

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**Тульский государственный университет**

**ИНТЕЛЛЕКТ-2016**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ**  
**СИСТЕМЫ**

Труды Всероссийской научно-технической конференции  
(23 – 25 ноября 2016 г., г. Тула)

Тула 2016

Д.С. Демидов, Г.В. Исаев, Г.В. Овечкин

## АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ-ШУМ В КАНАЛЕ СВЯЗИ В СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ С МНОГОПороговым ДЕКОДЕРОМ

Рязань, Рязанский государственный радиотехнический университет

Последние десятилетия ознаменовались активным развитием алгоритмов помехоустойчивого кодирования, которое было мотивировано быстрым ростом популярности цифровых технологий. Одним из наиболее эффективных решений проблемы помехоустойчивого кодирования при высокой энергетической характеристике систем кодирования являются многопороговые декодеры (МПД) [1] самоортогональных кодов (СОК), которые позволяют декодировать очень длинные коды с линейной от длины кода сложностью исполнения.

МПД СОК обладают большим числом настраиваемых параметров, значения которых во многом определяются состоянием канала связи. Например, при большом шуме нужно использовать более мощный код с большим числом итераций декодирования, а при малом шуме можно использовать менее мощный код с меньшим числом итераций декодирования. Это позволяет адаптировать кодер и декодер под состояние канала связи, например, как было предложено в [2]. Но для того чтобы выполнить такую адаптацию, нужно знать, какое отношение сигнал-шум (ОСШ) имеется в канале связи. Подобную информацию кодер от других устройств получить в некоторых случаях не может. Поэтому актуальной является задача самостоятельного определения декодером ОСШ (или вероятности ошибки) в канале связи по принятому потоку данных.

Из анализа принципов работы МПД [1] следует, что в его синдромном регистре перед выполнением первой итерации декодирования хранится разность между проверочными символами, полученными на основе принятых из канала информационных символов, и принятыми из канала проверочными символами. Тогда значение элемента синдрома равно нулю, если эти символы совпадают, и единице в противном случае. Очевидно, что доля единиц в синдроме зависит от ОСШ в канале связи, т.е. чем меньше ОСШ, тем больше единиц в синдроме и наоборот. Соответственно ОСШ можно оценить исходя из доли единиц в синдромном регистре.

Получим математические соотношения, связывающие долю единиц в синдроме и ОСШ. Пусть у нас есть СОК с кодовой скоростью  $R=nu/(nu+nv)$ , в котором есть  $nu$  информационных ветвей и  $nv$  проверочных ветвей. Соответственно на приемной стороне можно вычислить  $nv$  синдромов (по одному на каждую проверочную ветвь). Данные синдромы могут отличаться числом символов, участвующих в их формировании, и, соответственно, в них будут разные вероятности появления единичек. Поэтому вероятности единиц (или вероятности невыполнения проверки) в данных синдромах нужно считать отдельно.

Запишем выражение, связывающее вероятность невыполнения проверки в синдроме с вероятностью появления ошибки в канале. Это выражение определяет вероятность наличия нечетного числа ошибок во всех элементах, участвующих в формировании проверки:

$$P_s = \sum_{i=0}^{\lfloor M/2 \rfloor} C_M^{2i+1} P_0^{2i+1} (1-P_0)^{M-(2i+1)}, \quad (1)$$

где  $M$  – размерность элемента синдрома, равная числу символов, участвующих в его формировании;  $P_0$  – вероятность ошибки в гауссовском канале.

Отметим, что вероятность невыполнения проверки зависит от вероятности ошибки в канале. Следовательно, оценив  $P_S$  по принятому сообщению для каждой из ветвей синдрома, можно найти оценку вероятности ошибки в канале  $P_0$ .

Также известно, что, например, для гауссовского канала при использовании двоичной ФМ между вероятностью ошибки  $P_0$  и безразмерным отношением сигнал-шум SNR есть зависимость, определяемая выражением:

$$P_0 = Q(\sqrt{2SNR}), \quad (2) \text{ где}$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3)$$

интеграл ошибок.

Тогда, зная оценку для  $P_0$ , можно оценить безразмерное ОСШ SNR в канале связи. Далее в соответствии с выражением

$$E_s/N_0 = 10 \lg(SNR) = 10 \lg\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right) \quad (4)$$

можно получить символьное ОСШ в дБ.

Далее выполним анализ эффективности предложенного алгоритма на примере оценки с его помощью вероятности ошибки в канале связи. Для этого выполним моделирование работы МПД в канале с АБГШ при использовании модуляции типа QPSK для отношения сигнал-шум на бит равного 3 дБ. Это ОСШ соответствует вероятности ошибки в канале  $P_0=0.07890$ . При моделировании использовались сверточные самоортогональные коды с кодовой скоростью 1/2 и кодовым расстоянием равным 3, 5, 7, 9, 11, для которых размерность элементов синдрома так же равна 3, 5, 7, 9, 11. При моделировании в синдроме МПД оценивалась вероятность невыполнения проверки как отношение числа невыполненных проверок к общему числу проверок и далее с помощью метода половинного деления решалось уравнение (1) относительно переменной  $P_0$ . На рис. 1, рис. 3, рис. 5, рис. 7, рис. 9 представлена зависимость оценки вероятности ошибки в канале, полученной с помощью предложенного алгоритма, от длины используемого синдромного регистра (или длины окна, в котором оценивается вероятность ошибки проверки) для кодов с  $d=3, 5, 7, 9$  и 11 соответственно. Отметим, что оценки получены на одних и тех же передаваемых данных и на одинаковых потоках ошибок. На этих же рисунках для сравнения прямой линией указано точное значение вероятности ошибки в канале. Дополнительно на рис. 2, рис. 4, рис. 6, рис. 8, рис. 10 указан график зависимости относительной ошибки оценки вероятности ошибки в канале

$$e_0 = \frac{|\hat{P}_0 - P_0|}{P_0} \quad (5)$$

от длины окна для тех же кодов. Из рисунков следует, что для данных условий начиная с длины окна около 70000 битов оценка отличается от точного значения вероятности ошибки не более, чем на 1 %. Также отметим, что чем меньше кодовое расстояние используемого кода, т.е. чем меньше размерность проверки, тем быстрее график оценки ошибки сходится к ее точному значению. Следовательно, нужно оценивать уровень шума по синдромным ветвям с малой размерностью проверок.

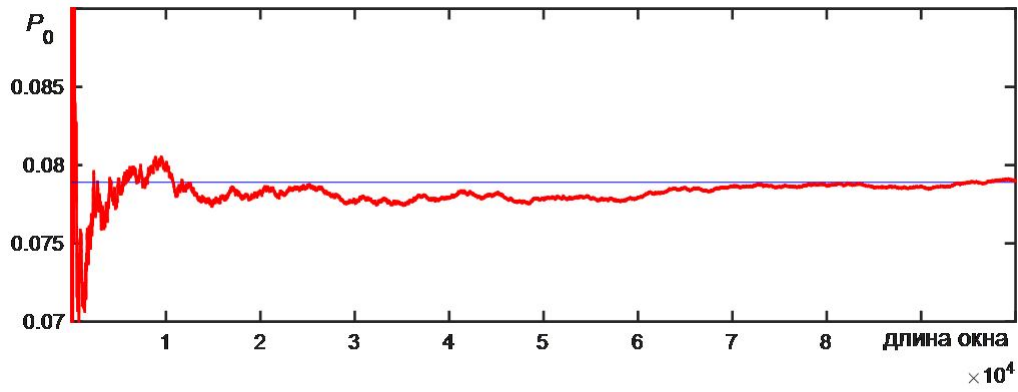


Рис. 1. Оценка значения вероятности ошибки для кода с  $d=3$ ,  $R=1/2$

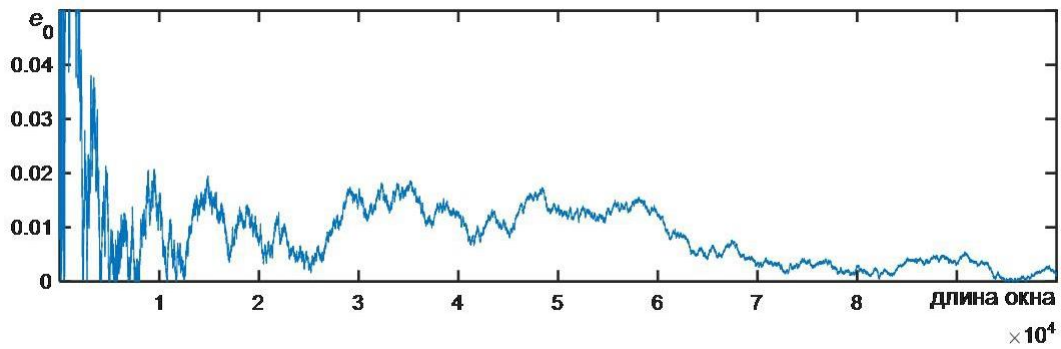


Рис. 2. Относительная ошибка оценки значения вероятности ошибки для кода с  $d=3$ ,  $R=1/2$

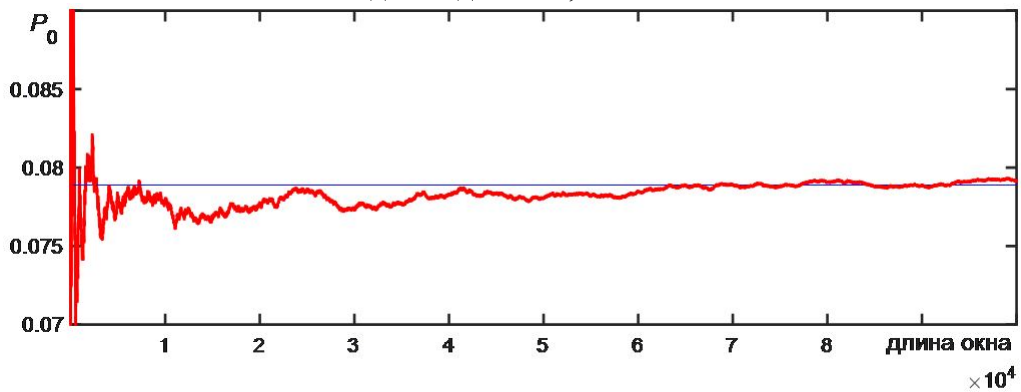


Рис. 3. Оценка значения вероятности ошибки для кода с  $d=5$ ,  $R=1/2$

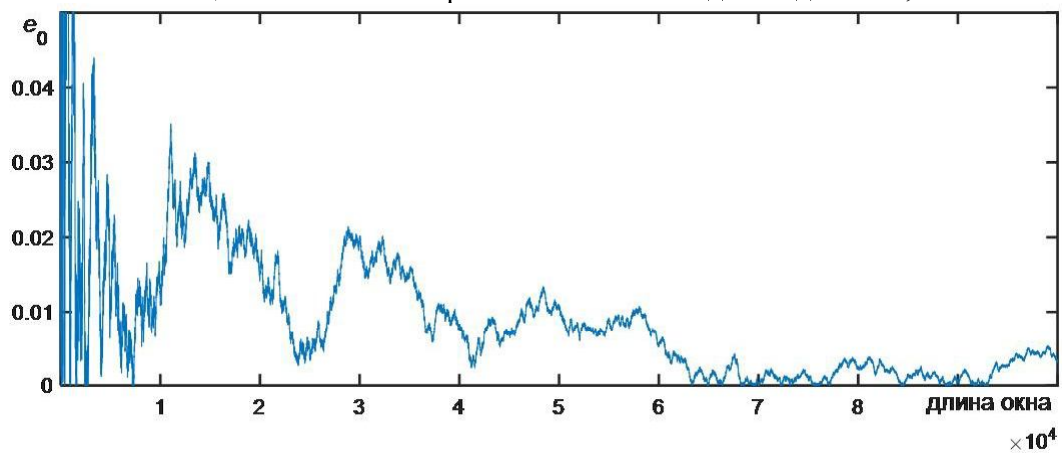


Рис. 4. Относительная ошибка оценки значения вероятности ошибки для кода с  $d=5$ ,  $R=1/2$

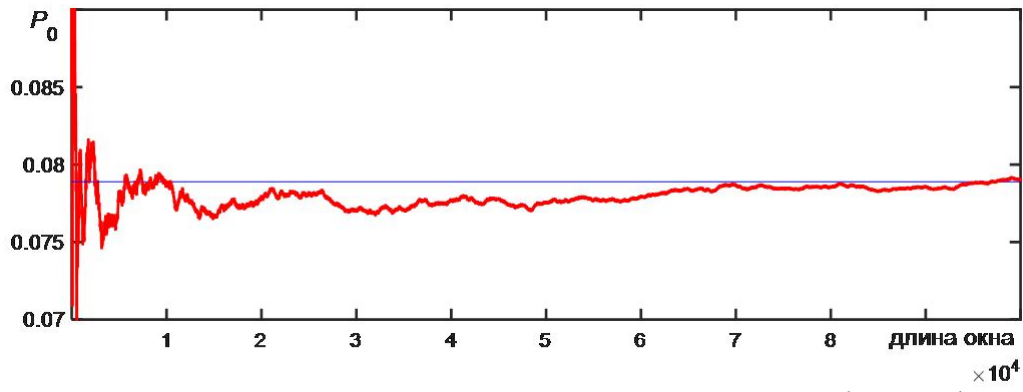


Рис. 5. Оценка значения вероятности ошибки для кода с  $d=7$ ,  $R=1/2$

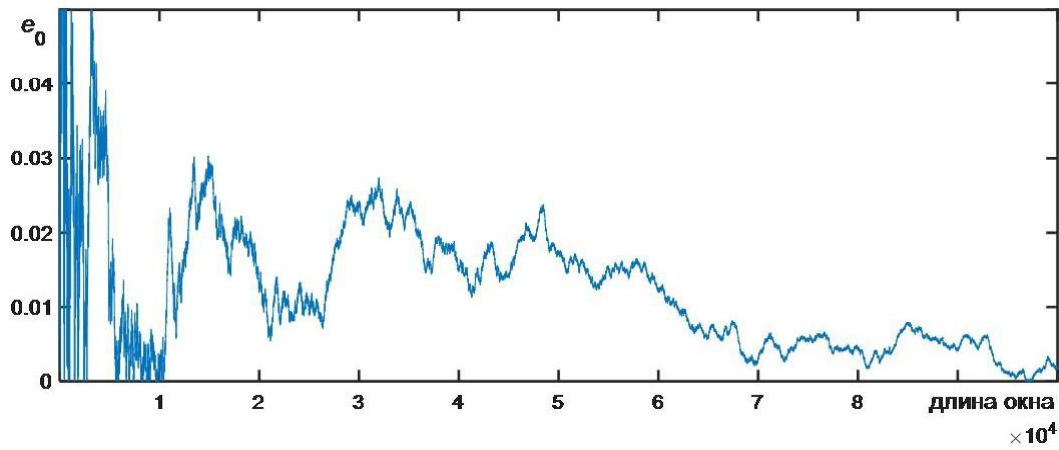


Рис. 6. Относительная ошибка оценки значения вероятности ошибки для кода с  $d=7$ ,  $R=1/2$

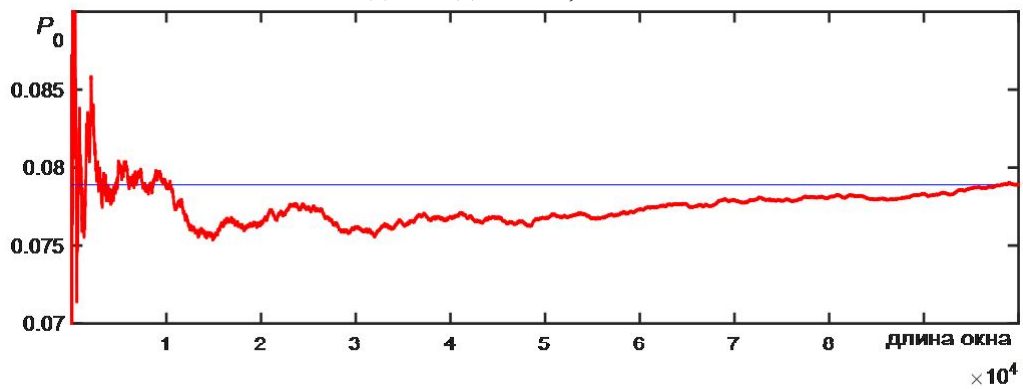


Рис. 7. Оценка значения вероятности ошибки для кода с  $d=9$ ,  $R=1/2$

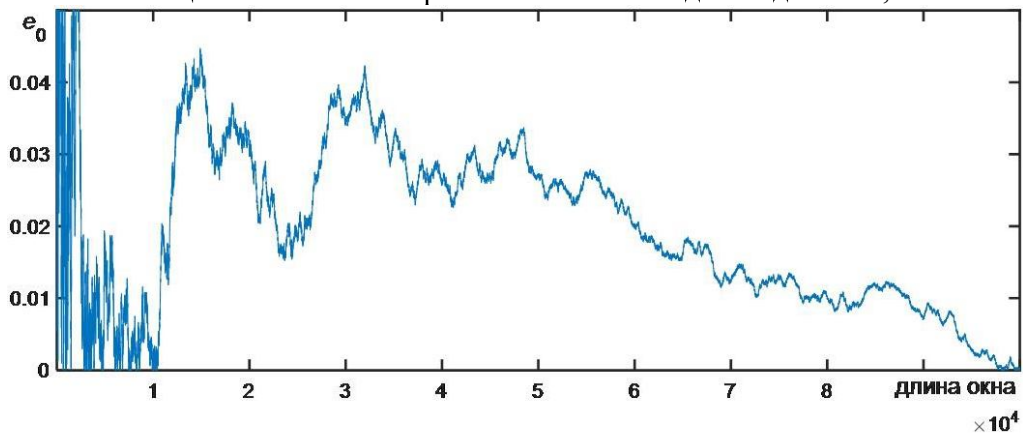


Рис. 8. Относительная ошибка оценки значения вероятности ошибки для кода с  $d=9$ ,  $R=1/2$

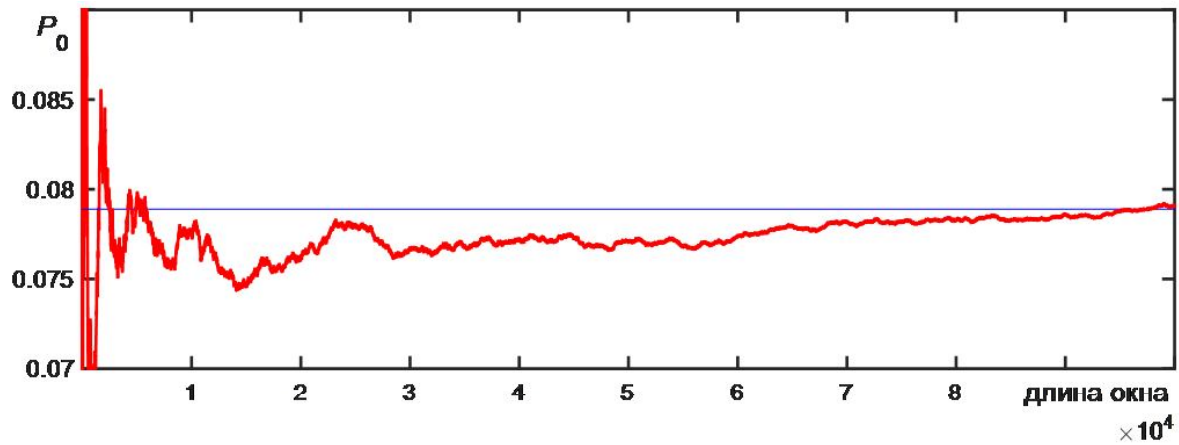


Рис. 9. Оценка значения вероятности ошибки для кода с  $d=11$ ,  $R=1/2$

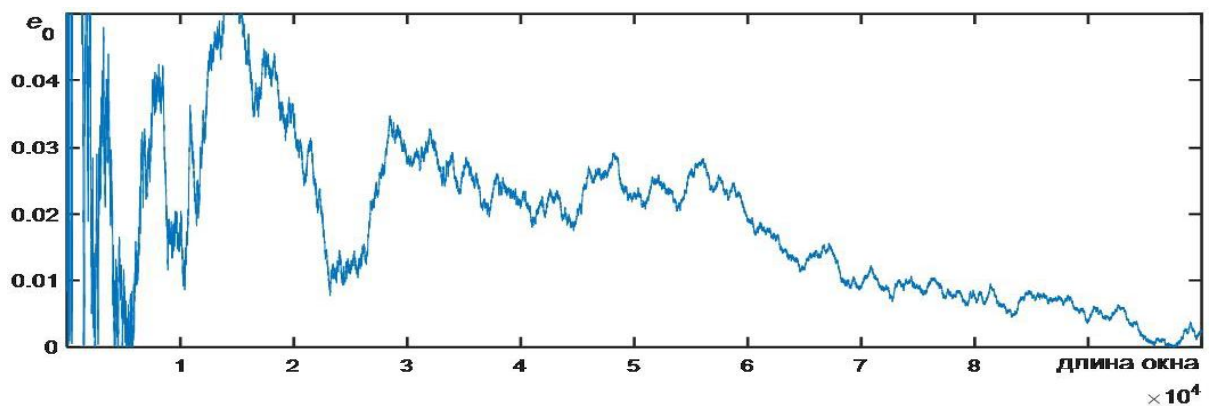


Рис. 10. Относительная ошибка оценки значения вероятности ошибки для кода с  $d=11$ ,  $R=1/2$

Таким образом предложенный подход позволит эффективно определять ОСШ в канале в системах передачи цифровой информации с МПД, что позволит использовать МПД в системах адаптивного кодирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ.

#### Литература

1. Золотарев В.В., Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Многопороговые декодеры и оптимизационная теория кодирования – М.: Горячая линия – Телеком, 2012, 239с.
2. Демидов Д.С. Применение многопороговых декодеров в системах адаптивного кодирования / Д.С. Демидов // Вестник науки и образования, Проблемы науки, 2016 – № 10.