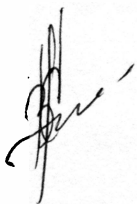


Митин Сергей Владимирович

**АЛГОРИТМЫ КОДИРОВАНИЯ И ДЕКОДИРОВАНИЯ ДВОИЧНЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ
ОТОБРАЖЕНИЙ**

**05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(в технических системах)**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2014

Работа выполнена на кафедре автономных и управляющих систем Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель:

доктор технических наук,
профессор Борис Ильич Шахтарин

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор Александр Сергеевич Дмитриев

кандидат технических наук, доцент
Сергей Владимирович Голубев

Ведущая организация:

ОАО «Корпорация «Фазотрон-НИИР»

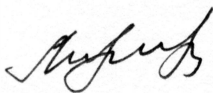
Защита состоится "27 " января 2015 года в 16.30 на заседании диссертационного Совета Д 212.141.02 при Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, пер. Госпитальный, д.10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Автореферат разослан "___" ноября 2014 г.

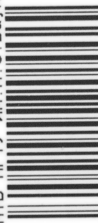
Отзывы и замечания по автореферату в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба выслать по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

**Ученый секретарь
диссертационного Совета,
к.т.н., доцент**



Муратов И.В.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



2066723

Митин С.В. Алгоритмы кодирования

3250

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность задачи

Динамический хаос обладает многими привлекательными свойствами, которые могут быть полезны при передаче информации:

- возможность получения сложных колебаний с помощью простых по структуре устройств;
- возможность управления хаотическими режимами путем малых изменений параметров систем;
- конфиденциальность при передаче сообщений и др.

Интерес к системам с хаотическими несущими в значительной степени связан с возможностью организации скрытной (конфиденциальной) связи. При соответствующем выборе способа внесения информации восстановление полезной составляющей сигнала может быть произведено даже в случаях, когда хаотическая несущая находится ниже уровня шумов, что означает возможность сокрытия не только самой информации, но и самого факта ее передачи. Кодирование информации с использованием хаотических колебаний может быть использовано как на физическом уровне (кодирование в канале), так и для кодирования самой информации.

В настоящее время над проблемой использования хаоса для кодирования и передачи информации активно работает ряд научных коллективов. Среди отечественных организаций следует выделить Институт радиотехники и электроники РАН (А.С. Дмитриев, А.И. Панас и др.), Нижегородский госуниверситет (В.Д. Шалфеев, В.В. Матросов и др.), Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Б.И. Шахтарин), Московский энергетический институт (М.В. Капранов, В.Н. Кулешов, Н.Н. Удалов) и др. Среди зарубежных – Технический университет, Дублин, Ирландия (М.Р. Kennedy), Калифорнийский университет, Беркли (L. Chua), Военно-морская лаборатория, Вашингтон, США (L. Pesco, T. Carroll), Технический университет, Лозанна (M. Hasler).

Информационные сообщения могут быть внесены в дискретные хаотические колебания различными способами.

1. Вариация управляющего параметра на передающей стороне.
2. Внесение информации путем изменения начальных условий дискретных хаотических последовательностей.
3. Линейная или нелинейная добавка информационного сообщения к хаотической последовательности (нелинейное подмешивание, хаотическая маскировка и т.д.).

Основной проблемой в реализации систем, использующих хаотические колебания в качестве переносчика информации, является демодуляция информационного сообщения в условиях неточного знания всех параметров источника хаотических колебаний на приемной стороне, а также наличия шумовых помех в среде распространения. В связи с вышеизложенным, тема диссертации, посвященной исследованию хаотического кодирования цифровых сигналов является достаточно актуальной.

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является исследование алгоритмов кодирования и декодирования двоичных информационных последовательностей с использованием дискретных хаотических отображений и изучение эффективности систем передачи информации с хаотической несущей в различных условиях.

В соответствии с целью работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Исследование свойств ряда известных источников хаотических последовательностей в дискретном времени с целью их дальнейшего использования в качестве носителей информационных сообщений.

2. Разработка хаотического отображения с заданной функцией плотности вероятности и исследование алгоритма кодирования двоичных последовательностей с использованием полученного отображения.

3. Исследование и сравнение различных алгоритмов декодирования для нескольких хаотических отображений и моделирование для указанных алгоритмов зависимости частоты ошибочных бит (BER) от отношения сигнал-

шум $\frac{E_b}{N_0}$.

4. Исследование влияния наличия искажений и помех в канале на работу хаотической системы связи.

Научная новизна результатов

1. Предложен и исследован метод синтеза хаотического отображения с заданной функцией плотности вероятности.

2. Рассмотрен метод кодирования двоичной последовательности с использованием дискретных хаотических отображений.

3. Разработаны и исследованы алгоритмы декодирования хаотической последовательности, полученной с помощью хаотических отображений, сопряженных отображению сдвига Бернулли.

4. Исследована хаотическая модуляция в каналах с шумом и межсимвольной интерференцией, предложены модели хаотических кодеров и декодеров.

5. Использован системный подход к исследованию отображений – источников хаотических последовательностей.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Ценность диссертационного исследования состоит в том, что оно вносит вклад в развитие теории динамических систем, методов анализа хаотической модуляции, вопросов формирования хаотических радиосигналов, что имеет большое значение для повышения эффективности разработки и испытания радиотехнических систем различного назначения.

Достоверность полученных результатов определяется корректностью используемого математического аппарата, основанного на методах теории нелинейных колебаний и статистической радиотехники. Правильность функционирования разработанных в диссертации алгоритмов проверялась на тестовых наборах данных. Согласованность полученных результатов с

исходными, а также опубликованных характеристик систем с полученными с помощью разработанных алгоритмов, позволяет сделать вывод о корректности алгоритмов и полученных с их помощью результатов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Метод кодирования двоичной последовательности с использованием дискретных хаотических отображений.

2. Алгоритм синтеза кодирующего хаотического отображения на основе требуемой формы ПРВ.

3. Алгоритмы декодирования хаотической последовательности, полученной с помощью хаотических отображений, сопряженных отображению сдвига Бернулли.

4. Алгоритм декодирования хаотической последовательности в канале с межсимвольной интерференцией.

Апробация результатов исследования

Результаты работы докладывались и обсуждались на 63-й, 64-й, 65-й научных сессиях Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова, посвященных Дню радио (Москва, 2008, 2009, 2010); на 4-й Международной конференции «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP-2011) (Суздаль, 2011); на 69-ой Международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (Москва, 2014).

Автором опубликовано 11 научных работ по теме диссертации, из них 5 работ в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для опубликования.

Внедрение результатов работы

Результаты исследования внедрены в учебный процесс МГТУ им. Н.Э. Баумана, Академии ФСО России, а также являются составной частью НИР, проводимых в Академии ФСО России.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и изложена на 176 страницах, включает 61 рисунок. Список литературы содержит 116 наименований и занимает 12 страниц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследований, изложены положения, выносимые на защиту, и краткое содержание работы. Дан обзор свойств хаотических сигналов, делающих их потенциально привлекательными для использования в системах передачи данных.

В первой главе приводится краткий обзор методов формирования хаотических сигналов для передачи информации, рассмотрены различные методы кодирования цифровых последовательностей.

Показано, что хаотические колебания возникают в системах как с непрерывным, так и с дискретным временем. Источниками хаотических колебаний в радиотехнических системах с непрерывным временем являются различные нелинейные колебательные системы с порядком не ниже третьего:

генератор на туннельном диоде с колебательным контуром и дополнительной инерционностью, нелинейный неавтономный колебательный контур и т.д. Основу таких систем составляют типовые звенья, обеспечивающие порядок системы и нелинейный активный элемент, необходимый для возникновения автоколебаний.

В системах с дискретным временем модель источника хаотических колебаний описывается разностным уравнением первого порядка вида (1):

$$x(k+1) = f[a(k), x(0), x(k)], \quad (1)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$ – дискретное время, $f(z)$ – нелинейная функция, определяющая тип отображения, $a(k)$ – управляющий параметр, в общем случае зависящий от дискретного времени, который может нести в себе информационное сообщение. Значение $x(0)$ выделено в качестве отдельного аргумента, поскольку может нести в себе информационное сообщение.

Наиболее распространенными и изученными в настоящее время являются квадратичное отображение (2) с гладким экстремумом, отображение типа "тент" (3) и отображение сдвига (4):

$$f(a, x) = 1 - ax^2, \quad (2)$$

$$f(a, x) = \begin{cases} ax, & 0 < x < a \\ 1 - x, & a < x < 1 \\ \frac{1}{1-a}, & a < x < 1 \end{cases} \quad a \in (0; 1), \quad (3)$$

$$f(a, x) = ax \bmod 1, \quad a > 1. \quad (4)$$

где a – управляющий параметр. Графики этих нелинейных функций (отображений) приведены на Рисунке 1.

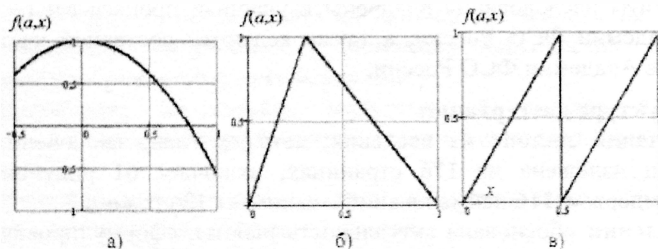


Рисунок 1.

Графики нелинейных отображений, используемых в качестве источников хаотических колебаний: а – квадратичное отображение ($a=1,6$), б – отображение типа «тент» ($a=0,3$), в – отображение сдвига ($a=2$)

Использование дискретных отображений в современных цифровых системах связи представляется весьма удобным, поскольку позволяет использовать стандартные и отработанные решения на основе цифровых сигнальных процессоров для генерации и обработки хаотических колебаний, а

также практически повсеместным использованием цифровых методов обработки информации и сигналов.

Вторая глава посвящена исследованию методов кодирования и декодирования цифровых последовательностей с использованием хаотических отображений, а также синтезу хаотических отображений с требуемыми характеристиками.

Для кодирования информационной двоичной последовательности $\{b_n\}$, где $b_n \in \{0,1\}$, $n=1 \dots N$, используется метод усечения. Последовательность $\{b_n\}$ двоичная, независимая и равновероятная $p_0 = p_1 = 1/2$. Хаотические отображения ограничены интервалом $[0,1]$ и представляют собой отображение сдвига Бернулли

$$x_{n+1} = f(x_n) = \begin{cases} 2x_n, & \text{если } x_n < \frac{1}{2}, \\ 2x_n - 1, & \text{если } x_n \geq \frac{1}{2}, \end{cases}$$

модифицированное логистическое отображение (МЛО)

$$x_{n+1} = f(x_n) = \begin{cases} 4x_n(1-x_n), & \text{если } x_n < \frac{1}{2}, \\ 1-4x_n(1-x_n), & \text{если } x_n \geq \frac{1}{2}, \end{cases}$$

а также синтезированное по функции ПРВ перевернутое логистическое отображение

$$f(x_n) = \begin{cases} 4x_n \sqrt{\frac{1}{4} - x_n^2}, & \text{если } 0 \leq x_n < \frac{1}{2\sqrt{2}}, \\ 1 - 4x_n \sqrt{\frac{1}{4} - x_n^2}, & \text{если } \frac{1}{2\sqrt{2}} \leq x_n < \frac{1}{2}, \\ 4(1-x_n) \sqrt{\frac{1}{4} - (1-x_n)^2}, & \text{если } \frac{1}{2} \leq x_n < 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}}, \\ 1 - 4(1-x_n) \sqrt{\frac{1}{4} - (1-x_n)^2}, & \text{если } 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}} \leq x_n \leq 1. \end{cases}$$

Данный метод можно применять для кодирования блоками из $D \ll N$ бит за один раз. Если задать усеченную символьную последовательность как r'_n , тогда соответствующее усеченное значение x'_n для отображения сдвига Бернулли

$$r'_n = \sum_{m=n}^{n+D-1} b_m 2^{-m+n-1}, \quad x'_n = g(r'_n),$$

где $g(r)$ определяется аналогично отображению сдвига Бернулли, для которого этот способ был впервые разработан. Результирующая усеченная

последовательность x'_n близка к оригинальной последовательности x_n , когда число бит D достаточно велико. Для использования свойств сгенерированной хаотической последовательности, необходимо подобрать подходящий метод декодирования, при этом данные, переносимые всей последовательностью в целом, должны приниматься во внимание в процессе декодирования. Декодирование может производиться посимвольно, когда решение принимается непосредственно по каждому y_i (прямое декодирование). Вероятность ошибки для рассмотренных в работе отображений показана на Рисунке 2.

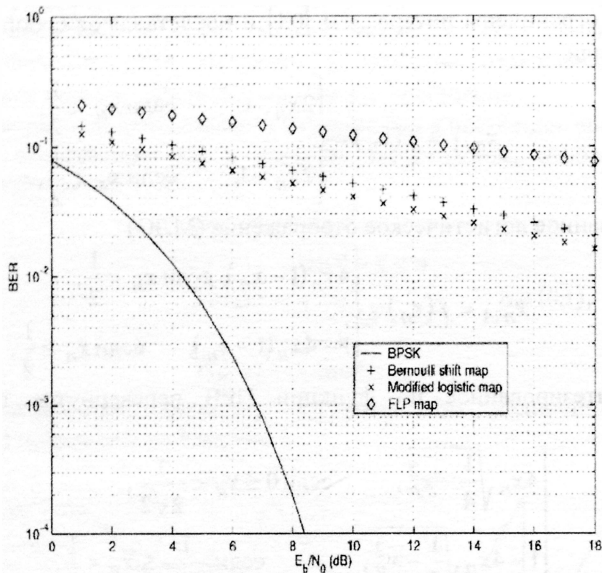


Рисунок 2.

Частота ошибочных бит (BER) для случая прямого декодирования.

Преимуществом хаотического кодирования является избыточность в передаче смежных символов. Первый метод декодирования, называемый эвристическим декодированием. Для декодирования символа y_n мы рассматриваем $M-1$ следующих символов и восстанавливаем возможные траектории, которые имеют конечную точку y_{n+M-1} . Затем выбирается траектория $z_n^{S_{dn}}$, которая является самой близкой к полученной

последовательности:
$$\sum_{k=n}^{n+M-2} \left(z_k^{S_{dn}} - y_k \right)^2 \leq \sum_{k=n}^{n+M-2} \left(z_k^{S_m} - y_k \right)^2.$$
 Принятый бит

$\hat{b}_{n+1}$ декодируется в соответствии с выражением

$$z_n^{s_{d_n}} < \frac{1}{2} \rightarrow \hat{b}_n = 0,$$

$$z_n^{s_{d_n}} \geq \frac{1}{2} \rightarrow \hat{b}_n = 1.$$

Этот алгоритм использует избыточность между y_n и следующими M символами, но он не учитывает избыточность между y_n и всей последовательностью. Для разрешения этого вопроса, алгоритм может быть применен рекурсивно. Это второй алгоритм, называемый рекурсивным эвристическим алгоритмом. Можно показать, что эти алгоритмы достаточно хорошо справляются с ограниченным шумом. Однако, результаты моделирования показывают, что есть уровень ошибки, который зависит от сложности декодирования (длина блока декодирования M и число итераций).

На Рисунках 3, 4, 5 показаны результаты, полученные с эвристическим и рекурсивным алгоритмами для различных параметров. Значения могут правильно декодироваться с более высокой вероятностью, когда число последовательных принятых во внимание выборок растёт. То же верно в отношении увеличения числа итераций рекурсивного алгоритма.

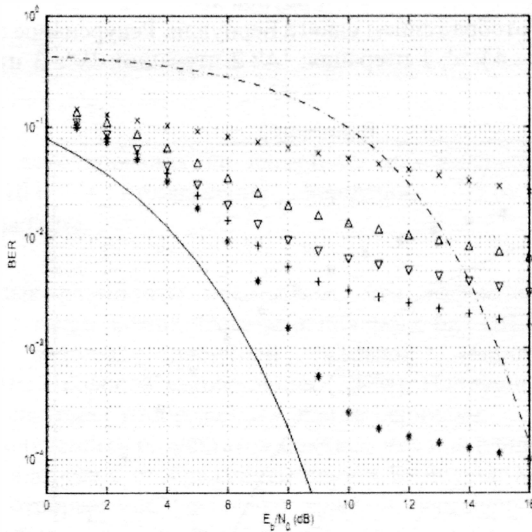


Рисунок 3.

Частота ошибочных бит (BER) для случая эвристического декодирования (отображение сдвига Бернулли) с $D=20$ бит и $M=1,2,3,4,8$ символов

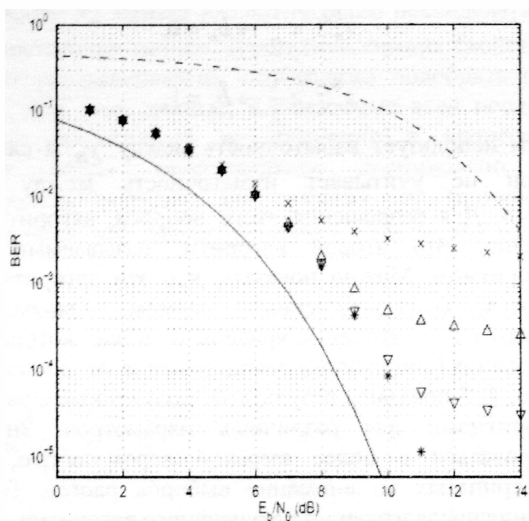


Рисунок 4.

BER для системы с отображением сдвига Бернулли. Рекурсивное эвристическое декодирование ($M = 4$) 'x': 1 итерация; 'Δ': 2 итерации; '▽': 3 итерации; '*': 7 итераций

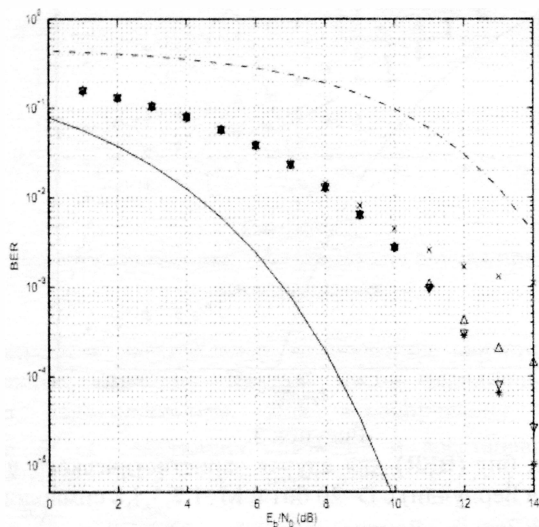


Рисунок 5.

BER для системы с перевернутым логистическим отображением. Рекурсивное эвристическое декодирование ($M = 4$) 'x': 1 итерация; 'Δ': 2 итерации; '▽': 3 итерации; '*': 7 итераций

В случае декодирования Витерби для $P=32$, $L=10$, результаты фактически совпадают с полученными в предыдущем случае с семью итерациями. Фактически, этот алгоритм близок к оптимальному с точки зрения BER для используемого типа кодирования (Рисунок 6).

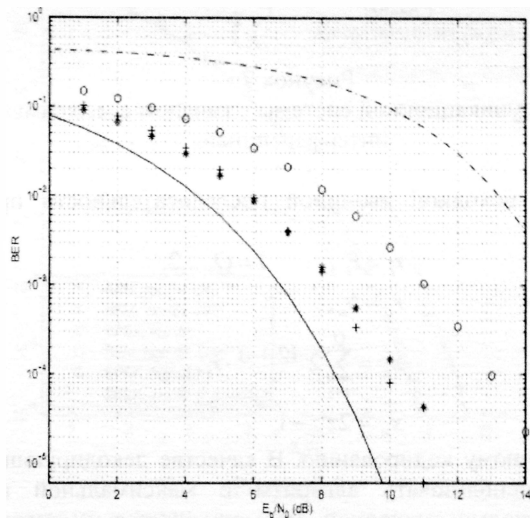


Рисунок 6.

BER в случае декодирования по алгоритму максимального правдоподобия ($p=32$, $L=10$) '+': отображение Бернулли; '*': отображение МЛО; 'o': отображение ПЛО

Полученные результаты показывают, что эффективность алгоритмов декодирования с точки зрения частоты ошибочных бит (BER) приближается к классическим методам двоичной фазовой манипуляции (ДФМ), дифференциальной кодовой манипуляции (ДКМ). Наилучшую эффективность демонстрирует система с отображением сдвига Бернулли.

Анализ полученных результатов показал, что наилучшую эффективность демонстрирует система с отображением сдвига Бернулли. Модифицированное логистическое отображение несколько хуже, а перевернутое логистическое отображение показывает наихудший результат из всех трех. Это означает, что выбор ПРВ как основы для разработки кусочно-нелинейного кодирующего отображения не самый верный. Требуется учитывать динамику отображения вне зависимости от распределения данных. Также можно сделать вывод, что для канала с аддитивным гауссовским шумом наиболее применимыми являются кусочно-линейные отображения.

В третьей главе рассматривается система с хаотической кодовой манипуляцией с каналом, в котором присутствует не только гауссовский белый шум, но и межсимвольная интерференция (ISI) (Рисунок 7).

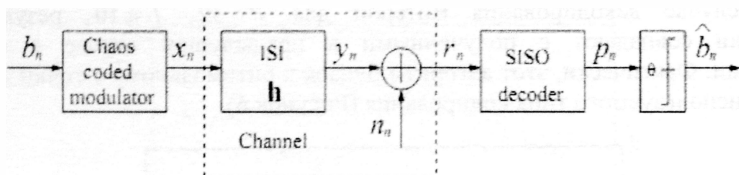


Рисунок 7.

Схема коммуникационной системы с каналом с межсимвольной интерференцией

Кодирование исходной двоичной последовательности производится в соответствии с (5)

$$\begin{aligned}
 r_i &= r_{i-1}, & i &= Q, \dots, 2, \\
 r_1 &= b_n, \\
 z_n &= \sum_{i=1}^Q 2^{-(Q+1-i)} \cdot r_i, \\
 x_n &= 2z_n - 1,
 \end{aligned} \tag{5}$$

и близко к решеточному кодированию. В качестве декодирующего алгоритма предпочтительно использовать алгоритм с максимальной апостериорной вероятностью, поскольку основной целью является уменьшение BER, а декодирование по MAP алгоритму показывает лучшие результаты. Тогда на выходе декодирующего SISO блока получим

$$P_n = \ln \frac{\sum_{s_j \xrightarrow{b_n=1} s_k} \exp(\alpha_n(s_j) + \pi(x_n, I) + \beta_n(s_k))}{\sum_{s_j \xrightarrow{b_n=0} s_k} \exp(\alpha_n(s_j) + \pi(x_n, I) + \beta_n(s_k))}, \tag{6}$$

где $\alpha_n(\cdot)$ и $\beta_n(\cdot)$ – вероятности для соответствующих состояний в момент времени n . $\pi(x_n, I) = \ln[p(r_n | x_n)]$ – логарифмическая вероятность перехода канала. Двусторонний ограничитель формирует оценку принятого бита

$$\begin{aligned}
 P_n > 0 &\Rightarrow \hat{b}_n = 1, \\
 P_n < 0 &\Rightarrow \hat{b}_n = 0.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Межсимвольная интерференция учитывается в виде линейного фильтра с конечной импульсной характеристикой, представленного набором коэффицентов $\mathbf{h} = (h_M, \dots, h_1)$.

На Рисунках 8 и 9 показаны результаты моделирования декодирования хаотической последовательности, основанной на отображении Бернулли для предлагаемой системы с хаотической манипуляцией (ССМ) и для некодированной ДФМ вместе с расчетными граничными значениями.

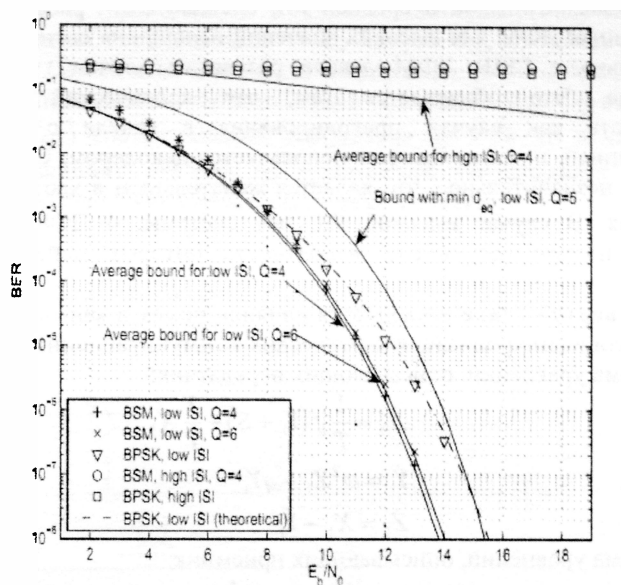


Рисунок 8.

Результаты моделирования для низких и высоких значений ISI

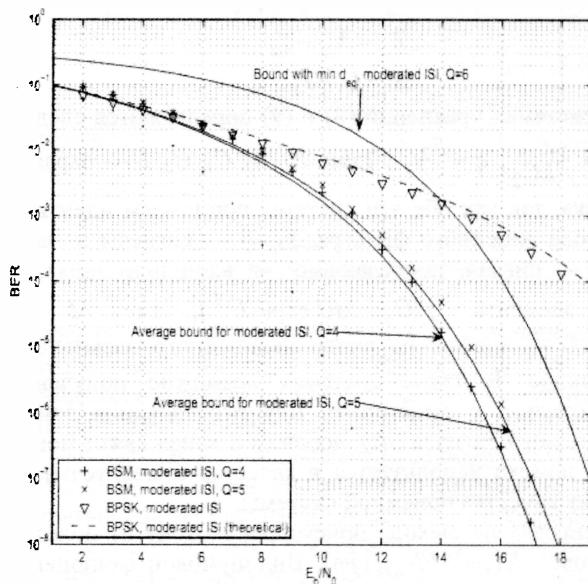


Рисунок 9.

Результаты моделирования для средних значений ISI

В случаях с низкой и средней ISI, система ССМ работает лучше, чем некодированная ДФМ для высоких значений отношения сигнал-шум, хотя для канала только с ГБШ ДФМ давала результаты лучше, чем хаотическое кодирование. Это объясняется тем, что хаотический сигнал можно рассматривать как случай прекодирования в канале с межсимвольной интерференцией, и это полностью используется декодером. С другой стороны, влияние Q незначительное, что является желательным в хаотической системе кодирования. В случае высокой ISI, обе системы, и ДФМ, и ССМ дают одинаково плохие результаты, вероятность битовых ошибок оказывается большой.

В четвертой главе исследуется влияние помех в канале на хаотическую систему связи и синхронизация хаотических коммуникационных систем.

Система уравнений, описывающих передатчик:

$$\begin{aligned}\dot{X}_1 &= \frac{1}{T} f(Y_1 + S) - \frac{1}{T} X_1 \\ \dot{Y}_1 &= \omega^2 Z_1 - q Y_1 \\ \dot{Z}_1 &= X_1 - Y_1\end{aligned}\tag{8}$$

Система уравнений, описывающих приемник:

$$\begin{aligned}\dot{X}_2 &= \frac{1}{T} f(U) - \frac{1}{T} X_2 \\ \dot{Y}_2 &= \omega^2 Z_2 - q Y_2 \\ \dot{Z}_2 &= X_2 - Y_2 \\ S' &= U - Y_2\end{aligned}\tag{9}$$

Параметры в системах уравнений (8) и (9) определяются следующим образом:

$T = R_1 C_1$, $\omega^2 = 1/LC_2$, $q = R_2/L$. Здесь R_1 , R_2 , C_1 , C_2 , L — параметры приемника или передатчика, так как обе эти системы принимаем идентичными. $X_{1,2}(t)$ — сигналы на входе линейного фильтра, $Y_{1,2}(t)$ — сигналы на выходе линейного фильтра, $U(t)$ — сигнал, поступающий на вход приемника. Характеристика нелинейного элемента $f(U) = MU \exp(-U^2)$, где M — постоянный коэффициент, U — сигнал на входе нелинейного элемента (НЭ), $f(U)$ — сигнал на выходе. В таких системах возможно получение синхронного хаотического отклика в приемнике. Для исследования влияния помехи на структуру выходного сигнала $S(t)$ добавим в канал связи монохроматическую помеху. Такая помеха используется в качестве измерительной, позволяющей провести оценку качества приемной системы.

Спектр сигнала на выходе приемника состоит из полезной компоненты $FS(j\omega)$ и шумовой $K(j\omega)\Delta FN_{2H}(j\omega)$. Вид шумовой компоненты определяется формой спектра сигнала, свойствами фильтров и характеристикой нелинейного элемента.

Моделирование проводилось в системе Simulink (Рисунок 10) при следующих значениях параметров: $M = 40$, $R_1 = 50$ Ом, $C_1 = 1$ мкФ, $R_2 = 100$ Ом, $C_2 = 100$ нФ, $L = 20$ мГн. В качестве информационного и помехового сигналов были использованы гармонические сигналы $S(t) = A_S \sin(2\pi f_S t)$ и $H(t) = A_H \sin(2\pi f_H t)$ соответственно. Амплитуда $A_S = 28$ мВ и частота $f_S = 5$ кГц информационного сигнала на протяжении эксперимента оставались неизменными, в то время как параметры помехи менялись.

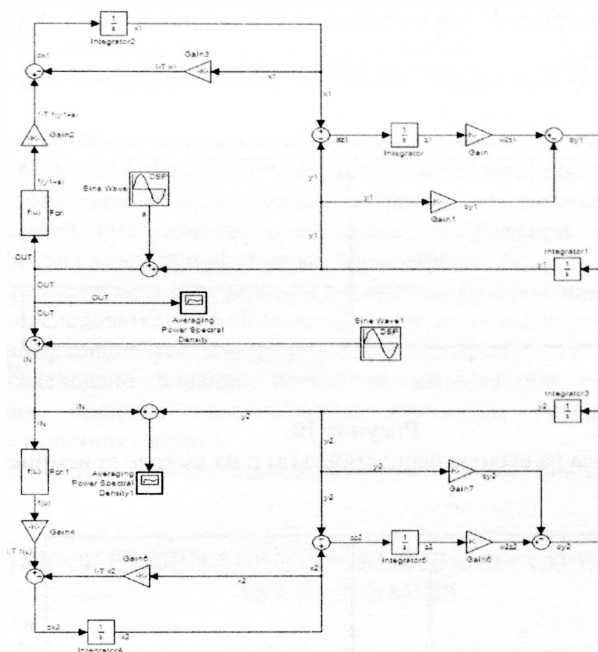


Рисунок 10.

Схема модели системы связи с нелинейным подмешиванием в Simulink

Спектры сигналов на выходе передатчика и приемника в отсутствие помехи $H(t)$ в канале связи изображены на Рисунке 10. При этом в случае синхронного хаотического отклика на выходе приемника наблюдается сигнал $S'(t)$, идентичный информационному сигналу $S(t)$. Если в канал добавить помеху $H(t)$, то на выходе приемника, появляется дополнительный хаотический спектр, сформированный из смеси хаотического сигнала и помехи, поступающих на вход приемника. На Рисунке 11 представлены спектры сигналов $S(t)$ при различных амплитудах помехи (7 и 14 мВ) с частотой $f_H = 9$ кГц. При помехе 7 мВ (рисунок 11а) отношение сигнал/шум по мощности на выходе 34 дБ, а при помехе 14 мВ (рисунок 11б) - 23дБ.

Неидентичность приемника и передатчика, связанная с разбросом параметров элементов может привести к различию в коэффициенте M

нелинейных элементов. При небольших отклонениях и наличии синхронного хаотического отклика, на выходе приемника наблюдается сигнал, идентичный информационному.

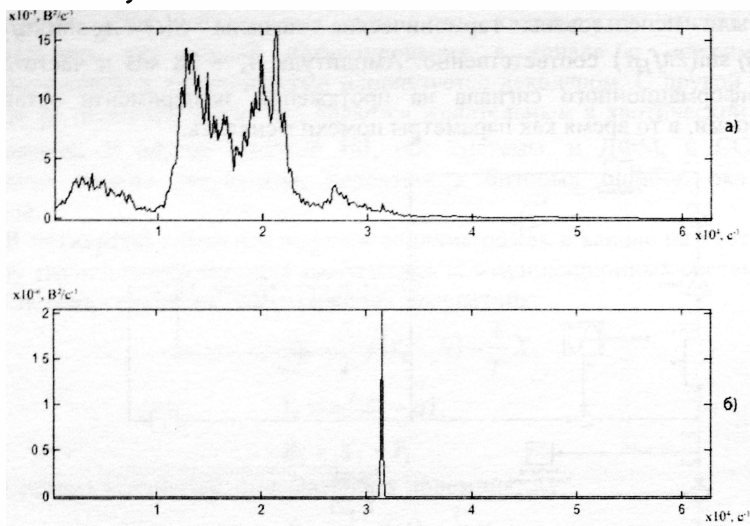


Рисунок 10.
Спектр сигнала на выходе передатчика (а) и на выходе приемника (б)

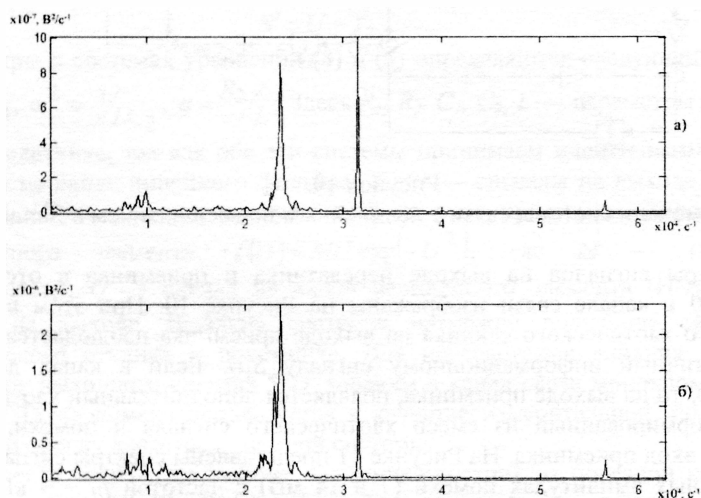


Рисунок 11.
Спектр сигнала на выходе приемника для различных амплитуд помехового сигнала: а – 7 мВ, б – 14 мВ

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе рассмотрен комплекс вопросов, связанных с разработкой и исследованием принципов и алгоритмов хаотического кодирования и декодирования информационных последовательностей, направленных на повышение эффективности цифровых систем передачи с хаотической несущей. В ходе проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. Проведено комплексное исследование генераторов хаотических колебаний с непрерывным и дискретным временем.

2. Исследованы различные варианты хаотических коммуникационных систем.

3. Предложен и исследован алгоритм синтеза кодирующего хаотического отображения для двоичной информационной последовательности.

4. Разработаны и исследованы алгоритмы декодирования информации, закодированной при помощи хаотических отображений, получены оценки эффективности систем при различных параметрах.

5. Предложены и исследованы алгоритмы кодирования и декодирования двоичных последовательностей в системе с хаотической кодовой манипуляцией при наличии в канале межсимвольной интерференции.

5. Исследовано влияние помех на хаотическую систему передачи, информации, оценены относительные параметры уровней сигнала при различных величинах шумов.

6. Исследован способ синхронизации хаотических систем на основе РФК.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные статьи, опубликованные в изданиях, определенных ВАК

1. Шахтарин Б.И., Митин С.В. Применение расширенного фильтра Калмана для синхронизации хаотических систем // Научный вестник МГТУ ГА. Серия Радиофизика и радиотехника. 2008. №133. С. 45-52. (0,85 п.л./0,7 п.л.)
2. Шахтарин Б.И., Митин С.В. Синтез дискретных хаотических отображений для кодирования двоичных последовательностей // Научный вестник МГТУ ГА. 2012. №186. С. 49-52. (0,5 п.л./0,4 п.л.)
3. Митин С.В. Кодирование двоичной последовательности с использованием дискретных хаотических отображений // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование» (МГТУ им. Н.Э.Баумана). 2012. №6. (1 п.л.)
4. Шахтарин Б.И., Митин С.В. Гармонические помехи в хаотической системе связи // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Серия Приборостроение. 2013. №3. С.90-98. (1 п.л./0,9 п.л.)

5. Митин С.В. Алгоритмы декодирования двоичной последовательности, закодированной с использованием дискретных хаотических отображений // Научно-технический журнал «Информационные системы и технологии», ГУ УНПК (Орел). 2013. №3(77). С.91-101. (1,3 п.л.)

Работы, опубликованные в других изданиях

6. Митин С.В. Применение расширенного фильтра Калмана для синхронизации хаотических систем. // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXIII. - М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова. 2008. С. 447-449. (0,25 п.л.)
7. Митин С.В., Рязанова М.А. Схема Костаса в условиях наличия активных помех и аддитивного шума. // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXIII. - М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова. 2008. С.457-459. (0,25 п.л.)
8. Митин С.В. Моделирование и расчет показателей Ляпунова для некоторых хаотических систем // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXIV. - М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова. 2009. С. 236-237. (0,23 п.л.)
9. Митин С.В. Идентификация состояния и синхронизация для несимметричного тент-отображения // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная Дню радио. Выпуск LXV. - М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова. 2010. С.438-440. (0,25 п.л.)
10. Митин С.В. Моделирование помех в хаотической системе связи // Труды 4-й Международной конференции «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP-2011). 2011. С. 71-74. (0,35 п.л.)
11. Шахтарин Б.И., Митин С.В. Дискретные хаотические отображения и кодирование двоичных последовательностей // Сборник докладов 69-ой Международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий». – М.: РНТОРЭС им. А.С.Попова. 2014. С. 324-326. (0,25 п.л.)