

УДК 004.045:621.396.96

И.И. Обод, Кинан Арус

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ЕМКОСТЬ МОБИЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

В статье получены выражения для оценки информационной емкости мобильных систем и сетей при использовании технологий пространственного множественного доступа. Показано, что информационная эффективность систем и сетей с использованием технологии пространственного доступа значительно увеличена за счет как одновременного обслуживания нескольких пользователей, так и с выбором оптимального их числа.

**Ключевые слова:** информационная емкость систем, технологии пространственного доступа

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

В современном обществе мобильные информационные сети (МИС) и технологии играют роль ускорителя развития информационных технологий [1]. Одним из требований развития МИС является обеспечение значительного увеличения скорости передачи данных при росте количества пользователей [2]. Решение этой актуальной задачи возможно только при широком использовании адаптивной и пространственно-временной обработки сигналов, а также реализации комбинированных (адаптивных) методов множественного доступа (МД) в основу которых положен МД с пространственным разделением каналов (SDMA - Space Division Multiple Access) [3, 4].

Спецификой МИС является то, что абоненты могут иметь только одну антенну, что, как правило, определено габаритами мобильной станции, что естественно сужает возможность пространственной технологии, при которой только базовая станция может иметь многоэлементную антенну или AAS (Adaptive Antenna System).

**Цель работы.** Оценка информационной емкости (ИЕ) канала обмена информацией в МИС при реализации пространственных технологий МД.

### Основная часть

Одним из важнейших параметров ММО систем является ИЕ канала, под которой понимается максимальная скорость передачи информации, достижимая в данном канале связи на 1 Гц его полосы пропускания. Информационная емкость детерминированного канала SISO при воздействии аддитивного белого шума определяется теоремой Шеннона-Хартли:

$$C = \log_2[1 + q|h_{11}|^2] \quad [\text{бит} / \text{с} / \text{Гц}], \quad (1)$$

где  $q = P_c / P_{ch}$  — среднее значение отношения сигнал-шум на входе приемника;  $h_{11}$  — коэффициент передачи по SISO-каналу.

Емкость же детерминированного канала ММО можно записать как:

$$C = \log_2 \left[ \bar{I} + \left( \frac{P_c / P_{ch}}{T} \right) \bar{H} \bar{H}^* \Gamma \right] \quad [\text{бит} / \text{с} / \text{Гц}], \quad (2)$$

где  $\bar{I}$  — единичная матрица размерности  $N_r \times N_r$ ,  $\bar{H}^* \Gamma$  — эрмитово-сопряженная матрица  $\bar{H}$ . Можно заметить, что выражение (2) является частным случаем выражения (1) при использовании одиночных антенн на передатчике и приемнике. Для случайных ММО-каналов (2) обобщается, при этом происходит переход к так называемой средней емкости:

$$C = m_{11} \left\{ \Delta F \log_2 \left[ \bar{I} + \left( \frac{P_c / P_{ch}}{T} \right) \bar{H} \bar{H}^* \Gamma \right] \right\}, \quad (3)$$

где  $m_{11} \{ \}$  — математическое ожидание значений функции от случайной величины  $\bar{H}$ .

При увеличении количества антенн на передатчике и (или) на приемнике, значение выражений (2) и (3) также будет возрастать. Таким образом, информационная емкость ММО-канала всегда больше информационной емкости SISO-канала. Увеличивая количество антенн передатчика и (или) приемника, можно значительно повысить скорость передачи информации в системах с ММО, следствием чего является повышение их информационной емкости по сравнению с SISO.

Фундаментальной проблемой систем с ММО является разработка алгоритмов распределения информационных битов между передающими антеннами; формирования, излучения и приема сигналов. Инженеры и исследователи, работающие в данной области, концентрируют внимание на решении трех задач: обеспечение высокой скорости передачи информации, низкой вероятности ошибки на бит и/или относительной простоте устройства, реализующего конкретный алгоритм.

На практике используют три схемы передачи по ММО-каналам:

- пространственно-временное кодирование (Space-Time Coding, STC);
- пространственное мультиплексирование (Spatial Multiplexing, SM);
- метод формирования диаграммы направленности (Beamforming).

Мобильную информационную систему будем рассматривать как сеть радиодоступа в составе базовой станции, имеющей антенную решетку (АР) с количеством элементов равным  $M$  и  $K$  абонентских станций (АС). На БС имеется пространственно-временной кодер, который преобразует входной поток данных в последовательность пространственных символов, каждый из которых излучается одновременно всеми передающими антеннами. На каждой АС имеется пространственно-временной декодер, который обеспечивает пространственно-временную обработку принятых сигналов, обратную по отношению к обработке, выполненной на передающей стороне.

Так как ИЕ канала связи с аддитивным гауссовским белым шумом является функцией мощностей сигнала и шума, ширины полосы пропускания, то (1) можно записать как

$$C = \log_2 \left[ 1 + \left( \frac{P_c}{N_0 \Delta F} \right) \right] \quad [\text{бит} / \text{с} / \text{Гц}], \quad (4)$$

где  $P_c$  - определяется полной мощностью, излучаемой БС.  $P_0$ ,  $\Delta F$  - частотный ресурс канала,  $N_0$  - спектральная плотность шума.

Если считать, что сигналы на выходе блока пространственной обработки независимыми (ортогональными), то (4) можно переписать в виде

$$C = \sum_{i=1}^M \log_2 [1 + \rho_i], \quad (5)$$

Как следует из выражения (5), ИЕ системы зависит от способа распределения полной мощности  $P_0$  передатчика между антенными элементами БС.

Если рассматривать равномерное распределение мощности между антенными элементами, то  $\rho_i = P_0 / M$ , и тогда ИЕ системы определяется выражением

$$C = \sum_{i=1}^M \log_2 \left[ 1 + \frac{P_0}{M \sigma_0^2} \right], \quad (6)$$

Предположим, что система связи должна обеспечить независимое обслуживание  $K$  пользователей. Полную мощность  $P_0$ , излучаемую БС, будем считать ограниченной и не зависящей от числа пользователей. Это означает, что при наличии  $K$  пользователей мощность, предназначенная каждому из них, уменьшается в  $K$  раз и, следовательно, равна  $P_0 / K$ . Для

обеспечения пространственного разделения  $K$  пользователей также применяется ортогонализация весовых векторов пространственной обработки сигналов на БС. Эта процедура представляет собой дополнительное преобразование сигналов и может быть выполнена с помощью матриц-проекторов на подпространство, ортогональное всем весовым векторам кроме вектора самого пользователя.

Матрица-проектор проектирует  $M$ -мерный весовой вектор пользователя на  $(M-1)$ -мерное подпространство. Весовой вектор рассматриваемого пользователя является случайным вектором, равномерно распределенным в  $M$ -мерном пространстве, и при его проектировании в подпространство меньшей размерности потери в ОСШ определяются степенью уменьшения размерности этого подпространства.

Так как число пользователей равно  $K$ , то матрица-проектор проектирует  $M$ -мерный весовой вектор пользователя на подпространство размерности  $(M-K)$ . Следовательно, энергетические потери за счет разделения  $K$  пользователей увеличиваются и составляют величину  $1 - (K-1)M^{-1}$ . В этом случае среднее значение ОСШ на выходе антенны  $k$ -го пользователя равно

$$q_m^k = \frac{q_0}{K} M \left( 1 - \frac{K-1}{M} \right), \quad (7)$$

откуда полная средняя ИЕ системы

$$C \approx \log_2 \left\{ 1 + \frac{q_0}{K} [M - (K-1)] \right\}. \quad (8)$$

Получены аналитические выражения для ИЕ системы в условиях релейских замираний сигналов, справедливые при произвольных значениях как элементов антенной решетки на БС, так и количества пользователей.

Результаты расчета средней ИЕ МИС представлены в табл. 1.

Из полученных результатов видно, что полная ИЕ системы увеличивается с ростом количества  $K$  пользователей за счет одновременного использования одного и того же частотного канала разными пользователями.

Однако среднее отношение сигнал/шум на выходе с антенных элементов уменьшается при увеличении  $K$ . Это можно объяснить также тем, что  $M$ -элементная АР имеет  $M-1$  степеней свободы. Подавление соканальной интерференции для каждого пользователя соответствует уменьшению числа степеней свободы на единицу. Когда присутствует  $K$  пользователей, то  $(K-1)$  степеней свободы выделяется для подавления соканальной интерференции, а остальные  $M-K$  степеней используются для разнесения.

Таблиця 1  
Результати расчета средней ИЕ МИС

Количество элементов AP	Отношение с/ш	Оптимальное число обслуживаемых абонентов	Информационная емкость канала
10	10	6	20
	20	7	25
	30	8	27
20	10	12	36
	20	13	45
	30	14	51
30	10	18	52
	20	20	65
	30	22	78
40	10	24	68
	20	26	90
	30	28	102

Поэтому, уровень разнесения уменьшается с увеличением пользователей, что, естественно, приводит к увеличению вероятности битовой ошибки. Это означает, что эффективная ИЕ системы уменьшается с увеличением числа пользователей.

Однако следует отметить, что существует оптимальное число  $K_{opt}$  пользователей для их пространственного разделения, которое зависит от мощности  $P_0$  передатчика (или от ОСШ  $\rho_0$ ). В таблице представлено оптимальное число обслуживаемых абонентов при заданных исходных данных. Оптимальное число обслуживаемых абонентов, как следует из табл.1, определяется энергетикой радиолинии и приближается к максимально возможному числу пользователей  $K = M$ .

Таким образом, ИЕ системы с технологией пространственного доступа может быть увеличена:

- за счет возможности одновременного независимого обслуживания нескольких пользователей;
- выбором оптимального количества обслуживаемых пользователей, за счет увеличения полной ПС системы при неизменной мощности передатчика БС.

## ІНФОРМАЦІЙНА ЄМКІСТЬ МОБІЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МЕРЕЖ

І.І. Обод, Кінан Арус

У статті отримано вирази для оцінки інформаційної ємності мобільних систем і мереж при використанні технологій просторового множинного доступу. Показано, що інформаційна ефективність систем і мереж з використанням технологій просторового доступу значно збільшена за рахунок як одночасного обслуговування декількох користувачів, так і з вибором оптимального їх числа.

**Ключові слова:** інформаційна ємність систем, технології просторового доступу.

## INFORMATION CAPACITY OF MOBILE INFORMATION SYSTEMS AND NETWORKS

I.I. Obad, Kinan Arous

The article received expressions to estimate the information capacity of mobile systems and networks using multiple access technology space. It is shown that the efficiency of information systems and networks using spatial access technology has greatly increased due to both simultaneously serve multiple users, and the choice of the optimal number of them.

**Keywords:** information systems capacity, technology spatial access.

## Выводы

Показано, что увеличение количества пространственно разделяемых абонентов увеличивает информационную емкость мобильных систем и сетей.

Установлено, что существует оптимальное количество абонентов, для которых следует применять пространственное разделение абонентов. При такой оптимизации максимизируется полная средняя информационная емкость системы, а оптимальное количество абонентов зависит от энергетики радиолинии.

При условии приближения количества пользователей к количеству антенных элементов AP производительность системы снижается, что обусловлено уменьшением разнесения пользователей и, соответственно, снижением энергетики радиолинии.

## Список литературы

1. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 384 с.
2. Alazemi H.M.K., Margolis A., Choi J., Vijaykumar R., Roy S. Stochastic modeling and analysis of 802.11 DCF with heterogeneous non-saturated nodes. Computer Communications, 2007, vol. 30, no. 18, pp. 3652-3661.
3. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. Издание второе, исправленное и дополнено. — М.: Техносфера, 2006. — 288 с.
4. Зелевич Е.П. Каледин В.И. Развитие идентификационных технологий для использования в инфокоммуникационных системах // Век качества. 2005. № 5. С. 52—55.
5. Пат. на корисну модель № 70174 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації /Обод І.І., Нікітіна Л.О., Нікітін С.О., Свід І.В., Тюрін О.О. від 12.12.2011.
6. Пат. на корисну модель № 70955 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації /Обод І.І., Нікітіна Л.О., Нікітін С.О., Свід І.В., Тюрін О.О. від 03.01.2012.

Поступила в редколлегию 23.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Ермаков, Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков.