

УДК 621.391

ДЕКОДИРОВАНИЕ LDPC КОДОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДИКИ СТИРАНИЯ ДЛЯ АЛГОРИТМА UMP-APP

Волков И.Ю., магистрант Рязанского государственного радиотехнического университета,
e-mail: volkov.i.y@tor.rsreu.ru;

Дряхлов А.А., магистрант Рязанского государственного радиотехнического университета,
e-mail: drahlov.a.a@tor.rsreu.ru;

Лихобабин Е.А., к.т.н., доцент Рязанского государственного радиотехнического университета,
e-mail: likhobabin.e.a@tor.rsreu.ru;

Мирохин Е.И., магистрант Рязанского государственного радиотехнического университета,
e-mail: mirohin.e.i@tor.rsreu.ru;

Терехов К.Г., магистрант Рязанского государственного радиотехнического университета,
e-mail: terkhov.k.g@tor.rsreu.ru.

UMP-APP DECODING OF LDPC CODES WITH SELF-CORRECTION MODIFIER

Volkov I.Y., Dryakhlov A.A., Likhobabin E.A., Mirokhin E.I., Terekhov K.G.

In this paper we propose self-correction modifier for the UMP-APP decoding of LDPC codes. Like self-corrected «min-sum» decoding our method modifies the variable nodes processing by erasing unreliable messages. As shown by Monte-Carlo simulations, self-corrected UMP-APP decoding performs better than common UMP-APP decoding.

Key words: forward error correction, LDPC codes, UMP-APP algorithm, self-correction.

Ключевые слова: коррекция ошибок, LDPC коды, алгоритм декодирования UMP-APP, стирание.

Введение

Коды с низкой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check Codes, LDPC) были предложены Р. Галлагером [1] еще в 1963 году, но были забыты почти на 40 лет из-за сложности реализации предложенного Галлагером итеративного алгоритма декодирования этих кодов. Новая волна интереса к LDPC кодам возникла вместе с открытием, так называемых, турбо-кодов [2]. Также как и турбо-коды, LDPC коды позволяют вплотную приблизиться к границе Шеннона [3, 4]. В настоящее время LDPC коды все шире применяются на практике, например, такие коды используют стандарты DVB-T2, DVB-S2, DVB-C2, WiFi, WiMax, IEEE 802.15.3 [5, 6].

Помимо самих LDPC кодов Галлагер предложил несколько алгоритмов их декодирования [1], наиболее известными из которых являются: субоптимальный алгоритм распространения доверия (АРД) [3], также известный как алгоритм «сумма-произведение» (АСП) и алгоритм с инверсией бита (АИБ). АСП работает с мягкими оценками принятых бит и является достаточно сложным с точки зрения практической реализации, что компенсируется превосходным качеством декодирования. В противоположность АСП, АИБ работает с жесткими оценками принятых бит, очень прост с точки зрения реализации, но серьезно проигрывает АСП в качестве декодирования.

В силу сложности реализации АСП, было предложено множество как различных модификаций разработанных

Представлен простой, эффективный с точки зрения качества декодирования метод стирания для алгоритма UMP-APP, с использованием стирания недостоверных бит. Предложено использовать этот подход не только для алгоритма «минимум-сумма», но и для его модификаций. Приведены оценка сложности реализации этого подхода, а также результаты качества декодирования и скорости сходимости рассмотренных алгоритмов.

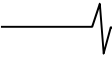
ных Галлагером алгоритмов, так и других, новых способов декодирования LDPC кодов. Существует два основных направления поиска оптимального баланса между качеством декодирования и простотой реализации, это: усложнение АИБ с целью улучшения качества декодирования; упрощение АСП с потерей качества декодирования [7, 8, 9].

В [10] было предложено использовать стирание недостоверных бит (англ. self-correction) в алгоритме «минимум-сумма» (АМС), являющимся упрощенной модификацией АСП. Также было показано [11, 12], что использование стирания недостоверных бит позволяет существенно приблизить качество декодирования алгоритма «минимум-сумма» к качеству декодирования АСП. Дальнейшим упрощением алгоритма АМС является алгоритм вычисления апостериорных вероятностей [13, 14] (ААВ, uniformly most powerful a posteriori probability, UMP-APP).

В статье проводится анализ эффективности использования стирания недостоверных бит применительно к алгоритму ААВ.

Алгоритм АМС со стиранием

Алгоритм АМС со стиранием выполняет те же шаги, что и обычный АМС, но обновление информационных узлов выполняется иначе, по методике которая будет



показана ниже. Далее будем считать, что используется двоичный LDPC код C , для исправления ошибок в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ). При этом кодовое слово кода C обозначим $\mathbf{x} = [x_i]$, где $x_i \in \{0, 1\}$.

Через $s(x) = \mathbf{s} = [s_i]$ обозначим передаваемую последовательность бит, тогда принятый сигнал можно записать в векторной форме как $\mathbf{y} = \mathbf{s} + \mathbf{n}$, $y_i = s_i + n_i$, где n_i – статистически независимая гауссовская случайная величина с нулевым средним и дисперсией $N_0/2$, для $1 \leq i \leq N$.

Пусть правдоподобие принятого бита i – L_i , а сообщения, передаваемые на каждой итерации [4] от узла i к узлу j , обозначим как $L_{i \rightarrow j}$. Для удобства модуль и знак правдоподобия обозначим как

$$\alpha_{i \rightarrow j} = \text{sign}(L_{i \rightarrow j}),$$

$$\beta_{i \rightarrow j} = |L_{i \rightarrow j}|.$$

Тогда алгоритм AMC со стиранием можно представить в следующем виде [8]:

Инициализация

Априорная информация:

$$L_i = y_i.$$

Инициализация информационных узлов:

$$L_{i \rightarrow j} = L_i$$

Итерации

Обновление проверочных узлов:

$$L_{j \rightarrow i} = \min_{i' \in M(j) - \{i\}} \beta_{i' \rightarrow j} \cdot \prod_{i' \in M(j) - \{i\}} \alpha_{i' \rightarrow j}$$

Апостериорная вероятность:

$$L_i^{\text{total}} = L_i + \sum_{j \in N(i)} L_{j \rightarrow i}.$$

Обновление информационных узлов:

$$L_{i \rightarrow j}^{\text{imp}} = L_i^{\text{total}} - L_{j \rightarrow i}$$

если $\text{sign}(L_{i \rightarrow j}^{\text{imp}}) = \text{sign}(L_{i \rightarrow j})$ то $L_{i \rightarrow j} = L_{i \rightarrow j}^{\text{imp}}$,

иначе $L_{i \rightarrow j} = 0$.

Можно заметить, что обнаружение недостоверных сообщений на шаге обновления проверочных узлов выполняется по смене знака сообщения от итерации к итерации. То есть, если сообщение от одного узла к другому меняет свой знак от итерации к итерации, то такое сообщение считается недостоверным и стирается (приравнивается нулю).

Алгоритм AAB

Алгоритм декодирования AAB может рассматриваться как дальнейшее упрощение алгоритма «минимум-сумма» [13, 14], причем упрощается шаг обновления информационных узлов.

Обновление информационных узлов для AAB алгоритма аналогично алгоритму AMC, но вычисляется только одно сообщение для всех проверочных узлов. Разница в обновлении информационных узлов для этих алгоритмов приведена на рис. 1.

Модуль и знак правдоподобия можно обозначить как:

$$\alpha_i = \text{sign}(L_i),$$

$$\beta_i = |L_i|.$$

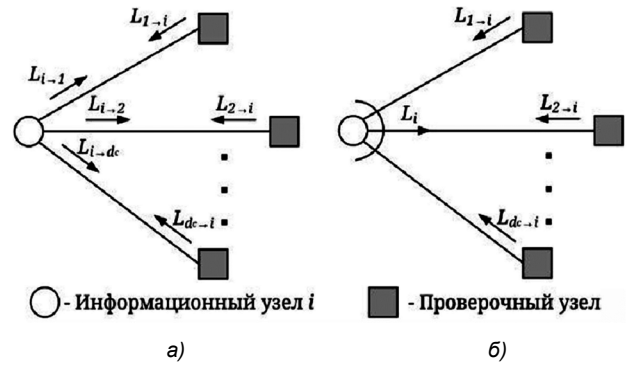


Рис. 1. Обновление информационных узлов для алгоритмов AMC а) и AAB б)

Алгоритм AAB со стиранием

Для алгоритма AAB может быть так же использовано стирание, несмотря на то, что количество сообщений от информационного узла сократилось до одного. Другими словами на шаге обновления информационных узлов по изменению знака по-прежнему можно находить и стирать недостоверные сообщения, как это будет показано ниже.

Инициализация

Априорная информация:

$$L_i = y_i.$$

Итерации

Обновление проверочных узлов:

$$L_{j \rightarrow i} = \min_{i' \in M(j)} \beta_{i'} \cdot \prod_{i' \in M(j)} \alpha_{i'}.$$

Апостериорная информация:

$$L_i^{\text{total}} = |y_i| + \sum_{j \in N(i)} L_{j \rightarrow i}.$$

Обновление информационных узлов:

$$L_i^{\text{imp}} = L_i^{\text{total}}$$

if $\text{sign}(L_i^{\text{imp}}) = \text{sign}(L_i)$ then $L_i = L_i^{\text{imp}}$.

else $L_i = 0, y_i = 0$.

Можно заметить, что шаг обновления информационных узлов алгоритма AAB со стиранием несколько отличается от аналогичного шага алгоритма AMC со стиранием. На этом шаге требуется не только стирание сообщения от информационного узла, но и его достоверности. Однако это независимые операции и можно стирать как недостоверное сообщение (sc-m) или достоверность (sc-r) узла, отсылающего недостоверно сообщение, так и оба значения одновременно (sc-mr). Все эти варианты были рассмотрены в рамках моделирования, и позже будет показано, что наилучшей эффективностью и лучшей сходимостью обладает последний подход, когда одновременно стираются сообщение и достоверность (sc-mr).

Результаты моделирования

В рамках настоящей работы были проведены исследования эффективности и скорости сходимости для двух

LDPC кодов. Первый – хорошо известный по ряду публикаций PEG код (1008, 504) [15], а второй – квазициклический EG (8176, 7156) LDPC код [4]. В обоих случаях максимальное число итераций – 100.

Результаты моделирования для PEG кода представлены на рис. 2 и 3 в сравнении с алгоритмами AMC и APD. Можно заметить, что использование стирания положительно сказалось на эффективности алгоритма AAB, а также то, что выигрыш может быть получен с использованием различных вариантов стирания на шаге обновления проверочных узлов. Однако лучший результат достигается при стирании достоверности и сообщения от недостоверного узла. Этот вариант обозначен на графиках как «sc-mr app».

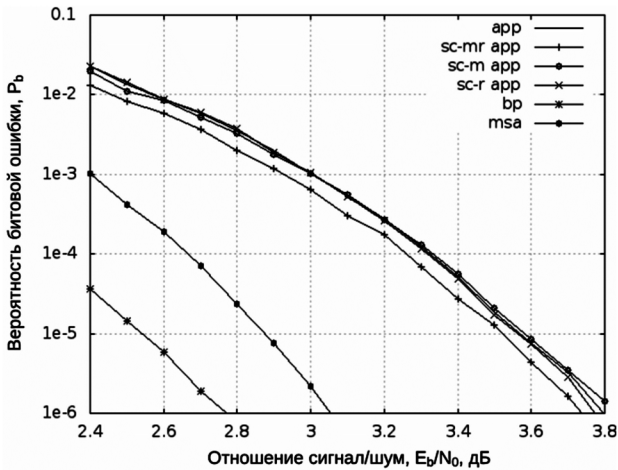


Рис. 2. Эффективность декодирования кода PEG (1008, 504)

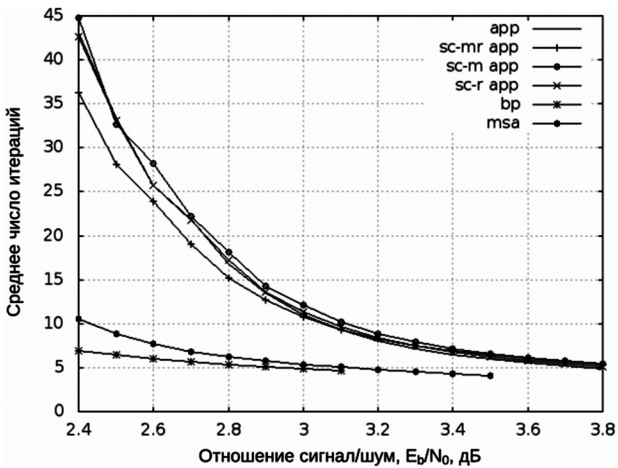


Рис. 3. Среднее число итераций для кода PEG (1008, 504)

Максимальный выигрыш в эффективности декодирования для вероятности битовой ошибки 10^{-5} по сравнению с алгоритмом AAB составляет 0,1 дБ, но все еще проигрывает алгоритмам AMC и APD 0,6 дБ и 1 дБ соответственно. Среднее число итераций по сравнению с AAB алгоритмом снижается для всех отношений сигнал-шум от 0 до 3,2 дБ, и незначительно увеличивается после.

Использование стирания для EG кода даёт похожие результаты, несмотря на то, что EG код имеет большую скорость кодирования. Зависимости эффективности декодирования и среднего числа итераций от отношения сигнал-шум приведены на рис. 4 и 5, соответственно. Для вероятности

битовой ошибки 10^{-5} проигрыш AMC составляет 0,3 дБ, а для APD 0,6 дБ, что меньше чем для PEG кода.

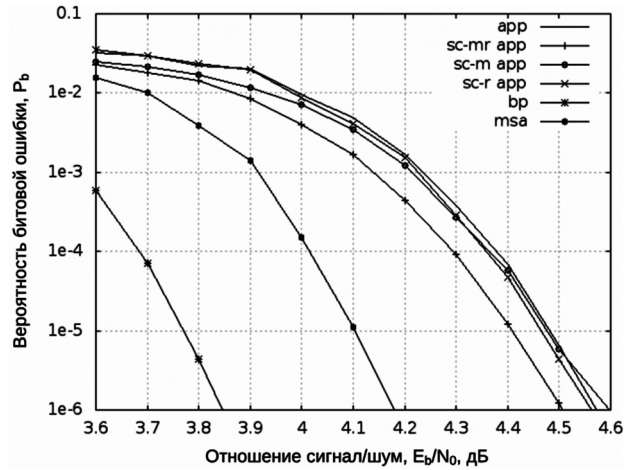


Рис. 4. Эффективность декодирования для кода EG (8176, 7156)

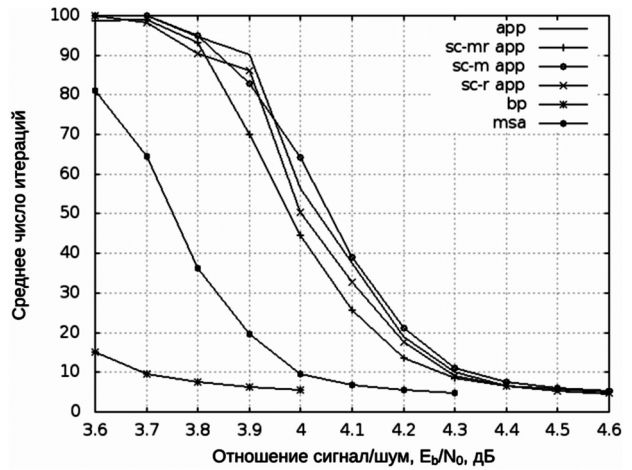


Рис. 5. Среднее число итераций для кода EG (8176, 7156)

Среднее число итераций для заданного отношения сигнал-шум при декодировании EG кода с использованием AAB со стиранием меньше или равно соответствующему значению для обычного AAB алгоритма.

Заключение

Анализ полученных результатов для PEG и EG кодов показывает, что использование стирания положительно влияет не только на алгоритм AMC, но также и на другие итеративные алгоритмы декодирования. В статье был рассмотрен только алгоритм AAB со стиранием, но с большой долей вероятности можно предположить, что стирание возможно использовать как для модификаций алгоритма AAB, так и для других итеративных алгоритмов.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 14-19-01263.

Литература

1. Gallager R.G. «Low-density parity-check codes,» Cambridge, MA: M.I.T. Press, 1963. – 60 p.
2. MacKay D.J.C., Neal R.M. «Near Shannon limit performance of low density parity check codes,» Electron. Lett., vol. 32, no. 18, pp. 1645–1646, Aug. 1996.
3. Richardson T Shokrollahi., A., Urbanke R. «Design of

capacity-approaching irregular low-density parity check codes,» IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, pp. 619–637, Feb. 2001.

4. Ryan W.E., Lin S. «Channel codes. Classical and modern,» Cambridge, University Press, 2009. – 692 p.

5. Johnson S.J. «Iterative Error Correction,» Cambridge, University Press, 2010. – 335 p.

6. Franceschini M., Ferrari G., Raheli R. «LDPC Coded Modulation,» Springer 2009, 196 p.

7. Lu E.H., Chen T.C., Lu P.Y. «Theoretic approach to BP-based WBF decoding algorithm of LDPC codes,» Wireless and Pervasive Computing (ISWPC), 2013 International Symposium on 20-22 Nov. 2013. Taipei.

8. Savin V. «Self-corrected min-sum decoding of LDPC codes,» IEEE International symposium on Information Theory, 2008, – pp. 146-150.

9. Savin V., Declercq D. «Min-Sum-based decoders running on noisy hardware,» IEEE Global Communication Conference, 2013, – pp. 1879-1884.

10. Andrade J., Falcao G., Silva V., Baretto J.P., Goncalves N., Savin V. «Near-LSPA Performance at MSA

Complexity,» IEEE International Conference on Communications, 2013, – pp.3281-3285.

11. Andrade J., Falcao G., Silva V. «Accelerating and decelerating min-sum-based gear-shift LDPC decoders,» Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2015 IEEE International Conference, South Brisbane, 19-24 April 2015, – pp. 3004-3008.

12. Vityazev V.V., Likhobabin E.A. «Using self-correction for min-sum based decoding algorithms of LDPC codes,» 2015 Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), June 2015, pp.93-95.

13. Fossorier M., Mihaljevich M., Imai H. «Reduced complexity iterative decoding of low density parity check codes based on belief propagation,» IEEE Trans. on Comm. – 1999, May, vol. 47. № 5, – pp. 673-680.

14. Chen J., Fossorier M. «Decoding Low-Density Parity Check Codes with Normalized APP-Based Algorithm,» GLOBECOM'01, San Antonio. – 2001, Nov., vol.2, – pp. 1026-1030.

15. <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/codes/d ata.html>: Encyclopedia of sparse graph codes.

НОВЫЕ КНИГИ

Дворкович В.П., Дворкович А.В.

Оконные функции для гармонического анализа сигналов / Издание второе переработанное и дополненное – М.: «Техносфера», 2016 г. – 208 с.: ил.

Содержит подробную информацию о параметрах классических оконных функций, оконных функций, сконструированных различными авторами в виде произведений, сумм и сверток различных функций или в виде отдельных участков известных окон, и их применению для анализа сигналов с использованием БПФ.

Приведены результаты авторской разработки ряда новых высокоэффективных оконных функций. Особое внимание уделено анализу равноволновых окон Дольфа-Чебышева и Барсиллона-Темеша, тождественно аппроксимируемых конечным числом косинусоидальных функций. Рассмотрены принципы обработки ограниченных по спектру сигналов с использованием субполосных дискретных вейвлет-преобразований от второго до пятого порядков и формирование на их базе оконных функций.

Для научных работников, инженеров, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Кошелев В.И., Андреев В.Г., Белокуров В.А.

Современные методы повышения эффективности обнаружения радиолокационных сигналов – М.: «Горячая линия-Телеком», 2016 г. – 154 с.: ил.

Рассмотрены методы построения радиолокационных систем первичной и вторичной обработки сигналов и оценки эффективности их обнаружения и траекторной обработки. Исследованы возможности обнаружения слабых эхосигналов на фоне флуктуирующих мешающих воздействий.

Приведены методики синтеза и оптимизации имитационных моделей радиотражений.

Для специалистов, аспирантов и адъюнктов, студентов старших курсов радиотехнических и инфокоммуникационных специальностей.

