

Повышение помехоустойчивости канала с использованием 2М-пространственно-временного кодирования

Р.С.Тимощук, В.И.Носов

Техника, представленная в данной статье, – это простая схема с разнесённой передачей, которая улучшает качество сигнала на приёме путём простого распределения сигнала по двум передающим антеннам. В 1998 году Аламоути (Alamouti) первым предложил метод кодирования, который использует полный разнос с линейным процессом декодирования на приёме. Схема Аламоути с разнесённой передачей позволяет уменьшить коэффициент ошибок, увеличить скорость передачи или ёмкость канала беспроводных систем связи. В ходе исследований, лежащих в основе статьи, разработан подход к унификации техники пространственно-временного кодирования Аламоути. С помощью данного подхода представляется возможным создание 2М-передающих антенных систем, работающих с одной приёмной антенной, например, для уменьшения размерности кластера в многосетевых сетях при сохранении заданной помехоустойчивости системы радиосвязи.

Ключевые слова: антенные решётки; разнос передачи; схема Аламоути; борьба с замираниями; пространственно-временное кодирование; разнос передачи; беспроводная радиосвязь.

1. Введение

Новейшее поколение беспроводных систем связи обеспечивает передачу голосовой информации высокого качества и в отличие от существующих систем мобильной связи позволяет передавать информацию на высоких скоростях. В то же время удалённые устройства должны иметь малый вес и размеры. Более того, они должны работать в различных средах: макро-, микро- и пикосотах; городских или открытых пространствах; внутри и снаружи строений. Другими словами, новое поколение систем беспроводной связи должно иметь: лучшее качество; большую зону покрытия; высокую эффективность с точки зрения занимаемой полосы частот; возможность работы в различных условиях. При этом пользовательские устройства должны оставаться относительно простыми. Напротив, размеры базовых станций могут позволить более сложные конструкции. Фактически, только базовые станции могут обеспечить достаточное пространство для реализации требований нового поколения беспроводных систем.

Фундаментальное явление, которое делает надёжную передачу радиосигнала затруднительным, – это изменяющееся во времени замирание сигнала из-за многолучёвости. Оно затрудняет передачу сигнала в отличие от оптоволокна, коаксиального кабеля.

Повышение качества или уменьшение вероятности ошибок при замирании из-за многолучёвости является наиболее сложной задачей. При белом гауссовском шуме (AWGN) в канале, используя помехоустойчивое кодирование, уменьшение битовой ошибки (BER) от 10^{-2} до 10^{-3} может потребовать всего 1 или 2 дБ увеличения отношения сигнал/шум (SNR). Достижение того же эффекта в условиях замираний из-за многолучёвости может потребовать до

10 дБ увеличения SNR . К сожалению, увеличение SNR не может быть достигнуто простым увеличением мощности передатчика или дополнительной полосой, т.к. это противоречит требованиям систем нового поколения. Таким образом, очень важно эффективно уменьшать влияние замираний из-за многолучёвости на обоих концах – удалённом устройстве и базовой станции – без увеличения мощности и не жертвуя полосой.

Теоретически наиболее эффективная техника уменьшения влияния замираний из-за многолучёвости в беспроводных системах – это управление мощностью передатчика. Если параметры канала известны на передающем конце, то передатчик может произвести предсказание сигнала для того, чтобы компенсировать влияние канала передачи. Существует две фундаментальные проблемы в этом подходе. Главная проблема – это требуемый динамический диапазон передатчика. Для преодоления определённого уровня замираний передатчик должен увеличить мощность, что не всегда возможно из-за ограничений: по электромагнитной совместимости; энергопотреблению; размерам; стоимости. Вторая проблема в том, что передатчик не имеет информации о состоянии канала, за исключением систем с обратной связью. Следовательно, информация о канале должна быть передана от приёмника к передатчику, что приводит к уменьшению производительности системы и добавляет существенную сложность в конструкцию приёмника и передатчика. Более того, в некоторых случаях может не быть возможности передать информацию о канале вообще.

Другие эффективные технологии основываются на разносе по времени или по частоте. Временное перемежение вместе с помехоустойчивым кодированием позволяют значительно улучшить качество работы системы. То же самое относится и к расширению спектра. Однако временное перемежение приводит к большим задержкам в режиме медленного изменения параметров канала. Таким же образом, расширение спектра не эффективно, когда когерентная полоса канала больше, чем расширенная полоса спектра сигнала.

В многолучевых каналах разнос антенн это практичная, эффективная, а следовательно, широко распространённая техника для уменьшения влияния замираний из-за многолучёвости. Классический подход – это использование нескольких антенн на приёме, их комбинирование или выбор и переключение для улучшения качества принимаемого сигнала. Важнейшая проблема с использованием приемных антенн – это стоимость, размер и мощность удалённых устройств. Использование множественных антенн и сложных радиосхем (для выбора или переключения) делает удалённые устройства больше и дороже. Как результат, техника разноса в большинстве случаев применялась на базовых станциях, чтобы улучшить их качество приёма. Базовая станция часто обслуживает сотни и тысячи удалённых устройств. Таким образом, экономически более целесообразно добавлять оборудование на базовой станции, чем на удалённых устройствах. По этой причине схемы с разносом передачи представляют большой интерес. Например, всего одна антенна и одна цепь передачи, будучи добавленными к базовой станции, могут обеспечить улучшение качества приёма всех удалённых устройств в области покрытия. Альтернатива – добавлять антенны и на всех удалённых устройствах. Первое решение определённее более выгодно с точки зрения экономики.

В последнее время были предложены несколько интересных подходов к разносу передачи. Схема разноса задержки была предложена Витнебеном (Wittneben) для базовых станций с одновременной передачей, и позже, независимо, похожая схема была предложена Сешадри (Seshadri) и Винтерсом (Winters) для одной базовой станции, которая копирует тот же символ, переданный через несколько антенн в различные временные интервалы, таким образом создав искусственное многолучевое искажение. Эквалайзер по принципу максимального правдоподобия с последовательной оценкой ($MLSE$) или минимальной среднеквадратической ошибкой ($MMSE$) впоследствии используется для обработки многолучевого искажения и получения усиления разноса. Другой интересный подход – это пространственно-временное треллис-кодирование, где символы кодируются согласно антеннам, через которые они одновременно передаются и декодируются с помощью декодера по максимальному правдоподобию. Эта схема очень эффективна, т.к. сочетает преимущества помехоустойчивого кодирования (FEC) и разноса передачи для значительного улучшения производительности системы.

Цена этой схемы – это дополнительная сложность обработки, которая растёт экспоненциально как функция от полосовой эффективности (бит/Гц) и требует кратного разнеса. Следовательно, для некоторых приложений она может быть нереализуема или не оправдана экономически.

В данной статье приводятся результаты проведённого исследования методов повышения помехоустойчивости при помощи техники пространственно-временного кодирования. Основной задачей исследования было создание универсальной модели для расчёта характеристик систем радиосвязи и оценки эффекта увеличения помехоустойчивости. Универсальная модель базируется на технике Аламоути, но использует $2M$ передающих антенн (где M – целое положительное число) для достижения более эффективного разнеса передачи, а значит, и повышения помехоустойчивости. В качестве одного из преимуществ использования данной схемы рассматривается уменьшение фактора переиспользования в многосотовых сетях. Снижение коэффициента переиспользования достигается за счёт уменьшения размерности кластера и, как следствие, количества используемых частот из-за улучшенной помехоустойчивости как базовых станций, так и абонентских устройств.

2. Принцип кодирования Аламоути

В 1998 году Аламоути предложил новый подход к разделению *MIMO*-сигналов (*MIMO* – Multiple Input Multiple Output) на приёмной стороне. Новая схема, названная по имени автора, относится к классу ортогонального пространственно-временного блочного кодирования (*OSTBC* – orthogonal space-time block codes).

Принцип кодирования по Аламоути состоит в том, что подлежащая передаче последовательность символов разбивается на пары (например, смежные чётный и нечётный символы) x_i и x_{i+1} . Для передачи такого блока требуются два излучателя и два интервала передачи. В первом интервале передающая антенна 1 будет излучать сигнал символа x_i , тогда как антенна 2 – сигнал x_{i+1} . В следующем временном интервале антенна 1 передаёт сигнал $-x_{i+1}^*$, а антенна 2 – сигнал x_i^* (где « $*$ » – комплексно сопряженная величина).

Физическая сущность таких манипуляций с излучаемыми сигналами становится ясной, если воспользоваться их математическим представлением. Представим комплексную величину x через коэффициенты реальной и мнимой частей (a и b):

$$\begin{cases} x_i = a_i + jb_i \\ x_{i+1} = a_{i+1} + jb_{i+1} \\ x_i^* = a_i - jb_i \\ -x_{i+1}^* = -a_{i+1} + jb_{i+1} \end{cases} \quad (1)$$

Несложно заметить, что если в первом временном интервале сигналы синфазны, во втором они обязательно будут в противофазе, и наоборот. Если же в первом интервале сигналы ортогональны (разность фаз 90°), то они таковыми останутся и во втором, с той лишь разницей, что опережение фазы излучения поочередно будет возникать то на первой, то на второй антеннах.

Когда передающая антенная система состоит из двух несимметричных вибраторов, результирующая диаграмма направленности (ДН) существенно зависит от соотношения фаз входных сигналов (рис. 1). В общем случае ориентация максимумов излучения зависит от разности фаз сигналов. Если на одном из вибраторов фаза запаздывает, то ДН отклоняется в его сторону.

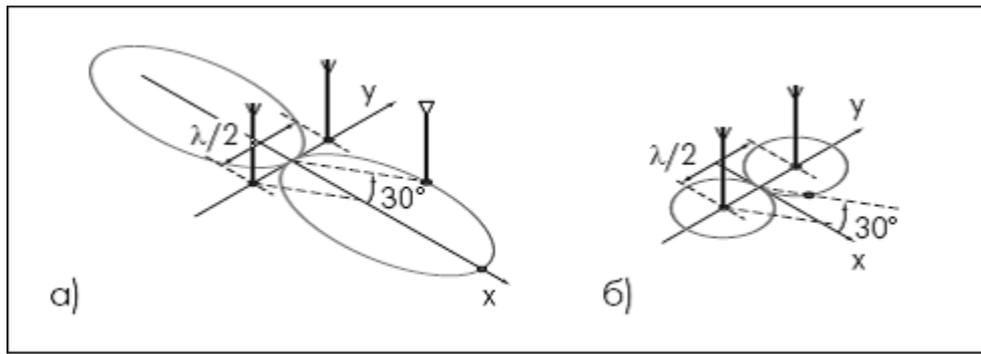


Рис. 1. Изменение ориентации максимумов излучения в зависимости от разности фаз: а) синфазно, б) в противофазе

Таким образом, максимум энергии сигнальной смеси, кодированной по Аламоути, излучается каждый раз в различных направлениях, причём различных для каждой новой передаваемой пары символов в зависимости от разности фаз сигналов. Это повышает вероятность их прохождения с учётом наличия множественных переотражателей.

Для приёма кодированного по Аламоути двухсимвольного сигнала достаточно одной приёмной антенны и пары временных отсчётов сигнальной смеси. Таким образом, фактически можно обойтись системой *MISO* (*MISO* – Multiple Input Single Output). При приёме сигнальной смеси в двух последовательных временных интервалах получим совокупность напряжений y_i и y_{i+1}

$$\begin{cases} y_i = h_1 x_i + h_2 x_{i+1} + n_i \\ y_{i+1} = -h_1 x_{i+1}^* + h_2 x_i^* + n_{i+1} \end{cases} \quad (2)$$

где n_i, n_{i+1} – отсчёты напряжений внутреннего шума приемника, а h_1 и h_2 – передаточные характеристики канала для сигналов, излученных первой и второй антеннами, соответственно. Два временных отсчёта необходимы для того, чтобы число уравнений в системе равнялось числу неизвестных.

Для оценки передаточных характеристик канала передачи h_1 и h_2 при вхождении в связь транслируются заранее известные пилотные сигналы z_i и z_{i+1} . В приёмнике решается приведённая выше система уравнений, где в качестве неизвестных выступают передаточные характеристики канала h_1 и h_2

$$\begin{cases} h_1 = \frac{y_i z_i^* - y_{i+1} z_{i+1}}{z_i^2 + z_{i+1}^2} \\ h_2 = \frac{y_{i+1} z_i - y_i z_{i+1}^*}{z_i^2 + z_{i+1}^2} \end{cases} \quad (3)$$

После установления связи по известным значениям передаточных характеристик декодируются пары переданных символов

$$\begin{cases} x_i = h_1^* y_i + h_2 y_{i+1}^* \\ x_{i+1} = h_2^* y_i + h_1 y_{i+1}^* \end{cases} \quad (4)$$

Данные соотношения являются оптимальными оценками максимального правдоподобия. Следует, однако, иметь в виду, что характер переотражений на трассе распространения сильно зависит от направления излучения, поэтому для систем *MIMO* известный в антенной теории принцип взаимности передающих и приёмных антенн может не выполняться. Это вынуждает независимо рассчитывать характеристики каналов передачи в прямом и обратном на-

правлениях связи. Однако на передающей стороне знать свойства трассы распространения сигналов не требуется.

MISO-схема Аламути используется в стандарте *IEEE 802.16-2004 (WiMAX)*. Согласно данным корпорации Intel, такое кодирование в условиях многократных переотражений позволяет, в конечном счёте, получить выигрыш в отношении сигнал/шум около 5 дБ для модуляции *BPSK* и до 10 дБ – для *64-QAM*.

Главное ограничение в применении рассмотренного метода кодирования – допущение о неизменности характеристик канала не только в двух последовательных временных интервалах, по которым рассчитываются передаточные характеристики, но и вплоть до момента окончания приёма полезной информации. По этой причине пространственно-временное кодирование Аламути для мобильных абонентов сопровождается падением эффективности передачи.

В системах *UMTS* в диапазоне частот около 2 ГГц можно использовать четыре или даже восемь антенн на базовых станциях и две или четыре антенны на мобильном устройстве. Поскольку количество антенн на базовых станциях будет отличаться от количества на мобильном устройстве, очень важно разработать гибкую схему *MIMO*, поддерживающую различные многоэлементные антенны. В качестве минимального требования, мобильное устройство может быть информировано только о количестве передающих антенн на базовой станции. Основываясь на её собственном числе приёмных антенн, оно может определить, какой алгоритм декодирования применять. Некоторые коды имеют сложность, пропорциональную количеству приёмных антенн, например, циклические пространственно-временные коды. Ещё один пример – это коды Адамара (Hadamard), передающие символы особым образом. В таких схемах можно применять несложный приёмник, и при этом можно достигнуть большого коэффициента разнеса с большим количеством антенн. Однако, только используя множественные приёмные антенны, невозможно достичь максимально возможного разнеса, пока не будет реализован необходимый разнос на передаче.

Начиная с 2×1 схемы Аламути, предлагается следующее рекурсивное правило построения (схожее с правилом построения комплексного кода Уолша-Адамара (Walsh-Hadamard))

$$\begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ -h_2^* & h_1^* \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ -h_2^* & h_1^* & -h_4^* & h_3^* \\ -h_3^* & -h_4^* & h_1^* & h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Таким образом, что скалярные векторы h_1 и h_2 слева заменяются на матрицы 2×2

$$\begin{cases} H_1 = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ -h_2^* & h_1^* \end{bmatrix}, \\ H_2 = \begin{bmatrix} h_3 & h_4 \\ -h_4^* & h_3^* \end{bmatrix}, \end{cases} \quad (6)$$

и затем вставляются в пространственно-временную матрицу Аламути

$$\begin{bmatrix} H_1 & H_2 \\ -H_2^* & H_1^* \end{bmatrix}. \quad (7)$$

В соответствии с выражениями (5) – (7) результирующая символьная последовательность S для передаваемых четырёх символов $S = [S_1, \dots, S_4]^T$ имеет вид

$$S = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ S_2^* & -S_1^* & S_4^* & -S_3^* \\ S_3^* & S_4^* & -S_1^* & -S_2^* \\ S_4 & -S_3 & -S_2 & S_1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Получим результат в виде эквивалентной схемы передачи

$$y = HS + v, \quad (9)$$

где H является матрицей канала, S – результирующая символьная последовательность, а v – шумовая компонента.

С учётом вышеизложенного для системы $MISO$ 4×1 применяется расширенная схема Аламоути (Extended Alamouti Scheme), которая приведена в табл. 1.

Таблица 1. Расширенная схема Аламоути

	Антенна 1	Антенна 2	Антенна 3	Антенна 4
Интервал 1	S_1	S_2	S_3	S_4
Интервал 2	S_2^*	$-S_1^*$	S_4^*	$-S_3^*$
Интервал 3	S_3^*	S_4^*	$-S_1^*$	$-S_2^*$
Интервал 4	S_4	$-S_3$	$-S_2$	S_1

На основе рассмотренных систем $MISO$ 2×1 и 4×1 можно сформулировать общее правило «аламоутизации»:

$$\begin{cases} S_1 = a_1 + jb_1 \\ S_2 = a_2 + jb_2 \\ S_3 = a_3 + jb_3 \\ S_4 = a_4 + jb_4 \end{cases}, \quad (10)$$

$$S_{2 \times 1} = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 \\ S_2^* & -S_1^* \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$S_{4 \times 1} = \begin{pmatrix} S_{12} & S_{34} \\ S_{34}^* & -S_{12}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ S_2^* & -S_1^* & S_4^* & -S_3^* \\ S_3^* & S_4^* & -S_1^* & -S_2^* \\ S_4 & -S_3 & -S_2 & S_1 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

$$S_{8 \times 1} = \begin{pmatrix} S_{1234} & S_{5678} \\ S_{5678}^* & -S_{1234}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \\ S_2^* & -S_1^* & S_4^* & -S_3^* & S_6^* & -S_5^* & S_8^* & -S_7^* \\ S_3^* & S_4^* & -S_1^* & -S_2^* & S_7^* & S_8^* & -S_5^* & -S_6^* \\ S_4 & -S_3 & -S_2 & S_1 & S_8 & -S_7 & -S_6 & S_5 \\ S_5^* & S_6^* & S_7^* & S_8^* & -S_1^* & -S_2^* & -S_3^* & -S_4^* \\ S_6 & -S_5 & S_8 & -S_7 & -S_2 & S_1 & -S_4 & S_3 \\ S_7 & S_8 & -S_5 & -S_6 & -S_3 & -S_4 & S_1 & S_2 \\ S_8^* & -S_7^* & -S_6^* & S_5^* & -S_4^* & S_3^* & S_2^* & -S_1^* \end{pmatrix}. \quad (13)$$

3. Особенности применения схемы с разнесённой передачей

Требования к мощности. Схема Аламоути требует одновременной передачи двух разных символов через две антенны. Если мощность излучения ограничена, то для того, чтобы иметь такую же общую мощность передачи через две антенны, энергия на каждый символ должна быть в два раза меньше. Это приводит к потерям 3 дБ в помехоустойчивости. Однако уменьшение на 3 дБ мощности в каждом передатчике приводит к удешевлению или уменьшению размеров линейных усилителей. Снижение в 3 дБ в усилителях – очень важный показатель, может быть востребовано в некоторых случаях. Очень часто дешевле (или предпочтительнее в плане межсимвольных искажений) применять два усилителя половинной мощности, чем один мощный усилитель. Более того, если ограничения связаны только с контролем мощности радиоизлучения (размеры усилителя, линейность и т.д.), то общая излучаемая мощность может быть увеличена в два раза без потери помехоустойчивости.

Чувствительность к ошибкам оценки канала. Предполагается, что приёмник имеет идеальное знание о канале. Канальная информация может быть получена путём передачи пилот-сигнала. Известные символы передаются периодически, а приёмник извлекает и интерполирует их для получения оценки канала для каждого передаваемого полезного символа.

Существует несколько факторов, которые могут ухудшать эффективность оценки канала по пилот-сигналу, такие как ошибки в интерполяции коэффициентов и ошибки квантования. Однако важнейший источник ошибок оценки – это временные искажения в канале. Ошибка оценки канала минимизируется, когда частота пилот-сигнала больше или равна шагу дискретизации канала Найквиста, который в два раза больше максимальной доплеровской частоты. Следовательно, поскольку канал дискретизирован на достаточном уровне, возникает небольшое ухудшение вследствие ошибки оценки канала. Для суммирующих схем разнесённого приёма с M антеннами (*MRRC* – Maximal-Ratio Receiver Combining), в заданный промежуток времени, известны M независимых дискретных уровней для M каналов. Однако в случае с M передатчиками и одним приёмником, оценки M каналов должны быть получены из принимаемого сигнала. Таким образом, задача оценки канала различна для этих случаев. Для оценки канала от одной передающей антенны к приёмной антенне пилот-сигнал должен быть передан только через соответствующую передающую антенну. Для оценки всех каналов пилот-сигналы, передаваемые через разные антенны, должны быть ортогональными. В обоих случаях пилот-сигнал нужно передать M раз. Это означает, что в двухканальной схеме с разнесённой передачей и приёмом нужно передавать в два раза больше пилот-сигналов, чем в двухканальной схеме *MRRC*.

Эффект задержки. При M -канальном разносе передачи, если преобразованные копии сигналов передаются в N различных интервалах через все антенны, задержка декодирования составляет M символов. Для двухканальной разнесённой передачи задержка составляет два символьных периода. Для систем с многими несущими копии передаются одновременно на разных частотах, тогда задержка декодирования составляет один период символа.

Конфигурации антенны. Для практических целей первоначальное требование для улучшения разноса заключается в том, чтобы передаваемые сигналы с разных антенн были достаточно декоррелированы (коэффициент корреляции менее 0.7) и они должны иметь одинаковую среднюю мощность (менее 3 дБ разницы). Т.к. радиосреда двухсторонняя, то требования к передающей антенне те же, что и для приёмной. Например, существует достаточно много измерений и экспериментальных результатов, показывающих, что если две приёмные антенны обеспечивают разнос на базовой станции, то они должны быть удалены на десять длин волн друг от друга для обеспечения достаточной декорреляции. Таким образом, измерения показывают, что для того, чтобы получить такое же улучшение разноса на удалённом устройстве, достаточно отделить антенны на три длины волны. Это происходит вследствие различной природы рассеивания вблизи базовой станции и удалённого устройства. Удалённые устройства обычно окружены близкими рассеивателями, в то время как базовые станции обычно помещаются на большой высоте, без каких-либо рассеивателей поблизости.

Теперь предположим, что две передающие антенны, используемые на базовой станции, должны обеспечить разнос для удалённого устройства на другом конце канала. Вопрос: как далеко должны находиться передающие антенны для обеспечения должного разноса на удалённом приёмнике? Ответ: требования для разноса приёма с одной стороны идентичны для разноса передачи с другой стороны. Это происходит из-за того, что среды распространения между передатчиком и приёмником идентичны в обоих направлениях. Другими словами, для обеспечения достаточной декорреляции между передаваемыми сигналами через две антенны на базовой станции мы должны обеспечить разнесение в десять длин волн. Эквивалентно этому, передающие антенны у удалённого устройства должны быть разнесены на три длины волны.

Именно это свойство позволяет использовать существующие приёмные антенны на базовых станциях для разнесённой передачи. К тому же там, где возможно, две антенны могут быть использованы для передачи и приёма на базовой станции и удалённом устройстве, тем самым обеспечивая порядок разноса «четыре» для обоих направлений.

4. Многократное использование частот в сотовых сетях

Частотно-территориальное планирование сетей радиосвязи является необходимым инструментом решения вопросов распределённых частотных каналов между базовыми станциями. Только используя частотно-территориальное планирование, можно достичь высокой эффективности использования полос частот, выделенных для развития этих сетей [8].

Построение передающих сетей, позволяющих организовать обслуживание населения сотовой радиосвязью при определённых параметрах сети, сводится к пространственному размещению базовых станций на заданной территории и распределению частот между ними. Решить эту задачу в общем виде позволяют идеализированные сети, в основу построения которых заложены два принципа: геометрически правильная (равномерная) сетка и линейная схема распределения каналов частот. Для реализации этих принципов вводят следующие ограничения: все станции сети имеют одинаковые эффективные излучаемые мощности; эффективные высоты передающих и приёмных антенн; поляризацию; условия распространения радиоволн; круговую диаграмму направленности передающих и приёмных антенн базовых станций.

При частотно-территориальном планировании с использованием гексагональной решётки формируется кластер. Кластер – это совокупность ближайших сот, в которых используются не повторяющиеся частотные каналы. Число таких сот в кластере называется его размерностью.

В качестве модели для планирования используется однородная сеть регулярной структуры, в которой каждая базовая станция находится в равных условиях по расположению и

уровню помех. Сплошное обслуживание территории обеспечивается при мозаичном покрытии, когда за зону обслуживания базовой станции принимается равносторонний шестиугольник с центром в точке её расположения. Поскольку реальная зона обслуживания передающей станции в рассматриваемых условиях является кругом, то использование в модели зоны шестиугольника обеспечивает перекрытие соседних зон обслуживания базовых станций 16.8 %.

Известно, что при уменьшении размерности кластера уменьшается требуемое отношение сигнал/шум, т.е. система должна обеспечивать заданную вероятность ошибки при меньших значениях этого отношения. Достичь такого эффекта можно при помощи пространственно-временного кодирования (*STP*) с использованием разноса передачи, которая должна обеспечить энергетический выигрыш.

Также имеет смысл оценка минимально необходимой размерности передающей антенной решетки для получения одинакового значения коэффициента частотной эффективности при уменьшении размерности кластера.

5. Заключение

Описанная в данной статье схема с разнесённой передачей улучшает качество сигнала на приёме путём простого распределения сигнала по двум передающим антеннам. Получаемая кратность разнесения эквивалентна применению дифференциально-взвешенного приёма по принципу максимального правдоподобия (*MRRC*) с двумя антеннами в приёмнике. Схема может быть просто обобщена до двух передающих антенн и M приёмных антенн для обеспечения кратности разноса $2M$. Это выполняется без какой-либо обратной связи от приёмника к передатчику и с применением небольшой сложности вычислений. Схема не предполагает расширение полосы, т.к. избыточность обеспечивается в пространстве, а не во времени или частоте.

Схема Аламоути с разнесённой передачей может уменьшить коэффициент ошибок, увеличить скорость передачи или ёмкость канала беспроводных систем связи. Уменьшенная чувствительность к замираниям может позволить использование многопозиционных методов модуляции для повышения скорости передачи или уменьшения фактора переиспользования в многосотовых средах для увеличения ёмкости всей системы. Схема может быть также использована для увеличения зоны покрытия беспроводной системы. Другими словами, новая схема эффективна во всех приложениях, где ёмкость системы ограничена замираниями из-за многолучёвости.

В ходе исследований разработан подход к унификации техники пространственно-временного кодирования Аламоути. С помощью данного подхода представляется возможным создание $2M$ -передающих антенных систем, работающих с одной приёмной антенной. Используя данный метод, можно решить задачу уменьшения размерности кластера в многосотовых сетях при сохранении заданной помехоустойчивости системы радиосвязи. Кроме того, унифицированный подход позволяет определить требуемые параметры передающей антенной решётки (её размерность), с помощью которой можно, при уменьшении размерности кластера, обеспечить большую частотную эффективность, чем при больших размерностях кластера.

Литература

1. History of MIMO in radio communications – <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO> (дата обращения: 17.03.2010).
2. Golay, M.J.E. Complementary series. – IRE Transactions, 1961, IT-7, p.82–87.

3. N. Yee, J. P. Linnartz and G. Fettweis. Multi-carrier CDMA in indoor wireless radio networks. – Proceedings PIMRC'93, Yokohama, Japan, 1993, p. 109–113.
4. Alamouti S.M. Space-time block coding: A simple transmitter diversity technique for wireless communications. – IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Oct. 1998, vol. 16, p.1451–1458.
5. Biljana Badic, Markus Rupp, Hans Weinrichter. Adaptive channel-matched extended Alamouti space-time code exploiting partial feedback. – ETRI Journal, Volume 26, Number 5, 2004. <http://etrij.etri.re.kr> (дата обращения: 17.03.2010).
6. Yong Xiong, Zhiyong Bu. Magic squares transmission scheme for MIMO OFDM systems under fast fading channel. – In: 1st International MAGNET Workshop, Shanghai, 11–12 November 2004. <http://www.ist-magnet.org> (дата обращения: 17.03.2010).
7. PanYuh Joo. Analysis of STFBC-OFDM for BWA in SUI channel. – http://www.ieee802.org/16/tga/contrib/C80216aP-02_18.pdf (дата обращения: 17.03.2010).
8. В.И. Носов. Эффективность использования секторных антенн в сотовых сетях радиосвязи // Мобильные телекоммуникации. – 2008 г. – № 4 - С. 16 – 23.

Статья поступила в редакцию 26.11.2009

Тимощук Роман Сергеевич

Аспирант СибГУТИ, руководитель направления телекоммуникации «Утилекс АйТи 2000», тел. (383)-333-99-04, e/mail: romantimo@mail.ru

Носов Владимир Иванович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем радиосвязи СибГУТИ, тел. (383)-269-82-54, e/mail: nvi@sibsutis.ru

Noiseproof improvement using 2M-orthogonal space-time coding

R.S.Timoshchuk, V.I. Nosov

This article presents a technique of simple transmit diversity, that improves receive signal quality using two-branch transmit antennas. In 1998 Alamouti first suggested the method of coding, which explores a full diversity order combining with linear decoding process on the receive side. Alamouti diverse transmit system improves a bit-error-rate ratio, rises a transmit speed or expands a channel capacity of wireless system. As a result of science research founding this article, a new unified approach of space-time coding technique has been developed. Taking this approach it is possible to build 2M-branch transmit systems with one receive antenna for decreasing the dimension of cluster in multicell networks with constant noiseproof of the radio system.

Keywords: antenna array, Alamouti scheme, fade mitigation, smart antennas, space-time coding, transmit diversity, wireless communications.