Мультиантенные системы в LTE сетях

Многоантенные системы стали привлекательным решением для повышения скорости передачи пользовательских данных, увеличения зоны покрытия сотовой сети, а также увеличения ее пропускной способности. Использование новейших антенных технологий может значительно увеличить производительность радиосети без существенных изменений узлов базовых станций и транзитных соединений практически без увеличения капитальных затрат. Хронология развития мультиантенных систем в LTE приведена на рисунке 1:

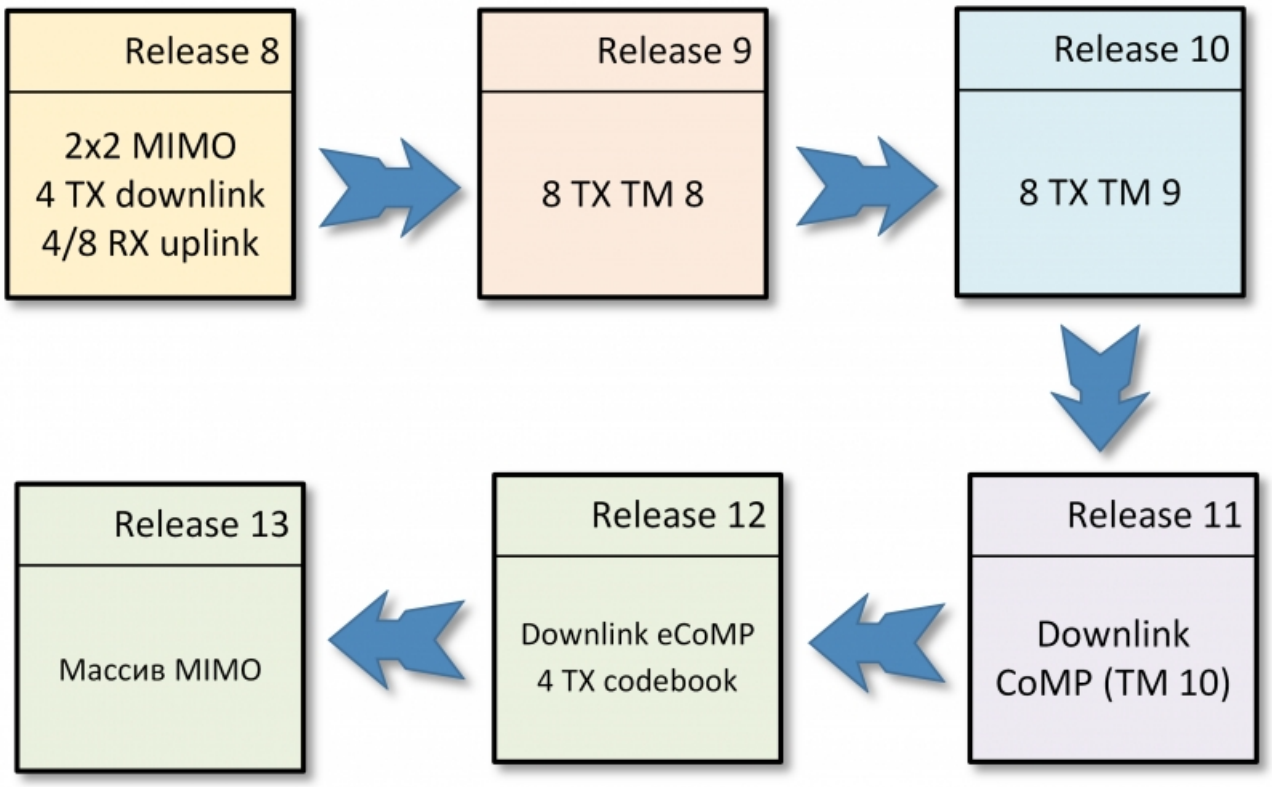


Рисунок 1

Первая версия LTE в 3GPP Release 8 включала поддержку: MIMO 2x2 в нисходящем канале, 4-х антенную передачу данных в нисходящем канале MIMO 4x2, а также многоантенный прием в восходящем канале для 4-х и 8-ми антенн. В релизах 9 и 10 были добавлены дополнительные возможности для 8-ми антенных систем, названные режимами передачи (Transmission Modes - TM) 8 и 9 соответственно. Режимы передачи определяют: число потоков данных (точнее, сколько их может быть передано одновременно), использование пилотных сигналов (SRS, DM-RS), способ предварительного кодирования и пр. В 11-м релизе была добавлена функция CoMP для нисходящей линии связи с идеальным транзитным маршрутом, а в 12-м релизе она была усовершенствована и названа enhanced CoMP. CoMP (Coordinated Multi Point) – координированная передача/прием, которая является своего рода апгрейдом для LTE-сетей. Ее основной задачей является улучшение показателей работы мобильных станций, работающих на границе зоны обслуживания базовой станции. Суть ее работы заключается в том, что находящиеся на границе соты мобильные станции обслуживаются не одним сектором, а несколькими. То есть нисходящая передача до мобильной станции в один момент времени может осуществляться с нескольких секторов. То же самое справедливо и для восходящей передачи (возможен прием данных от одного абонента несколькими секторами), рисунок 2



Рисунок 2

Помимо eCoMP в 12-м релизе была добавлена новая LTE кодовая книга 4 TX, которая обеспечила 10%-й прирост производительности системы. В 13 релизе используется большое количество MIMO-антенн (Massive MIMO). Большинство современных абонентских терминалов имеют две антенны для приема и одну для передачи данных. Четырехантенные терминалы, реализованные в виде LTE+Wi-Fi маршрутизаторов, уже не являются редкой новинкой и их можно встретить на рынке беспроводного оборудования. Работа над 14 релизом началась в сентябре 2014 года, а работа над его завершением планируется летом 2017. Проекты 15 и 16 релизов уже размещены на сайте 3gpp.org и их задача будет включать двухэтапную интеграцию сетей 5G и пока сложно сказать, какие именно изменения коснуться непосредственно антенной части. Ниже приведен рисунок с официального сайта 3gpp, отражающий выпуск релизов, связанный с эволюцией глобальных беспроводных сетей.

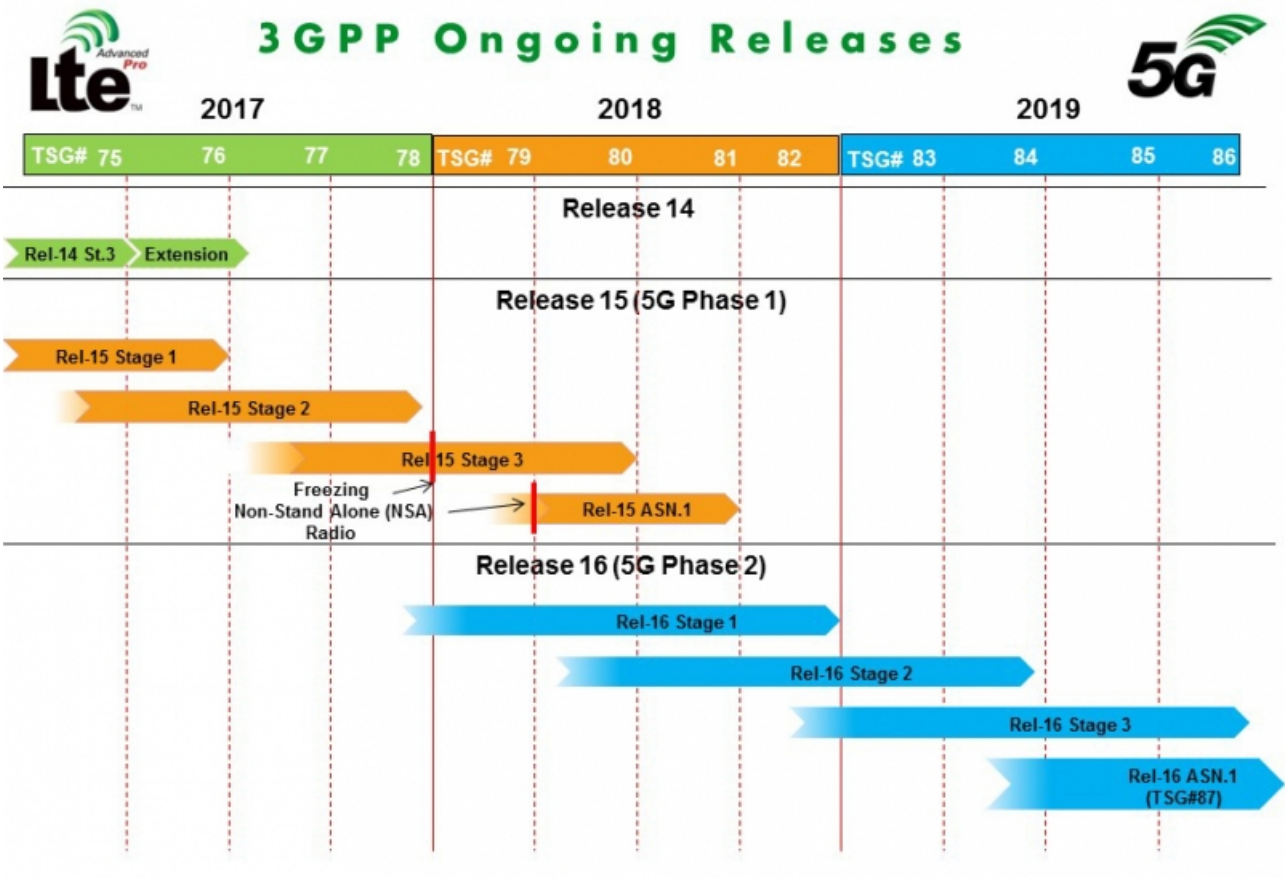


Рисунок 3

Для удобства практического применения мультиантенных систем крайне важным является компактность реализованного технического решения. К минимуму должно быть сведено не только количество радиочастотных блоков, но и размеры самих антенн. Типичная конструкция кросс-поляризованных антенн показана на рисунке 4.

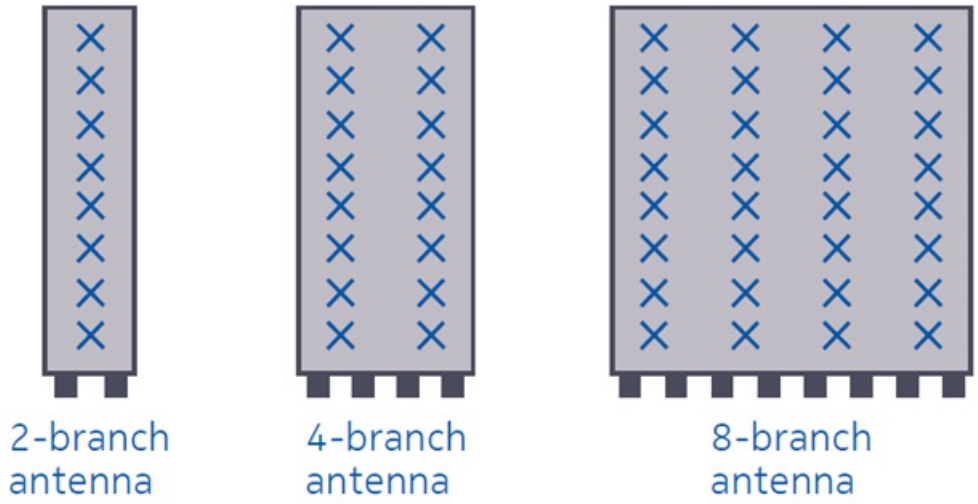


Рисунок 4

Антенны с четырьмя ветвями используют два столбца кросс-поляризованных антенн в одном обтекателе, так же как и антенна с восемью ответвлениями, которая состоит их четырех столбцов. Сополяризованные элементы внутри столбца формируют вертикальную диаграмму направленности, необходимую для покрытия сектора. Размер антенны зависит от длины волны, соответственно, чем для более высоких частот она предназначена, тем меньшие габаритные размеры имеет. На рисунке 5 показан относительный размер антенной "коробки" для разных частотных диапазонов.

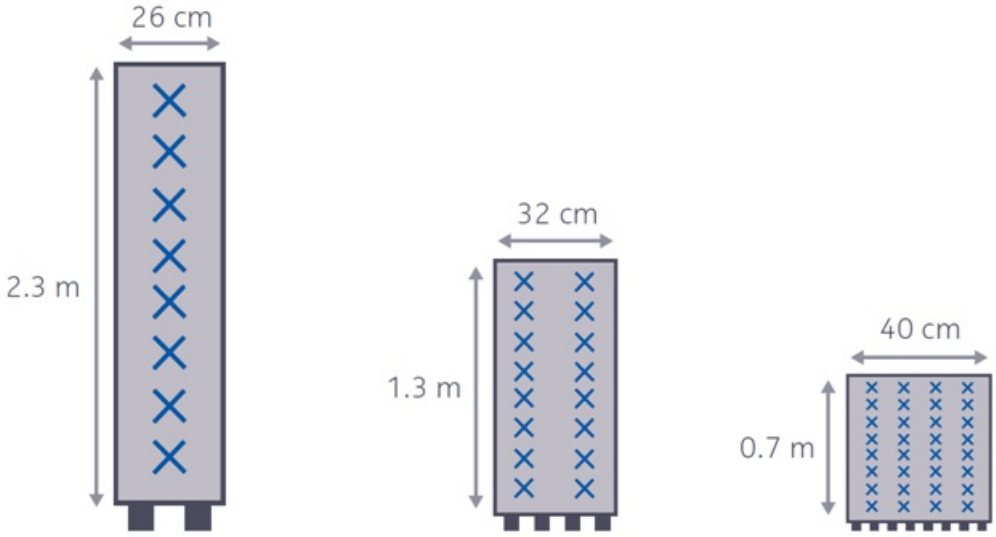


Рисунок 5

В современных беспроводных системах широко используются многодиапазонные антенны, которые могут иметь разные антенные секции для низких и высоких частот. С переходом на более высокие частоты минимизация затрагивает не только антенную часть, но и RF блоки, на рисунке 6 показано наиболее компактное решение объемом (для сравнения) не более 25 литров. Один такой модуль может обеспечить режим работы антенны MIMO 2x2 для трехсекторной базовой станции:



Рисунок 6

Пример технических характеристик базовой станции 4TX4RX

Речь пойдет именно о техническом решении 4TX4RX, которое является частью технологии MIMO 4x4, реализуемой на стороне провайдера. То есть улучшения касаются только базовой станции и у оператора нет возможности влиять на количество антенн абонентов. MIMO 4x4 задействованное в полном объеме подразумевает наличие 4-х антенн, в том числе и на абонентском устройстве пользователя. Большинство современных базовых станций (БС) сети LTE используют двухантенные системы MIMO 2x2 (антенны 2TX2RX). Базовая станция с решением 4TX4RX, как понятно из названия, использует для передачи и приема по 4 антенны. Еще начиная с восьмого релиза, все базовые станции LTE поддерживают четырехантенное решение, поэтому апгрейд сетей с MIMO 2x2 на MIMO 4x4 возможно даже в том случае, если БС использует большое количество старого оборудования.

Ниже приведем сравнение характеристик БС, использующих антенны 4TX4RX и 2TX2RX:

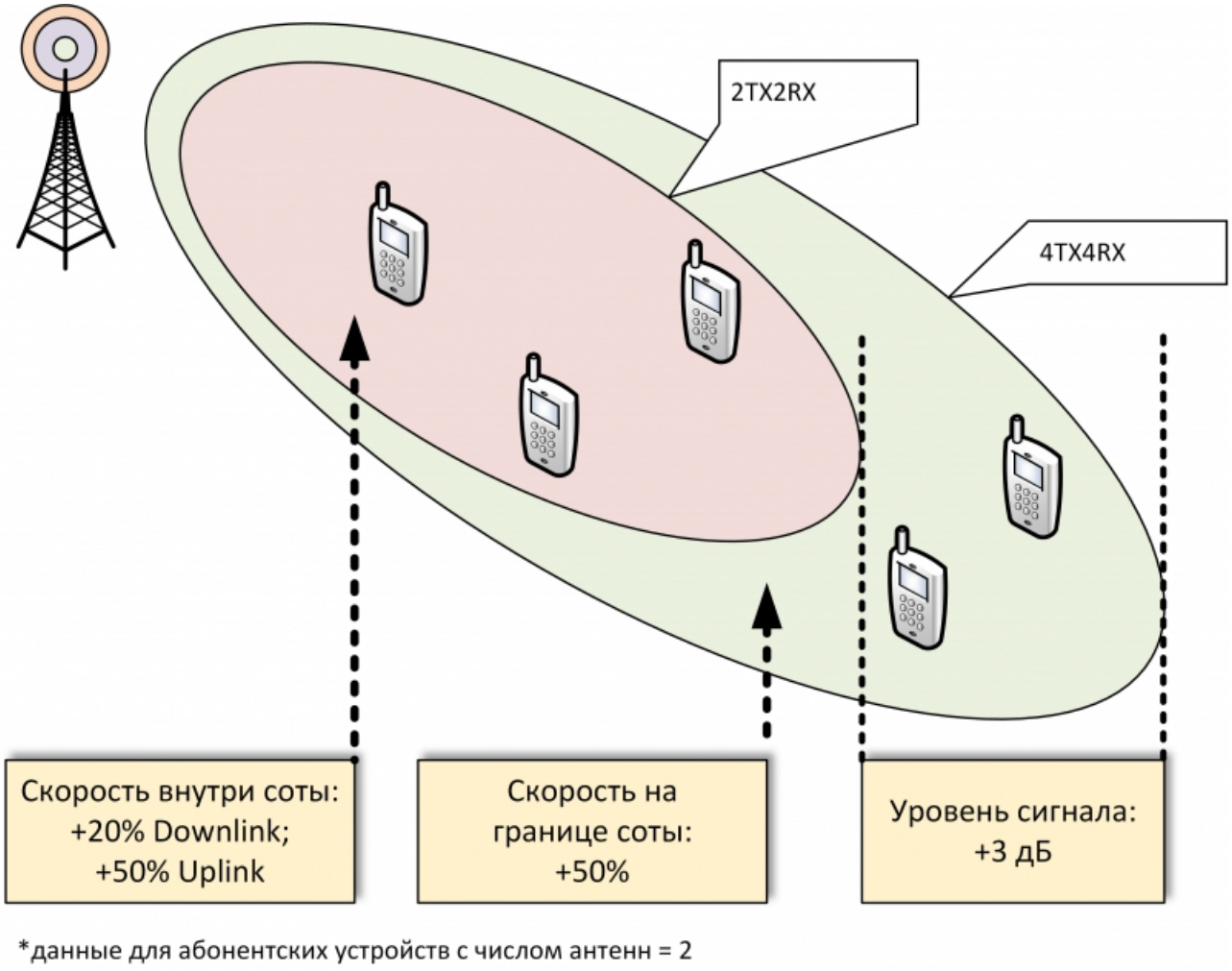


Рисунок 7

Внедрение 4TX4RX позволяет улучшить скорость передачи данных внутри соты на 20% в нисходящем канале и 50% в восходящем. На границе соты скорость передачи данных увеличивается примерно до 50% по сравнению с MIMO 2x2. Кроме того увеличивается радиус зоны обслуживания и глубина проникновения сигнала в помещение, так как мощность сигнала повышается на 3 дБ.

Ниже приведено сравнение конфигураций многоантенных решений, а именно: MIMO 2x2 (TM3 и TM4) и MIMO 4x2 (TM4).

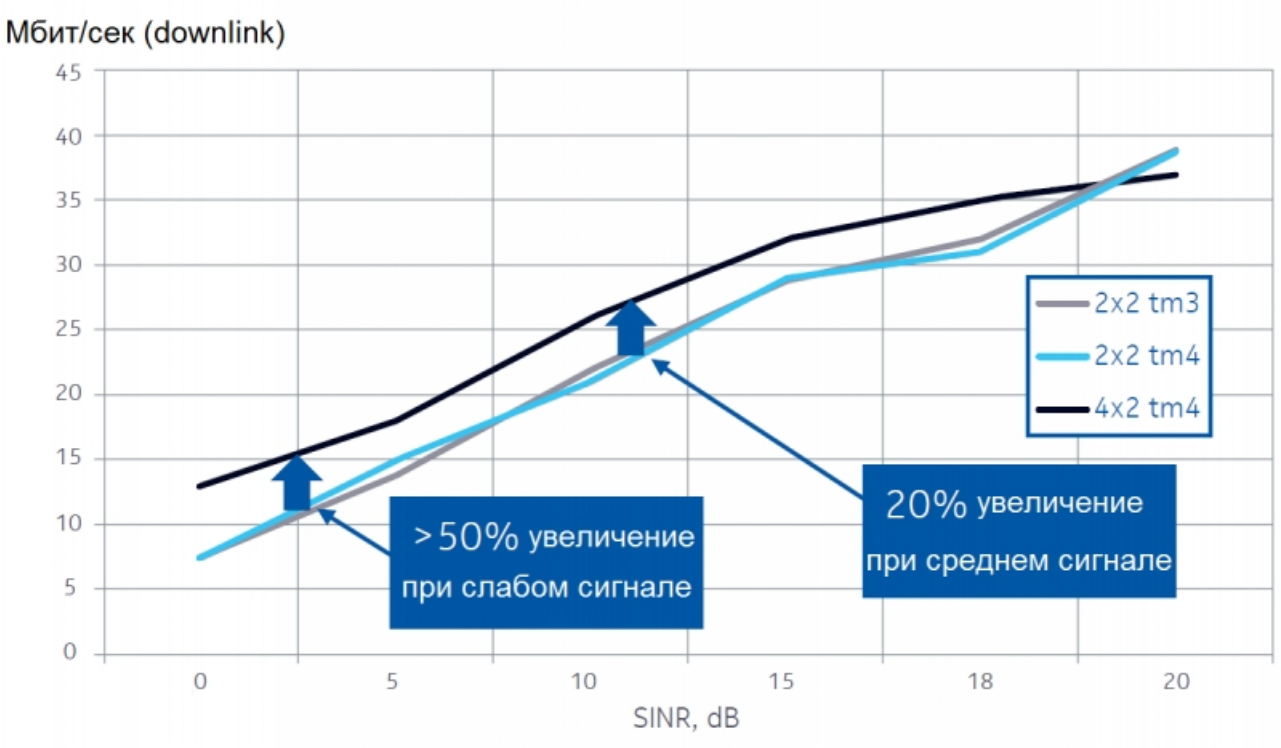


Рисунок 8

Модернизация базовых станций от двух передающих антенн до четырех дает увеличение пропускной способности канала, особенно в ситуациях с низким и средним отношением сигнал-шум (SNR). Общая мощность передатчика с четырьмя передающими антеннами дает увеличение мощности на 3дБ. Значение SNR на горизонтальной оси измерено абонентским устройством с двумя антеннами. Также важным преимуществом использования четырех антенн является возможность использования 4-полосного комбинирования (MRC) или технологии подавления помех (IRC) в восходящем канале. Ниже приведены результаты измерений значения пропускной способности одной ячейки на реальной сотовой сети, использующей 2TX2RX и 4TX4RX, которые показаны на рисунке 9:

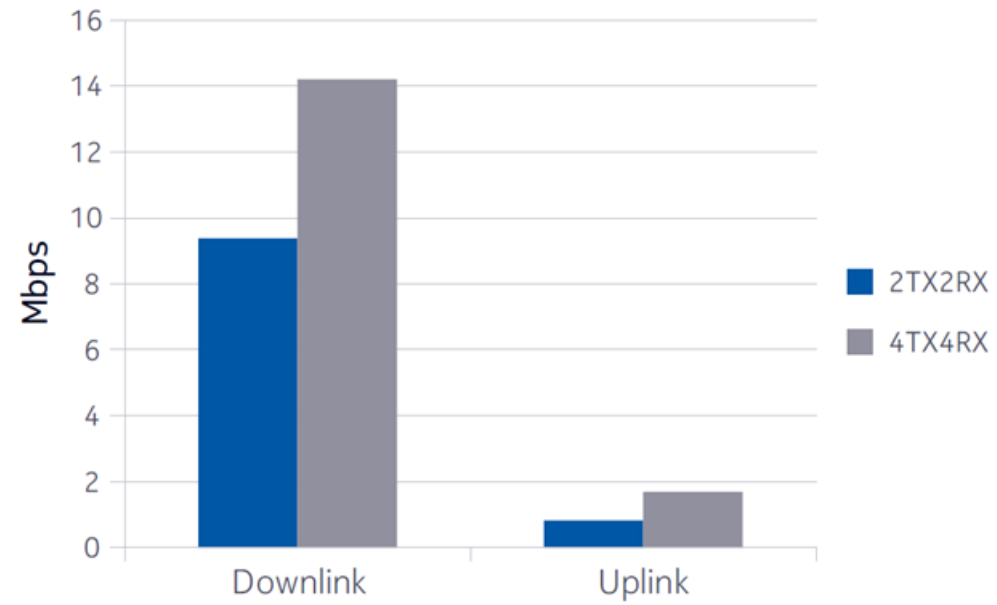


Рисунок 9

Заметим, что пропускная способность в восходящей линии связи увеличивается на 100%, что

является очень хорошим результатом, и фактически показывает улучшение качества восходящего канала, что является основной причиной развертывания технологии 4TX4RX. Пропускная способность ячейки нисходящей линии связи также увеличивается, но лишь на 50%.

Дальнейшее развитие получили восьмиантенные (8TX) системы формирования луча, использующие режимы передачи TM8 и TM9 в LTE сетях. Режим TM8 использует информацию от устройства абонента на основе общих эталонных сигналов нисходящей линии связи (Common Reference Signals – CRS), а также информацию от базовой станции на основе опорных сигналов зондирования восходящей линии связи (Sounding Reference Signals – SRS). Недостатком решения для формирования луча beamforming на основе SRS является то, что в восходящей линии связи используется только одна передающая антенна, в то время как приемных антенн две. Это означает, что восходящая линия не предоставляет полную информацию о направлении передачи сигнала для нисходящей линии. В связи с этим был выпущен режим TM9, использующий сигналы демодуляции Demodulation Reference Signals (DM-RS) для генерации сигналов обратной связи в сети. Подробнее о пилотных сигналах LTE можно прочитать здесь.

Эволюция развития технологии beamforming в 3gpp показана на рисунке 10

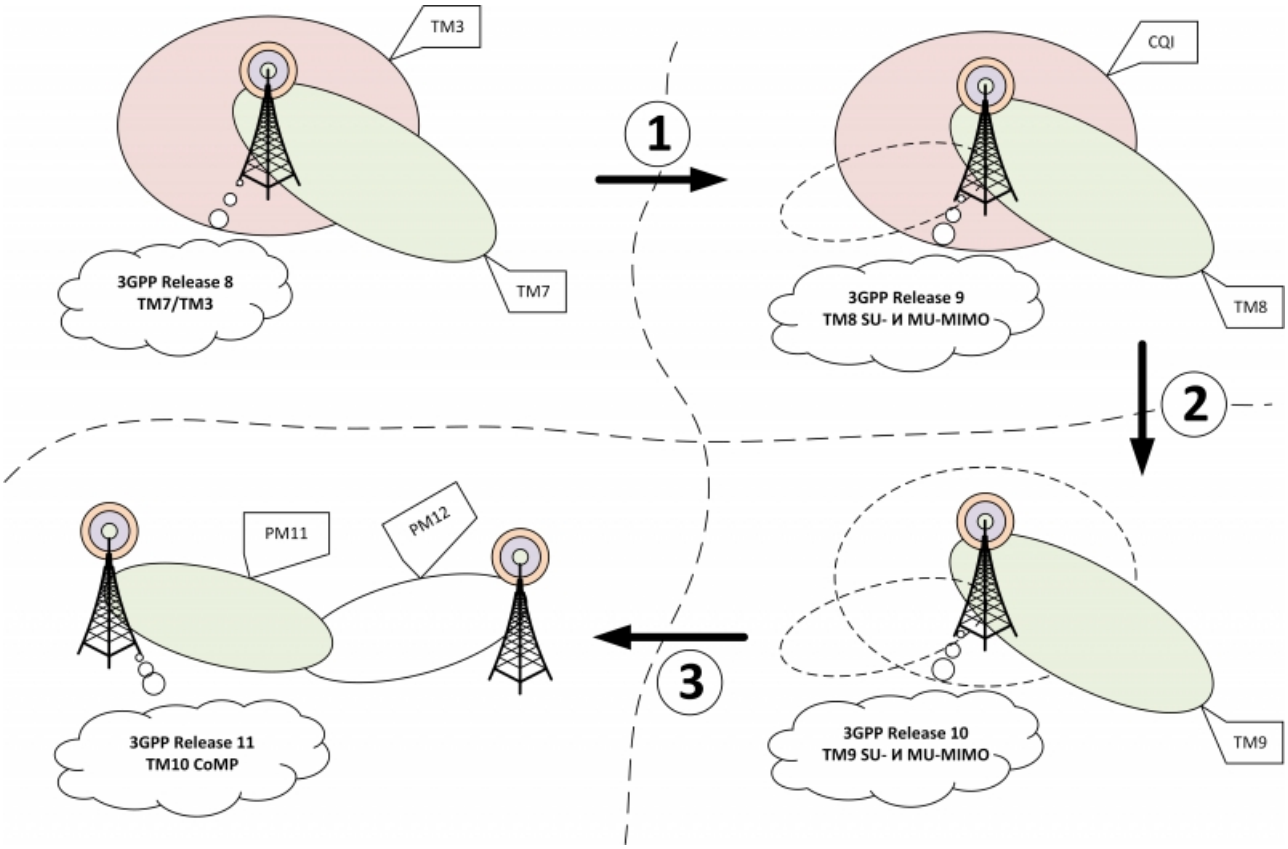


Рисунок 10

На рисунке 11. показаны результаты сравнительных тестов для режимов TM3 и TM8:

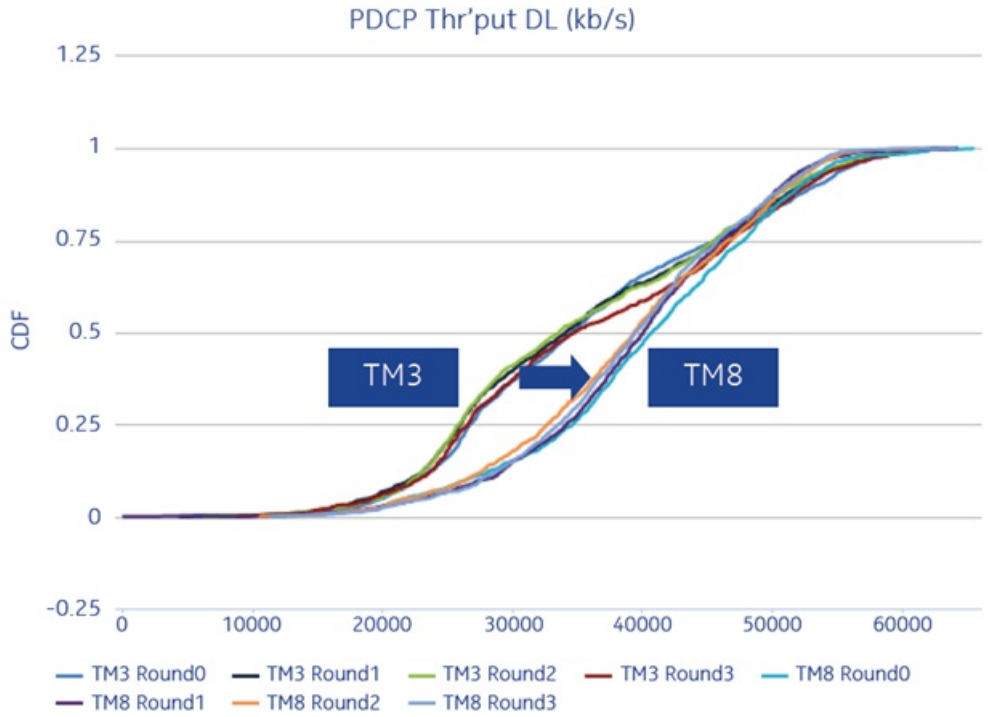


Рисунок 11

Формирование диаграмм направленности с помощью TM8 дает очевидный прирост в скорости передачи данных по сравнению с TM3. Несмотря на то, что TM8 не дает увеличения пиковой скорости передачи данных, средняя скорость в соте значительно увеличивается. TM9 дает лучшую производительность по сравнению с TM8, и она также может показать лучшие результаты с использованием 4-антенных систем. При использовании БС с 4-антеннами (по сравнению с 2-антенными), емкость одной ячейки увеличивается на 40-50%, а скорость передачи данных на 70-100%.

Производительность TD-LTE нисходящей линии связи может быть дополнительно улучшена с помощью алгоритмов интеллектуального формирования сигнала, в котором алгоритмы eNodeB также учитывают межсотовые помехи. Эти алгоритмы, называемые в англоязычной литературе Intelligent Beamforming, реализуются многими производителями оборудования базовых станций.

Intelligent Beamforming не только пытается максимизировать уровень сигнала, но также пытается максимизировать отношение сигнал-помеха, что приводит к более высоким скоростям передачи данных для пользователей, работающих на границе соты, рисунок 12.

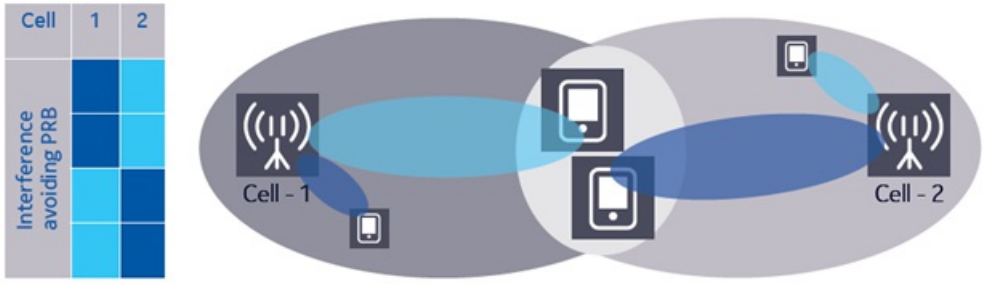


Рисунок 12 – Intelligent Beamforming для предотвращения межсотовых помех

Объединение uplink 8RX с многопользовательским MIMO (MU MIMO) является привлекательным решением для увеличения пропускной способности и покрытия ячеек восходящей линии связи. На рисунке 13 показано, что по результатам тестов прирост скорости передачи данных MU-MIMO восходящей линии связи превышает 40%.

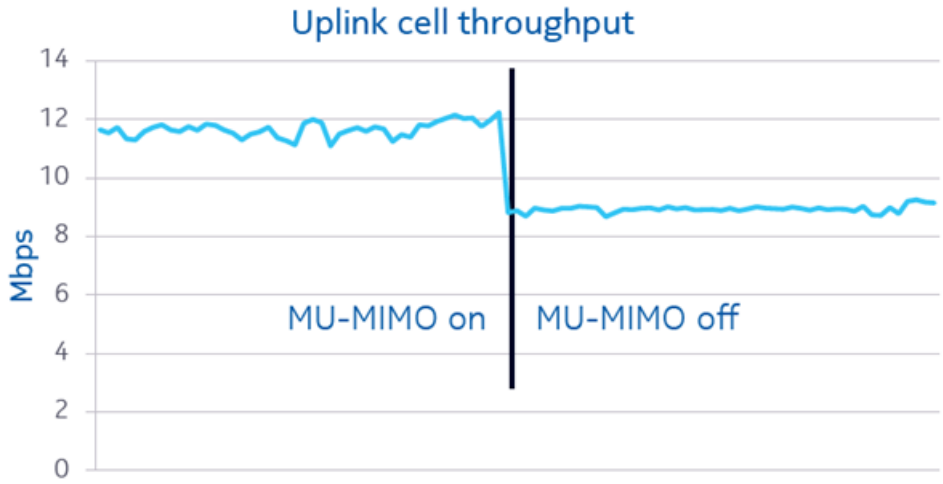


Рисунок 13. Увеличение пропускной способности восходящего канала на 40% при использовании многопользовательского MIMO