

Золотарев В.В., Овечкин Г.В.

СЛОЖНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ

(г. Москва, Институт космических исследований РАН,
г. Рязань, Рязанская государственная радиотехническая академия)

Одной из задач, решаемых в процессе построения современных систем передачи данных, является выбор методов кодирования/декодирования. При этом часто решающим фактором оказывается сложность практической реализации данных методов, поскольку она определяет стоимость, надежность, быстродействие и много других важных параметров аппаратуры передачи данных.

Рассмотрим сложность реализации нескольких наиболее эффективных методов декодирования, таких как алгоритм декодирования Витерби (АВ) [1], методы декодирования турбо кодов (ТК) [2] и многопороговый алгоритм декодирования (МПД) [3]. Под сложностью реализации далее будем понимать количество операций, требуемых для декодирования одного информационного бита.

Из табл. 1 видно, что сложность оптимального АВ растет экспоненциально с ростом конструктивной длины кода K , в связи с чем на практике данный метод обычно применяется для декодирования кодов с $K \leq 9$, обладающих невысокой эффективностью.

Таблица 1.

Сложность алгоритмов декодирования помехоустойчивых кодов

Вид операции	Алгоритм Витерби	Max-Log-MAP	Log-MAP	SOVA	Итерация МПД
Выбор максимума		$5 \cdot 2^{K-1} - 2$	$5 \cdot 2^{K-1} - 2$	$2^{K-1} + 3 \cdot K$	
Сложение	$2 \cdot 2^{K-1} + 5$	$10 \cdot 2^{K-1} + 11$	$15 \cdot 2^{K-1} + 9$	$2 \cdot 2^{K-1} + 8$	d
Умножение на ± 1		8	8	8	$(d+1)p$
Сравнение	2^{K-1}			$6 \cdot K$	1
Поиск в таблице			$5 \cdot 2^{K-1} - 2$		

Сложность декодирования ТК определяется сложностью методов декодирования составляющих кодов и количеством итераций декодирования. Вычислительная сложность Log-MAP, Max-Log-MAP и SOVA алгоритмов [1], используемых для декодирования составляющих кодов ТК, представлена в табл. 1. Очевидно, что относительная сложность данных алгоритмов также экспоненциально растет с ростом конструктивной длины K составляющих кодов. Однако для построения ТК применяются коды с небольшим $K=3 \div 5$, так как на его характеристики основное влияние оказывает длина используемого перемежителя. Поэтому сложность декодера ТК значительно меньше сложности АВ при равной эффективности.

Для МПД, как показано в табл. 1, количество операций, выполняемых при декодировании одного информационного бита, зависит от кодового расстояния d , вероятности ошибки в канале p и количества итераций декодирования. Поскольку МПД обычно применяется для декодирования

кодов с $d=7\div 13$ при $p<0.1$, его сложность оказывается примерно на порядок меньше сложности сопоставимого по эффективности ТК. Кроме того, небольшое изменение МПД позволяет снизить суммарное количество операций, выполняемых на всех итерациях декодирования, до величины порядка $c_1 \cdot d + c_2 \cdot I$, где c_i – небольшие целые числа, I – количество итераций декодирования. В результате сложность МПД при высоком уровне шума становится в десятки раз меньшей сложности всех других методов коррекции ошибок.

Для примера в табл. 2 и 3 приведены результаты исследования скорости работы декодера турбо кода и «быстрого» многопорогового декодера при скоростях кода 3/4 и 1/2. Данные результаты были получены на компьютере с процессором Athlon 850 при декодировании $3 \cdot 10^7$ информационных бит при работе в канале с аддитивным белым гауссовским шумом и использовании двоичной фазовой модуляции. Отметим, что скорость декодирования получилась в несколько раз ниже, чем можно было бы ожидать исходя из данных в табл. 1, поскольку процессорное время также расходовалось на кодирование информации, ее искажение в канале связи и некоторые вспомогательные операции (например, определение вероятности ошибки).

Таблица 2. Результаты моделирования МПД

Отношение сигнал/шум E_b/N_0 , дБ	Кодовая скорость R	Кодовое расстояние d	Количество итераций декодирования I	Скорость декодирования, кбит/с	Вероятность ошибки декодирования
3,0	1/2	9	8	2420	$1,6 \cdot 10^{-05}$
2,5	1/2	9	14	870	$4,2 \cdot 10^{-05}$
3,7	3/4	7	14	940	$6,7 \cdot 10^{-07}$
3,5	3/4	7	14	930	$1,6 \cdot 10^{-04}$

Таблица 3. Результаты моделирования декодера ТК

E_b/N_0 , дБ	R	Длина перемежителя, бит	Конструктивная длина кода K	I	Скорость декодирования, кбит/с	Вероятность ошибки декодирования
3,0	1/2	1000	3	4	187	$6,0 \cdot 10^{-07}$
2,5	1/2	1000	3	8	68	$2,1 \cdot 10^{-06}$
3,7	3/4	1000	5	8	12	$1,6 \cdot 10^{-05}$
3,5	3/4	1000	5	8	12	$2,2 \cdot 10^{-05}$

Как следует из табл. 2 и 3, при кодовой скорости 1/2 более мощный ТК за счет использования меньшего количества итераций и составляющих кодов с небольшой конструктивной длиной K оказывается медленнее МПД примерно в 13 раз. При переходе с кодовой скорости 3/4 для получения сопоставимой с МПД эффективности в декодере ТК необходимо применять коды с большей конструктивной длиной и использовать большее количество итераций, что приводит к существенному замедлению процесса декодирования, в то время как скорость работы МПД из-за ис-

пользования кодов с меньшей длиной кодового расстояния при одинаковом количестве итераций несколько возрастает. В результате МПД оказывается быстрее декодера ТК более чем в 70 раз.

Литература

1. Витерби А. Границы ошибок для сверточных кодов и асимптотически оптимальный алгоритм декодирования //Некоторые вопросы теории кодирования. – М., 1970. С. 142-165.

2. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes //Proceeding of ICC'93, Geneva, Switzerland, May 1993. pp. 1064-1070.

3. Золотарёв В.В. Эффективные многопороговые алгоритмы декодирования. - АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", препринт, М., 1981, С. 75.

4. P. Robertson, E. Villebrun, P. Höher, "A Comparison of Optimal and Sub-Optimal MAP Decoding Algorithms Operating in the Log Domain," in Proceedings of the International Conference on Communications, (Seattle, United States), June 1995. pp. 1009–1013.