

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПЕРЕМЕЖИТЕЛЕЙ ТУРБО КОДОВ

Е.А. Юркевич, А.И. Королёв
Факультет телекоммуникаций,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: yurkevich@vicman.net

Анализируется эффективность использования различных типов перемежителей турбокодов. Показаны сильные и слабые стороны анализируемых перемежителей. Для анализа использовались два основных метода: метод оценки спектрального расстояния турбокода и метод моделирования частоты появления ошибочных бит. Спектральное расстояние для каждого перемежителя оценивается и используется для определения теоретической верхней границы вероятности ошибки на бит.

Ключевые параметры: d_{min} , s -параметр, дисперсия, спектр, кодовое расстояние, кодовая последовательность, кодовое слово.

ВВЕДЕНИЕ

Перемежитель (в англоязычной литературе – *permutter* или *interleaver*) – устройство, обеспечивающее перестановку позиций информационных бит в исходной последовательности. Задачей перемежителя является преобразование входной информационной последовательности таким образом, чтобы комбинации, приводящие к кодовым словам с низким весом на выходе первого компонентного кодера, были преобразованы в комбинации, порождающие кодовые слова с высоким весом на выходе остальных кодеров, тем самым обеспечивая небольшое число кодовых слов малого веса результирующего турбокода. Перемежитель играет важную роль в определении результирующей исправляющей способности всей параллельной каскадной схемы. Способ реализации может стать ключевым моментом в построении перемежителя для кодирования пакетов данных различной длины для передачи по сетям мультимедийных данных, таких как 3G и TSP/IP.

ПЕРЕМЕЖИТЕЛИ ТУРБО КОДОВ

Турбо-кодирование используется в электротехнике, цифровой связи, а также в спутниковой связи и других областях, в которых необходимо достижение максимальной скорости передачи данных по каналу связи с шумами в ограниченной полосе частот. Важно сделать правильный выбор типа перемежителя турбо-кодов. Идеальный перемежитель должен обладать следующими свойствами:

- большим минимальным кодовым расстоянием d_{min} ;
- низкой кратностью ошибок при минимальном расстоянии d_{min} ;
- высокочастотным s -параметром;
- высоким быстродействием.

С учетом этих свойств нужно искать новую конструкцию перемежителя, который в конечном счете будет иметь лучшую характеристи-

ку частоты появления ошибочных бит. Несмотря на то, что лучшие перемежители, рассмотренные в статье, обладают высокой дисперсией, нужно смотреть и другие их характеристики, т.к., например, высокая дисперсия не гарантирует хорошую производительность (случайный перемежитель). Именно способ реализации может стать ключевым моментом в построении перемежителя. Существуют различные типы перемежителей (см. рис. 1). Так, простейший нетривиальный перемежитель – блочный перемежитель, в котором данные передаются R строкам посредством C столбцов прямоугольной матрицы, а считываются по столбцам. Блочные (регулярные) перемежители просты, обладают высоким s -параметром и очень низкой дисперсией. Они допускают высокую кратность общих конечных кодовых слов, т.е. всегда большое количество ошибочных последовательностей, самоограниченных для обоих компонентных кодов. Это может привести к низкому весу кода последовательности. Метод формирования блочных перемежителей можно описать формулой либо строгой закономерностью.



Рис. 1 – Классификация устройств перемежения

Концептуально «противоположными» блочным являются случайные перемежители. Это перемежители со случайным соответствием между входными и выходными позициями. То есть, для перемежителя длины N , входная последовательность $i=0..(N-1)$ шифруется по псевдослучайному набору чисел для формирования выходной последовательности $(i) = 0..(N-1)$. Слу-

чайные перемежители имеют очень низкий s -параметр и очень высокую дисперсию. Просты в создании, но не могут гарантировать минимальную рассеивающую характеристику и уровень ошибок перемежения. Высокая дисперсия ведет к нарушению закономерности данных, которые генерируют низко весовые кодовые последовательности, что, в свою очередь, ведёт к лучшим характеристикам частоты появления ошибочных бит.

Вариацией случайного перемежителя является псевдослучайный, построенный таким образом, чтобы обеспечить высокий s -параметр. В основе он имеет случайную структуру, но гарантирует минимальное распространение ошибочных пар. Время, затраченное на поиск новой подходящей позиции, непропорционально увеличивается с увеличением s -параметра, а методика не всегда позволяет найти позицию, которая удовлетворяет определенному значению s . Псевдослучайные перемежители имеют один из лучших показателей минимального уровня ошибок среди перемежителей, рассмотренных в статье. Тем не менее, недостатком этого перемежителя является сам метод поиска, т.к. требует больших временных затрат. Реальные сети передачи данных обрабатывают пакеты различной длины в режиме реального времени. Может понадобиться произвольное перемешивание «на лету» перед применением прямого исправления ошибок в пакете. Это может занять долгое время, что в некоторых системах непозволительно.

Также как и случайный перемежитель высокой дисперсией отличается УМТС-перемежитель, у которого производительность выше. Это связано с набором более высоких кодовых весов для УМТС-кода. УМТС-перемежитель может быть сгенерирован «на лету», что устраняет необходимость хранения нескольких преобразований. Реализация такого перемежителя является довольно сложной, процесс происходит в три этапа, которые кратко описываются следующим образом:

- входная последовательность записывается в прямоугольную матрицу строка за строкой, количество строк 10 или 20;
- внутрискановая перестановка, когда позиции битов перераспределяются в каждой строке. Для данного этапа нужна таблица соответствия (преобразования), чтобы определить первообразный корень. Первообразный корень и последовательность

простых чисел используется для выполнения двухступенчатой внутрискановой перестановки;

- междурядная перестановка, при которой перераспределяются и сами строки, а не только биты в каждой строке. Этап также требует справочную таблицу для хранения трех возможных моделей междурядной перестановки, обеспечивающих хорошее распределение (разнесение) для различных длин перемежителя. В итоге, биты считаются столбец за столбцом.

УМТС перемежитель имеет частоту появления ошибочных битов, сопоставимую с псевдослучайным перемежителем. Тем не менее, алгоритм УМТС не будет работать для всех длин блоков одинаково. Ближайшая к стандарту в 1024 бит длина перемежителя: $52 \times 20 = 1040$ бит. Система УМТС требует, чтобы 134 «материнских» модели перемежения хранились таким образом, чтобы могли быть закодированы пакеты различной длины. Эта сложность иногда мешает реализации УМТС перемежителя в некоторых системах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качественный перемежитель турбокодов — это перемежитель, имеющий низкие показатели частоты появления ошибочных битов. Хороший перемежитель имеет низкий уровень ошибок, высокий минимальный кодовый вес и низкую кратность при минимальном кодовом весе или близком к нему.

1. 3GPP TS 36.212 V10.3.0, 3rd Generation Partnership Project, Multiplexing and channel coding, 2011.
2. O. Y. Takeshita, «Permutation Polynomial Interleavers: An Algebraic-Geometric Perspective» in Proc. of Information Theory, IEEE Transactions on, vol.53, no.6, pp.2116-2132, June 2007.
3. J. Sun and O.Y. Takeshita, «Interleavers for turbo codes using permutation polynomials over integer rings» in Proc. of Information Theory, IEEE Transactions on , vol.51, no.1, pp.101-119, Jan. 2005.
4. J. Ryu and O. Y. Takeshita, «On quadratic inverses for quadratic permutation polynomials over integer rings» in Proc. of Information Theory, IEEE Transactions on, vol. 52, no. 3, pp. 1254-1260, March 2006.
5. Takeshita, Oscar (2006). «Permutation polynomial interleavers: an algebraic-geometric perspective». arXiv:cs/0601048.
6. Архинкин А. Турбо-коды - мощные алгоритмы для современных систем связи (рус.) (Журнал. Беспроводные технологии), 2006. . Dolinar and D. Divsalar. Weight Distributions for Turbo Codes Using Random and Nonrandom Permutations, 1995.