

УДК 621.391

К.С. Васюта, С.В. Озеров

Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков

ВОССТАНОВЛЕНИЕ БИНАРНОГО СООБЩЕНИЯ ПРИ ЕГО ПЕРЕДАЧЕ В ПРЯМОХАОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РАДИОСВЯЗИ МЕТОДОМ ЧАСТОТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ХАОТИЧЕСКОЙ НЕСУЩЕЙ

В работе рассмотрен алгоритм восстановления бинарного сообщения, при его передаче в прямохаотической системе радиосвязи методом частотной фильтрации хаотической несущей, основанный на корреляционной обработке принятого сигнала. Синтезирована функциональная схема прямохаотического корреляционного приемника. Проведен анализ качества восстановленного бинарного сообщения путем расчета вероятности (коэффициента) битовых ошибок системы. Показано, что полученный коэффициент битовых ошибок соизмерим с аналогичным коэффициентом традиционных методов передачи информации, использующих хаотические сигналы.

Ключевые слова: бинарное сообщение, хаотический сигнал, частотная фильтрация, корреляционная обработка, вероятность битовых ошибок.

Введение

Для обеспечения эффективного управления войсками при ведении боевых действий требуется создание систем радиосвязи, обладающих повышенной скрытностью.

Современный уровень развития сил и средств радиотехнической разведки и радиотехнического подавления показывает, что системы радиосвязи, использующие в качестве несущей гармонические колебания, не обладают достаточной скрытностью, так как их энергетический спектр не имеет равномерного распределения, а фазовый портрет имеет ярко выраженную структурную зависимость.

Успешной альтернативой гармоническим колебаниям является применение в качестве несущей сложных хаотических сигналов, которые по своим спектральным, корреляционным и динамическим характеристикам подобны шуму наблюдения.

На сегодняшний день известно достаточное количество способов передачи информации с применением хаотических сигналов, которые подробно изложены в [1].

Однако задачам оптимального приема и выделения бинарного сообщения не было уделено достаточно внимания.

Таким образом, **целью** данной работы является синтез алгоритма восстановления бинарного сообщения, основанного на традиционной когерентной (корреляционной) обработке принятого сигнала.

Основная часть

Суть алгоритма синтеза фильтрованного хаотического сигнала [2] состоит в следующем.

Для формирования хаотической несущей применяется хаотическое отображение, описываемое

полиномом Чебышева первого рода третьего порядка:

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

Далее, после применения к (1) преобразования 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 и осуществляется частотная фильтрация хаотической последовательности с применением полосового фильтра – линейной системы, состоящей из фильтра нижних частот и фильтра верхних частот.

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

Рассмотрим алгоритм восстановления санкционированным наблюдателем бинарного сообщения при его передаче в прямохаотической системе радиосвязи [2] методом частотной фильтрации хаотической несущей.

Предполагается, что на сигнал в канале связи воздействует лишь шум наблюдения. Тогда принятый сигнал описывается суммой переданного сигнала $S_i(t)$ и белого шума $\xi(t)$:

$$r(t) = S_i(t) + \xi(t), \quad (3)$$

где $0 \leq t \leq T$; $i = 1 \dots M$.

Восстановление такого бинарного сообщения включает в себя две основных задачи.

Первая задача – это детектирование информационного сигнала, а вторая задача состоит в преобразовании детектированного сигнала в бинарный код.

На рис. 1 изображена функциональная схема прямохаотического корреляционного приемника.

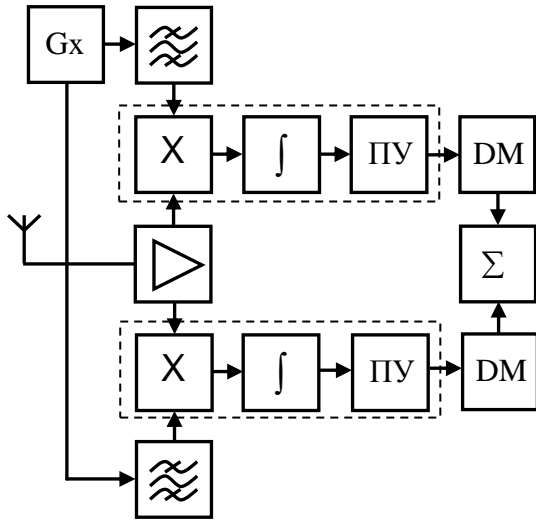


Рис. 1. Функциональная схема прямохаотического корреляционного приемника

Антенна принимает смесь сигнала и шума из канала связи, после чего принятый сигнал подается на усилитель. Затем сигнал подается на умножители, где происходит его перемножение с эталонными сигналами, формируемыми при помощи хаотического генератора и полосовых фильтров. После перемножения сигнал поступает на интеграторы, в которых производится накопление сигнала.

Каждый выход интегратора описывается интегралом произведения эталонного сигнала с принятым сигналом:

$$z_i(T) = \int_0^T r(t) \times S_i(t) dt, \quad (4)$$

где $i = 1, \dots, M$.

Далее накопленный сигнал (рис. 2) поступает на вход порогового устройства, где проверяется соответствие принятого сигнала с эталонным, т.е. выбирается сигнал $S_i(t)$, индекс которого соответствует максимальному $z_i(T)$.

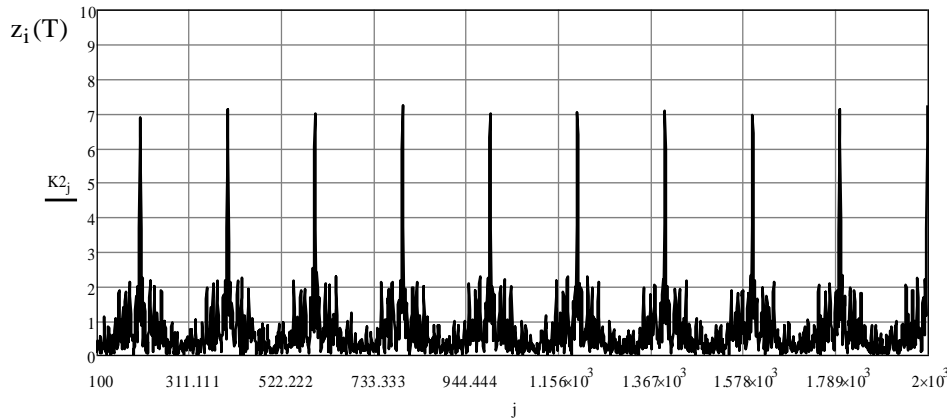


Рис. 2. Накопленный сигнал на выходе интегратора

В последующем в демодуляторах происходит выделение элементов бинарного сообщения и объединение их в сумматоре в сообщении.

Для оценки качества выделенного бинарного сообщения применяется такая характеристика цифрового канала связи как вероятность (коэффициент) битовых ошибок (BER) [3].

Вероятность битовых ошибок характеризует качество передачи информации и представляет собой количество ошибок, отнесенное к количеству переданных битов. Предполагается [3], что корректно передается бинарный бит "0" с вероятностью P_{00} и бинарный бит "1" с вероятностью P_{11} . Тогда ошибочное диагностирование бинарного бита 1 при передаче бинарного бита 0 характеризуется вероятностью $P_{01} = 1 - P_{00}$, а вероятность $P_{10} = 1 - P_{11}$ характеризует ошибочное диагностирование бинарного бита "0" при передаче бинарного бита "1". При появлении символов в передаваемом сообщении с вероятностью P_0 и P_1 соответственно, вероятность ошибки на бит:

$$BER = 2(P_{01} \times P_0 + P_{10} \times P_1), \quad (5)$$

причем вероятности P_{01} и P_{10} зависят от типа и параметров системы связи.

Опираясь на результаты проведенного математического моделирования, была построена (рис. 3) зависимость вероятности битовых ошибок (BER) от спектральной плотности мощности шума на бит информации (E_b / N_0). Для наглядности приведены аналогичные зависимости, полученные традиционными способами передачи информации с применением хаотических сигналов [4].

Анализ зависимостей показывает, что вероятность битовых ошибок, возникающих при передаче информации методом частотной фильтрации практически соизмерима с частотной хаотической модуляцией (FM-DCSK), и несколько превосходит результаты, полученные при передаче информации методами дифференциальной хаотической модуляции (DCSK) и хаотической ON-OFF манипуляции (COOK).

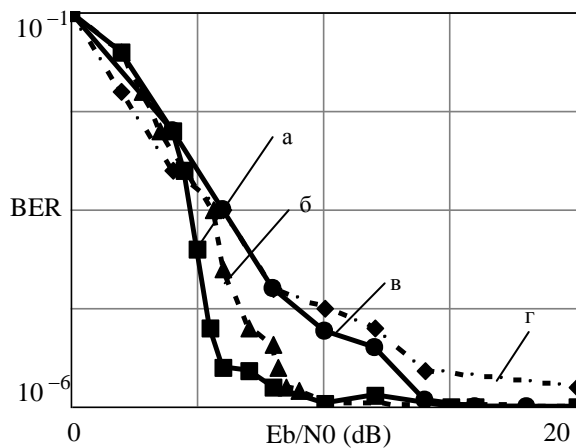


Рис. 3. Зависимость вероятности битовых ошибок от спектральной плотности мощности шума на бит информации: а – частотная хаотическая модуляция (FM-DCSK), б – частотная фильтрация хаотического сигнала, в – дифференциальная хаотическая модуляция (DCSK), г – хаотическая ON-OFF манипуляция (COOK)

Выводы

Рассмотренный в работе алгоритм восстановления бинарного сообщения, при его передаче в прямохаотической системе радиосвязи методом частотной фильтрации хаотической несущей, основанный на корреляционной обработке принятого сигнала, существенно повышает помехоустойчивость системы, что позволяет получателю выделить информацию при значительном уровне шума в канале связи.

Проведенный анализ качества выделения информации, ставит предложенный способ передачи

информации в один ряд с традиционными способами передачи информации, использующих в качестве несущих хаотические сигналы (частотная хаотическая модуляция, дифференциальная хаотическая модуляция и т. д.).

Таким образом, использование такого подхода передачи бинарного сообщения позволяет повысить скрытность и помехоустойчивость системы радиосвязи, что может быть использовано при создании единой информационно-телекоммуникационной системы обмена данными.

Список литературы

1. Короновский А.А. О применении хаотической синхронизации для скрытой передачи информации / А.А. Короновский // *Успехи физических наук*. – 2009. – Т. 179, № 12. – С. 1281 – 1310.
2. 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.
3. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр; пер. с англ. – М.: Издательский дом Вильямс, 2003 – 1104 с.
4. Eisenkraft M. Applying estimation techniques to chaos-based digital communications [Электронный ресурс] / M. Eisenkraft, L.A. Vaccala // Режим доступа: <http://www.intechopen.com/books/chaotic-systems/applying-estimation-techniques-to-chaos-based-digital-communications>.

Поступила в редколлегию 22.01.2013

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

ВІДНОВЛЕННЯ БІНАРНОГО ПОВІДОМЛЕННЯ ПРИ ЙОГО ПЕРЕДАЧІ У ПРЯМОХАОТИЧНІЙ СИСТЕМІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ МЕТОДОМ ЧАСТОТНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ХАОТИЧНОЇ НЕСУЧОЇ

К.С. Васюта, С.В. Озеров

У роботі розглянуто алгоритм відновлення бинарного повідомлення при його передачі в прямохаотичній системі радіозв'язку методом частотної фільтрації хаотичної несучої, заснований на кореляційній обробці прийнятого сигналу. Синтезована функціональна схема прямохаотичного кореляційного приймача. Проведено аналіз якості відновленого бинарного повідомлення шляхом розрахунку ймовірності (коефіцієнту) бітових помилок системи. Показано, що отриманий коефіцієнт бітових помилок співмірний з аналогічним коефіцієнтом традиційних методів передачі інформації, що використовують хаотичні сигнали.

Ключові слова: бинарне повідомлення, хаотичний сигнал, частотна фільтрація, кореляційна обробка, ймовірність бітових помилок.

RECOVERY BINARY MESSAGE WHEN IT IS SENT TO THE CHAOTIC SYSTEM BY RADIO FREQUENCY FILTER CHAOTIC CARRIER

K.S. Vasyta, S.V. Ozerov

The paper concerns reconstruction algorithm of binary messages, when it is transferred to the wireless communication system using chaotic frequency filtering chaotic carrier, based on the correlation processing of the received signal. Synthesized functional diagram of chaotic correlation receiver. The analysis of the quality of restored binary message by calculating the probability (rate) of the system bit error rate. It is shown that the obtained bit error rate commensurate with the same coefficient of traditional transmission techniques using chaotic signals.

Keywords: binary message, the chaotic signal frequency filtering, correlation processing, the probability of bit error.