

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ДЕКОДИРОВАНИЯ ТУРБО-КОДОВ

к.т.н. С.И. Приходько, А.С. Жученко, Д.А. Пархоменко
(представил д.т.н. проф. Ю.В. Стасев)

Предложен модифицированный метод декодирования турбо-кодов, особенностью которого является комбинация различных декодеров в турбо-декодере, что позволяет уменьшить сложность и время декодирования.

Постановка проблемы. Для декодирования турбо-кодов применяется итерационный турбо-декодер, состоящий из двух или более декодеров, производящих мягкие решения. Основными алгоритмами декодирования являются MAP (maximum a posteriori probability) алгоритм и SOVA (soft output Viterbi algorithm) алгоритм. MAP алгоритм позволяет обеспечить минимальную ошибку декодирования. Недостатком MAP алгоритма является большая сложность, что даже при современной элементной базе приводит к значительным временным затратам. Субоптимальные алгоритмы декодирования – SOVA или min-log-MAP обеспечивают приемлемую сложность, но приводят к увеличению вероятности ошибки декодирования по сравнению с MAP алгоритмом. Таким образом, необходима модификация метода декодирования турбо-кодов для получения приемлемой сложности декодирования и вероятности ошибки декодирования, близкой к вероятности ошибки декодирования турбо-декодера с использованием MAP алгоритма.

Анализ литературы. MAP алгоритм для декодирования сверточных кодов впервые был предложен в [1]. В [2] этот алгоритм модифицирован для систематических сверточных кодов. В [3, 4] уменьшена сложность декодирования MAP алгоритма без увеличения вероятности ошибки декодирования, а также предложен log-MAP алгоритм. Упрощенный алгоритм, который называется min-log-MAP алгоритмом, предложен в [4]. SOVA алгоритм, являющийся модификацией алгоритма Витерби для получения мягких решений, был предложен в [5]. В [6 – 9] предлагаются модификации SOVA алгоритма для уменьшения вероятности ошибки и времени декодирования.

Цель статьи. Модификация метода декодирования турбо-кодов для уменьшения сложности и времени декодирования.

Модифицированный метод декодирования турбо-кодов. Анализ

работ [5 – 8] показывает, что использование только субоптимальных составляющих декодеров (min-log-MAP, SOVA) позволяет уменьшить сложность и время декодирования, но приводит к заметному увеличению вероятности ошибки декодирования турбо-декодера.

Учитывая предыдущие выводы, предлагается модифицированный метод декодирования турбо-кодов, особенностью которого является использование различных составляющих декодеров – log-MAP и SOVA. При этом, за счет того, что один из декодеров является субоптимальным, достигается уменьшение сложности и времени декодирования.

Известно, что наименьшую сложность и наибольшую вероятность ошибки декодирования имеет SOVA декодер. Существует ряд работ [7, 9] по улучшению характеристик SOVA декодера. В [9] мягкие решения SOVA декодера предлагается умножить на коэффициент $A = 2\mu_\Lambda / \sigma_\Lambda^2$, где μ_Λ – среднее значение мягких решений, σ_Λ^2 – дисперсия мягких решений. Однако при этом значительно увеличивается сложность декодирования. В [7] предлагается отказаться от вычисления μ_Λ и σ_Λ^2 , используя постоянное значение коэффициента A , что позволяет улучшить характеристики SOVA декодера при сохранении низкой сложности декодирования. Таким образом, целесообразно использование постоянного значения коэффициента A для уменьшения вероятности ошибки декодирования турбо-декодера с различными составляющими декодерами. Кроме того, дополнительное уменьшение вероятности ошибки декодирования может дать изменение на каждой итерации алгоритма декодирования составляющих кодов.

На рис. 1 представлена схема модифицированного турбо-декодера, в ко-

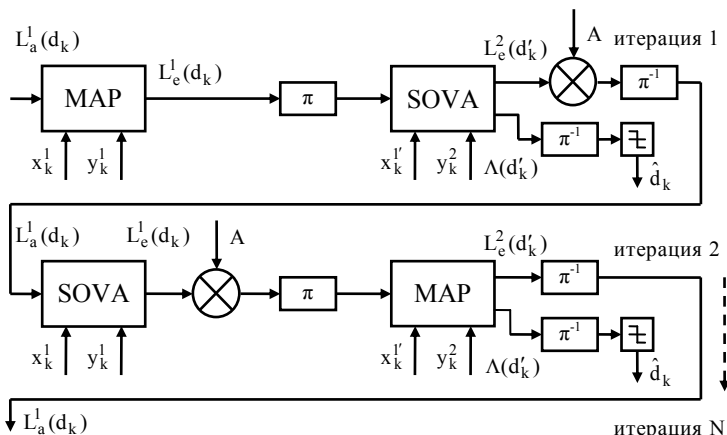


Рис. 1. Схема модифицированного турбо-декодера

тором используются различные составляющие декодеры, а также изменяется на каждой итерации алгоритм декодирования составляющих кодов. При этом мягкие решения SOVA декодера, которые являются априорной информацией для другого декодера, умножаются на постоянный коэффициент A .

Оценка сложности декодирования. Для (n, k) сверточных кодов с памятью v оценка сложности декодирования проведена в [10]. В табл. 1 приведено количество операций для различных декодеров.

Таблица 1

Количество операций

Операции	log-MAP	min-log-MAP	SOVA
Сложение	$6 \cdot 2^k \cdot 2^v + 6$	$4 \cdot 2^k \cdot 2^v + 8$	$2 \cdot 2^k \cdot 2^v + 9$
Умножение	$2^k \cdot 2^v + 6$	$2 \cdot 2^k \cdot 2^v$	$2^k \cdot 2^v$
Нахождение минимального значения	$4 \cdot 2^v - 2$	$4 \cdot 2^v - 2$	$2 \cdot 2^v - 2$
Обращение к таблице	$4 \cdot 2^v - 2$	–	–
Общее количество операций	$2^v(7 \cdot 2^k + 8) + 8$	$2^v(6 \cdot 2^k + 4) + 6$	$2^v(3 \cdot 2^k + 2) + 7$

Общее количество операций турбо-декодера со скоростью $1/3$ оценивается следующим образом [11]:

$$S_{\text{ТД}} = i \cdot (S_1 + S_2 + 4) + 10, \quad (1)$$

где i – количество итераций; S_1 и S_2 – общее количество операций составляющих декодеров.

Используя (1) была проведена оценка общего количества операций модифицированного турбо-декодера. Для сравнения также проведена оценка общего количества операций турбо-декодера с log-MAP, min-log-MAP и SOVA составляющими декодерами. При этом были получены следующие результаты: $S_{\text{SOVA}} \approx 0,4 S_{\text{log-MAP}}$, $S_{\text{min-log-MAP}} \approx 0,7 S_{\text{log-MAP}}$, $S_{\text{Мод}} \approx 0,7 S_{\text{log-MAP}}$. Таким образом $S_{\text{Мод}} \approx S_{\text{min-log-MAP}}$, т.е. общее количество операций модифицированного турбо-декодера и турбо-декодера с min-log-MAP составляющими декодерами приблизительно равно.

Результаты моделирования. С целью подтверждения характеристик модифицированного турбо-декодера было проведено моделирование. Для примера был выбран турбо-код со скоростью $1/3$, составляющими сверточными кодами с памятью $v = 2$, количеством информационных символов 400. При этом составляющие кодеры устанавливаются в нулевое состояние дополнительными хвостовыми последовательностями. Количество итераций 8, глубина декодирования SOVA декодера 18,

переменитель псевдослучайный. Предполагалось, что используется ФМ в канале без памяти с аддитивным белым гауссовым шумом.

На рис. 2 представлена зависимость вероятности ошибки на бит от значения коэффициента A для модифицированного турбо-декодера, полученная путем моделирования при $E_b/N_0=1$ дБ. Из рис. 2 видно, что вероятность ошибки минимальна при $A = 0,6$.

На рис. 3 кривая 6 представляет зависимость вероятности ошибки на бит от отношения E_b / N_0 для модифицированного турбо-декодера при $A = 0,6$. Для сравнения, на этом же рисунке представлены зависимости вероятности ошибки на бит от E_b / N_b для различных составляющих декодеров: 1 – log-MAP составляющие декодеры; 2 – min-log-MAP составляющие декодеры; 3 – SOVA составляющие декодеры; 4 – log-MAP и SOVA составляющие деко-

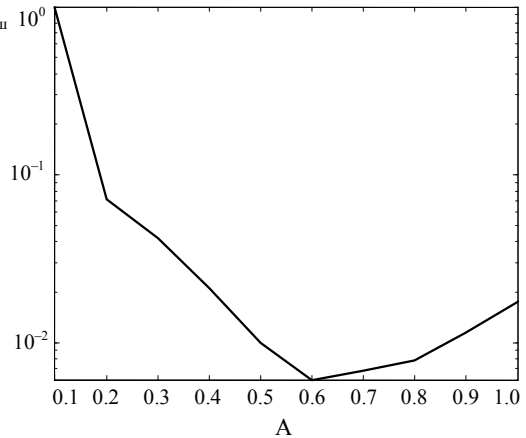


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от коэффициента A

дер; 5 – SOVA составляющие декодеры с умножением мягких решений на коэффициент $A = 0,6$.

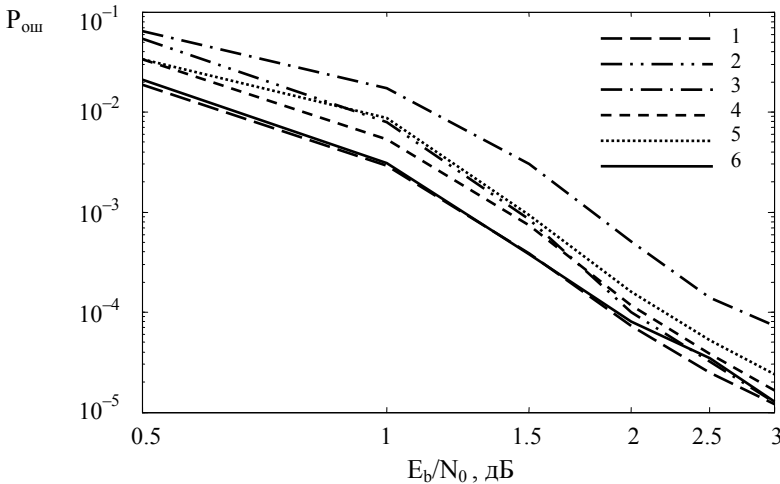


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки от E_b/N_0

Из рис. 3 следует, что проигрыш турбо-декодеру с составляющими log-MAP декодерами незначителен.

Выводы. Научным результатом работы является модифицированный метод декодирования турбо-кодов, особенностью которого является комбинация различных составляющих декодеров в турбо-декодере. С практической стороны это позволяет уменьшить сложность и время декодирования турбо-декодера за счет незначительного увеличения вероятности ошибки декодирования. Направление дальнейших исследований – поиск субоптимальных алгоритмов декодирования, которые могут обеспечить вероятность ошибки декодирования меньше, чем min-log-MAP алгоритм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bahl L., Cocke J., Jelinek F., Raviv J. *Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate // IEEE Trans. Inform. Theory.* – 1974. – V. IT – 20, P. 284 – 287.
2. Berrou C., Glavieux A., Thitumjshima P. *Near Shannon limit error correcting coding: Turbo codes // Int. Conf. on Commun.* – Geneva, Switzerland. – 1993. – P. 1061 – 1070.
3. Pietrobon S S., Barbulescu A.S. *A simplification of the modified Bahl decoding algorithm for systematic convolutional codes // Int. Symp. on Inform. Theory and its Applications, Sydney, Australia, PP. 1073 – 1077, Nov. 1994.*
4. Robertson P., Villebrun E., Hoeher P. *A comparison of optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain // Proc. IEEE Int. Conf. Commun., Seattle, USA, PP. 1009 – 1013, June 1995.*
5. Hagenauer J., Hoeher P. *A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications // Proc. IEEE GLOBLECOM.* – Dallas, USA. – 1989. – P. 1680 – 1686.
6. Jung P. *Novel low complexity decoder for Turbo codes // Electronics Letters.* – Jan., 1995. – P. 67 – 83.
7. Kim D.W., Kwon T.W., Choi J.R., Kong J.J. *A modified two-step SOVA turbo decoder with a fixed scaling factor // IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems.* – Geneva, Switzerland. – 2000, May. – P. 28 – 31.
8. Lin L., Cheng R. *Improvements in SOVA-based decoding for turbo codes // Proc. ICC.* – 1977. – P. 1473 – 1478.
9. Papke L., Robertson P. *Improved decoding with the SOVA in a parallel concatenated (turbo-code) scheme // Proc. of ICC.* – July 1996. – P. 87 – 94.
10. Vucetic B., Yuan J. *Turbo-codes – principles and applications // Kluwer Academic Publishers.* – July 2000. – P. 234 – 243.
11. Hagenauer J. *Applications of iterated (turbo) decoding // Communications Technical University of Munich, Germany.* – P. 24 – 29.

Поступила 23.01.2004

ПРИХОДЬКО Сергей Иванович, к.т.н., доцент, начальник кафедры ХВУ. В 1977 году окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – помехоустойчивое кодирование.

ЖУЧЕНКО Александр Сергеевич, адъюнкт. В 1999 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – помехоустойчивое кодирование.

***ПАРХОМЕНКО Данила Александрович**, адъюнкт. В 1999 году окончил Харьковский военный университет. Область научных интересов – помехоустойчивое кодирование.*
