

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИЕМА/ПЕРЕДАЧИ В СЕТЯХ WI-FI С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ MIMO

Кононов Е. А., магистрант

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Одной из ключевых технологий для развития беспроводных сетей (например, Wi-Fi) в последние годы является технология MIMO. MIMO — это множественная передача информации с нескольких передатчиков и её получение, а также обработка на нескольких приемниках. Основные задачи MIMO – повысить пропускную способность беспроводного канала и качество связи.

Целью данной работы является выработка рекомендаций по увеличению пропускной способности в сетях Wi-Fi с помощью технологии MIMO.

Главным методом увеличения пропускной способности в системах MIMO является мультиплексирование, то есть параллельная передача нескольких потоков информации с разных антенн. Частными случаями MIMO являются системы передачи, где на приемнике или передатчике используется одна антенна. Называются такие системы Multiple-input single-output (MISO) и Single-input multiple-output (SIMO). В них нельзя организовать параллельную передачу нескольких потоков информации, однако можно использовать дополнительные антенны для повышения качества приёма или передачи сигнала. В описании точек доступа различных вендоров мы можем узнать сколько передающих и приемных антенн есть на устройстве, сколько пространственных потоков MIMO оно поддерживает. Например, это может быть значение 3x4:3, что означает 3 передатчика, 4 приемника и 3 пространственных потока. Кроме этих параметров можно встретить такие аббревиатуры или обозначения, как MRC, STBC, CSD, 802.11ac Tx BF и пр. Все эти технологии также направлены на улучшение качества сигнала. В данной статье описаны технологии повышения качества связи и наглядно отображены, как работает та или иная функция и какой прирост она дает. Рассмотрена работа с точки зрения 802.11 Wi-Fi, хотя, разумеется, указанные методы используются и в других беспроводных стандартах (LTE, 802.16 WiMAX).

Пространственное мультиплексирование (MIMO SDM).

Ключевым преимуществом MIMO является возможность передавать несколько независимых информационных потоков с разных антенн на одном канале. Это позволяет кардинально увеличить пропускную способность беспроводного канала. Технология называется пространственное мультиплексирование, или SDM (Spatial Division Multiplexing) (рис. 1).

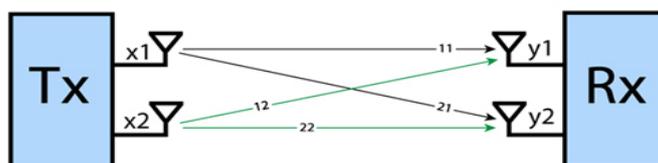


Рисунок 1 – Пространственное мультиплексирование, или SDM
(Spatial Division Multiplexing)

Основным условием для работы MIMO SDM является многолучевое распространение сигнала. Если мы отправим данные с двух антенн, при прямой видимости сигнал придет к получателю одновременно, и мы получим их наложение (интерференцию). А значит сделаем только хуже. Но если при прохождении сигнал отражается, преломляется и т.п., получатель может распознать (скоррелировать) пришедший сигнал для разных потоков. Затем, получатель вычисляет текущее состояние каналов передачи (потоков) для каждой из передающих антенн на основе предварительной калибровки (по служебным заголовкам). И далее с помощью математических преобразований, восстанавливает исходные потоки. В

случае MIMO отправитель не знает о состоянии канала, то есть он никак не оптимизирует сигнал при передаче. Точка доступа и клиент передают определенное количество потоков, поддерживаемое двумя сторонами. Например, если клиент поддерживает только один поток, точка доступа тоже будет передавать единственный поток.

При передаче нескольких потоков общая излучаемая мощность делится на количество передающих антенн. Например, если мы передаём сигнал одновременно с двух антенн, то мощность сигнала для каждой из них будет в два раза меньше максимальной. Однако, в данном случае мы передаем информацию по двум или более каналам одновременно.

Системы MIMO продолжают развиваться и в стандарте 802.11ac (wave2) реализована множественная одновременная передача в режиме MIMO нескольким клиентами (Multiuser-MIMO). То есть, если есть два клиента, поддерживающие один и два потока, система MU-MIMO будет передавать им сигнал одновременно (рис. 2). До появления технологии MU-MIMO в один момент времени передачу данных могла осуществлять только одна система. Работает технология только в направлении от точки доступа к клиенту (DownLink). Текущие точки доступа позволяют работать с тремя клиентами MU-MIMO и передавать до трех потоков (суммарно). Технология MU-MIMO требует поддержки и на точке доступа и на клиентском устройстве. Также она требует дополнительных вычислений на точке доступа и накладывает определенные условия при использовании. Например, её работа невозможна без предварительной калибровки и адаптивной передачи (Explicit Transmit Beamforming), о которой будет рассказано ниже.

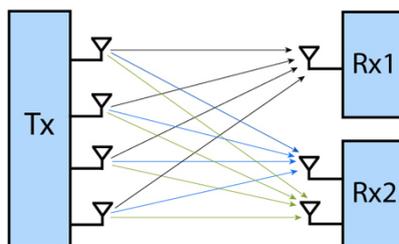


Рисунок 2 – Система MU-MIMO

Развитие механизмов множественной передачи\приема разумеется привело к увеличению количества антенн на 802.11n-устройствах. Сегодня для точек доступа корпоративного уровня (802.11n/ac) [1] уже стало стандартом наличие 3-4 антенн. При этом, количество пространственных потоков часто меньше количества антенн.

Оптимальное весовое сложение (MRC).

MRC (рис. 3) позволяет улучшить значение SNR для входящего сигнала (от клиента к точке доступа). Если на точке доступа есть дополнительный свободный приемник(и), она складывает полученный на этом приемнике сигнал с остальными. Так как на приемнике уже есть информация о текущем состоянии канала передачи (для каждой из передающих антенн), он может вычислить сигналы (на каждой из приемных антенн), провести их выравнивание и оптимальное сложение, получив лучшее соотношение сигнал-шум. Сравнение результатов для одного и нескольких потоков с дополнительными антеннами и без показывает, что MRC в некоторых случаях позволяет существенно увеличить значение SNR, а значит увеличить и скорость передачи, дальность действия ТД. MRC работает только на точке доступа для улучшения входящего сигнала от клиента. Технология может использоваться совместно с другими – CSD, SDM, STBC.

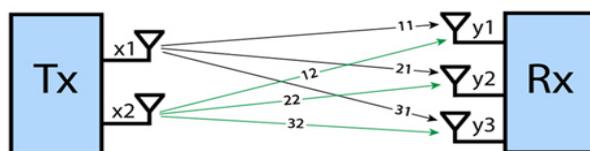


Рисунок 3 – Оптимальное весовое сложение (MRC)

Разнесенная передача (CSD/SE).

Технология Cyclic Shift Diversity (CSD) позволяет передать копии одного сигнала с дополнительных свободных антенн (рис. 4). Делается это поочередно с небольшим интервалом (200 нс). Если передать копии одного сигнала одновременно с нескольких антенн (мощность делится), получить выигрыш на приеме не удастся. Если же передать сигнал независимо (на максимальной мощности) с небольшим интервалом с каждой из антенн, можно получить разнесение сигнала на приеме, а значит улучшить сигнал. Приемник в свою очередь по определенному критерию выбирает лучший сигнал. Метод разнесенной передачи довольно старый и не очень удобен для распознавания на приемнике (требует вычислительной мощности, плохо масштабируется). Однако, он поддерживается на точках доступа и работает с клиентами предыдущих поколений – 802.11a/g. В современных стандартах (802.11n и далее) используется механизм STBC либо адаптивная передача (Beamforming).

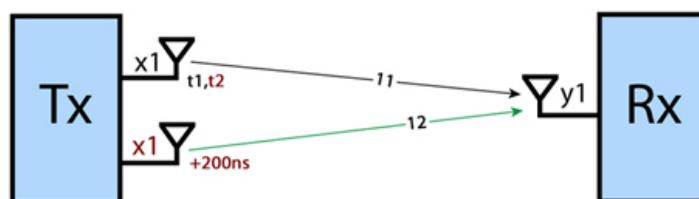


Рисунок 4 – Технология Cyclic Shift Diversity (CSD)

Пространственно-временное блочное кодирование (STBC).

STBC позволяет передавать разные сигналы одновременно с нескольких антенн за несколько тактовых интервалов (рис. 5). Для передачи используется схема Аламоути. Для простейшего случая 2x1, эта схема позволяет за два интервала времени передать два сигнала два раза. На двух интервалах с разных антенн передается один из сигналов и комплексное сопряжение другого сигнала. Мы получаем разнесение сигналов по времени и пространству (два сигнала проходят разными путями), увеличивая результирующий сигнал на приеме. С точки зрения приема, метод STBC является достаточно удобным, т.к. не требует большой вычислительной мощности. STBC не работает одновременно с CSD. В противовес MRC, который мы рассмотрели ранее, STBC позволяет нам улучшить качество сигнала от точки доступа к клиенту.

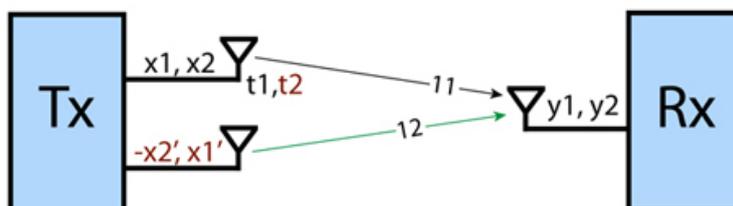


Рисунок 5 – Технологи STBC

Влияние на производительность.

В чем же преимущество их использования, какой реальный прирост они дают? Посмотрим графики. На рис. 6 для MCS7 (один поток) мы видим, что SE (CSD) не дает существенных улучшений по сравнению с режимом SISO (1x1) [2]. STBC же ведет себя гораздо лучше: для коэффициента ошибок 1% (PER – Packet Error Rate) он на ~4 dB лучше SE. MRC дает наибольший прирост: почти 10 dB по сравнению с режимом 1x1! Однако, на более низких скоростях результаты менее захватывающие. Для MCS0 (рис. 7) показатели SNR для STBC и SE (CSD) вообще сравнимы.

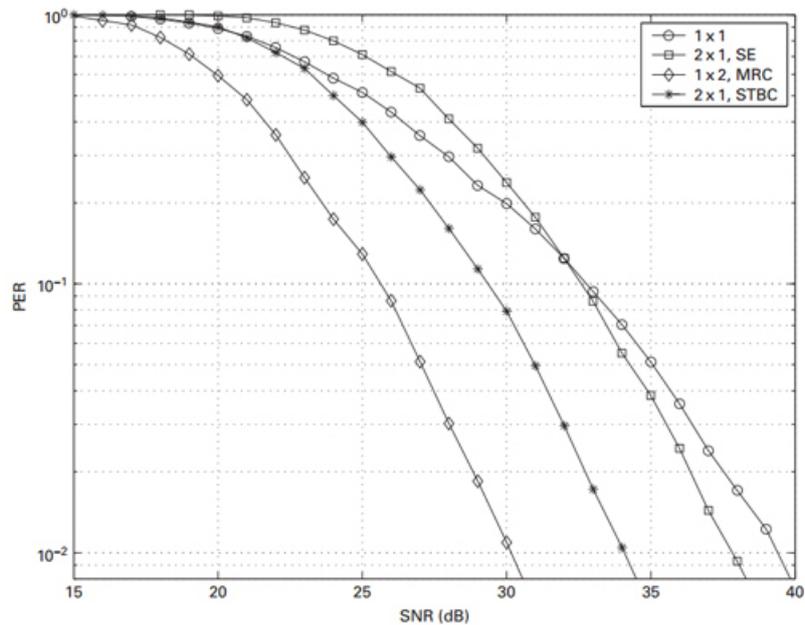


Рисунок 6 – График для MCS7

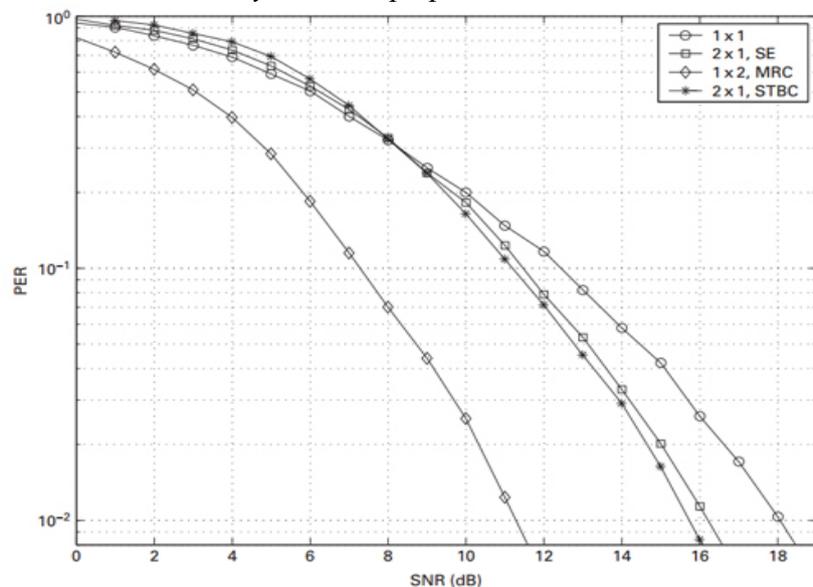


Рисунок 7 – График для MCS0

Адаптивная передача (802.11ac Explicit Beamforming).

Все выше описанные методы, которые предлагались до этого основывались на обработке сигнала на приемной стороне. То есть при передаче информации именно приемник составлял матрицу канала связи для входящего сигнала с каждого из передатчиков. Передающая же сторона не подстраивала сигнал на антеннах между собой, то есть отправляла сигнал “вслепую”. При адаптивной передаче основной акцент делается на определении состояния канала на передатчике, чтобы отправить сигнал с оптимальными фазово-амплитудными характеристиками (рис. 8). Другими словами, отправить сигнал с нескольких антенн таким образом, чтобы на приёмной стороне получить наилучшее качество. Сделать это можно разными способами (без ответа от получателя, калибровка с получателем). В стандарте 802.11ac был реализован подход с получением калибровочной информации от приемника. То есть приемник сообщает, как он слышит сигнал с каждой антенны точки доступа. После этого, на основе предположения что канал в обе стороны симметричен, формируется матрица передачи с коэффициентами для конкретного приемника.

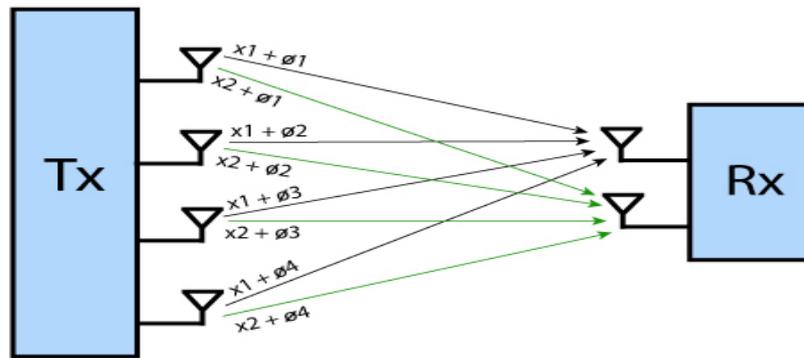


Рисунок 8 – Технология адаптивной передачи

Кроме того, использование адаптивной передачи позволяет распределять мощность между различными потоками (например, увеличить мощность для потоков лучшим SNR) На графике (рис. 9) видно, что в сравнении с методами разнесенной передачи рассмотренными ранее режим адаптивной передачи позволяет получить наибольший прирост в скорости при передаче информации клиенту.

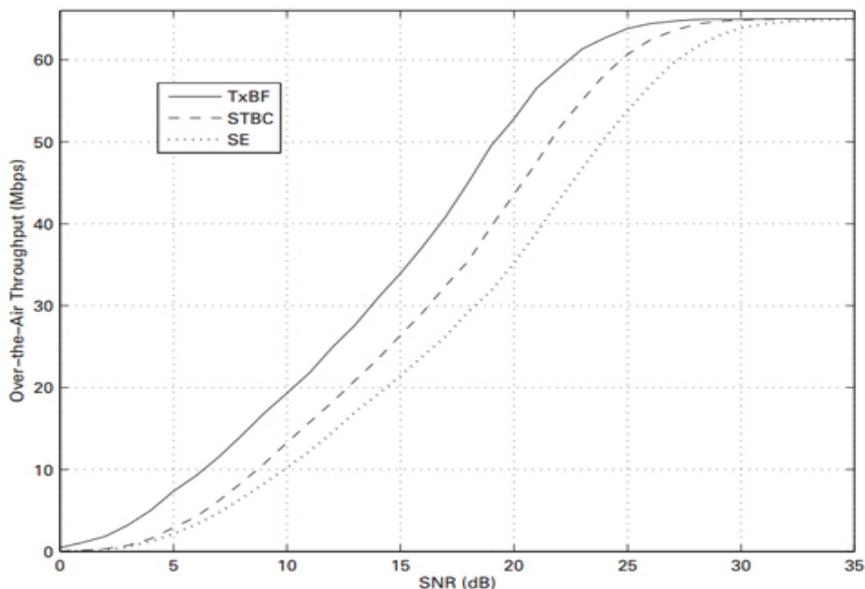


Рисунок 9 – График улучшения параметров применения технологии адаптивной передачи

Выводы. В данной статье описаны различные методы множественной передачи сигнала в системах MIMO (Wi-Fi) – мультиплексирование, разнесение сигнала на приеме и передаче, адаптивную передачу, а также показаны какой прирост они могут дать. В реальных условиях будет наблюдаться более комплексная картина. Добавляются дополнительные факторы, влияющие на работу беспроводной сети (расстояние до клиента, количество клиентов, нагрузка на канал, поддерживаемые клиентом методы передачи и др.). Точка доступа на основе встроенных алгоритмов решает какие методы передачи использовать в тот или иной момент времени.

Перечень ссылок

1. Perahia, E. Next Generation Wireless LANs — 802.11n and 802.11ac [Электронный ресурс] / E. Perahia, R. Stacey. – 2013. – Режим доступа: [https:// www.slideshare.net/alexeymiasoedov/eldad-perahia-robert-stacey-next-generation-wireless-lan](https://www.slideshare.net/alexeymiasoedov/eldad-perahia-robert-stacey-next-generation-wireless-lan). – Загл. с экрана.
2. Бакулин, М. Г. Технология MIMO: принципы и алгоритмы: / Л. А. Варукина, В. Б. Крейнделин, М. Г. Бакулин. — Москва : Горячая линия – Телеком, 2014.— 245 с.