

УДК 621.39

А.Н. ДУБИК¹, В.И. СЛЮСАР², А.А. ЗИНЧЕНКО¹¹Полтавский военный институт связи, Украина²Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, Украина

ПРИМЕНЕНИЕ MIMO-СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В статье предлагается использовать системы связи по принципу MIMO для повышения пропускной способности беспроводных сетей. Для снижения уровня ошибок и повышения надежности связи в импульсной MIMO-системе критического применения предлагается использовать кодирование Аламоути.

MIMO, цифровая антенная решетка, цифровая обработка сигналов, пространственно-временное кодирование Аламоути

Актуальность задачи

Современные объемы и потоки передачи информации требуют повышения скоростей передачи данных. В связи с ростом популярности различных мобильных средств связи, все большее внимание привлекает развитие беспроводных телекоммуникаций. Большие надежды в решении задачи повышения пропускной способности и повышения устойчивости связи в последнее время возлагают на развитие технологии MIMO (Multiple Input – Multiple Output, система связи с множественным входом и множественным выходом) [1 – 4]. Постоянное совершенствование способов передачи информации по этому принципу, принятие стандартов IEEE 802.16-2004, 802.16e, а также ожидаемого 802.11n говорит об актуальности данного направления.

MIMO – это технология беспроводной передачи данных, суть которой заключается в том, что единый поток данных разбивается на несколько и передается по независимым каналам одновременно.

Использование данной технологии в беспроводных сетях обещает решить такие кардинальные проблемы, как постоянно увеличивающаяся интерференция, ограниченная полоса пропускания и недостаточный радиус действия. Кроме того, передача информации параллельно по нескольким каналам повышает надежность и отказоустойчивость связи.

Целью статьи является изложение нового принципа формирования сигналов в MIMO-системе, позволяющего повысить надежность и пропускную способность таких систем, а также возможного способа дополнительного повышения надежности связи в телекоммуникационных сетях критического применения.

Анализ существующих реализаций MIMO-систем

К системам MIMO можно отнести любую технологию, которая основывается на использовании многоканальных антенных систем в устройствах по обеим сторонам радиолинии. Соответственно, сочетание разнообразных способов передачи и приема, в которых задействуются несколько передающих и приемных антенн, может быть определено как MIMO-метод. Однако существующие реализации систем MIMO [1, 2] пока незначительно ускоряют трафик и неспособны передавать данные на большие расстояния [3].

Вместе с тем MIMO-принцип позволяет уменьшить число ошибок при радиообмене данными (BER) без снижения скорости передачи в условиях множественных переотражений сигналов [3]. При этом многоэлементные антенные устройства обеспечивают:

- расширение зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в ней «мертвых зон»;

- использование нескольких путей распространения сигнала, что повышает вероятность работы по трассам, на которых меньше проблем с замираниями, переотражениями и т.п.;

- увеличение пропускной способности линий связи за счет формирования физически различных каналов (разделенных пространственно, с помощью ортогональных кодов, частот, поляризационных мод).

В настоящее время в системах MIMO применяются преимущественно варианты OFDM-модуляции сигналов [3], которые представляют собой пакеты относительно протяженных во времени ортогональных по частоте радиоколечаний. Такие решения имеют следующие недостатки:

- необходимость ортогональности частот несущих сигналов;

- сравнительно высокие требования к мгновенному динамическому диапазону передающих каналов.

Способ повышения надежности связи в MIMO-системах

Задачей исследований является дальнейшее повышение пропускной способности и увеличение дальности связи в системах MIMO с одновременным повышением информационной надежности телекоммуникационных систем.

В отличие от известных реализаций, предлагается использовать новый подход при формировании сигналов в системе MIMO [4, 5], который состоит в передаче каждым парциальным элементом цифровой антенной решетки (ЦАР) пакетов взаимно перекрывающихся во времени импульсных сигналов. Фактически речь идет об *импульсной* MIMO-системе. На рис. 1 показаны предлагаемый (рис. 1, а) и традиционный (рис. 1, б) способы формирования сигналов.

В первом случае (рис. 1, а) сигналы в r передающих каналах формируются в разные моменты вре-

мени, но их взаимный сдвиг не превышает длительность одиночного импульса (в отличие от традиционно используемой схемы излучения (рис. 1, б), где сигналы во всех r каналах излучаются в один и тот же момент времени).

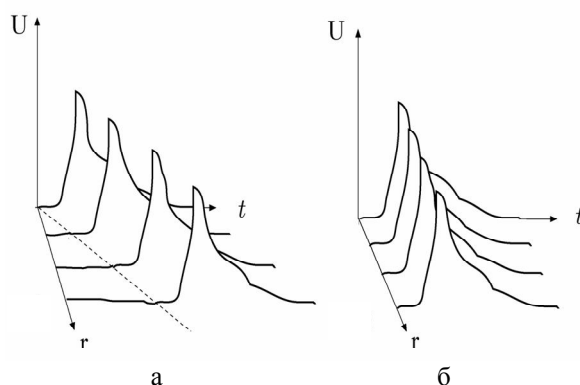


Рис. 1. Предлагаемый принцип излучения импульсных сигналов антенной решеткой (а) (б – традиционно используемая схема излучения)

Закон изменения огибающих импульсов, формируемых в разных каналах, могут быть одинаковыми или различными, но в любом случае полагаются точно известными [4]. Амплитуды парциальных импульсов перед излучением подвергаются многоуровневой амплитудной или квадратурной амплитудной модуляциям (M-QAM). Способы декодирования полученной таким образом сигнальной смеси описаны в [5]. При этом, в отличие от OFDM, отсутствует необходимость в ортогональности частот несущих сигналов, что позволяет сузить спектральную полосу радиолнии связи. Кроме того, снижаются требования к мгновенному динамическому диапазону передающих каналов ЦАР, поскольку излучаемые импульсы накладываются во времени друг на друга не в аналоговом передающем тракте, как это предусмотрено в [6], а в пространстве.

Как уже отмечалось, само по себе применение системы MIMO повышает надежность и отказоустойчивость связи за счет передачи параллельными каналами одной и той же информации. Однако, поскольку в предлагаемом способе формирования сигналов каждый канал дополнительно уплотняется и передает свою, не повторяющуюся в других каналах

информацию, необходимо предусмотреть способы повышения надежности передаваемой таким образом информации. Кроме того, скорость передачи в системе MIMO повышается в первую очередь за счет снижения уровня ошибок [3]. Вследствие этого, возникает вопрос дополнительного повышения надежности передаваемой информации.

Как вариант, возможна передача в M -канальной ЦАР каждым i -м ($i = 1, 2, \dots, M/2$) антенным каналом полезной информации в соответствии с предложенным в [4, 5] способом для ускорения передачи сообщения, а j -м ($j = M/2+1, M/2+2, \dots, M$) каналом – дублирующей информации для снижения уровня ошибок и, как следствие, опять же повышения скорости передачи.

Для импульсной схемы модуляции предлагается применить кодирование Аламоути [3, 7]. Предложенное Аламоути разделение сигналов на приемной стороне системы MIMO относится к классу 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 x_i и x_{i+1} . Обычно для передачи такого блока требуются два излучателя и два интервала передачи. В предлагаемом варианте вместо двух независимых интервалов передачи используется квадратурная амплитудная модуляция в каждом передающем канале пары импульсных радиосигналов, следующих со взаимным наложением во времени. Первый импульсный радиосигнал передающей антенны 1 будет модулирован символом x_i , тогда как антенны 2 – сигналом x_{i+1} . Следующий импульс излучаемой пары сигналов антенны 1 передаст символ $-x_{i+1}^*$, а излучатель 2 – соответственно x_i^* . Знак $*$ означает комплексное сопряжение: если $x_i = a_i + jb_i$, то $x_i^* = a_i - jb_i$. Физическая сущность таких манипуляций с излучаемыми сигналами становится понятной, если воспользоваться их математическим представлением:

$$x_i = a_i + jb_i; \quad x_{i+1} = a_{i+1} + jb_{i+1};$$

$$x_i^* = a_i - jb_i; \quad -x_{i+1}^* = -a_{i+1} + jb_{i+1}.$$

Несложно заметить, что при синфазности сигналов в первом временном интервале, во втором они обязательно будут в противофазе, и наоборот. Если же фазы сигналов в первом интервале ортогональны (разность 90°), то таковыми они останутся и во втором слоте передачи, 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. 2). В общем случае результирующая ДН отклоняется от нормали к линии, соединяющей вибраторы, в сторону элемента, на котором фаза сигнала запаздывает.

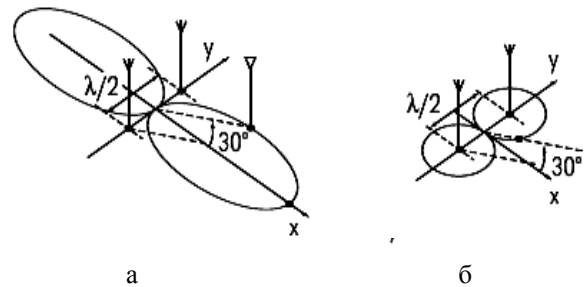


Рис. 2. Изменение ориентации максимумов излучения системы из двух вибраторов в зависимости от разности фаз питающих сигналов: а – синфазная запитка излучателей; б – противофазная запитка

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

Главным ограничением в применении рассмотренного метода кодирования – допущение о неизменности характеристик канала не только в двух последовательных временных интервалах, по кото-

рым рассчитываются передаточные характеристики, но и вплоть до момента окончания приема полезной информации [3]. По этой причине пространственно-временное кодирование Аламоути для мобильных абонентов сопровождается падением эффективности передачи.

Следует отметить, что под символом, подлежащим передаче, в рассмотренном случае может подразумеваться блок из нескольких битовых последовательностей. При этом вместо пары перекрывающихся импульсных сигналов может использоваться их множественная группировка.

При увеличении количества передающих антенн до четырех удобно использовать расширенную схему кодирования Аламоути [3, 8], приведенную в табл. 1. В ней под номером временного интервала следует понимать номер импульса в квадросигнальной смеси, состоящей из четырех перекрывающихся во времени радиоимпульсов. При этом общее количество излучаемых в эфир с наложением во времени сигналов равно 16.

Таблица 1

Расширенная схема кодирования Аламоути

	Антенна 1	Антенна 2	Антенна 3	Антенна 4
Интерв.1	x_i	x_{i+1}	x_{i+2}	x_{i+3}
Интерв.2	x_{i+1}^*	$-x_i^*$	x_{i+3}^*	$-x_{i+2}^*$
Интерв.3	x_{i+2}^*	x_{i+3}^*	$-x_i^*$	$-x_{i+1}^*$
Интерв.4	x_{i+3}	$-x_{i+2}$	$-x_{i+1}$	x_i

Вывод

Применение отличного от известных способов разнесения информационных сообщений по соседним во времени импульсам способствуют повышению надежности связи в телекоммуникационных системах критического применения. Предложенный способ передачи позволяет сузить спектральную полосу радиолинии, повысить ее пропускную способность, что также повышает надежность и безопасность связи в целом.

Литература

1. MIMO-технологии: практическое применение. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://itc.kiev.ua/article.phtml?ID=22022>.
2. Еще быстрее Wi-Fi, или Не проходите мимо MIMO!. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://itc.kiev.ua/article.phtml?ID=22023>.
3. Слюсар В.И. Системы MIMO: принципы построения и обработка сигналов // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2005. – № 8. – С. 52-59.
4. Слюсар В.И., Дубик А.Н. Метод многоимпульсной передачи в системе MIMO // Материалы 2-го Межд. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Т. 4. – Х.: ХНУРЭ, 2005. – С. IV-227-231.
5. Слюсар В.И., Дубик А.Н. Способ передачи многоимпульсных сигналов в системе MIMO с наложением их во времени и последующим декодированием на приеме // I Всеукраїнська НПК «Військова освіта та наука: сьогодення та майбутнє» пам'яті професора генерал-лейтенанта Жукова С.А. – К.: Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченко, 2005.
6. Слюсар В.И., Уткин Ю.В. Уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов по времени прихода // Радиоэлектроника. – 2003. – № 5. – С.40-48. (Изв. вузов).
7. 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.
8. Biljana Badic, Markus Rupp, Hans Weinrichter. Adaptive Channel-Matched Extended Alamouti Space-Time Code Exploiting Partial Feedback // ETRI Journal. – 2005. – Vol. 26, N. 5. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://etrij.etri.re.kr>.

Поступила в редакцию 10.02.2006

Рецензент: канд. техн. наук, доцент В.В. Варич, Полтавский военный институт связи, Полтава.