

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **026623**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2017.04.28

(51) Int. Cl. **G06F 11/00** (2006.01)
H03M 13/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201500283

(22) Дата подачи заявки
2015.01.15

(54) **СПОСОБ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ТРАНЗАКЦИИ**

(43) **2016.07.29**

(56) RU-C2-2375824
WO-A1-1998025370
RU-C1-2276837

(96) **2015/ЕА/0007 (ВУ) 2015.01.15**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ВУ)**

(72) Изобретатель:
**Гулай Анатолий Владимирович,
Зайцев Владимир Михайлович (ВУ)**

(57) Изобретение относится к области автоматизации систем управления и может найти применение, например, при создании высокоэффективных интеллектуальных мехатронных систем. За счет использования данного изобретения может быть достигнуто повышение достоверности передачи данных в интеллектуальных мехатронных системах и, следовательно, повышение эффективности их функционирования. Предлагаемый способ передачи транзакции может быть использован также в распределенных сенсорных системах и других системах с дистанционной организацией телеметрических и телематических каналов. Сущность предлагаемого способа передачи транзакции заключается в том, что производят расчленение передаваемой транзакции на кодовые блоки, выполняют установку помехоустойчивого блочного БЧХ-кода, выбирают фиксированные триплеты этого кода и осуществляют передачу транзакции. Новым является то, что после установки указанного помехоустойчивого блочного кода оценивают вероятность образования битовых ошибок различной кратности в кодовых блоках транзакции и устанавливают допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в каждом из кодовых блоков. Далее сравнивают значения указанных вероятностей между собой и выбирают такие триплеты помехоустойчивого кода, при которых вероятность образования битовых ошибок не превышает допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в передаваемой транзакции. Предложены варианты выбора фиксированных триплетов помехоустойчивого кода в зависимости от скорости битовых ошибок в канале транзакции, достоверности передачи блока транзакции, а также ее допустимого общего объема.

B1

026623

026623

B1

Изобретение относится к области автоматизации систем управления и может найти применение, например, при создании высокоэффективных интеллектуальных мехатронных систем для различных отраслей экономики, в частности для машиностроения. За счет использования данного изобретения может быть достигнуто повышение достоверности передачи данных в интеллектуальных мехатронных системах, что, в свою очередь, приведет к повышению эффективности их функционирования. Предлагаемый способ передачи транзакций может быть использован также в распределенных сенсорных системах и других системах с дистанционной организацией телеметрических и телематических каналов.

В настоящее время известен способ передачи информации, при котором предварительно осуществляют передачу испытательной последовательности по каналу связи [1]. На выходе данного канала из принятой испытательной последовательности вычитают передаваемую испытательную последовательность. В результате получают последовательность ошибок, по которой вычисляют параметры канала связи, характеризующие его качество. Указанные параметры учитывают при выборе способа передачи информации, в том числе помехоустойчивого кодирования.

Недостаток данного способа передачи информации заключается в том, что при его использовании в мехатронных системах наблюдаются потери сенсорных данных за счет приема и обработки которых происходит функционирование мехатронной системы. Указанный недостаток обусловлен тем, что определение качества канала связи осуществляется при передаче по каналу тестовой последовательности. В это время канал связи используется для тестирования, и передача сенсорных данных по нему не производится.

Потеря части сенсорных данных отрицательно сказывается на точности учета характеристик объекта контроля в процессе управления исполнительным механизмом в мехатронной системе.

Известен также способ передачи информации с адаптивным помехоустойчивым кодированием, при котором на передающей стороне исходную информацию кодируют помехоустойчивым кодом с переменными параметрами [2]. Далее помехоустойчивый код передают в канал связи и на приемной стороне его декодируют с обнаружением и исправлением ошибок в зависимости от корректирующей способности кода. По результатам декодирования помехоустойчивого кода оценивают качество канала связи, обеспечивающее заданную достоверность передачи информации. При этом параметрами качества канала считают среднюю вероятность ошибки на бит и коэффициент группирования ошибок по модифицированной модели канала связи Пуртова.

Недостаток данного способа заключается в относительно низкой помехоустойчивости транслируемой информации из-за невысокой точности оценки качества канала связи. Сравнительно низкая точность оценки обусловлена тем, что учитываются не все факторы, влияющие на внесение помех на разных информационных участках. Более того, выбор характеристик качества канала связи в данном случае не позволяет получить достаточно высокого уровня вероятности обнаружения и исправления ошибок в передаваемой транзакции. Для более точного описания распределения ошибок в реальных информационных каналах требуются более достоверные параметры, учитывающие все возможные механизмы и каналы введения помех.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому способу является способ помехоустойчивого кодирования при передаче информации [3] (прототип). Данный способ заключается в том, что производят расчленение передаваемой транзакции на кодовые блоки, выполняют установку помехоустойчивого блочного кода Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ-кода), выбирают фиксированные триплеты этого кода и осуществляют передачу транзакции. При выборе оптимальных параметров помехоустойчивого кодирования учитывают величину отклонения вероятности правильного приема помехоустойчивого кода от заданного значения вероятности правильного приема данного кода.

Анализируемый способ передачи информации основан на применении достаточно эффективного адаптивного помехоустойчивого кодирования. В соответствии с данным способом параметры применяемых кодов автоматически и целенаправленно изменяются при изменении качества канала связи. Поэтому адаптивное помехоустойчивое кодирование позволяет достигнуть более высокой скорости передачи информации за счет рационального использования избыточности кода при различных состояниях канала связи. Фактически оно обеспечивает необходимую вероятность доведения сообщения при минимальной избыточности кода. Однако указанный способ не позволяет достигнуть цели по повышению достоверности передачи сенсорных данных в мехатронных системах по следующим причинам.

Канал передачи сенсорной информации включает не только участок "передатчик-приемник" канала связи, но и другие участки в структуре мехатронной системы, по которым циркулирует сенсорная информация: "объект контроля-сенсорный модуль-передатчик"; "приемник-блок управления-исполнительный механизм". Указанные информационные участки мехатронной системы являются основными источниками внесения искажений в используемый сигнал, причем природа этих искажений существенно отличается от механизма внесения помех в канал связи "передатчик-приемник". Таким образом, в известном способе передачи информации при выборе параметров помехоустойчивого кодирования учитывается только участок "передатчик-приемник", что снижает достоверность передачи транзакций в случае использования данного способа в интеллектуальной мехатронной системе.

Задачей предлагаемого способа является повышение достоверности передачи транзакции, напри-

мер, в телеметрических и телематических каналах интеллектуальных мехатронных систем. Данный способ позволяет учесть все возможные механизмы внесения искажений в полезный сигнал при циркулировании информации в компонентах мехатронной системы, предотвратить чрезмерное разбухание транзакции путем рационального выбора информационной емкости помехоустойчивого кода, избежать потерь информации за счет исключения этапов прерывания передачи данных для тестирования канала связи.

Техническая сущность предлагаемого способа передачи транзакции, например, при функционировании интеллектуальных мехатронных систем, заключается в следующем. Производят расчленение передаваемой транзакции на кодовые блоки, выполняют установку помехоустойчивого блочного БЧХ-кода, выбирают фиксированные триплеты этого кода и осуществляют передачу транзакции. Новым является то, что после установки указанного помехоустойчивого блочного кода оценивают вероятность образования битовых ошибок различной кратности в кодовых блоках транзакции и устанавливают допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в каждом из кодовых блоков. Далее сравнивают значения указанных вероятностей между собой и выбирают такие триплеты помехоустойчивого кода, при которых вероятность образования битовых ошибок не превышает допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в передаваемой транзакции.

При скорости битовых ошибок в канале транзакции менее $5 \cdot 10^{-3}$ и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7) или (127, 106, 7). Причем при допустимом общем объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (127, 106, 7).

Если значения скорости битовых ошибок в канале транзакции лежат в диапазоне $5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$, а достоверность передачи блока транзакции составляет не менее 0,999, выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7), (31, 16, 7) или (63, 45, 7). В данном случае при допустимом общем объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (63, 45, 7).

Далее, при скорости битовых ошибок в канале транзакции более $1 \cdot 10^{-2}$ и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7) или (31, 16, 7). В данном случае при допустимом фактическом объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (31, 16, 7).

Таким образом, предлагается для интеллектуальной мехатронной системы способ введения операций по установлению фиксированных триплетов помехоустойчивого БЧХ-кода (кода Боуза-Чоудхури-Хоквингема) с целью обеспечения требуемого уровня достоверности передаваемых транзакций. Предлагаемый способ основан на определении и введении следующих параметров: вероятностей образования битовых ошибок различной кратности в кодовых блоках транзакции; предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в каждом из кодовых блоков.

Критериальное условие, связывающее между собой указанные параметры, определяется в виде: вероятность образования битовых ошибок не должна превышать допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в передаваемой транзакции. Данное критериальное условие отражает статистическую возможность компенсации негативных явлений за счет применения определенных триплетов помехоустойчивого кода. Механизмом возникновения отрицательных эффектов, снижающих достоверность передачи транзакций, может быть появление в кодовых блоках кратных битовых ошибок. Вводимое критериальное условие обеспечивает рациональное выделение групп триплетов, допустимых для создания кодовых блоков передачи транзакций с необходимой достоверностью на каналах заданного качества.

Транзакция, например, в интеллектуальной мехатронной системе представляет собой совокупность самостоятельных команд управления параллельными каналами, соответствующими степеням свободы объекта управления. За счет применения унифицированных телеметрических и телематических транзакций достигается информационная совместимость составных частей мехатронной системы. Возможная логическая структура унифицированной транзакции включает служебный заголовок и тело транзакции, при этом адресная часть заголовка содержит значения системного идентификатора телеметрического (телематического) канала, типа транзакции, ее текущего номера.

В соответствии с этим тело транзакции имеет обозначения номера канала, типа команды или параметра и двоичного кода времени; здесь же отражается двоичный код параметра или команды и код имитозащиты. Служебный заголовок транзакции содержит определенное количество логических полей, и при введении в заголовок адресных атрибутов для работы в сетевом режиме объем (длина) служебного заголовка может достигать 64 бит. В теле транзакции для представления информации об одном параметре достаточно трех логических полей общей длиной в 48 бит, а для размещения кода имитозащиты - одного поля длиной в 32 бита.

Современные усредненные технические требования устанавливают, что мехатронная система с помощью одной транзакции должна обеспечивать учет одновременно до 20 информационных параметров (управление по 20 координатам фазового пространства). Указанные требования могут быть выполнены при общем информационном объеме транзакции $n_{\text{инф}} = 2048$ бит, в котором суммарный объем служебного заголовка и кода имитозащиты составляет 96 бит, а остальные биты отводятся под непосредственное представление телеметрических и телематических данных и под помехоустойчивое кодирование.

Для устойчивого и корректного функционирования мехатронного оборудования необходимо обеспечивать определенную достоверность передачи телеметрических и телематических транзакций. Количественно достоверность оценивается вероятностью $P_{\text{дост}}$ того, что в транзакции не содержатся искаженные биты, обусловленные процессами передачи телеметрической или телематической информации по каналу. Этот параметр исходно определяется исключительно уровнем ответственности интеллектуальной мехатронной системы и устанавливается не ниже 0,999. При более низких значениях достоверности передачи транзакций эффективность функционирования мехатронных систем недостаточно высокая.

Для достижения требуемой достоверности передачи транзакций по каналам применяются методы помехоустойчивого кодирования, например БЧХ-код. Применение указанного кода G требует предварительного расчленения транзакции на отдельные кодовые блоки в количестве $R_{\text{бл}}$, которые подлежат самостоятельной передаче по каналу. Блочные помехоустойчивые коды принято отображать триплетами (n, k, d) . Каждому допустимому значению n триплета соответствует определенное количество информационных k и контрольных d бит ($k+d=n$). Соотношение бит в паре k, d триплета определяется минимальным расстоянием Хэмминга d , при этом d является возрастающей дискретной нелинейной функцией.

Разрешенные к применению в блочном коде G триплеты фиксированы и образуют конечное дискретное множество $\{n_i, k_i, d_i\}; i=1,2,\dots,U$. Кратность битовых ошибок t в кодовом блоке, исправляемых кодом G , определяется соотношением $t \leq (d-1)/2$. Количество кодовых блоков в составе транзакции с учетом помехоустойчивого кодирования G при использовании триплета $\{n_i, k_i, d_i\}$ соответствует верхней целочисленной границе отношения $R_{\text{бл}} = \text{Sup}[n_{\text{инф}}/k_i]$. Требуемая достоверность передачи одного кодового блока связана с достоверностью передачи всей транзакции степенной зависимостью вида $P_{\text{дост.бл}} = P_{\text{дост}}^{1/R_{\text{бл}}}$, а фактический объем транзакции $n_{\text{факт}}$ определяется произведением $n_{\text{факт}} = R_{\text{бл}} n_i$.

С целью предотвращения чрезмерного расширения транзакции и уменьшения при этом ее фактического объема $n_{\text{факт}}$ целесообразно снижение общего количества кодовых блоков $R_{\text{бл}}$ за счет применения триплетов с более высокой информационной емкостью k_i . Одновременно с увеличением k_i для обеспечения необходимой достоверности передачи каждого кодового блока $P_{\text{дост.бл}}$ требуется наращивать корректирующие свойства кода G путем расширения минимального расстояния Хэмминга d_i и, следовательно, количества используемых контрольных разрядов $r_i(d_i)$. В условиях фиксированного дискретного множества разрешенных триплетов и ограниченности их выбора данный процесс, в свою очередь, сопровождается обратным явлением - нелинейным скачкообразным уменьшением фактического количества информационных бит k_i в каждом кодовом блоке и ростом общего числа кодовых блоков в транзакции $R_{\text{бл}}$. В этих условиях взаимной зависимости указанных величин требуется выбрать рациональные параметры помехоустойчивого кодирования для обеспечения успешной передачи транзакций.

Таким образом, фактический объем транзакций $n_{\text{факт}}$ тесно связан с обеспечением требуемой достоверности их передачи. Кроме того, он существенно влияет на временные соотношения всех процессов информационного обмена в мехатронной системе, поскольку основная составляющая времени передачи транзакции T определяется отношением $T = n_{\text{факт}}/V$, где V - номинальная скорость передачи бит по каналу. Очевидно, что в общем случае необходим рациональный выбор триплетов помехоустойчивого кода G , минимизирующих параметр $n_{\text{факт}}$ при условии обеспечения требуемой достоверности $P_{\text{дост.бл}}$.

Для решения поставленной задачи предлагается достаточно универсальная технология рационального выбора триплетов помехоустойчивого кода, которая основывается на введении двух вспомогательных параметров:

вероятностей $W(P_{\text{ош}}, n_i, s)$ образования ошибок кратности не ниже s в каждом кодовом блоке объемом n_i бит при его передаче по симметричному каналу со скоростью возникновения битовых ошибок $P_{\text{ош}}$;

предельно допустимых вероятностей $L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i)$ наличия остаточных ошибок в каждом кодовом блоке при условии достижения требуемой достоверности передачи транзакции $P_{\text{дост}}$ за счет выявления и исправления кодом G битовых ошибок кратности t_i .

Базовая функция вероятностей $W(P_{\text{ош}}, n_i, s)$ определяется следующей биномиальной зависимостью

$$W(P_{\text{ош}}, n_i, s) = 1 - (1 - P_{\text{ош}})^{n_i} - C_{n_i}^1 P_{\text{ош}} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-1} - C_{n_i}^2 P_{\text{ош}}^2 (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-2} - \dots \\ \dots - C_{n_i}^{n_i-s-2} P_{\text{ош}}^{s-2} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-s-2} - C_{n_i}^{n_i-s-1} P_{\text{ош}}^{n_i-s-2} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-s-1} \quad (1)$$

Все параметры, определяющие значение функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s)$, зависят исключительно от физических свойств используемого канала и выбранной длины кодового блока для расчленения транзакций, то есть от используемого триплета $\{n_i, k_i, d_i\}$. Данная функция отражает отношения между парой компонентов процесса передачи транзакций: между каналом передачи кодовых блоков транзакций и самими кодовыми блоками. С целью получения исчерпывающей информации для последующего технического анализа результатов решения задачи при рациональном уровне вычислительной сложности принципиальное значение имеет оценка области определения базовой функции.

Диапазон определения вероятностей $P_{\text{ош}}$ целесообразно задавать достаточно широким с образованием дискретной логарифмической сетки возможных практических значений в пределах от $1 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-2}$. Выбор значений объемов n_i кодового блока транзакции не может быть произвольным, он регламентируется видом применяемой системы помехоустойчивого кодирования, типом конкретных кодов G

и разрешенными к применению триплетами $\{n_i, k_i, d_i\}$; $i=1,2,\dots,U$. Рассматриваемая кратность s возможных битовых ошибок в кодовом блоке транзакции может быть ограничена значениями от 1 до 5, так как построение средств передачи информации с использованием, например, радиоканалов крайне низкого качества и кодовых блоков при кратности ошибок $s \geq 5$ практической значимости для создания мехатронных систем не имеет.

Функция предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в каждом кодовом блоке при условии достижения требуемой достоверности передачи транзакции $P_{\text{дост}}$ за счет выявления и исправления кодом G битовых ошибок кратности t_i задается следующей совокупностью дискретных значений:

$$\begin{aligned} L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i) &= 1 - P_{\text{дост}}^{1/R_{\text{бл}}} = 1 - P_{\text{дост}}^{1/\text{Sup}\{\text{инф}/k_i\}} = \\ &= 1 - P_{\text{дост}}^{1/\text{Sup}\{\text{инф}/(n_i - r_i(d_i = 2t_i + 1))\}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Значения функции $L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i)$ зависят исключительно от требуемых параметров достоверности передачи транзакций и индивидуальных характеристик используемого триплета $\{n_i, k_i, d_i\}$ помехоустойчивого кода G .

Применение введенных функций позволяет для блочного помехоустойчивого кода G произвести обоснованный отбор допустимых решений путем проверки выполнения основного критериального условия

$$W(P_{\text{ош}}, n_i, s) \leq L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i). \quad (3)$$

Данное критериальное условие отражает статистическую возможность компенсации негативных явлений, связанных с появлением в кодовых блоках битовых ошибок кратности s . Компенсация производится за счет применения триплета $\{n_i, k_i, d_i\}$ помехоустойчивого кода G , с помощью которого реализуется процесс выявления и исправления ошибок кратности t_i . Данное условие учитывает потенциальную возможность информационного самопоглощения (то есть информационной деградации) процесса помехоустойчивого кодирования. Одновременно в конкретном коде G оно обеспечивает рациональное выделение группы триплетов, статистически допустимых для создания кодовых блоков передачи транзакций с требуемой достоверностью на каналах заданного качества. После этого в выделенной группе могут быть отмечены триплеты, при использовании которых минимизируется значение $n_{\text{факт}}$.

Предлагаемый способ передачи транзакции поясняется с помощью фиг. 1, где изображена структурно-функциональная схема интеллектуальной мехатронной системы. Здесь использованы следующие условные обозначения: 1 - канал связи "передающее устройство-приемное устройство"; 2 - информационный канал "объект контроля-сенсорный модуль-передающее устройство"; 3 - информационный канал "приемное устройство-блок управления-исполнительный механизм".

Реализация предлагаемого способа передачи транзакции с использованием данного устройства производится следующим образом. Параметры объекта контроля определяются с помощью сенсорного модуля и поступают на передающее устройство. В данном устройстве выполняется кодирование информации, которая в виде определенной транзакции передается по каналу связи. Поступающая на приемное устройство по каналу связи информация декодируется и используется блоком управления для регулирования параметров исполнительного механизма.

Пример реализации предложенного способа передачи транзакций в интеллектуальных мехатронных системах.

Моделирование конкретных ситуаций по определению оптимальных триплетов помехоустойчивого кода требует обоснования выбора следующих практически значимых величин: скорости битовых ошибок в канале $P_{\text{ош}}$; достоверности передачи блока транзакции; фактического объема передаваемой транзакции.

Весь диапазон значений скорости ошибок $P_{\text{ош}}$ можно разделить на три поддиапазона в зависимости от используемых каналов связи. Скорость битовых ошибок в канале транзакции менее $5 \cdot 10^{-3}$ характерна для оптоволоконных и проводных каналов связи. Радиоканалы характеризуются значениями скорости битовых ошибок, лежащими в диапазоне $5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$. Так называемые "радиоканалы крайне низкого качества" имеют скорость битовых ошибок более $1 \cdot 10^{-2}$. Таким образом, предлагаемый способ охватывает все технически возможные варианты организации каналов передачи транзакций в интеллектуальных мехатронных системах.

Значения достоверности передачи блока транзакции - не менее 0,999 выбраны из следующих соображений. Для обеспечения эффективного функционирования интеллектуальной мехатронной системы необходимо иметь достоверность передачи всего объема транзакции не ниже 0,99. При минимальном объеме транзакции 10 блоков наименьшее значение достоверности передачи одного блока равно 0,999.

Допустимый фактический объем транзакции выбран равным 2048 бит исходя из того, что мехатронная система с помощью одной транзакции должна обеспечивать учет одновременно до 20 информационных параметров (то есть производить управление по 20 координатам фазового пространства). Указанные требования могут быть выполнены при общем информационном объеме транзакции $n_{\text{инф}}=2048$ бит. Учитывать большее количество информационных параметров в процессе функционирования интеллектуальной мехатронной системы нецелесообразно, так как эффективность автоматического

управления резко снижается при увеличении числа координат фазового пространства выше 20.

Для задания конкретных значений параметра n_i могут быть использованы результаты, полученные применительно к примитивным БЧХ-кодам (табл. 1).

Таблица 1

Триплеты $\{n_i, k_i, d_i\}$ помехоустойчивого кода G

n_i	23				31				63				127				255			
k_i	12	26	21	16	11	56	51	45	39	120	113	106	99	247	239	231	223			
d_i	7	3	5	7	9	3	5	7	9	3	5	7	9	3	5	7	9			

В качестве примера реализации способа показано, что для БЧХ-кодов с $d=7$ ($t \leq 3$) значение параметра $s \geq 4$, а базовая функция вероятностей образования ошибок кратности не ниже 4 в каждом кодовом блоке объемом n_i бит принимает следующий вид:

$$W(P_{\text{ош}}, n_i, s = 4) = 1 - (1 - P_{\text{ош}})^{n_i} - n_i P_{\text{ош}} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i - 1} - [n_i(n_i - 1)/2] P_{\text{ош}}^2 (1 - P_{\text{ош}})^{n_i - 2} - [n_i(n_i - 1)(n_i - 2)/6] P_{\text{ош}}^3 (1 - P_{\text{ош}})^{n_i - 3}. \quad (4)$$

Результаты расчета базовой функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s=4)$ для практически значимых величин скоростей ошибок $P_{\text{ош}}$ и дискретных параметров n_i представлены на фиг. 2. Здесь приняты следующие обозначения: приведенные зависимости 1,2,3,4 соответствуют величине $n_i=23; 31; 63; 127$.

В соответствии с предложенным способом оценивалась область обеспечения предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в кодовых блоках и требуемой достоверности передачи транзакций.

В табл. 2 приведены значения функции предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в каждом кодовом блоке при условии, что достоверность передачи транзакции достигает уровня 0,999, выявляются и исправляются битовые ошибки кратности не ниже 3.

Таблица 2


Вероятность наличия остаточных ошибок

Параметры достоверности передачи транзакций	Триплеты БЧХ-кода				
	(23, 12, 7)	(31, 16, 7)	(63, 45, 7)	(127, 106, 7)	(255, 231, 7)
Количество кодовых блоков в транзакции	88	71	24	10	5
Коэффициенты избыточности кодов	0,478	0,484	0,286	0,165	0,094
Предельно допустимые вероятности наличия остаточных ошибок в кодовых блоках для достижения $P_{\text{дост}} = 0,999$	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$1,41 \cdot 10^{-5}$	$4,17 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
Объем транзакций с учетом помехоустойчивого кодирования блоков, бит	2048	2201	1512	1270	1275

Результаты сопоставления данных табл. 2 и значений базовой функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s)$ с проверкой выполнения основного критериального условия для $s \geq 4$ (вариант выявления и исправления ошибок кратности не ниже 3) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Обеспечение достоверности передачи транзакций

Скорости битовых ошибок $P_{\text{ош}}$ в канале	Триплеты БЧХ-кода				
	(23, 12, 7)	(31, 16, 7)	(63, 45, 7)	(127, 106, 7)	(255, 231, 7)
$1 \cdot 10^{-6}$	+	+	+	+	+
$5 \cdot 10^{-6}$	+	+	+	+	+
$1 \cdot 10^{-4}$	+	Область обеспечения предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в кодовых блоках			+
$5 \cdot 10^{-4}$	+				+
$1 \cdot 10^{-3}$	+				-
$5 \cdot 10^{-3}$	+	+	+	-	-
$1 \cdot 10^{-2}$	+	+	-	-	-
$5 \cdot 10^{-2}$	-	-	-	-	-
Вероятность наличия остаточных ошибок в кодовом блоке при $t_i \leq 3$	0,026 при $P_{\text{ош}} > 5 \cdot 10^{-2}$	0,067 при $P_{\text{ош}} > 5 \cdot 10^{-2}$	0,025 при $P_{\text{ош}} \geq 1 \cdot 10^{-2}$	0,004 при $P_{\text{ош}} \geq 5 \cdot 10^{-3}$	0,00014 при $P_{\text{ош}} \geq 1 \cdot 10^{-3}$
 — область проявления недопустимого эффекта разбухания транзакции					

Анализ полученных результатов табл. 3 позволяет сформировать отличительные признаки предлагаемого способа передачи транзакций в интеллектуальных мехатронных системах, касающиеся выбора конкретных оптимальных триплетов помехоустойчивого кода. При этом диапазон информационной емкости выбираемых триплетов ограничивается значениями (127, 106, 7). Дальнейшее увеличение информационной емкости помехоустойчивого кода нецелесообразно в связи с возникновением негативного эффекта "разбухания" транзакции, что требует значительного увеличения числа контрольных разрядов и соответственно недопустимого снижения объема передаваемой полезной информации.

При скорости битовых ошибок в канале транзакции менее $5 \cdot 10^{-3}$ и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7) или (127, 106, 7). При допустимом общем объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (127, 106, 7).

При значениях скорости битовых ошибок в канале транзакции, лежащих в диапазоне $5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$, и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7), (31, 16, 7) или (63, 45, 7). При допустимом общем объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (63, 45, 7).

При скорости битовых ошибок в канале транзакции более $1 \cdot 10^{-2}$ и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7) или (31, 16, 7). При допустимом фактическом объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (31, 16, 7).

Достоинство предлагаемого способа передачи транзакции заключается в том, что он может применяться в интеллектуальной мехатронной системе для оптимального выбора параметров помехоустойчивого кода (информационной длины и избыточности кода) при изменении прогнозируемой помеховой обстановки в канале передачи сенсорной информации. Данный способ учитывает все источники внесения искажений во всей трассе передачи сенсорного сигнала "объект контроля-сенсорный модуль-передающее устройство-приемное устройство-блок управления-исполнительный механизм". Это позволяет повысить достоверность передачи информации и соответственно качество выполнения технологических операций мехатронной системой.

Предлагаемый способ позволяет разработчику при проектировании конкретной мехатронной системы корректно сформулировать и выполнить предварительное решение задачи многопараметрической нелинейной дискретной оптимизации. Дело в том, что для каналов информационного взаимодействия составных частей мехатронной системы выбор параметров и алгоритмов помехоустойчивого кодирования является одним из основных этапов инженерного проектирования дистанционных интерфейсов. Именно этот этап, как правило, вызывает трудности теоретического и практического характера, а в ряде случаев приводит к применению не до конца осознанных и недостаточно обоснованных вариантов реализации информационных процессов в интеллектуальных мехатронных системах.

Источники информации, использованные при составлении заявки.

1. Элементы теории передачи информации/Под ред. Л. П. Путова. -М.: Связь, 1972, с. 39.
2. Патент RU № 2276837, опубликован 20.05.2006. Способ передачи информации с использованием адаптивного помехоустойчивого кодирования.
3. Патент RU № 2375824, опубликован 10.12.2009. Способ адаптивного помехоустойчивого кодирования (прототип).

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ осуществления транзакции, в частности телеметрической или телематической транзакции в интеллектуальной мехатронной системе, заключающийся в том, что производят расчленение передаваемой транзакции на кодовые блоки, выполняют установку помехоустойчивого блочного кода Боуза-Чоудхури-Хоквингема, выбирают фиксированные триплеты этого кода и осуществляют передачу транзакции, отличающийся тем, что после установки указанного помехоустойчивого блочного кода оценивают вероятность образования битовых ошибок различной кратности в кодовых блоках транзакции, устанавливают допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в каждом из кодовых блоков, сравнивают значения указанных вероятностей между собой и выбирают такие триплеты помехоустойчивого кода, при которых вероятность образования битовых ошибок не превышает допустимую вероятность наличия остаточных ошибок в передаваемой транзакции.

2. Способ осуществления транзакции по п.1, отличающийся тем, что при скорости битовых ошибок в канале транзакции менее $5 \cdot 10^{-3}$ и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7) или (127, 106, 7).

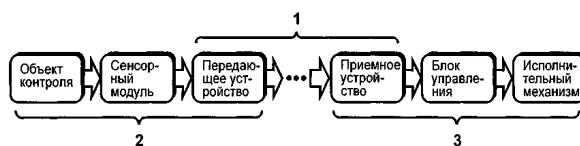
3. Способ осуществления транзакции по п.2, отличающийся тем, что при допустимом общем объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (127, 106, 7).

4. Способ осуществления транзакции по п.1, отличающийся тем, что при значениях скорости битовых ошибок в канале транзакции, лежащих в диапазоне $5 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-2}$, и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7), (31, 16, 7) или (63, 45, 7).

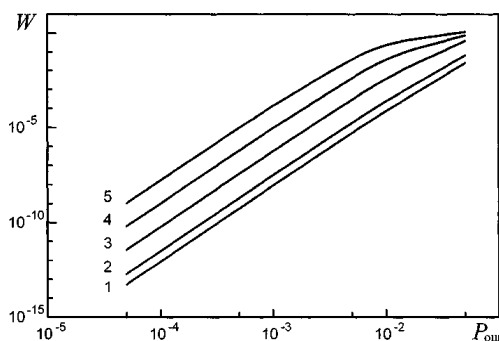
5. Способ осуществления транзакции по п.4, отличающийся тем, что при допустимом общем объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (63, 45, 7).

6. Способ осуществления транзакции по п.1, отличающийся тем, что при скорости битовых ошибок в канале транзакции более $1 \cdot 10^{-2}$ и достоверности передачи блока транзакции не менее 0,999 выбирают фиксированные триплеты помехоустойчивого кода (23, 12, 7) или (31, 16, 7).

7. Способ осуществления транзакции по п.6, отличающийся тем, что при допустимом фактическом объеме транзакции до 2048 бит выбирают фиксированный триплет помехоустойчивого кода (31, 16, 7).



Фиг. 1



Фиг. 2



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2