

## Описание демоверсии программы DY4, иллюстрирующей принципы работы многопорогового декодера.

Программа представляет собой exe-модуль, работающий под управлением операционной системы MS-DOS, который демонстрирует работу многопорогового декодера (МПД) в случае его использования для декодирования блокового кода длины  $n=2000$  бит с кодовой скоростью  $R=1/2$  и минимальным кодовым расстоянием  $d=23$ .

Перед запуском программы необходимо предварительно распаковать стандартными программными средствами zip-файл, переписанный с первой страницы веб-сайта [www.mtdbest.iki.rssi.ru](http://www.mtdbest.iki.rssi.ru). Занимаемая память на диске менее 100 Кбайт.

После этого программа запускается двойным щелчком «мыши» на модуле **dy4.exe**. Файл **egavga.bgi** при запуске должен быть в той же директории, что и exe-модуль. Программа работает как в ОС MS-DOS, так и в Windows-95 - -98, а также в некоторых его других версиях.

Программа осуществляет имитацию непрерывной передачи и последующего декодирования бесконечной последовательности кодовых блоков и может быть завершена в любой момент нажатием на клавишу «e» (английский регистр).

Выбрать удобный для наблюдения темп работы демонстрационной модели можно, нажимая несколько раз клавишу «g» ("greater") для ускорения ее работы и клавишу «l» ("less") (обе – английский регистр) для замедления работы модели.

Работа программы начинается с формирования на экране дисплея трех цветных блоков массивов данных, каждый из которых состоит из 1000 квадратиков, соответствующих двоичным данным принятого кода, в информационных и проверочных символах которого содержатся точно по 1000 битов. Первый верхний блок под названием “**difference**” является контрольным и его роль будет видна из дальнейшего описания.

Демонстрационная программа начинает свою работу с имитации передачи данных по каналу связи. Сначала заполняется средний информационный 1000-битовый блок с именем «**information**». По мере его заполнения меняется цвет заполнения соответствующих квадратиков. При этом около блока появляется текст «=-BSC=-», варьирующий свой цвет по мере прихода правильно или ошибочно (красные квадратики) «принятых» символов. Затем идет

заполнение принятыми контрольными битами самого нижнего, проверочного блока с именем «**check symbols**». Ошибки передачи в его проверочных символах отмечены синим цветом.

Затем, как это всегда делается в линейных кодах, вычисляется синдром принятого сообщения. Результат вычисления сохраняется в нижнем блоке, который называется далее «**syndrome**». Единицы синдрома, определяемые ошибками в проверочных символах, по-прежнему остаются синими. А те единицы синдрома, т.е. квадратики нижнего массива данных с первоначальным названием «**check symbols**», которые возникли из-за ошибок в информационных символах, окрашены в красный цвет. Таким образом из представления массива синдрома еще перед началом процесса декодирования ясно видно, что основное число единичек в массиве синдрома связано с ошибками в информационных символах кода.

После вычисления синдрома начинается главная многоразовая попытка декодирования всех символов кода. Целью декодирования является исправление всех информационных ошибок, находящихся в среднем массиве демонстрационной картины, при максимально высоком уровне шума в канале. В предлагаемом варианте демодекодера имитируется передача при весьма высоком уровне шума двоичного симметричного канала без памяти (ДСК) со средней вероятностью ошибки около 0,057. Это очень высокая вероятность ошибки для кодовой скорости  $R=1/2$ , недоступная декодерам алгебраических кодов и декодеру, работающему в соответствии с алгоритмом Витерби.

Рассматриваемый ниже декодер, как можно будет увидеть по результатам его работы, совсем не совершает никаких ошибок при выбранном очень высоком уровне шума. Но отсутствие ошибок за длительный, но ограниченный период работы декодера в данной демоверсии не является доказательством его всегда безошибочной работы. Таким образом, предлагаемая вниманию специалистов демоверсия не может быть использована для набора статистики ошибок алгоритма МПД даже для данных конкретных параметров модели канала.

Целью выполненных настроек в модели демодекодера является иллюстрация важности точного выбора параметров всех элементов схемы декодера, что только и может обеспечить успех в реализации идеи многократного уточнения решений декодера. Подчеркнем также, что используемый в МПД код также должен быть построен в соответствии со всеми требованиями и ограничениями, обеспечивающими минимальный уровень размножения ошибок декодирования в мажоритарных схемах.

Рассмотрим основной процесс декодирования. Он начинается с появления одного черного квадратика в среднем информационном

регистре и 22 таких же квадратиков (ячеек) в нижнем регистре синдрома. Эти квадратики соответствуют выбранному для данного шага декодирования информационному символу, для которого МПД готов вычислить сумму на пороговом элементе, а также тем 22 проверкам, которые и будут подаваться на ПЭ для вычисления искомой суммы проверок. Сразу после этого положение порогового элемента начинает смещаться, что соответствует завершению попытки декодирования одного символа и переходу к следующему информационному символу с новой группой проверок относительно него, и т.д. По мере перемещения меняется фоновый тон среднего регистра, что позволяет отличать уже декодированные символы от тех, которые еще ни разу не декодировались.

После каждого изменения информационного символа из среднего регистра в верхнем контрольном регистре **“difference”** оно отмечается белым цветом. Если решение порогового элемента было правильным, и зеленым. Если оно было ошибочным. Если неправильно измененный символ на одной из следующих итераций был снова изменен, то цвет соответствующей ячейки снова изменяется на фоновый для этого блока. Поскольку содержимое проверок каждого символа в блоке синдрома также меняется каждый раз, если информационный символ кода исправляется, по мере успешного продвижения процесса декодирования происходит изменение, в основном, цвета красных и синих ячеек синдрома на фоновые, хотя иногда происходят и другие цветовые замены.

Процесс декодирования сопровождается динамическим контролем его параметров, которые высвечиваются в блоке текущих значений процессов декодирования в нижнем правом углу экрана. Показываются номер декодируемого блока, номер итерации, и текущее расстояние решения МПД до принятого сообщения. Последний параметр является ключевым для алгоритма МПД и в соответствии с основными теоретическими положениями о свойствах МПД, он только уменьшается на всех шагах принятия решения о декодируемых символах. Даже если на некоторых шагах декодер принимает относительно конкретного информационного бита ошибочное решение. Непрерывно высвечиваемое значение расстояния изменяется от исходного веса синдрома, который определяется сразу после его вычисления, и до конечного минимального веса ошибок в принятом блоке, поскольку из конечного вида декодируемых блоков будет следовать, что все информационные ошибки в представленных для демонстрации МПД блоках исправлены. Таким образом, на каждом шаге декодирования текущее наблюдаемое расстояние равно количеству цветных (отличных от фонового тона блоков) квадратиков в блоках **“difference”** и **«syndrome»**.

Для удобства контроля вес вектора шума и первоначальный вес синдрома показываются в процессе декодирования текущего блока в левом нижнем углу.

В декодере заложено предельное количество просмотров принятого сообщения (итераций декодирования), равное 10. В случае, если после некоторого числа просмотров кода на некоторой, например, 5-й итерации не происходит изменений никаких информационных символов блока, декодирование прекращается и считается, что процедура работы МПД для этого блока закончена. При этом подсчитывается расстояние решения декодера до принятого сообщения и результаты работы порогового элемента на всех итерациях.

После завершения процедуры декодирования каждого блока в нижнем левом углу показывается исходное значение датчика случайных чисел  $RAND=7$ , длина информационного блока  $K=1000$ , кодовое расстояние  $d=23$ .

Ниже показывается строчка, содержащая число декодированных символов (1000), количество ошибок в принятых информационных символах, затем в проверочных символах данного блока и, наконец, число ошибок после каждой итерации декодирования. Нули на позициях последних итераций соответствуют отсутствию ошибок декодера в блоке после завершения процедуры его обработки.

На самой нижней строчке слева – веса синдрома. Первое число – это стартовый вес (расстояние до принятого сообщения) синдрома, а затем, начиная с четвертой позиции – веса синдрома после каждой итерации. В случае правильного декодирования на последней итерации (а это имеет место в течение всего реального времени работы декодера, которое обычно доступно пользователю) оказывается, что вес синдрома совпадает с весом ошибок в проверочных символах. Поскольку единичек, обусловленных ошибками в информационных символах, в синдроме нет, значит, все заключительные состояния массивов декодера, когда красных ячеек в блоке синдроме тоже нет, соответствуют правильным итоговым решениям МПД.

После декодирования очередного блока происходит временное стирание верхнего контрольного блока на экране дисплея. На его месте высвечиваются интегральные данные по всем обработанным в процессе имитации декодирования блокам с указанием общего числа обработанных информационных символов, ошибок в информационных и проверочных символах, а также общего числа ошибок, остающихся после каждой итерации декодирования. В течение демонстрации интегральных данных можно нажать на любую кнопку клавиатуры и задержать тем самым переход к процессу передачи и декодирования следующего блока с целью, например, более глубокого анализа численных данных, относящихся к процедуре декодирования. В этом

случае для начала обработки следующего блока нужно еще раз нажать на любую кнопку клавиатуры.

Все замечания и предложения по данной демоверсии программы работы МПД можно направлять автору.

Версия мультфильма **mtddemo.exe** для WINDOWS обладает всеми свойствами описанного выше варианта демодекодера для MS-DOS. Управляется эта программа из меню в левом верхнем углу.

Имеются также ещё две специальных демоверсии программ коррекции ошибок, пригодные для проведения лабораторных работ по методам многопорогового декодирования. Они допускают выполнение студентами или обучаемыми на курсах повышения квалификации специалистами различных заданий по выбору кодов и интенсивности потоков ошибок канала с целью изучения принципов работы и разнообразных возможностей этого эффективного алгоритма.

Автор            д.т.н.                            **ЗОЛОТАРЁВ Валерий Владимирович**

**Для связи в Москве:** т.раб. (095)-261-54-44, (095)-333-23-56,  
т.д.(095)-573-51-32, моб.:8-916-518-86-28, e-mail: zolotasd@yandex.ru