

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.В. Озеров, А.А. Малышев

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

## ПОВЫШЕНИЕ СКРЫТНОСТИ ПЕРЕДАЧИ БИНАРНОГО СООБЩЕНИЯ В ПРЯМОХАОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РАДИОСВЯЗИ ЗА СЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

В работе предложен новый подход повышения скрытности прямохаотической системы радиосвязи, который основан на применении полосовой фильтрации хаотической последовательности. Синтезирована функциональная схема прямохаотической системы радиосвязи, в которой бинарное сообщение передается хаотическими радиоимпульсами, отфильтрованными в заданной полосе частот. Показано, что такой способ передачи бинарного сообщения повышает скрытность системы радиосвязи за счет схожести характеристик отфильтрованного хаотического сигнала с характеристиками шума наблюдения.

**Ключевые слова:** скрытность, прямохаотическая система радиосвязи, фильтрация, бинарное сообщение.

### Введение

В современных условиях организация ведения боевых действий, надежное управление войсками немыслимы без широкого применения средств радиосвязи, которые являются основой системы управления. К системам радиосвязи предъявляется ряд требований, одним из которых является гарантированная защищенность каналов радиосвязи от несанкционированного доступа и воздействия средств РЭБ (радиоэлектронной борьбы) противника.

С целью повышения скрытности в системе радиосвязи для передачи данных используются, хаотические сигналы (процессы), которые обладают специфическими свойствами, присущими случайным процессам, а именно: равномерным спектром мощности, экспоненциально спадающей корреляционной функцией, непредсказуемостью на больших интервалах времени [1]. Однако применение хаотических сигналов в полной мере не удовлетворяет требованиям скрытности системы радиосвязи, так как их аттракторы (фазовые портреты) структурированы и легко отличимы от аттракторов случайных процессов с независимыми и одинаково распределенными значениями [1].

Таким образом, целью работы является повышение скрытности системы радиосвязи путем усложнения аттрактора хаотической последовательности за счет применения частотной фильтрации.

### Основная часть

Практически все хаотические процессы имеют структурированные (упорядоченные) аттракторы, отличающие их от шума. Нелинейное строение аттрактора легко обнаруживается, так как оно достаточно просто структурировано в фазовом пространстве.

Степень структурированности аттрактора хаотического процесса определяет его скрытность. Ис-

ходя из анализа хаотических и случайных процессов следует, что существенное отличие в структурированности аттракторов хаотических процессов обусловлено различной степенью зависимости их значений. Применение сторонним наблюдателем методов нелинейного анализа [1] увеличивает вероятность правильной классификации наблюдения (белый шум или хаотический процесс) и приводит к снижению потенциальной скрытности хаотического сигнала до уровня, обусловленного шумом его наблюдения. Следовательно, для увеличения скрытности хаотического процесса необходимо усложнять его аттрактор, т.е. уменьшать степень его структурированности

Среди различных возможностей усложнения аттрактора хаотического процесса можно выделить усложнение сигнала путем частотной фильтрации хаотической несущей.

Для формирования хаотической несущей применим хаотическое отображение в виде полинома Чебышева первого рода третьего порядка, аналитическое выражение которого имеет вид:

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

Далее используя преобразование Фурье

$$f(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi f}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ix\omega} dx, \quad (2)$$

временная реализация сигнала (1) представляется в частотной области. После этого осуществляется частотная фильтрация хаотической последовательности с применением полосового фильтра – линейной системы состоящей из фильтра нижних частот и фильтра верхних частот. Критерием полосности является расчетная величина  $n$ , обратная относительной ширине полосы пропускания:

$$n = \frac{f_0}{f_2 - f_1}, \quad (3)$$

где  $f_1$  и  $f_2$  – теоретические частоты среза (граничные частоты полосы пропускания фильтра),  $f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$  – средняя частота полосы пропускания фильтра.

При  $n \leq 2$  фильтр рассматривается как широкополосный, состоящий из комбинации фильтров верхних и нижних частот.

При помощи обратного преобразования Фурье отфильтрованный хаотический сигнал переносится из частотной области во временную.

На рис. 1. приведены примеры реализаций белого шума, исходного хаотического сигнала и отфильтрованного хаотического сигнала, а также соответствующие им фазовые портреты.

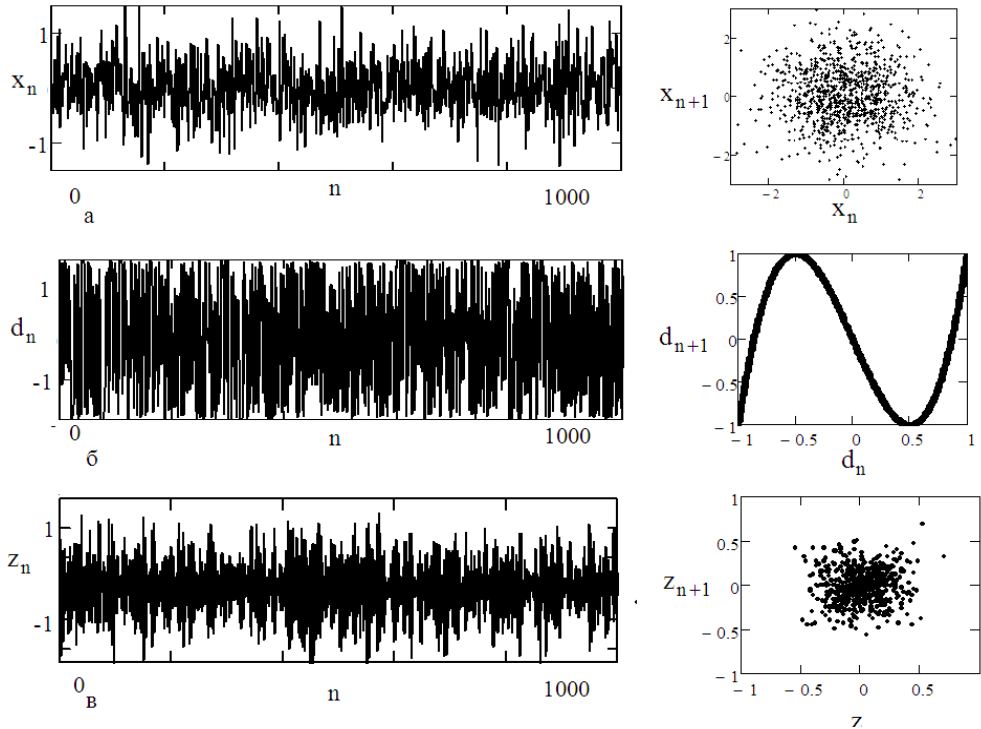


Рис. 1. Временная реализация и фазовый портрет: а – белого шума, б – хаотической последовательности, в – отфильтрованной хаотической последовательности

Анализ рисунка показывает, что отфильтрованный хаотический сигнал (рис. 1, в) имеет аттрактор подобный белому шуму (рис. 1, б), в то время как аттрактор исходного хаотического сигнала структурирован.

Ниже рассматривается возможность применения отфильтрованных хаотических радиоимпульсов в прямохаотической системе связи для повышения скрытности передачи бинарного сообщения. Прямохаотической схемой связи называется [2 – 3] схема связи в которой:

а) источник хаоса генерирует хаотические колебания непосредственно в заданной полосе радио или СВЧ-диапазона;

б) преобразование информационного сигнала из бинарного вида в хаотический осуществляется путем формирования соответствующего потока хаотических радиоимпульсов;

в) извлечение информации из СВЧ сигнала производится без промежуточного преобразования частоты.

Функциональная схема прямохаотической системы радиосвязи с полосовой фильтрацией хаотической несущей приведена на рис. 2.

Данные поступающие от источника информации (ИИ) на кодер (CD) преобразуются в бинарное сообщение (рис. 3).

Далее это сообщение поступает на демультиплексор (DMX), разделяющий бинарный код на два потока – логические "0" и "1", которые модулируются двумя потоками отфильтрованных хаотических радиоимпульсов.

В свою очередь, эти радиоимпульсы формируются с использованием генератора Gx и двух полосовых фильтров с разной полосой пропускания. Модулированные логические "0" и "1" собираются в сумматоре, поступают на передатчик (ПРД) и выдаются в канал связи.

На приемной стороне, после предварительной обработки в приемнике (ПРМ) сигнал подается на корреляторы (Корр. 1, 2), в которых производится его сравнение с соответствующими эталонными фильтрованными хаотическими радиоимпульсами. В последующем происходит выделение бинарного сообщения (в демодуляторах DM), объединение составляющих сообщения (в сумматоре), и после преобразования в исходный вид (в декодере DC) – выдача данных получателю информации (ПИ).

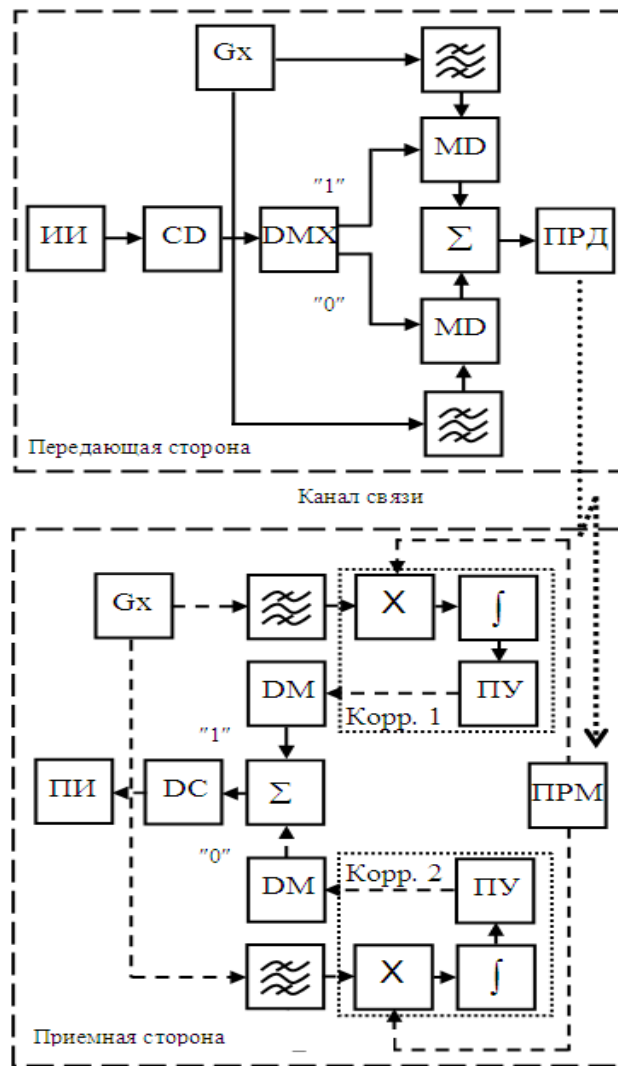


Рис. 2. Функциональная схема прямохаотической системы связи с фильтрацией хаотической несущей

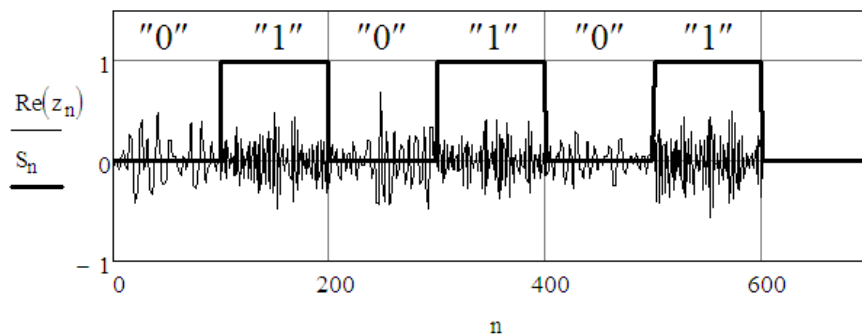


Рис. 3. Кодирование бинарного сообщения фильтрованными хаотическими радиоимпульсами

Сравнительная оценка помехоустойчивости передачи информации для некоторых известных методов [4] и метода предложенного в работе, приведена на рис. 4.

Анализ рис. 4 показывает, что вероятность правильного приема бита информации методом полосовой фильтрации практически соизмерима с методом обобщенной синхронизации и несколько превосходит

результаты полученные в методе фазовой синхронизации.

Следует отметить важное замечание – помехоустойчивость данного метода обратно пропорциональна его скрытности. Это связано прежде всего с тем, что чем уже полоса пропускания фильтра, тем в большей мере фазовый протрет хаотического сигнала подобен фазовому портрету белого шума. Однако это

отрицательно сказывается на способности правильного выделения сигнала в приемнике, что обусловлено особенностью корреляционной обработки (необходимость энергетического накопления сигнала).

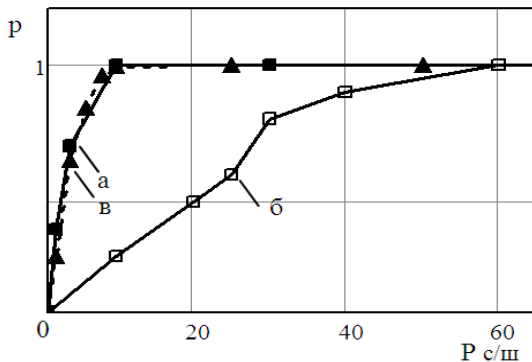


Рис. 4. Вероятность правильного приема бита информации от отношения сигнал / шум в канале связи: метод обобщенной синхронизации (а), метод фазовой синхронизации (б), метод полосовой фильтрации (в)

Выбор оптимальной полосы пропускания фильтра, которая бы одновременно обеспечивала наилучшие показатели скрытности и помехоустойчивости данного метода, будет являться целью последующих исследований.

## Выводы

Предложенный в работе метод передачи бинарного сообщения, основанный на полосовой фильтрации хаотических радиопульсов, позволяет получить сложный хаотический сигнал который по своим визуальным, спектральным, фазовым и корреляционным характеристикам подобен белому шуму. Использование таких сигналов существенно затрудняет обнаружение факта их передачи для стороннего наблюдателя что повышает их скрытность.

## ПІДВИЩЕННЯ СКРИТНОСТІ ПЕРЕДАЧІ БІНАРНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ В ПРЯМОХАОТИЧНІЙ СИСТЕМІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ЗА РАХУНОК ФІЛЬТРАЦІЇ ХАОТИЧНОЇ НЕСУЧОЇ

К.С. Васюта, С.В. Озеров, С.В. Малишев

У роботі запропоновано новий підхід підвищення скритності прямохаотичної системи радіозв'язку, який заснований на застосуванні смужкової фільтрації хаотичної послідовності. Синтезована функціональна схема прямохаотичної системи радіозв'язку, в якій бінарне повідомлення передається хаотичними радіопульсами відфільтрованими в заданій смужці частот. Показано, що такий спосіб передачі бінарного повідомлення підвищує скритність системи радіозв'язку за рахунок схожості характеристик відфільтрованого хаотичного сигналу з характеристиками шуму спостереження.

**Ключові слова:** скритність, прямохаотична система радіозв'язку, фільтрація, бінарне повідомлення.

## IMPROVING COMMUNICATION STEALTH BINARY MESSAGES IN CHAOTIC RADIO COMMUNICATIONS SYSTEM BY FILTERING CHAOTIC CARRIER

K.S. Vasyta, S.V. Ozerov, A.A. Malyshev

In the new approach enhance stealth chaotic radio system, which is based on the use of band-pass filtering of chaotic sequence. Synthesized functional diagram of chaotic radio system, in which a binary message is transmitted in a given filtered band chaotic radio pulses. Shown that this method of transmitting binary messages increases stealth radio system by the similarity of characteristics of filtered chaotic signal noise characteristics of observation.

**Keywords:** stealth, direct chaotic radio system, filtering, binary message.

Примененный метод корреляционной обработки сложного хаотического сигнала позволяет получателю выделить информацию при значительном уровне шума в канале связи.

Таким образом, использование такого подхода передачи бинарного сообщения повышает скрытность и помехоустойчивость прямохаотической системы радиосвязи.

Полученный метод передачи бинарного сообщения может быть применен в системе скрытого управления войсками, например при организации управления полетами летательных аппаратов авиации Воздушных Сил Украины.

## Список литературы

1. Использование BDS-статистики для оценки скрытности сигнала, полученного перемешиванием хаотической несущей / П.Ю. Костенко, К.С. Васюта, А.Н. Барсуков [и др.] // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2010. – № 5 (53). – С. 41-45.
2. Зарубежная радиоэлектроника. / А.С. Дмитриев, Л.В. Кузьмин, А.И. Панас и др // Усп. совр. радиоэлектроники. – 2003. – № 9. – С. 26-33.
3. Дмитриев А.С. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи / А.С. Дмитриев, А.И. Панас. – М.: Издательство Физ.-Мат. литературы, 2002. – 252 с
4. Короновский А.А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации / А.А. Короновский // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179, № 12. – С. 1281-1310.

Поступила в редколлегию 19.04.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.