

Исследование возможности когерентной обработки сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов в схеме программируемого радио

Т.И. Мохсени¹, А.М. Кикот²

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
125009, г. Москва, ул. Мохова, д. 11, корп. 7, mokhseni@gmail.com

²Московский физико-технический институт (государственный университет)
141700, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9, lexak92@mail.ru

В работе рассматривается возможность использования хаотических модулей приемника и передатчика в системе связи в цифровом виде. Реализация осуществляется за счет применения концепции программируемого радио. Описывается подход к реализации схемы по передаче информации, осуществляющей когерентный прием, основанный на использовании хранимого в памяти заранее рассчитываемого эталонного фрагмента хаотического сигнала в цифровом виде. Фрагмент хаотического сигнала рассчитывается заранее и записывается в память, как приемника, так и передатчика. Информационные символы кодируются полученным эталонным сигналом, а затем излучаются в эфир. На приемнике, полученный хаотический сигнал оцифровывается и коррелирует с эталонным фрагментом хаоса, записанным в память.

The paper considers the possibility of using the chaotic modules of transmitter and receiver in communication systems in digital form. The implementation is carried out by applying the concept of software defined radio. The approach to the implementation of the communication system using the coherent detection and based on the use of pre-calculated reference fragment of chaotic signal pre-stored in the memory is described. The chaotic fragment is calculated in advance and is stored in the memory of both transmitter and receiver. The information sequence is coded by the reference chaotic fragment and is emitted into the air. At the receiver the chaotic signal is then digitized and correlates with the same reference chaotic fragment stored in the memory.

Вопросы использования динамического хаоса для передачи информации исследуются уже более 20 лет. Информацию вводят в хаотический сигнал либо путем модуляции параметров источника хаоса, либо путем модуляции хаотического сигнала информационным уже после генерации хаотического сигнала в источнике [1]. Прием потока информации может осуществляться двумя основными способами: когерентно и некогерентно. При некогерентном приеме обработка сигнала осуществляется путем его детектирования при помощи квадратичного [1] или логарифмического [2] детектора, интегрировании и сравнении с пороговой величиной, на основе чего устанавливаются значения принятых информационных символов. При когерентном приеме на приемнике должны иметься образы сигнала, соответствующие всем передаваемым символам. То есть для того, чтобы осуществить когерентный прием нужно иметь копии сигнала на приемнике и передатчике. В [1] проведены сравнительные исследования когерентного и некогерентного приема потока информации, передаваемого при помощи хаотических радиоимпульсов. Согласно этим исследованиям отношение средней энергии хаотического радиоимпульса E_{σ} к спектральной плотности гауссовского шума N_0 при вероятности ошибки $P=10^{-3}$ в случае когерентного приема может быть на 2,5-4,5 дБ меньше чем в случае некогерентного приема в интервале значений базы сигнала $10 < B < 50$, и эта разница между отношениями E_{σ}/N_0 растет с увеличением базы.

Невозможность построения идентичных хаотических систем на передающей и принимающей стороне является одной из главных проблем при построении схем связи с использованием хаотического сигнала, обеспечивающих когерентный прием. Это

связано с тем, что схемы, реализованные с помощью подобного подхода, оказываются неустойчивы к возмущающим факторам, таким как шумам и искажениям в канале связи [4]. Вопрос об «идентичности» хаотического сигнала на передатчике и приемнике может быть решен в случае цифровой реализации на передающей и принимающей стороне, т.е. фактически при программной реализации хаотического передатчика и хаотического приемника. При наличии двух копий хаотического сигнала для когерентной обработки необходимы начальные условия, момент времени прихода сигнала на приемник. Эти копии нужно синхронизовать по времени для обеспечения когерентного приема.

Если есть 2 одинаковые хаотические последовательности на приемнике и передатчике, то с помощью модуляции можно передавать информационные символы и сравнивая передаваемый сигнал с эталонным при приеме, извлекать информацию. В данной работе предлагается использовать хаотические модули приемника и передатчика в системе связи в цифровом виде, тогда используя одну и ту же модель хаотической системы, можно получить 2 полностью идентичные копии сигнала. В качестве хаотической последовательности предлагается брать не бесконечную, а некоторый фрагмент фиксированной длины. Одна из возникающих проблем заключается в том, что получить цифровую реализацию хаотического сигнала на высокой частоте довольно сложно, для этого нужно иметь процессор с огромной скоростью. Поэтому, чтобы постоянно не генерировать хаотический сигнал, можно использовать заранее рассчитанный фрагмент, записываемый в память приемника и передатчика, так как время извлечения фрагмента из памяти значительно меньше, чем время его расчета. Для простоты при передаче информационных символов будем использовать только один фрагмент хаотического сигнала, а именно сам сигнал и ему инвертированный (антиподальный), что является неким аналогом модуляции типа BPSK [5].

Для технической реализации в работе используется концепция программируемого радио [6], согласно которой базовые параметры аппаратных компонентов приёмопередающего устройства определяются именно программным обеспечением, а не аппаратной конфигурацией, как это устроено в аналоговых приёмопередающих системах. Эти аппаратные компоненты могут являться фильтрами, усилителями, модуляторами или демодуляторами. Таким образом, в соответствии с данной концепцией при реализации беспроводных схем связи, используя приёмопередающие устройства типа «программируемое радио», можно осуществлять модуляцию и демодуляцию хаотического сигнала в цифровом виде, записывая заранее подготовленную одну и ту же эталонную цифровую реализацию хаотического сигнала в память приемника и передатчика.

В данной работе рассматривается подход к реализации систем по передаче информации на основе динамического хаоса, позволяющий осуществлять когерентную обработку хаотического сигнала при приеме за счет перехода от аналоговой модуляции/демодуляции к цифровой, а также использования в качестве источника для несущего сигнала при модуляции и для опорного сигнала при демодуляции одной и той же модели динамического хаоса в цифровом виде.

В качестве эталонного фрагмента используется сверхширокополосный (СШП) хаотический радиоимпульс, так как расширение полосы передаваемого сигнала приводит к увеличению базы, а значит дает выигрыш в помехоустойчивости по сравнению с узкополосными сигналами.

Одной из целевых платформ для внедрения приложений программируемого радио являются реконфигурируемый приёмопередатчик сигналов NI 5791 с рабочим частотным диапазоном от 200 МГц до 4,4 ГГц, мгновенной полосой при генерации 100

МГц и цифровой модулятор/демодулятор сигналов основной полосы FlexRIO со встроенными ПЛИС Xilinx-5 от компании National Instruments (NI). Для реализации аппаратной части такого рода систем используются PXI Express шасси с пропускной способностью 1 ГБ/с на слот. Помимо приемопередающих модулей и модулей с ПЛИС, платформа PXI может включать в себя модули преобразования частоты, оцифровки и тд. Такая программно-конфигурируемая система на базе ПЛИС представляет собой оптимальную платформу для внедрения широкого спектра ВЧ-приложений и позволяет перенастраивать эту систему под новые требования не прибегая к изменениям в аппаратной конфигурации системы.

В качестве аппаратной платформы для реализации данного подхода выступает PXI шасси с приемопередающим модулем NI 5791 и цифровым модулятором/демодулятором NI FlexRio от NI. Генерация эталонного фрагмента СШП хаотического сигнала осуществляется с помощью модели кольцевого автогенератора с полутора степенями свободы [7], построенной в среде Matlab. Модель генератора включает фильтр нижних частот первого порядка, фильтр нижних частот второго порядка и нелинейное преобразование F [1]:

$$\begin{aligned} \beta \dot{X}_1 + X_1 &= M * F(X_2) \\ \ddot{X}_2 + \alpha \dot{X}_2 + \omega X_2 &= \omega^2 X_1, \end{aligned} \quad (1)$$

где $F(X)$ – нелинейное преобразование:

$$F(z) = M \left[|z + E_1| - |z - E_1| + \frac{1}{2} (|z - E_2| - |z + E_2|) \right]. \quad (2)$$

Эталонный фрагмент СШП хаотического сигнала рассчитывается как напряжение X_2 на выходе фильтра нижних частот второго порядка генератора с частотной полосой от 0 до 10 МГц. Выбор полосы этого сигнала происходит из соображений ограничений аппаратной части платформы, имеющегося оборудования и того минимального количества отсчетов, при которых данный фрагмент хаотического сигнала содержит в себе достаточное количество квазипериодов для расчета его спектра.

При передаче информации символы «1» или «0» заменяются фрагментом СШП хаотического сигнала, извлекаемого из памяти ПК в цифровом виде, умножаемого на +1 или -1 соответственно для получения антиподальных сигналов. После цифро-аналогового преобразования, усиления и смещения вверх по частоте сигнал излучается в эфир. На рисунке 1 приведена схема передатчика.

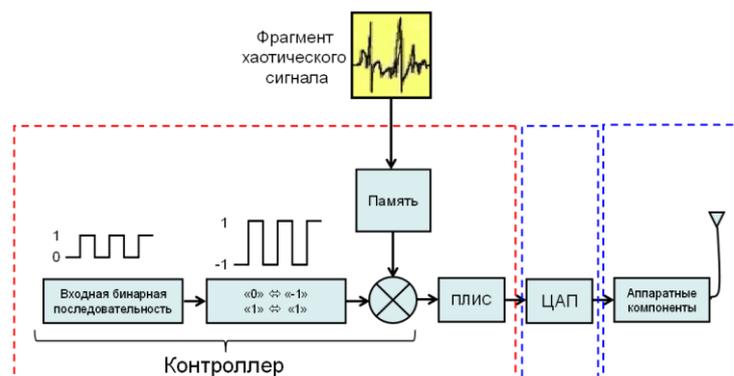


Рис. 1. Схема передатчика приемопередающей системы на основе хаотических радиоимпульсов

На приемнике полученный сигнал смещается вниз по частоте, фильтруется и оцифровывается с помощью АЦП. Полученная дискретная реализация передается на

ПК через шину PXI Express для обработки программным пакетом Labview. На ПК цифровой сигнал коррелирует с эталонным фрагментом хаотического сигнала, извлекаемым из памяти приемника. Схема приемника приведена на рисунке 2.

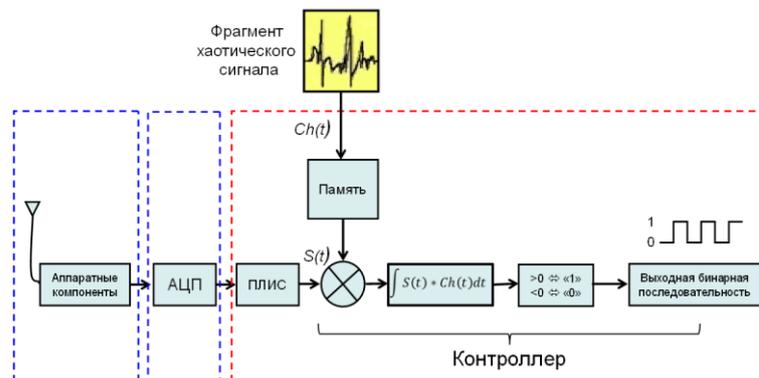


Рис. 2. Схема приемника приемопередающей системы на основе хаотических радиопульсов

Была построена модель корреляционного приема СШП хаотических сигналов, где в качестве опорной копии сигнала используется оцифрованный фрагмент СШП хаотического радиопульса, хранимого в памяти устройств. В результате моделирования принятая последовательность импульсов совпала с переданной. Данный этап моделирования прошел успешно, поэтому можно переходить к моделированию системы, более приближенной к реальной.

Данная работа выполнена при частичной поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» Министерства образования и науки РФ, Соглашение № 14.604.21.0036. Уникальный идентификатор проекта - RFMEFI60414X0036.

Литература

1. Дмитриев А.С., Захарченко К.В., Пузиков Д.Ю., "Введение в теорию прямохаотической передачи информации", Радиотехника и электроника, 2003, т. 48, №3, с. 328-338
2. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Клецов А.В., Юркин В.Ю., Мохсени Т.И. «Сверхширокополосные беспроводные сети связи на основе хаотических сигналов». Труды XIII Всероссийской научной конференции "Распространение радиоволн", Йошкар-Ола, Россия, 23-26 мая 2011 г.
3. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи // – М.: Физматлит, 2002.
4. Кузьмин Л.В. «Беспроводная передача информация на сверхширокополосной хаотической несущей» // – диссертация на соискание степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 «радиофизика», 401с., 2011.
5. Скляр Бернанд. «Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение» // – Digital Communications: Fundamentals and Applications, 2 изд., М.: «Вильямс», 1104 с., 2007.
6. Технология программируемого радио на базе PXI // – URL: <http://russia.ni.com/sites/default/files/%20NI%20для%20систем%20программируемого%20Радио.pdf>.
7. Дмитриев А.С., Панас А.И. Странные аттракторы в кольцевых автоколебательных системах с инерционными звеньями // – ЖТФ, т. 56, в. 4, с. 759-762, 1986.