

УДК 621.391.833.64

Алгоритм кадровой синхронизации RAKE-приемника

Цель работы, результаты которой представлены в рамках статьи, заключается в разработке и моделировании алгоритма кадровой синхронизации для RAKE-приемника. Для достижения поставленной цели был реализован алгоритм кадровой синхронизации [1] в среде разработки Matlab Simulink, базирующемся на элементах rake-приемника. В результате моделирования определены необходимые параметры применения алгоритма для оптимального функционирования RAKE-приемника в условиях многолучевого распространения сигналов. Предлагаемый алгоритм, при использовании в RAKE-приемнике, обеспечивает достаточную точность кадровой синхронизации при минимальных вычислительных затратах системы.

А. Л. МАТЮШКОВ,кандидат технических наук доцент
кафедры информационных
радиотехнологий БГУИР**И. Н. ЖУК,**аспирант кафедры информационных
радиотехнологий БГУИР**Ключевые слова:***RAKE-приемник, кадровая синхронизация, MRC RAKE-приемник, CDMA, система связи.*

Введение. При проектировании современных систем связи с множественным доступом (технологии TDMA, CDMA) требуется высокий уровень синхронизации между информационными блоками (кадрами), содержащими известное количество символов, который называется кадровой синхронизацией. Кадры – пакеты информации, на которые разбивается передаваемое сообщение. Для идентификации принимаемой информации, приемник должен иметь синхронизацию с общей структурой передаваемого информационного сообщения, верно определять временное положение границ между пользователями канала, это нужно для обеспечения верной маршрутизации принимаемой информации. Так же как и в символьной синхронизации, кадровая обеспечивает возможность генерации синхронизированной кодовой последовательности сигнала на скорости передачи информации кадров с нулевыми переходами, совпадающими с переходами от одного кадра к другому.

Цель настоящей работы – предложить метод, позволяющий реализовать механизм кадровой синхронизации на базе rake-приемника, с минимальными аппаратными и вычислительными затратами.

Основная часть. В данной статье рассмотрен случай работы рассматриваемого метода на кодовой последовательности Баркера и согласованного фильтра, настроенного на эту последовательность. В качестве модуляции была использована QPSK модуляция. В качестве рабочей модели rake-приемника была выбрана схема [2] с 7-ю каналами задержанными относительно друг друга на Δt , по типу finger allocation WCDMA приемника, скорость передачи данных, для исследуемой модели, равна 1 Мбит/с. Схема модели канала связи представлена на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что модель состоит из передатчика (TX), канала связи с многолучевым распространением и предустановленными параметрами SNR, равным 8dB, и исследуемого RAKE-приемника. Модель приемника была собрана согласно схемы WCDMA из статьи [2], с использованием MRC. Модель приемника состоит из: ADC – аналого-цифровой преобразователь; matched FIR – согласованный фильтр, в исследуемой модели использовался raised-cosine filter с коэффициентом $\alpha = 0.5$; rake finger bank – набор весовых блоков, выполняющих операции дескремблирования и свертки; finger allocation delay estimation – блок который выявляет многолучевые пики канала и дает синхронизацию и распределение рассчитанных пиков для элементов rake finger bank; MRC combiner – комбинирует символы полученные из rake finger bank. Как видно из рис. 1, алгоритм кадровой синхронизации – это надстройка над самим приемником, использующая отстроенных по времени n -линий данных, взятых из ячеек rake finger bank.

Принцип работы алгоритма кадровой синхронизации сводится к поиску момента начала кадра информации. Для этого нужно однозначно детектировать сообщение из потока информации. Чтобы это осуществить в исследуемой модели используется код Баркера длиной 7 и линии задержки, из rake finger bank, с величиной задержки Δt , равной длине символа используемого кода; frame synchronization – блок кадровой синхронизации, который определяет момент времени начала сигнала и подстраивает весовые коэффициенты MRC combiner в соответствии результатов расчета положения сигнала во времени. Для наглядности работы алгоритма кадровой синхронизации в модели использовалось 7 линий. Алгоритм

кадровой синхронизации представляет собой временное окно, динамически подстраивающееся под начало требуемого кадра, по заранее известной последовательности. Ширина окна выбирается в зависимости от требований к алгоритму: быстрый поиск – широкое временное окно (требует увеличенное количество ресурсов, не может быть больше количества элементов rake finger bank); точный поиск – уменьшение τ без увеличения временного окна (требуются большее количество элементов сравнения, количество которых подбирается в соответствии требуемой задачи), хорошо подходит при коэффициентах формирующего и согласованного фильтров меньше 0.5. Матрица задержек временного окна, для исследуемой модели, будет иметь следующий вид: $[-3\tau -2\tau -1\tau 0\tau 1\tau 2\tau 3\tau]$, где отрицательные коэффициенты соответствуют задержке сигнала с выхода опорного генератора кода последовательности Баркера длиной 7, а положительные коэффициенты соответствуют задержке принимаемого сигнала, относительно опорного генератора кода Баркера, τ равно длительности бита кода Баркера. Код Баркера используется в качестве Byte stuffing [3] (сигнала синхронизации). Схематически, принцип работы алгоритма продемонстрирован на рис. 2.

Как видно из рис. 2, весь алгоритм основан на 4-х шагах: 1 – поиск сигнала; 2 – определение положения временного окна относительно сигнала; 3 – подстройка положения окна к временному положению сигнала; 4 – расчет весовых коэффициентов для MRC combiner. Поиск сигнала реализуется на finger allocation delay estimation и не требует дополнительных вычислительных ресурсов, так как его функция заключается в поиске пиков автокорреляционной функции сигнала в пространстве; определение положения и подстройка временного окна реализуется путем сопоставления результатов сравнения сигналов с элементами rake finger bank с кодом Баркера (для большого временного окна или более точного расчета этот шаг может быть повторен несколько раз, до достижения требуемой точности подстройки, влияет на скорость работы алгоритма); расчет весовых коэффициентов происходит путем усреднения результатов 3-го шага.

На рис. 3 «а» изображен сигнал на выходе опорного генератора кода Баркера, который и сравнивается с сигналами в двух крайних положениях матрицы задержки: на рис. 3 «б» – сигнал опережает код опорного сигнала на 3 такта; на рис. 3 «в» – сигнал задержан относительно опорного на 3 такта.

Результат работы третьего и четвертого шага алгоритма продемонстрирован на рис. 4.

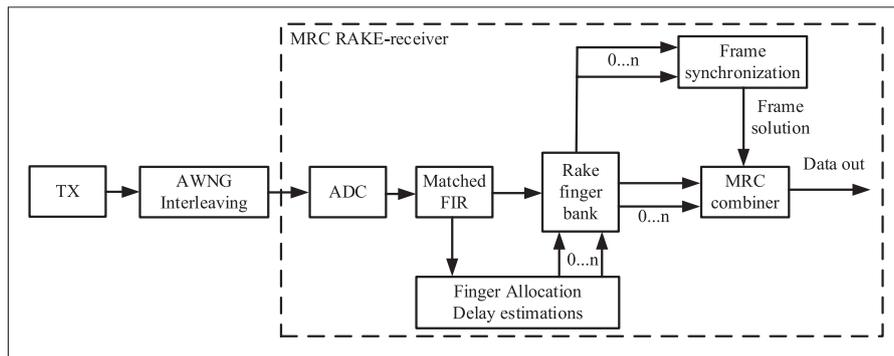


Рисунок 1 – Схема модели канала связи

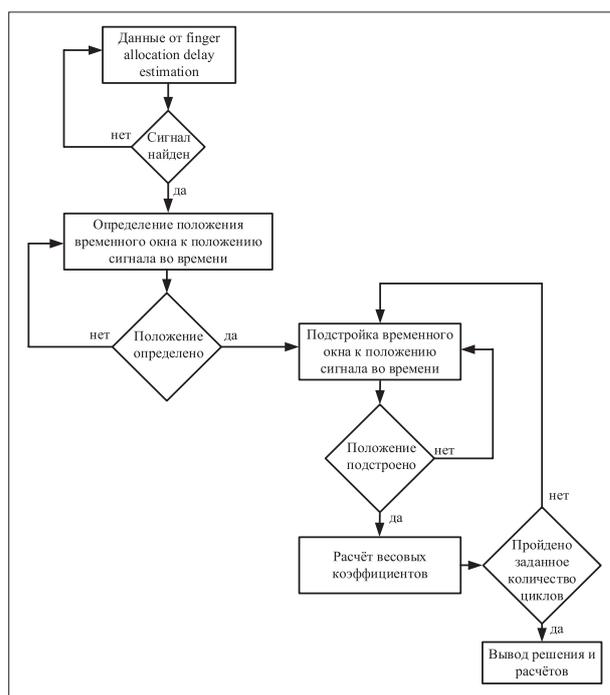


Рисунок 2 – Принцип действия алгоритма кадровой синхронизации

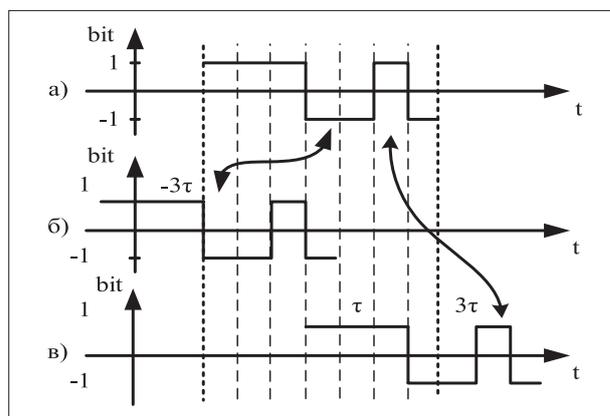


Рисунок 3 – Определение положения временного окна относительно сигнала

На рис. 4 «а» представлен результат работы алгоритма при прохождении одного цикла: шаг 3 + шаг 4. Штриховой линией указаны границы временного окна, для семи различных отстроек сигнала.

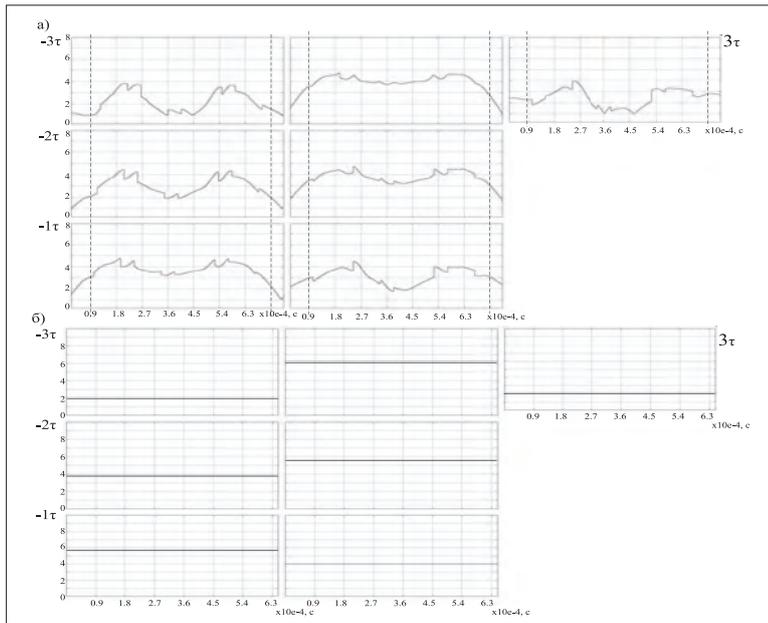


Рисунок 4 – Результат работы третьего и четвертого шага алгоритма

Как видно из рисунка, результат работы алгоритма в целом верен, но результат расчета весовых коэффициентов имеет погрешности. На рис. 4«б» представлен результат работы алгоритма при прохождении 100 циклов: шаг 3 + шаг 4. Как видно из рисунка, результат расчета весовых коэффициентов имеет точные значения. Такое количество циклов избыточно и не практично, так как замедляет принятие решения в 100 раз, из-за чего принимаемая информация устаревает.

Вывод. Исходя из результатов моделирования представленного алгоритма получаем, что выбор параметров для поиска момента начала кадра информации сводится к выбору ширины временного окна и длины шага оценки. Полученный алгоритм менее аппаратно затратный чем методы из статьи [4], так как используется только одна приемная антенна, но более медленный и менее точный.

ЛИТЕРАТУРА

1. **М. Sakr, A.M. Sallam, M.A.** Frame Synchronization in Digital Communication System. Quest Journals: Abdrabou Journal of Software Engineering and Simulation; 2017, ISSN:2321-3795.
2. **Tommi Heikkilä.** RAKE Receiver. Postgraduate Course in Radio Communications. 2004, S-72.333
3. **М. Probst, L. Triefloff.** Bit and Frame Synchronization. Hasso-Plattner Institute: Software System Engineering; 2004; страница 30.
- 4 **Туздуков В. П.** Два подхода к совместному обнаружению сигналов при наличии замираний в канале связи. Доклады БГУИР. 2021; 19(1): 11-20.

The goal of the work, the results of which has presented in the article, is development and modeling a frame synchronization algorithm for a RAKE receiver. To achieve this goal, the frame synchronization algorithm [1] has implemented in the Matlab Simulink IDE, based on the elements of the rake receiver. There were the necessary parameters for optimal working of researched algorithm detected in a result of the simulation. Researched algorithm, if has used for RAKE-receiver, can provide enough accuracy of frame synchronization, has used minimum calculating resource of system.

Keywords: RAKE receiver, frame synchronization, MRC RAKE receiver, CDMA, communication system.

Минимальные характеристики: ширина временного окна равна длительности символа кода Баркера, размер шага оценки обратно пропорциональна частоте дискретизации сигнала, для данных характеристик в исследуемой модели ширина временного окна равна 0,988 мс, частота дискретизации 8,192 МГц т.е размер шага оценки равен 0,122 мкс. Оптимальные параметры: ширина временного окна равна длительности всей последовательности кода Баркера, размер шага оценки равна длительности символа кода Баркера, для данных характеристик в исследуемой модели ширина временного окна равна 7,81 мс, размер шага оценки 0,988 мс. Параметры алгоритма для наиболее точного расчета весовых коэффициентов: ширина временного окна равна длительности всей последовательности

кода Баркера, размер шага оценки обратно пропорциональна частоте дискретизации сигнала, для данных характеристик в исследуемой модели ширина временного окна равна 7,81 мс, частота дискретизации 8,192 МГц, т. е размер шага оценки равен 0,122 мкс.

Перечень принятых обозначений и сокращений

- IDE – integrated development environment;
- CDMA – code division multiple access;
- TDMA – time division multiple access;
- WCDMA – wideband code division multiple access;
- QPSK – quadrature phase-shift keying;
- SNR – signal-to-noise ratio;
- A/D – analog-to-digital converter;
- FIR – finite impulse response;
- MRC – maximal-ratio combining.