

Связь: динамика и проблемы развертывания 5G-сетей, работы в области 6G

Часть 1

М. Макушин¹

УДК 621.396 | ВАК 05.27.01

Первые 5G-сети появились во время летней Олимпиады 2018 года в Сеуле. Но уже в начале этого года доля 5G-смартфонов в продажах превысила долю 4G-смартфонов. Предполагается, что развертывание 5G-сетей окажет большое влияние и станет одним из факторов цифровой трансформации экономики. В то же время к 2030 году ожидается появление первых 6G-сетей.

Уже при развертывании и эксплуатации сетей 4G/LTE выяснилось, что данная технология выходит за рамки обеспечения связи и все теснее взаимодействует с такими областями, как центры обработки данных, гиперразмерные вычисления^{*}, облачные технологии, дополненная и виртуальная реальность. При развертывании 5G-сетей эта тенденция получила новый импульс развития. Более того, в рамках «Холодной технологической войны», развязанной против КНР властями США, в «Поднебесной» решили, что одной из их основных задач в ближайшие 5–10 лет является модернизация инфраструктуры национальной экономики на основе 5G-технологий, а также ускорение разработок в области 6G-технологий [1].

Конкуренция в области совершенствования и развертывания 5G-технологий обостряется. США и их союзники запрещают использовать в 5G-сетях оборудование китайских фирм, ограничивают их возможности приобретения перспективных компаний, технологий, интеллектуальной собственности. Фирмы КНР в свою очередь развивают собственные технологические решения, стараются предлагать заказчикам комплексные решения по конкурентной цене, осваивают перспективные страны и регионы, где влияние США не является определяющим фактором. Кроме того, активизируются НИОКР в области 6G-технологий. Здесь, как и в случае с разработкой

5G-технологий, китайские разработчики занимают лидирующие позиции.

ДИНАМИКА И ПРОБЛЕМЫ РАЗВЕРТЫВАНИЯ 5G-СЕТЕЙ Развертывание 5G-сетей

О том, что 5G-сети и средства связи все увереннее расширяют свое присутствие на мировом рынке, свидетельствуют не только рост продаж и увеличение числа сетей, но и отказ ряда стран от поддержки сетей предшествующих поколений. Так, например, в декабре 2021 года правительство Великобритании объявило о планах поэтапного отказа от 2G и 3G мобильных сетей к 2033 году. Ранее в Англии было запрещено использование оборудования Huawei в 5G-сетях и введен в действие Закон о безопасности телекоммуникаций (Telecommunications Security Act). Отказ от 2G- и 3G-сетей позволит высвободить спектр, достаточный для обеспечения массового развертывания 5G-сетей и далее 6G-сетей [2].

Кстати, ситуация в Великобритании демонстрирует отставание западных стран от КНР, Южной Кореи и Японии в области освоения 5G. Первые 5G-сети были развернуты в Южной Корее еще во время Олимпиады-2018. В то же время в Лондонском Сити только планируют создать опытную мультиоператорскую сеть 4G- и 5G-связи, ввод в эксплуатацию – октябрь 2022 года [3].

Развертывание 5G-инфраструктуры и рост числа абонентов

Данные о численности абонентов, сетей и базовых станций 5G у различных аналитических фирм варьируются. Интерес представляют данные Omdia, ResearchAndMarket, Strategy Analytics и TrendForce (табл. 1) [4–7].

Также надо отметить, что правительства многих стран принимают меры по содействию развертыванию

¹ «Военные науки и оборонная промышленность» БРЭ, редакция, научный редактор.

^{*} hyperscale computing – гиперразмерные вычисления; термин, относящийся к инфраструктурным и инициализационным потребностям в распределенных вычислительных средах для эффективного масштабирования от нескольких до тысяч серверов. Гиперразмерные вычисления часто задействуются в таких средах, как «облачные» вычисления или «большие данные», и обычно связаны с платформами типа Apache Hadoop.

Таблица 1. Оценки и прогнозы различных фирм по развертыванию 5G-технологий

Фирма/ресурс	Содержание оценок/прогнозов
Omdia (Лондон, Великобритания)	К концу 2021 года число 5G-подключений превысило 500 млн, к концу 2022 года оно достигнет 1,3 млрд, в 2023 году вырастет до 2 млрд, а к концу 2026 года достигнет 4,8 млрд
Research and Markets (сетевой ресурс)	Мировой рынок автономной 5G-инфраструктуры (т. е. миллиметрового диапазона – mmWave, не связанной с инфраструктурой 4G LTE) к 2027 году превысит 112 млрд долл. Крупнейшим региональным рынком 5G (затем и 6G) базовой инфраструктуры станут страны АТР, за ними следуют Северная Америка (19 млрд долл.) и Европа
Strategy Analytics (сетевой ресурс)	В 2021 году было продано 624 млн 5G-смартфонов по сравнению с 269 млн шт. в 2020 году. С точки зрения брендов на первом месте находится корпорация Apple – 40,4 млн шт. На втором месте – Oppo и Vivo, но поскольку бренды Oppo и Vivo принадлежат фирме BBK Electronics, то ведущим поставщиком 5G-телефонов является именно она. Брендом № 4 остается Samsung, а № 5 – Xiaomi. Отмечается, что китайские поставщики мало представлены на рынке США, где доминируют старшие модели с высокой стоимостью
TrendForce (Тайбэй, Тайвань)	В 2021 году на долю поставщиков оборудования 5G базовых станций из ЕС и КНР пришлось 70% мировых продаж. Доли ведущих поставщиков (с приростом к 2020 году) составили: Huawei – 30% (+1%), Ericsson – 23% (– 3%), Nokia – 20% (– 1,5%) и ZTE – 3,5% (– 1%). Доля южнокорейского Samsung выросла на 3,5% – до 12,5%. Huawei по-прежнему под санкциями США, Англия замещает ее 5G-оборудование продукцией японской Fujitsu. Во время пандемии COVID-19 около 40% развертываний базовых станций было связано с обеспечением надомной и удаленной работы. В конце 2020 года число абонентов 5G-связи в КНР превысило 160 млн, что составляет 89% мировой численности абонентов. К июлю 2021 года China Mobile, China Unicom и China Telecom развернули в КНР 916,0 тыс. 5G базовых станций – это 70% мирового парка

5G-сетей/средств связи. Так, в апреле 2022 года МО США совместно с Институтом телекоммуникационных наук (ITS) Национального управления телекоммуникаций и информации (NTIA) объявило о приеме заявок на конференцию по проблемам освоения 5G-технологий – «Совместимость подсистем радиодоступа» (RAN Subsystem Interoperability RAN). Задача конференции – формирование большого, динамичного и разнообразного сообщества поставщиков, нацеленного на повышение функциональной совместимости 5G-средств по принципу «включай и работай» (plug-and-play).

По итогам конференции организаторы готовы предоставить гранты до 3,0 млн долл. тем участникам, которые представят аппаратные и/или программные решения для любой или всех основных сетевых подсистем 5G. Эти решения должны соответствовать стандарту 3GPP Release 15 и спецификациям альянса O-RAN по таким позициям, как распределенные (дистанционные) радиоблоки (Distributed Unit, DU), центральные блоки (CU) и радиоблоки (RU) [8].

Продажи 5G-смартфонов впервые превысили продажи 4G-смартфонов

По данным международного ресурса Counterpoint Research, доля смартфонов с поддержкой 5G в продажах на мировом рынке в январе 2022 года впервые превысила долю 4G-смартфонов (рис. 1). Основными факторами роста доли 5G-смартфонов стал высокий спрос на них в КНР, Северной

Америке и Западной Европе. Наивысшей доли в продажах 5G-смартфоны достигли в КНР – 84%. Этому способствовали готовность китайских операторов связи и ведущих производителей комплектного оборудования (ОЕМ) из разных стран поставлять потребителям 5G-смартфоны по конкурентоспособной цене. Доли 5G-смартфонов в продажах на рынках Северной Америки и Западной Европы достигли 73 и 76% соответственно. В Северной Америке и Западной Европе доминирует корпорация Apple с долей продаж более 50% и 30% соответственно.

В Северной Америке и Западной Европе рост продаж 5G-смартфонов наблюдается с октября 2020 года – после того, как Apple перешла на 5G (с семейства iPhone 12). Ожидается, что эти регионы продолжат вносить существенный вклад в мировые продажи 5G-смартфонов, так как существует огромный и постоянный спрос на обновление 5G-трубок среди сторонников ОС iOS, даже без улучшения их характеристик. Этот спрос также стимулируется пользователями iPhone предшествующего поколения, готовых к переходу на новые приборы после многолетнего использования трубок этой марки.

Благодаря тому, что корпорации MediaTek и Qualcomm предлагают доступные по цене ИС, 5G-смартфоны на базе ОС Android вошли в ценовой сегмент от среднего до высокого (250–400 долл.) и сейчас снижаются до ценового диапазона от 150–250 долл. (на этот диапазон в январе 2022 года приходилась 1/5 продаж 5G-смартфонов).

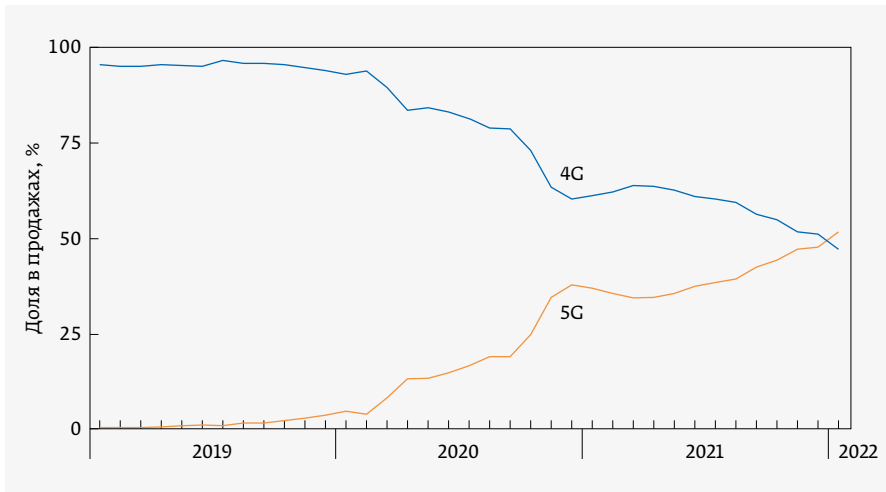


Рис. 1. Динамика насыщенности рынков 5G- и 4G-смартфонов в период с января 2019 года по январь 2022 года. Источник: Counterpoint, Jan 2022

Следующими приоритетными регионами для OEM по увеличению продаж 5G-трубок и инфраструктурного оборудования являются страны АТР, Ближнего Востока и Латинской Америки. Для этих регионов предпочтительны модели 5G-смартфонов в ценовом сегменте ниже 150 долл., где в настоящее время доминируют 4G-смартфоны.

Сейчас бюджетные «системы-на-кристалле» (SoC) для 5G-смартфонов стоят более 20 долл. Как только цена снизится ниже этой планки, сегмент бюджетных 5G-смартфонов резко расширится [9].

5G-сети и гиперразмерные вычисления

Несмотря на встречающиеся противопоставления технологий 5G и гиперразмерных вычислений, они на деле представляют собой то, что можно назвать «абсолютно облачным союзом». Набор функциональных возможностей массовой межмашинной связи (massive machine type communication, mMTC) 5G-технологий позволяет частным сетям и сетям общего пользования поддерживать работу до миллиона приборов на квадратный километр. Специалисты исследовательской корпорации IDC (Фреймингем, шт. Массачусетс) рассматривают это как одну из причин того, как и почему Интернет вещей (IoT) и другие подключаемые (к сетям) приборы и устройства будут к 2025 году генерировать около 73 зеттабайт (10^{21} байт) данных ежегодно.

Все эти данные должны куда-то поступать для анализа и принятия мер, и здесь на помощь приходят операторы центров гиперразмерных вычислений (гиперразмерных ЦОД). Само название отражает как масштаб охватываемых ими объектов (по крайней мере 5 тыс. серверов в здании площадью 929,03 м³ или больше), так и их способность быстро расширяться для удовлетворения спроса. Последнее включает в себя или горизонтальное масштабирование за счет добавления оборудования и площади, или вертикальное

масштабирование за счет улучшения пропускной способности и эффективности с использованием существующего оборудования.

Интернет вещей преобразует практически все аспекты проектирования и функционирования электронной техники. Технологии 5G развивают и расширяют эту тенденцию за счет использования гигабитных скоростей, снижения до сверхнизких значений времени ожидания, mMTC-подключений, формирования лучей со сверхуплотнением и других более перспективных функций. Технологии 6G предложат еще большие возможности за счет терагерцовых частотных диапазонов, Интернета космических вещей и Интернета бионановещей. Все

это будет управляться самыми передовыми системами искусственного интеллекта (ИИ). Тем не менее, достигнуть реализации полного потенциала всего этого без гиперразмерных вычислений будет невозможно.

Подобно тому, как операторы 5G-сетей и услуг предоставляют наборы функциональных возможностей mMTC, мобильной широкополосной связи с расширенными возможностями (enhanced mobile broadband, eMBB) и сверхнадежной связи с низким временем ожидания (ultra-reliable low-latency communications, URLLC), операторы гиперразмерных ЦОД обладают собственными технологиями нового поколения, позволяющими справляться с беспрецедентными нагрузками Интернета вещей. Например, 800G оптические приемопередатчики обеспечивают увеличение пропускной способности межсоединений ЦОД между ЦОД, а также между ЦОД и интеллектуальными центрами краевых вычислений в два или четыре раза. Распределенные краевые вычисления играют ключевую роль, поскольку они сокращают время ожидания в системе, приближая приложения пользовательского уровня и сетевые функции к приборам и устройствам Интернета вещей. Это также идеальная область для внедрения перспективных методов аналитики и автоматизации ИИ.

Операторы 5G-сетей и центров гиперразмерных вычислений: новые приложения и варианты использования

Объединение возможностей 5G-сетей (а затем и 6G-сетей) и операторов гиперразмерных ЦОД позволяет создавать различные приложения следующего поколения, которые были бы непрактичны или невозможны при использовании старых технологий. Такое объединение позволит наиболее полно реализовать потенциал таких систем, концепций и приложений, как перспективные системы помощи

Таблица 2. Новые приложения и варианты использования, обеспечиваемые объединением возможностей операторов 5G-сетей и центров гиперразмерных вычислений

Приложение/ вариант использования	Описание преимуществ приложения/ варианта использования
ADAS	ADAS, благодаря обмену данными с другими источниками, выходит за рамки существующих приложений, таких как автоматическое торможение, обнаружение слепых зон и системы предотвращения столкновений. Например, связь типа «транспортное средство – сеть» и «транспортное средство – инфраструктура» повышают безопасность и улучшают управление транспортными потоками, предупреждая водителей о различных препятствиях (обломки, посторонние предметы, иные помехи) на проезжей части или гололеде задолго до того, как они смогут их увидеть. Это предварительное предупреждение особенно ценно для тягачей с полуприцепом или машин с шарнирно-сочлененной рамой (в том числе автономных), поскольку более крупным транспортным средствам требуется больше времени для остановки или смены полосы движения. В этих сценариях важна каждая секунда, и функция URLLC, обеспечиваемая 5G, решает эту проблему с задержкой до миллисекунды. Инфраструктура гиперразмерных вычислений может использовать ИИ для анализа данных, поступающих с датчиков автомобиля, а затем выдавать предупреждения всем находящимся поблизости водителям – людям или автономному транспорту
Industry 4.0 [*]	Концепция Industry 4.0 позволяет использовать возможности 5G, такие как mMTC, для поддержки десятков тысяч узлов Интернета вещей по всему предприятию, включая промышленных роботов, автономных обработчиков материалов и датчики, которые обнаруживают чрезмерную вибрацию, нагрев и другие значимые факторы. Это позволяет осуществлять техническое обслуживание по текущему состоянию, основанное на прогнозировании запаса надежности. Реализуемые 5G-технологиями функции eMBB и URLLC помогают обеспечить высокую пропускную способность и низкое время ожидания, соответственно, для быстрой передачи этих огромных объемов данных в частное краевое облако для анализа и принятия мер. Эти высокие уровни интеллекта и автоматизации также позволяют автоматизированным заводам с малым числом людей или вообще без них работать с выключенным освещением
Автономные ЦОД	Подобно автоматизированным заводам с отключенным освещением, ЦОД следующего поколения – особенно краевые – будут в подавляющем большинстве автономными (т. е. с малым числом персонала или вообще без него). Эта новая модель помогает ускорить вертикальное масштабирование ЦОДов Интернета вещей с необходимой для них «сетевой нарезкой» ^{**} . Такие ЦОД будут использовать в реальном масштабе времени те же технологии 5G IoT очувствления ^{***} и удаленной автоматизации, которые помогают переопределить/пересмотреть функционирование производственных предприятий, портов, торговых центров и городов. Роботы или беспилотные/радиоуправляемые приборы/системы смогут эффективно выполнять важные задачи обследования/контроля состояния ЦОД, в то время как URLLC можно использовать для постановки в очередь автоматических заявок в диспетчерские службы. Подобно интеллектуальным портовым датчикам в морских контейнерах, стратегически размещенные в ЦОД датчики температуры и влажности могут передавать важные данные об окружающей среде для автоматизации и ускорения настройки оборудования и систем кондиционирования
Приложения метавселенной ^{****}	По данным исследовательской фирмы Emergen Research (Суррей, Канада), объем мирового рынка приложений метавселенной в 2020 году составил 47,69 млрд долл. и, как ожидается, достигнет 828,95 млрд долл. в 2028 году. CAGR данного рынка на период с 2021 года по 2028 год прогнозируется на уровне 43,3%. Эта амбициозная новая эра мини-интернета и приложений дополненной реальности/виртуальной реальности будет в значительной степени зависеть от снижения времени ожидания, предельного увеличения плотности передаваемых данных и пропускной способности в десятки гигабайт на прибор/устройство, роста скорости краевых вычислений и емкости хранения данных. Это будет новый рубеж краевых гиперразмерных вычислений

^{*} Industry 4.0 (The Fourth Industrial Revolution) – 4-я промышленная революция, концепция ожидаемого массового внедрения киберфизических систем в производство и обслуживание человеческих потребностей, включая быт, труд и досуг. Также это производственная сторона, эквивалентная ориентированному на потребителей Интернету вещей. Одним из существенных аспектов Industry 4.0 является идея «сервис-ориентированного проектирования» (от пользователей, использующих заводские настройки для производства собственных продуктов, до компаний, которые поставляют индивидуальные продукты индивидуальным потребителям).

^{**} network slicing – «сетевая нарезка», возможность логической нарезки инфраструктуры 5G-сети на сетевые слои, ориентированные на разные бизнес-приложения и разные технологии радиодоступа. В свою очередь эти слои могут быть отдельно оптимизированы под различные требования скоростей передачи данных различными технологиями радиодоступа.

^{***} sensing technology – технология очувствления [роботов], направление научных исследований, цель которых – добиться приближения возможностей роботов (по восприятию сигналов внешнего мира при помощи различного рода датчиков) к человеческим способностям.

^{****} Metaverse – Метавселенная, постоянно действующее виртуальное пространство, в котором люди могут взаимодействовать друг с другом и с цифровыми объектами через свои аватары, с помощью технологий виртуальной реальности.

водителю (ADAS), Industry 4.0, автономные ЦОД и приложения метавселенной (табл. 2).

Новые технологии – новые проблемы

Для претворения в жизнь вышеописанных возможностей и других преимуществ предстоит проделать большой объем работ. Так, ограничения ресурсов, связанные с гиперразмерными вычислениями, подчеркивают проблемы масштабируемости по мере расширения внедрения 5G-технологий и экспоненциального роста спроса на телекоммуникационные приложения, приложения провайдеров интернет-контента (Internet Content Provider, ICP) и приложения для хранения больших данных. При этом несмотря на наличие таких инноваций, как 800G межсоединения ЦОД, дальнейшее горизонтальное масштабирование все более становится физически и экологически неустойчивым.

Развертывание каждого нового ЦОД или расширение уже существующих требуют, в частности, пропорционального увеличения числа оптоволоконных линий и соединений, что приводит к дополнительному повреждению волокон, другим отрицательным моментам. Это, в свою очередь, может привести к сбоям в обслуживании, дорогостоящему ремонту, а также серьезным штрафам за нарушение соглашений об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA). Действительно, организации, занимающиеся прокладкой и обслуживанием оптоволоконных линий/соединений тратят до 20% своего времени на устранение неполадок, а проблемы с межсоединениями ЦОД печально известны высокими средними затратами на ремонт и восстановление.

Кстати, SLA – это не просто договор об уровне предоставляемого сервиса между фирмой-провайдером и организацией-клиентом. Главное отличие SLA от обычного договора – подробное описание уровня доступности сервиса и времени реакции на инциденты. Основное достоинство – прозрачность, обеспечиваемая снижением числа размытых формулировок, которые можно было бы двояко истолковывать. Это позволяет пользователям услуг и фирмам-провайдерам общаться на одном языке и оперировать одними и теми же терминами.

Некоторые из наиболее сложных проблем функционирования гиперразмерных ЦОД в ближайшие годы будут обусловлены нарастанием сложности распределенных, деагрегированных и облачных 5G-сетей (рис. 2). В соответствии с теорией тройственной ограниченности^{*}, затраты на ЦОД будут продолжать расти до тех пор, пока тенденции

^{*} triple constraint theory – теория (концепция) тройственной ограниченности (другие названия: «Треугольник управления проектом», «Железный треугольник», «Треугольник проекта») описывает баланс между такими ограничениями при реализации проекта, как его содержание, стоимость и время (позднее как неотъемлемая часть было добавлено качество). Графически представляется треугольником ограничений, изменение одной из сторон которого влияет на другие стороны.

увеличения их масштаба и сложности будут развиваться также, как в настоящее время. Например, виртуализированные сети радиодоступа (RAN), методы массового применения технологии MIMO^{**} и формирование луча антенны^{***} – все это предоставляет предприятиям и другим конечным пользователям огромные преимущества. Но эти технологии также еще больше усложняют тестирование радиочастотной и сетевой производительности, создавая новые проблемы анализа спектра, демодуляции и SLA-соответствия.

Для преодоления подобных проблем и обеспечения достижения конвергенцией технологий 5G- и гиперразмерных вычислений полной реализации заложенного в нее потенциала, необходимо бесшовное упорядочение «сетевой нарезки» в каждом вертикально масштабируемом ЦОД. Эта крупная проблема, и она в корне отличается от существующей практики, любых изолированных подходов к управлению сетью (в т. ч. связанных с ручным вводом данных в одну систему, а потом, этих же данных – в другую систему – swivel-chair approach). Устаревшие способы тестирования и обеспечения безопасности ЦОД и сетей противоречат целям полностью автоматизированных и программируемых «сетевой нарезки» и краевых вычислений. Критические варианты использования Интернета вещей 5G не оставляют права на ошибку в отношении надежности и SLA-соответствия.

Итак, что конвергенция 5G-технологий и гиперразмерных вычислений открывает многообещающие перспективы для бизнеса, городов, потребителей и многого другого. Но для реализации этих перспектив потребуется много усилий [10].

Особенности момента

Как известно, 5G-технологии развиваются двумя параллельными путями. Первый и промежуточный (эволюционный) вариант 5G работает на частотах менее 6 ГГц и совместим с существующей инфраструктурой 4G LTE. Другой (автономный) вариант предполагает использование волн миллиметрового диапазона – 5G mmWave. Это связь с большим потенциалом, но меньшим покрытием, а также более высокой стоимостью развертывания (большее число базовых станций, точек доступа и т. д.). Внедрение 5G mmWave

^{**} MIMO (Multiple Input Multiple Output) – метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, в котором передача данных и прием данных осуществляются системами из нескольких антенн. Передающие и приемные антенны разносят так, чтобы корреляция между соседними антеннами была слабой.

^{***} beamforming (или beam forming) – «формирование луча», технология формирования адаптивной диаграммы направленности; технология, подразумевающая формирование электромагнитного поля антенны базовой станции в дальней зоне в виде узконаправленного главного лепестка, ориентированного в сторону абонентского устройства с возможностью изменения направленных свойств при изменении положения этого оборудования.



РОССИЙСКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ **S50244 S50444**

Диапазон частот от 0,01 до 44 ГГц
Динамический диапазон 125 дБ на 40 ГГц
Выходная мощность от -50 до 0 дБм
Полоса ПЧ от 1 Гц до 2 МГц



Измерение импульсных сигналов
Измерение балансных цепей
Измерения с переносом частоты
Измерения в волноводах

Автоматическая калибровка
Автоматическое исключение осанстки
Временная область
Временная селекция



ACM2544

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КАЛИБРОВОЧНЫЙ МОДУЛЬ
10 МГц - 44 ГГц
тракт 2,4 / 2,92 мм

planarchel.ru
+7 (351) 729-97-77
welcome@planarchel.ru

СЕРИЯ КОМПАКТ

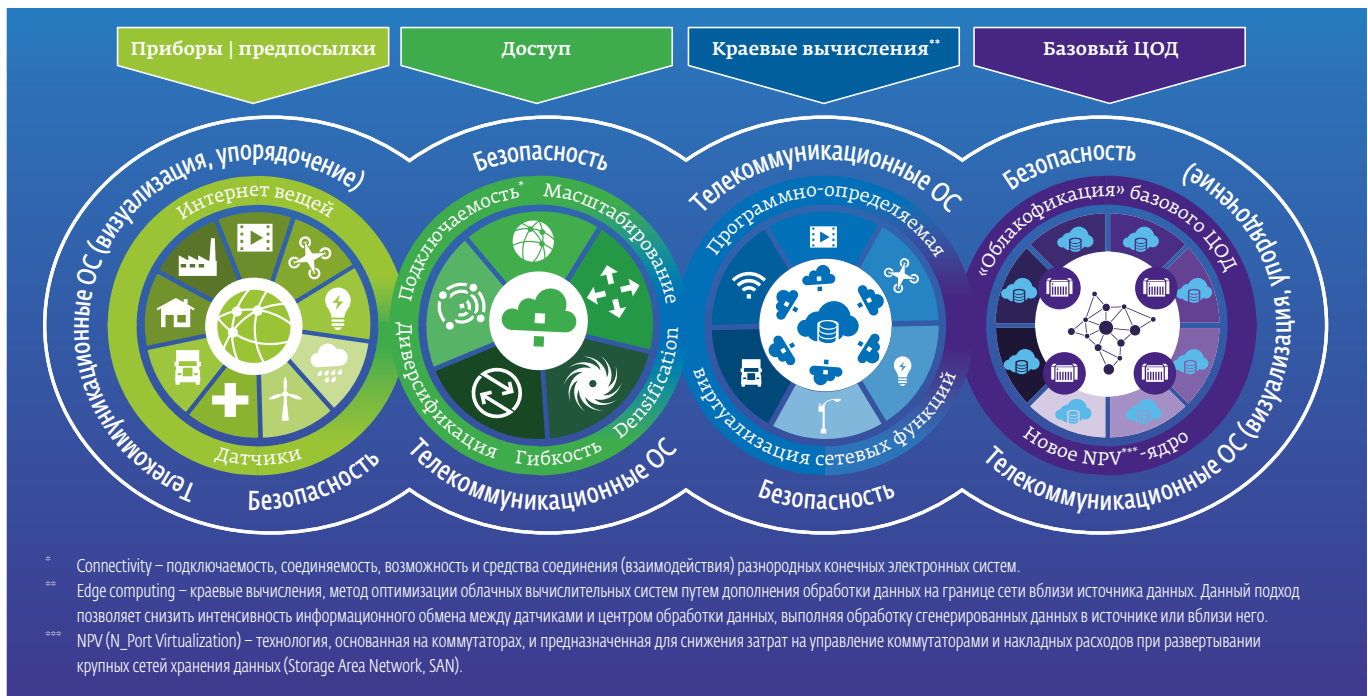


Рис. 2. Процесс сетевой «облакофикации»*. Источник: Viavi Solutions

сетей – это реализация действительно преобразующей технологии, в которой воплощается революционный потенциал 5G-технологии. Она характеризуется каналами с пропускной способностью от 100 МГц, обширным пространством агрегации несущих, возможностью использования массового MIMO и улучшенного формирования луча.

Особенностей текущего момента как минимум две: во-первых, доля продаж 5G-смартфонов уже в январе текущего года превысила долю продаж 4G-смартфонов; во-вторых, развитие автономных 5G-сетей начало демонстрировать более высокие темпы, чем сетей, совместимых с 4G LTE. По сравнению с прогнозами трехлетней давности [11], сейчас считается, что достижение паритета численности абонентов 5G-сетей и сетей предшествующих поколений, вместе взятых, наступит не в 2027, а в 2025 году. Аналогично ближе сдвигаются и сроки достижения паритета по охвату и числу развернутых сетей вариантов 5G-«эволюция» и 5G mmWave.

Во второй части статьи будут рассмотрены некоторые аспекты разработки технологии 6G-связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Макушин М.** Битва за будущее микроэлектроники // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2021. № 2 (00203). С. 114–126.
2. **Manners D.** 2G and 3G to be phased out by 2033 and O-RAN to take 35% of UK network by 2030 // Electronics Weekly. 8th December. 2021.
3. **Bush S.** 5G small cell trial for City of London. Electronics Weekly, 20th May 2022.
4. **Manners D.** China and Europe dominate base station market // Electronics Weekly. 29th July. 2021.
5. **Manners D.** 624m 5G phones to be sold in 2021 // Electronics Weekly. 21st June. 2021.
6. 5G Forecast: 1.3 Billion by Year-End 2022 // Microwave Journal. March 24. 2022.
7. Global 5G SA Infrastructure Market to Exceed \$112B by 2027 // Microwave Journal. February 16. 2022.
8. **Manners D.** US DoD O-RAN Design Challenge // Electronics Weekly. 11th April. 2022.
9. **Chauhan K.** Global 5G Smartphone Sales Penetration Surpassed 4G for First Time in January 2022 // Counterpoint. March 16. 2022.
10. **Sameh Yamany.** Hyperscalers and 5G: Collision or Collusion? // EE Times. 02.28.2022.
11. **Макушин М.** Аспекты развития 5G-сетей // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. №6 (00187) С. 100–112..
12. **Nitin Dahad.** Apple Gets in on 6G Definition Race // EE Times. 02.21.2021.
13. **Макушин М.** Маршрутная карта развития 6G-технологий // Экспресс-информация по зарубежной электронной технике. Электронная версия. Выпуск 15 (6714) от 6 августа 2020 г. С. 4–11.
14. **Макушин М.** Маршрутная карта развития 6G-технологий // Экспресс-информация по зарубежной электронной технике. Электронная версия. Выпуск 16 (6715) от 20 августа 2020 г. С. 4–11.
15. **Manners D.** China leads in 6G patents // Electronics Weekly. 17th September. 2021.



Разработка и производство конденсаторов

оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98, K50-99, K50-100, K50-101(чип), K50-102, K50-103, K50-104, K50-105, K50-106

объемно-пористые танталовые конденсаторы

K52-1, K52-1M, K52-1BM, K52-1B, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24, K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28, K52-29, K52-30

оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

K53-1A, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-69(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип), K53-78(чип), K53-82

суперконденсаторы (ионисторы)

K58-26, K58-27, K58-28, K58-29, K58-30, K58-31, K58-32, K58-33

накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001

