

УДК 621.391

С.В. Озеров

*Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков*

## ПРИМЕНЕНИЕ МИМО-ТЕХНОЛОГИИ НА ХАОТИЧЕСКИХ НЕСУЩИХ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ АБОНЕНТОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ВОЕННОЙ РАДИОСВЯЗИ

*В работе рассмотрена возможность применения МИМО-технологии на хаотических несущих для разделения абонентов в многоканальных системах военной радиосвязи. Приведена структурная схема организации многоканальной системы радиосвязи с помощью МИМО-технологии на хаотической несущей. Проведен расчет коэффициента корреляции хаотических сигналов с различными начальными условиями. Показано, что хаотические сигналы, сформированные с различными начальными условиями, являются некоррелированными. Это обеспечивает возможность их применения в многоканальных системах радиосвязи в качестве успешной альтернативы традиционным способом разделения, каналов использующих стандарты FDMA, TDMA, CDMA.*

**Ключевые слова:** хаотический сигнал, МИМО-технология, стандарт FDMA, TDMA, CDMA, корреляционная функция, коэффициент корреляции.

### Введение

Современные военные конфликты характеризуются повышением оперативности управления войсками (силами) за счет перехода от строго вертикальной системы управления к глобальным сетечентрическим цифровым системам управления.

Ключевую роль в сетечентрических системах управления занимают беспроводные системы передачи данных (системы радиосвязи). Исходя из этого, к системам радиосвязи предъявляется ряд требований, одним из которых является организация как можно большего числа каналов передачи данных одновременно.

**Анализ литературы** [1 – 3] показывает, что в современных многоканальных системах радиосвязи для обеспечения разделения абонентов применяются следующие подходы: частотное разделение (стандарт FDMA), временное разделение (стандарт TDMA), кодовое разделение (стандарт CDMA).

Однако применение таких подходов в условиях ведения боевых действий не удовлетворяет в полной мере требованию по обеспечению подключения максимального числа абонентов в ограниченной полосе частот при фиксированном времени прохождения информации.

Одним из решений указанной проблемы может являться применение ортогональных хаотических сигналов. Данный вид сигналов обладает высокой чувствительностью к начальным условиям формирования  $x_0$ , что теоретически дает возможность реализовать многоканальность по виду сигнала (для различных начальных условий  $x_0$ ).

**Целью** работы является анализ возможности применения ортогональных хаотических сигналов с различными  $x_0$  для разделения абонентов в многоканальных системах военной радиосвязи.

### Основная часть

В современных системах радиосвязи для разделения каналов (абонентов) используется несколько основных подходов [1]:

- технология частотного разделения каналов (стандарт FDMA), когда каждому каналу в системе выделяют свой частотный диапазон;

- технология временного разделения каналов (стандарт TDMA), когда каждому каналу в системе выделяют свой временной интервал;

- технология кодового разделения каналов (стандарт CDMA), когда каждый канал использует весь выделенный частотно-временной ресурс, а разделение сигналов отдельных каналов осуществляется за счет того, что каждый канал имеет свою адресную кодовую последовательность.

На сегодняшний день стандарты FDMA и TDMA практически исчерпали свои возможности и не могут обеспечить подключение необходимого числа абонентов и достаточную пропускную способность за счет ограничения по полосе и времени.

Стандарт CDMA является стандартом системы связи нового поколения [3], и имеет большие возможности по сравнению с FDMA и TDMA. Рассмотрим его более подробно.

Основой технологии кодового разделения каналов (CDMA) является передача шумоподобных, или широкополосных, сигналов (ШПС), что обеспечивает использование существенно более широкой полосы частот, чем в случае передачи узкополосных сигналов. В качестве ШПС обычно применяются фазоманипулированные сигналы, сформированные на базе кодовых (псевдослучайных) последовательностей.

Использование различных кодов (псевдослучайных последовательностей) ШПС позволяет абонентам систем CDMA работать в общей полосе час-

тот и получают доступ к любому каналу (он не закрепляется "жестко" за каким-либо пользователем). Не смотря на то, что сигналы разных абонентов накладываются друг на друга, создавая взаимные помехи, они легко выделяются из общего спектра.

Достоинствами стандарта CDMA являются: высокая помехоустойчивость, эффективная работа приемников в условиях многолучевого распространения сигнала, высокий уровень конфиденциальности.

К недостаткам стандарта CDMA можно отнести:

- возникновение взаимных помех при возрастании числа активных абонентов;
- сложность технической реализации (особенно базовой станции);
- ограниченное число каналов в фиксированной полосе частот (стандарт CDMA 1 QUALCOMM: 57 – 71 канал в диапазоне частот 869 – 894 МГц [3]).

Таким образом, стандарт CDMA имеет ограничение по числу каналов в фиксированной полосе частот, что и не обеспечивает подключение необходимого количества абонентов (каналов) при управлении войсками (силами), которое может исчисляться сотнями и даже тысячами.

Перейдем к рассмотрению возможности применения MIMO-технологии на хаотических несущих [4] для разделения абонентов в многоканальных системах радиосвязи.

Хаотические сигналы обладают высокой чувствительностью к начальным условиям формирования  $x_0$ , т.е. применение различных значений  $x_0$  позволяет сформировать множество различных вариантов ортогональных хаотических сигналов. Например, с помощью полинома Чебышева 1-го рода 3-го порядка

$$x_{n+1} = 4(x_n)^3 - 3x_n. \quad (1)$$

Можно сформировать множество хаотических сигналов, которые будут отличаться начальным условием  $x_0 \in (0...1)$ .

На рис. 1 приведены результаты моделирования корреляционной функции двух хаотических сигналов  $x_1, x_2$  с одинаковыми начальными условиями формирования ( $x_{01} = x_{02}$ ) и этих же сигналов с различными начальными условиями формирования ( $x_{01} \neq x_{02}$ ).

Анализ рисунка показывает, что хаотические сигналы с различными начальными условиями формирования некоррелированы, следовательно, такие сигналы могут селективироваться при применении корреляционной обработки [5] на приемной стороне.

Для оценки допустимого расхождения начальных условий формирования хаотических сигналов  $\Delta x$ , при котором сигналы некоррелированы, рассчитаем коэффициент корреляции Пирсона [6], как инструмент измерения зависимости двух сигналов (процессов):

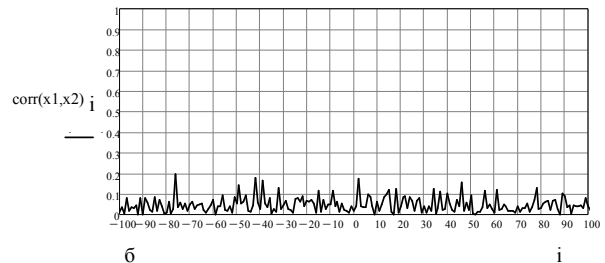
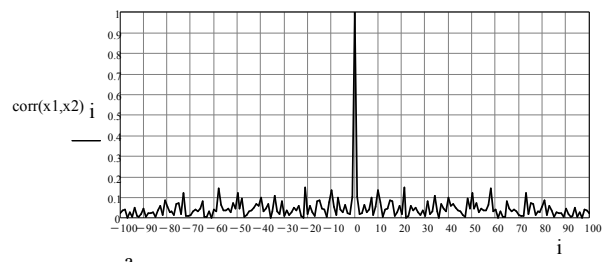


Рис. 1. Корреляционные функции двух хаотических сигналов: с одинаковыми начальными условиями формирования (а), с различными начальными условиями формирования (б)

$$r_{xy} = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (2)$$

где  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  – среднее значение выборок.

Зависимость коэффициента корреляции от расхождения начальных условий формирования хаотических процессов приведена на рис. 2.

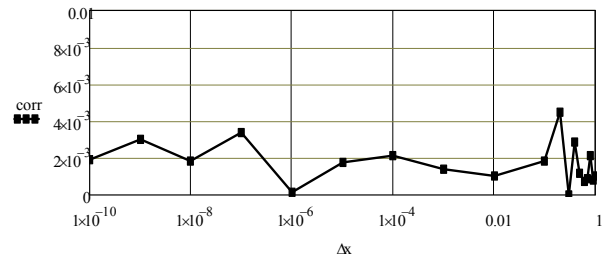


Рис. 2. Зависимость коэффициента корреляции двух хаотических сигналов от расхождения начальных условий формирования сигналов

Анализ зависимости показывает, что коэффициент корреляции не превышает значения  $5 \times 10^{-5}$  на всем интервале значений  $\Delta x \in (10^{-10}...1)$ , что по шкале Чеддока [6] означает отсутствие какой-либо корреляции между сигналами. Следовательно, даже при значении расхождения начальных условий  $\Delta x = 10^{-10}$  хаотические сигналы отличаются друг от друга, что делает возможным их применение для разделения абонентов в многоканальной (многопользовательской) системе радиосвязи (рис. 3).

Для организации дуплексных каналов связи между абонентами 1, 2, ..., N и базовой станцией применяется по два хаотических сигнала с различными начальными условиями формирования ( $X_{01}, X_{02}; X_{03}, X_{04}; \dots; X_{0 N-1}, X_{0 N}$ ).

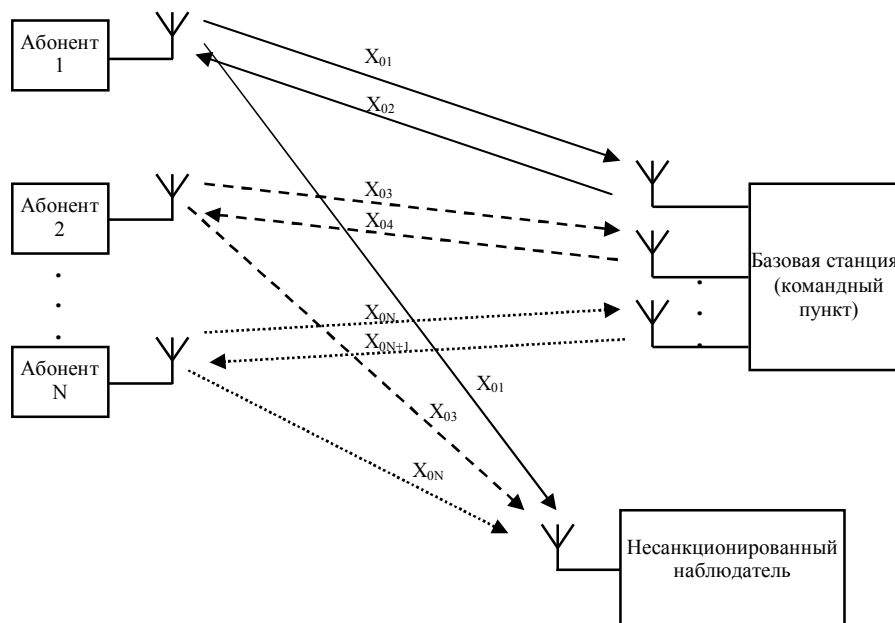


Рис. 3. Структурная схема организации многоканальной системы радиосвязи с помощью MIMO-технологии на хаотической несущей

Выделение сигналов на приемной стороне, как базовой станции, так и абонентов происходит за счет корреляционной обработки, которая может быть реализована благодаря различным начальным условиям формирования сигналов.

Несанкционированный наблюдатель, не зная закона формирования хаотических сигналов, регистрирует в линии связи лишь шум наблюдения, образованный суперпозицией информационных сигналов. Следует отметить, что для повышения конфиденциальности передачи информации можно применять маневр начальными условиями формирования сигналов аналогично смене радиочастоты в традиционных системах радиосвязи.

## Выводы

Применение традиционных подходов к разделению абонентов (стандарты FDMA, TDMA, CDMA) при построении многоканальных (многопользовательских) сетевых систем управления войсками не обеспечивает организацию необходимого количества каналов радиосвязи.

Решением данной проблемы является применение MIMO-технологии на хаотических несущих с различными начальными условиями формирования. Хаотические сигналы обладают высокой чувствительностью к начальным условиям  $x_0$ , что позволяет сформировать множество различных вариантов ортогональных хаотических сигналов. Эти сигналы могут селективироваться путем применения корреляционной обработки на приемной стороне.

Проведенный расчет коэффициента корреляции ортогональных хаотических сигналов с различными начальными условиями показывает, что хаотические сигналы, сформированные с различными начальными условиями, являются некоррелированными даже при небольших расхождениях начальных условий формирования ( $\Delta x = 10^{-10}$ ). Это условие теоретически обеспечивает возможность их применения для организации подключения множества абонентов при построении многоканальных (многопользовательских) систем военной радиосвязи.

Список литературы

## Список литературы

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр – Пер. с англ. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003 – 1104 с.
2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации: монография / [В.М. Вишневецкий, А.И. Ляхов, С.Л. Портной и др.]. – М.: Техносфера, 2005 – 592 с.
3. Системы связи с кодовым разделением каналов: учебн. пособие / [В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, А.Н. Никитин и др.] – СПбГУТ, 1999 – 120 с.
4. Метод повышения пропускной способности и скрытности системы радиосвязи путем применения MIMO-технологии на хаотических несущих / К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц, Н.А. Глуценко // Системи управління, навігації і зв'язку. – К: "ДП" ЦНДІ Н і У, 2012. – Вип. 3(23). – С. 223 – 227.
5. Васюта К. С. Корреляционная обработка хаотических сигналов / К. С. Васюта, А. А. Грызо, Ф. Ф. Зоц // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 2(31). – С. 62 – 64.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов – 10-е издание / В.Е. Гмурман – М.: Высшая школа, 2004 – 479 с.

Поступило в редколлегию 7.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.В. Лемешко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

**APPLICATION THE MIMO-TECHNOLOGY AT CHAOTIC CARRIER TO SEPARATION OF SUBSCRIBERS  
IN MULTICHANNEL MILITARY RADIOCOMMUNICATION**

S.V. Ozerov

*The paper considers the possibility of using MIMO-technology on chaotic carriers for the separation of subscribers in multi-channel systems of military radio communications. Shows the structural diagram of the organization of a multi-channel radio system with MIMO-technology chaotic carrier. The calculation of the correlation coefficient of chaotic signals with different initial conditions. It is shown that chaotic signals generated from different initial conditions are not correlated, which allows their use in multiplex radio communication systems as a successful alternative to the traditional way of dividing channels using standard FDMA, TDMA, CDMA.*

**Keywords:** chaotic signals, MIMO-technology standards FDMA, TDMA, CDMA, correlation function, the correlation coefficient

**ЗАСТОСУВАННЯ МІМО-ТЕХНОЛОГІЇ НА ХАОТИЧНИХ НЕСУЧИХ ДЛЯ РОЗПОДІЛУ АБОНЕНТІВ  
У БАГАТОКАНАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ВІЙСЬКОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

С.В. Озеров

*У роботі розглянуто можливість застосування МІМО-технології на хаотичних несучих для розділення абонентів у багатоканальних системах військового радіозв'язку. Наведено структурну схему організації багатоканальної системи радіозв'язку за допомогою МІМО-технології на хаотичній несучій. Проведено розрахунок коефіцієнта кореляції хаотичних сигналів з різними початковими умовами. Показано, що хаотичні сигнали сформовані з різними початковими умовами, є некорельованими. Це забезпечує можливість їх застосування в багатоканальних системах радіозв'язку в якості успішної альтернативи традиційним способам розподілу каналів, які використовують стандарти FDMA, TDMA, CDMA.*

**Ключові слова:** хаотичний сигнал, МІМО-технологія, стандарти FDMA, TDMA, CDMA, кореляційна функція, коефіцієнт кореляції.