

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 10773

(13) U

(46) 2015.08.30

(51) МПК

H 03M 13/43 (2006.01)

H 04L 1/00 (2006.01)

(54) АДАПТИВНОЕ УСТРОЙСТВО КОДИРОВАНИЯ/ДЕКОДИРОВАНИЯ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИТЕРАТИВНЫХ КОДОВ И МНОГОПороГОВОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ

(21) Номер заявки: u 20140479

(22) 2014.12.30

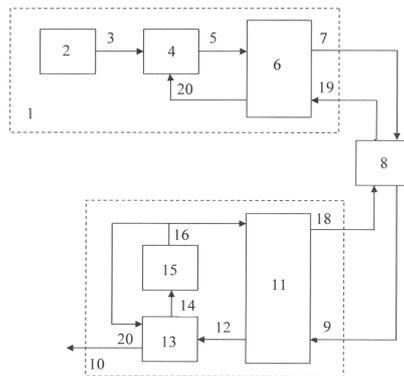
(71) Заявитель: Учреждение образования
"Белорусский государственный техно-
логический университет" (ВУ)

(72) Авторы: Кудлацкая Марина Федоров-
на; Романенко Дмитрий Михайлович
(ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение обра-
зования "Белорусский государственный
технологический университет"
(ВУ)

(57)

Адаптивное устройство кодирования/декодирования данных на основе итеративных кодов и многопорогового декодирования, содержащее передатчик, приемник данных и канал передачи, вход которого соединен с выходом передатчика данных, а выход соединен со входом приемника данных, при этом передатчик состоит из источника данных, блока кодирования на основе итеративного кода и модулятора, выход которого является выходом передатчика данных, а вход соединен с выходом блока кодирования, а приемник данных состоит из демодулятора, блока анализа и блока декодирования, выход которого соединен с выходом приемника данных, а вход - с выходом демодулятора, вход которого является входом приемника данных, **отличающееся** тем, что блоки кодирования и декодирования содержат оперативные запоминающие устройства для хранения проверочных матриц итеративных кодов; в состав приемника данных введен блок анализа, который, в свою очередь, состоит из блока определения кратности исправляемой ошибки, вход которого является входом блока анализа, и блока определения качества канала, вход которого соединен с выходом блока определения кратности ошибки, а выход является выходом блока анализа.



Фиг. 1

ВУ 10773 U 2015.08.30

(56)

1. ГОСТ 20687-75. Системы передачи данных. Коды помехоустойчивые итеративные. Структура кода.

2. Романенко Д.М., Шиман Д.В., Виткова М.Ф. Многопороговое мажоритарное декодирование низкоплотностных кодов // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. - 2011. - Вып. XIX. - С. 128-132.

3. Золотарев В.В., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник / Под ред. чл.-кор. РАН Ю.Б. Зубарева. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 126 с.

4. Патент US 0199068, МПК Н 03М 13/05 G 06F 11/10, 2009.

5. Патент BY 8296, МПК Н 03М 13/11 Н 04L 1/00, 2012.

6. Виткова М.Ф., Романенко Д.М. Адаптивное многопороговое декодирование многомерных итеративных кодов // Труды БГТУ. Физ.-мат. науки и информатика. - 2012. - № 6. - С. 128-132.

7. Пацей Н.В., Моделирование переменных кодов низкой плотности проверок на четность // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информатика. - Вып. XIX. - Минск: БГТУ, 2011. - С. 132-135.

Полезная модель относится к области техники связи и может быть использована для передачи дискретной информации, защищенной помехоустойчивым кодом, в частности трехмерным итеративным кодом.

Заявленное техническое решение представляет собой адаптивную систему кодирования/декодирования трехмерных итеративных кодов, обладающую возможностью выбора кода в зависимости от качества канала, которая может быть использована в системах связи для повышения скорости и надежности передачи.

Надежная передача информации обеспечивается использованием канальных схем обнаружения и коррекции ошибок. Среди итеративных кодов трехмерные коды характеризуются наибольшим количеством линейно-независимых паритетов, что повышает корректирующую способность кодов. Трехмерные итеративные коды относятся к линейным блочным кодам и задаются параметрами (k, r, a) , где k - длина информационного блока, r - скорость кода, a - число паритетов. Согласно ГОСТ 20687-75 итеративные коды описываются с помощью проверочной матрицы H размера $(n-k) \times n$, где n - длина кодовой последовательности. Каждой проверочной матрице H ставится в соответствие порождающая матрица G . При кодировании итеративными кодами чаще вместо порождающей матрицы используют проверочную матрицу [1].

Декодирование трехмерных итеративных кодов методом многопорогового декодирования является достаточно эффективным способом обнаружения и исправления ошибок, возникающих в каналах передачи данных [2, 3], и достаточно широко используется в спутниковых и телекоммуникационных системах связи и в системах хранения информации [3]. В настоящее время алгоритмы многопорогового декодирования могут декодировать длинные коды так же эффективно, как и оптимальные переборные алгоритмы, сохраняя при этом линейную сложность реализации. При аппаратной реализации многопороговый декодер является более быстрым, чем многие другие декодеры, например, в некоторых случаях он превосходит по скорости турбодекодеры почти на 3 десятичных порядка [3].

Известно устройство кодирования/декодирования данных для кодов низкой плотности проверок на четность в беспроводных коммуникационных системах, содержащее передатчик, приемник данных и беспроводной канал передачи, вход которого соединен с выходом передатчика данных, а выход соединен со входом приемника данных, при этом

передатчик состоит из источника данных, кодера на основе кода с низкой плотностью проверок на четность и модулятора, выход которого является выходом передатчика данных, а вход соединен с выходом кодера, а приемник данных состоит из демодулятора и декодера кодов низкой плотности проверок на четность, выход которого соединен с выходом приемника данных, а вход - с выходом демодулятора, вход которого соединен с входом приемника данных [4].

Устройство обеспечивает формирование проверочной матрицы кода на основе генерации базовой матрицы размером 96×96 и 96 перестановочных матриц, расстановку перестановочных матриц в проверочной, что в итоге обеспечивает результирующие скорости кода $1/2$, $2/3$, $3/4$ и дает возможность изменять длину информационного блока в пределах: {36, 42, 48, 54, 56, 60, 63, 64, 66, 72, 78, 80, 81, 84, 88, 90, 96, 99, 102, 104, 108, 112, 114, 117, 120, 128, 132, 135, 136, 138, 144, 152, 153, 160, 162, 168, 171, 176, 180, 184, 189, 192, 198, 207, 216}.

Недостатками представленного в [4] устройства являются ограничение на скорость кодирования, короткая длина информационного блока и невозможность изменения параметров помехоустойчивого кода в процессе передачи без отключения канала.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому устройству является устройство кодирования/декодирования информации на основе кодов низкой плотности проверок на четность (НППЧ), содержащее передатчик, приемник данных и беспроводной канал передачи, вход которого соединен с выходом передатчика данных, а выход соединен с входом приемника данных, при этом передатчик состоит из источника данных, кодера на основе кода с низкой плотностью проверок на четность и модулятора, выход которого является выходом передатчика данных, а вход соединен с выходом кодера, а приемник данных состоит из демодулятора и декодера кодов низкой плотности проверок на четность, выход которого соединен с выходом приемника данных, а вход - с выходом демодулятора, вход которого соединен с входом приемника данных [5].

Устройство обеспечивает динамическое изменение параметров кода: скорости, величины веса столбцов проверочной матрицы (плотности проверочной матрицы) и длины кодового слова, в зависимости от изменяемого во времени значения оценки качества канала передачи, что позволяет увеличить производительность и надежность системы передачи информации, тем самым повысив эффективность функционирования устройства кодирования/декодирования данных [5]. Устройство кодирования/декодирования информации на основе НППЧ-кодов осуществляет вычисление коэффициента ошибок по блокам BLER (Block Error Rate) для оценки качества канала передачи данных в режиме без прерыва связи.

Адаптивное устройство кодирования/декодирования [5] устраняет недостатки устройства кодирования/декодирования данных для кодов низкой плотности проверок на четность в беспроводных коммуникационных системах [4], тем не менее недостатком представленного в [5] устройства является отсутствие возможности локализовать единичную битовую ошибку без отключения канала.

Задачей настоящей полезной модели является повышение эффективности функционирования устройства кодирования/декодирования данных путем динамического изменения параметров кода: скорости, числа линейно-независимых паритетов и длины кодового слова, в зависимости от изменяемого во времени значения оценки качества канала передачи, что позволит увеличить производительность системы передачи информации и увеличит ее надежность, а также оптимизация предлагаемого технического решения, по сравнению с прототипом [4], путем оценки качества канала по коэффициенту ошибок по битам BER (Bit Error Rate) в режиме без прерывания связи.

Поставленная задача решается тем, что в адаптивное устройство кодирования/декодирования данных на основе итеративных кодов и многопорогового декодирования, содержащее передатчик, приемник данных и канал передачи, вход которого соединен

с выходом передатчика данных, а выход соединен со входом приемника данных, при этом передатчик состоит из источника данных, блока кодирования на основе итеративного кода и модулятора, выход которого является выходом передатчика данных, а вход соединен с выходом блока кодирования, а приемник данных состоит из демодулятора, блока анализа и блока декодирования, выход которого соединен с выходом приемника данных, а вход - с выходом демодулятора, вход которого является входом приемника данных, введены в блоки кодирования и декодирования оперативные запоминающие устройства (ЗУ) для хранения проверочных матриц итеративных кодов; в состав приемника данных введен блок анализа, который, в свою очередь, состоит из блока определения кратности исправляемой ошибки, вход которого является входом блока анализа, и блока определения качества канала, вход которого соединен с выходом блока определения кратности ошибки, а выход является выходом блока анализа.

Полезная модель поясняется фиг. 1-6.

Фиг. 1 - структурная схема адаптивного устройства кодирования/декодирования данных на основе трехмерных итеративных кодов.

Фиг. 2 - структурная схема блока анализа.

Фиг. 3 - структурная схема блока кодирования.

Фиг. 4 - структурная схема блока декодирования.

Фиг. 5 - направление изменения параметров кода по табл. 3 при непрерывном ухудшении оценки качества канала

В предлагаемом техническом решении изменен, по сравнению с прототипом [4], способ формирования проверочной матрицы кода N для соответствующего итеративного кода, добавлена возможность динамического изменения параметров используемых итеративных кодов и возможность определения кратности исправляемой ошибки. В результате устройство рассчитывает коэффициент ошибок по битам BER без отключения канала и использует различные коды с параметром k меньшим, чем длина передаваемой последовательности.

Коэффициент ошибок по битам BER (bit error rate - параметр ошибки по битам), имеющий весьма существенное значение, является производным от коэффициента ВПТ или ВПТ ERR (bit errors) - число ошибочных бит, является одним из основных параметров при измерении цифрового бинарного канала и равен отношению числа битовых ошибок к общему числу бит, переданных за время проведения теста по каналу:

$$BER = \frac{ВПТ}{N_{общ}}, \quad (1)$$

где $N_{общ}$ - общее число передаваемых бит.

Адаптивное устройство кодирования/декодирования на основе итеративных кодов и многопорогового декодера динамически адаптируется к качеству канала в соответствии с рассчитанной анализатором оценкой. Комбинация параметров k , r , a позволяет получить широкий спектр кодов.

Обобщенная структурная схема адаптивного устройства кодирования/декодирования данных на основе итеративных кодов и многопорогового декодера (фиг. 1) состоит из передатчика 1, содержащего блок источника данных 2, выход 3 которого соединен с первым входом блока кодирования 4, выход 5 которого соединен с первым входом модулятора 6. Полученная кодовая последовательность с выхода 5 передается на первый вход модулятора (демодулятора) 6, выход 7 которого является выходом передатчика 1 и первым входом беспроводного канала связи 8. Первый выход 9 беспроводного канала связи 8 является входом приемника данных 10, содержащего модулятор (демодулятор) 11, первым входом соединенный с первым выходом 9 канала связи 8, а первым выходом 12 - с первым информационным входом блока декодирования 13. Блок декодирования 13 соединен с входом блока анализа 15, который определяет кратность исправляемой ошибки (число ошибочных бит), что позволяет вычислить BER, и принимает решение о качестве канала.

ВУ 10773 U 2015.08.30

BER - коэффициент ошибок по битам, который равен отношению числа ошибочных битов данных к общему числу переданных бит. В данном техническом решении период измерения будет зависеть от числа переданных бит. Предлагается осуществлять измерения через 10^6 передаваемых бит.

На фиг. 2 представлена структурная схема блока анализа 15, в состав которого входит блок определения кратности исправляемой ошибки 27, вход 14 которого является входом блока анализа 15, и блок определения качества канала 29, вход 28 которого соединен с выходом блока определения кратности ошибки 27, а выход 16 является выходом блока анализа 15.

Кратность ошибки определяется на основе статистических данных, полученных в результате моделирования многопорогового декодирования трехмерных итеративных кодов. Рассчитанное значение параметра BER блоком определения кратности ошибки 27 передается блоку определения качества канала 29.

Таблица 1

Вероятность определения кратности ошибки в процессе декодирования

Длина информационной последовательности k	Кратность ошибки		
	1	2	3
	Вероятность определения ошибки		
64	1	0,99	0,98
128	0,99	0,74	0,76
256	0,92	0,95	0,73

Анализатор выполняет деление качества канала на пять категорий на основании BER. Категории качества канала представлены в табл. 2.

Таблица 2

Категории качества канала

Категория/подкатегория	Значение BER
A (высокое)	$BER \rightarrow 0$
B (хорошее)	$10^{-8} < BER \leq 10^{-7}$
C (среднее)	$10^{-7} < BER \leq 10^{-5}$
D (низкое)	$10^{-4} < BER \leq 10^{-3}$
E (деградация)	$BER > 10^{-3}$

В зависимости от категории и текущих параметров кода (k, r, a) блок определения качества канала 29 выполняет переключение итеративного кода в соответствии с перечнем предопределенных трехмерных итеративных кодов, предусмотренных данным решением и представленным в табл. 3. Блок анализа 15 формирует выход 16, поступающий на второй вход модулятора (демодулятора) 11, а затем на второй выход 17 блока 11, который является выходом приемника 10 и вторым входом канала связи 8. Второй выход канала связи 8 является входом передатчика 1 и вторым входом 18 модулятора (демодулятора) 6, второй выход которого соединен с вторым входом 19 блока кодирования 4. Выход 16 блока анализа 15 является вторым входом блока декодирования 13. Таким образом, выход 16 управляет параметрами кода в блоке кодирования 4 и блоке декодирования 13. Декодированная последовательность многопорогового декодера 13 поступает с выхода 20 и является вторым выходом приемника 10.

BY 10773 U 2015.08.30

$$c = Hv \times v. \quad (4)$$

Кодовое слово, получаемое на выходе 5, может быть представлено вектором:

$$c = [v | \rho], \quad (5)$$

где v - входной вектор длины $1, \dots, k$ (информацию, которую надо закодировать), а ρ - вектор проверочных разрядов длины $1, \dots, (n-k)$.

На фиг. 4 представлена структурная схема блока декодирования 13, содержащая многопороговый декодер 24 и оперативное запоминающее устройство 25. ЗУ 25 по структуре и содержанию аналогично ЗУ 22 блока кодирования 4. С выхода 16 блока анализа 15 приемника 10 на вход ЗУ 25 подается адрес ячеек памяти, из которых должна быть считана проверочная матрица (сигналы записи/считывания на фиг. 4 не указаны) и подана на второй вход 26 декодера 24.

Рассмотрим пример работы устройства. В начальный момент функционирования устройства в случае отсутствия информации о качестве канала блок анализа 15 выбирает код, максимально подходящий по длине передаваемой информационной последовательности. Допустим, на вход 3 блока кодирования 4 поступило информационное сообщение длиной 253 бита. Блок анализа 16 выбирает код (256, 16/27, 5). На второй вход 23 кодера 21 от ЗУ 22 поступает проверочная матрица. Таким образом, кодовая последовательность с выхода кодера 21 через выход 5 поступает на первый вход модулятора (демодулятора) 6. Модулятор (демодулятор) 6 выполняет преобразование и передает информацию в канал связи 8. На стороне приемника 10 выполняется обратное преобразование модулятором (демодулятором) 11, и полученная кодовая последовательность поступает на вход 12 блока декодирования 13, а именно на первый вход 12 многопорогового декодера 24. На второй вход 26 от ЗУ 25 поступает выбранная проверочная матрица, на основании которой многопороговый декодер обнаруживает и исправляет ошибки в принятой последовательности. В процессе декодирования используется модифицированный алгоритм выбора пороговых значений [6], который позволяет пропустить стадии, на которых ошибки не будут исправлены, сократив тем самым время декодирования. Информационная последовательность через выход 14 поступает на блок анализа 15. Блок анализа 15 накапливает значения ошибок и рассчитывает параметр BER. Через заданное число передаваемых информационных битов (10^6) блок анализа 15 получает значение качества канала, например, $BER = 2.7 \cdot 10^{-4}$, что соответствует категории D, и формирует выход 16, который поступает на второй вход блока декодирования 13 и на второй вход 19 блока кодирования 4, через блоки 11, 8 и 6. В ходе передачи, при любой категории качества канала за исключением A, блок анализа уменьшает скорость кода r , а затем увеличивает количество паритетов a в коде. Так как в рассматриваемом примере качество канала ниже категории A, то блок анализа уменьшает скорость кода и выбирает новый код (256, 4/7, 5) по табл. 3. Из запоминающих устройств 25 и 22 считывается соответствующая проверочная матрица, на основе которой будут работать кодер 21 блока кодирования 4 и многопороговый декодер 24 блока декодирования 13. На следующем этапе блок анализа повысит число паритетов, и будет выбран код (256, 1/2, 7), скорость кода соответственно тоже будет снижена.

В дальнейшем в зависимости от рассчитанного значения BER может быть переключение кодера (декодера) на трехмерные итеративные коды (256, 16/35, 7), (256, 4/9, 9), (256, 16/37, 9). Изменение параметров выбранных кодов представлено в табл. 4.

Таблица 4

Значения параметров кода

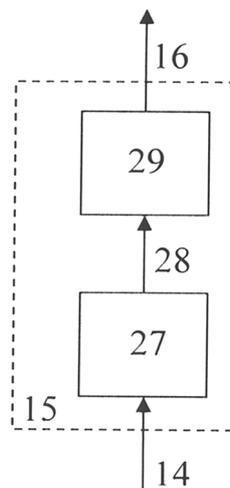
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
k	256	256	256	256	256	256	128	128	128	128	128
r	16/37	4/7	1/2	16/35	4/9	16/37	8/15	1/2	4/9	8/19	8/21
a	5	5	7	7	9	9	5	5	7	7	9
направление	↑r↑a	↓r	↓r↑a	↓r	↓r↑a	↓r	↑r↓a	↓r	↓r↑a	↓r	↓r↑a

В случае ухудшения, отсутствия изменений или незначительного улучшения блок анализа 15 выбирает код с меньшим объемом информационной части, т.е. k изменяется с 256 на 128 и используется код (128, 8/15, 5). Затем весь процесс повторяется снова: уменьшается скорость кода и увеличивается число паритетов, т.е. будут последовательно выбраны следующие коды: (128, 8/15, 5), (128, 1/2, 5), (128, 4/9, 7), (128, 8/19, 7), (128, 8/21, 9). При необходимости можно уменьшить параметр k до 64 бит. В случае достижения приемлемого качества категории А и В будет происходить обратный процесс: уменьшение числа паритетов в коде и увеличение скорости кода. То есть если нет необходимости использовать код с более высокой корректирующей способностью, то возможен возврат к коду с более высокой скоростью (движение вниз по табл. 3): например, можно выбрать код (256, 4/9, 9) вместо кода (256, 16/37, 9) или (256, 4/7, 5) вместо кода (128, 1/2, 7).

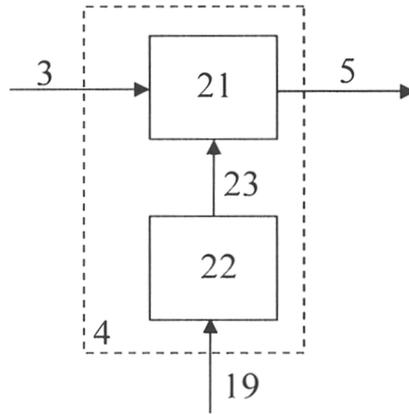
Таким образом, в процессе передачи периодически происходят пересчет значения BER и переключение на различные трехмерные итеративные коды. Процесс выбора параметров кода по табл. 3 в случае непрерывного ухудшения качества может быть выражен графически (фиг. 5). Здесь номер соответствует последовательности изменения параметров, а точки - начальному и конечному положению при выборе итеративного кода.

Функциональность предложенного устройства аналогична адаптивному устройству кодирования/декодирования данных на основе кодов низкой плотности проверок на четность [5]. Результаты моделирования [7] адаптивного устройства [5] показали, что динамическое изменение параметров кода приводит к повышению производительности предложенного метода кодирования/декодирования по сравнению с кодированием (декодированием) без изменения параметров. Кроме того, в случае повышения качества канала динамически устанавливается более быстрый код, что увеличит скорость передачи информации.

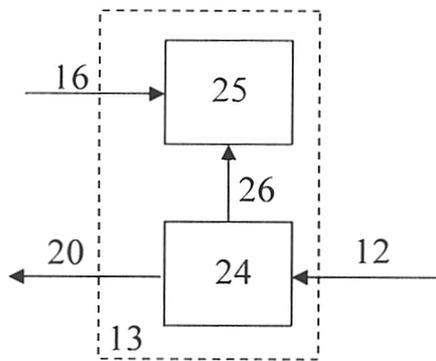
Таким образом, предлагаемое адаптивное устройство кодирования/декодирования данных на основе итеративных кодов и многопорогового декодирования позволяет динамически изменять параметры используемых итеративных кодов, что дает возможность использовать более быстрый код, увеличивая тем самым скорость передачи информации. Также позволяет использовать несколько кодов для одной передаваемой последовательности и определять количество ошибочных бит, что, в свою очередь, дает возможность оценить качество канала по коэффициенту ошибок по битам BER в режиме без отключения связи, что невозможно в известных устройствах [4, 5], и соответственно устраняет данный недостаток.



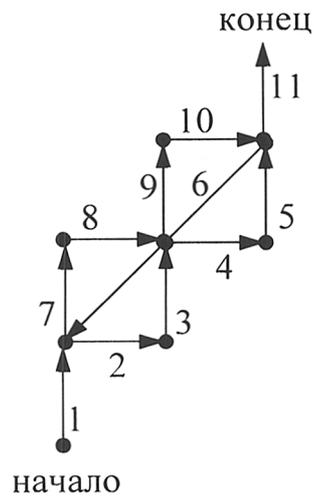
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5