

Реализация помехоустойчивого кода с низкой плотностью проверок на четность в системе связи миллиметрового диапазона длин волн

А.А. Серяков,* П.Н. Захаров,† А.Ф. Королев‡
 Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
 физический факультет, кафедра фотоники и физики микроволн
 Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

В работе был реализован алгоритм помехоустойчивого кодирования/декодирования на ПЛИС (программируемой логической интегральной микросхеме), работающий вблизи границы Шеннона.

PACS: 89.70.Kp.

УДК: 537.86, 621.391.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, коды с низкой плотностью проверок на четность, граница Шеннона.

Представлена реализация алгоритма помехоустойчивого устойчивого кодирования/декодирования на ПЛИС (программируемой логической интегральной микросхеме), работающего вблизи границы Шеннона [1, 2]. Алгоритм предназначен для использования в системе беспроводной передачи информации мм-диапазона длин волн (диапазон частот 70 ГГц–90 ГГц, скорость передачи 10 Гбит/с на расстояние до 25 км).

На сегодняшний день помехоустойчивые коды с низкой плотностью проверок на четность (Low density parity check codes, LDPC) являются одними из наиболее энергетически эффективных кодов. Такие коды были предложены достаточно давно Р.Галлагером [3]. В [3] использовалась итеративная обменная вероятностная процедура декодирования. Применительно к обработке жестких решений сущность этой процедуры сводится к тому, что на каждой итерации проверяются соотношения на четность в соответствии с проверочной матрицей кода H . Ввиду этого алгоритм Галлагера требовал большой вычислительной мощности, недоступной в то время.

Реализованный в работе алгоритм работает следующим образом. Выбрана кодирующая матрица соответствующая скорости кода равной $1/4$ и длины кодового слова 16200 символов [4]. Изначально строка закодированного сообщения p инициализирована нулями, а затем по соответствующим индексам из таблицы (начальные индексы даны в таблице, а далее они изменяются по алгоритму, зависящему от скорости кода и длины кодового слова). Так получается закодированная строка длиной 64800 символов. Данный алгоритм кодирования используется вместо перемножения строки на матрицу кодирования, так как перемножение строки такого размера на соответствующую матрицу заняло бы слишком большой объем памяти, что нежелательно при реализации алгоритма на ПЛИС. Таким образом, вместо неэффективного перемножения входного вектора на порождающую матрицу с большим

количеством единиц, использован алгоритм, упрощающий и ускоряющий данный этап.

Декодирование происходит по следующей схеме: на вход декодера поступают значения LLR $L(c_i)$; в алгоритме фигурируют две матрицы $L(r_{ji})$, $L(q_{ij})$ и строка $L(Q_i)$, по которой принимаются жесткие решения [3].

Этапы декодирования:

1. Инициализация матрицы $L(q_{ij}) = L(c_i)$.
2. Выполняются следующие итерации (в данной работе взято 50 итераций) (рис. 1).
3. По полученной строке $L(Q_i)$ строятся жесткие решения, которые и являются декодированным словом (результатирующая проверка не применяется, для экономии времени и оперативной памяти).

На рис. 2 представлены результаты моделирования реализованного алгоритма с помощью программы AWR Design Environment [5].

В случае каскадирования LDPC с кодом Рида-Соломона было получено еще большее уменьшение вероятности ошибки на бит (Рис. 3).

В процессе выполнения работы достигнуты следующие результаты:

1. Разработана реализация алгоритма LDPC, проведена адаптация алгоритма для работы на ПЛИС. Моделирование показало, что энергетический проигрыш разработанных реализаций не превышает 0,7 дБ по сравнению с границей Шеннона.
2. Показана возможность LDPC–декодирования при работе по жестким решениям демодулятора. Энергетический проигрыш при этом составил не более 3-х децибел по сравнению со схемой с мягкими решениями.

*E-mail: xakstreet@mail.ru

†E-mail: zakharov1@mail.ru

‡E-mail: korolev_phys@mail.ru

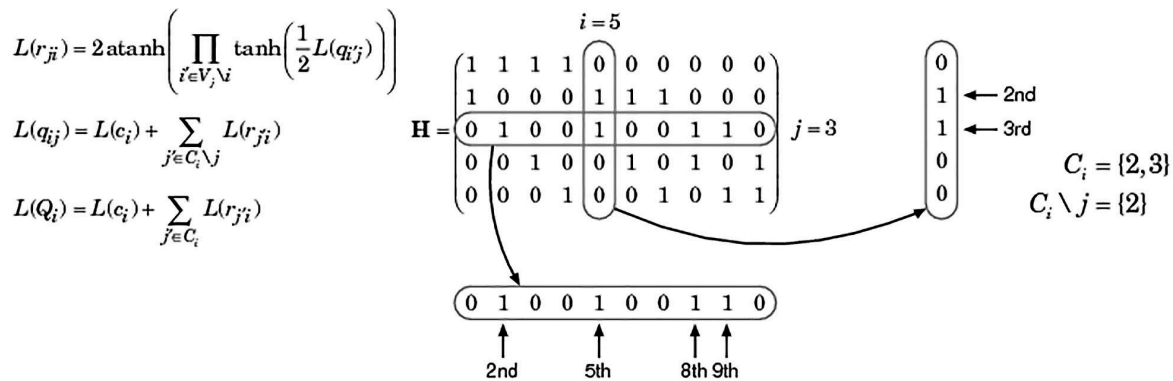


Рис. 1: Итерации процесса декодирования. H — декодирующая матрица

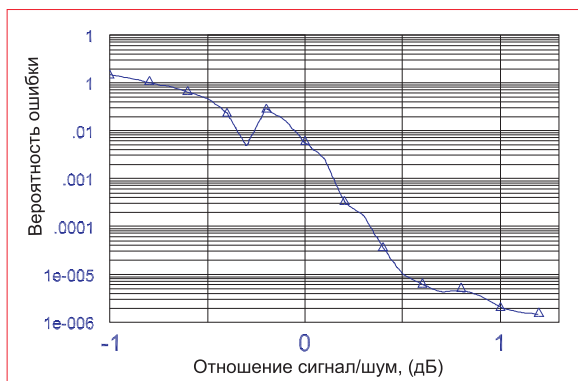


Рис. 2: Зависимость вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум для реализованного LDPC кода

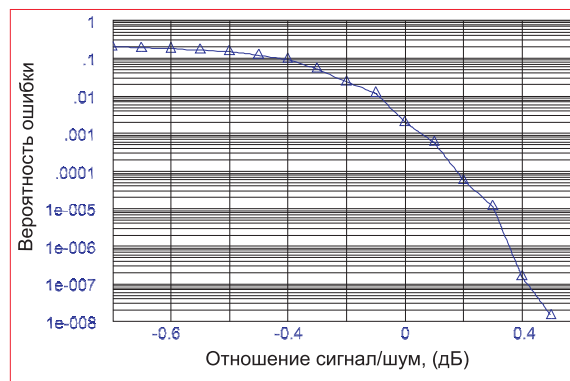


Рис. 3: Зависимость вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум для реализованного LDPC кода, каскадированного с кодом Рида-Соломона

3. Подтверждена необходимость каскадирования LDPC кода с каким-либо простым кодом для получения вероятности ошибки на бит менее

10^{-5} (при моделировании использован код Рида-Соломона).

[1] Прокис Дж. Цифровая связь. (М.: Радио и связь, 2000).
 [2] Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. (М.: Горячая линия - Телеком, 2004).
 [3] Gallager Robert G. Low-Density Parity-Check Codes. (Cambridge: Mass 1963).
 [4] Digital Video Broadcasting; Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and

other broadband satellite applications (DVB-S2) IEEE Standart (2009).
 [5] Захаров П.Н. Описание к задаче спецпрактикума физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Выбор оптимального метода модуляции сигнала в современных цифровых системах радиосвязи. Моделирование в среде AWR Design Environment». (2008).

Low density parity check code implementation for mm-wave based communication system

A. A. Seryakov^a, P. N. Zaharov^b, A. F. Korolev^c

Department of Photonics and Microwave Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
 Moscow, 119991, Russia

E-mail: ^axakstreet@mail.ru, ^bzakharov1@mail.ru, ^ckorolev_phys@mail.ru

In this paper, the algorithm of error correction coding/decoding near the Shannon limit was implemented in FPGA (Field-programmable gate array) for data rates up to 1 Gbit/s.

PACS: 89.70.Kk.

Keywords: error correcting codes, low density parity check codes, Shannon limit.

Сведения об авторах

1. Серяков Александр Александрович — студент; тел.: (905) 573-97-28, e-mail: xakstreet@mail.ru.
2. Пётр Николаевич Захаров — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-29-15, e-mail: zakharov1@mail.ru.
3. Анатолий Фёдорович Королёв — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-42-09, e-mail: korolev_phys@mail.ru.