

А. В. Гулай, канд. техн. наук, зав. кафедрой, altaj@tut.by, **В. М. Зайцев**, канд. техн. наук, доц., is@bntu.by, Белорусский национальный технический университет, Минск

Достоверность передачи транзакций в мехатронных системах: выбор триплетов помехоустойчивого кода

Представлена технология рационального выбора триплетов помехоустойчивого кода для обеспечения требуемого уровня достоверности передачи транзакций в мехатронных системах. Предложенная технология основана на введении базовой функции W вероятностей образования битовых ошибок различной кратности в кодовых блоках транзакции и функции L предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в каждом из кодовых блоков. Критериальное условие $W \leq L$ обеспечивает рациональное выделение групп триплетов, допустимых для создания кодовых блоков передачи транзакций с необходимой достоверностью на каналах заданного качества.

Ключевые слова: мехатронная система, передача транзакций, достоверность передачи, помехоустойчивый код

Введение

В большинстве мехатронных систем используются типовые циклы адаптивного управления, позволяющие в параллельно-последовательном режиме организовать выполнение следующих основных действий [1]:

- сбор, обработку и накопление информации о текущем состоянии объекта, которая формируется с помощью сенсорных источников и вычислительного оборудования мехатронной системы и в необходимом темпе передается в орган управления;
- выработку органом управления требуемых управляющих воздействий и соответствующих им команд;
- доведение команд до объекта и их отработку исполнительными механизмами мехатронной системы.

Информационная совместимость составных частей мехатронной системы достигается за счет применения унифицированных телеметрических и телематических транзакций. Возможная логическая структура транзакции включает служебный заголовок и тело транзакции, причем 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 ограниченное число 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 [2].

Современные усредненные технические требования устанавливают, что мехатронная система с помощью одной транзакции должна обеспечивать работу одновременно не менее чем с 20 информационными параметрами или управление по 20 координатам фазового пространства [1]. Указанные требования могут быть выполнены при общем полезном информационном объеме транзакции $n_{\text{инф}} = 1056$ бит, в котором суммарный объем служебного заголовка и кода имитозащиты составляет 96 бит, при этом 960 бит отводится под непосредственное представление телеметрических и телематических данных. В зависимости от конкретного функционального назначения системы эти параметры могут уточняться.

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 системы и обычно устанавливается в пределах 0,99...0,999 [3,4].

Следует отметить также, что технические решения, принимаемые при проектировании мехатронной системы, существенно зависят от используемых трактов передачи транзакций. Например, радиоканалы имеют относительно высокие значения

вероятности ошибок $P_{\text{ош}} = 0,01...0,0005$ в расчете на один передаваемый бит, в то время как проводные и волоконно-оптические каналы имеют вероятности ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-4}...10^{-6}$ и даже более низкие значения [4].

Для достижения требуемой достоверности передачи транзакций по каналам применяются методы помехоустойчивого кодирования, анализу которых посвящено значительное число исследований и, соответственно, научно-технических публикаций. Так, например, известно установление верхней границы Хемминга, а также введение других оценок объемов помехоустойчивого кода, результаты исследования которых представлены в работах [5–7]. Однако до настоящего времени в общем случае не установлены аналитические соотношения, приемлемые для инженерных расчетов, между длиной кода, числом контрольных разрядов и минимальным кодовым расстоянием.

При проектировании конкретной мехатронной системы разработчику необходимо корректно сформулировать и выполнить предварительное решение задачи многопараметрической нелинейной дискретной оптимизации. Это, 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 связи с вышеизложенным в данной статье представлен анализ технологии рационального выбора триплетов помехоустойчивого кода для обеспечения требуемого уровня достоверности передачи транзакций в мехатронных системах. Данная технология основана на использовании определенных вспомогательных функций: базовой функции вероятностей образования битовых ошибок различной кратности в кодовых блоках транзакции и функции предельно допустимых вероятностей наличия остаточных ошибок в каждом из кодовых блоков. Указанные функции связаны между собой критериальным условием, отражающим 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. Введение критериального условия обеспечивает выделение групп триплетов, допустимых для создания кодовых блоков передачи транзакций с требуемой достоверностью.

Постановка задачи по обеспечению достоверности передачи транзакций в мехатронных системах

Предположим, что в мехатронной системе требуется организовать передачу потока транзакций с общим полезным информационным объемом $n_{\text{инф}}$ бит одной транзакции и обеспечить достоверность ее данных не ниже уровня $P_{\text{дост}}$ на основе некото-

рого блочного помехоустойчивого кода G . Применение указанного кода требует предварительного расчленения транзакции на $R_{\text{бл}}$ отдельных кодовых блоков, которые подлежат самостоятельной передаче по каналу. Блочные помехоустойчивые коды принято отображать триплетами (n, k, d) . Каждому допустимому значению n триплета соответствует определенное число k информационных и r контрольных битов ($k + r = n$). Соотношение битов в паре k, r триплета определяется минимальным расстоянием Хемминга d , при этом $r(d)$ является возрастающей дискретной нелинейной функцией [8, 9].

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 известным соотношением $t \leq (d - 1)/2$ [8]. Число кодовых блоков в составе транзакции с учетом помехоустойчивого кодирования G при использовании триплета $\{n_i, k_i, d_i\}$ соответствует верхней целочисленной границе отношения $n_{\text{инф}}/k_i; R_{\text{бл}} = \sup[n_{\text{инф}}/k_i]$. 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 $n_{\text{факт}} = R_{\text{бл}} n_i$.

В целях предотвращения чрезмерного расширения транзакции и уменьшения при этом ее фактического объема $n_{\text{факт}}$ целесообразно снижение общего числа 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 Хемминга d_i и, следовательно, числа 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 числа информационных битов 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 битов по каналу. Очевидно, что в общем случае необходим рациональный выбор триплетов помехоустойчивого кода G , минимизирующих параметр $n_{\text{факт}}$ при условии обеспечения требуемой достоверности $P_{\text{дост}}$.

Выбор параметров помехоустойчивого кодирования для обеспечения успешной передачи транзакций

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

- базовой функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s)$ вероятностей образования ошибок кратности не ниже s в каждом кодовом блоке объемом n_i бит при его передаче по симметричному каналу с вероятностью возникновения битовых ошибок $P_{\text{ош}}$;
- функции $L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i)$ 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 .

Базовая функция определяется следующей биномиальной зависимостью:

$$\begin{aligned} W(P_{\text{ош}}, n_i, s) = & 1 - (1 - P_{\text{ош}})^{n_i} - \\ & - C_{n_i} P_{\text{ош}} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-1} - C_{n_i}^2 P_{\text{ош}}^2 (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-2} - \\ & - \dots - C_{n_i}^{n_i-s-2} P_{\text{ош}}^{s-2} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-s-2} - \\ & - C_{n_i}^{n_i-s-1} P_{\text{ош}}^{n_i-s-2} (1 - P_{\text{ош}})^{n_i-s-1}. \end{aligned}$$

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, т. е. 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. В целях 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 $\{n_i, k_i, d_i\}$; $i = 1, 2, \dots, U$ [8, 9]. Рас-

сматриваемая 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 может быть задана следующей совокупностью дискретных значений:

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

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 провести обоснованный отбор допустимых решений путем проверки выполнения основного критериального условия:

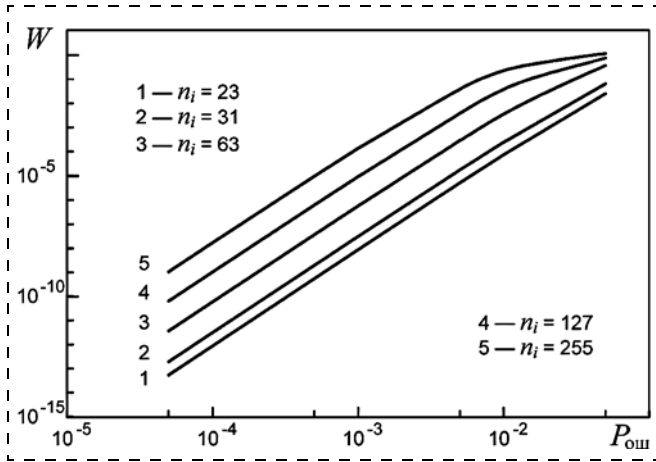
$$W(P_{\text{ош}}, n_i, s) \leq L(P_{\text{дост}}, n_{\text{инф}}, n_i, r_i, t_i).$$

Данное критериальное условие отражает статистическую возможность компенсации негативных явлений, связанных с появлением в кодовых блоках битовых ошибок кратности s . Компенсация осуществляется 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 (т. е. 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 $n_{\text{факт}}$.

Для каналов информационного взаимодействия составных частей мехатронной системы выбор параметров и алгоритмов помехоустойчивого кодирования является одним из основных этапов инженерного проектирования дистанционных интерфейсов. В системах блочного кодирования для каналов с независимыми ошибками лучшим конструктивизмом в смысле соотношений $k, r(d)$ три-

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



Зависимость базовой функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s = 4)$ от $P_{\text{ош}}$ и параметра n_i

плетов обладают БЧХ-коды [8, 9]. Для задания конкретных значений параметра n_i могут быть использованы результаты, полученные применительно к примитивным БЧХ-кодам (табл. 1) [9] (в указанной работе приведены также соответствующие порождающие полиномы).

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:

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

Результаты расчета базовой функции $W(P_{\text{ош}}, n_i, s = 4)$ для практически значимых дискретных зна-

чений $P_{\text{ош}}$ и дискретных параметров n_i представлены на рисунке.

Оценка вероятности наличия остаточных ошибок в кодовых блоках транзакций

По предлагаемой методике оценивали 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. При этом информационный объем транзакции выбран равным 1056 бит.

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.

Анализ полученных результатов позволяет сформировать следующие возможные решения:

- при необходимости организации работы мехатронной системы на каналах с $P_{\text{ош}} = 5 \cdot 10^{-2}$ ни один из представленных триплетов БЧХ-кода с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) не обеспечивает передачу транзакций с требуемой достоверностью, и необходимо либо применение каналов более высокого качества, либо использование иного кода G ;
- для организации работы мехатронной системы на каналах с $P_{\text{ош}} = 1 \cdot 10^{-2}$ могут быть применены БЧХ-коды с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) в виде двух триплетов: (23, 12, 7) и (31, 16, 7); они обеспечивают передачу транзакций с требуемой достоверностью, при этом код Голя как частный случай БЧХ-кода, которому соответствует триплет (23, 12, 7), более

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)
Число кодовых блоков в транзакции при ее объеме $n_{\text{инф}} = 1056$ бит	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

Обеспечение достоверности передачи транзакций

Вероятность 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 $P_{\text{ош}} \geq 1 \cdot 10^{-3}$

предпочтителен, он дает наименьший фактический объем транзакции на уровне 2048 бит;

- в случае организации работы мехатронной системы на каналах при $5 \cdot 10^{-3} \leq P_{\text{ош}} \leq 1 \cdot 10^{-2}$ могут быть применены БЧХ-коды с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) в виде трех триплетов: (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7); все они обеспечивают передачу транзакций с требуемой достоверностью, при этом более предпочтителен триплет (63, 45, 7), который дает наименьший фактический объем транзакций на уровне 1512 бит;
- при необходимости организации работы мехатронной системы на каналах с $P_{\text{ош}} \leq 1 \cdot 10^{-3}$ могут быть применены БЧХ-коды с $t_i \leq 3$ ($d_i = 7$) в виде четырех триплетов: (23, 12, 7), (31, 16, 7), (63, 45, 7), (127, 106, 7); они обеспечивают передачу транзакций с требуемой достоверностью, при этом более предпочтителен код (127, 106, 7), дающий наименьший фактический объем транзакций на уровне 1275 бит.

Представленные результаты являются средними; граница выделенной допустимой области задается последней строкой табл. 3. Дополнительные расчеты показали, что уменьшение или увеличение вероятности $P_{\text{дост}}$ сопровождается соответствующим активным расширением или сужением допустимой области. В то же время эффект от применения триплетов со значениями $t_i \leq 4$ ($d_i = 9$) относительно невысок — наблюдается лишь незначительное расширение допустимой области. Следует отметить также, что возможность применения рассматриваемой технологии при явно выраженном группировании ошибок и образовании их серий может быть обеспечена путем введения процедур перемежения битов в кодовых блоках или за счет применения кода Файра [9].

Заключение

Для обеспечения заданного уровня достоверности передачи транзакций по каналам, например в мехатронных системах, необходимо помехоустойчи-

вое кодирование. Повышение достоверности передачи выполняется за счет рационального выбора триплетов помехоустойчивого кода, позволяющего минимизировать фактический объем транзакций. Представленная в работе технология выбора указанных триплетов основана на сравнении функций, характеризующих вероятности образования ошибок в каналах передачи. Одной из указанных функций является вероятность W образования ошибок определенной кратности в каждом кодовом блоке при его передаче по каналу с известной скоростью возникновения битовых ошибок. Другая функция — предельно допустимая вероятность L наличия остаточных ошибок в кодовом блоке при достижении требуемой достоверности за счет исправления кодом битовых ошибок определенной кратности.

Рациональный выбор триплетов помехоустойчивого кода в целях повышения достоверности передачи транзакций определяется введенным критериальным условием $W \leq L$. С использованием предложенной методики выбора триплетов помехоустойчивого кода выполнена оценка области обеспечения предельно допустимой вероятности наличия остаточных ошибок в кодовых блоках и требуемой достоверности передачи транзакций. Полученные результаты позволили сформировать возможные решения по выбору фиксированных триплетов помехоустойчивого кода в зависимости от скорости битовых ошибок в канале транзакции, достоверности передачи блока транзакции, а также ее допустимого общего объема.

Список литературы

1. Федотов А. В. Использование методов теории автоматического управления при разработке мехатронных систем. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. 84 с.
2. Харин Ю. С., Берник В. И., Матвеев Г. В., Агиевич С. В. Математические и компьютерные основы криптологии. Минск: Новое знание, 2003. 382 с.
3. Смит С. Цифровая обработка информации. М.: Издательский дом "ДодЭка-XXI", 2008. 720 с.

4. **Феев К.** Беспроводная цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000. 520 с.
5. **Dumer I., Micciomcio D., Sudan M.** Hardness of Approximating the Minimum Distance of a Linear Code // 2000 IEEE International Symposium on Information Theory. 2003. Vol. 49. P. 22–37.
6. **Boston N.** Bounding Minimal Distances of Cyclic Codes Using Algebraic Geometry // Electronic Notes in Discrete Mathematics. 2001. Vol. 6. Iss. 5. P. 384–386.

7. **Kaida T. A., Zeng A.** Note on the Rank Bounded Distance and Its Algorithms for Cyclic Codes // Pure and Applied Mathematics Journal. 2015. Vol. 4. Iss. 2–1. P. 36–41.
8. **Кларк Д., Кейн Д.** Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи. М.: Радио и связь, 1987. 388 с.
9. **Никитин Г. И.** Помехоустойчивые циклические коды. СПб.: Санкт-Петербургский ГУ аэрокосмического приборостроения, 2003. 33 с.

Transmission Reliability of Transactions in Mechatronic Systems: Choice of Triplets for Noiseproof Code

A. V. Gulay, altaj@tut.by✉, **V. M. Zaitsev**, is@bntu.by,
Belorussian national technical university, Minsk, 220013, Belarus

Corresponding author: **Gulay Anatoly V.**, PhD, Associate Professor, Chief of Department, Belorussian national technical university, Minsk, 220013, Belarus, e-mail: altaj@tut.by

Received on March 02, 2015

Accepted on August 11, 2015

In order to provide the preset authenticity level of transfer of transactions by channels, for example, in mechatronic systems noise-resistant coding is required. Improvement of transfer authenticity is attained owing to the rational selection of triplets of the noise-resistant code by allowing to minimize the actual volume of transactions. The technology of selecting the said triplets presented in the work is based on comparison of functions which characterize probability of errors formation in transmission channels. One of the said functions includes probability W of errors formation having certain multiplicity in each code block when this is transmitted by the channel with the known speed of occurrence of bit errors. Another function is the limit allowed probability L of available residual errors in the code block when the required authenticity is achieved due to correction by means of the code of bit errors of certain multiplicity. Rational selection of noise-resistant code triplets with the aim of improvement of authenticity of transactions transfer is determined by the introduced criteria term $W \leq L$. With the use of the proposed method of selection of the noise-resistant code triplets an assessment has been fulfilled for provision of the field of providing the limit allowed probability of available residual errors in code blocks and the requires authenticity of transactions transfer. The obtained results made it possible to form possible solutions of selecting the fixed triplets of the noise-resistant code depending on speed of bit errors in the transaction channel, authentic transfer of the transaction block, as well as its allowed total volume.

Keywords: mechatronic system; transmission of transactions; noiseproof code, transmission reliability

For citation:

Gulay A. V., Zaitsev V. M. Transmission Reliability of Transactions in Mechatronic Systems: Choice of Triplets for Noiseproof Code, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 1, pp. 26–31.

DOI: 10.17587/mau/17.26-31

References

1. **Fedotov A. V.** *Ispol'zovanie metodov teorii avtomaticheskogo upravleniya pri razrabotke mehatronnyh system* (Use of Automatic Control Theory Methods While Developing Mechatronic Systems), Omsk, Publishing House of Omsk State Technical University, 2007. 84 p. (in Russian).
2. **Harin Ju. S., Bernik V. I., Matveev G. V., Agievich S. V.** *Matematicheskie i komp'yuternye osnovy kriptologii* (Mathematical and Computer Fundamentals of Cryptology), Minsk, Novoe znanie, 2003. 382 p. (in Russian).
3. **Smit S.** *Cifrovaya obrabotka signalov* (Digital Signal Processing), Moscow, DodJeka—XXI, 2008. 720 p. (in Russian) A Practical Guide for Engineers and Scientists. California, San-Diego, California Technical Publishing. 643 p.

4. **Feer K.** *Besprovodnaja cifrovaja svjaz'* (Wireless Digital Communications. Modulation and Spread Spectrum Applications), Moscow, Radio i svjaz', 2000. 520 p. Modulation and Spread Spectrum Applications. NY, Prentice Hall PTR. 544 p.
5. **Dumer I., Micciomcio D., Sudan M.** Hardness of Approximating the Minimum Distance of a Linear Code, *2000 IEEE International Symposium on Information Theory*, 2003, vol. 49, pp. 22–37.
6. **Boston N.** Bounding Minimal Distances of Cyclic Codes Using Algebraic Geometry, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 2001, vol. 6, iss. 5, pp. 384–386.
7. **Kaida T. A., Zeng A.** Note on the Rank Bounded Distance and Its Algorithms for Cyclic Codes, *Pure and Applied Mathematics Journal*, 2015, vol. 4, iss. 2–1, pp. 36–41.
8. **Kларк Д., Кейн Д.** *Kodirovanie s ispravleniem oshibok v sistemah cifrovoy svjazi* (Error-Correction Coding for Digital Communications), Moscow, Radio i svjaz', 1987, 388 p. (Clark, G. C & Cain, J. B. (1981) Error-Correction Coding for Digital Communications. Springer. 432 p.)
9. **Nikitin G. I.** *Pomehoustojchivye ciklicheskie kody* (The error-detecting cyclic codes), Saint Petersburg, Publishing House of Saint Petersburg State university of aerospace instrumentation, 2003, 33 p. (in Russian).