

Имитационное моделирование блочного двоичного многопорогового декодера в двоичном симметричном канале связи

^{1*}САТЫБАЛДИНА Дина Жагыпаровна, к.ф.-м.н., PhD, зав. кафедрой, satybaldina_dzh@enu.kz,

¹ИСАЙНОВА Алия Насиповна, докторант, issainova.an@gmail.com,

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010008, Нур-Султан, ул. Сапиева, 2,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель данной работы – найти итеративные методы коррекции ошибок, которые обеспечивают высококачественное по вероятности ошибки декодирование. Разработана программа имитационного моделирования, реализующая эффективность блочного двоичного многопорогового декодера в двоичном симметричном канале связи путем варьирования параметров работы. Реализованы возможности изменения параметров оптимизации. Режим моделирования систем передачи и восстановления данных позволяет выполнять анализ эффективности разработанных методов исправления с автоматическим построением графиков. Даны рекомендации по выбору наилучшего алгоритма работы решающего устройства и параметров многоуровневого многопорогового декодера. Рассмотренные методы защиты информации от ошибок найдут применение в перспективных высокоскоростных цифровых системах связи.

Ключевые слова: моделирование, модулятор, кодер, декодер.

Введение

На сегодняшний день в теории кодирования известно много различных классов помехоустойчивых кодов, отличающихся друг от друга структурой, функциональным назначением, энергетической эффективностью, алгоритмами декодирования и многими другими параметрами [1]. Среди них наибольшее практическое применение нашли блочные коды. Основными параметрами блочного кода являются длина кода n , длина информационной последовательности k , кодовая скорость $R=k/n$ и кодовое расстояние d .

Механизм параметрической трансформации новой модели источников ошибок позволяет генерировать ошибки различной структуры, отражать нестационарность моделируемого канала связи, что делает эту модель удобной для использования в имитационном моделировании цифровых помехоустойчивых каналов связи [2]. Программный комплекс для имитационного моделирования цифровых помехоустойчивых каналов передачи данных создан разработчиками Золотаревым В.В., Овечкиным Г.В., Овечкиным П.В. [3].

Методы исследования

В настоящей работе рассмотрена последовательность алгоритмических решений, позволяющих найти итеративные методы коррекции ошибок, которые обеспечивают высококачественное

по вероятности ошибки декодирование, но при небольшой сложности реализации методов коррекции искажений, возникающих в канале связи. Тестирование программного комплекса было проведено на базе Рязанского государственного радиотехнического университета.

Реализована программа, которая позволяет исследовать эффективность блочного двоичного многопорогового декодера в двоичном симметричном канале связи [3]. В состав модели входят системы передачи данных, состоящие из источника данных, кодера самоортогонального кода, модулятора, канала связи, демодулятора, многопорогового декодера и приемника данных. Во время работы появляются данные для передачи, которые представляют набор из 0 и 1, появляющихся с равной вероятностью. Затем эти данные поступают в кодер, где выполняется их кодирование с помощью блочного самоортогонального кода. В результате программы получается кодовое слово, которое подается на вход модулятора, выполняющего BPSK модуляцию. Один из видов цифровой модуляции – это двухпозиционная или двоичная фазовая модуляция (binary phase shift key BPSK) [4]. Этот вид модуляции нашел широкое применение ввиду помехоустойчивости и простоты модулятора и демодулятора.

Сигнал искажается в канале передачи данных аддитивным белым гауссовским шумом, в ре-

зультате принимается сигнал. Далее выполняется демодуляция принятого сигнала, причем демодулятор выносит жесткое решение относительно переданных символов. Результат демодуляции поступает на вход многопорогового декодера, который исправляет ошибки в принятых данных. Результат декодирования сравнивается с передаваемыми данными в приемнике данных, где происходит подсчет числа ошибок декодирования.

Для работы программы требуется три файла:

1. *param.txt* – файл с параметрами эксперимента и декодера.

2. *encoder.txt* – файл с параметрами используемого кодера.

3. *blockMTD.exe* – исполняемый файл программы.

После запуска программа считывает исходные данные из файлов с параметрами и выполняет в соответствии с ними моделирование. Подробная статистика работы декодера выводится в файл *result.txt*, который создается в текущем каталоге.

Задается диапазон и шаг изменения отношения сигнал-шум на бит в канале связи в файле *param.txt*, где *EbNo_low* – начальное отношение сигнал/шум на бит, *EbNo_high* – конечное отношение сигнал/шум на бит, *EbNo_step* – шаг отношения сигнал/шум на бит, *volume* – число передаваемых бит, *minBlockErr* – максимальное число ошибочных блоков и *itert* – количество итераций декодирования. Параметр *volume* задает максимальное число передаваемых битов в процессе эксперимента. Параметр *minBlockErr* определяет число ошибочных блоков, после появления которых при текущем отношении сигнал-шум можно завершить моделирование (данный параметр позволяет за минимальное время обеспечить требуемую погрешность полученных результатов). Параметр *itert* определяет число итераций многопорогового декодирования. Данный декодер является итеративным декодером мажоритарного типа, в котором выполняется несколько этапов (итераций) декодирования одного принятого блока. В программе установлено ограничение –

число итераций декодирования должно быть не менее 3 и не более 10.

В файле *encoder.txt* задается параметр *nk* – число информационных ветвей кодера (не более четырех информационных ветвей), параметр *nr* – число проверочных ветвей кодера (не более четырех проверочных ветвей). При кодировании исходная информационная последовательность заносится в *nk* регистров сдвига одинаковой длины (длина регистров равна $2p+1$, где p – это max степень образующего полинома). Далее, используя операцию суммирования по модулю 2, вычисляются *nr* проверочных битов. После этого выполняется циклический сдвиг информационных регистров и снова вычисляются *nr* проверочных символов. Данный процесс повторяется, пока информационные регистры не вернуться в исходное состояние ($2p+1$ сдвигов). Затем задаются полиномы, связывающие *i*-ю информационную и *v*-ю проверочную ветви. Для пары информационная-проверочная ветвь (например, $i=1$ $v=1$) задается количество проверочных символов *i*-й информационной ветви, где участвовали в формировании каждого символа *v*-й проверочной ветви (для кода в примере используются две проверки), далее указываются конкретные позиции используемых проверок, начиная с нуля. При переборе всех пар информационная-проверочная ветвь для указания позиций проверок сначала фиксируется первая проверочная ветвь и для нее перебираются все информационные ветви, затем фиксируется вторая проверочная ветвь и для нее перебираются все информационные ветви и т.д. В программе значение позиции каждой из проверок должно быть меньше 1000. Если одна из позиций проверок превышает это значение, то программа выдаст сообщение об этом и сразу завершит свою работу.

Приведем схему кодера двоичного блочного кодера самоортогонального кода с одной информационной и одной проверочной ветвями для примера на рисунке 1 [5].

Как видно, кодер состоит только из сдвигового

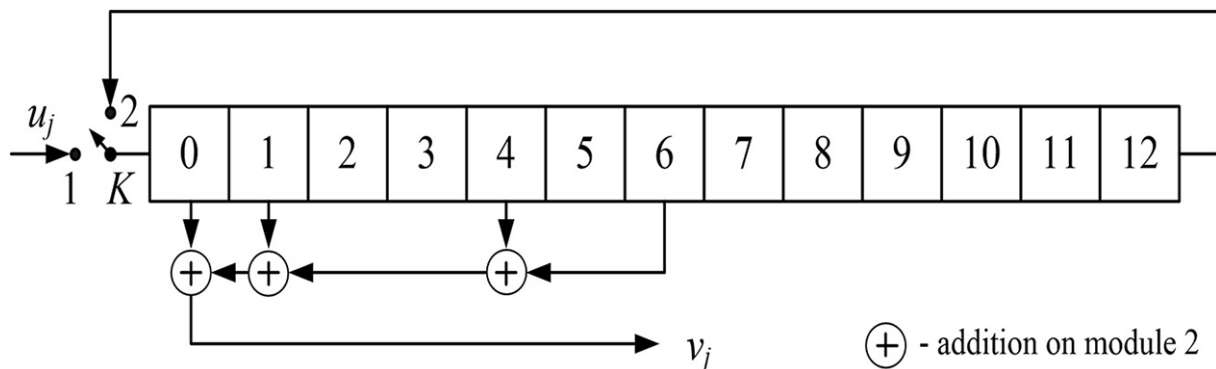


Рисунок 1 – Кодер двоичного блочного кодера самоортогонального кода с одной информационной и одной проверочной ветвями

регистра и сумматоров по модулю 2.

Схема двоичного блочного кодера самоортогонального кода с двумя информационными и двумя проверочными ветвями представлен на рисунке 2 [5].

Здесь выводится информация о параметрах моделирования, модуляторе, кодере и декодере, которые использовали при моделировании в вы-

ходном файле *result.txt*, а также для каждого значения отношения сигнал-шум на бит выводится информация по оцененной вероятности ошибки на выходе декодера и количеству ошибок, оставшемуся после каждой итерации декодирования.

Используемые при моделировании параметры в программе и результаты моделирования изображены на рисунке 3.

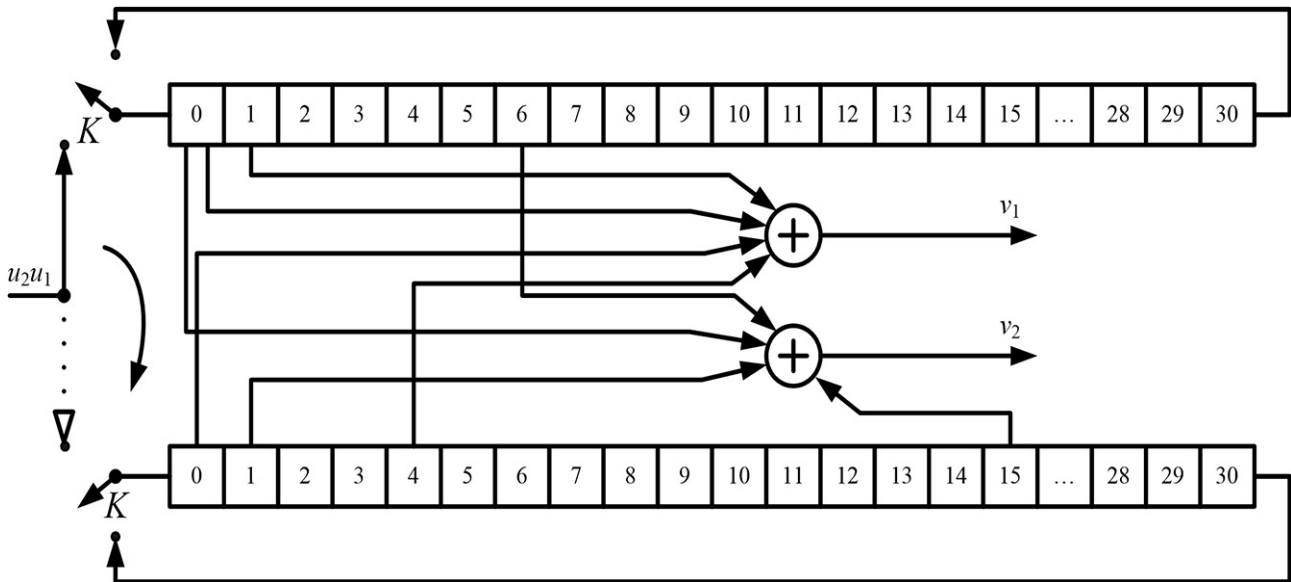


Рисунок 2 – Двоичный блочный кодер самоортогонального кода с двумя информационными и двумя проверочными ветвями

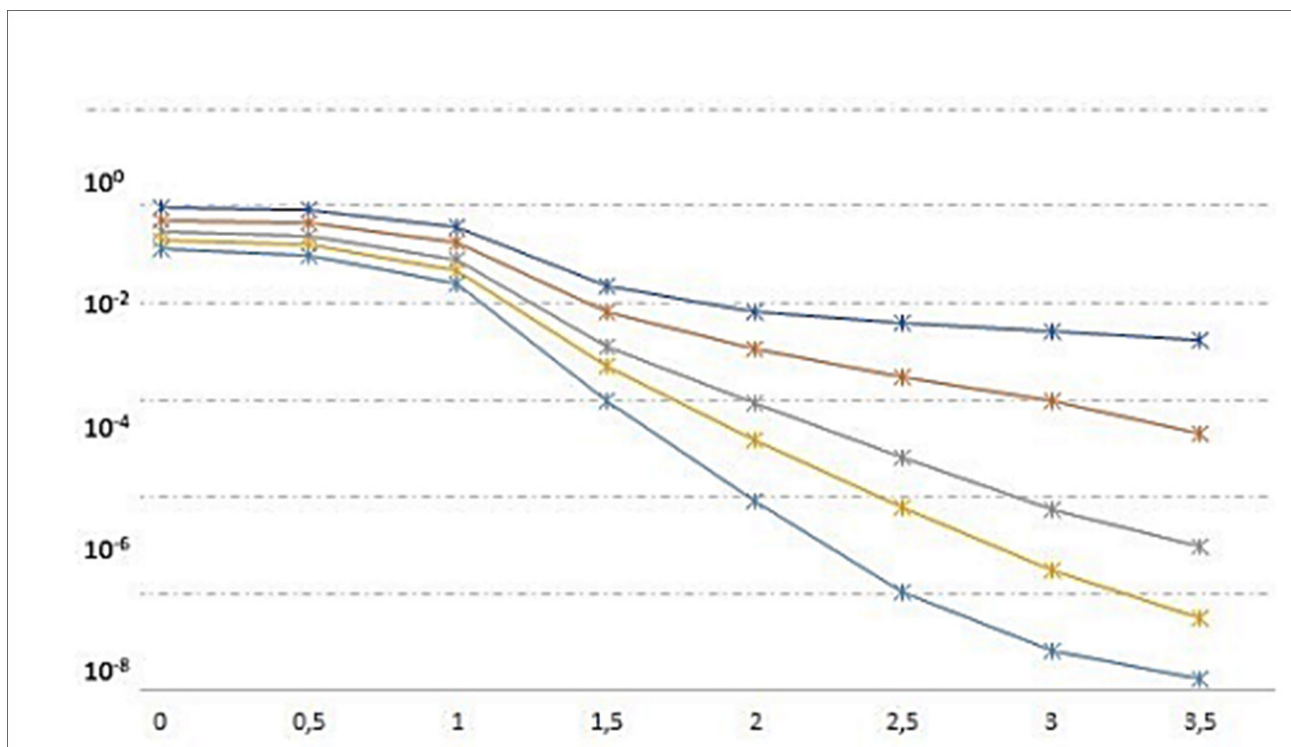


Рисунок 3 – Результат моделирования

Выводы

Разработана программа имитационного моделирования, реализующая эффективность блокового двоичного многопорогового декодера в двоичном симметричном канале связи путем варьирования параметров работы. Реализованы возможности изменения параметров оптимизации. Это позволяет выполнять анализ эффективности разработанных методов исправления с автоматическим построением графиков.

Исследован метод улучшения эффективности МПД. Для условий большого уровня шума проведена серия экспериментов по моделированию работы рассматриваемого МПД [6]. В результате видно, что при увеличении количества чисел передаваемых бит и шага изменения значения отношения сигнал на бит скорость работы модели и время моделирования уменьшаются.

Следует отметить, что представленные модификации схемы кодирования обладают практически такой же сложностью практической реализации, что и обычный МПД, а следовательно, оказываются существенно проще, чем все известные методы декодирования при сопоставимой эффективности.

Учитывая вышесказанное, с достаточной долей уверенности можно предположить, что в перспективных высокоскоростных цифровых системах связи рассмотренные методы защиты информации от ошибок найдут наиболее широкое применение.

Предложены и исследованы новые схемы конкатенации нескольких многопороговых декодеров с параллельным и последовательно-параллельным соединением декодирующих устройств, а также два новых алгоритма работы устройства: выбор символа по надежности и выбор с учетом веса декодированного символа. Показано, что предложенные алгоритмы работы устройства выбора, определяющие значения информационного символа для внешнего декодера многоуровневого многопорогового декодера, позволяют практически без увеличения сложности реализации приблизить область эффективной работы декодера к пропускной способности канала на несколько десятых долей дБ. Даны рекомендации по выбору наилучшего алгоритма работы решающего устройства и параметров многоуровневого многопорогового декодера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев В.В. Теория кодирования как задача поиска глобального экстремума. 2-е издание, испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 224 с.
2. <http://tekhnosfera.com/informatsionnaya-sistema-otsenki-primenimosti-shem-pomehoustoychivogo-algebraicheskogo-kodirovaniya-na-osnove-matematicheskix-zadach>
3. <http://www.mtdbest.ru/tr.html>
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е издание / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.
5. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: Справочник. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 126 с.
6. Сатыбалдина Д.Ж., Ташатов Н.Н., Исайнова А.Н. Программные средства коррекции ошибок в телекоммуникационных системах: Монография. – Алматы: ТехноЭрудит, 2018. – 160 с.

Бинарлық симметрикалық байланыс арнасында блоктық бинарлық көптегізді декодерді симуляцияландыру

¹*САТЫБАЛДИНА Дина Жағыпарқызы, ф.-м.ғ.к., PhD, кафедра меңгерушісі, satybaldina_dzh@enu.kz,

¹ИСАЙНОВА Әлия Нәсіпқызы, докторант, issainova.an@gmail.com,

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, 010008, Нұр-Сұлтан, Сәтпаев көш., 2,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Бұл жұмыстың мақсаты – қателіктер ықтималдығы бойынша жоғары сапалы декодтауды қамтамасыз ететін қайталанатын қателерді түзету әдістерін табу. Бинарлық симметриялы байланыс арнасында блоктық екілік көп шекті декодердің тиімділігін жұмыс параметрлерін өзгерту арқылы іске асыратын имитациялық бағдарлама жасалды. Оңтайландыру параметрлерін өзгерту мүмкіндіктері іске асырылды. Мәліметтерді жіберу және қалпына келтіру жүйелерін модельдеу режимі автоматты графикамен өңделген түзету әдістерінің тиімділігін талдауға мүмкіндік береді. Еріткіштің жұмысының алгоритмін және көп деңгейлі көп табалдырық дешифраторының параметрлерін таңдау бойынша ұсыныстар берілген. Ақпаратты қателіктерден қорғаудың қарастырылған әдістері перспективалы жоғары жылдамдықты цифрлық байланыс жүйелерінде қолдануға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: модельдеу, модулятор, кодер, декодер.

Simulation of a Block Binary Multi-Threshold Decoder in a Binary Symmetric Communication Channel

¹***SATYBALDINA Dina**, Cand. Phys. and Math. Sci., PhD, Head Department, satybaldina_dzh@enu.kz,

¹**ISSAINOVA Aliya**, doctoral student, issainova.an@gmail.com,

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, 010008, Nur-Sultan, Satpayev str., 2,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this work is to find iterative error correction methods that provide high-quality decoding in terms of error probability. A simulation program has been developed that implements the efficiency of a block binary multi-threshold decoder in a binary symmetric communication channel by varying the operation parameters. The possibilities of changing the optimization parameters have been implemented. The mode of modeling data transmission and recovery systems allows you to analyze the effectiveness of the developed correction methods with automatic plotting. Recommendations are given on the choice of the best algorithm for the operation of the solver and the parameters of a multi-level multi-threshold decoder. The considered methods of protecting information from errors will find application in promising high-speed digital communication systems.

Keywords: modeling, modulator, encoder, decoder.

REFERENCES

1. Zolotarev V.V. Teoriya kodirovaniya kak zadacha poiska global'nogo ekstremuma. 2-e izdanie, ispr. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2018. – 224 s.
2. <http://tekhnosfera.com/informatsionnaya-sistema-otsenki-primenimosti-shem-pomehoustoychivogo-algebraicheskogo-kodirovaniya-na-osnove-matematicheskix-ixzz6F3ZaGLnX>
3. <http://www.mtdbest.ru/tr.html>
4. Sklyar B. Cifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye. 2-e izdanie / Per. s angl. – M.: Izdatel'skij dom «Vil'yams», 2003.
5. Zolotarev V.V., Ovechkin G.V. Pomekhoustojchivoe kodirovaniye. Metody i algoritmy: Spravochnik. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2004. – 126 s.
6. Satybaldina D.Zh., Tashatov N.N., Isajnova A.N. Programmnye sredstva korrektsii oshibok v telekommunikatsionnykh sistemakh: Monografiya. – Almaty: TekhnoErudit, 2018. – 160 s.