на небольшой территории без перебоев – это сценарий массового подключения (massive Machine Type Communications, mMTC) [2, с. 8]. В-третьих, для таких критически важных решений, как беспилотные автомобили или удаленная хирургия, задержка сигнала должна быть минимальной – сценарий мгновенной реакции (Ultra-Reliable Low-Latency Communication, URLLC). Чтобы совместить все эти требования в рамках единой инфраструктуры, инженерам пришлось не просто модернизировать базовые станции, а концептуально переосмыслить всю архитектуру сети.

Чтобы лучше понять, в чем именно заключается прорыв технологий 5G, стоит кратко рассмотреть историческое развитие мобильных сетей. Каждое новое поколение решало свои конкретные технологические проблемы. Сети второго поколения (2G) создавались в первую очередь для обеспечения голосовых вызовов. Они функционировали по принципу коммутации каналов, что для передачи интернет-трафика было крайне неэффективно. В сетях третьего поколения (3G) была внедрена пакетная передача данных, благодаря чему у пользователей появился более-менее привычный мобильный интернет. Однако, оборудование по-прежнему оставалось очень громоздким и строго специализированным. Настоящим технологическим скачком стало появление сетей 4G (LTE), когда вся инфраструктура была полностью переведена на IP-протоколы. Важнейшим шагом стало архитектурное разделение плоскости управления сетью (Control Plane) и плоскости передачи пользовательских данных (User Plane). Это сделало связь

намного быстрее. Тем не менее, базовая сеть 4G (Evolved Packet Core, EPC) всё равно осталась довольно жесткой и монолитной структурой, которую очень тяжело гибко настраивать под узкие отраслевые и промышленные задачи [3, с. 20]. Архитектура 5G представляет собой совершенно иной инженерный подход. Разработчики приняли решение отказаться от привязки к конкретному специализированному аппаратному обеспечению и сделали ставку на глубокую виртуализацию и облачные технологии. Ядро сети 5G (5G Core, 5GC) теперь строится на нескольких фундаментально новых принципах. Во-первых, это сервис-ориентированная архитектура (Service-Based Architecture, SBA) [5, с. 26]. В сетях прошлых поколений узлы были соединены жесткими проприетарными интерфейсами. В сетях 5G функции управления сетью представляют собой отдельные независимые программные модули – микросервисы. Они обмениваются информацией между собой через единую шину с помощью стандартных веб-протоколов (API). По сути, ядро сети (5GC) превратилось в набор приложений, развернутых на стандартном серверном оборудовании. Если в какой-то момент требуется больше мощности для функции регистрации абонентов (Access and Mobility Management Function, AMF) или функции управления сессиями (Session Management Function, SMF), система автоматически динамически выделяет им больше вычислительных ресурсов в облачной среде. Во-вторых, активно применяются виртуализация (Network Functions Virtualization, NFV) и программно-определяемые сети (Software-Defined Networking, SDN). Сети 5G изначально проектировались по принципам Cloud-Native для работы в облаке. Благодаря технологии NFV программное обеспечение отвязано от дорогостоящего оборудования конкретного производителя. В свою очередь, технология SDN помогает осуществлять интеллектуальную маршрутизацию сетевого трафика, направляя его в обход перегруженных участков магистрали. В-третьих, внедрен сетевой слайсинг (Network Slicing) [4, с. 14]. Слайсинг позволяет взять одну физическую телекоммуникационную сеть оператора и программным путем разделить её на несколько логически изолированных виртуальных «слоев». Каждый такой слой точно

настраивается под конкретную задачу абонента. Например, один слайс с широкой полосой пропускания выделяется обычным пользователям со смартфонами, другой – под систему умных счетчиков ЖКХ, а третий выделяют под критическое управление промышленными роботами на заводе (что наглядно иллюстрирует Рис. 1 [6]).

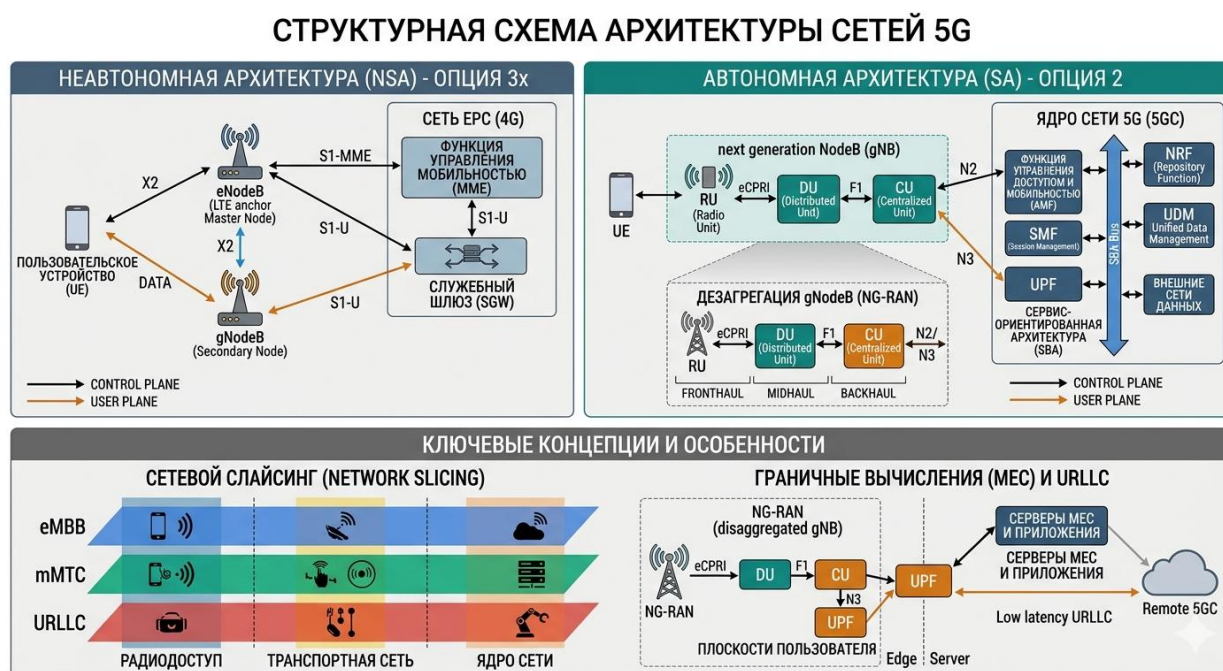


Рис. 1. Комплексная структурная схема архитектуры сетей 5G

Серьезные архитектурные изменения коснулись и подсистемы базовых станций. Раньше базовая станция представляла собой практически неделимый монолитный аппаратно-программный комплекс. В сетях 5G (базовые станции next generation NodeB, gNB) она была дезагрегирована и разделена на три логические части.

Централизованный блок (Central Unit, CU) – вычислительный узел, который обрабатывает сложные протоколы верхних уровней.

Распределенный блок (Distributed Unit, DU) – модуль, отвечающий за более рутинные вычислительные задачи по цифровой обработке сигнала.

Радиомодуль (Radio Unit, RU) – непосредственно сама приемопередающая антенна на вышке. Такое физическое и логическое разделение позволяет опера-

торам связи существенно оптимизировать капитальные затраты. Имеется возможность установить один высокопроизводительный централизованный блок (CU) в комфортном региональном дата-центре, и он будет удаленно по оптике управлять десятками простых радиомодулей (RU), расставленными по всему мегаполису.

Построение такой высокотехнологичной сетевой инфраструктуры с нуля в масштабах всей страны требует колоссальных капитальных вложений. В связи с этим мировым консорциумом по стандартизации был предусмотрен плавный переход, состоящий из двух ключевых сценариев развертывания [1, с. 46]. Неавтономная архитектура (Non-Standalone, NSA). С этого переходного этапа начинают работу почти все операторы связи в мире. Суть заключается в том, что компании монтируют новые высокоскоростные вышки 5G, но подключают их для управления к старому опорному ядру от сети 4G (EPC). Это дает возможность быстро вывести новую услугу на рынок и обеспечить потребителям высокую скорость передачи данных. Однако у этого подхода есть существенный недостаток: старая базовая сеть не поддерживает передовые интеллектуальные функции, такие как полноценный сетевой слайсинг или управление межмашинным взаимодействием. Автономная архитектура (Standalone, SA). Это полноценный, целевой вариант сетей 5G. В данном сценарии устанавливается не только современное радиооборудование, но и разворачивается абсолютно новое облачное ядро (5GC). Только в таком формате сеть начинает функционировать на все сто процентов своих возможностей. Становится доступным сквозной слайсинг, задержки сигнала падают до минимальных значений, а оператор связи получает возможность предоставлять корпоративному сегменту выделенные частные промышленные сети. Переход к архитектуре SA представляет собой сложный и дорогостоящий процесс, требующий комплексной перестройки всех внутренних IT-систем компании-оператора. Подводя итоги проведенного анализа, можно с уверенностью констатировать, что 5G – это не просто очередное количественное увеличение скорости передачи мобильных данных. Это глубокая качественная трансформация самих принципов функционирования всей телекоммуникационной отрасли.

За счет отказа от жестко специализированного оборудования в пользу облачных микросервисов (SBA) и внедрения сквозного сетевого слайсинга, сеть трансформируется в невероятно гибкую и адаптивную ИТ-платформу. Поэтапное внедрение инновационных решений, начиная с переходного этапа NSA и заканчивая полноценной архитектурой SA, помогает операторам связи грамотно и эффективно распределять инвестиции, шаг за шагом внедряя передовые цифровые услуги для развития современного информационного общества и бизнеса.

Список литературы

1. Волков М.В. Сравнительный анализ сценариев развертывания сетей 5G: NSA против SA / М.В. Волков, А.В. Смирнов // Труды НИИР. – 2022. – №2. – С. 45–52.
2. Кучерявый А.Е. Сети связи пятого поколения, периферийные вычисления и Интернет вещей / А.Е. Кучерявый // Радиотехника. – 2021. – Т. 85. №11. – С. 5–15.
3. Макаров А.А. Эволюция архитектуры сетей подвижной связи: от концепции LTE EPC к ядру 5G Standalone / А.А. Макаров, В.И. Попов // Т-Comm. – 2022. – Т. 16. №5. – С. 18–26.
4. Соколов Н.А. Реализация концепции сетевого слайсинга в архитектуре 5G / Н.А. Соколов, А.С. Волков // Вестник связи. – 2023. – №8. – С. 12–19.
5. Тихвинский В.О. Архитектура сетей 5G: технологии, стандартизация и перспективы развертывания / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев // Электро-связь. – 2020. – №3. – С. 24–31.
6. NetworkVis AI: специализированная программная платформа для генерации структурных схем телекоммуникационных сетей. – URL: <https://networkvis-ai.io/visualizer> (дата обращения: 18.04.2026).