

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) Мессе [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.

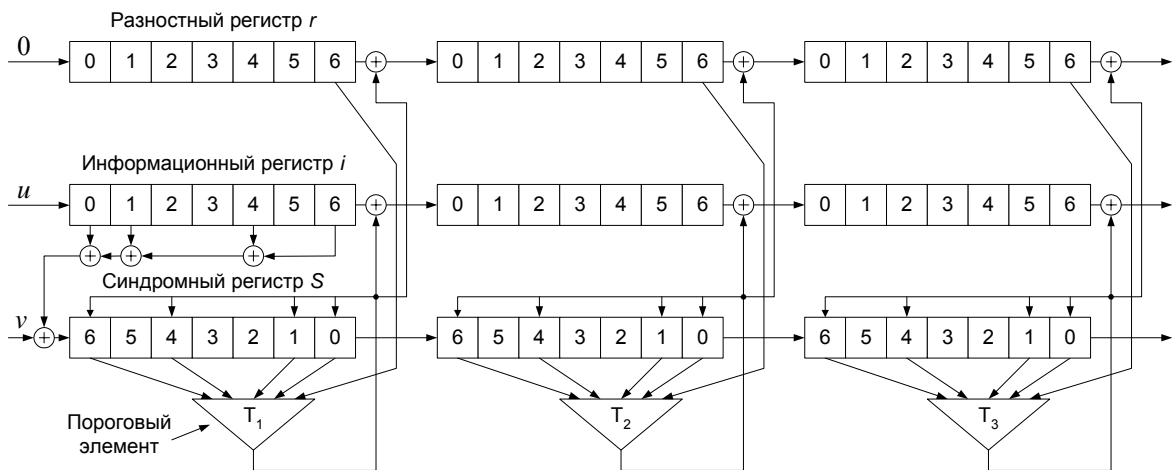


Рис. 1. Схема МПД сверточного СОК с кодовой скоростью $R=1/2$, кодовым расстоянием $d=5$, длиной кодового ограничения $n_A=14$ и тремя итерациями декодирования $I=3$

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.

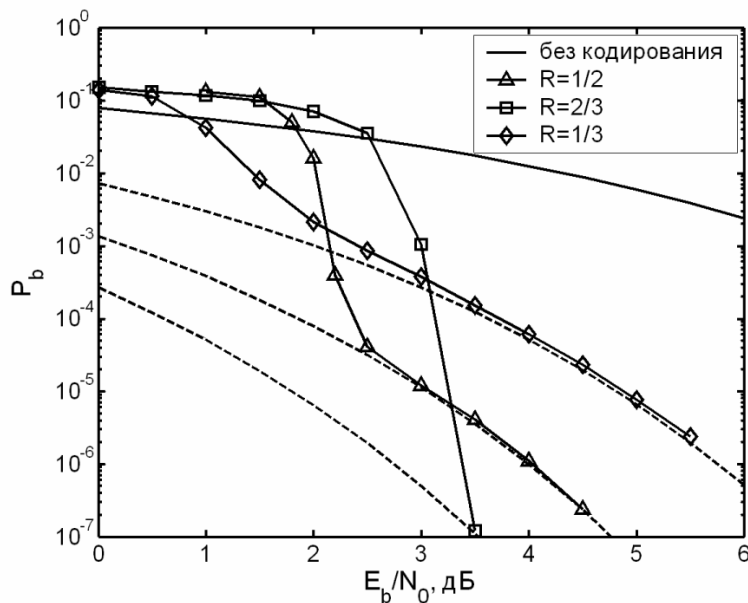


Рис. 2. Характеристики МПД в канале с АБГШ

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

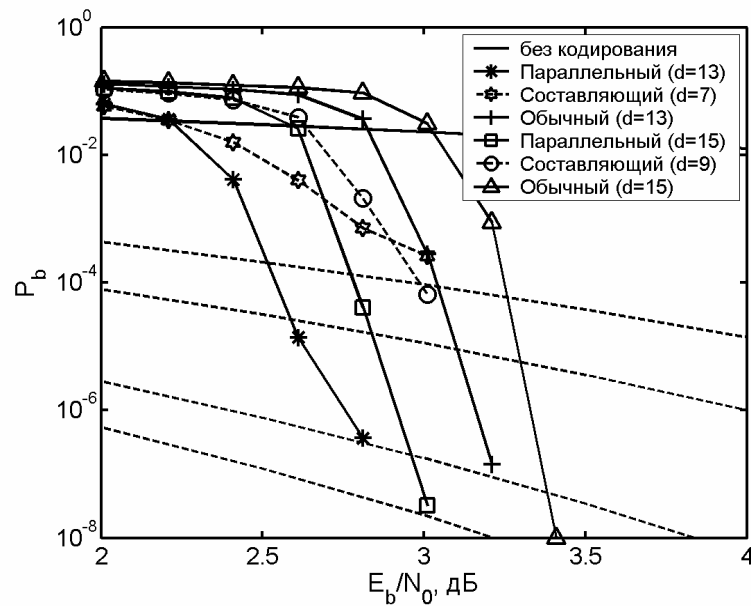


Рис. 3. Результаты моделирования параллельного кода на базе МПД в канале с АБГШ

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