

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ХРАНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ НА ФЛЕШ ПАМЯТИ

Золотарев В.В.¹, Овечкин Г.В.², Федюков В.С.²

1 – Институт космических исследований, г. Москва, Россия;

2 – Рязанский государственный радиотехнический университет, г. Рязань,
Россия

g_ovechkin@mail.ru

Введение

Рост объема и скоростей передачи и хранения цифровых данных во всех системах становится все более значительным. Этому способствует развитие телекоммуникаций, стерео-, видео систем, спутникового вещания и разработка все более высоких стандартов телевидения высокой четкости, появление устройств хранения данных все большего объема. К настоящему времени задача обеспечения высокой достоверности хранения дискретной информации успешно решается методами помехоустойчивого кодирования. Главное требование к схемам кодирования и последующего декодирования в подобных системах наряду с очень высокой достоверностью состоит в обеспечении предельно быстрой обработки данных, т.е. декодирования, поскольку объемы данных и скорости их считывания/записи в современных системах обычно чрезвычайно высокие. Поэтому для высокоскоростных каналов связи можно рекомендовать для применения только самые быстродействующие декодеры.

Результаты проведенного исследования методов помехоустойчивого кодирования, представленные в [1] показали, что наиболее подходящими для подобных систем по данным критериям являются многопороговые декодеры (МПД) самоортогональных кодов [2, 3]. Для МПД показано, что они позволяют почти оптимально (т.е. так же хорошо, как и переборные экспоненциально сложные от длины кода методы) декодировать даже очень длинные коды с линейной сложностью исполнения, демонстрируя при этом хорошую корректирующую способность.

МПД декодер состоит практически только из регистров сдвига без обратных связей и выполняет лишь простейшие операции суммирования и сравнения небольших целых чисел, что значительно ускоряет его работу на больших скоростях. Более того, авторами метода уже решена задача как бы «мгновенного» формирования решения порогового элемента в МПД. Эти технические решения превращают МПД в теоретически самое быстродействующее устройство для декодирования данных, так как при этом регистры сдвига декодера перемещают данные с максимально возможной для них скоростью, поскольку оценки порогового элемента декодера всегда появляются в момент сдвига данных по регистру. Таким образом, данные в таком декодере всегда пролетают по декодеру с максимально возможной скоростью для выбранной элементной базы. Рассмотрим вопросы применения МПД для повышения достоверности хранения больших объемов данных.

Применение МПД для повышения достоверности хранения данных

В настоящее время большое внимание уделяется разработке декодеров для повышения надежности хранения данных на флеш памяти. Очень важно, что требуемая вероятность ошибки на бит в данном случае должна быть очень малой, порядка $10^{-12} \div 10^{-15}$. Обсудим вопросы создания декодеров для такой памяти. Следует отметить, что в отличие от спутниковых и им подобных систем связи, в которых необходимо обеспечить заданную достоверность передачи данных при минимальной энергетике канала, при разработке декодеров для флеш памяти учитываются два других важных аспекта систем кодирования. Во-первых, декодер для флеш памяти должен быть чрезвычайно быстрым и, соответственно, очень простым. Во-вторых, в последнее время размеры памяти увеличиваются очень быстро, что позволяет использовать ее не очень эффективно, т.е. можно использовать больше проверочных символов, если это позволит уменьшить сложность декодера и обеспечить заданные требования по достоверности. Эти потери памяти будут скомпенсированы ростом ее объема в «следующем месяце» просто из-за технологического прогресса.

В нашем случае вполне возможно для повышения достоверности хранения данных использовать коды с кодовой скоростью порядка $R \sim 0.7 \div 0.8$, что позволяет использовать декодеры в $50 \div 1000$ раз более простые, чем декодеры для кодов с кодовой скоростью, большей 0,9 с сопоставимой обеспечиваемой вероятностью ошибки декодирования.

На рис. 1 показана эффективность МПД для нескольких блоковых кодов с кодовой скоростью 0,75, длиной порядка 32000 битов и различным кодовым расстоянием, предназначенных для исправления ошибок во флеш памяти. По оси X отложена вероятность ошибки p_0 в двоичном симметричном канале, соответствующая вероятности искажения произвольного бита во флеш памяти. Вероятность ошибки декодирования на бит $P_b(e)$ отложена на оси Y . При получении результатов МПД декодер не использовал оценки надежности принятых битов. Нижние оценки оптимального декодера для используемых кодов показаны на рисунке кривыми Opt1÷Opt3. Характеристики для МПД с 30 итерациями декодирования показаны кривыми Dec1 и Dec2. Эти кривые иллюстрируют возможность обеспечения вероятностей ошибки, меньшей 10^{-12} при помощи очень быстрого и простого метода, который, при этом, обладает широкими возможностями по адаптации к любым дополнительно предъявляемым системами хранения данных требованиям. Характеристики МПД для третьего кода представлены пунктирной кривой Dec3. Отметим, что при получении точки K_0 за время моделирования не было получено ни одной ошибки декодирования, т.е. вероятность ошибки оценена как $1/N$, где N – объем эксперимента. При этом исходя из ранее полученных результатов есть все основания полагать, что кривая Dec3 должна в этой точке достичь кривой Opt3, т.е. обеспечиваемая вероятность ошибки декодирования для данного кода при $p_0=0,012$ составляет порядка 10^{-14} .

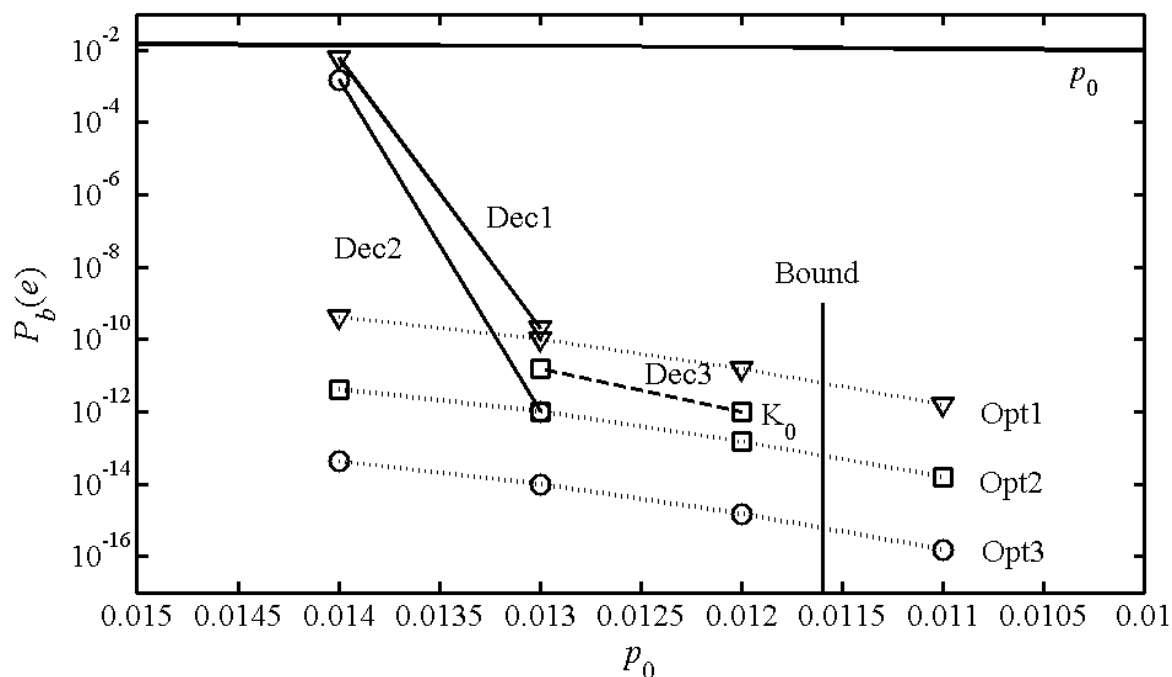


Рис. 1. Эффективность МПД при исправлении ошибок во флеш памяти

Таким образом, МПД алгоритм обеспечивает хорошую эффективность исправления ошибок на флеш памяти. Других декодеров, обладающих такой же эффективностью и быстродействием, в настоящее время просто не существует.

Заключение

Приведенные результаты позволяют считать, что МПД методы действительно относятся к уникальным алгоритмам, способным обеспечивать эффективное декодирование при большом уровне шума, выполняя очень небольшое число операций и достигая высочайших уровней достоверности хранения цифровой информации и скорости ее обработки в высокоскоростных устройствах хранения данных. Во всех этих случаях используются очень ограниченные ресурсы, такие, как простые микропроцессоры или самые дешевые ПЛИС, что и определяет простоту и эффективность новых методов помехоустойчивого кодирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, ИКИ РАН, РГРТУ. Большой объем дополнительной информации о МПД можно найти на веб-сайте www.mtdbest.ru.

Литература

1. Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных // Электросвязь. М., 2008. №12. С.2–11.
2. Зубарев Ю.Б., Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Обзор методов помехоустойчивого кодирования с использованием многопороговых алгоритмов // Цифровая обработка сигналов, 2008, №1, С.2–11.
3. Золотарев В.В., Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Многопороговые декодеры и оптимизационная теория кодирования. М.: Горячая линия–Телеком, 2012. 239с.