

Конструктивно- технологические особенности средств связи

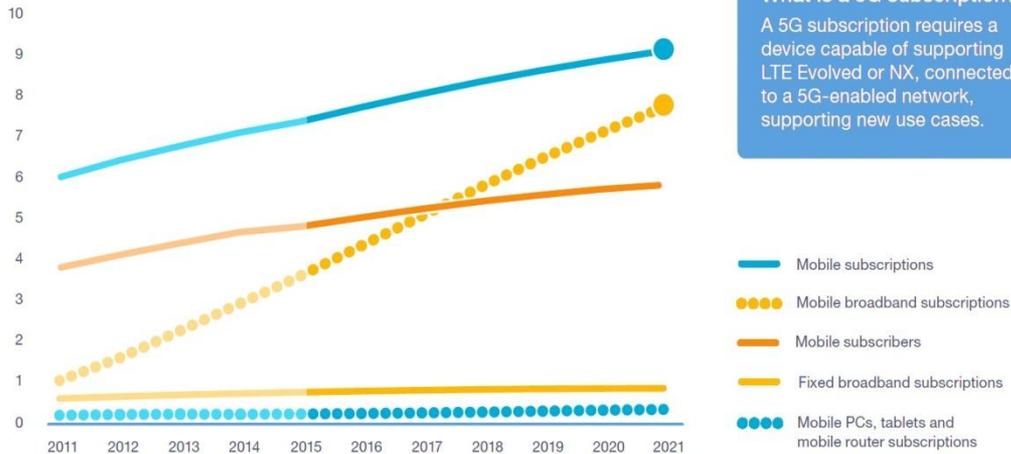
**Развитие систем подвижной связи к
5G**

Лекция 6

Лектор: Ярлыкова С.М.

Развитие мобильных сетей

Subscriptions/lines, subscribers (billion)

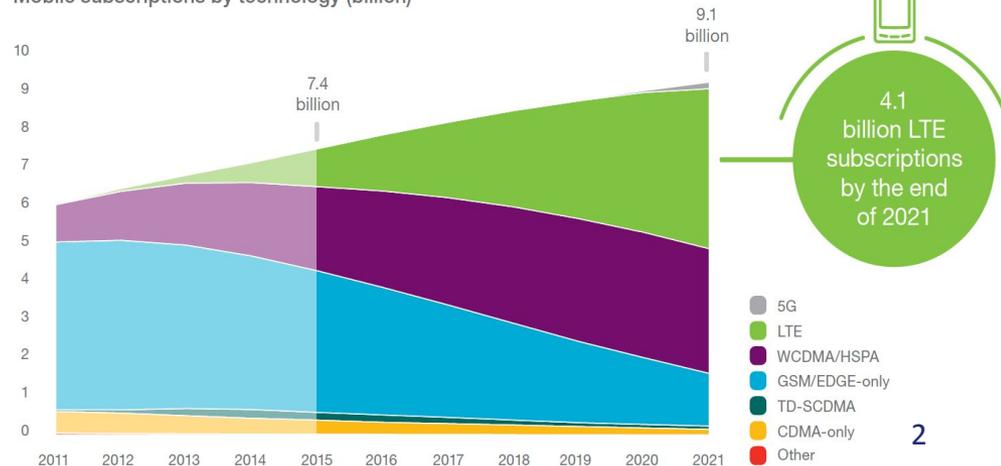


¹ The number of fixed broadband users is at least three times the number of fixed broadband connections, due to multiple usage in households, enterprises and public access spots. This is the opposite of the mobile phone situation, where subscription numbers exceed user numbers

Основной сегмент, влияющий на увеличение объема трафика – данные с мобильных устройств. Количество абонентов в 2021 году – более 8 млрд.

Внедрение сетей 5G будет происходить быстрее, чем 4G. Согласно документу МСЭ Futuristic mobile technologies foresee “IMT for 2020 and beyond” сети 5G обеспечат улучшение мобильной широкополосной связи и более широкий спектра слуг, в том числе и для Интернета вещей (IoT). Ожидается, что на коммерческие сети 5G будут развернуты не позднее 2020 г.

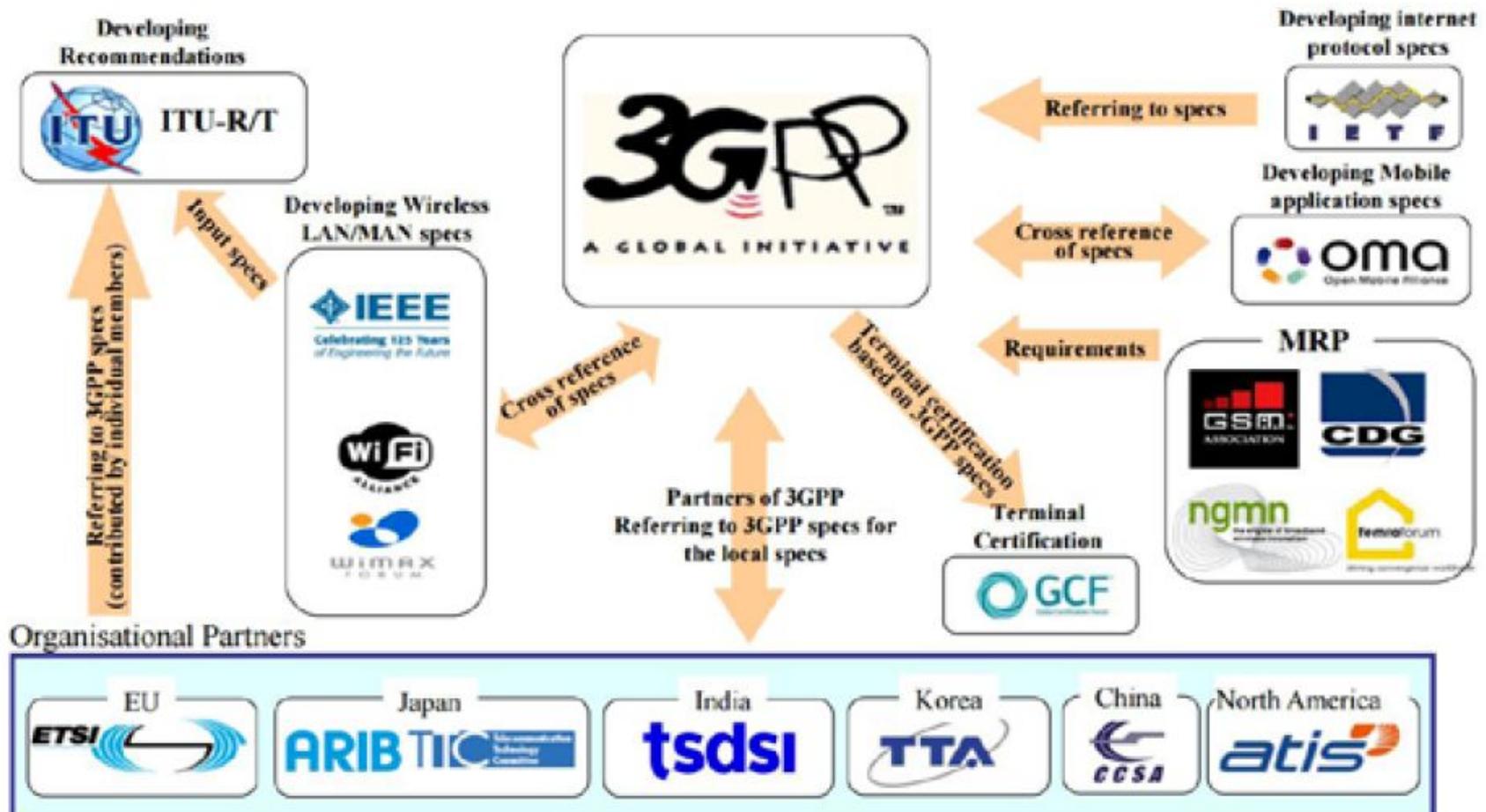
Mobile subscriptions by technology (billion)



Social IoT



Организации, занимающиеся стандартизацией 5G



Стандартизация 5G 3GPP

- 3GPP Release 13 - Оптимизации опорной сети для поддержки устройств Cellular IoT (CIoT)
- 3GPP Release 14 - Усовершенствования механизма выбора выделенных опорных сетей (eDECOR)
- 3GPP Release 14 - Разделение плоскостей управления и пользовательских данных на узлах EPC (CUPS)
- 3GPP Release 15 - Сервисные требования к системе 5G и системная архитектура 5G
- 3GPP Release от 13 до 15 - Усовершенствования в области радиодоступа

Технические требования к 5G

Скорость
передачи данных

Рост в 10–100 раз в расчёте на абонента — до 10 Гбит/с (UL) и до 5 Гбит/с (DL) .

Потребляемый
трафик абонента

Рост в 1 000 раз — до 500 Гб на пользователя в месяц.

Количество
абонентских уст-в

Увеличение количества подключаемых абонентских устройств сотовой сети в 10–100 раз (до 300 000 на узел). Рост M2M устройств с 50 млрд. до 500 млрд.

Срок жизни
батарей

Десятикратное увеличение времени автономной работы абонентских устройств с небольшим энергопотреблением, таких как сенсоры M2M.

Задержки в сети

Сокращение времени задержки в цепочке E2E с 5 мс до 1 мс и менее.

Энергоэффектив-
ность и OPEX

Снижение стоимости эксплуатации и энергопотребления сетей 5G до 10% от текущего потребления сетей 4G.

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Сверхширокополосная мобильная связь (eMBB)	Передача видео со сверхвысоким разрешением (4K, 8K), 3D видео (в т.ч. широковещательные услуги)	Сверхвысокая скорость радиосоединения, низкая задержка (видео реального времени). Задержка ≤ 200 мс	1. LTE Advanced - возможно при невысокой концентрации абонентов (суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²) 2. От 100 Гбит/с/км ² до 1000 Гбит/с/км ² – только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Виртуальная реальность (применение VR в производстве, телеприсутствие и прочие VR-сервисы). Дополненная реальность	Сверхвысокая скорость радиосоединения, сверхнизкая задержка	1. LTE Advanced - возможно при невысокой концентрации абонентов (суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²) и требованиях по задержке до 7 мс. 2. Требования по скорости свыше 4 Гбит/с и задержке ≤ 2 мс – только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Тактильный интернет	Сверхнизкая задержка	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Игры в облаке (VR-сервисы с коммуникациями)	Сверхвысокая скорость радиосоединения. Низкая задержка ≤ 7 мс	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Мобильная «последняя миля» - альтернатива оптической линии связи до квартиры	Высокая скорость радиосоединения до 150 Мбит/с	LTE Advanced - возможно при невысокой концентрации абонентов (суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²)	Ограниченное
	Беспроводная связь в высокоскоростных поездах	Скорость до 500 км/ч. Задержка ≤ 10 мс	LTE Advanced - возможно	Отдельные транспортные артерии
	Услуги передачи данных в условиях высокой концентрации абонентов	Суммарная пропускная способность до 100 Гбит/с/км ²	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Сверхнадежная связь (URLLC)	Критически важные приложения (работа в опасных средах, спасательные миссии)	Высокая или сверхвысокая надежность и высокая скорость радиосоединения, низкая или сверхнизкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, возможность преодоления препятствий	1. Дроны (наблюдение, доставка) - возможно LTE Advanced 2. Дроны, спасательные роботы (real-time - поиск людей, тушение пожаров и пр.) - только сети 5G/IMT-2020	Региональное или федеральное
	Поддержка транспорта. Требуется непосредственное участие водителя (прямые коммуникации между устройствами, предиктивная аналитика движения, оповещения об опасных ситуациях, анализ плотности трафика)	Высокая надежность и высокая скорость радиосоединения, низкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстро движущихся объектов и наличия препятствий	Частичная автоматизация транспортной системы - возможно LTE Advanced	Региональное или федеральное
	Беспилотный транспорт (полнофункциональная интеллектуальная поддержка транспортной системы, в том числе автоматизация вождения)	Сверхвысокая надежность и высокая скорость радиосоединения, сверхнизкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстро движущихся объектов и наличия препятствий	Только сети 5G/IMT-2020	Региональное или федеральное

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Массовая межмашинная связь (МIoT)	Подключенные счетчики воды, электроэнергии и пр.	Возможность преодоления препятствий	LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км.	Региональное или федеральное
	Умный дом (подключенные бытовые устройства и пр.)	Возможность преодоления препятствий	LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км.	Региональное или федеральное
	Умный офис	Функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, возможность преодоления препятствий, высокая надежность	LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км.	Региональное или федеральное
	Умный город (системы видеонаблюдения и пр.)	Работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстродвижущихся объектов и наличия препятствий, высокая надежность радиосоединения, возможность преодоления препятствий	1. LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км. 2. Полномасштабный «Умный город» в крупных городских агломерациях с высокой плотностью населения – только сети 5G/IMT-2020	Городское
	Сенсорные сети (промышленные, коммерческие и т.д.)	Работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстродвижущихся объектов и наличия препятствий, Mesh сеть	1. LTE Advanced - возможно – до 100 тыс. устройств на кв. км. 2. Сценарии со сверхвысокой концентрацией датчиков IoT в отдельных зонах (производство, инфраструктура) – только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное

Тип услуг	Применение	Основные требования	Возможность предоставления на сетях LTE Advanced	Требования к покрытию
Массовая межмашинная связь (MIoT)	Удаленный контроль перевозок (мониторинг транспортных средств)	Работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций, работа в условиях быстро движущихся объектов и наличия препятствий	LTE Advanced - возможно	Региональное или федеральное
Сверхнадежная связь (URLLC)	Частичная промышленная автоматизация, мониторинг и контроль	Надежность и высокая скорость радиосоединения, низкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций	1. Удаленный контроль производственного оборудования и объектов - возможно LTE Advanced 2. Smart Grid – («умные» сети) - управление производством, передачей и потреблением электроэнергии - возможно LTE Advanced	Региональное или федеральное
	Полная промышленная автоматизация, в том числе управление ключевыми энергетическими объектами, удаленно управляемое оборудование	Сверхвысокая надежность и высокая скорость радиосоединения, сверхнизкая задержка, работа на коротких и длинных дистанциях, функционирование в условиях чрезвычайных ситуаций	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное
	Критически важные приложения. Электронное здравоохранение (удаленная хирургия при помощи роботов и др.)	Сверхвысокая надежность и высокая скорость радиосоединения, низкая или сверхнизкая задержка	Только сети 5G/IMT-2020	Ограниченное

Предлагаемые диапазоны частот

Диапазон	Применение
700 МГц	Интернет вещей, mMTC,
3400-3800 МГц	IoT
24,25 – 27,5 ГГц	Для подключения пользователей

Частотные диапазоны

Тип услуг 5G/ IMT-2020	Высокоуровневые требования	Возможные вопросы, связанные со спектром	Оптимальные частотные диапазоны
Усовершенствованная подвижная широкополосная связь (eMBB)	Сверхвысокоскоростные радиоканалы	Сверхширокие полосы несущих	24 ГГц и выше
	Высокоскоростные радиоканалы	Широкие полосы несущих	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
	Устойчивость к большому Допплеровскому сдвигу	Зависит от требований к емкости	Все диапазоны
	Сверхмалая временная задержка	Приложения малого радиуса действия	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц, 24 ГГц и выше
	Малая временная задержка	Приложения среднего радиуса действия	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
	Сверхвысоконадежные радиоканалы	Существенное влияние атмосферных осадков на надежность outdoor радиоканалов мм- диапазона	Ниже 1 ГГц, 3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
Сверхнадежная передача данных с малой задержкой (URLLC)	Малый радиус действия	Использование радиочастот мм-диапазона	24 ГГц и выше
	Средний радиус действия	-	3,4-3,8 ГГц, 4,4-4,99 ГГц
	Преодоление препятствий радиосигналом на своем пути	-	Ниже 1 Гц
Крупномасштабные системы межмашинной связи (MTC)	Работа в cluttered environment	Доминирование дифракции в низких и отражений в высоких частотных диапазонах	Все диапазоны
	Работа около быстро движущихся препятствий	Каналы с частотно избирательным замиранием (фейдингом)	Предпочтительные частоты ниже 4 ГГц
	Mesh networking	Высокоскоростной распределенный беспроводной backhaul, работающий	Выше 24 ГГц

Сервисные требования к системе 5G

- Выделенные опорные сети (Network Slicing)
- Разнообразиие подходов к управлению мобильностью
- Несколько технологий доступа
- Приоритетное обслуживание, QoS и динамическое управление правилами обслуживания
- Экспонирование сетевых возможностей третьим сторонам через API
- eV2X - Enhanced Vehicle-to-Everything : •Connected Car, включая V2Vehicle (V2V), V2Infrastructure (V2I), V2Network (V2N), V2Pedestrian (V2P)
- Одновременное присоединение терминалов к нескольким сетям и предоставление сервиса через сети разных операторов

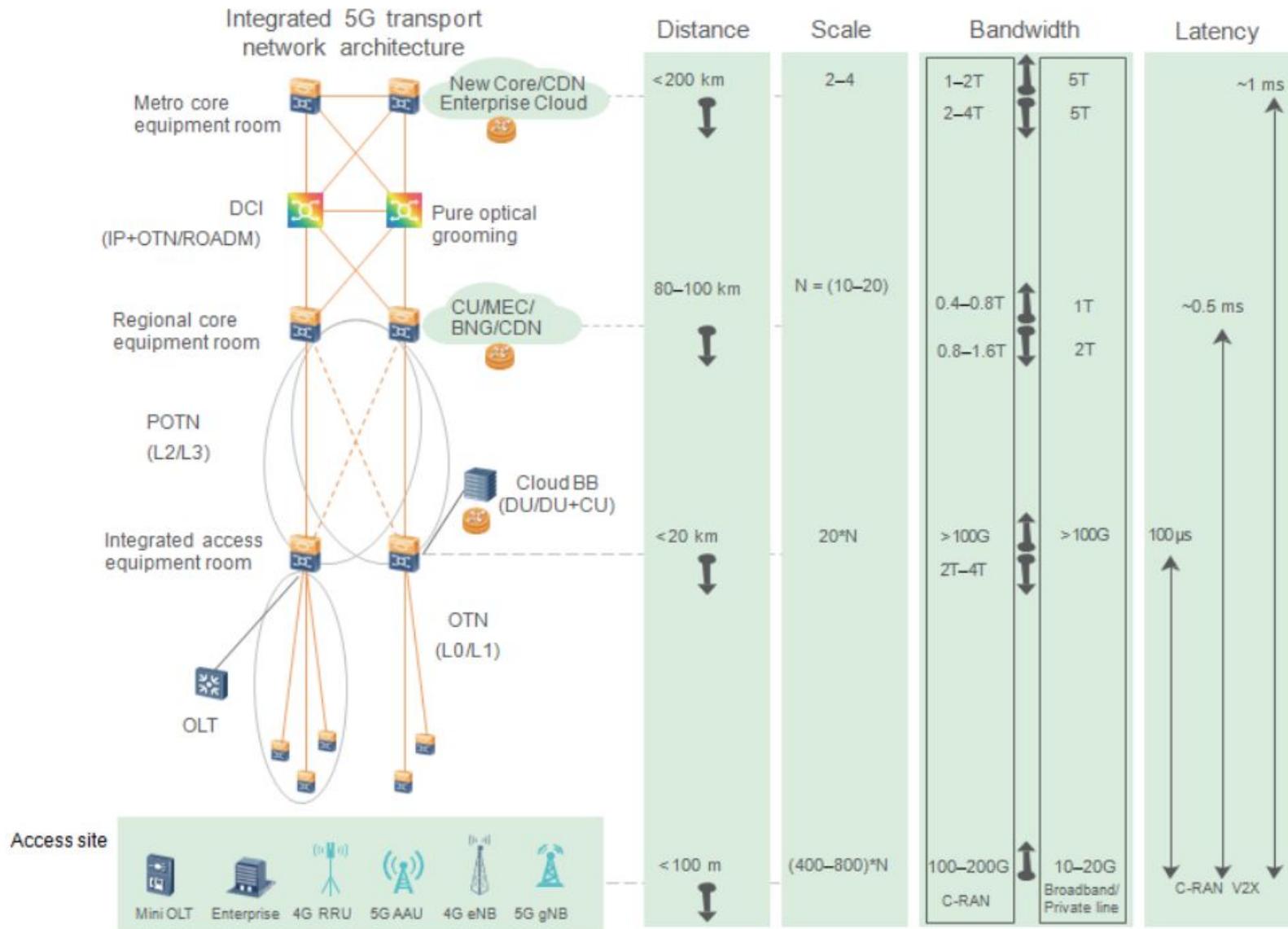
Сервисные требования к системе 5G (2)

- Эффективное использование сетевых ресурсов
- Эффективный путь передачи данных
- Эффективная доставка контента
- Глубокая осведомленность об условиях - Context Aware Network
- Гибкие услуги широковещательной и многоадресной рассылки
- Эффективность энергопотребления
- Сверхглубокое радиопокрытие в малонаселенных районах
- Выбор сети доступа 3GPP

Архитектура 5G

- Согласно указанным документам сеть связи 5G состоит из следующих основных компонентов:
 - абонентского оборудования с USIM-картами,
 - сети радиодоступа (RAN), включая сеть backhaul и fronthaul1 ,
 - ядра сети (5GC).

Архитектура конвергентной сети 5G



Особенности радиоинтерфейса 5G

- применение сигналов с большей шириной спектра (до 100 МГц в диапазоне до 6 ГГц и до 400 МГц в диапазоне свыше 6 ГГц);
 - обеспечения минимальных задержек на радиоинтерфейсе за счет возможности увеличения частоты следования временных слотов кадровой структуры, за счет модификации протокола управления радиоресурсами;
 - применения адаптивного к нагрузке временного дуплекса;
 - применения более эффективных помехоустойчивых кодов;
 - использования активных антенных систем миллиметрового диапазона с большим количеством элементов, узкой диаграммой направленности излучения и высокой избирательностью;
 - реализации индивидуальных сценариев использования ресурсов полосы частот канала NR для абонентских терминалов различных типов и производительности (широкополосных/узкополосных абонентских терминалов WB/NB UE, абонентских терминалов с агрегацией несущих CA UE).

Особенности радиоинтерфейса 5G

- 1. Усовершенствованные формы сигналов, модуляция и кодирование, схемы многостанционного доступа:
- - фильтрованное OFDM (FOFDM);
- - модуляция с множеством несущих с использованием банка фильтров (FBMC);
- - многостанционный доступ с разделением по шаблону (PDMA);
- - многостанционный доступ на основе разреженных кодов (SCMA);
- - многостанционный доступ с разделением на основе перемежения (IDMA) и распределение по несущим с низкой плотностью (LDS).

На данном этапе стандартизации технологии 5G/IMT-2020 (3GPP релиз 15), в качестве метода мультиплексирования принят метод CP-OFDM (Cyclic-Prefix Orthogonal Frequency Division Multiplexing) на канале "вниз" (DL) и CP-OFDM с DFT или без в канале "вверх" (UL).

Особенности радиоинтерфейса 5G

- Антенные технологии:
 - - формирование трехмерного луча FD-MIMO (3D beamforming);
 - - активная антенная система (AAS) с решеткой излучателей;
 - - усовершенствованные системы с многоканальным входом/многоканальным выходом (massive и multi user MIMO).
- 3. Гибкость при использовании спектра:
 - - агрегация несущих с различным дуплексом (TDD и FDD);
 - - двухканальное подключение, в том числе и в мультистандартной сети;
 - - динамический TDD.
- 4. Обеспечение прямой связи между абонентскими терминалами.
- 5. Использование в микросотах схем модуляции более высокого порядка и использование эталонных сигналов с уменьшенным объемом служебной информации.

Варианты радиоинтерфейсов для СIoT

	eMTC (LTE Cat M1)	NB-IOT	EC-GSM-IoT
Deployment	In-band LTE	In-band & Guard-band LTE, standalone	In-band GSM
Coverage*	155.7 dB	164 dB for standalone, FFS others	164 dB, with 33dBm power class 154 dB, with 23dBm power class
Downlink	OFDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo Code, 16 QAM, 1 Rx	OFDMA, 15 KHz tone spacing, 1 Rx	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional), 1 Rx
Uplink	SC-FDMA, 15 KHz tone spacing Turbo code, 16 QAM	Single tone, 15 KHz and 3.75 KHz spacing SC-FDMA, 15 KHz tone spacing, Turbo code	TDMA/FDMA, GMSK and 8PSK (optional)
Bandwidth	1.08 MHz	180 KHz	200kHz per channel. Typical system bandwidth of 2.4MHz [smaller bandwidth down to 600 kHz being studied within Rel-13]
Peak rate (DL/UL)	1 Mbps for DL and UL	DL: ~50 kbps UL: ~50 for multi-tone, ~20 kbps for single tone	For DL and UL (using 4 timeslots): ~70 kbps (GMSK), ~240kbps (8PSK)
Duplexing	FD & HD (type B), FDD & TDD	HD (type B), FDD	HD, FDD
Power saving	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX
Power class	23 dBm, 20 dBm	23 dBm, others TBD	33 dBm, 23 dBm

От релиза 13 к релизу 15

Narrow Band Internet of Things (NB-IoT) 3GPP TR 45.820 V13.1.0

- NB-IoT описывает новый радиointерфейс сотовой связи, который полностью адаптирован к типовым требованиям межмашинных коммуникаций (MTC)
- NB-IoT оптимизирован для редкой и нерегулярной передачи небольших объемов данных (от нескольких десятков до сотен байт в день) и избавлен от функциональности, которая не служит этой цели
- В настоящее время NB-IoT работает только в лицензируемом спектре

Механизм выбора выделенных опорных сетей TR 23.711 V14.0.0

- Возможность обслуживания разных классов UE различными выделенными опорными сетями
- Продолжение работы 3GPP Release 13 над усовершенствованиями EPC для поддержки выделенных опорных сетей (Dedicated Core Networks, или DECOR)
- RAN использует параметр для выбора CN узла
- Основа концепции Network Slicing, работа над которой продолжается в рамках Release 15

От релиза 13 к релизу 15

Архитектура узлов с разнесенными CP и UP 3GPP TR 23.714 V14.0.0; Control and User Plane Separation of EPC nodes

Независимое масштабирование ресурсов CP и UP с тем, чтобы один элемент CP мог контролировать несколько элементов UP

- Размещение элементов UP вблизи RAN

Выгрузка не интересного оператору трафика IP в Интернет как можно ближе к RAN

Уменьшение задержек передачи данных за счет терминации 3GPP UP и предоставления сервисов IP как можно ближе к RAN

Большинство обязательных функций, например, буферизацию пакетов и др., решено сделать опциональными для UP, они могут выполняться на CP

Необходим механизм для транспорта пакетов между UP и CP

Размещение User Plane вблизи RAN

- Сохранение на UP всей текущей функциональности, включая распознавание трафика, применение правил обслуживания и тарификации, аутентификация и т.д.

Сценарии использования

- Ранняя выгрузка трафика в Интернет на границе сети - нет необходимости в доставке трафика в центральный офис
- Кэширование контента на границе сети как можно ближе к абоненту - минимальные задержки и максимальная пропускная способность

Сценарии развития

- Полностью автономная сеть (NR 5G и core 5G)
- Автономная сеть NR eNB на базе core 5G
- Наложенная сеть NR 5G на сеть LTE EPS
- Встроенная NR 5G в E-UTRA с опорной сетью 5G
- Встроенная eNB в NR 5G с опорной сетью 5G

4G EPC - пакетная опорная сеть при начальных развертываниях 5G

График запуска 5G не позволяет ждать готовности опорной сети нового поколения (Next Generation Core Network)

- LTE и EPC будут востребованы еще долгое время
- Поддержка традиционных 4G UE, а также 2G/3G UE
- Поддержка UE в роуминге
- EPC уже сейчас поддерживает основные сценарии 5G

Выпуск спецификаций EPC с усовершенствованиями для поддержки “Option 3/3a/3x” уже запланирован

- Архитектура - сентябрь 2017
- Протоколы - март 2018

