УДК 004.052.2 ISSN 1995-5499
DOI: https://doi.org/10.17308/sait.2021.3/3734
Поступила в редакцию 07.07.2021
Подписана в печать 20.11.2021

КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СИМВОЛЬНЫХ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ДИВЕРГЕНТНОМ ДЕКОДИРОВАНИИ

© 2021 О. В. Иванцов, Д. Е. Горохов, М. Н. Мишустин✉

Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации
ул. Приборостроительная, 35, 302015 Орёл, Российская Федерация

Аннотация. Широкое внедрение беспроводных технологий в различные аспекты современной жизни в том числе использование телеуправляемых устройств требует решения задачи повышения устойчивости канала управления в условиях разнообразных деструктивных воздействий. Данные воздействия могут иметь различную природу происхождения от объективно существующих изменений физических свойств среды передачи до преднамеренных антропогенных воздействий потенциального нарушителя. Поэтому в сложившихся условиях актуальной является задача разработки корректирующих кодов обеспечивающих высокую помехоустойчивость при низкой вычислительной сложности. Предпосылками к решению задачи по созданию таких кодов стала реализация в алгоритмах декодирования принципов оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования. В настоящей статье проведен анализ свойств: баланса, серий, «зеркальности» одноименных единичных символов относительно mod p подпоследовательностей символьной М-последовательности с делимым приводимым полиномом, как дополнительных признаков обнаружения ошибок в алгоритмах дивергентного декодирования. Определены условия эффективного применения дивергентных корректирующих кодов на основе мягкой обработки сегментов символьной М-последовательности. Приведены функциональные схемы кодера, декодера и аппаратуры передачи данных, в которых реализуются принципы оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования с низкой вычислительной сложностью. Использование свойств подпоследовательностей символьной М-последовательности с делимым приводимым полиномом как дополнительных признаков обнаружения ошибок достаточно для реализации алгоритма дивергенции с многопороговым декодированием. Предложенный в работе подход позволяет обеспечить заданную достоверность при изменении скорости передачи данных в условиях экстремально большого уровня шума в канале связи.
Ключевые слова: свойства символьных М-последовательностей, дивергентное декодирование, принципы оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение в различные аспекты современной жизни беспроводных устройств ставит перед исследователями задачи повышения устойчивости удаленного управления оборудованием в условиях множества деструктивных воздействий на канал распространения. Данные воздействия могут иметь различную природу происхождения от объективно существующих изменений физических свойств среды передачи до преднамеренных антропогенных воздействий потенциального нарушителя.

✉ Мишустин Максим Николаевич
e-mail: swindler417@yandex.ru

В этих условиях разработчикам требуются эффективные механизмы помехоустойчивого декодирования для защиты беспроводных каналов управления.

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СИМВОЛЬНЫХ М-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ДИВЕРГЕНТНОМ ДЕКОДИРОВАНИИ

Одной из актуальных задач теории помехоустойчивого кодирования является разработка хороших корректирующих кодов короткой и средней длины с низкой вычислительной сложностью.

Предпосылками к решению задачи по созданию таких кодов стала реализация в алгоритмах декодирования принципов оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования [1].

Оптимизационная теория помехоустойчивого кодирования позволила успешно декодировать кодовые комбинации вблизи границы Шеннона и значительно продвинуться от использования весьма слабых по эффективности кодов Рида-Соломона (кроме коротких вариантов этого кода) к применению корректирующих кодов на основе обработки сегментов символьных М-последовательностей.

Реализация принципов оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования, в декодерах с прямым контролем метрики оказалась абсолютно необходимой для решения задачи кодирования в каналах с экстремально большим уровнем шума [1].

Корректирующие коды, у которых кодирование информации обеспечивается изменением фазы сегмента рекуррентной последовательности [2], удобны для проведения исследований по возможному применению в алгоритмах обработки символьных М-последовательностей принципов многопорогового и дивергентного декодирования для реализации дополнительной защиты от ошибок и сохранении при этом низкой вычислительной сложности.

Разработанные алгоритмы обработки сегментов рекуррентных последовательностей на основе применения многопорогового декодирования с прямым контролем метрики и низкой вычислительной сложностью [3] позволяют перейти к реализации операции дивергенции как одного из основных принципов оптимизационной теории помехоустойчивого кодирования [4].

Сегменты символьных линейных рекуррентных последовательностей, как кодовые слова, кроме основных признаков (например, фаза, закон рекурсии) несут в себе дополнительные признаки, которые определяются свойствами рекуррентных последовательностей баланса, серий, сдвига, линейности, окна, группового сложения.

Применение этих признаков рекуррентных последовательностей в дивергентном декодировании позволяют построить алгоритм обнаружения и исправления ошибок в кодовой комбинации с низкой вычислительной сложностью еще до применения базового (основного) алгоритма декодированиях.

При создании итеративных корректирующих кодов очевидным является комбинированное применение в качестве кодовых комбинаций сегментов символьных М-последовательностей, обеспечивающих уменьшение (компрессию) размера двоичной части информационного блока. Например, применение p-й М-последовательности в качестве кодового слова позволяет уменьшить размер информационной двоичной комбинации при ее символьном кодировании (компрессии) в $\log_2 p$ раза.

Кроме того, для любого единичного элемента подпоследовательности символьной М-последовательности, образованной делимым приводимым полиномом, найдется «зеркальный», относительно $\bmod p$, единичный элемент в другой подпоследовательности.

Рассмотрим пример дивергентного декодирования недвоичной М-последовательности, в котором используются свойства «зеркальности» одноименных элементов разных подпоследовательностей, серий и баланса символов.

Генератор символьной М-последовательности формирует кодовую комбинацию (рис. 1) с начальным вектором (101), определяющим фазу последовательности по закону полинома $P_1(x) = x^3 - x - 2$.

Символьная М-последовательность будет иметь следующий вид:

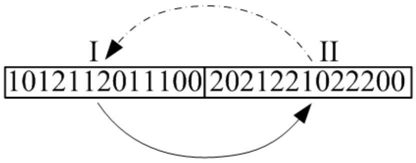

Рис. 1. Символьная М-последовательность третьего порядка с основанием 3 и приводимым делимым полиномом $P_1(x)=x^3-x-2$
[Fig. 1. A third-order symbolic M-sequence with base 3 and a reducible divisible polynom $P_1(x)=x^3-x-2$*]*

Количество единичных символов в символьной М-последовательности определяется следующим выражением:

$$N = p^k - 1 = 3^3 - 1 = 26, \qquad (1)$$

где k — количество разрядов генератора.

Количество символов в одной подпоследовательности определяется как:

$$N_{p-1} = \frac{p^k - 1}{(p-1)} = 13, \qquad (2)$$

Количество серий длиной «$k-i$» в каждой подпоследовательности символьной М-последовательности определяется по формуле:

$$n = \frac{(p-1)p^{k-1}}{p^{k-i}}, \qquad (3)$$

где $i = 1, 2, 3, ..., k-1$.

В данном выражении количество серий длиной k не определяется, так как в каждой подпоследовательности она одна.

Используя выражение (3) можно определить, например, что каждая из двух подпоследовательностей символьной М-последовательности с приводимым делимым полиномом $P_1(x)=x^3-x-2$ (рис.1) содержит 2 двойные и 6 одиночных серий.

Из полученной последовательности (рис. 1) видно, что все единичные элементы a_{i1} по порядку первой подпоследовательности зеркальны по модулю основания кода соответствующим элементам второй подпоследовательности, т. е. $(a_{i1}+a_{i2}) \bmod 3 = 0$.

Если увеличить основание кода, например $p=5$, то генератор символьной М-последовательности второго порядка формирует кодовую комбинацию по закону полинома $P_1(x)=x^2-4x-3$ с начальным вектором (11).

Полученная последовательность 112103224201014434023311304 состоит из четырех подпоследовательностей, каждая из которых состоит из 6 единичных элементов (рис. 2).

Все единичные элементы символьной М-последовательности в первой подпоследовательности a_{i1} по модулю основания кода «зеркальны» соответствующим элементам третьей подпоследовательности a_{i3}, и символы второй подпоследовательности a_{i2} по модулю основания кода зеркальны соответствующим элементам четвертой подпоследовательности a_{i4}. Тогда верно утверждение $(a_{i1}+a_{i3}) \bmod 5 = 0$ и $(a_{i2}+a_{i4}) \bmod 5 = 0$.

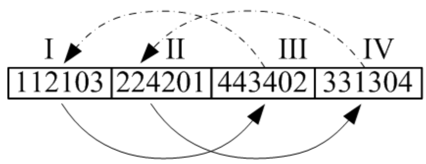

Рис. 2. Символьная М-последовательность второго порядка с основанием 5 и приводимым делимым полиномом $P_1(x)=x^2-4x-3$
[Fig. 2. A second-order symbolic M-sequence with base 5 and a reducible divisible polynom $P_1(x)=x^2-4x-3$ *]*

Если генератор символьной М-последовательности с основанием кода 7 формирует последовательность по закону полинома $P_3(x)=x^2-6x-4$ с начальным вектором (11), то на его выходе формируется М-последовательность, состоящая из шести подпоследовательностей. В состав каждой подпоследовательности входит 8 единичных элементов (рис. 3).

Когда основание кода символьной М-последовательности равно 7 формируется три пары подпоследовательностей с зеркальными элементами, тогда $(a_{i1}+a_{i4}) \bmod 7 = 0$, $(a_{i2}+a_{i5}) \bmod 7 = 0$ и $(a_{i3}+a_{i6}) \bmod 7 = 0$.

Таким образом, свойство «зеркальности» единичных элементов по $\bmod p$ у соответствующей пары подпоследовательностей в общем виде определяется следующим выражением (4).

$$a_{i\left(\frac{p-1}{2}+j\right)} = (p - a_{ij}) \bmod p, \qquad (4)$$

где

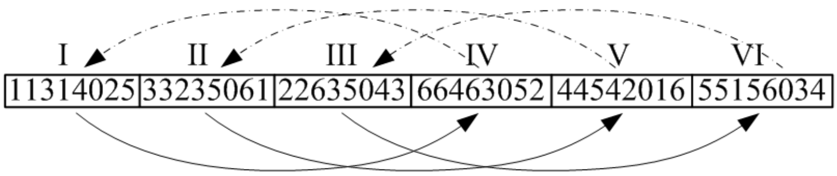

Рис. 3. Символьная М-последовательность второго порядка с основанием 7 и приводимым делимым полиномом $P_1(x)=x^2-6x-4$
[Fig. 3. A second-order symbolic M-sequence with base 7 and a reducible divisible polynom $P_1(x)=x^2-6x-4$]

a_{ij} — значение i-го единичного элемента j-й подпоследовательности в p-й М-последовательности с приводимым делимым полиномом;

i — порядковый номер элемента подпоследовательности по возрастанию единичного $(i=1,2,3,\ldots,(p^k-1)/(p-1))$;

j — порядковый номер подпоследовательности по возрастанию от начала М-последовательности, независимо от ее фазы $(j=1,2,\ldots,(p-1)/2)$;

k — порядок символьной М-последовательности;

p — основание кода символьной М-последовательности $(p=3,5,7,\ldots)$;

$(p^k-1)/(p-1)$ — количество единичных элементов в одной подпоследовательности;

$(p-1)/2+j$ — порядковый номер подпоследовательности, элементы которой «зеркальны» по $\bmod p$ соответствующим элементам подпоследовательности с j-м порядковым номером p-й М-последовательности.

Зная значения единичных элементов одной подпоследовательности можно вычислить значения единичных элементов у остальных подпоследовательностей, находящихся справа или слева от j-й подпоследовательности.

Для получения значений единичных элементов подпоследовательности с порядковым номером $j+y_1$, находящихся справа от j-й подпоследовательности можно воспользоваться следующим выражением (5). Если необходимо получить значения единичных элементов подпоследовательности с порядковым номером $j-(p-1)/(1+y_1)$, находящихся слева от j-й подпоследовательности можно воспользоваться следующим полученным выражением (6).

$$a_{i(j+\gamma_1)}=\left(\frac{p-1}{1+\gamma_1}a_{ij}\right)\bmod p, \qquad (5)$$

$$\gamma_1=1,2,\ldots,(p-3)/2.$$

$$a_{i\left(j-\frac{\delta-1}{1+\gamma_2}+1\right)}=\left[\frac{p-1}{1+\gamma_2}(p-a_{ij})\right]\bmod p, \qquad (6)$$

$$\gamma_2=(p-3)/2,\ldots,\ 2,\ 1,\ 0.$$

Таким образом выражения (4)–(6) позволяют:

1. По известным значениям элементов одной подпоследовательности вычислить значение единичных элементов с таким же порядковым номером в любой из $(p-1)$ подпоследовательностей p-й М-последовательности.

2. В случае использования в качестве кодовых комбинаций сегментов символьной М-последовательности, фазы которых определяются источником информации, полученные полезные свойства можно эффективно применять в алгоритмах формирования кодовых комбинаций и дивергентного декодирования.

При формировании кодовых комбинаций кодером в аппаратуре передачи данных необходимо объединить в один функциональный узел кодер источника информации, включающий в себя компрессор, канальный кодер, обеспечивающий формирование конечного участка символьной М-последовательности, и М-векторный модулятор (рис. 4).

Источник информации с компрессором, обеспечивает сжатие информационной части блока в $k/\log_2 p$ раз, путем преобразования двоичного кода источника в p-й.

Канальный кодер состоит из p-символьного генератора и формирователя элементов конечного участка символьной М-последовательности. Генератор формирует, например, элементы a_{ij} первой подпоследовательности длиной n_1 с начальной фазой соответствующей комбинации длиной $k/\log_2 p$.

Формирователь вычисляет элементы $a_{i(p-1)}$ подпоследовательности конечного участка символьной М-последовательности длиной n_{p-1} в соответствии с выражением (5). Модем с p-векторным квантованием формирует выходной сигнал в виде вектора $\vec{n}$.

На приеме (рис. 5) демодулятор с $M = p$ квантованием вектор $\vec{n}$ преобразует в сегмент символьной М-последовательности, который поступает на вход регенератора единичных символов сегмента последовательности. Регенератор выполняет следующие проверки и версии исправлений ошибок на основе:

– «зеркальности» одноименных символов подпоследовательностей по $\operatorname{mod} p$;

– соответствие количества серий разной длины в каждой подпоследовательности;

– баланса единичных символов.

Если анализатор p-символьной М-последовательности не выделит зачетный участок с количеством ошибок не превышающим заданного порога $t_{ош} \le d-1$, то регенератор единичных символов по заданному алгоритму исправляет ошибки и создает несколько версий сегментов конечного участка последовательности.

Таким образом, методика дивергентного декодирования сводится к последовательности технологических операций.

На первом этапе выполняется проверка выполнения соответствия элементов подпоследовательностей закону их формирования определяемому выражениями (5) и (6). При этом формируется вектор индексов вероятно ошибочных элементов принимаемой последовательности.

На втором этапе выполняется дополнительная проверка принимаемой последовательности на выполнение свойства баланса нулей и соответствия мест размещения нулевых элементов в подпоследовательностях. В символьной М-последовательности, образованной приводимым делимым полиномом, выполняется свойство баланса элементов, которое можно описать выражениями для ненулевых элементов:

$$k_i = \frac{N+1}{p}, \quad i = 1, 2, \ldots, p, \tag{8}$$

где k_i — количество i-х не нулевых единичных символов содержащихся в символьной М-последовательности, а для нулевых элементов:

$$k_0 = \frac{N+1}{p} - 1, \tag{9}$$

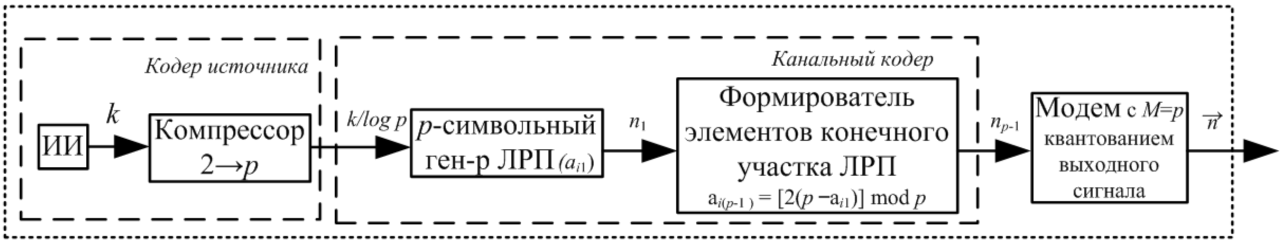

Рис. 4. Пример функциональной схемы кодера
[Fig. 4. A functional scheme of the encoder example]

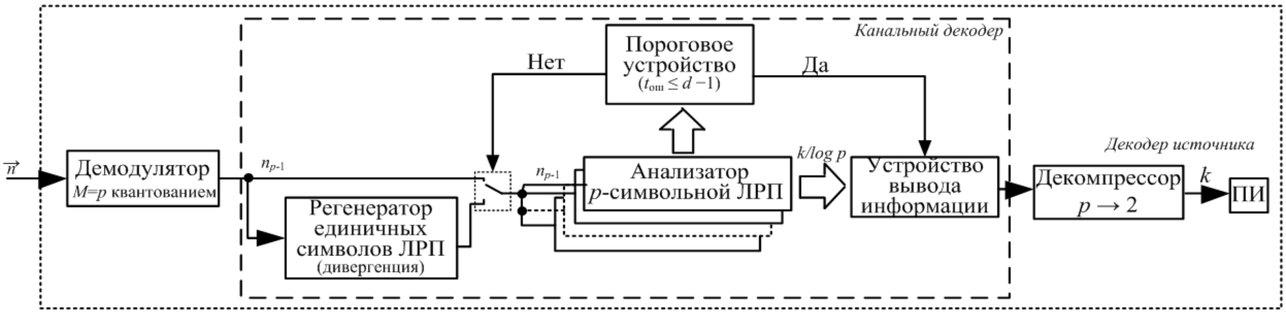

Рис. 5. Пример функциональной схемы декодера сегментов конечного участка символьной М-последовательности
[Fig. 5. A functional scheme of the segment decoder of the final section of the symbolic M-sequence example]

где k_0 — количество нулевых единичных символов содержащихся в символьной М-последовательности.

Результатом данной проверки является уточненный вектор индексов ошибочно принятых символов.

На третьем этапе выполняется проверка соответствия принятой последовательности свойству «серий». При этом количество серий в подпоследовательностях оценивается выражением (3). Несоответствие распределения серий одинаковых элементов в подпоследовательностях позволяет уточнить возможные места ошибок в принятой последовательности. Дополнительную информацию для анализа ошибок дает и закон расположения серий одинаковых элементов в подпоследовательностях.

На четвертом этапе исходя из вероятных ошибок генерируются возможные варианты исправленных последовательностей. С целью сокращения количества вариантов исправленных последовательностей они также проверяются на соответствие свойствам «зеркальности», «серий» и «баланса единичных элементов». Варианты последовательностей, не удовлетворяющие перечисленным свойствам, исключаются как заведомо неверные. В результате выполнения этого этапа на выходе регенератора формируются векторы подпоследовательностей, содержащие максимальное количество символов совпадающих с символами переданной комбинации.

Для выбора наиболее правильного варианта исправленной последовательности по критерию максимума правдоподобия вектор последовательностей-претендентов на пятом этапе используется анализатор ЛРП с пороговым устройством.

Сохранение заданной достоверности, предлагаемыми корректирующими кодами при изменении скорости передачи данных в условиях экстремально большого уровня шума в канале связи, возможно в случае объединения в один функциональный узел демодулятор, декодер канала и декодер источника (рис. 6).

Прототип структурной схемы аппаратуры передачи данных (рис. 6), который обеспечивает защиту от ошибок при больших уровнях шума в канале и сохранение заданной достоверности передаваемой информации при изменении скорости передачи, предполагает наличие нескольких отдельных трактов приема и передачи [5].

Выбор соответствующих трактов передачи и приема и их коммутация к источнику и приемнику информации в аппаратуре передачи данных осуществляется выбором скорости передачи по каналу связи и соответствующего вида модуляции с М-квантованием выходного сигнала.

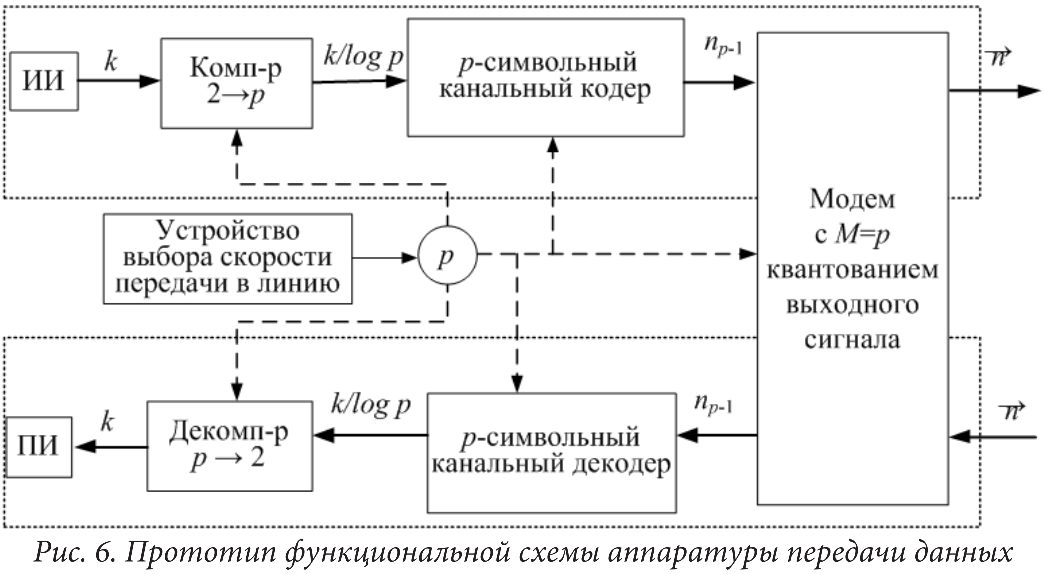

Рис. 6. Прототип функциональной схемы аппаратуры передачи данных
[Fig. 6. Functional scheme of data transmission equipment prototype]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время наилучшие характеристики по быстродействию и эффективности декодирования могут обеспечить только коды с прямым контролем метрики [1]. К ним относятся и дивергентные схемы коррекции ошибок. Применение выявленных свойств недвоичных М-последовательностей позволяет реализовать операцию дивергенции в алгоритмах помехоустойчивого декодирования коротких кодов с низкой вычислительной сложностью.

Проведенные исследования по применению в обработке сегментов символьных М-последовательностей принципов многопорогового и дивергентного декодирования показали:

1. Использование свойств: баланса, серий, «зеркальности» единичных символов относительно $\mathrm{mod}\,p$ подпоследовательностей символьной М-последовательности с делимым приводимым полиномом как дополнительных признаков обнаружения ошибок достаточно для реализации алгоритма дивергенции с многопороговым декодированием.

2. Применение дивергенции в алгоритмах обработки сегментов символьных М-последовательностей большого порядка приводит к большому количеству итераций, что существенно снижает скорость корректирующего кода.

3. Основание кода p, у применяемых в дивергентном декодировании, сегментов символьной М-последовательности для обеспечения высокой исправляющей способности кода необходимо выбирать в соответствии М-векторным квантованием выходного сигнала в модеме.

4. Сохранение заданной достоверности символьным корректирующим кодом при изменении скорости передачи данных в условиях экстремально большого уровня шума в канале связи, возможно в случае объединения в один функциональный узел демодулятора, декодера канала и декодера источника.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Золотарев, В. В.* Теория кодирования как задача поиска глобального экстремума / В. В. Золотарев; под науч. ред. Н. А. Кузнецова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2018. – 217 с.

2. Пат. РФ № 2568320 (RU 2568320 C1), (51) МПК H03M 13/01 (2006.01), H04L 7/00 (2006.01). Способ кодирования информации отрезками линейных рекуррентных последовательностей / О. В. Иванцов, Д. Е. Горохов, В. М. Радыгин, Д. В. Татаринов, А. В. Анисимов; заявл. 19.05.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32.

3. *Золотарев, В. В.* Теория и алгоритмы многопорогового декодирования / В. В. Золотарев. – М. : Радио и связь, 2006. – 266 с.

4. *Золотарев, В. В., Овечкин Г. В.* Дивергентное кодирование свёрточных кодов // Материалы 18-й Международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». – Рязань, 2015. – С. 27–32.

5. *Иванцов, О. В.* Аналитические модели систем передачи с кодом, основанном на обработке рекуррентной последовательности / О. В. Иванцов, Д. Е. Горохов, П. В. Бочков // Известия Тульского государственного университета. – 2018. – Вып. 9. – С. 366–375.

Иванцов Олег Владимирович — канд. техн. наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации.
E-mail: iowwaa@mail.ru
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-0499-9136

Горохов Денис Евгеньевич — канд. техн. наук, сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации.
E-mail: gde@inbox.ru
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-7082-1045

Мишустин Максим Николаевич — сотрудник Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации.
E-mail: swindler417@yandex.ru
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-4908-8977

DOI: https://doi.org/10.17308/sait.2021.3/3734 ISSN 1995-5499
Received 07.07.2021
Accepted 20.11.2021

CORRELATION PROPERTIES OF SYMBOLIC M-SEQUENCES IN DIVERGENT DECODING

© 2021 O. V. Ivantsov, D. E. Gorokhov, M. N. Mishustin✉

The Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation
35, Priborostroitel'naya Street, 302015 Orel, Russian Federation

Annotation. The worldwide introduction of wireless technologies in different states of the modern life including remote controlled drones requires an increase in the resistance of the control channel to a wide range of destructive influences. These influences can have a different nature of origin, such as objectively existing changes of the transmission medium physical properties or deliberate anthropogenic impacts of a potential intruder. So the task of developing an error-correcting code is quite relevant in such conditions. The prerequisites for solving the problem of creating such codes is the implementation of the error-correcting coding optimization theory principles in decoding algorithms. In this paper we analyze the properties of symbolic M-sequence with a divisible reducible polynom as additional error detection signs in divergent decoding algorithms such as: balance, series, the same-name single symbols «specularity» with respect to mod p. We determine the conditions for the effective use of divergent correcting codes based on soft processing of segments of the symbol M-sequence. In this paper a functional diagrams of encoder, decoder and data transmission equipment with low computational complexity optimization theory of error-resistant coding principles implementation are presented. The usage of the symbolic M-sequence properties such as balance, series, «mirroring» of single symbols with respect to mod p as additional signs of error detection is sufficient to implement a divergence algorithm with multi-threshold decoding. The proposed approach allows to maintain the specified reliability when changing the transmission rate caused by a high level of interference.
Keywords: properties of symbolic M-sequences, divergent decoding, principles of the optimization theory of error-correcting coding.

✉ Mishustin Maksim N.
e-mail: swindler417@yandex.ru

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. *Zolotarev V. V.* (2018) Coding theory as a task of a global extremum searching; under the scientific editorship of N. A. Kuznetsov. M. : Hotline – Telecom. 217 p.

2. Pat. Of the Russian Federation No. 2568320 (EN 2568320 C1), (51) IPC H03M 13/01 (2006.01), H04L 7/00 (2006.01). Information coding by segments of linear recurring sequences method. O. V. Ivantsov, E. D. Gorokhov, V. M. Radygin, D. V. Tatarinov, A. V. Anisimov; Appl. 19.05.2014; publ. 20.11.2015, bul. No 32.

3. *Zolotarev V. V.* (2006) Theory and algorithms of multithreshold decoding. M. : Radio and communications. 266 p.

4. *Zolotarev V. V., Ovechkin G. V.* (2015) Divergent coding of convolutional codes // Materials of the 18th International Scientific and Technical Conference "Problems of transmission and processing of information in networks and telecommunication systems". Ryazan. P. 27–32.

5. *Ivantsov O. V., Gorokhov D. E., Bochkov P. V.* (2018) Analytical models of transmission systems with code based on a recurrent sequence processing // Izvestiya Tula State University. Issue No. 9. P. 366–375.

Ivantsov Oleg V. — PhD in Technical Sciences, employee of the Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation.
E-mail: iowwaa@mail.ru
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-0499-9136

Gorokhov Denis E. — PhD in Technical Sciences, employee of the Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation.
E-mail: gde@inbox.ru
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-7082-1045

Mishustin Maksim N. — employee of the Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation.
E-mail: swindler417@yandex.ru
ORCID iD: https://orcid.org/0000-0002-4908-8977