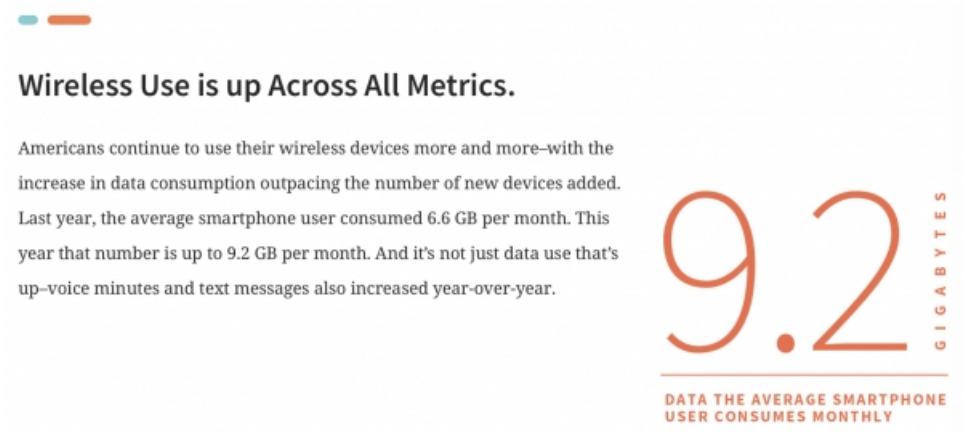
Три ключевые технологии в 5G-сетях

Шумиха вокруг 5G в основном сосредоточена на потенциале, который предлагает это поколение связи: молниеносные загрузки, минимальные задержки, и конечно новые технологии, такие как виртуальная реальность и беспилотные автомобили. Но мало кто обращает внимание на один удивительный факт, который заключается в фундаментальном технологическом прорыве, благодаря которому все это стало возможным. Три фундаментальных решения: переход в миллиметровый диапазон (mmWave), уплотнение базовых станций до малых сот (SmallCells) и создание массивов многоантенных систем (massive MIMO) определили путь развития беспроводной индустрии на следующих нескольких десятилетий.

Чтобы полностью оценить, насколько революционной станет эра 5G-сетей, и какое влияние она окажет на индустрию беспроводной связи в будущем, давайте проанализируем, что произошло за последние 10 лет. За этот период рост спектральной эффективности в глобальных сотовых сетях намного превзошел закон Купера.

Придуманный инженером, изобретателем сотового телефона, Мартином Купером, "закон" первоначально предполагал, что пропускная способность сотовых телефонных линий будет удваиваться примерно каждые 30 месяцев (то есть примерно в 16 раз за каждые десять лет).

Кроме этого, существенно возросла и скорость загрузки данных с нескольких мегабит в секунду в 2010 году до примерно 50 Мбит/с в 2020 году. Вместе с тем, пиковая скорость передачи данных за тот же период времени увеличилась более чем в 1000 раз (с нескольких Мбит/сек до нескольких Гбит/сек). Официальные цифры показала торговая ассоциация индустрии беспроводной связи (CTIA). Согласно их данным, общая пропускная способность сотовой сети США увеличилась в 96 раз с 2010 по 2019 год. При этом, в 2019 году средний абонент потреблял 9,2 гигабайта данных в месяц.



Получается, что за последние 10 лет произошло почти стократное увеличение пропускной способности. Следует отметить, что это произошло еще до того, как в отрасли беспроводной связи были внедрены ключевые технологии, увеличивающие пропускную способность в 5G-сетях:

- использование малых сот (**Small Cells**);
- переход в миллиметровую часть спектра (**mmWave**);
- использование мульти антенной технологии MIMO (**massive MIMIO**).

Обширные ресурсы спектра, доступные на частотах выше 100 ГГц, в ближайшее десятилетие скорее всего дадут тысячекратное увеличение пропускной способности. Если тенденция роста скоростей передачи данных и увеличения пропускной способности сохранится, то среднестатистический абонент к 2031 году будет скачивать более терабайта данных в месяц, а пиковая скорость беспроводной загрузки будет составлять 2-3 Гбит/с. При этом, пиковая скорость передачи данных на одну базовую станцию будет составлять 1 Тбит/сек.

Развитие Small Cells



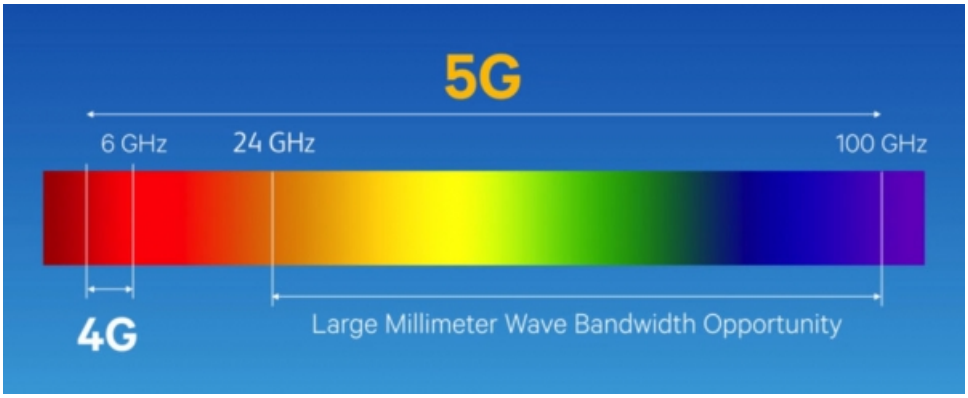
В 2018 году Федеральная комиссия по связи (FCC) выпустила приказ о малых сотах, который позволит операторам беспроводной связи достаточно быстро уплотнять сеть на всей территории Соединенных Штатов. Развитие и увеличение количества малых сот является ключевым аспектом, позволяющим обеспечивать беспроводную связь со скоростью нескольких терабит в секунду. Также, комиссией FCC были выпущены документы, разрешающие лицензировать спектр в диапазоне выше 95 ГГц. Аналогичные документы были выпущены и в Англии Управлением связи (Office of Communications - Ofcom). Это все это говорит о том, что наблюдается явная мировая тенденция увеличения плотности интеграции базовых станций и переходу в суб-терагерцовый диапазон, что приведет к дальнейшему росту скоростей передачи данных.

Все чаще стали появляться материалы научных статей, в которых опровергается распространенное мнение о том, что широкополосная передача данных хуже работает на частотах миллиметрового и терагерцового диапазонов, чем на более низких частотах (используемых в поколениях 1G-4G сотовых технологий). В качестве примера можно выделить статью с открытым доступом на IEEE Xplore (ссылка), в которой авторы показали, что между частотами ниже 6 ГГц и 140 ГГц потери на трассе распространения для городского радиоканала не отличаются на разных частотах после учета первого метра пути излучаемого сигнала.

Это означает, что как только радиосигнал достигает дальней зоны, частота оказывает удивительно небольшое влияние на затухание сигнала при его прохождении в сложной городской среде. Исключение составляют неблагоприятные атмосферные явления, такие как дождь, туман и т.д. Этот факт означает то, что:

работа по уплотнению сотовых станций не будет продолжаться вечно. Построенные в ближайшее время вышки для 5G будут использоваться в течение многих десятилетий в будущем.

Развитие mmWave



Еще в одной статье с открытым доступом показано, насколько сильно происходит затухание сигналов разной частоты с увеличением пройденного расстояния. В работе показано, что на частотах до 400 ГГц воздух имеет потери всего 10 децибел на километр. По сути это означает затухание всего

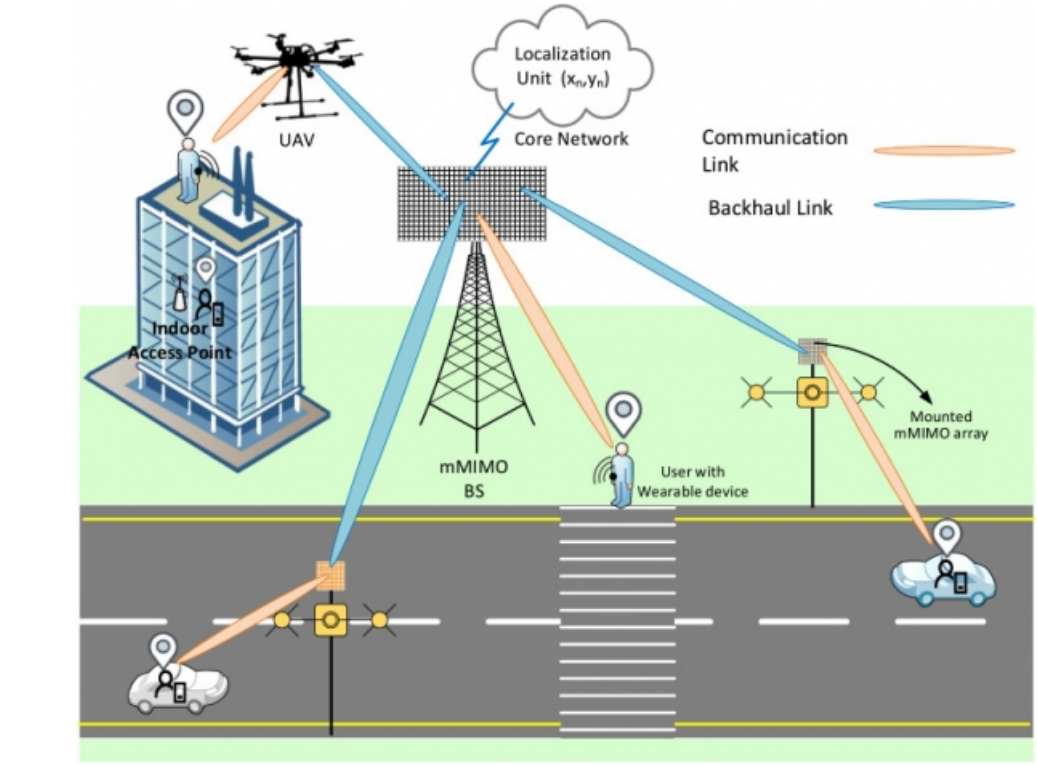
в 1 децибел на 100 метров, что примерно соответствует затуханию в малой соте 5G. Также в работе показано, что даже на частотах до 900 ГГц большая часть спектра имеет потери в 100 дБ/км (или 10 децибел на 100 метров в небольшой соте). Затухание 10 дБ будет относительно легко компенсировать направленными антеннами. Дождь и листва создают дополнительные проблемы, однако дальнейшего ухудшения характеристик на частотах от 70 ГГц и вплоть до 1 ТГц не происходит. С помощью выбора правильной направленности антенных систем можно будет преодолевать трудности с распространением сигналов, за счет их лучевого распространения.

Представления о больших потерях на более высоких частотах очень скоро можно будет назвать предвзятым и устаревшим.

Несомненно, ключевой проблемой миллиметрового диапазона остаются препятствия, такие как стены, окна и двери. Но в целом, анализируя материалы статей на эту тему, складывается ощущение, что интеграторы и разработчики 5G рассчитывают на то, что эта проблема будет решена путем организации связи в прямой видимости, и устанавливать БС таким образом чтобы они могли ее обеспечить (с учетом Beamforming"а). При этом, видимо, они рассчитывают на то, что мощности БС будет достаточно, чтобы пройти сквозь стену здания для обеспечения связи. Например, в статье производится расчет и измерение чувствительности и других параметров связи 5G в диапазоне от 2 до 73 ГГц на расстояниях от 4 до 1238 м. При этом в приведенной статье отмечается, что на расстояниях до 100 м (примерному радиуса малых сот в 5G) затухания внутри зданий таково, что способно обеспечить необходимый уровень качества передачи данных в сетях пятого поколения.

Дополнительный выигрыш мощности в канале связи с новыми технологиями 5G более чем компенсирует любые потери радиоканала, когда расположение базовых станций тщательно продумано для конкретной площадки, а оборудование размещено так, чтобы избежать массивных препятствий. Большинство препятствий на частотах миллиметрового диапазона и выше становятся отражающими, что дает больше возможностей для направленных антенн находить и комбинировать пути прохождения сигналов. Это улучшает бюджет мощности линии связи, который затем можно использовать для обеспечения каналов с гораздо более широкой полосой пропускания без ухудшения отношения сигнал/шум по сравнению с современными беспроводными системами.

Развитие massive MIMO



Третья но не мене важная технология для 5G - массив MIMO. Она позволит увеличить количество антенн базовых станций, используя элементные решетки размером 64x64 и выше. Операторы по всему миру уже развертывают массивы MIMO в средней полосе спектра с использованием дуплексной связи с временным разделением. Пока это просто означает, что сигналы между базовой станцией и пользователем используют одну и ту же частоту, но разнесены по времени, чтобы не конфликтовать между собой. В ближайшие годы эта технология найдет свое применение в беспроводных системах миллиметрового и субтерагерцового диапазонов.

Еще недавно общепринятым убеждением, что в области беспроводной мобильной связи нужно

использовать всенаправленные антенны. Сегодня это убеждение сходит на нет.

Начиная с 5G, в беспроводных системах используются направленные антенны с высоким коэффициентом усиления антенны и узкой шириной луча как на мобильном абонентском устройстве, так и на базовой станции (другими словами на обоих концах беспроводной связи). Это обеспечивает большую мощность сигнала для каждого пользователя по мере перехода к частотам миллиметрового, суб-терагерцового и, в конечном итоге, терагерцового диапазонов.

Заключение

Преимущества, предлагаемые тремя рассмотренными техническими столпами, позволят проектировать и развертывать системы 5G уже сегодня, а их эффективность сохранится на десятилетия в будущем, по мере того, как будет открываться все большая часть спектра на суб-терагерцовых и терагерцовых частотах. В мобильных сетях связи будущего можно будет использовать ту же инфраструктуру сотовой связи и те же фундаментальные прорывы в радиосхемах и антенных технологиях, которые сейчас строятся для 5G. Тем не менее, эти поколения сотовой связи будут делать это с гораздо более высокими скоростями передачи данных, что создает огромные объемы данных и новые варианты использования в ближайшие десятилетия.