Нужно больше антенн! Или Massive MIMO в беспроводных сетях

На текущий момент 5G все еще находится на стадии планирования, многие частные компании и отраслевые группы производят совместные исследования, чтобы понять, что же будет происходить с этим поколением сетей в ближайшие несколько лет. Все они сходятся во мнении, что по мере роста числа пользователей, их спрос на мобильный Интернет должен обеспечивать гораздо большие объемы трафика на более высоких скоростях. Для этого нужны соответствующие базовые станции, составляющие сотовые сети.

У современной базовой станции четвертого поколения 4G имеется с десяток портов для антенн, обрабатывающих весь трафик: восемь работают на передачу и четыре на прием. Но разработчики решили на этом не останавливаться и пришли к выводу, что базовые станции 5G должны поддерживать около сотни портов и целый массив антенн. Это означает, что базовая станция сможет отправлять и принимать сигналы от колоссального количества пользователей одновременно, увеличивая пропускную способность мобильной сети в десятки и сотни раз. Буквально в прошлом году исследователи Бристольского университета создали лабораторный стенд, состоящий из 128-элементной антенной решетки. Вид экспериментального оборудования представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Massive MIMO, или 128-элементная антенная решетка

Эта технология получила название Massive MIMO. Когда-то идея применить технологию MIMO, использующую несколько радиомодулей для приема и передачи множества потоков данных одновременно, стала прорывным решением. M-MIMO выводит эту концепцию на радикально новый уровень, предлагая использовать десятки и сотни MIMO антенн в одном массиве, рисунок 2.



Рисунок 2 – Наглядное сравнительное представление технологий MIMO и Massive MIMO

Использование большого количества дополнительных антенн поможет сфокусировать энергию на более мелкие области пространства, что в свою очередь положительно скажется на увеличении пропускной способности и эффективности использования излучаемой энергии. В IEEE указывают также и другие преимущества использования Massive MIMO, - это более дешевое производство отдельных компонентов антенной системы, более низкие задержки в сети и упрощение работы на уровне MAC (физическом уровне модели OSI).

В эксперименте, изображенном на рисунке 1, была достигнута скорость передачи данных в 145,6 (бит/сек)/Гц для одновременного подключения 22-х пользователей. Для каждого пользователя обеспечивалась модуляция 256-QAM. Ширина радиоканала стандартная – 20 МГц, как и в обычном Wi-Fi, даже без дополнительного объединения каналов. Частота работы антенн 3.51 ГГц. При демонстрации эксперимента использовалась гибкая платформа прототипирования от National Instruments с программным обеспечением LabVIEW и аппаратным обеспечением PXI.

В сравнении с существующими сетями 4G эффективность использования имеющего спектра достигла 22-х кратного увеличения. Massive MIMO пока что был протестирован лишь в лабораторных условиях и некоторых полевых испытаниях, и коммерческой реализации еще не получил, но уже сейчас он позволил зафиксировать новый мировой рекорд по эффективному использованию доступного спектра частот.

Тонкости Massive MIMO

Конечно, для полноты приводимой информации нельзя умолчать о том, что указанные результаты являются все же экспериментальными и будут очень далеки от того, что получится при коммерческой реализации системы. Представленные экспериментальные измерения были получены в среде без помех и отсутствия сигналов от других сотовых устройств. Кроме того, пользователи оставались неподвижными, в то время как реальные абоненты все-время находятся в движении, а антенны их беспроводных устройств могут находиться под совершенно разными углами в пространстве относительно базовой станции. И, как вы можете себе представить, развертывание системы с сотнями и тысячами антенн и терминалов нельзя назвать "плавным" переходом к сетям следующего поколения. Это требует сложной обработки получаемых данных в узлах, и каждый узел должен иметь возможность определять данные передаваемые от N-й антенны и уметь отличать их от данных, передаваемые антенной M. В противном случае эффективная работа массива MIMO будет невозможна, поэтому требуется доработка методов обработки информации.

Также, нельзя не отметить, что установка большого количества антенн для обработки сотового трафика вызывает большие помехи в случае наложения этих сигналов, рисунок 3.

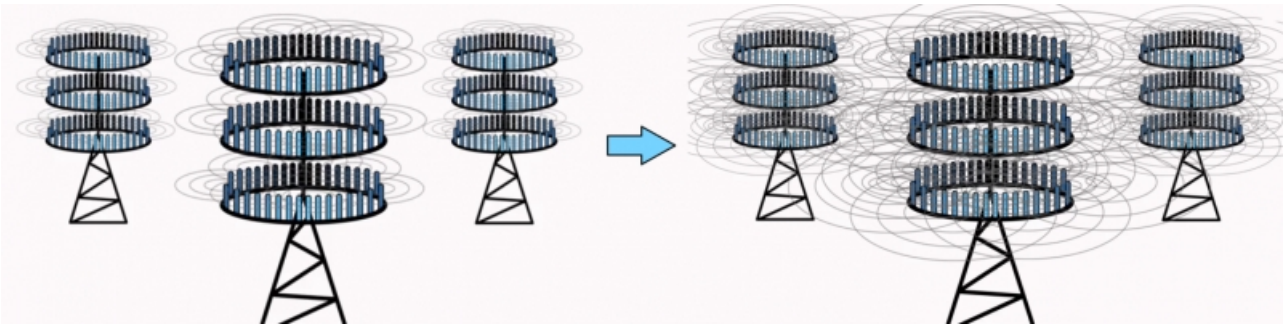


Рисунок 3 – Взаимные помехи от множества антенн Massive MIMO

Но именно для уменьшения взаимных помех в 5G должны будут использоваться такие технологические решения как:

- использование миллиметрового диапазона длин волн;
- организация относительно небольших размеров сот (десятки метров);
- технология beamforming (автоматическое формирование луча диаграммы направленности в сторону абонента) и полнодуплексная передача данных.

Massive MIMO будет очень перспективным решением с точки зрения масштабируемости 5G. Несмотря на то, что приведенные выше результаты получены в лаборатории, эффективность спектра была увеличена более чем в два десятка раз! Это напрямую говорит об исключительном потенциале технологии.

Практическая реализация Massive MIMO

Концепция реализации Massive MIMO предполагает использование многоэлементных фазированных антенных решеток (ФАР). При этом, отдельные элементы решетки могут обслуживать одновременно совершенно разных абонентов, находящихся в пределах углов обзора ФАР, рисунок 4:



Рисунок 4 – Реализация Massive MIMO

А ниже, на рисунках 5 и 6 приведен пример реальных лабораторных систем M-MIMO:

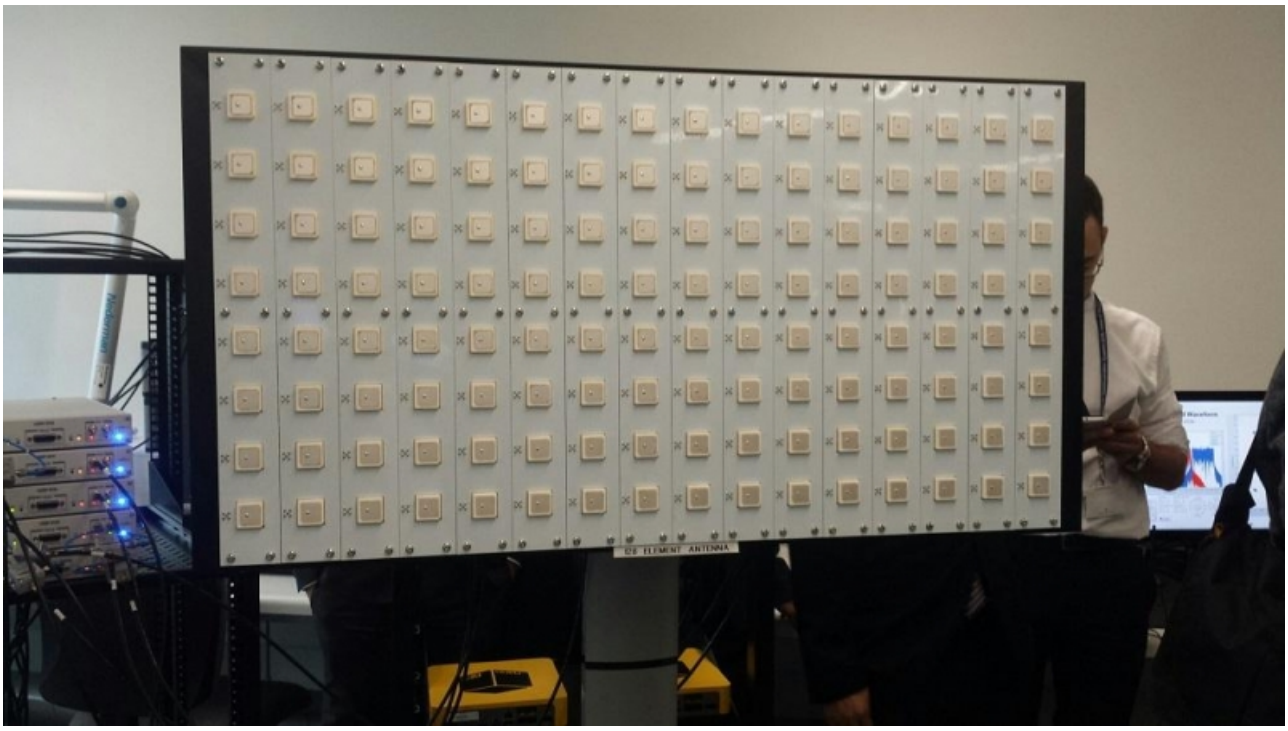


Рисунок 5

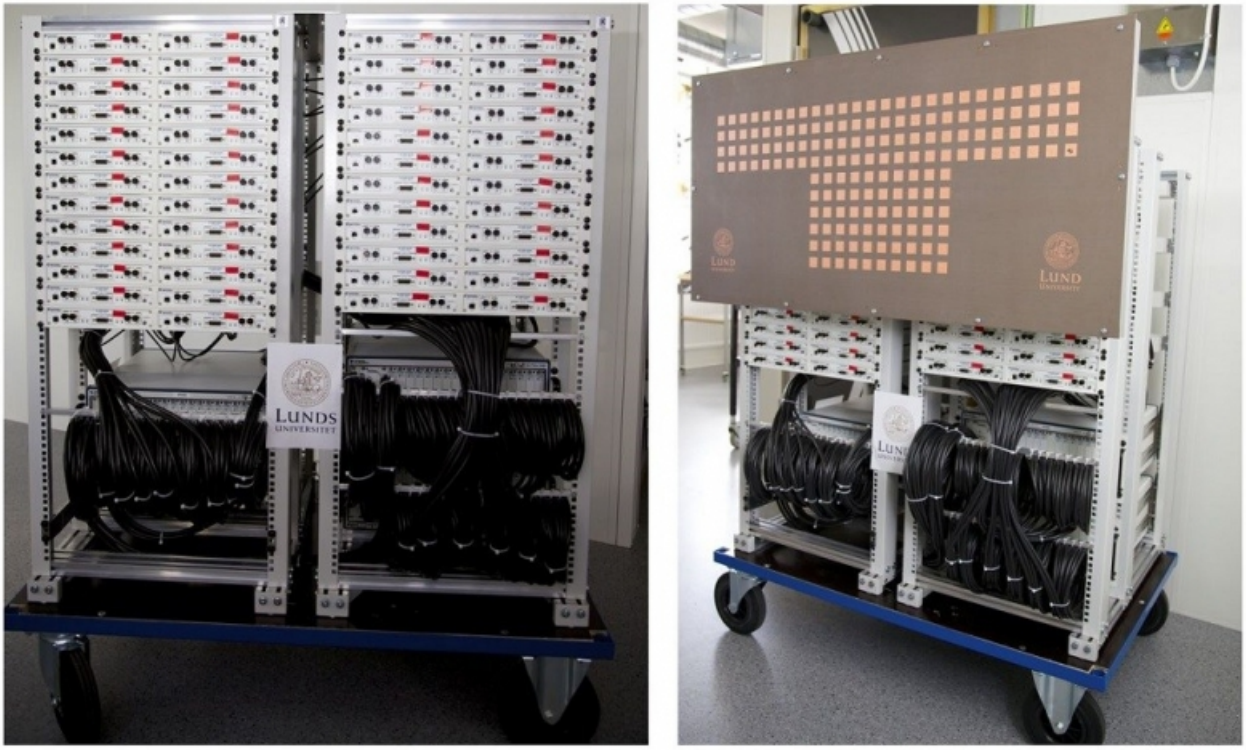


Рисунок 6 – Практическая реализация M-MIMO в Университете Lund в Швеции на основе оборудования USRP RIO (слева) и кросс-поляризованной антенной решетки (справа)

В ближайшем будущем конструктивные сооружения мегаполисов превратятся в единую распределенную антенную систему. На рисунке 7 изображены прототипы планарной (1) и цилиндрической (2) антенных решеток M-MIMO, объединенных в единую распределенную антенную систему (3). Подобные антенные решетки могут устанавливаться на крышах и фасадах зданий, и объединяться в общую сеть с помощью оптоволоконного кабеля:

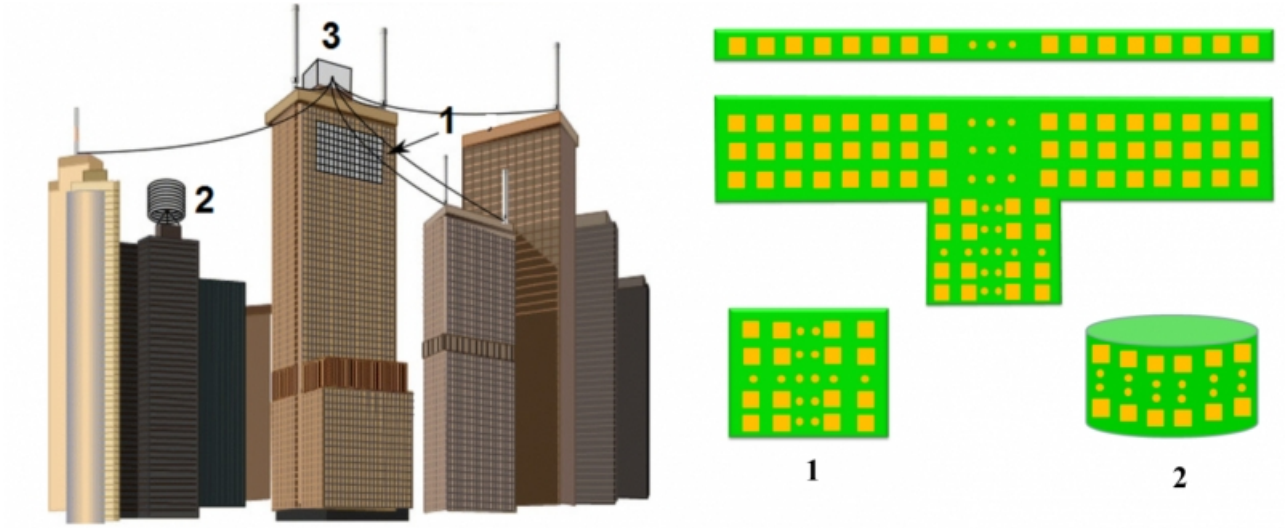


Рисунок 7 – Вид реализуемых геометрий M-MIMO (справа) и их возможное расположение в мегаполисе (слева)

Заключение

Именно благодаря Massive MIMO инженеры, работающие над 5G, планируют построить беспроводную сеть для всех пользователей смартфонов, автономных дорожных систем и даже пользователей виртуальной реальности, обеспечивая сверхнизкую задержку в сети и рекордные скорости передачи данных для конечного потребителя. И, пожалуй, самое оптимистичное заключается в том, что все технология Massive MIMO уже существует и реально работает, осталось лишь оптимизировать ее работу.



При подготовке статьи были использованы материалы:

1. Massive MIMO (Very Large) MIMO Systems
2. 5G Researchers Set New World Record For Spectrum Efficiency