

НЕ ВСЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ОДИНАКОВО ХОРОШИ

А.Тищенко, по материалам фирмы Cisco

Формирование диаграммы направленности антенной системы стало важной особенностью корпоративных точек доступа стандарта 802.11n и последующих, поскольку позволяет оптимизировать поток данных в восходящем и нисходящем направлениях, а также повысить пропускную способность сети. На рынке существуют два подхода к решению этой задачи: с помощью коммутируемой антенной решетки и цифрового сигнального процессора (ЦСП). Оба они дают определенные выгоды, но использование ЦСП имеет множество преимуществ, приводящих к более высокой производительности и делающих его более предпочтительным решением.

С момента появления на рынке стандарта 802.11n задача формирования диаграммы направленности (ДН) антенной системы становится важной для Wi-Fi. Дело в том, что точка доступа (ТД) содержит существенно больше приемопередатчиков, чем абонентское устройство клиента. К примеру, ТД корпоративного уровня обычно имеет три или четыре приемопередатчика, тогда как сотовый телефон или планшет клиента – один. Даже в ноутбуках их бывает не больше двух. Причин этому несколько, в основном – конструктивные и энергетические ограничения. В мобильных устройствах сложно разместить несколько антенн и емкость аккумулятора ограничена. Итак, в типичном случае на предприятии мы можем иметь конфигурацию: четыре передатчика и четыре приемника (4×4) для ТД и 1×1 для клиента.

При такой комбинации приемопередатчиков в любом направлении может передаваться только один пространственный поток, поскольку их число ограничено устройством

с меньшим числом антенн. Но в этом сценарии для одного пространственного потока производительность восходящего канала (от клиента к ТД) может быть выше, чем производительность нисходящего (от ТД к клиенту). Причина в том, что в ТД копии одного и того же сигнала (полученные в результате эффекта многолучевого распространения) на входах нескольких приемников могут складываться для улучшения суммарного сигнала.

Формирование ДН является основным способом повышения производительности нисходящего канала, использующим преимущество нескольких MIMO-передатчиков в ТД. Практика формирования ДН в нисходящем канале зачастую приводит к восстановлению баланса производительности восходящего и нисходящего каналов. Поскольку объем трафика, как правило, больше в нисходящем направлении, достижение этого равновесия приводит к повышению общей производительности системы.

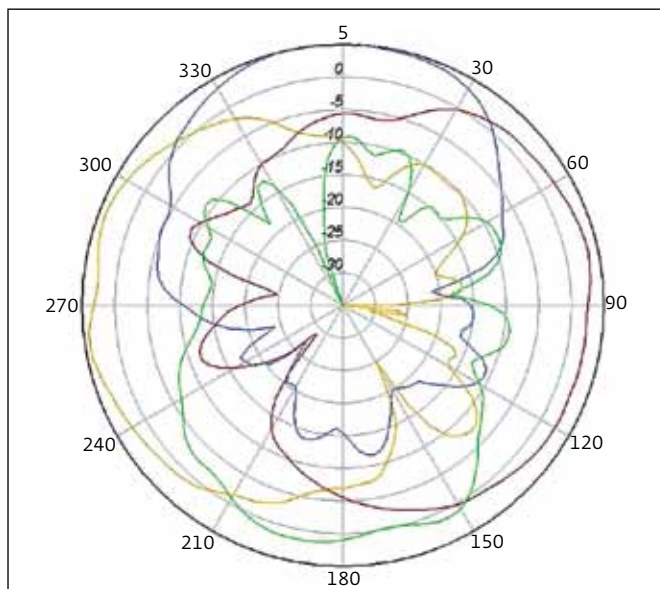


Рис.1. Варианты диаграммы направленности коммутируемой антенной решетки

Формирование ДН с помощью коммутируемой антенной решетки

Этот метод использует коммутируемую антенную решетку, которая позволяет формировать

различные варианты ДН. По сути ДН антенны меняется включением одних элементов решетки и выключением других. Комбинация включенных и выключенных элементов определяет вариант пространственной конфигурации ДН антенны. К примеру, антенна с четырьмя элементами позволяет сформировать пятнадцать вариантов ДН. Очевидно, шестнадцатый вариант нерабочий, поскольку все элементы антенны выключены. Если в нашем распоряжении ТД с тремя приемопередатчиками, каждый из которых имеет четырехэлементную антенну, то в этом случае мы теоретически можем иметь $15 \times 15 \times 15 = 3375$ вариантов ДН.

Другой тип антенной решетки включает в себя отдельные направленные элементы, формирующие ДН по секторам. К примеру, двенадцать антенн могут быть сконфигурированы как шесть антенн, каждая из которых покрывает сектор 60° с двумя типами поляризации. ТД может выбирать, какая комбинация антенных элементов дает наивысшую производительность в нисходящем канале (рис.1).

Возникает вопрос: могут ли сформированные ДН давать такой же выигрыш для восходящего потока, как для нисходящего? В общем случае

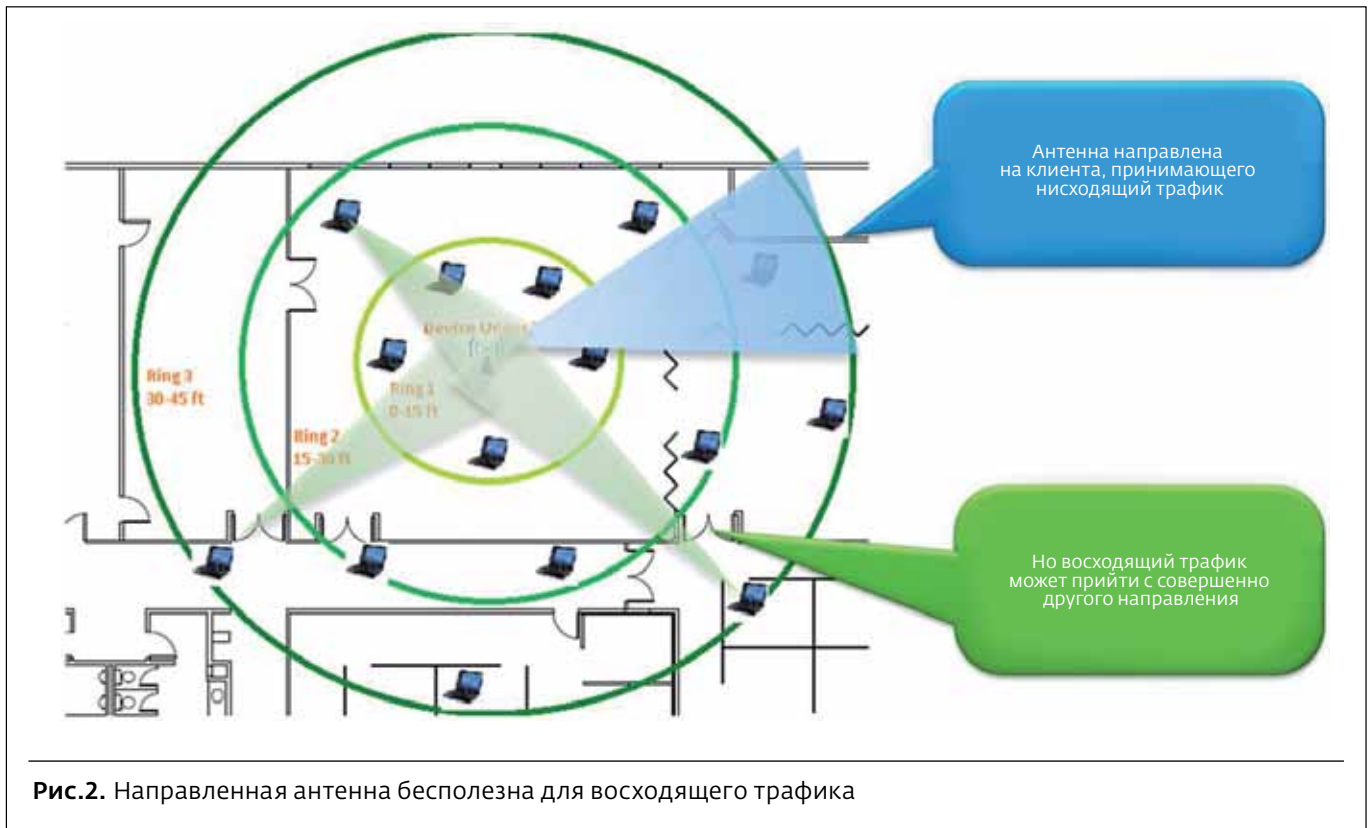


Рис.2. Направленная антенна бесполезна для восходящего трафика

ответ отрицательный, по крайней мере для восходящих пакетов данных (в отличие от АСК-пакетов). В условиях предприятия ТД обслуживает несколько клиентов, как показано на рис.2, и не знает, какой клиент будет передавать очередной пакет данных. Таким образом, в режиме приема ТД предприятия должна использовать круговую ДН. В противном случае ТД может потерять производительность, если очередной пакет придет от «неправильного» клиента.

ФОРМИРОВАНИЕ ДН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦСП

Этот вариант формирования ДН не требует антенного массива и использует один антенный элемент на приемопередатчик. Этот метод использует ЦСП для регулировки амплитуды и фазы сигнала в каждой антенне. Изменяя амплитуду и фазу передаваемых антеннами сигналов, ТД добивается сложений сигналов в точке приема, что повышает качество принимаемого клиентом сигнала.

Чтобы понять, как это работает, рассмотрим случай передачи клиентом стандарта 802.11a/g/n восходящего пакета с одного приемопередатчика на ТД Cisco 802.11n с четырьмя ММО-приемопередатчиками. Когда ТД принимает пакет, она на самом деле принимает четыре различных

сигнала с четырех антенн. Каждый принятый сигнал имеет свою амплитуду и фазу, зависящие от физических характеристик пространства между антеннами ТД и клиента. Используя обработку сигнала, ТД может объединить четыре полученных сигнала в один усиленный, меняя их амплитуды и фазы с целью получения наилучшего суммарного сигнала. Выполняющий эту операцию для передачи одного потока алгоритм носит название МРС (Maximal Ratio Combining). Для многопоточковых передач он немного более сложный, но в общем случае эти алгоритмы представляют собой ММО-выравнивание. Рисунок 3 показывает выигрыш МРС при компенсации затуханий в каналах приема и формировании хорошего суммарного сигнала.

Технология ЦСП идет дальше, добиваясь улучшения сигнала нисходящего трафика. В Wi-Fi канал является взаимным, он один для нисходящего и восходящего трафиков, поскольку прием и передача ведутся теми же антеннами на той же частоте. Поскольку ТД знает фазы и амплитуды для оптимального приема, она может применить это же взвешивание сигналов для передачи этому же клиенту. В результате формирования луча с помощью ЦСП клиент получает оптимально усиленный сигнал (рис.4).

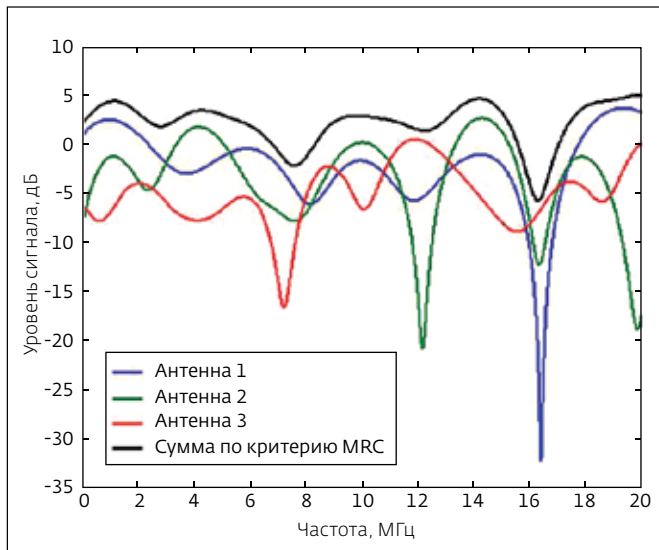


Рис. 3. Результат обработки принятых сигналов с помощью алгоритма MRC

Стандарт 802.11a/g/n использует мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), при котором используются несколько поднесущих. Поскольку поднесущие разделены по частоте, для каждой могут сложиться свои условия распространения между ТД и клиентом. По этой причине свои параметры фаз и амплитуд вычисляются и запоминаются для каждой поднесущей. Этот вопрос будет рассмотрен позже как основной фактор прироста производительности канала.

Важно отметить, что технология ЦСП-формирования ДН работает без каких-либо специальных возможностей аппаратного или программного обеспечения клиента. Таким образом, оно работает со всеми клиентами стандарта 802.11a/g/n. Примером этого типа формирования ДН является Cisco ClientLink 2.0, который применен в Cisco 3600 и может поддерживать до 128 клиентов стандарта 802.11a/g/n. Этот тип формирования ДН не следует путать со многими дополнительными методами, являющимися частью стандарта 802.11n, которые вообще не реализованы на стороне клиентского устройства. Методы формирования ДН стандарта 802.11n обязывают приемную сторону постоянно обмениваться информацией о состоянии канала с передающей стороной. Поскольку очень немногие клиенты имеют или разрешают поддержку формирования ДН для стандарта 802.11n, он не обеспечивает в настоящее время практической выгоды, и не ожидается, что ситуация будет меняться с течением времени.

Стандарт 802.11ac также определяет один дополнительный метод ЦСП-формирования ДН, который, как ожидается, может получить более широкую поддержку у клиентов. К сожалению, стандарт 802.11ac не имеет обратной совместимости с чипсетом 802.11n. Таким образом, формирование ДН по стандарту 802.11ac даст выигрыш только для ТД 802.11ac и клиента 802.11ac, поддерживающих такое формирование ДН.

Некоторые вендоры утверждают, что ЦСП-формирование луча без обмена информацией с клиентским устройством неэффективно, поскольку различия в путях передачи (Tx) и приема (Rx) клиента нарушают взаимность канала. Это утверждение неверно, потому что путь Rx очень мало влияет на формирование конфигурации ДН. Таким образом, для поддержания взаимности ТД необходимо только откалибровать различия в своих собственных путях Tx и Rx, и любое влияние Tx клиента полностью ликвидируется при вычислении матрицы формирования ДН.

ПРЕИМУЩЕСТВА МЕТОДА ЦСП-ФОРМИРОВАНИЯ ДН НАД МЕТОДОМ КОММУТИРУЕМОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Хотя подход к формированию ДН методом коммутации антенны имеет некоторые выгоды, есть значительные преимущества при формировании луча с помощью ЦСП. Рассмотрим их.

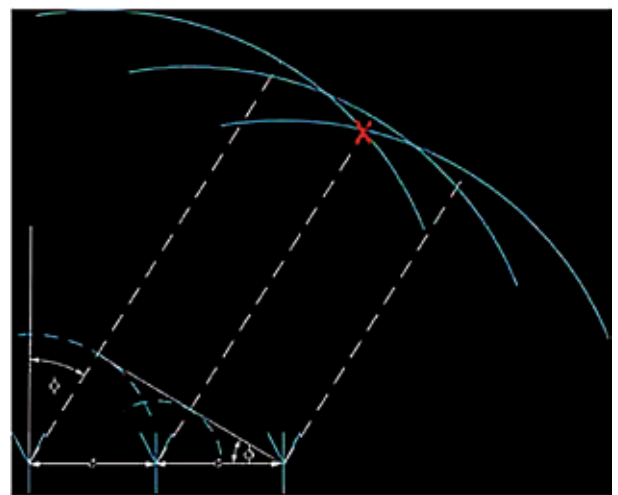


Рис. 4. Выравнивание фаз излучаемых сигналов для получения максимального сигнала на стороне клиента

Первое основное преимущество ЦСП-формирования луча – это, как говорилось ранее, возможность оптимизировать сигнал на уровне поднесущей. Напомним, что стандарт 802.11n с шириной канала 40 МГц имеет 114 поднесущих, а 802.11ac с шириной канала 80 МГц имеет 242 поднесущих. Поднесущие OFDM-сигнала распределены по этим широким каналам и испытывают искажения (переотражения и затухания) в зависимости от частоты поднесущей в OFDM-сигнале. Как видно из рис.3, на частоте канала 1 МГц нужно выделить антенну 1, а на частоте 16,5 МГц – антенну 3.

По этой причине ДН действительно надо оптимизировать отдельно для каждой поднесущей или, по крайней мере, для групп поднесущих. В случае коммутации антенной решетки устанавливается единая ДН для всех поднесущих. Это, естественно, приводит к компромиссному решению – применению лучшей усредненной ДН без возможности оптимизировать каждую поднесущую.

Вендоры, реализующие улучшение нисходящего канала передачи данных с использованием коммутируемых антенных решеток, заявляют, что они имеют возможность выбирать из тысяч ДН антенн для оптимизации доставки сигнала клиенту. Как уже говорилось, в случае четырех антенных элементов на приемопередатчик и трех приемопередатчиков они имеют возможность выбирать из нескольких тысяч моделей.

Теперь рассмотрим возможности ЦСП-подхода к формированию ДН. Весовой коэффициент амплитуды и фазы луча для одной группы поднесущих одной антенны кодируется 16-разрядным числом. Для четырех антенн это уже 64-разрядное число, с помощью которого можно сформировать 10^{19} вариантов ДН для группы поднесущих. Если мы рассмотрим 30 групп поднесущих для сигнала 802.11n с полосой 40 МГц, общее число возможных вариантов составит

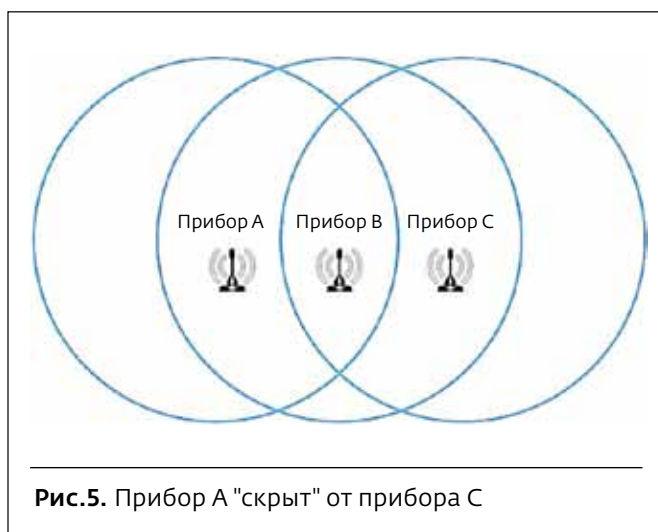


Рис.5. Прибор А "скрыт" от прибора С

10^{578} . Вдобавок к этому, ЦСП может распределять энергию отдельно по пространственным потокам. Как видите, существует большая гибкость при формировании и направленности с помощью ЦСП.

Это важно, поскольку в помещении могут быть тысячи переотражений сигнала. На самом деле сигнал может не распространяться по линии прямой видимости или не быть сильным, поскольку он проходит через такие препятствия, как стены. Чтобы оптимизировать такой сложный сигнал, действительно необходимо огромное множество вариантов и направленности. Поскольку коммутируемые антенные массивы ограничены в числе вариантов, они останавливаются на варианте, подавляющем некоторые отраженные копии радиосигнала.

Существенным недостатком коммутируемой решетки может быть скорость формирования ДН. Для определения лучшей и направленности ТД должна просканировать набор доступных и определить, какая из них даст наилучшую производительность. Это сканирование может

занять некоторое время и особенно проблематично в помещениях, где клиенты перемещаются или условия распространения радиоволн значительно меняются (к примеру, когда люди ходят по комнате), а также когда необходимо поддерживать большое число клиентов.

ЦСП в свою очередь может сформировать оптимальную ДН с помощью единственного восходящего пакета. Просто выполняя процедуру MRC (или MIMO для многопоточковой системы), ТД мгновенно получает информацию о клиентском канале и определяет наилучшую ДН. Таким образом, при ЦСП-подходе оптимальная ДН формируется за микросекунды, а для коммутируемой решетки это время составляет от миллисекунд до секунд в зависимости от числа клиентов.

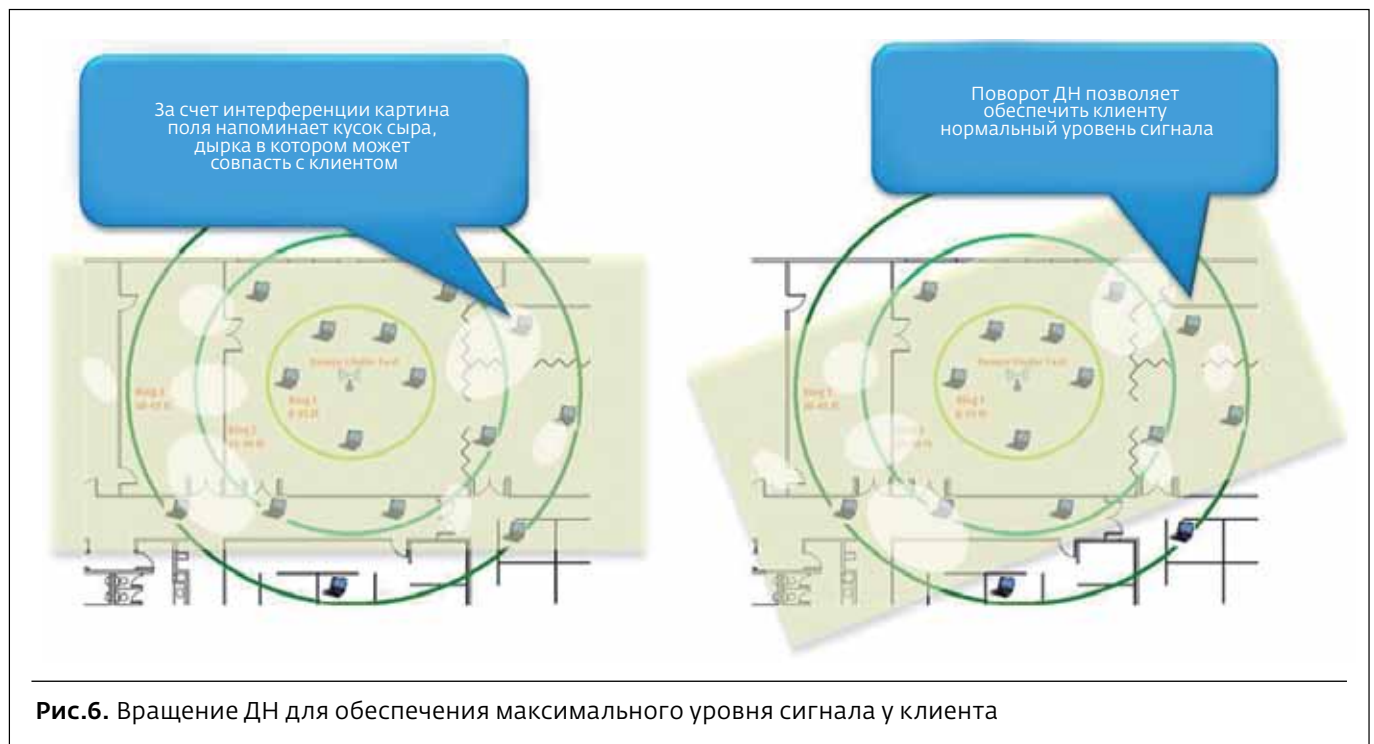
Как отмечалось выше, в случае коммутируемой решетки для каждого приемопередатчика требуется несколько антенн. К примеру, для трех приемопередатчиков с четырьмя элементами у каждого, потребуется 12 антенн. Направлением развития стандартов 802.11n и 802.11ac является увеличение числа приемопередатчиков со временем. Например, ранее ТД стандарта 802.11n имели два или три приемопередатчика, но сегодня корпоративные ТД имеют до четырех устройств в своем составе. Во втором поколении 802.11ac мы можем увидеть системы с более чем четырьмя приемопередатчиками. (Стандарт 802.11ac допускает обработку

до восьми пространственных потоков, которым потребуется минимум восемь приемопередатчиков). Поскольку число приемопередатчиков растет, число антенн растет многократно, и проблемой коммутируемой решетки будут и размер, и цена.

Проблемой коммутируемой решетки являются сами ключи, включающие или отключающие отдельные элементы антенны для формирования ДН. Эти ключи могут приводить к потерям в передаваемом сигнале, которые частично снижают усиление антенны. В ЦСП-методе нет потерь в ключах, поскольку нет самих ключей.

Интересной проблемой любой Wi-Fi-сети являются скрытые узлы (рис.5). К примеру, мы имеем три устройства: А, В и С, расположенные в ряд. Устройство А передает устройству В. Устройство С достаточно далеко, чтобы принять сигнал от устройства А и понять, что канал занят. Оно может начать передачу в то же время. Но, к сожалению, устройство В недалеко от С, и сигнал от С интерферирует с принимаемым сигналом от А, так как они работают в одном частотном канале.

Концентрируя передачу энергии в одном направлении, коммутируемые решетки могут вызвать дополнительные проблемы скрытых узлов, потому что такой подход увеличивает шансы, что третье устройство не сможет принять передачу от ТД к клиенту и начнет передачу, которая вызовет эффект интерференции.



Напротив, ЦСП-подход не страдает от проблемы появления скрытого узла. Причина в том, что в условиях многолучевого распространения сигнала в помещении, ЦСП в конечном итоге не локализует сигнал в одном направлении. Вместо этого сигнал распространяется в различных направлениях для каждой поднесущей, и в целом – во многих направлениях. В определенном смысле картина создаваемого ТД поля в узкой полосе частот выглядит как срез швейцарского сыра (рис.6). Дырки в сыре являются областями, где интерференция ослабляет сигнал. Эффект ЦСП-формирования ДН заключается в таком повороте отдельных кусочков сыра, соответствующих отдельным частотам, чтобы дырка не оказалась на месте клиента. В итоге среднестатистическая производительность существенно повышается.

Но как поворот сыра повлияет на других клиентов? Это совершенно случайный процесс, в большинстве случаев не дающий никакого эффекта, иногда делающий сигнал сильнее, а иногда ослабляющий его. Поскольку общий эффект является случайным, он не дает увеличения числа скрытых узлов.

Некоторые вендоры, использующие в своей работе антенные массивы, утверждают, что коммутируемые решетки обеспечивают преимущества за счет подавления интерференции принимаемых сигналов. Это утверждение неверно, поскольку, как отмечалось выше, в условиях предприятия ДН антенны может использоваться только с известным клиентом в режиме передачи, но не в режиме приема. Это объясняется тем, что на предприятии ТД всегда обслуживает несколько клиентов. В режиме приема должна применяться круговая ДН, поскольку ТД не знает, какой клиент начнет передачу. Круговая ДН не дает выигрыша по усилению и не обеспечивает подавления интерференции.

В антенной решетке могут использоваться поляризованные антенные элементы. В этом случае

можно выбирать между ДН с различной поляризацией. Использование поляризации сигнала может дать эффект, но он обычно ограничен областью прямой видимости вне помещений. В помещениях возникает множество переотраженных сигналов с различными плоскостями поляризации, поэтому выигрыш от использования поляризованных антенн значительно снижается.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОБОИХ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ ДН

В заключение сравним оба метода с точки зрения среднего выигрыша в уровне сигнала, доставленного конкретному клиенту.

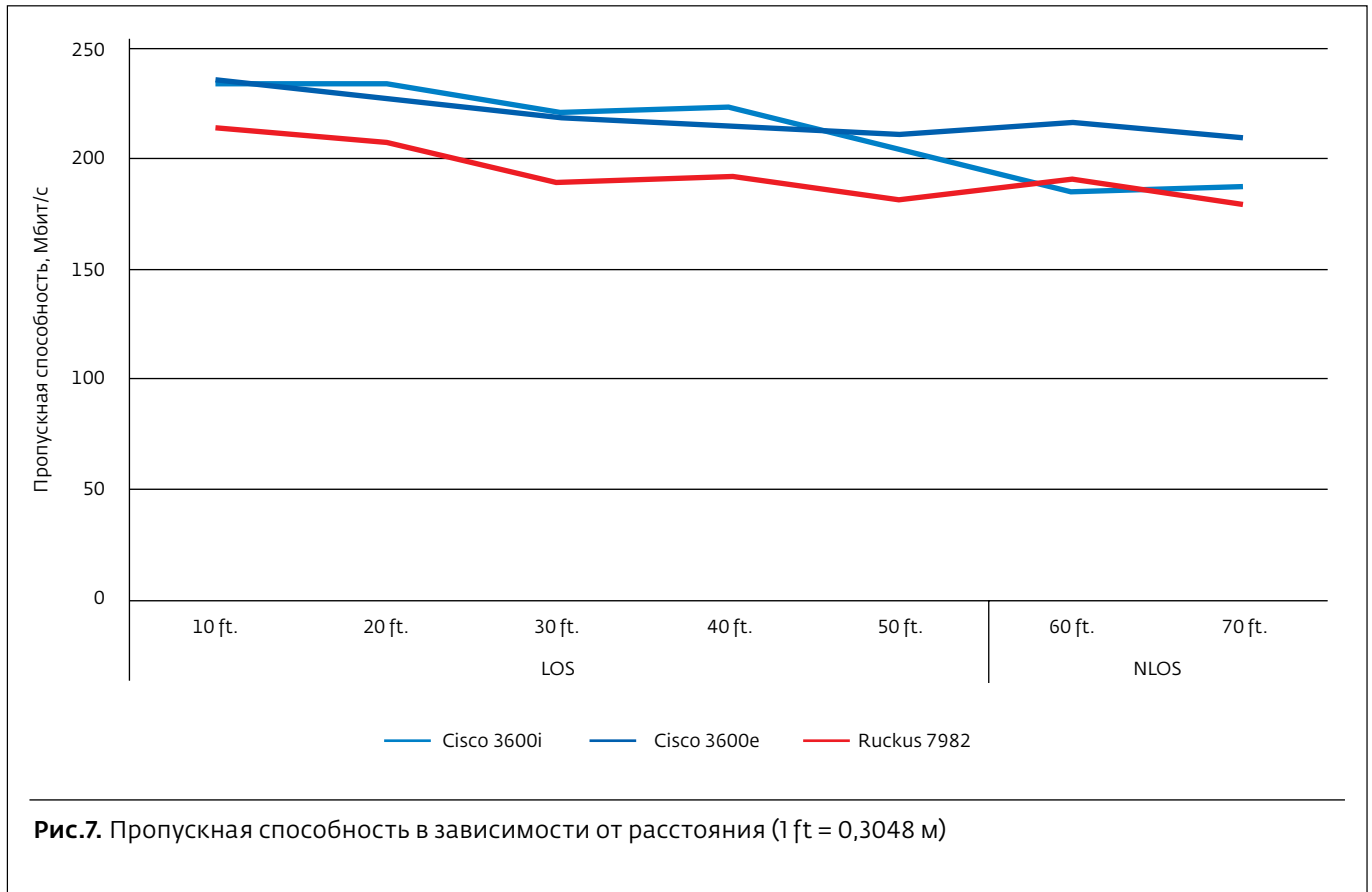
В случае коммутируемой решетки выигрыш достигается за счет выбранной ДН антенны. Поскольку в каждый момент времени выбирается своя ДН, можно оценить средний выигрыш. Возьмем для примера ТД Ruckus 7982, для которой заявляется коэффициент усиления адаптивной антенны 6 дБ.

Определение общего выигрыша для ЦСП-метода не может быть рассчитано и требует моделирования канала. К примеру, зададимся следующими параметрами модели:

- ТД формата 4×4 стандарта 802.11n излучает на максимально возможной скорости (64-QAM 5/6);
- клиенты формата 1×1, 2×2, и 3×3 стандарта 802.11n;
- модель канала IEEE 11n: D (NLOS);
- приемники клиентов: MMSE;
- фазовый шум: -35 дБ;
- Tx EVM: -33 дБ.

Результаты моделирования общего выигрыша для ЦСП-формирования ДН показали, что он составляет от 7 до 12 дБ. Это превосходит типовой выигрыш для коммутируемой антенной решетки.

Для того чтобы привести некоторые конкретные числа, мы будем сравнивать две ТД



корпоративного класса, которые используют два различных метода формирования ДН. В качестве представителя технологии коммутируемой антенной решетки выберем Ruckus 7982 AP. Это ТД стандарта 802.11n, использующая коммутируемую решетку из 12 элементов и содержащая три приемопередатчика с рабочей частотой 5 ГГц.

В качестве ТД с ЦСП-формированием ДН возьмем Cisco 3602i и 3602e. ТД 3602i содержит четыре приемопередатчика, имеет внутренние ненаправленные антенны и использует ЦСП-технология ClientLink 2.0, работающую со всеми клиентами стандарта 802.11a/g/n. ТД 3602e отличается только тем, что имеет внешние ненаправленные антенны вместо внутренних.

Измерения проводились в обстановке офиса. Сети работали на 5-ГГц каналах 36+40 (ширина канала 40 МГц). В качестве клиента использовался 3x3 MacBook Pro под OS X 10.8. Измерения проводились на расстоянии от 10 до 70 футов с шагом 10 футов. Измерения усреднялись в течение 1 мин. Для генерации тестового трафика использовалась программа Chariot. Результаты испытаний приведены на рис.7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из рассмотрения следует, что оба метода формирования ДН дают определенный выигрыш, но использование ЦСП имеет преимущества (особенно для сети со многими клиентами) и более предпочтительно по следующим причинам. ЦСП-технология использует несколько передатчиков для улучшения параметров нисходящего канала с помощью информации, полученной от нескольких приемников во время улучшения производительности восходящего канала. Коммутируемая решетка не может так легко использовать эту информацию. ЦСП-технология может более оперативно реагировать на изменения радиочастотного окружения и поэтому может поддерживать больше клиентов. ЦСП-технология лучше подходит для мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), поскольку передача каждой поднесущей может быть точно настроена в соответствии с частотно-зависимыми параметрами поглощения, которое характерно для беспроводного канала. Коммутируемые решетки не имеют возможности для оптимизации каждой OFDM-поднесущей. ■

