

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА В СХЕМАХ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ КОДИРОВАНИЕМ

Золотарев В.В.¹, Овечкин Г.В.²

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва

²Рязанская государственная радиотехническая академия, г. Рязань

На сегодняшний день теории кодирования известно несколько методов кодирования/декодирования, позволяющих работать вблизи пропускной способности канала [1-4]. Особое место среди них занимают многопороговые декодеры (МПД) [4-9, 14], поскольку они позволяют почти оптимально декодировать даже очень длинные самоортогональные коды (СОК) с линейной от длины кода сложностью исполнения.

Схема МПД сверточного СОК с кодовой скоростью $R=1/2$, кодовым расстоянием $d=5$, длиной кодового ограничения $n_A=14$ и тремя итерациями декодирования $I=3$ представлена на рис. 1. Как видно, МПД является дальнейшим развитием простейшего порогового декодера (ПД) Месси [10]. В основе работы МПД лежит принцип итеративного декодирования, при котором декодер многократно исправляет информационные символы пришедшего из канала сообщения. Отметим, что МПД сохраняет простоту и быстродействие обычного ПД, поскольку каждая итерация декодирования отличается от ПД только наличием «разностного» регистра, в котором отмечаются измененные пороговым элементом (ПЭ) информационные символы.

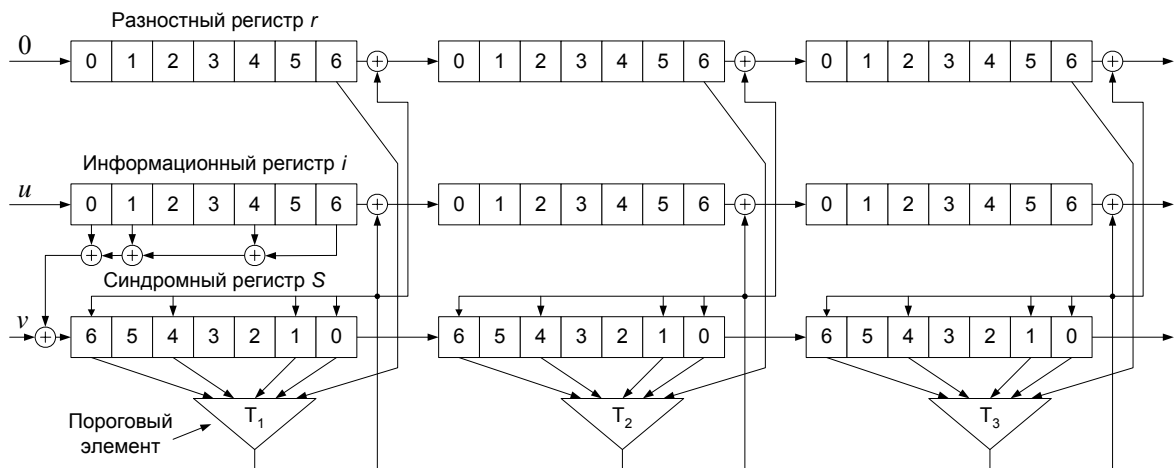


Рис. 1. Схема МПД сверточного СОК с кодовой скоростью $R=1/2$, кодовым расстоянием $d=5$, длиной кодового ограничения $n_A=14$ и тремя итерациями декодирования $I=3$

На рис. 2 представлены характеристики МПД в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) при использовании квантования на 16 уровней для нескольких СОК с кодовым расстоянием $d=9$, выбранных в соответствии с критерием минимизации эффекта размножения ошибок (РО). При получении данных графиков использовалось от 5 до 15 итераций декодирования. Для сравнения на рисунке пунктирными линиями представлены графики зависимости вероятности ошибки оптимального декодера для данных кодов. Как следует из представленных графиков, применение МПД для декодирования кодов с малым РО обеспечивает почти оптимальное декодирование, что позволяет получить энергетический выигрыш кодирования (ЭВК) более 7 дБ при $P_b=10^{-5}$. Заметим, что такие результаты недостижимы при использовании практически реализуемого оптимального алгоритма Витерби [11] из-за экспоненциально растущей при увеличении конструктивной длины кода сложности его реализации.

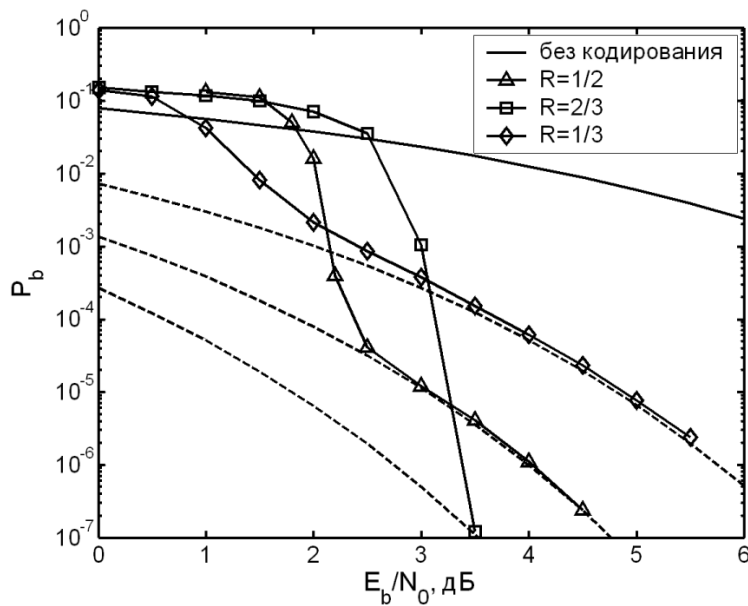


Рис. 2. Характеристики МПД в канале с АБГШ

Один из способов дальнейшего повышения эффективности МПД состоит в его использовании в составе различных каскадных кодах. Как показано в [13] добавление к СОК, декодируемому с помощью МПД, внешнего кода с контролем четности позволяет уменьшить вероятность ошибки декодирования в 10–100 раз. К сожалению, данный способ позволяет улучшить характеристики МПД только в области его эффективной работы.

Для приближения границы эффективной работы МПД к пропускной способности канала возможно его применение в схемах параллельного кодирования [12]. В основе построения данных схем лежит выделение в СОК C_0 с кодовым расстоянием d_0 и кодовой скоростью r_0 некоторого составляющего кода C_1 с кодовой скоростью $r_1 > r_0$, тоже являющегося СОК. Кодовое расстояние d_1 выделенного кода выбирается значительно меньшим d_0 , и, следовательно, область его эффективной работы будет ближе к границе Шеннона. При декодировании параллельного кода сначала выполняются несколько итераций декодирования составляющего кода C_1 , позволяющие примерно на порядок снизить вероятность ошибки в принятой из канала информационной последовательности, после чего в процесс декодирования включается оставшаяся часть кода C_0 . Отличительной особенностью данной схемы кодирования является то, что здесь внешний код работает с кодовой скоростью r_0 , в то время как в обычных каскадных кодах кодовая скорость внешнего кода близка к единице. Данное свойство обеспечивает существенное преимущество МПД перед другими каскадными конструкциями.

Для примера на рис. 3 представлены результаты моделирования схем с параллельным кодированием в канале с АБГШ для СОК с $r_0=6/12$, $d_0=13$ и $r_0=5/10$, $d_0=15$. В параллельном коде с $d_0=13$ в данном случае был выделен внешний код с $r_1=6/11$, $d_1=7$, а в коде с $d_0=15$ был выделен код с $r_1=5/9$, $d_1=9$. Кривые «составляющий» на рисунках отражают вероятность ошибки на выходе выделенных кодов параллельной схемы. Пунктирными линиями без маркеров на данных рисунках показаны вероятности ошибки оптимального декодирования кодов с $d=7, 9, 11, 13$ и 15 . Для сравнения на рис. 3 также показаны характеристики декодируемых с помощью МПД обычных СОК с аналогичными d и r . Как следует из анализа представленных графиков, применение параллельного кодирования позволяет приблизить границу эффективной работы МПД к пропускной способности канала примерно на 0,5 дБ.

Важно отметить, что сложность реализации МПД при параллельном кодировании (в смысле количества выполняемых операций) оказывается даже меньше сложности обычного МПД, по-

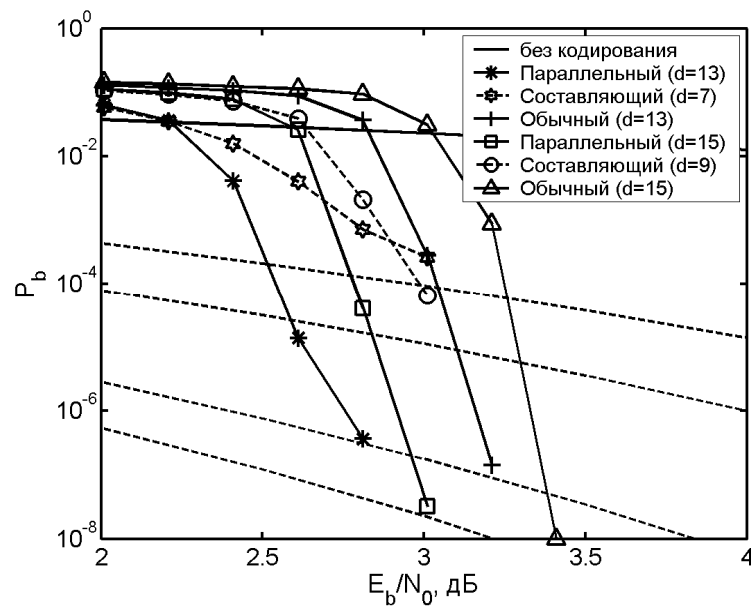


Рис. 3. Результаты моделирования параллельного кода на базе МПД в канале с АБГШ

скольку в данном случае на первых итерациях декодирования некоторые элементы синдромного регистра просто не участвуют в процессе вычисления суммы на пороговом элементе.

Литература

1. 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.
2. Divsalar D., Jin H., McEliece R. J., "Coding theorems for 'turbo-like' codes," in Proc. 36th Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing. Allerton, Illinois, Sept. 1998. – P. 201–210.
3. Jin H., Khandekar A., McEliece R., "Irregular repeat-accumulate codes," Proc. 2nd Int. Symp. on Turbo Codes and Related Topics, Brest, France, Sept. 2000. – P. 1–8,
4. Zolotarev V.V., "The Multithreshold Decoder Performance in Gaussian Channels," // In Proc.: 7-th International Symposium on Communication Theory and Applications, held on 13-18 July 2003, St. Martin's College, Ambleside, UK, 7ISCTA'03, P. 18–22.
5. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Эффективные алгоритмы помехоустойчивого кодирования для цифровых систем связи // Электросвязь. – 2003. – № 9. – С. 34–37.
6. Самойленко С.И., Давыдов А.А., Золотарев В.В., Третьякова Е.И. Вычислительные сети – М.: Наука, 1981.
7. Золотарев В.В. Использование помехоустойчивого кодирования в технике связи // Электросвязь – 1990. – № 7. – С. 7–10.
8. Золотарев В.В. Реальный энергетический выигрыш кодирования для спутниковых каналов // В кн.: 4-я Международная Конференция «Спутниковая связь – ICSC-2000» – М.: МЦНТИ, 2000. – Т. 2. – С. 20–25.
9. Золотарев В.В. Коды и кодирование – М.: Знания, 1990. – 64 с.
10. Месси Дж. Пороговое декодирование // Пер. с англ. Ю.Л. Сагаловича под ред. Э.Л. Блоха – М.: Мир, 1966. – 208 с.
11. Витерби А. Границы ошибок для сверточных кодов и асимптотически оптимальный алгоритм декодирования // Некоторые вопросы теории кодирования – М., 1970. – С. 142–165.
12. Золотарев В.В. Параллельное кодирование в каналах СПД // В сб.: «Вопросы кибернетики» – М., 1986. – ВК-120,
13. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Использование многопорогового декодера в каскадных схемах // Вестник РГРТА. – 2003. – Вып. 11. – С. 112–115.
14. www.mtdbest.iki.rssi.ru

USAGE OF THE MULTITHRESHOLD DECODER IN THE PARALLEL CONCATENATED CODING SCHEMES

Abstract. The multithreshold decoder allows near optimum decoding for long linear codes with very low complexity even. This article deals with the way of multithreshold decoder usage for decoding of concatenated code which is constructed with two (or more) parallel concatenated self-orthogonal codes. It is shown this way allows to improve the coding gain about 0,5 dB at bit error rate of 10^{-5} without any complications of the multithreshold decoder.