

ВЕРИФИКАЦИЯ LDPC-КОДОВ

Н.В. Астахов, А.В. Башкиров, А.С. Костюков, М.В. Хорошайлова, О.Н. Чирков

В данной статье проводится сравнительный анализ LDPC-кодов с такими кодами, как турбокоды, коды Рида-Соломона и т.п., предоставляются как преимущества, так и недостатки LDPC-кодов по сравнению с вышеперечисленными кодами. В качестве сравнительных данных приведены графики моделирования данных кодов. Также было произведено сравнительное моделирование LDPC-кодов и кодов Рида-Соломона. Конструкции данных кодов являются либо циклическими, либо квазициклическими, благодаря этой особенности можно производить не просто быстрое декодирование информации, но также ускорять кодирование данных. Установлено, что коды LDPC обладают плохими характеристиками при учёте скорости кодирования, это происходит из-за того, что коды Галлагера, имея отличную скорость кодирования, не могут быть свободными кодами с точки зрения данной скорости. Представленные результаты исследований относятся к наилучшим алгоритмам декодирования, которые работают с некантованными решениями демодулятора. Анализируются возможности использования LDPC-кодов в различных стандартах кодирования информации, таких как DVB – S2, DVB – T2 и IEEE 802.3an, а также рассматривается дальнейшее развитие LDPC-кодов, их перспективы использования в будущем в различных способах кодирования данных

Ключевые слова: LDPC-коды, турбокоды, коды Рида-Соломона, стандарты кодирования информации DVB – S2, DVB – T2 и IEEE 802.3an

Введение.* В настоящее время коды LDPC (которые также называют кодами МПП, то есть коды с малой плотностью проверок) занимают одну из важнейших ниш в телекоммуникационном кодировании наравне с турбокодами. Впервые предложенные Р. Галлагером ещё в 1963 году (отсюда второе название кодов – коды Галлагера) они не получили должного развития в своё время из-за сложной структуры составления кодеров и декодеров. Однако с развитием телекоммуникационных технологий возросла необходимость к снижению энергетических затрат на кодирование для повышения передаваемой информации. И в настоящее время коды МПП получили новый виток развития, т.к. обладают всеми необходимыми качествами, а также не защищены патентами, что даёт возможность к их свободному использованию.

Коды Галлагера обладают малым минимальным расстоянием, но зато имеют большую степень исправления ошибок при их небольшой сложности декодирования. Приведены доказательства того, что с ростом длины коды Галлагера приближаются к пропускной способности канала с аддитивным белым гауссовским шумом, и тем самым данные коды превосходят турбокоды по возможностям декодирования. Также следует отметить, что конструкции данных кодов являются либо

циклическими, либо квазициклическими, благодаря этой особенности можно производить не просто быстрое декодирование информации, но также ускорять кодирование данных. Кроме того, следует отметить тот факт, что для кодов Галлагера, которые не обладают свойствами цикличности, также существуют лёгкие способы кодирования.

Как уже отмечалось выше, прямым конкурентом МПП кодов являются турбокоды, и сравнивая их можно выразить как ряд преимуществ LDPC кодов, так и недостатков.

К преимуществам можно отнести:

1. Коды Галлагера имеют преимущество по скорости декодирования в сравнении с турбокодами.

2. Коды Галлагера показывают лучшие характеристики в каналах связи, в которых вероятность ошибки относительно мала.

Использование методов итеративного декодирования к LDPC-кодам позволяет вплотную подобраться к пропускной способности канала при малой сложности реализации. Поэтому во многих стандартах передачи данных коды МПП рекомендованы для исправления ошибок. В частности данные коды применяются в стандартах DVB – S2 (для спутникового телевидения), DVB – T2 (для цифрового наземного телевидения) и в стандарте IEEE 802.3an сети Ethernet 10G в ЕС.

Согласно результатам исследования кодов для включения в стандарты были аргументированы данные преимущества:

- отставание от границы Шеннона всего на 0,6–0,8 дБ;

- преимущество на 0,3 дБ по сравнению с лучшим из исследуемых турбокодов;

- преимущество на 2,5–3,0 дБ, то есть 30% прирост в мощности; [2]

Так, например, в стандарте DVB-T2 функции корректирующего кода выполняет каскадный код, а функции внешнего – блочный код Боуза-

Астахов Николай Владимирович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. 8 (473)243-77-06, e-mail: kipr@vorstu.ru
 Башкиров Алексей Викторович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. 8-952-543-99-88, e-mail: kipr@vorstu.ru
 Костюков Александр Сергеевич – ВГТУ, студент, тел. 8 (473)243-77-06, e-mail: stalkerklon@mail.ru
 Хорошайлова Марина Владимировна – ВГТУ, аспирант, тел. 8-920-415-15-65, e-mail: pmv2205@mail.ru
 Чирков Олег Николаевич – ВГТУ, ассистент, тел. 8 (473)243-77-06, e-mail: kipr@vorstu.ru

Чоудхури-Хоквингема (БЧХ), функции внутреннего кода выполняет МПП код. Следует отметить, что размер входного блока данных для БЧХ кодера зависит от скорости кодирования кода Галлагера и может иметь разную размерность, но размер кодового слова на выходе, после прохождения LDPC-кода всегда имеет размерность 64,8 тыс. бит.

Сравнения характеристик LDPC-кодов применяемых в стандартах DVB-S2, представлены на рис. 1. Как видно из графика, при такой кодовой скорости эффективность МПП кодов приближена к предельной.

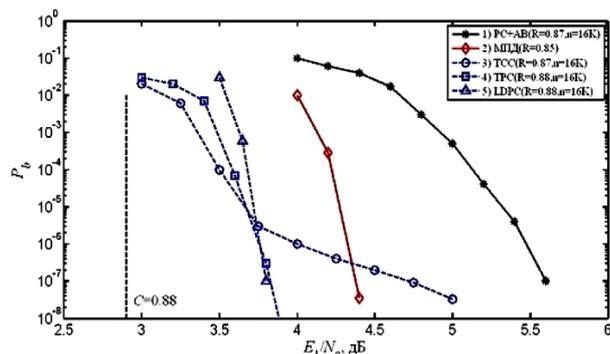


Рис. 1. Характеристики малоизбыточных помехоустойчивых кодов

На графике изображены:

1. PC+AB(R=0.87, n=16000) – характеристики каскадного кода, который состоит из кода Рида - Соломона и сверточного кода с общей скоростью R=0.87 и длиной блока в 16000 битов.
2. Многопороговые декодеры (МПД).
3. TCC (Turbo Convolutional Code).
4. TPC (Turbo Product Code) коды произведения.
5. LDPC-коды [1].

На рис. 2 кривой десять представлены характеристики очень большого кода Галлагера длиной в один миллион битов. На графике видно, что исследуемый код работает на частоте в 0,1 дБ от пропускной способности канала, но к сожалению его практическое применение невозможно из-за сложности реализации. Характеристики кодов Галлагера длиной 2304 и 64800 битов, которые используются в стандартах IEEE802.16e и DVB-S2, представлены на рис. 2 соответственно кривыми одиннадцать и двенадцать. Из графика видно, что исследуемые коды показывают отличные результаты, которые можно сравнить с результатами турбокодов, но при этом реализация кодов Галлагера сравнительно проще турбокодов.

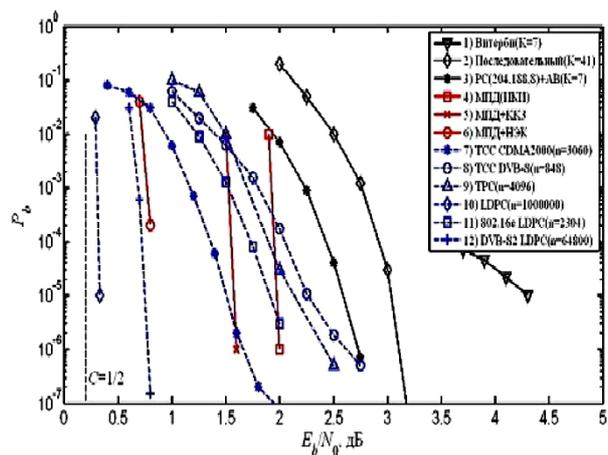


Рис. 2. Характеристики помехоустойчивых кодов

На графике изображены:

1. Декодер Витерби.
2. Последовательный декодер.
3. Код Рида-Соломона (PC).
4. Многопороговые декодеры (МПД).
5. МПД (ИКИ) характеристики сверточного кода с 40 итерациями декодирования декодера МПД.
6. МПД+ККЗ в данном случае МПД используется во внутреннем каскаде.
7. МПД+НЭК МПД алгоритмы каналов с неравномерной энергетикой.
8. TCC (Turbo Convolutional Code).
9. TPC (Turbo Product Code) коды произведения.
10. LDPC-коды [1].

Необходимо заметить, что представленные результаты исследований относятся к наилучшим алгоритмам декодирования, которые работают с неквантованными решениями демодулятора. Аппаратная реализация декодера, к сожалению невозможна, из-за различных ограничений аппаратуры. Если рассматривать простые алгоритмы, которые работают с квантованными на несколько уровней решениями демодулятора, то в таком случае происходят потери от 0,5 до 1 дБ. Результаты многопроходных декодеров и остальных алгоритмов получены с учётом требований к аппаратной реализации.

Также было произведено сравнительное моделирование LDPC-кодов и кодов Рида-Соломона (рис. 3). Результаты данного моделирования показали, что двоичные коды Галлагера имеют лучшие характеристики, чем коды Рида-Соломона. Было выведено правило: чем больше размерность символа и длина кода LDPC, тем лучше эти характеристики.

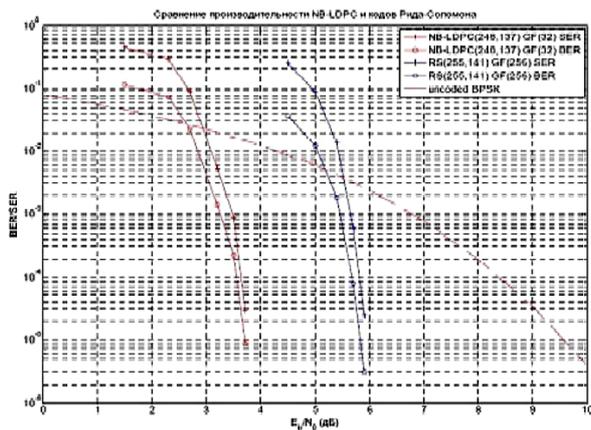


Рис. 3. Сравнение производительности LDPC кодов и кодов Рида-Соломона при средней длине блока

Как видно из представленных выше данных коды МПП позволяют существенно улучшить рабочие характеристики при высокой скорости передачи данных, а также являются предпочтительными из-за того, что они позволяют эффективно исправлять ошибки создаваемыми шумами, которые генерируются в канале передачи, повышая т.о. надёжность передачи данных. Однако коды LDPC обладают плохими характеристиками при учёте скорости кодирования, это происходит из-за того, что коды Галлагера, имея отличную скорость кодирования, не могут быть свободными кодами с точки зрения данной скорости. Также к недостаткам кодов LDPC можно отнести тот факт, что при использовании кодов затруднительно произвести кодирование информации в режиме реального времени, это вызвано чрезмерной сложностью кодирования LDPC кодов. Для того, чтобы обойти данный недостаток был разработан

специальный код повторного накопления, однако данный код имеет ограничение кодов МПП небольшой сложностью кодирования.

Из всего вышеизложенного можно подвести итог, коды LDPC являются одним из ведущих способов кодирования информации (сравнится с которыми и составить ему серьёзную конкуренцию могут только турбокоды), который имеет как свои преимущества, так недостатки. В настоящее время МПП коды активно развиваются, изучаются новые алгоритмы и способы кодирования, что даёт большие перспективы на будущее использование данных кодов в различных стандартах кодирования информации.

Литература

1. Gallager, R.G. (1962): Low density parity check codes, IRE Trans. Info. Theory, Vol. IT-8, pp.21-28.
2. Gallager, R.G. (1963): Low-Density Parity-Check codes, MIT press, Cambridge, MA.
3. Davey, M.; Mackay, D. (1998): Low-density parity-check codes over GF(q), IEEE communication letter., vol.2, no.1, pp. 165-167, January.
4. Башкиров, А.В. Реализация LDPC-декодера на массивно-параллельных вычислительных устройствах [Текст] / А.В. Башкиров, А.Ю. Савинков, М.В. Хорошайлова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2015. - Т. 11. - № 6. - С. 97-99.
5. D. E. Hocevar, «A reduced complexity decoder architecture via layered decoding of LDPC codes,» in IEEE Workshop Signal Process. 2004.
6. J. Huang, S. Zhou, and P. Willett, “Nonbinary LDPC coding for multicarrier underwater acoustic communication,” IEEE J. Sel. Areas Commun., 2008.

Воронежский государственный технический университет

VERIFICATION LDPC OF CODES

N.V. Astahov, Ph.D., assistant professor of design and manufacture of radio, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: kivr@vorstu.ru

A.V. Bashkirov, Ph.D., assistant professor of design and manufacture of radio, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: kivr@vorstu.ru

A.S. Kostyukov, student of design and manufacture of radio, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: stalkerklon@mai.ru

M.V. Horoshaylova, graduate student of design and manufacture of radio, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: kivr@vorstu.ru

O.N. Chirkov, senior Lecturer of design and manufacture of radio, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, e-mail: kivr@vorstu.ru

This article presents a comparative analysis of LDPC codes with codes such as the turbo codes, Reed-Solomon codes, etc., are provided both advantages and disadvantages compared to the LDPC codes over the listed codes. As comparative data shows simulation graphics data codes. As a comparative simulation was made LDPC codes and Reed-Solomon codes. Construction of these codes are either cyclic or quasi-cyclic, thanks to this feature you can not just make a quick decoding of information, but also to accelerate data encryption. Established that LDPC codes exhibit poor performance by taking into account a coding rate, this is due to the fact that Gallager codes, having distinct coding rate, can not be free from the standpoint of the codes given speed. The investigation results are best decoding algorithms that work with unquantized demodulator solutions. The possibility of using the LDPC codes in different standards of coding information, such as DVB - S2, DVB - T2

and IEEE 802.3an, and also considers the development of LDPC codes, their prospects for future use in a variety of ways to encode data

Key words: LDPC codes, a turbo codes, Reed Solomon codes, standards of coding of information of DVB – S2, DVB – T2 and IEEE 802.3an

References

1. Gallager, R.G. (1962):Low density parity check codes,IRE Trans.Info.Theory, Vol. IT-8,pp.21-28.
2. Gallager, R.G. (1963):Low-Density Parity-Check codes, MIT press, Cambridge, MA.
3. Davey, M;Mackay, D. (1998):Low-density parity-check codes over $GF(q)$,IEEE communication letter., vol.2, no.1, pp. 165-167,January.
4. Bashkirov A. V. Realizachij LDPC – decoder na massivno-parallelnix vichislitelnix ystroystvah [Implementation of the LDPC-decoder on the massively parallel computing devices] Voronezh, VSTU 2015. 97-99 pp.
5. D. E. Hocevar, A reduced complexity decoder architecture via layered decoding of LDPC codes,» in IEEE Workshop Signal Process. 2004.
6. J. Huang, S. Zhou, and P. Willett, Nonbinary LDPC coding for multicarrier underwater acoustic communication, IEEE J. Sel. Areas Commun., 2008.