

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА НА ОСНОВЕ МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО MIMO С КООПЕРАЦИЕЙ

Гудыменко И. А., Кравчук С. А.

Национальный технический университет Украины «КПИ»
Институт Телекоммуникационных систем
пер. Индустриальный, 2, Киев, 03056, Украина
тел.: (38044) 241-77-23, e-mail: ivan.gudymenko@gmail.com

Аннотация — Концепция однопользовательского MIMO изменила представление о пропускной способности систем широкополосного радиодоступа, намного превысив величину фундаментального предела, установленного Шенноном. Многопользовательское MIMO (MU-MIMO) призвано расширить возможности MIMO «точка - точка» (SU-MIMO), а использование принципа кооперации позволит сделать систему более надёжной, облегчит её внедрение и будет способствовать улучшению её общей производительности.

В данной статье описываются концепции организации систем широкополосного радиодоступа на основе вышеупомянутых перспективных технологий, а также представлены результаты исследований, проведённых авторами в данном направлении.

I. Введение

Появление технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output) ознаменовало собой начало новой эры в телекоммуникациях по причине ряда преимуществ над классическими системами связи, таких как лучшая спектральная эффективность (важный показатель в условиях ограниченности спектрального ресурса), улучшение качества передачи (коэффициент ошибок, надёжность), скорость передачи (в идеальном случае растёт линейно с количеством антенн), увеличение зоны покрытия и возможность более точно определить местоположение абонента. Однако существуют определённые различия в функционировании MIMO топологии «точка-точка» (однопользовательской системы — SU-MIMO) и организации многопользовательской телекоммуникационной сети широкополосного радиодоступа на основе MIMO. В последнем случае, она носит название многопользовательского MIMO (MU-MIMO). В [1] нами уже упоминалось, что MU-MIMO имеет ряд преимуществ над SU-MIMO, таких как прямо пропорциональная связь между абонентской ёмкостью и количеством антенн на базовой станции, устойчивость системы к явлению межантенной корреляции и уменьшению ранга канальной матрицы (например, из-за присутствия составляющей распространения по линии прямой видимости большого уровня), а также возможность получения выигрыша от использования MIMO без необходимости наличия многоантенных пользовательских терминалов, таким образом давая возможность использовать сравнительно недорогие абонентские устройства, упрощая процесс развертывания сети. В данном докладе мы углубляем результаты предыдущих исследований, добавляя принцип кооперации, который позволяет улучшить показатели функционирования многопользовательской системы широкополосного радиодоступа на основе MU-MIMO.

II. Основная часть

Одной из основных проблем MU-MIMO является необходимость наличия информации о состоянии канала в прямом канале системы (базовая станция - пользователь). Причина этого заключается в том, что в отличие от обратного канала, когда базовая стан-

ция, оснащённая несколькими антеннами и достаточно сложным приёмником, может произвести эффективное декодирование принятого сигнала, пользовательские терминалы лишены возможности совместного приёма сигнала для улучшения отношения сигнал/шум. Ситуация в корне меняется, когда терминалы имеют возможность кооперировать и выполнять операции приёма/передачи сигналов от базовой станции совместно. Пусть базовая станция оснащена n_T антеннами, а j -тый из K пользователей системы имеет n_{R_j} антенн. Таким образом, общее количество антенн на приёмном конце в прямом ка-

нале MU-MIMO будет равно $n_R = \sum_{j=1}^K n_{R_j}$.

Тогда, согласно [2], канал между базовой станцией и пользователем j будет описываться матрицей \mathbf{H}_j размерностью $n_{R_j} \times n_T$, строки которой состоят из элементов \mathbf{h}_{ij}^H :

$$\mathbf{H}_j = [\mathbf{h}_{1j} \dots \mathbf{h}_{n_{R_j}j}]^H,$$

где оператор $(\cdot)^H$ означает комплексно-сопряжённый и транспонированный. Пользователь j принимает смесь сигналов, предназначенных не только для него, но и для остальных:

$$\mathbf{y}_j = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_j \mathbf{x}_k + \mathbf{n}_j,$$

где \mathbf{n}_j представляет белый шум, а \mathbf{x}_k является составляющей вектора передаваемых сигналов

$$\mathbf{x} = \sum_{j=1}^K \mathbf{x}_j.$$

Каждый передаваемый сигнал \mathbf{x}_j формируется из вектора \mathbf{d}_j информационных символов m_j . Обозначим вектором \mathbf{d} все информационные символы, передаваемые пользователям: $\mathbf{d} = [\mathbf{d}_1^T \mathbf{d}_2^T \dots \mathbf{d}_K^T]^T$. Таким образом, общее количество информационных потоков, передаваемых в \mathbf{d} будет равно: $m = \sum_{j=1}^K m_j$.

Передача информации каждому из K пользователей может быть выполнена с использованием разных скоростей передачи и разного количества информационных потоков m_j , параллельно передаваемых конкретному абоненту. Большое влияние на параметры передачи оказывает не только требуемая скорость передачи, но и доступная мощность на передачу, значение сигнал/интерференция и количество антенн на приёме и передаче. Без применения дополнительных методов кодирования и

мультиплексирования типичными являются соотношения:

$$m_j \leq n_{r_j}, \quad \sum m_k \leq n_T.$$

Выбор оптимального, с точки зрения функционирования системы, значения m_j является отдельной серьёзной задачей и подлежит специальному исследованию.

Передаваемый вектор сигналов \mathbf{x} формируется из \mathbf{d} с использованием так называемой кодирующей функции, обозначаемой f_c . Таким образом, $\mathbf{x} = f_c(\mathbf{d})$. На приёмной стороне для оценки принятых сигналов \mathbf{y}_i используется функция декодирования f_d : $\hat{\mathbf{d}}_j = f_d(\mathbf{y}_j)$. Схема вышеописанного канала MU-MIMO проиллюстрирована на рис. 1.

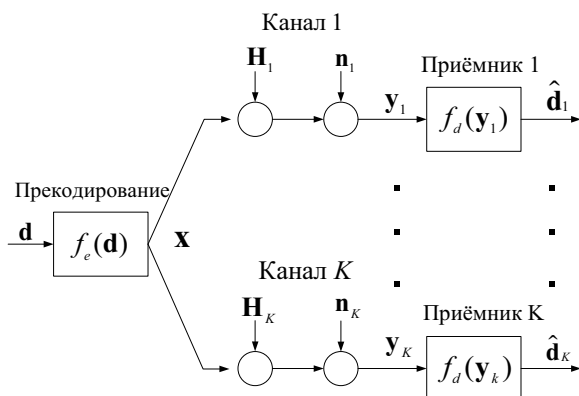


Рис. 1. Прямой канал системы MU-MIMO. Каждый абонент оснащён несколькими антеннами и осуществляет параллельный приём данных.

Fig. 1. MU-MIMO system broadcasting channel. Each user is provided with multiple antennas and receives several streams in parallel

Основной задачей является выбор кодирующей и декодирующей функций, который бы оптимизировал использование ресурсов канала, для чего необходимо наличие канальной информации на базовой станции.

Для облегчения выполнения вышеописанных задач предлагается использовать принцип кооперации, который позволит сформировать «виртуальную» антенную решётку или же использовать другие абонентские терминалы в качестве ретрансляторов для достижения MIMO выигрыша.

III. Апробация результатов исследований

Результаты данной работы были использованы в процессе практической работы совместно с Техническим Университетом Дрезден, Германия, в рамках проекта построения первого реального прототипа системы связи будущего поколения на основе технологии многопользовательского MIMO с кооперацией.

IV. Заключение

Таким образом, представлена организация системы широкополосного радиодоступа на основе MU-MIMO с кооперацией, описаны возникающие проблемы и возможные пути их решения. Испытания были организованы в рамках совместного проекта с Техническим Университетом Дрезден, Германия.

V. Список литературы

- [1] Гудименко I. А., Кравчук С. О. Багатокористувацьке MIMO в системах широкосмугового радіодоступу // Сборник материалов 6-й международной молодежной научно-технической конференции РТ-2010 «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций», 19-24 апреля, 2010 г., Севастополь, Крым.- Севастополь:Издаво СевНТУ, 2010.- С. 85.
- [2] Гудименко I. А. Кооперативне MIMO в системах широко-смугового радіодоступу: дисертація магістра телекомунікацій. Київ, 2010. 87 стор.

COOPERATIVE MULTI-USER MIMO BROADBAND RADIO ACCESS SYSTEM DEPLOYMENT

Gudymenko I. A., Kravchuk S. A.
National Technical University of Ukraine "KPI"
Institute of Telecommunication Systems
2, Industrialny Lane, Kyiv, 03056, Ukraine
Ph.: (38044) 241-77-23,
e-mail: ivan.gudymenko@gmail.com

Abstract — MIMO concept has revolutionized the telecommunications world and brought the capacity limits far beyond those described in classic Shannon's work. Multiuser MIMO (MU-MIMO) is to broaden the MIMO applications to the multi-user environment thus enabling the broadband radio access system to be more reliable and facilitated for its deployment. We suggest that the cooperation principle is also used to save all MU-MIMO gains and to make the system performance more optimal. Thus, this article concerns broadband radio access systems deployment based on MU-MIMO technology with cooperation.

I. Introduction

Due to some specific gains of MIMO system that distinguishes it from conventional broadband radio access systems it is highly advisable to use this promising technology also in multiuser environment which results in emergence of multiuser-MIMO (MU-MIMO). MU-MIMO has several benefits compared to SU-MIMO: linear dependence between the number of antennas and user capacity, inter-antenna correlation and channel rank degradation robustness etc. We argue that the use of cooperation principle in conjunction with MU-MIMO is going to boost the overall system performance and make its deployment easier and faster.

II, III. Main Part

MU-MIMO has a lot of benefits and gains but it all comes at a cost. Maybe one of the most restrictive factors of MU-MIMO is the necessity of having channel state information (CSI) at the transmitter in the broadcast channel. Without CSI the transmitter can not effectively perform the beam-forming operation unless the receivers are equipped with more antennas. However, the situation changes when the cooperation principle is used.

The received signal can be expressed as

$$\mathbf{y}_j = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_j \mathbf{x}_k + \mathbf{n}_j$$

and the whole broadcast channel model is depicted in figure 1. The main challenge is to find such coding/decoding functions that would optimize the system performance.

IV. Conclusion

Thus, it was shown how broadband radio access system based on cooperative MIMO can be deployed. We argue that this technology is going to become a leading candidate for next generation networks.