

Системы, сети и устройства телекоммуникаций

УДК 621.396

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСКИ ПЕРФОРАЦИИ ПРИ НЕИЗВЕСТНОЙ СТРУКТУРЕ КОДЕРА

Никитин Олег Рафаилович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».
E-mail: olnikitin@mail.ru.

Корнеева Наталья Николаевна

кандидат технических наук, доцент кафедры радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых».
E-mail: korneevanata@list.ru.

Адрес: 600000, Российская Федерация, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

Аннотация: Рассмотрен и исследован диагностический алгоритм определения маски перфорации свёрточных кодов, процесс работы которого основан на построении определённого вида матриц. Показана процедура поиска при правильном определении маски перфорации.

Ключевые слова: свёрточное кодирование, помехоустойчивость передачи информации, перфорированные коды, маска перфорации, порождающие полиномы.

Постановка задачи

Известно, что при работе систем передачи цифровой информации, в которых используется помехоустойчивое кодирование, могут возникать ситуации, при которых оказывается, что параметры кодера неизвестны. В этой ситуации восстановление полученной кодовой последовательности становится невозможным. Предлагается проводить некоторые диагностические операции над принятой кодовой последовательностью, для восстановления утраченной информации о параметрах кодера [1–5]. Предлагаемые диагностические операции основаны на положении о том, что при кодировании вносятся определённые связи между принимаемыми символами [6]. Получается, что анализируя данные символы, можно получить информацию о параметрах кодера. В [7–9] рассматривались алгоритмы определения параметров кодера для различных методов кодирования. Предлагается к рассмотрению вариант диагностических операций для перфо-

рированных свёрточных кодов. Однако перфорированные свёрточные коды требуют иного подхода. Перфорация обычно производится после «стандартного» свёрточного кодирования с помощью удаления некоторых кодированных символов с определённым периодом следования. Расположение удаляемых символов внутри периода определяется маской перфорации. Задача диагностики при этом усложняется, поскольку при том, что кроме определения собственно структуры кода, т.е. вида порождающих полиномов, требуется дополнительно определить и период перфорации, и вид маски перфорации.

Теоретическая часть

В этом случае общая задача разделяется на две подзадачи. В одной из них группируются определение периода перфорации и используемого кодового ограничения, в другой подзадаче определяются маска перфорации и вид порождающих полиномов. Будем рассматри-

вать алгоритм определения маски перфорации. Он базируется на алгоритме, описанном в [10], но с определёнными изменениями и дополнениями. В базисном алгоритме каждая кодовая последовательность повторно кодируется «поисковыми» полиномами. Результаты совпадения значений символов повторного кодирования и соответствующие им варианты полиномов фиксируются в матричном виде. Здесь координаты элементов матрицы, т.е. номер строки и столбца (в двоичной записи) показывают вариант сочетания, в который ставится единичное значение. Координаты его (номера строки и столбца в двоичной записи) принимаются за результат диагностики.

Предлагаемый алгоритм предполагает, что уже известны величина периода перфорации и количество удаляемых символов в периоде.

При определении маски перфорации результирующая матрица строится по следующему принципу:

1. Перебираются варианты расположения удаляемых символов внутри периода перфорации (варианты маски перфорации).
2. Для каждого рассматриваемого варианта в места удалённых символов помещаются новые дополнительные символы, каждому из них присваивается два возможных значения (0 и 1).
3. Из перфорированной кодовой последовательности получается $2sQ$ дополненных последовательностей.
4. Все полученные дополненные кодовые последовательности разделяются на частные кодовые последовательности и на их основе в каждом цикле строятся матрицы. Значения элементов матриц, полученных в конкретном цикле, складываются, образуя суммарную матрицу.
5. Производится поцикловая обработка, при которой элементы суммарных матриц разных циклов перемножаются, образуя результирующую матрицу.
6. При правильном определении маски перфорации во всех суммарных матрицах всегда остаётся один ненулевой элемент при лю-

бом количестве циклов. При неправильном определении маски перфорации каждый элемент суммарных матриц рано или поздно принимает нулевое значение. В результате при неправильной диагностике результирующая матрица постепенно полностью обнуляется [9].

Последовательная процедура поиска для кода $(11_{10}, 13_{10}) = (13_8, 15_8)$ при правильной оценке маски перфорации в качестве примера приведена на рис. 1.

На рис. 1 каждый цикл объединён в три матрицы. Точками в матрице обозначены единичные элементы. Левая и центральная матрицы получены для двух вариантов значений одного из вставляемых дополнительных символов. Над одинаковыми единичными элементами матриц выполняется операция «или». Результат этой операции показан в правой матрице. Таким образом, в каждом цикле исключаются различающиеся элементы матрицы, пока при правильной оценке маски перфорации не останется один ненулевой элемент, положение которого укажет вид маски перфорации и порождающих полиномов. Если возникает ситуация, когда использованы все возможные варианты маски перфорации, то алгоритм выдает информацию о том, что решение не принято. Данная ситуация может быть обусловлена малым объёмом подвергаемой анализу выборки, либо наличием в выборке ошибочных символов.

Алгоритм определения маски перфорации представлен на рис. 2. После ввода значений периода перфорации T_p , кодового ограничения K и символов анализируемой последовательности происходит выбор вариантов маски перфорации и определяются значения последовательности вводимых дополнительных символов Y . Для каждого из определённых вариантов последовательности вводимых дополнительных символов Y производится поцикловое формирование итоговой матрицы и анализируется содержание этой матрицы. При наличии одного ненулевого элемента в матрице и неизменности его в течение определённого

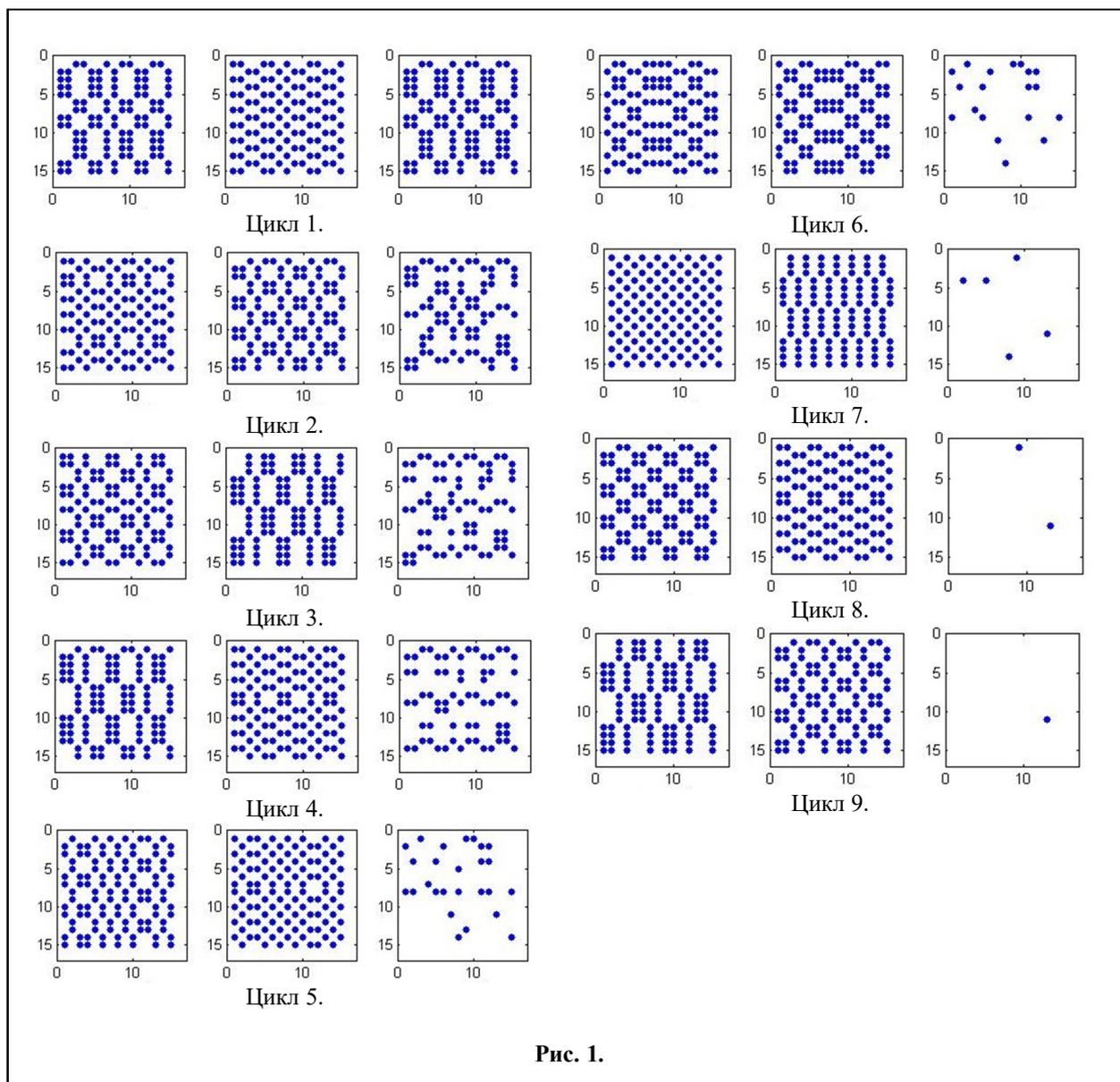


Рис. 1.

количества циклов, алгоритм принимает решение о правильности выбранных параметров.

Если после прохождения установленного заранее максимального количества циклов Стах алгоритм не принимает решения, то необходимо увеличить количество циклов, что может увеличить, соответственно, и длительность работы алгоритма.

Заключение

1. Предложен диагностический алгоритм определения маски перфорации для перфорированных свёрточных кодов.

2. Показано поцикловое определение итоговой матрицы, которая и определяет правильность оценки маски перфорации.

Литература

1. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.: Техносфера, 2006. 320 с.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / пер. с англ. М.: Изд. дом "Вильямс", 2003. 1104 с.
3. Hagenauer J. Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes // IEEE Trans. On Information Theory. Vol. 42. No. 2. March, 1996. Pp. 429-445.
4. Блэйхут Р. Теория и практика кодов, исправляющих ошибки: пер. с англ. М.: Мир, 1986. 576 с.

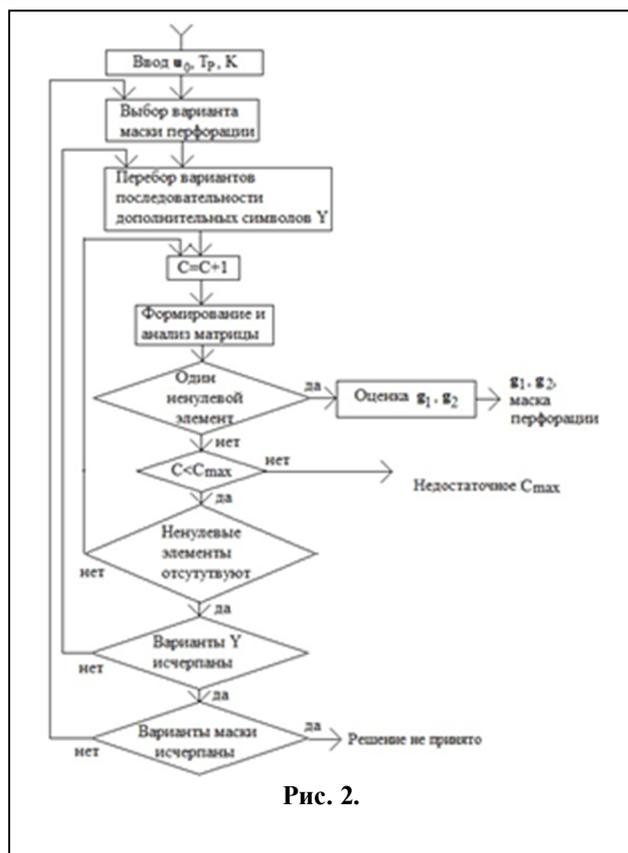


Рис. 2.

5. Берлекамп Э.Р. Алгебраическая теория кодирования. Пер. с англ. М.: Мир, 1971. 176 с.

6. Полушин П.А., Никитин О.Р., Корнеева Н.Н. Методы диагностики кодированных цифровых последовательностей. Beau Bassin, Mauritius – Germany: Palmarium Academic Publishing, 2018. 214 с.

7. Корнеева Н.Н., Никитин О.Р., Полушин П.А. Разработка алгоритмов диагностики сверточных кодов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2016. №1. С. 31–36.

8. Корнеева Н.Н., Никитин О.Р., Полушин П.А. Диагностика циклических кодов с помощью «быстрого» алгоритма // Вестник НГИЭИ. 2017. № 2 (69). С. 7–12.

9. Корнеева Н.Н., Никитин О.Р., Полушин П.А. Алгоритм диагностики циклических кодов на основе непосредственного вычисления простых полиномов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2017. №1. С. 62–68.

10. Свидетельство № 2014610459 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программный комплекс для исследования матричного метода диагностики сверточных кодов // Корнеева Н.Н., Полушин П.А., Никитин О.Р. Зарегистрировано 12.01.2016. 11 с.

Поступила 17 апреля 2020 г.

English

DIAGNOSTIC ALGORITHM TO DEFINE PUNCTURE PATTERN WITH AN UNKNOWN ENCODER STRUCTURE

Oleg Rafailovich Nikitin – Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Head of Department of Radio Engineering and Radio Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: olnikitin@mail.ru.

Natalya Nikolaevna Korneeva – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Radio Engineering and Radio Systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs”.

E-mail: korneevanata@list.ru.

Address: 600000, Russian Federation, Vladimir, Gorky St., 87.

Abstract: Using antinoise coding in transmission of digital signals is based on adding redundancy into transmitted symbol sequence. New symbols are related to original information symbols according to one or another rule that determines the code type used, and enable to recover symbols damaged during transmission. However, they also contain hidden code type information that can be extracted after analyzing the received code sequence. Diagnostics of encoder parameters enables taking full advantage of coding capabilities. The article examines the possibility of diagnostic testing of modified codes (punctured convolutional codes). Diagnostic testing of punctured codes is based on diagnostic procedures performed for simple convolutional codes. Since code puncturing involves periodical removal of symbols in the previously formed code sequence then several additional parameters should be determined to perform diagnostic procedures, compared to diagnostic procedures performed with simple convolutional codes. Such parameters are values of puncture period TP, code limitation K, puncture pattern and the values of sequence for input additional symbols Y. The algorithm is proposed to use that enables to define puncture pattern. The algorithm operation is based on forming and analyzing of the resulting matrix, which determines the puncture pattern through its content. The algorithm operates under certain initial conditions, which involve available information about puncture

period and code limitation value. Options' search and fixation of input additional symbols is carried out in the process. Matrix is formed in a certain way where the line and column number corresponds to the polynomial option where the unit value is located. Then, matrices are processed cycle-by-cycle and the result is in output.

Keywords: convolutional encoding, noise immunity of information transmission, punctured codes, puncture pattern.

References

1. *Morelos-Zaragoza R.* The art of noise-resistant coding. Methods, algorithms, application. Moscow: Tehnosfera, 2006, 320 p.
2. *Sklyar B.* Digital communication. Theoretical foundations and practical application. Moscow: Publishing house "Wil'yams", 2003. 1104 p.
3. *Hagenauer J.* Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes. IEEE Trans. On Information Theory. Vol. 42. No. 2. March, 1996. Pp. 429–445.
4. *Bleichut P.* Theory and practice of codes that correct errors: transl. from English. Moscow: Mir, 1986. 576 p.
5. *Berlekamp E.R.* Algebraic theory of codification: transl. from Engl. Moscow: Mir, 1971. 176 p.
6. *Polushin P.A., Nikitin O.R., Korneeva N.N.* Methods of diagnostics of encoded digital sequences. Beau Bassin, Mauritius – Germany: Palmarium Academic Publishing, 2018. 214 p.
7. *Korneeva N.N., Nikitin O.R., Polushin P.A.* Development of algorithms for diagnostics of convolutional codes. Radio and telecommunications systems. 2016. No. 1. Pp. 31–36.
8. *Korneeva N.N., Nikitin O.R., Polushin P.A.* Diagnostics of cyclic codes using a "fast" algorithm. Bulletin of NGIEI. 2017. No. 2 (69). Pp. 7–12.
9. *Korneeva N.N., Nikitin O.R., Polushin P.A.* Algorithm for diagnostics of cyclic codes based on direct calculation of simple polynoms. Radio and telecommunications systems. 2017. No. 1. Pp. 62–68.
10. Certificate No. 2014610459 on state registration of computer programs. A program complex for studying the matrix method of diagnostics of convolutional codes. *Korneeva N.N., Polushin P.A., Nikitin O.R.* Registered 12.01.2016. 11 p.