

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОРТОГОНАЛЬНЫХ АНТЕНН СИСТЕМЫ МИМО

МИМО (англ. Multiple Input Multiple Output) – технология передачи данных с помощью N антенн и их приема M антеннами. Передающие и приемные антенны разнесены настолько, чтобы достичь слабой корреляции между соседними антеннами.

В современных системах связи существует необходимость повышения пропускной способности, например, в сотовых системах связи, высокоскоростных локально-вычислительных сетях и др. Пропускная способность может быть увеличена с помощью расширения полосы частот или повышения излучаемой мощности. Тем не менее, применимость этих методов имеет недостатки, так как из-за требований биологической защиты и электромагнитной совместимости повышение мощности и расширение полосы частот ограничено. Поэтому, если в системах связи возможные повышение излучаемой мощности и расширение полосы частот не обеспечивают необходимую скорость передачи данных, то одним из самых эффективных способов решений этой проблемы может быть применение адаптивных антенных решеток со слабо коррелированными, в том числе, и поляризационно-ортогональными антенными элементами. Системы связи, которые используют такие антенны, получили название МИМО систем.

В общем случае в канале наблюдаются межсимвольная интерференция и частотная селективность [2]. Тем не менее, во многих случаях длительность импульсов в беспроводных системах связи намного больше задержек сигналов, поступающих на приемную антенну. Это дает возможность пренебрегать межсимвольной интерференцией в канале. Частотную селективность также необходимо учитывать [2]. Так, например, в системах связи стандарта IEEE 802.11 [3], где используется технология OFDM, частотной селективностью пренебрегать нельзя [2]. Однако, в некоторых ситуациях можно моделировать канал как канал без частотной селективности. Уменьшению межсимвольной интерференции и энергетических потерь может способствовать также применение поляризационно-ортогональных антенн и соответствующая поляризационная селекция. Проблемными вопросами широкого использования таких антенн на практике являются сложность учета и компенсации влияния поляризационных характеристик передающих и приемных антенн, а также среды распространения на полезный сигнал.

Математическое обоснование

Предположения и допущения: пусть имеем $2 \times N$ передающих поляризационно-ортогональных элементов антенной системы и $2 \times M$ приемных.

Свойства канала от m -го элемента к n -му описываются сквозным коэффициентом передачи канала h_{mn} , зависящим от поляризационных характеристик передающей и приемной антенн, а также среды распространения. Данные коэффициенты образуют матрицу H размера $2N \times 2M$.

Коэффициенты матрицы h_{mn} не являются постоянными, но зависят от случайных амплитуды и фазы, сдвиги которых обусловлены наличием многолучевого распространения сигнала и искажения поляризации при излучении, распространении и приеме.

Преобразования сигналов на передающем и приемном концах выполняется специальной диаграммо-образующей схемой (ДОС). Будем считать, что

S – матрица передаваемых сигналов;

Z – матрица собственных шумов приемных элементов антенны;

X – матрица принятого сообщения.

Сигнал на приемной стороне записывается следующим образом:

$$X = H \cdot S + Z. \quad (1)$$

Задача обработки сигнала системы MIMO на приемной стороне

Среди алгоритмов обработки сигналов на приемной стороне можно выделить:

- алгоритмы, основанные на методе максимального правдоподобия (ML, Maximum Likelihood);
- алгоритмы, основанные на методе минимальных среднеквадратичных отклонений (МСКО);
- алгоритмы, основанные на методе форсирования нуля (обнуления, Zero Forcing, ZF)

Также существует разделение на ортогональные и неортогональные методы кодирования/декодирования. Основной задачей любого метода является поиск решений из числа всех возможных по наименьшему евклидову расстоянию между переданным символом и одним из возможных (2^K) решений.

Метод МСКО предполагает декодирование принятого сигнала по формуле

$$\Theta = (H \cdot H^{-1} - 2 \cdot \sigma^2 \cdot I) \cdot H' \cdot Y. \quad (2)$$

Метод форсирования нуля предполагает декодирование по формуле

$$\Theta = (H \cdot H^{-1}) \cdot H' \cdot Y. \quad (3)$$

Метод максимального правдоподобия основан на поиске минимального расстояния от принятого символа до одного из возможных значений сигнального созвездия. Поиск «слепым» перебором наиболее труден, поскольку число операций здесь пропорционально 2^K , где K – кратность манипуляции.

Для снижения вычислительной сложности этой задачи декодирование разделяется на два этапа:

- «мягкое» декодирование, то есть приведение принятого символа к одному из 2^G решений, при этом $G > K$.
- «жесткое декодирование», то есть определение окончательного решения путем нахождения наименьшего дискретного расстояния Хэмминга между «мягким» и «жестким» решениями.

Методы пространственно-временного кодирования

Блочные методы пространственно-временного кодирования

Упрощенно принцип блочного кодирования заключается в разбиении потока данных на блоки и ретрансляции блока в различные временные интервалы. Таким образом, соблюдается принцип неоднократной посылки данных и улучшается помехоустойчивость схемы MIMO как таковой. Однако энергетического выигрыша кодирования по помехоустойчивости блочные коды не дают. Наиболее простой и распространенной схемой является т. н. схема Аламути, согласно которой данные в кодере распределяются в соответствии с матрицей:

$$H = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Декодирование происходит по схеме максимального правдоподобия.

Решетчатое пространственно-временное кодирование

Пропускная способность системы в целом и ее параметры эффективности BER также в немалой степени определяются выбранными алгоритмами декодирования. Все основные алгоритмы декодирования строятся на следующих возможных принципах:

- принцип максимального правдоподобия;
- принцип минимальной среднеквадратичной ошибки;
- принцип обнуления (ZF);

- принцип решетчатого кодирования (выражается в присвоении каждому переходу от одного символа к другому уникальной последовательности бит, формируемой на основе заранее известного полинома).

Кодер STTC представляет собой совокупность M-PSK либо M-QAM модулятора и решетчатого кодера с заданным полиномом (в частности, кодера Витерби).

Неортогональные методы пространственно-временного кодирования BLAST

Технология BLAST (Bell Labs Space-Time Transformation) предназначена:

- для распределения потоков модулированных данных по нескольким антенно-фидерным трактам приемно-передающего устройства;
- распределения входящих модулированных сигналов по временным слотам.

Существует два вида алгоритма BLAST:

Алгоритм BLAST с диагональным распределением временных слотов (D-BLAST).

Достоинством этого метода является возможность «разброса» данных одного канала не только по пространственным и частотным каналам, но и по временным промежуткам. Подобный алгоритм используется в системах WiMax.

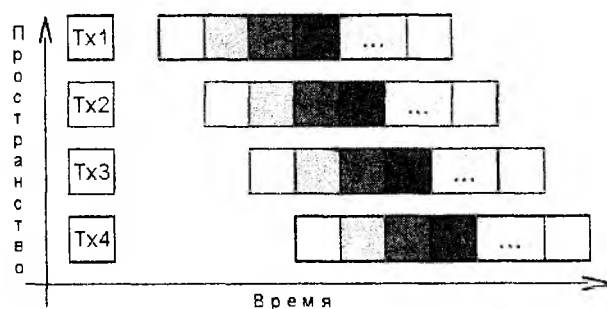


Рис. 1

Недостатки этого алгоритма:

- наличие временных потерь в начале и конце передачи;
- высокая сложность реализации;
- трудности кодирования.

Алгоритм BLAST с вертикальным распределением слотов (V-BLAST).

Достоинства данного алгоритма:

- отсутствие временных потерь;
- меньшая сложность;
- простая структура кодеков.

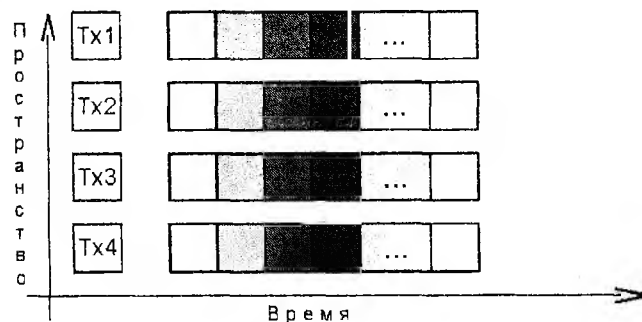


Рис. 2

Варианты пространственного мультиплексирования

Пространственное разделение подканалов в системах MIMO может быть реализовано следующими способами:

- разнесение потоков по задержке;
- разнесение посредством пространственно-временного кодирования (логическое развитие первого способа);
- ортогональное блочное кодирование (в частности, методом ортогонального блочного кодирования Аламоути);
- ортогональное кодирование методом прямого расширения спектра DSSS;
- введение диаграммо-образующей схемы (ДОС) (недостаток этого метода также заключается в расширении спектра сигнала);
- ортогональное расположение частот сигналов (несущих) по передающим трактам.

Применение технологии MIMO

Технология MIMO нашла практическое применение в беспроводных сетях мобильного WiMax и в беспроводных локальных сетях стандарта IEEE 802.11n.

Применение ортогональных поляризационных каналов системы MIMO может обеспечить повышение пропускной способности. Использование технологии MIMO с ортогональными поляризационными каналами, как показывают результаты моделирования, обеспечивает скорость в некоторых случаях в 14 раз большую (до 300 Мбит/с) и покрытие в 6 раз большее по сравнению с устройствами 802.11g

Система MIMO с ортогональными поляризационными каналами дополнительно обеспечивает:

- повышение пропускной способности до двух раз;
- повышение радиуса действия;
- возможность снижения потребляемой мощности;
- возможность снижения рабочей мощности передатчиков сигналов;
- улучшение электромагнитной совместимости за счет уменьшения уровня помех другим системам;
- значительное улучшение экологической обстановки за счет уменьшения уровня облучения пользователей.

Таким образом, использование поляризационно-ортогональных антенн системы MIMO может обеспечить повышение пропускной способности и радиуса покрытия в целом, однако платой за положительный эффект является усложнение алгоритмов обработки и требований к самим антеннам.

Список литературы: 1. *Сперанский В. С., Евдокимов И. Л.* Моделирование сигналов OFDM-MIMO систем беспроводной передачи данных 802.16 // Труды Моск. техн. ун-та связи и информатики. М.: МТУСИ, 2007. 2. *Бакулин М. Г., Крейнделин В. Б., Шлома А. М.* Новые технологии в системах мобильной радиосвязи. М.: Инсвязь издат, 2005. 3. *Флакман А. Г.* Адаптивная пространственная обработка в многоканальных информационных системах: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: РГБ 2005. 4. *Маврычев Е. А.* Пространственная обработка сигналов в системах связи с антенными решетками: Дис. ... канд. техн. наук. М.: РГБ 2003. 5. *Бакулин М.Г., Крейнделин В. Б., Шумов А. П.* Повышение скорости передачи информации и спектральной эффективности беспроводных систем связи // Цифровая обработка связи. 2006. №1. С. 2 -12. 6. *Флакман А. Г.* Адаптивная пространственная обработка в многоканальных информационных системах: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: РГБ 2005. 7. *Флакман А. Г.* Адаптивная пространственная обработка в многоканальных информационных системах: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М.: РГБ, 2005. С. 29-30. 8. *Вишневецкий В. М.* Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И. В. Шахнович. М.: Техносфера, 2005. 592 с. 9. *Li Q., Lin X. E.* Closed Loop Feedback in MIMO Systems // Patent No US 7,236,748 B2 Assignee .Intel Corporation, Date of patent. June 26, 2007.

Харьковский национальный
университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 03.10.2009