

УДК 621.391

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ РАДИОСИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОДАНЫХ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

И.И. ЗАБЕНЬКОВ, М.И. АПАНАСОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 27 сентября 2011

Предлагается один из вариантов построения цифровой радиосистемы передачи видеоданных с беспилотного летательного аппарата. Проводится ее компьютерное моделирование, на основе которого предлагается техническое задание по основным параметрам на цифровую радиосистему передачи видеоданных с беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: цифровая радиосистема, моделирование, OFDM-сигнал, помехоустойчивое кодирование.

Введение

Основными проблемами скоростной передачи информации с борта беспилотного летательного аппарата (БПЛА) являются проблемы многолучевого распространения радиосигнала и помехоустойчивость. Для решения этих проблем в современных беспроводных цифровых системах скоростной помехоустойчивой передачи данных применяется метод OFDM-модуляции [1] (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональное частотное разделение с мультиплексированием). Он основан на разделении потока входных данных на множество параллельных потоков, каждый из которых передается на своей поднесущей (ортогональной) частоте. Это обеспечивает высокие скорость и помехоустойчивость передачи информации, в частности, по отношению к провалам в частотных характеристиках каналов, так как узкополосное затухание может исключить только одну или несколько несущих частот из их большого числа (сотни – тысячи). Поскольку модуляция OFDM использует для передачи ортогональные несущие колебания, то демодуляция принятых сигналов возможна даже в условиях частичного перекрытия полос отдельных несущих.

Для устранения межсимвольной интерференции в технологии OFDM используется защитный интервал, представляющий собой часть символа, копируемую в начало символа. Наличие защитного интервала создает временные паузы между отдельными символами, и если его длительность превышает максимальное время задержки сигнала в результате многолучевого распространения, то межсимвольной интерференции не возникает.

Для повышения достоверности передачи данных применяется помехоустойчивое кодирование, превращающее модуляцию OFDM в модуляцию COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Основные методы помехоустойчивого кодирования, применяемые в технологии OFDM на сегодняшний день: код Рида-Соломона, сверточное кодирование, турбокоды, LDPC-кодирование (Low-Density Parity-check Code – код с малой плотностью проверок на четность). В нынешних условиях развития микропроцессорной техники последний метод обеспечивает наилучшие характеристики при приемлемых вычислительных затратах, в связи с чем постепенно вытесняет остальные методы.

Основные характеристики таких цифровых систем передачи данных: частотный диапазон, ширина канала связи, общее число поднесущих в одном символе, число поднесущих, отведенных под полезную информацию, метод модуляции поднесущих, длительность полезного

символа, длительность защитного интервала, метод помехоустойчивого кодирования и его скорость, вероятность ошибки на бит (BER – bit error rate), физическая скорость передачи данных, информационная скорость передачи данных.

Цель работы: исследование зависимости вероятности ошибки на бит (BER) на выходе приемника от отношения E_s/N_0 (отношение сигнал-шум, приведенное к полосе частот и скорости передачи) при различных параметрах системы: метода модуляции поднесущих и его параметров, типа и скорости помехоустойчивого кодирования и их комбинаций.

Функциональная схема системы

Для сравнения возьмем четыре вида манипуляции: 2CPFSK, 4CPFSK, BPSK, QPSK. Исключение из рассмотрения манипуляций высокого порядка и комбинированных видов обосновано двумя основными причинами: во-первых – меньшая помехозащищенность, во-вторых – необходимая скорость передачи достигается выбором числа поднесущих.

В качестве помехоустойчивого рассмотрим LDPC-кодирование как наиболее перспективный вид, с дополнительным перемежителем бит и без него.

Один из возможных вариантов функциональной схемы цифрового приемопередающего тракта изображен на рис. 1.

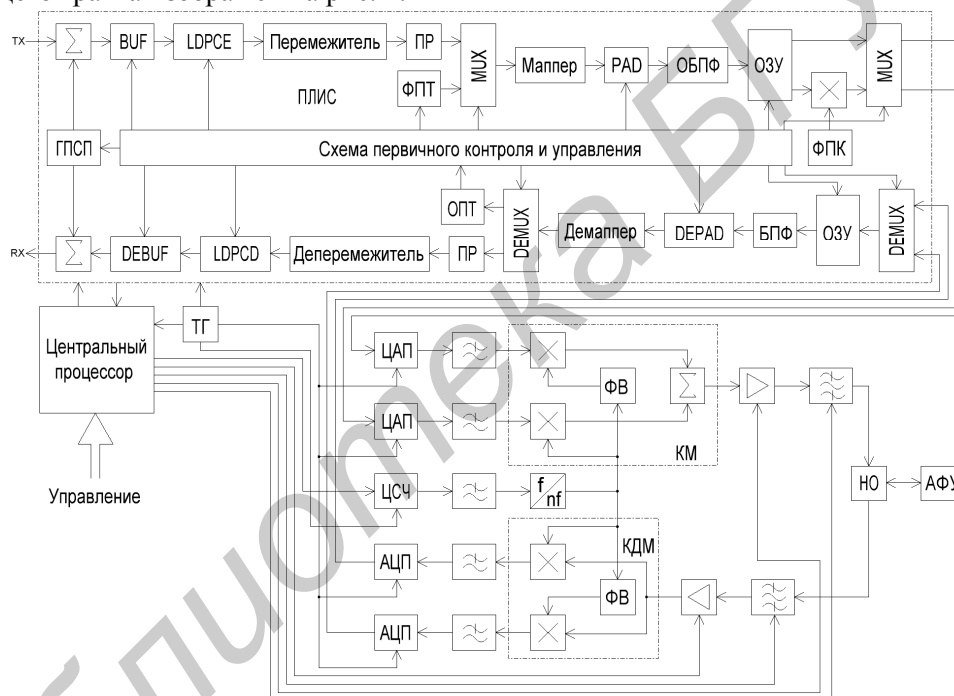


Рис. 1. Функциональная схема системы передачи данных

За основу для построения функциональной схемы взяты стандарты DVB-T2 [2].

Большая часть процесса обработки сигнала осуществляется на базе ПЛИС – программируемой логической интегральной схемы. Работой всей системы связи управляет центральный процессор. Он управляет ПЛИС, цифровым синтезатором частот (ЦСЧ), усилителями и согласующе-разделительными фильтрами передатчика и приемника. Работа всех ключевых блоков синхронизирована тактовым генератором (ТГ), генерирующим тактовые импульсы соответствующих частот.

На генераторе псевдослучайной последовательности (ГПСЧ) и двух сумматорах по модулю два реализован скремблер и дескремблер.

После скремблирования входной поток данных поступает на управляемый буфер (BUF), задающий длину информационного слова для низкоплотного кодера (LDPC). Скорость кодирования, а, следовательно, и исправляющая способность кода задается центральным процессором.

Закодированные данные после перемежителя поступают на преобразователь разрядности (ПР), необходимый для нормальной работы маппера (модулятор поднесущих), а после на

мультиплексор (MUX), смешивающий основной поток информации с потоком от формирователя пилот-тонов (ФПТ).

Промодулированные данные распределяются по поднесущим при помощи блока PAD.

Блок обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ) переносит сформированный комплексный OFDM-символ из частотной области во временную. После этого символ дополняется защитными временными интервалами с фронтами, сформированными по функции приподнятого косинуса при помощи блока оперативной памяти (ОЗУ), блока, содержащего функцию приподнятого косинуса (ФПК), перемножителя и мультиплексора, объединяющего части OFDM-символа и разделяющего потоки синфазной и квадратурной составляющих.

Аналоговая обработка может быть реализована по типовой схеме с применением квадратурной модуляции и демодуляции.

Принятый сигнал после первичной обработки оцифровывается и подвергается цифровой обработке в ПЛИС.

Через демультиплексор (DEMUX) происходит запись разделенных квадратурной и синфазной составляющих последовательно в оперативную память. Данные из ОЗУ считываются выборочно, тем самым удаляются защитные временные интервалы. Блок быстрого преобразования Фурье (БПФ) переносит OFDM-символ из временной области в частотную.

При помощи блока DEPAD восстанавливается исходная последовательность модулированных данных из поднесущих. Эти данные последовательно поступают на демалппер (демодулятор поднесущих). После этого общий поток разделяется на информационный и служебный – пилот-тоны.

Информационный поток после преобразователя разрядности, деперемежителя, низкоплотного декодирования и дескремблера поступает на выход RX.

Моделирование системы

Моделирование и получение числовых характеристик производилось при помощи пакета программ MATLAB, в частности в программе Simulink. Модель системы изображена на рис. 2.

Данная модель является упрощенной, поскольку некоторые блоки моделировать было затруднительно или нецелесообразно. Из моделирования исключены: скремблер; блоки, касающиеся формирования и удаления защитного временного интервала; блоки квадратурной модуляции и демодуляции с переносом на несущую частоту; вставка и обработка пилот-тонов. Модель содержит дополнительные служебные блоки, необходимые для задания параметров тех или иных основных блоков, их корректной работы.

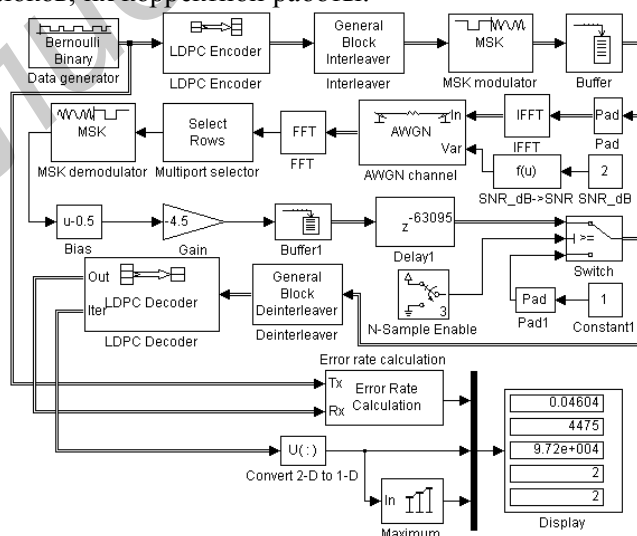


Рис. 2. Модель системы передачи данных

Входные бинарные данные формируются блоком генератора Бернулли. В модели используется готовый низкоплотный кодер и декодер из базы блоков программы. Данный кодер имеет длину выходного кодового слова 648000 бит, длина входного слова зависит от

скорости кодирования, которой предусмотрено несколько вариантов. Алгоритм работы кодера и декодера соответствует описанному в стандарте DVB-S2 [3]. Число итераций ограничено и задано равным двум (можно и больше, но с ростом числа итераций растет время декодирования и моделирования). Переमेжитель и деперемежитель работают по алгоритму, описанному в [3], но возможны и другие варианты. Блок AWGN симулирует шумы в канале связи. Число поднесущих для моделирования выбрано равным 2048 (2к режим в стандарте DVB-T2).

На рис. 3,а изображены характеристики для случая без помехоустойчивого кодирования; на рис. 3,б – с помехоустойчивым кодированием на основе низкоплотного кода со скоростью 1/2 и перемежения, соответствующего алгоритму, описанному в [3]; на рис. 3,в – для случая BPSK модуляции и разных скоростей кодирования. На рис. 3,г – для различных вариантов перемежения с BPSK-модуляцией и скоростью 9/10, где I1 – без перемежения, I2 – с перемежением по алгоритму, описанному в [3], I3 – с перемежением по матрице 6480×10 (запись идет вдоль столбцов сверху вниз и слева направо, а чтение вдоль строк слева направо и сверху вниз), I4 – с перемежением по матрице 648×100.

Как видно из графиков на рис. 3,а,б наилучшей помехоустойчивостью из рассмотренных обладают модуляции BPSK и 4CPFSK. Из графиков на рис. 3,в следует, что при скоростях кодирования более 2/3 помехоустойчивость практически не зависит от скорости кодирования. А из графиков на рис. 3,г – что применение перемежения бит мало влияет на помехоустойчивость системы в случае равномерного шума. Но исключать перемежение бит не стоит, поскольку оно будет эффективно при борьбе с пакетами ошибок, а также используется для выравнивания энергетики спектра OFDM-сигнала.

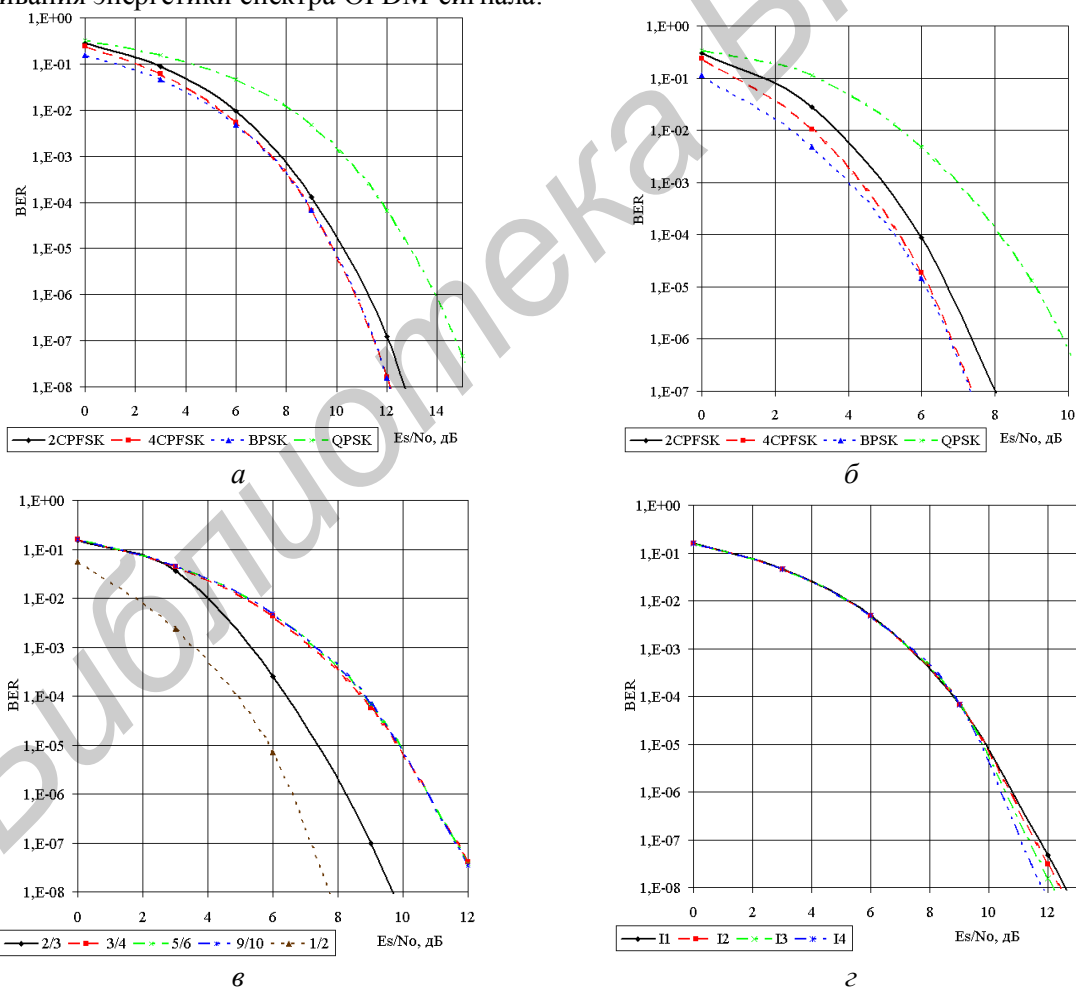


Рис. 3. Результаты моделирования

Заклучение

На основе результатов моделирования разработано техническое задание для системы передачи видеосигнала с беспилотного летательного аппарата (таблица).

ТЗ на систему передачи видеосигнала с БПЛА

Число поднесущих в OFDM-символе	2048
Тип модуляции поднесущих OFDM-символа	4CPFSK
Тип помехозащищенного кодирования	LDPC с перемежением
Скорость помехозащищенного кодирования	1/2
Информационная скорость передачи	5 Мбит/с
Вероятность ошибки при отношении сигнал/шум 6 дБ	$1 \cdot 10^{-5}$

SIMULATION DIGITAL RADIO SYSTEM FOR TRANSMISSION VIDEO FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE

I.I. ZABENKOV, M.I. APANASOV

Abstract

A variant of construction of digital radio system for transmission video from unmanned aerial vehicle is suggested. Computer simulations of this system is performed. Based on simulation technical specification for the digital radio system for transmission video from unmanned aerial vehicle is prepared.

Литература

1. *Lawrey E.P.* Adaptive Techniques for Multiuser OFDM. 2001.
2. EN 302 755 V1.1.1 Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2).
3. EN 302 307 V1.1.1 Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications. 2004.