

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петюшик Е.Е. Разработка теории и технологии ударного прессования пористых изделий из металлических порошков: Дисс. канд. техн. наук.- Минск, 1991.
2. Дымников С.И., Воловик А.А., Яковлев В.В. Вариационная постановка физически нелинейных задач расчета тонкослойных эластомерных упругих элементов. -В кн.: Вопросы динамики и прочности.-Рига, 1987, вып.48.- С.72-86.
3. Жданович Г.М. Теория прессования металлических порошков.-М.: Металлургия,1969. – С. 13.

УДК 621.3.049.77

П.П. Урбанович, профессор;  
Д.М. Романенко, студент

### КОРРЕКЦИЯ МНОГОКРАТНЫХ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СЛОВАХ ИТЕРАТИВНЫМ КОДОМ

The article are considered error corrections in information words by the iterative code. The efficiency of the specific code for error corrections up to 3 multiplicity in words not longer then 256 bits is analyzed.

Наблюдаемое в последние годы резкое увеличение информационных потоков и связанное с этим ужесточение требований к целостности обрабатываемой информации серьезно обострили проблему надежного хранения и передачи двоичной информации. Один из способов решения такой проблемы заключается в использовании помехоустойчивого кодирования данных с помощью избыточных кодов.

Итеративный код является одним из простых (с точки зрения аппаратной реализации) избыточных кодов, позволяющих исправлять все одиночные ошибки в информационных словах. Кодовые слова при его использовании записываются в виде таблицы. Основной является форма записи кодового слова, при которой строки и столбцы содержат четное (нечетное) число единиц. При этом код имеет минимальное кодовое расстояние  $d=3$  или  $d=4$ . Местоположение ошибки находится на пересечении строки и столбца с нарушенной четностью (нечетностью). В общем случае кодовое расстояние кода равно произведению минимальных кодовых расстояний составляющих его подкодов [1]. Например, при кодировании информационного слова **011101111** с помощью таблицы с четностью по строкам и столбцам получим избыточные символы (**001**, **011**, **1**), как показано ниже (информационные символы выделены жирным шрифтом, а проверочные - курсивом):

$$\begin{array}{cccc}
 0 & 1 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 1 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & 1 & 1
 \end{array}$$

В общем случае линейный итеративный код (по основанию два) определяют [1] как блочный  $(n_1, k_1, n_2, k_2)$  – код, формирующий кодовые последовательности длиной  $k$  ( $k=k_1k_2$ ) информационных и  $k_1+k_2$  ( $d=3$ ) или  $k_1+k_2+1$  ( $d=4$ ) проверочных разрядов (в приведенном примере  $k_1=k_2=3$ ). Для определенного набора  $k$  двоичных информационных символов кодовое слово можно представить в виде  $k_1$   $n_2$ -разрядных кодовых слов строк (обозначим их через  $X_{ri}=\{x_{ri}\}_i$ ;  $j=1, k_2$ ,  $i$  – фиксировано,  $1 \leq i \leq k_1$ ) и  $k_2$   $n_1$ -разрядных кодовых слов столбцов ( $X_{cj}=\{x_{ci}\}_i$ ,  $x_j$ ;  $i=1, k_1$ ,  $j$  – фиксировано,  $1 \leq j \leq k_2$ );  $x_i, x_j$  – одноразрядные проверочные слова.

Доказано, что линейный итеративный  $(k_1+1, k_1, k_2+1, k_2)$  код ( $n_1=k_1+1, n_2=k_2+1$ ), формирующий в кодовом слове  $k_1+k_2+1$  проверочных символов, позволяет обнаружить и корректировать все одиночные, а также многократные ошибки в информационных разрядах, принадлежащих разным кодовым словам строк и столбцов, и обнаруживает все двойные ошибки. При этом максимальная кратность корректируемых кодом ошибок не превышает меньшего из значений  $k_1$  и  $k_2$ .

Однако в силу остроты проблемы, отмеченной выше, во многих практических случаях требуется обеспечить коррекцию или нейтрализацию ошибок, кратность которых превышает 2.

Цель данной статьи заключается в анализе эффективности использования итеративного  $(n_1, k_1, n_2, k_2)$ -кода для обнаружения и исправления ошибок, кратность которых в информационном слове превышает единицу, но меньше четырех.

Анализ начнем для двукратных ошибок. Такие ошибки будут идентифицированы, если одиночные ошибки из пары принадлежат различным столбцам и строкам проверочной матрицы и отсутствуют в  $(k_1+1)$ -ой строке и  $(k_2+1)$ -ом столбце. Математически число таких ошибок ( $N_2$ ) можно представить следующей зависимостью:

$$N_2 = \sum_{i=1}^{k_1-1} k_2(k_2-1) \quad (k_1-i).$$

После несложных преобразований получим

$$N_2 = k_1 k_2 (k_1 - 1)(k_2 - 1) / 2. \quad (1)$$

Общее число парных ошибок есть число сочетаний из  $k_1 k_2$  по 2, если неисправности возникают только в информационных разрядах:

$$N_{2(k)}=k_1k_2(k_1k_2-1)/2 \quad (2)$$

либо

$$N_{2(n)}=n_1n_2(n_1n_2-1)/2, \quad (3)$$

если ошибки распределяются равномерно по всей матрице ( $n_1 \times n_2$ ).

В [1] доказано, что максимальная эффективность коррекции итеративным кодом ошибок, кратность которых превышает единицу, достигается при  $k_1=k_2=k_m$ . Относительная часть парных ошибок, которые могут быть исправлены, определяется соотношениями  $N_2/N_{2(k)}$  – при появлении неисправностей только в информационных разрядах, и  $N_2/N_{2(n)}$  – во всех разрядах кодового слова. В первом, например, случае, принимая во внимание значение  $k_m$ , максимальная эффективность ( $Y_{2max}$ ) определяется соотношением

$$Y_{2max}=(k_m-1)/(k_m+1). \quad (4)$$

Следуя изложенным логическим рассуждениям и используя корректные упрощения, получаем выражения для эффективности коррекции кодом тройных ошибок:

$$Y_{3max}=(k_m-1)(k_m^2-2)/(k_m+1)(k_m+2)^2, \quad (5)$$

$$Y'_{3max}=k_m^2(k_m-1)/(k_m+1)^4. \quad (6)$$

Соотношение (5) целесообразно применять при  $k_m \leq 8$ , а (6) – при  $k_m > 8$ .

Для численной оценки эффективности использования кода при различных отношениях  $k_1$  и  $k_2$  (в том числе и при  $k_1=k_2$ ) применены специально разработанные программы на языке Visual Basic, позволяющие рассчитать и проанализировать корректирующие свойства кода при возникновении ошибок кратностью не выше трех.

Получены следующие результаты:

- 1) зависимость эффективности коррекции двойных ошибок ( $Y_2$ ) от длины информационного слова ( $k$ ) выглядит, как показано на рис.1;
- 2) зависимость эффективности исправления двойных и одиночных ошибок совместно ( $Y_{12}$ ) от длины информационного слова ( $k$ ) показана на рис.2;
- 3) эффективность коррекции только тройных ошибок ( $Y_3$ ) представлена на рис.3;
- 4) эффективность исправления ошибок, кратность которых не превышает трех ( $Y_{1-3}$ ), выглядит, как показано на рис.4.

На всех рисунках кривая (1) соответствует итеративному коду с проверочной матрицей вида: 2 столбца и  $k/2$  строк; кривая (2) – коду с прове-

рочной матрицей вида: 4 столбца и  $k/4$  строк; кривая (3) – 8 столбцов и  $k/8$  строк; кривая (4) – 16 столбцов и  $k/16$  строк.

Из анализа графических зависимостей видно, что наиболее эффективным для исправления двойных и тройных ошибок является итеративный код, проверочная матрица которого максимально приближена к квадратной. На рис. 1 и рис. 3 отмечены значками точки, точно соответствующие квадратной проверочной матрице.

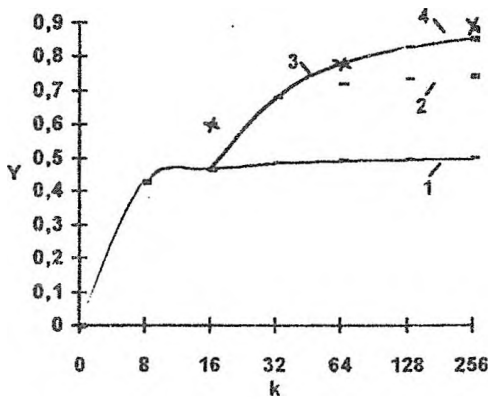


Рис. 1

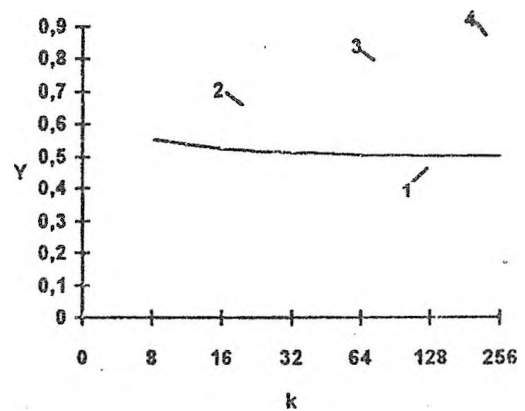


Рис. 2

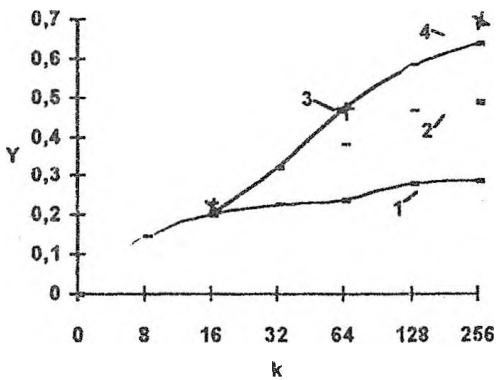


Рис. 3

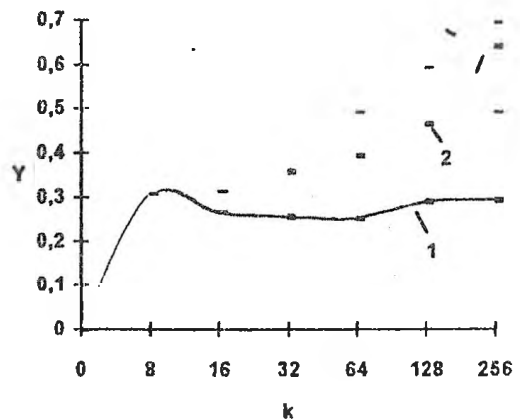


Рис. 4

Таким образом, при обработке или хранении информации в виде двоичных слов использование итеративного  $(n_1, k_1, n_2, k_2)$ -кода, формирующего проверочное слово длиной  $k_1+k_2+1$  разрядов, позволяет практически без усложнения кодера и декодера эффективно исправлять не только одиночные, но и многократные ошибки, которые появляются в информации вследствие физических отказов устройств памяти или под действием

помех. При этом эффективность коррекции многократных ошибок повышается с увеличением длины слов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович П.П., Алексеев В.Ф., Верниковский Е.А. Избыточность в полупроводниковых интегральных микросхемах памяти.—Мн.: Наука і тэхніка, 1995.

УДК 681.3

В.Г. Матыс, ассистент;  
В.В. Поплавский, доцент

#### КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

The computerized device for carrying out electrochemical voltammetric measurements which is based on potentiostat "ІЕ-50-1.1" and programming source of voltage "ІД-8" is proposed. To communicate this commercially available devices for electrochemical measurement with IBM PC the interface card and program software have been developed. This card and program software maintains a reading out of measured data and potentiostat and programming source voltage control.

Вольтамперометрические измерения широко используются при изучении адсорбционных и электрокаталитических свойств поверхности, а также для исследования коррозионных свойств конструкционных материалов (в частности, для экспресс-анализа коррозионной стойкости и диагностики коррозионного поведения материалов). Эффективность электрохимических вольтамперометрических исследований, отличающихся высокой информативностью, может быть существенно повышена при автоматизации процесса измерений.

Настоящая работа посвящена разработке компьютеризированной системы автоматизации вольтамперометрических измерений.

В состав автоматизированной системы измерений входят: серийно выпускаемые потенциостат ПИ-50-1.1, программатор ПР-8, электрохимическая ячейка ЯСЭ-2, персональный компьютер IBM PC, а также плата сопряжения потенциостата и программатора с компьютером и набор соответствующих шин. Функции потенциостата и программатора являются стандартными; они обеспечивают поляризацию рабочего электрода по заданной программе, поддержание заданного потенциала рабочего электрода относительно электрода сравнения, измерение тока и потенциала и т.д.