

Оценка корректирующей способности LDPC-кодов и вероятности битовой ошибки при их использовании. Часть I

Н.В. Лемешко, АО «Корпорация «Комета», заместитель начальника отдела, д.т.н.; nlem83@mail.ru

А.Н. Плотноков, АО «Корпорация «Комета», главный конструктор МКП; 89031276391@yandex.ru

И.В. Змеев, АО «Корпорация «Комета», главный конструктор РИУС; zmeev-ivan@yandex.ru

С.М. Гриценко, АО «Корпорация «Комета», начальник сектора; gricenko1812@yandex.ru

УДК 519.725

DOI: 10.34832/ELSV.2025.70.8.008

Аннотация. В статье рассматриваются способы упрощения расчета корректирующей способности LDPC-кодов и вероятности битовой ошибки при их использовании для случая применения порождающей матрицы канонического вида. В первой части статьи дано представление о кодировании LDPC, проанализированы узловые требования к порождающим матрицам, определены основные достоинства их канонического вида, отмечены способы обнаружения битовых ошибок на приемной стороне. Предложен алгоритм оценки корректирующей способности LDPC на основе статистических розыгрышей, приведена его схема, позволяющая смягчить имеющиеся в математических пакетах ограничения размерности матриц. Представлены результаты оценки максимального количества восстанавливаемых бит при использовании LDPC с разной кодовой скоростью.

Ключевые слова: LDPC, порождающая матрица, матрица синдромов, расстояние Хэмминга, корректирующая способность, битовая ошибка, символьная ошибка, цифровая модуляция.

Для цитирования: Лемешко, Н.В. Оценка корректирующей способности LDPC-кодов и вероятности битовой ошибки при их использовании. Часть I / Н.В. Лемешко, А.Н. Плотноков, И.В. Змеев, С.М. Гриценко // Электросвязь. – 2025. – № 8. – С. 70-76.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из наиболее перспективных средств исправления битовых ошибок при эфирной передаче сигналов с цифровой модуляцией являются коды с малой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check, LDPC). Кодирование LDPC хорошо зарекомендовало себя в тех областях, где требуется обеспечить передачу потоков информации, формируемой с относительно постоянной скоростью, в системах наземного [1] и кабельного [2] телевизионного вещания, а также в сетях сотовой связи пятого поколения [3]. В комбинации с многопозиционной модуляцией LDPC-кодирование позволяет создавать радиоканалы с компромиссными комбинациями полосы частот, мощности радиопередатчиков и вероятности битовой ошибки. Для использования всех преимуществ LDPC и гарантии требуемой достоверности передачи данных необходимо учитывать конкретные особенности кодирования и декодирования на этапе системного проектирования радиолиний.

Обзор литературы по тематике LDPC показал, что при всём многообразии подходов к формированию порождающих матриц, к кодированию как таковому, к уменьшению затрат памяти на хранение и обработку данных, к итерационной процедуре ис-

правления битовых ошибок информация о способах оценки восстанавливающей способности кодирования этого вида представлена крайне скудно. Также следует отметить, что использование реализующих LDPC готовых программ, имеющих неизменные и часто даже неизвестные ключевые параметры, такие как длина блока, кодовая скорость и способ формирования порождающих матриц, не позволяет формулировать полностью обоснованные выводы о корректирующей способности LDPC.

В то же время при расчете вероятности битовой ошибки по классическим формулам при использовании битовых блоков уже средней длины из-за применения формул комбинаторики возникает проблема слишком больших и слишком малых чисел, которая наряду с ускорением вычислений может быть решена с применением специальных приемов и алгоритмов. Для таких расчетов также необходимо учитывать корректирующую способность кодирования. Освещению перечисленных вопросов и посвящена настоящая работа.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О КОДИРОВАНИИ LDPC

Коды LDPC относятся к линейным блочным кодам. Кодирование реализуется путем введения битовой избыточности в битовый блок. Эти коды были пред-