

В.В. Золотарев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА ВМЕСТО АЛГОРИТМА ВИТЕРБИ

(Опубликованная статья)

Предложена замена кодека, реализующего алгоритм Витерби для стандартных несистематических коротких свёрточных кодов, на простую многопороговую схему с близкими характеристиками. Поскольку вычисление суммы проверок с последующим сравнением с порогом оказывается гораздо проще и быстрее, возможно значительное снижение сложности конечной аппаратуры декодирования.

Успешное применение алгоритма Витерби (АВ) в системах помехоустойчивого кодирования определяется высокой эффективностью и однородностью этой процедуры при ее аппаратной реализации. Однако хорошо известно, что сложность АВ растет экспоненциально с длиной кода, что не допускает использования в реальной аппаратуре достаточно длинных кодов.

Существенным при реализации АВ является также то, что для повышения энергетической эффективности кодирования целесообразно применение лучших несистематических кодов, что позволяет наиболее полно реализовать возможности этого алгоритма.

С другой стороны, известно, что многопороговые декодеры (МПД) [1-5] позволяют простыми средствами организовать декодирование длинных кодов с уровнем качества, во многих случаях практически совпадающих с оптимальным алгоритмом. Но обычно МПД эффективно работает с систематическими кодами.

Рассмотрим особенности применения МПД к декодированию стандартного для АВ несистематического кода (133,171) длины $K=7$. При традиционном построении МПД, который обычно последовательно уточняет свои гипотезы и в результате этого во многих случаях приходит к оптимальному решению, этот декодер всегда имеет приемлемую первоначальную гипотезу о принятом сообщении. В случае применения несистематических кодов для МПД наиболее сложной проблемой оказывается именно создание первоначальной гипотезы о переданной информационной последовательности, соответствующей принятому и, возможно, искаженному в канале кодовому слову.

При решении задачи построения исходной предварительной гипотезы об информационной последовательности оказалось необходимым рассмотреть как обычные варианты создания синдромного вектора, который служил бы основой для построения различных гипотез об ошибках в принятом кодовом потоке, так и несколько более сложные способы определения ошибок канала на основе различных регистров с обратными связями.

На втором этапе формирования гипотезы об информационном векторе необходимо строить процедуры, аналогичные методам формирования синдрома, которые, однако, на этом этапе создают уже ряд гипотез об истинном информационном потоке. При построении этих гипотез также можно использовать обычные схемы умножения принятых кодовых потоков на некоторые специально подобранные многочлены. Но и в этом случае достаточно эффективны специальные цепочки регистров с обратными связями. Окончательный выбор между различными вариантами схем формирования гипотез об информационных потоках следует делать с учетом ряда критериев, главным из которых является минимизация уровня размножения ошибок. Это довольно естественный подход к выбору наиболее подходящих схем формирования информационных потоков, поскольку при использовании МПД для обычных систематических кодов критерий минимума размножения ошибок также является

одним из важнейших при выборе и кодов, и пороговых схем, на основе которых и осуществляется их декодирование.

Конечная часть предварительной обработки несистематического кода состоит в традиционном вычислении вектора синдрома на основе предварительной гипотезы об информационном потоке и принятого кодового вектора.

Основная для МПД последняя часть процедуры декодирования полностью совпадает с основным шагом последовательного улучшения решения в обычном МПД. Отправной гипотезой об информационном потоке считается та информационная последовательность, которая была построена на предварительном шаге. Такой МПД для рассматриваемого несистематического кода позволяет путем уточнения своего решения в несколько этапов дополнительно минимизировать вероятности ошибок для исходной гипотезы об информационном векторе. Улучшение решения при прохождении исходной гипотезы через МПД составляет несколько десятичных порядков, что и позволяет выйти на уровни помехоустойчивости, близкие к тем, которые соответствуют применения самого АВ, выполняющего это оптимально.

Подчеркнем, что МПД оказывается более простым, чем кодек, реализующий АВ. Поскольку АВ относится к оптимальным алгоритмам, энергетические характеристики МПД не могут быть лучше, чем у кодера Витерби. В наиболее простом своем варианте МПД обеспечивает приблизительно на 0,5 дБ более низкий уровень энергетического выигрыша кодирования, чем АВ, для традиционного при сравнении алгоритмов уровня вероятности ошибки на бит $P_b(e)=10^{-5}$. Однако его быстродействие может быть существенно более высоким. При увеличении числа итераций декодирования возможно еще большее приближение возможностей МПД к характеристикам исходного АВ алгоритма.

Рассмотренный подход к построению МПД для кода (133,171) может быть применен и при создании МПД для многих других кодов, используемых при создании АВ. Успешно созданы соответствующие МПД-схемы для $K=9$ и $K=11$. Более того, можно создавать совершенно другие специальные короткие несистематические коды с особенно высокими характеристиками, достигаемыми при использовании специальных МПД именно для этих кодов, безотносительно к возможности их декодирования на базе тех или иных модификаций собственно АВ. В этом случае можно выбирать гораздо более длинные коды, чем применяемые при реализации АВ, который всегда будет слишком сложен, если код выбран достаточно длинным. При этом будет достигнуто особенно значительное сокращение задержки принятия решения, свойственное обычному МПД, но будут обеспечены весьма высокие уровни энергетического выигрыша кодирования, который и является конечным критерием эффективности применения аппаратуры помехоустойчивого кодирования в системах связи.

Литература

1. *Золотарев В.В.* Реальный энергетический выигрыш кодирования для спутниковых каналов //В кн.: 4-я Международная конференция «Спутниковая связь-2000». Т.2. Москва, 2000, с.20-25.
2. *Золотарев В.В.* Использование помехоустойчивого кодирования в технике связи. "Электросвязь", 1990, №7, с.7-10.
3. *Золотарев В.В.* Простые методы исправления ошибок в каналах с большим уровнем шума //Радиотехника. №10, 1991, с. 79-82.
4. *Золотарёв В.В., Овечкин Г.В.* Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник, "Горячая линия-Телеком", Москва, 2004, 126 с.
5. *Золотарёв В.В., Овечкин Г.В.* Многопороговое декодирование. Специализированный веб-сайт ИКИ РАН: www.mtdbest.iki.rssi.ru .