

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ МНОГОПороГОВЫЙ ДЕКОДЕР ДЛЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ ДАННЫХ

Зубарев Ю.Б.¹, Золотарёв В.В.², Овечкин Г.В.³

¹МНИТИ, ²ИКИ РАН, ³РГРТУ

Введение

В настоящее время для обмена информацией широко используются различные системы цифровой связи. Подобные системы используют для передачи данных как проводные, так и беспроводные каналы связи, в которых под действием различного рода помех передаваемая информация может исказиться. Это является недопустимым для многих приложений. Поэтому в любой системе передачи цифровых данных применяются средства помехоустойчивого кодирования, использование которых позволяет снизить долю необнаруженных ошибок до приемлемой.

Характеристики методов коррекции ошибок

На сегодняшний день в теории помехоустойчивого кодирования известно всего несколько методов коррекции ошибок в цифровых данных, обеспечивающих работу вблизи пропускной способности канала. Рассмотрим их эффективность при работе в канале с аддитивным белым гауссовским шумом и двоичной фазовой модуляцией [1]. Наиболее широкое практическое применение в реальных системах связи нашли сверточные коды, для декодирования которых часто используется оптимальный алгоритм Витерби (кривая «АВ, $K=7$ » на рис.1), и различные каскадные коды, например, каскадные коды, состоящие из кода Рида-Соломона и сверточного кода (кривая «АВ+РС» на рис.1). В последнее время зарубежными специалистами активно развиваются турбо и низкоплотностные коды, эффективность которых очень высока. Например, самые мощные методы декодирования турбо кодов длиной в несколько десятков тысяч битов позволяют работать примерно в 0,5 дБ от пропускной способности канала (кривая «Турбо» на рис.1). А с помощью низкоплотностных кодов длиной в несколько миллионов битов можно обеспечить сколь угодно малую вероятность ошибки декодирования при работе менее чем в 0,1 дБ от пропускной способности гауссовского канала (кривая «Низкоплотностные» на рис.1). К сожалению, данные методы при работе в условиях большого шума все еще обладают весьма большой сложностью реализации, что затрудняет их практическое применение в высокоскоростных системах передачи данных.

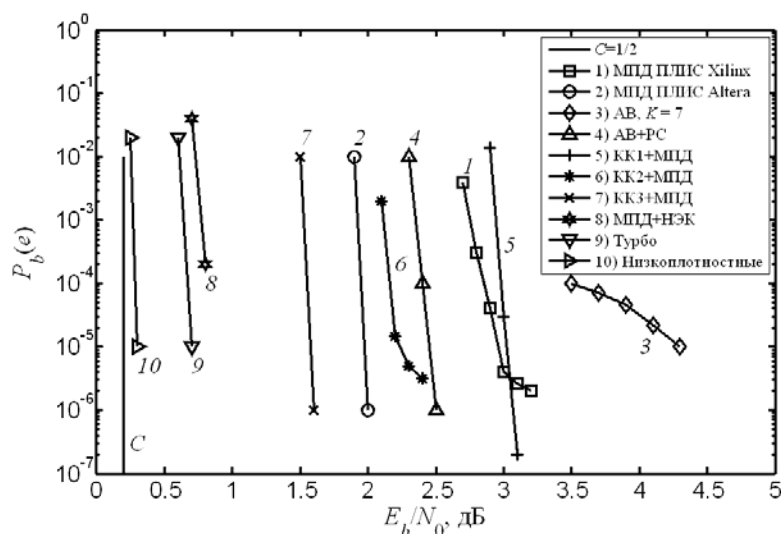


Рис. 1. Эффективность методов коррекции ошибок в канале с АБГШ и ФМ2

Интересным направлением в области разработки алгоритмов коррекции ошибок является многопороговое декодирование (МПД), развиваемое российскими специалистами [2, 3]. Отличительной особенностью данных декодеров является чрезвычайно малая сложность их практической реализации. Характеристики декодеров типа МПД для кодовой скорости $R \sim 1/2$ представлены на рис.1. Кривая «МПД ПЛИС Xilinx» относится к разработке сверточного МПД на ПЛИС Xilinx на скорости от 80 до 480 Мбит/с с полным распараллеливанием операций. Каскадная схема с использованием того же кода и кода контроля по четности (ККЧ) обеспечивает характеристики, показанные на графике «КК1+МПД». Они достаточно мало отличаются от возможностей стандартной и весьма эффективной каскадной схемы декодирования с алгоритмом декодирования Витерби (кривая «АВ, К=7») и декодером кода Рида-Соломона (РС) (график «АВ+РС»), но оказываются значительно проще. В результате такой каскадный МПД легко реализовать, как и обычный МПД декодер, для скоростей порядка 500 Мбит/с и даже выше.

Кривая «КК2+МПД» на рис.1 соответствует МПД декодеру с несколько большим объемом памяти ПЛИС, который каскадируется с таким же ККЧ. Эта простая схема также с очень высоким потенциальным быстродействием уже существенно эффективнее каскадной схемы АВ+РС как по энергетике, так и по скорости передачи. Более того, поскольку уровень остаточных ошибок у этого каскадного МПД очень невелик, то добавление любого самого простого малоизбыточного кода в качестве внешнего каскада в эту схему приведет к абсолютному преимуществу такой каскадной схемы относительно варианта каскадных кодов АВ+РС вплоть до вероятностей ошибки $P_b(e) \sim 10^{-9}$. Возможности чуть более сложной каскадной схемы представлены на рис.1 кривой «КК3+МПД». Здесь каскадирование осуществлялось с внешним самоортогональным кодом. Возможности одного из разработанных МПД декодеров, в котором при передаче данных используются особенности канала, представлены на рис.1. кривой «МПД+НЭК». Данный график иллюстрирует очень высокую энергетическую эффективность алгоритма на расстоянии всего лишь порядка 0,6 дБ от пропускной способности гауссовского канала связи. Абсолютное большинство других алгоритмов коррекции ошибок оказываются в области столь больших шумов чрезвычайно сложными.

Таким образом, многопороговые декодеры помехоустойчивых кодов позволяют почти оптимально декодировать даже очень длинные коды с линейной от длины кода сложностью исполнения, получая при этом энергетический выигрыш более 9 дБ. При этом МПД выполняют только простейшие операции сложения и сравнения целых чисел, что делает их очень привлекательными для применения в существующих и вновь создаваемых высокоскоростных цифровых системах передачи данных.

Аппаратная реализация МПД

Одна из последних реализаций МПД была разработана в ИКИ РАН на ПЛИС Altera Stratix EP1S20 (рис.2). Этот МПД является очередным этапом развития декодеров сверточных кодов на базе МПД и может считаться представителем их шестого поколения.

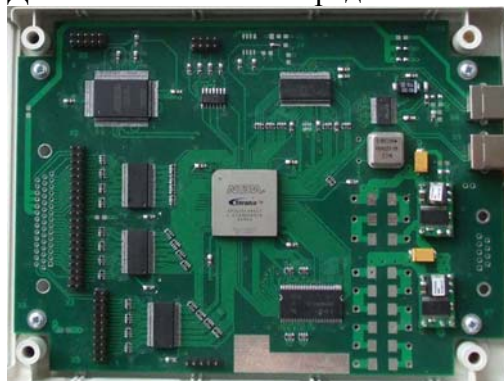


Рис. 2. МПД, разработанный в ИКИ РАН на ПЛИС Altera Stratix EP1S20

В данной ПЛИС реализован кодер, модуль генератора гауссовского шума и декодер, состоящий из 9-ти итераций коррекции ошибок (рис.3). Разрядность шины данных 8 бит, частота следования данных 40 МГц (общая информационная скорость до 320 Мбит/сек). Длина каждой итерации декодера составляет 256 бит.



Рис. 3. Схема ПЛИС

В процессе разработки рассматриваемого МПД как составной части аппаратно-программного демонстрационно-измерительного стенда был создан комплекс программных средств, который обеспечивал генерацию информационного потока, генерацию шума с настраиваемыми параметрами, имитацию аппаратной версии декодера, оценку скорости работы прибора (демонстрация производительности декодера в спутниковом канале ДЗЗ на скорости 320 Мбит/сек), измерение достоверности декодирования в зависимости от уровня шума канала.

Данный проект показал, что можно получить хорошие энергетические характеристики кодирования при высоком уровне шума на информационной скорости до 320 Мбит/с при очень малой аппаратной сложности, что чрезвычайно ценно для систем дистанционного зондирования земли.

В 2009 г. в ИКИ РАН завершились испытания декодера, работающего на информационной скорости более 1 Гбит/с. Этого удалось достичь за счет использования конвейера при реализации процедур вычислений на пороговом элементе декодера. При реализации сверхвысокоскоростной версии МПД декодера удалось максимально эффективно использовать вычислительные ресурсы очень недорогой ПЛИС. Энергетическая эффективность и общие размеры наземной части комплекса (декодера) в общем случае определяются выбором конкретных типов ПЛИС приёмной части системы кодирования. Пример характеристик, обеспечиваемых данной ПЛИС, представлен на рис.1 кривой «МПД ПЛИС Altera».

Заключение

Таким образом, принципиально новый уровень помехоустойчивости и скорости обработки данных, достигаемый с помощью алгоритмов МПД разных типов позволяет решать задачи обеспечения высокой надежности передачи и хранения данных без какой-либо дополнительной доработки этих алгоритмов или всего лишь при незначительной их адаптации к возможным дополнительным требованиям, возникающим в крупномасштабных цифровых системах. Их использование одинаково просто и эффективно как при аппаратной, так и при программной реализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №08-07-00078).

Литература

1. Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Обзор методов помехоустойчивого кодирования с использованием многопороговых декодеров // Электросвязь. М., 2008. №12. С.2–11.
2. Золотарёв В.В. Теория и алгоритмы многопорогового декодирования – М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2006. 232 с.
3. Веб-сайт ИКИ РАН по методам декодирования www.mtdbest.iki.rssi.ru.
4. Золотарёв В.В., Назиров Р.Р., Никифоров А.В., Чулков И.В. Новые возможности многопорогового декодирования по высокодостоверной передаче данных ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Сборник научных статей. Выпуск 6. Том I. Москва, ООО «Азбука-2000», 2009. С.167–173.