

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И СКРЫТНОСТИ MIMO-СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ НА ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

В работе проведен анализ повышения скрытности и пропускной способности системы радиосвязи, основанной на применении многоканальной MIMO-технологии с множеством хаотических несущих. Показано, что синтезированный алгоритм передачи бинарных сообщений в многоканальной MIMO-радиосвязи с использованием хаотической несущей позволяет существенно повысить пропускную способность системы за счет увеличения числа каналов передачи в заданном диапазоне частот и скрытность системы радиосвязи за счет схожести характеристик суммарного хаотического сигнала при несанкционированном доступе с характеристиками шума наблюдения.

Ключевые слова: MIMO-технология, пропускная способность, скрытность, BDS-статистика, χ^2 -статистика.

Введение

Основное требование, предъявляемое к системе радиосвязи, состоит в достоверной и своевременной передаче большого количества информации на большие расстояния при ограниченной мощности передатчика. Одним из методов достижения более высокой пропускной способности и скрытности передачи данных является метод MIMO-технологии с множеством хаотических несущих, предложенный в работе [1].

Однако эффективность применения данного метода в существующих и перспективных системах военной радиосвязи еще недостаточно изучена.

Поэтому целью данной работы является анализ возможностей повышения скрытности и пропускной способности системы радиосвязи, основанной на применении множества хаотических несущих в многоканальной системе радиосвязи (MIMO). А

также выявление преимуществ MIMO-технологии, основанной на множестве хаотических несущих, в перспективных системах военной радиосвязи (в частности, радиорелейной связи).

Основная часть

Повышение скрытности системы радиосвязи за счет использования хаотических процессов приводит к расширению спектра передаваемого сигнала и, как следствие, при ограниченной полосе пропускания канала связи – к уменьшению скорости передачи информации, что при незначительном выигрыше в скрытности не оправдывает себя.

Однако эта проблема решается путем применения MIMO-технологии на хаотической несущей, предложенной в работе [1].

Для анализа выигрыша в пропускной способности системы MIMO-радиосвязи будет проведен

сравнительный анализ пропускной способности трех систем радиосвязи. Первая система – радиорелейное направление, организованное при помощи радиорелейной станции Р-409. Вторая система – радиорелейное направление на хаотической несущей. Третья система – радиорелейное направление, организованное с применением ММО-технологии на хаотических несущих.

Пропускная способность канала связи согласно [2] оценивается следующим образом:

$$C = W \log_2(1 + P_c / P_{ш}), \quad (1)$$

где C – пропускная способность, бит/с; W – ширина полосы канала, Гц; $P_c/P_{ш}$ – отношение «сигнал-шум». Эта формула устанавливает связь между возможностью безошибочной передачи информации по каналу с заданной полосой в зависимости от отношения «сигнал-шум».

Опираясь на (1), получаем пропускную способность радиорелейного канала связи с применением аппаратуры Р-409: ≈ 617 бит/с (для $W = 3100$ Гц, $P_c/P_{ш} = 15$ дБ.[3]).

При использовании широкополосной хаотической несущей в радиорелейном канале связи с ограниченной полосой пропускания информационное сообщение необходимо делить на части и передавать поочередно, что неизбежно приведет к ухудшению пропускной способности канала связи и увеличению времени передачи информации. Следовательно, пропускная способность C_x такой системы может быть оценена следующим образом:

$$C_x = \frac{W \log_2(1 + P_c / P_{ш})}{B}, \quad (2)$$

где B – отношение ширины полосы сигнала к ширине полосы канала, то есть пропускная способность системы будет во столько раз хуже, во сколько частотный спектр передаваемого сигнала (в данном случае хаотической последовательности) шире полосы пропускания канала связи.

Применение в радиорелейном направлении ММО-технологии с множеством хаотических несущих приводит к росту пропускной способности такой системы связи в N раз:

$$C_{ММО} = \frac{W \log_2(1 + P_c / P_{ш})N}{B}, \quad (3)$$

где N – число каналов передачи или пар передающих и приемных антенн системы радиосвязи. Из соотношения (3) видно, что пропускная способность многоканальной системы (ММО) увеличивается пропорционально числу каналов передачи N .

Скрытность функционирования радиотехнических систем определяется множеством факторов. Из-за априорной неопределенности обнаружения и

измерения параметров сигналов скрытность может характеризоваться лишь вероятностными соотношениями. Под скрытностью следует понимать [2] способность противостоять мерам радиотехнической разведки: обнаружению сигнала и определению его структуры на основе оценки ряда его параметров. В качестве критерия скрытности можно принять величину $P_{скр} = 1 - P_p$. Часто задача раскрытия смысла информации не ставится, и тогда можно принять, что скрытность определяется вероятностью разведки $P_p = P_{обн} P_{скр}$, которая характеризуется вероятностью правильного обнаружения сигнала $P_{обн}$ и вероятностью раскрытия его структуры $P_{стр}$. В общем случае скрытность функционирования такой системы может быть оценена вероятностью правильного обнаружения в разведприемнике [2]:

$$P_{обн} = 1 - \Phi \left[\frac{z_0 - (n + q)}{2n + 4q^{1/2}} \right], \quad (4)$$

где $\Phi(z)$ – интеграл вероятности; n – число "степеней свободы" сигнала или приближенно его база B ; q – отношение сигнал/шум. Из анализа характеристик обнаружения, полученных в [2], следует, что с увеличением базы сигнала вероятность обнаружения уменьшается, и, следовательно, возрастает его скрытность. Для анализа энергетической скрытности сигналов традиционно применяют χ^2 -статистику [2]:

$$W(\chi^2) = \left[2^{n/2} \Gamma(n/2) \right]^{-1} (\chi^2)^{[(n/2)-1]} \exp(-0.5\chi^2), \quad (5)$$

где Γ – гамма-функция, n – база сигнала.

Функция $W(\chi^2)$ для различных n показана на рис. 1.

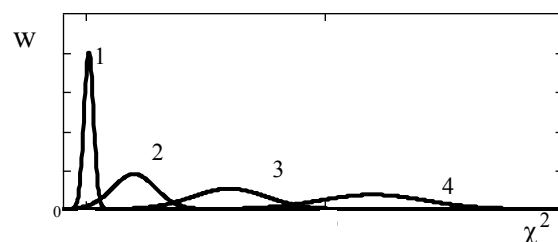


Рис. 1 Зависимость плотности вероятности энергетического обнаружения сигнала от базы сигнала (1 – ЧМ-сигнал, 2 – пачка хаотических импульсов, 3 – суммарный хаотический сигнал в ММО-системе связи, 4 – белый гауссовский шум)

Как видно, распределение является смещенным, причем смещение растет с увеличением базы сигнала.

Более адекватную оценку скрытности сигналов в условиях полной априорной неопределенности (при радиоразведке) дает BDS-статистика, которая учитывает дополнительные свойства сигналов и не опирается на вид распределения шума наблюдения (помехи).

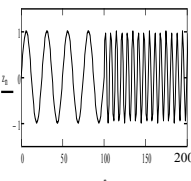
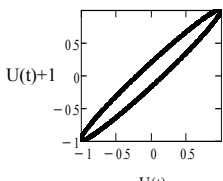
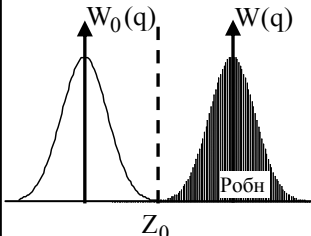
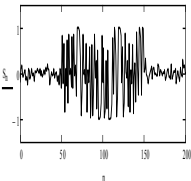
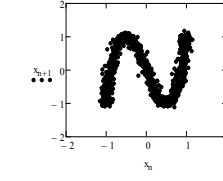
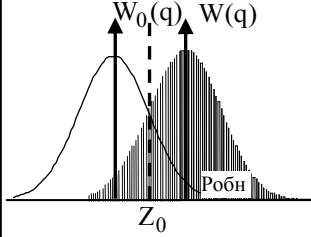
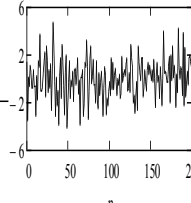
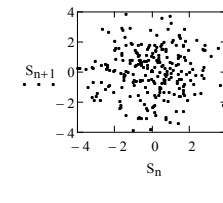
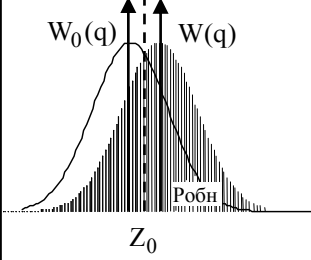
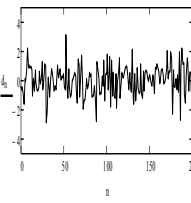
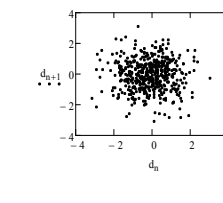
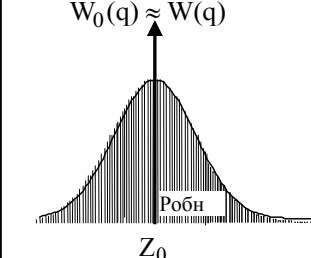
Для классификации “формы” сигнала при его обнаружении в работе [4] было предложено использовать BDS-статистику наблюдаемого процесса, которая связана с его корреляционной размерностью. В результате сравнительного анализа эффективности обнаружения сигнала с использованием

BDS-статистики и традиционной χ^2 -статистики, учитывающей только энергетические признаки сигнала, было показано, что во многих случаях χ^2 -статистика дает заниженную вероятность обнаружения не только хаотических, но и шумоподобных сигналов и, как следствие, неоправданно оптимистичную его скрытность.

Для санкционированного наблюдения хаотических сигналов в априорно неопределенной сигнально-помеховой обстановке достаточно реализовать когерентную обработку сигналов.

Таблица 1

Сравнительный анализ сигналов
(1 – частотно-модулированный сигнал (P-409),
2 – пачка хаотических импульсов,
3 – суммарный хаотический сигнал в ММО-системе связи,
4 – белый гауссовский шум)

| № | Форма сигнала | Фазовый портрет | χ^2 – статистика | Среднее значение BDS статистики | Вероятность обнаружения сигнала $P_{обн}$ |
|---|---|---|--|---------------------------------|---|
| 1 |  |  |  | $\gg 2000$ | 0,8 – 1 |
| 2 |  |  |  | > 200 | 0,4 – 0,8 |
| 3 |  |  |  | $\leq 1,96$ | 0,1 – 0,2 |
| 4 |  |  |  | $\leq 1,96$ | 0 – 0,1 |

BDS-статистика (тест), в соответствии с [4], рассчитывается:

$$Q_{BDS} = \omega_{m,n}(\varepsilon) = \sqrt{n} \left[\frac{C_{m,n}(\varepsilon) - C_{1,n}(\varepsilon)^m}{\sigma_{m,n}(\varepsilon)} \right], \quad (6)$$

где $C_{m,n}(\varepsilon)$ – корреляционная размерность;
 m – размерность фазового пространства;
 n – количество наблюдений;
 ε – радиус гиперсферы;
 $\sigma_{m,n}(\varepsilon)$ – стандартное отклонение.

В табл. 1 приведены результаты сравнительного анализа скрытности частотно-модулированного сигнала (ЧМ-сигнала), пачки хаотических импульсов, суммарного хаотического сигнала в MIMO-системе связи, белого гауссовского шума. Результаты получены с применением выражений (4), (5) и (6). Из анализа результатов, приведенных в табл. 1, следует, что наихудшей скрытностью обладает ЧМ-сигнал на гармонической несущей, а наилучшей – суммарный хаотический сигнал, который наиболее схож с характеристикам шума наблюдения и практически правильно не классифицируется известными методами.

Выводы

Таким образом, проведенный в работе анализ предложенного ранее метода повышения скрытности и пропускной способности системы радиосвязи, основанной на применении многоканальной MIMO-технологии с множеством хаотических несущих, показывает, что синтезированный алгоритм переда-

чи бинарных сообщений в многоканальной MIMO-радиосвязи с использованием хаотических несущих позволяет существенно повысить пропускную способность системы за счет увеличения числа каналов передачи в заданном диапазоне частот и скрытность системы радиосвязи за счет схожести характеристик суммарного хаотического сигнала с характеристиками шума наблюдения.

Список литературы

1. Васюта К.С. Метод повышения пропускной способности и скрытности системы радиосвязи путем применения MIMO-технологии на хаотических несущих / К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц, А.Н. Глуценко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К: ДП «ЦНДІ НІУ», 2012. – Вип. 3(23). – С. 223-227.
2. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. Колтунов Г.В. Радиорелейная станция Р-409М / Г.В. Колтунов, Г.А. Воронко, Э.Г. Казарьян. – Х.: ХВВАУС, 1983. – 131 с.
4. Васюта К.С. Распознавание цветных шумов в псевдофазовом пространстве с использованием BDS-статистики / К.С. Васюта // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2009. – № 12 (52). – С. 54-62.

Поступила в редколлегию 22.11.2012

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

АНАЛІЗ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ТА СКРИТНОСТІ MIMO-СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ХАОТИЧНОЇ НЕСУЧОЇ

К.С. Васюта, С.В. Озеров, Ф.Ф. Зоц

В роботі проведено аналіз підвищення скритності та пропускної спроможності системи радіозв'язку, яка застосована на застосуванні багатоканальної MIMO-технології з безліччю хаотичних несучих. Показано, що синтезований алгоритм передачі бінарних повідомлень у багатоканальній MIMO-радіозв'язку з використанням хаотичної несучої дозволяє істотно підвищити пропускну здатність системи за рахунок збільшення числа каналів передачі в заданому діапазоні частот і скритність системи радіозв'язку за рахунок схожості характеристик сумарного хаотичного сигналу при несанкціонованому доступі з характеристиками шуму спостереження.

Ключові слова: MIMO-технологія, пропускну здатність, скритність, BDS-статистика, χ^2 -статистика.

THROUGHPUT ANALYSIS AND SECRECY MIMO-RADIO SYSTEM FOR CHAOTIC CARRIER

K.S. Vasyta, S.V. Ozerov, F.F. Zots

The paper analyzes enhance stealth and capacity radio system, which is based on the use of multi-channel MIMO-technology with a lot of chaotic carriers. It is shown that the synthesized algorithm transfer binary messages in multi-radio MIMO-using chaotic carrier can significantly improve system throughput by increasing the number of channels in a given frequency range and stealth radio system by the similarity of the total performance of a chaotic signal in case of unauthorized access to the characteristics of the noise observation.

Keywords: MIMO-technology, capacity, secrecy, BDS-statistics, χ^2 -statistics.