

Золотарев В.В., Овечкин Г.В.

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДЕРА В СЛОЖНЫХ СХЕМАХ КОДИРОВАНИЯ

(г. Москва, Институт космических исследований РАН,
г. Рязань, Рязанская государственная радиотехническая академия)

На сегодняшний день теории помехоустойчивого кодирования известно несколько методов кодирования/декодирования, обладающих высокой эффективностью [1]. Особое место среди них занимают многопороговые декодеры (МПД) [1,2], поскольку они позволяют почти оптимально декодировать очень длинные коды с линейной от длины кода сложностью исполнения. Высокие характеристики МПД способствуют его широкому применению в составе различных кодовых конструкций, поскольку эффективность последних непосредственно связана с эффективностью их составных элементов. Среди возможных приложений МПД следует выделить такие схемы кодирования, как параллельные коды, коды с неравномерной энергетикой и коды с выделенными ветвями. Несмотря на то, что отдельное использование каждого из данных подходов приводит лишь к незначительному (0.3÷0.7 дБ) повышению эффективности по сравнению с обычным МПД, совместное применение этих схем позволяет добиться превосходных результатов.

Особое место среди кодовых схем на базе МПД занимает каскадирование с кодами контроля по четности (ККЧ) [3], использование которых также позволяет повысить эффективность применения кодирования. Особенность данной схемы заключается в том, что такое каскадирование практически не требует дополнительных затрат на оборудование (в схему кодирования требуется добавить лишь один сумматор по модулю 2), тогда как использование в каскадном коде, например, кодов Рида-Соломона несравненно сложнее.

Рассмотрим принцип работы декодера каскадного кода, внешним кодом которого является ККЧ, а внутренним – самоортогональный код (СОК), декодируемый с помощью МПД. При этом длину n_1 ККЧ необходимо выбирать достаточно большой (порядка 25÷100) для того, чтобы потери в энергетике из-за уменьшения общей кодовой скорости были не большими.

На первом этапе, как в любом каскадном коде, осуществляется декодирования принятой из канала последовательности с помощью декодера внешнего кода, т.е. МПД. Пусть после последней итерации МПД помнит все суммы проверок относительно всех декодированных символов. Тогда для исправления одиночных ошибок с помощью ККЧ для всех n_1 символов блока данного кода вычисляется достоверность решения $\Delta_i = |m_i - T|$, где m_i – сумма проверок относительно i -го символа, T – значение порога на пороговом элементе последней итерации декодирования, $i=1..n_1$. Затем, в случае обнаружения с помощью ККЧ ошибки (т.е. в случае отличия от нуля суммы элементов блока ККЧ по модулю 2), исправляется символ, достоверность Δ_i которого минимальна. Если есть несколько символов с минимальной достоверностью, то изменение символов не производится.

На рис. 1 представлены верхние оценки вероятностей ошибки в двоичном симметричном канале (ДСК) при использовании двоичной фазовой модуляции для СОК с $d=7, 9, 11$ (здесь и далее считается, что данные СОК декодируются с помощью МПД) и каскадной схемы на его основе (длина ККЧ $n_1=25$). Методика получения данных оценок подробно рассмотрена в [3]. На этом же рисунке показаны результаты моделирования каскадного кода на базе СОК с $R=1/2$, $d=7$ и $d=9$. Заметим, что использование примитивного ККЧ совместно с СОК позволило получить дополнительный энергетический выигрыш порядка 1÷1.5 дБ при вероятности ошибки на выходе декодера $P_b=10^{-5}$.

Эффективность работы каскадной схемы, состоящей из тех же СОК и ККЧ с $n_1=50$, в канале с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) отражена на рис. 2. Как видно, и в данном случае каскадный код оказывается значительно лучше некаскадного. Следует отметить, что при получении представленных графиков ККЧ использовался на нескольких итерациях декодирования, тем самым, как бы «помогая» МПД при декодировании внутреннего СОК. Также отметим, что каскадный код, состоящий из кода Рида-Соломона (255, 223, 33) и

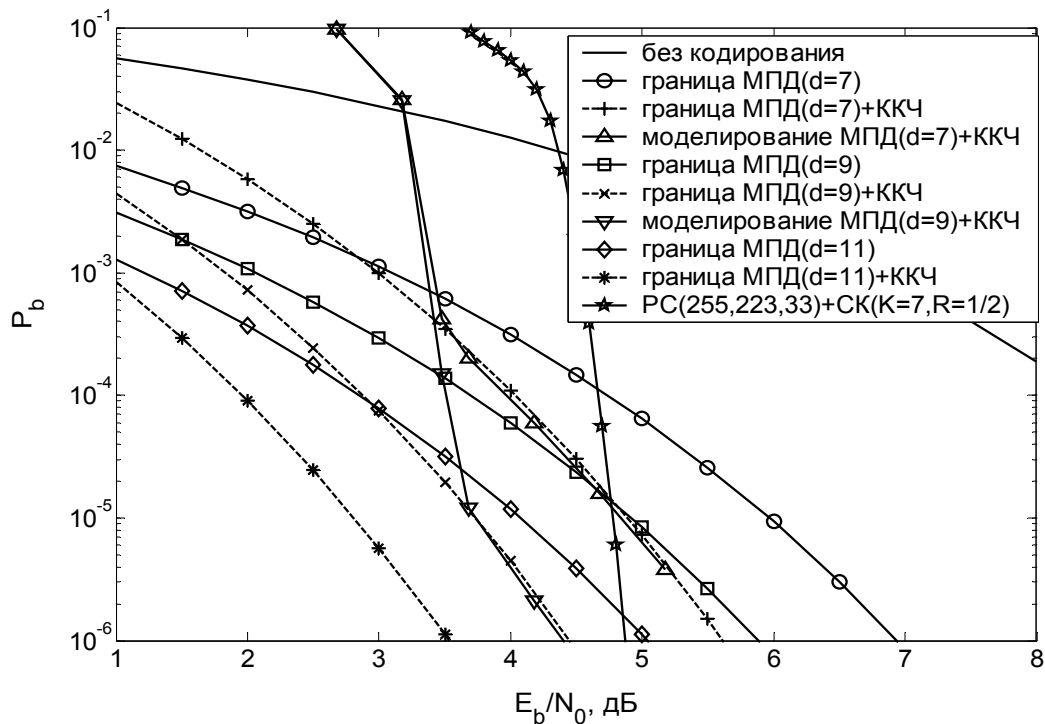


Рис. 1. Оценка эффективности и результаты моделирования каскадного кода на базе МПД в ДСК

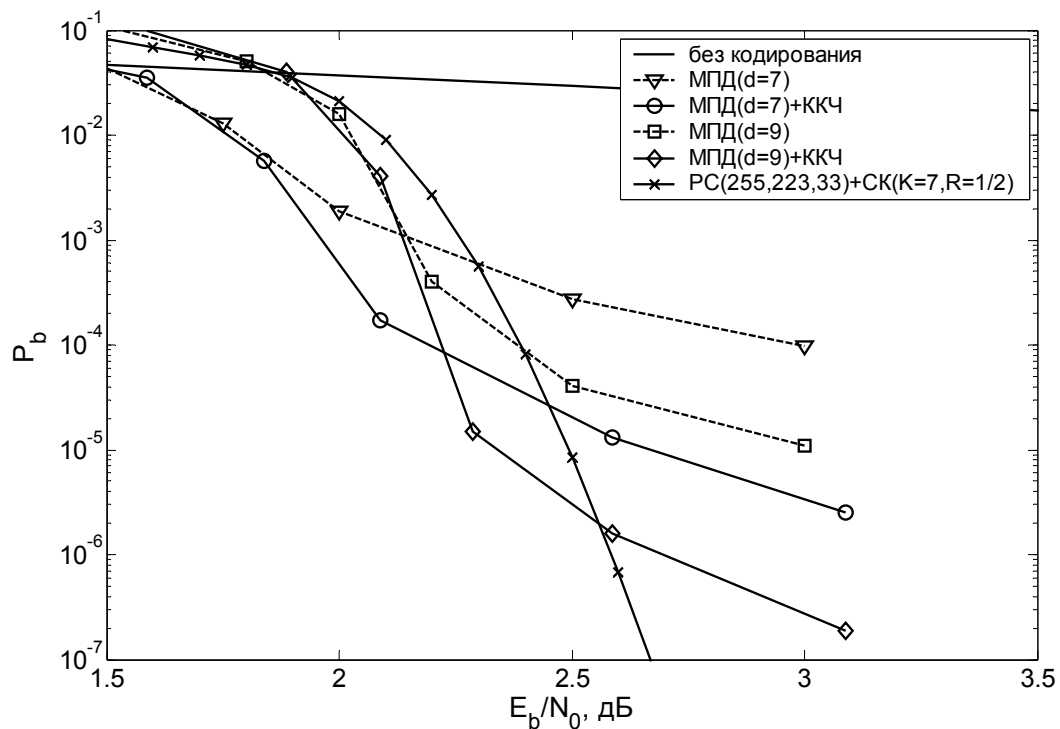


Рис. 2. Оценка эффективности и результаты моделирования каскадного кода на базе МПД в канале с АБГШ

сверточного кода с длиной кодового ограничения $K=7$ и кодовой скоростью $R=1/2$, декодируемый с помощью оптимального алгоритма Витерби, даже при меньшей кодовой скорости ($R \approx 0.46$) уступает каскадной схеме на базе МПД в широком диапазоне вероятностей ошибки декодирования P_b . 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 ранее упомянутых схемах параллельного кодирования [4]. В основе построения данных схем лежит выделение в самоортогональном коде 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 самоортогональным. 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 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 и 4 представлены результаты моделирования схем с параллельным кодированием в ДСК и 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 данных рисунках отражают вероятность ошибки на выходе выделенных кодов схемы. Для сравнения на рис. 3 и 4 также показаны характеристики декодируемых с помощью МПД обычных СОК с аналогичными d и R .

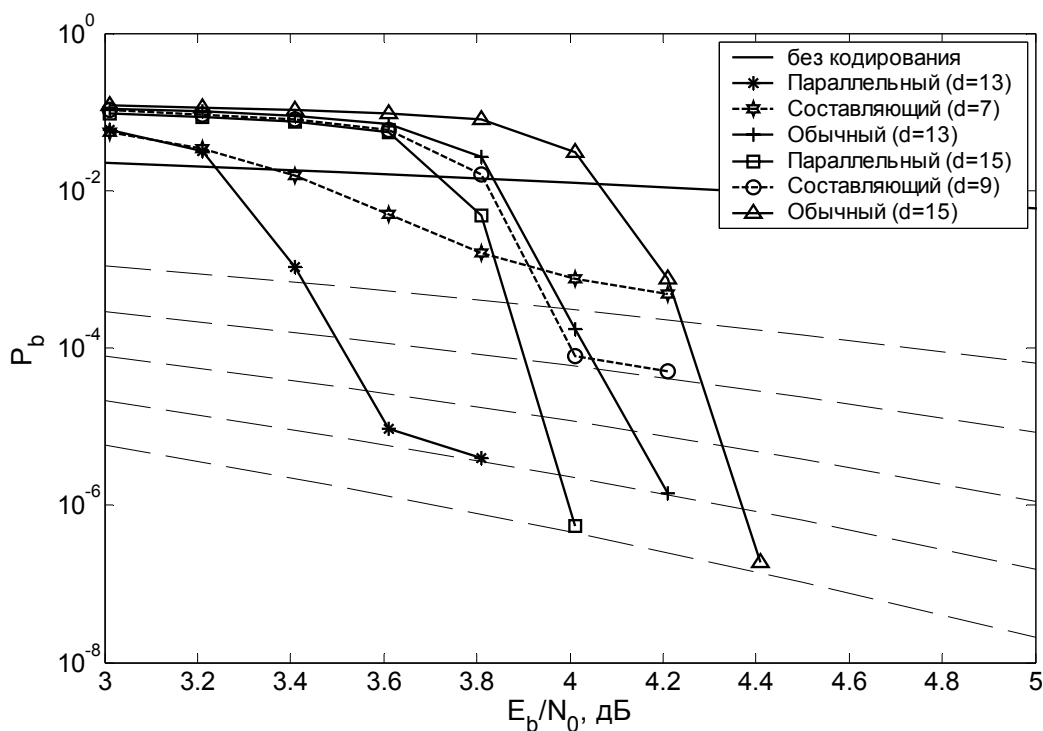


Рис. 3. Оценка эффективности и результаты моделирования параллельного кода на базе МПД в ДСК

Как следует из анализа представленных графиков, применение параллельного кодирования позволяет приблизить границу эффективной работы МПД к пропускной способности канала примерно на 0.5 дБ.

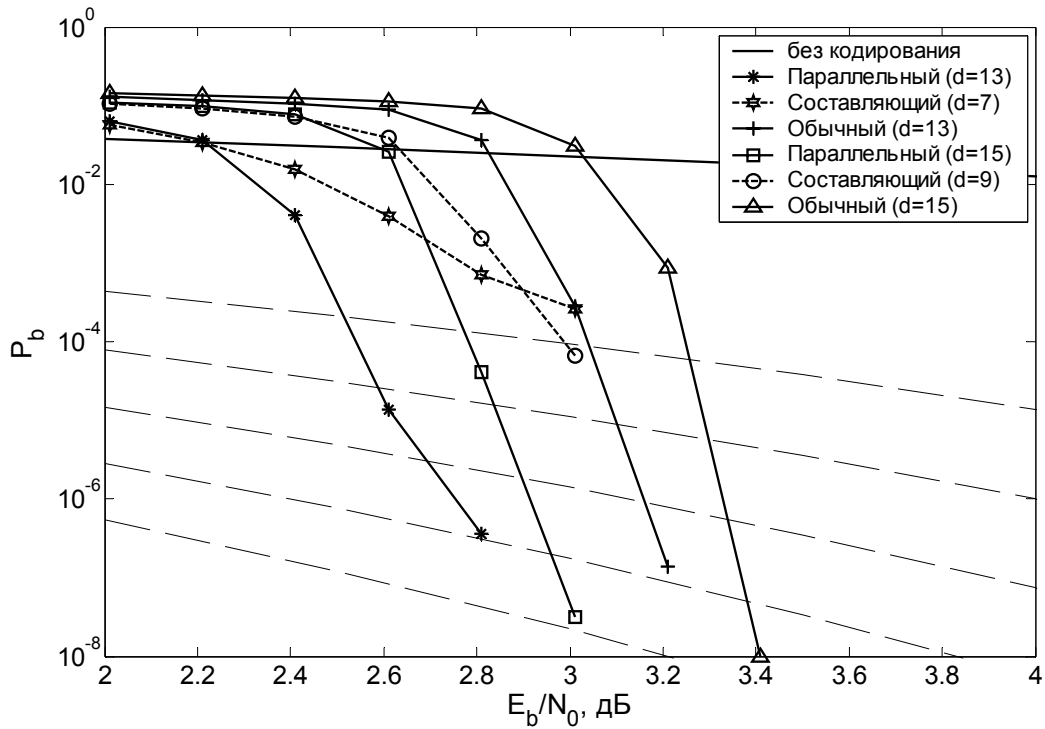


Рис. 4. Оценка эффективности и результаты моделирования параллельного кода на базе МПД в канале с АБГШ

Литература

1. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Эффективные алгоритмы помехоустойчивого кодирования для цифровых систем связи // Электросвязь. 2003, №9. С.34-37.
2. Золотарёв В.В. Эффективные многопороговые алгоритмы декодирования // АН СССР, Научный совет по комплексной проблеме "Кибернетика", препринт, М., 1981. С. 75.
3. Золотарёв В.В., Овечкин Г.В. Использование многопорогового декодера в каскадных схемах // Вестник РГРТА. 2003. Вып. 11. С. 112-115.
4. Золотарев В.В. Параллельное кодирование в каналах СПД. – В сб.: «Вопросы кибернетики», ВК-120, М., 1986.