

Синхронизация символов в сверхширокополосном приемнике хаотических радиопульсов

В.А. Лазарев

Московский Физико-Технический Институт (государственный университет); 141700, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, 9; dilvishya@gmail.com

В работе рассматривается задача синхронизации принимаемых символов в сверхширокополосном (СШП) хаотическом приемнике. Предлагается ее решение на основе последовательной обработки огибающей радиопульсов на выходе порогового устройства. Показано что такое решение задачи синхронизации обеспечивает высококачественный прием с вероятностью ошибки не выше $2.5 \cdot 10^{-8}$.

This report considers the problem of the received symbols synchronization in an ultrawideband (UWB) chaotic receiver. The proposed solution is based on sequential processing of the radio-pulses envelope at the threshold device output. It has been demonstrated that this solution to the synchronization problem provides high quality input with the bit error rate not exceeding $2.5 \cdot 10^{-8}$.

Введение

Работы по использованию хаоса в системах связи проводились еще в 80-годы прошлого века [1], интенсивные исследования по передаче информации с помощью хаоса стартовали в начале 90-х годов.

Возникший интерес был во многом связан с открытием явлений хаотической синхронизации [2-3] и хаотического синхронного отклика. Первые серьезные успехи были связаны с тем, что для ряда модельных схем была продемонстрирована возможность передачи цифровых и аналоговых сообщений с использованием хаотических сигналов.

В 2000 году в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН была предложена технология беспроводной прямохаотической связи [4-6]. Ключевым понятием предлагаемой технологии является понятие хаотического радиопульса. Он представляет собой фрагмент сигнала с длиной, превышающей длину квазипериода хаотических колебаний. Полоса частот хаотического радиопульса определяется полосой частоты исходного хаотического сигнала, генерируемого источником хаоса, в широких пределах изменения длины импульса не зависит от его длительности. Это существенно отличает хаотический радиопульс от классического, заполненного фрагментом периодической несущей, полоса частот которого определяется его длиной. В основу прямохаотических схем связи заложены три базовые идеи:

- источник хаоса генерирует хаотические колебания непосредственно в заданной полосе СВЧ-диапазона;
- ввод информационного сигнала в хаотический осуществляется путем формирования соответствующего потока хаотических радиопульсов;
- извлечение информации производится из СВЧ-хаотического сигнала без промежуточного преобразования частоты.

На основе данной технологии был разработан и создан ряд беспроводных прямохаотических СШП приемопередатчиков для различных областей применения. Одной из главных проблем при передаче информации является синхронизация принимаемых данных с приемником. В данной работе представлен способ решения этой проблемы основанный на последовательной обработке огибающей радиопульсов.

Последовательная синхронизация

В 2005 году в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН был создан прямохаотический СШП приемопередатчик ППС-40. Он состоит из цифровой и аналоговой части. Цифровая часть включает в себя микроконтроллер, программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС [7]), а аналоговая – модулятор, генератор хаоса, приемник и антенну. В качестве микроконтроллера используется Atmega 168, работающий на частоте 10 МГц, а в качестве ПЛИС EPМ240 семейства МАХ2 фирмы Altera, работающий на частоте 40 МГц (рис. 1).

Данные представляют собой символы [8], которые передаются с помощью хаотического сигнала в качестве несущего. Наличие хаотического радиоимпульса соответствует передаче единицы, а отсутствие – передаче нуля (рис. 2).

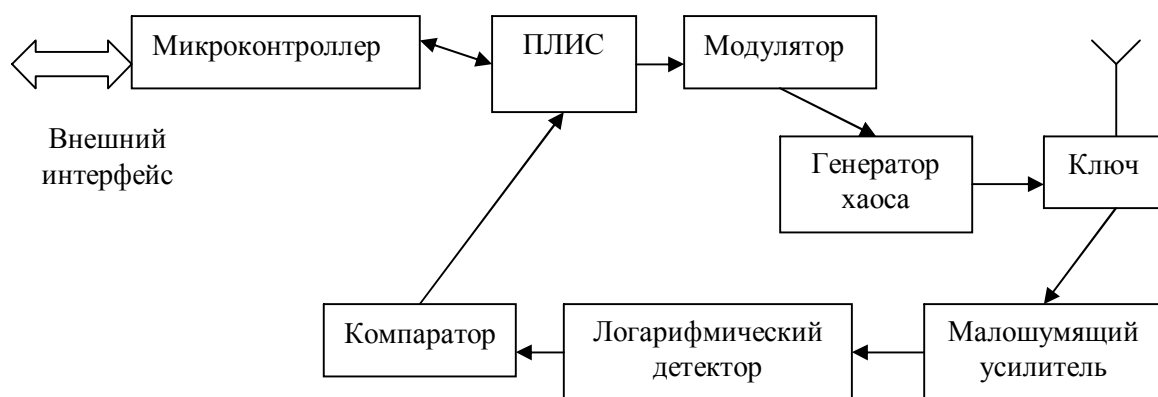


Рис. 1. Блок-схема приемопередатчика

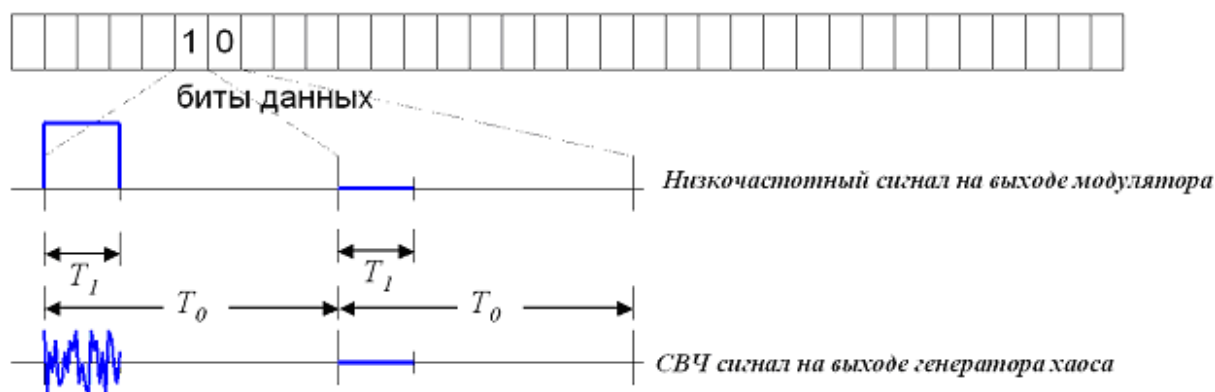


Рис. 2. Принцип модуляции T_0 – длительность символа, T_1 – длительность импульса

В эфир посылаются сразу несколько байт данных (пакет данных). Сам пакет данных собирается в микроконтроллере и отправляется в ПЛИС. Там задается скважность, после чего информация посылается на модулятор, генератор хаоса и антенну. Пакет содержит в себе преамбулу синхронизации, версию пакета, размер, адрес отправителя, адрес получателя, данные и контрольную сумму (рис. 3).

В приемнике хаотические радиоимпульсы ловятся антенной и поступают последовательно на малошумящий усилитель, логарифмический детектор и компаратор. После компаратора сигналы поступают на вход ПЛИС, где происходит демодуляция и синхронизация (рис. 4). После синхронизации демодулированные сигналы поступают в блок памяти First In – First Out (FIFO), а затем в микроконтроллер.

Формат пакета данных

Преамбула	Байт управления	Размер пакета	Байты данных	Два байта контрольной суммы
-----------	-----------------	---------------	--------------	-----------------------------

Формат преамбулы

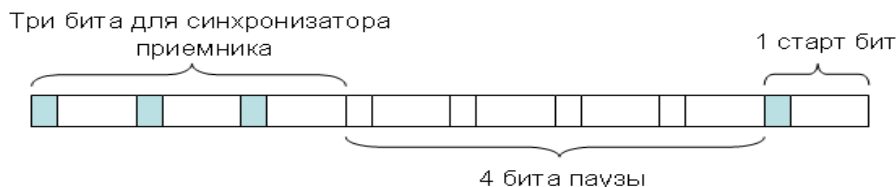


Рис. 3. Формат пакета данных и преамбулы

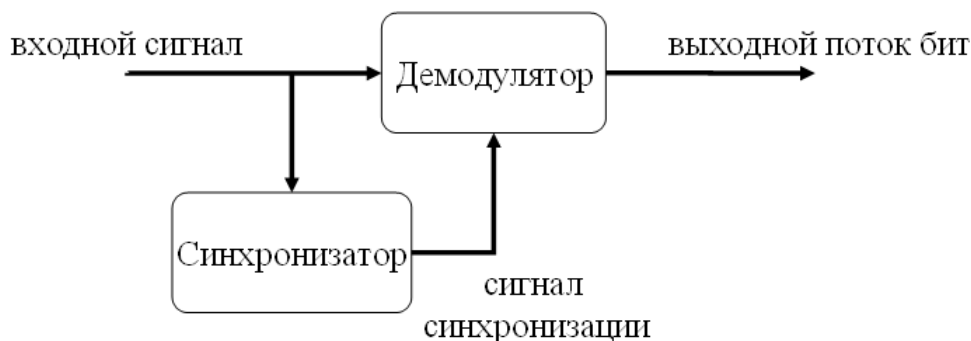


Рис. 4. Структура приемника ПЛИС

Предложенный алгоритм синхронизации основан на последовательном анализе огибающей радиоимпульсов и предполагает, что изначально приемное устройство не синхронизовано с передающим. Поэтому при приеме данных из эфира необходимо осуществить синхронизацию входящего пакета данных по преамбуле.

Процесс вхождения в синхронизацию состоит из выделения преамбулы и побитовой синхронизации. Принимаемый из эфира сигнал, идущий с компаратора, поступает на демодулятор. Затем демодулированный сигнал сравнивается с копией преамбулы синхронизации (рис. 5). Сравнение происходит только по первым 3 символам преамбулы синхронизации. Если пришедший сигнал совпадает с копией, то на выходе появляется сигнал синхронизации. В противном случае система возвращается в исходное состояние.

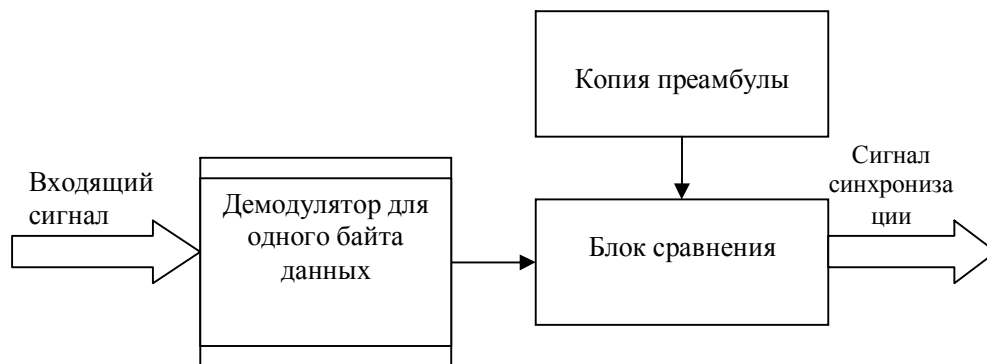


Рис. 5. Блок-схема синхронизатора

Демодулятор представляет собой набор из последовательно соединенных D-триггеров. Все они срабатывают синхронно, по приходящему фронту внутреннего тактового генератора и анализируют огибающую входящего сигнала (рис. 6). На каждый отсчет тактового генератора первый триггер делает семплирование входящего сигнала, и на выходе выставляет результат, который передается на следующий триггер. После снятия всех отсчетов, приходящихся на один символ, результаты поступают на сумматор, который в свою очередь делает вывод, пришла единица или нуль. Для достоверного определения значения символа нужно не менее 8 отсчетов на символ.

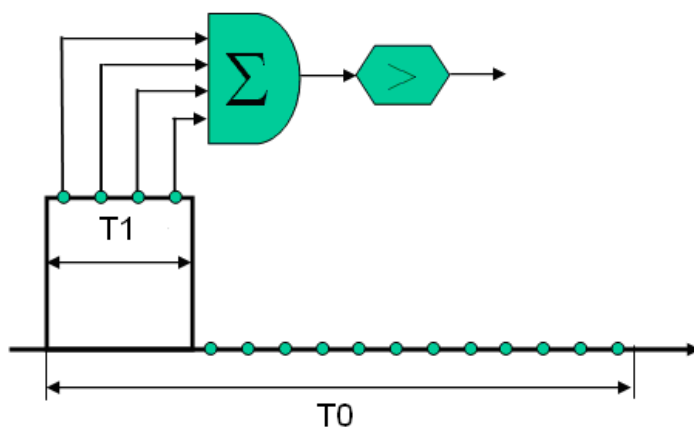


Рис. 6. Принцип работы демодулятора, T_0 – импульс и защитный интервал, T_1 – импульс

В ППС-40 для импульсов длительностью 100 нс и защитного интервала между ними 300 нс приходится 16 отсчетов тактового генератора. Однако демодулятором обрабатываются не все отсчеты, а только та часть, что приходится на импульс. При тестировании в хаотическом приемопередатчике такая система показала вероятность ошибки на бит 10^{-3} . Этого достаточно для передачи информации в сенсорных сетях, но если речь идет о передаче большого объема информации обеспечиваемое качество связи уже становится не достаточно.

Проведенный анализ показал, что ошибки возникают в результате не всегда корректной как синхронизации по преамбуле, так и символьной синхронизации. В качестве решения был предложен метод, который использует для синхронизации всей преамбулы, а не ее части. Для этого копия всех символов преамбулы была записана в память ПЛИС. Это позволит улучшить качество связи благодаря тому, что должно резко сократиться число ложных срабатываний. Так как предполагается посылка пакета данных до нескольких десятков байт, то велика вероятность встречи копии первых 3 бит преамбулы в середине, например, пакета. Поэтому если приемопередатчик по какой-либо причине не смог синхронизоваться в нужный момент времени он может это сделать спустя несколько символов или байт. Все это неизбежно приводит к ошибкам при приеме. Если синхронизация будет происходить сразу по всей преамбуле, то вероятность ложного срабатывания сократится. Был проведен ряд испытаний, который показал, что вероятность ошибки на бит составляет 10^{-4} - 10^{-5} .

Дальнейший анализ показал, что по прежнему символьная синхронизация (демодуляция) работает не всегда корректно и качество связи и синхронизацию можно улучшить путем изменения алгоритма работы демодулятора. Раньше обрабатывался только импульс, а защитный интервал в расчет не брался. Это приводило к некорректной обработки входящих импульсов. Поэтому был предложен алгоритм,

который обрабатывает еще и защитный интервал. Таким образом, при смещении бит внутри одного пакета относительно внутреннего тактового генератора вероятность некорректной обработки входящих радиоимпульсов должно сократиться. Испытания показали, что вследствие этих 2 модернизаций произошло улучшение качества передачи данных до 10^{-5} - 10^{-6} вероятности ошибки на бит.

Проведенный анализ работы алгоритма показал, что хотя вероятность ошибок сократилась символьная синхронизация и синхронизация по преамбуле по прежнему не всегда работают корректно. Поэтому в качестве решения выдвинуто предположение, что дублирование модулей синхронизации и демодуляции поможет избавиться от этой проблемы. В этом случае при ошибках и одном из модулей второй такой же элемент должен дать правильный результат. Таким образом, если по каким то причинам первый блок синхронизации по преамбуле не сработал, то второй должен это сделать.

Все эти доработки существенно повысили качество беспроводной связи приемопередатчиков. Измерения с помощью программы BERTEST показали, что вероятность ошибки на бит не выше $2.5 \cdot 10^{-8}$.

Выводы

В данной работе реализован алгоритм последовательной обработки огибающей импульсов используемый в СШП сенсорных сетях и предложен его вариант, существенно снижающий вероятность ошибки на принимаемый символ (с 10^{-4} до $2.5 \cdot 10^{-8}$).

Литература

1. Дмитриев А.С., Кислов В.Я., Панас А.И и др. Система связи с шумовой несущей: А.с.279024 СССР, 1985.
2. Fujisaka H., Yamada T. //Prog.Theor.Phys.1983.V.69.P.32.
3. Афраимович В.С., Веричев Н.И., Рабинович М.И. // Изв. вузов. Сер. Радиофизика. 1986. Т. 29. № 9. С. 1050.
4. Дмитриев А.С., Панас А.И., Старков С.О. и др способ передачи информации с помощью хаотических сигналов: Пат. РФ №2185032. 27.07.2000.
5. Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Максимов Н.А. и др.//Радиотехника. 2000.№3..9.
6. Дмитриев А.С., Кинев А.В., Клецов А.В. и др. Дистанционное управление мобильными объектами с помощью сверхширокополосных хаотических ВЧ сигналов:Препринт №1 (639).М.:ИРЭ РАН,2005.
7. Williams J.M. Digital VLSI Design with Verilog, Silicon Valley Technical Institute, 2008
8. Бернанд Скляр Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение = Digital Communications: Fundamentals and Applications. — 2 изд.. — М.: «Вильямс», 2007.