

УДК 621.391.(075.8)

ПОИСК ОБРАЗОВ ДВУМЕРНЫХ ЗАВИСИМЫХ ОШИБОК

О.Г.СМОЛЯКОВА, Е.Г. МАКЕЙЧИК, И.В. КОНОПЕЛЬКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки 6, Минск 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 16 октября 2009*

Рассматривается классификация образов зависимых двумерных ошибок. Определяются образующие вектора зависимых ошибок. Предлагается метод и алгоритм формирования библиотек пакетных ошибок. Определяются образы модульных ошибок.

Ключевые слова: двумерные ошибки, вектор ошибки, пакетные и модульные ошибки.

Введение

При применении двухмерного кодирования кодовое слово $A_{дв}$ представляет собой таблицу, состоящую из X строк и Y столбцов. Ошибка, которая возникает в таком кодовом слове, обладает двумя параметрами – номером строки x и номером столбца y , в котором она находится. Однако, при больших длинах кодовых слов $n=n_1 \cdot n_2$, существуют случаи, когда строка или столбец двухмерного кодового слова $A_{дв}$ не содержат ошибочных символов, тогда образ двумерной ошибки $ve_{дв}(A_{дв})$ слова $A_{дв}$ образуется путем вычеркивания из исходного слова безошибочных строк и столбцов. Все возможные образы случайных ошибок кратности t представляют собой полное множество перестановок t ошибочных символов в таблице, размерностью txt .

Пакетную ошибку можно представить как частный случай случайной ошибки, а модульная ошибка является частным случаем пакетной ошибки, часто её называют фазированным пакетом ошибок. Так как для поиска образов случайных ошибок используется образующие вектора случайной ошибки, представляющий собой множество одномерных векторов ошибок размерностью tx с кратностью ошибок t , то, следовательно, для поиска образов двумерных пакетных/модульных ошибок можно воспользоваться этим множеством, исключив вектора, которые не образуют искомым пакетных/модульных ошибок. В статье предлагается метод поиска и определения образов двумерных зависимых ошибок с помощью образующих векторов пакетных/модульных ошибок.

Образующие вектора зависимых ошибок

Образующим вектором $e_{обр}^P$ пакетной ошибки называется образующий вектор случайной ошибки, зависящий от кратности ошибки t и содержащий t_n пакетов длины p , а образующим вектором $e_{обр}^M$ модульной ошибки называется образующий вектор пакетной ошибки содержащий t_b пакетов длины b . Вектора $e_{обр}^P, e_{обр}^M$ зависят от кратности ошибок t . На рис. 1 показаны образующие вектора пакетной и модульной ошибок.

Для поиска и определения образов пакетных ошибок необходимо проанализировать образующие вектора пакетной ошибки разной кратности. Например, для формирования библиотеки образов пакетных ошибок кратности $t_n=2$ и длины $t=3$. Необходимо проанализировать образующие вектора пакетных ошибок кратности 4, 5 и 6.

Образующие вектора пакетных ошибок можно представить в виде множеств, содержащих вектора определенной кратности (рис. 2), а процедуру вычисления всех необходимых для анализа векторов как отбор определенных подмножеств и вычеркивание из

них тех векторов, которые не содержат t_n пакетов длины p . Аналогичным образом определяется процедура нахождения образующих векторов для модульных ошибок.

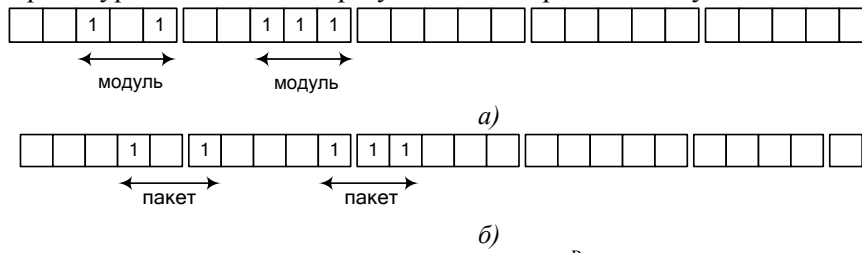


Рис. 1. Образующие вектора ошибок, $t=5$: $a - e_{обр}^P$ модульной ошибки; $b - e_{обр}^M$ пакетной ошибки



Рис. 2. Множество образующих векторов пакетных ошибок

Чтобы выделить среди всех образов случайных ошибок только пакетные, необходимо:

1. Сгенерировать образующие векторы $e_{обр}$ случайной ошибки кратности $t=p \cdot t_n$, где t_n – кратность пакета ошибок, представляющие собой все возможные перестановки из t на длине $t \cdot p$.
2. Определить, содержит ли вектор $e_{обр}$ только t_n пакетов длины p : если содержит – то вектор включается в множество образующих векторов пакетных ошибок, в противном случае – вектор исключается.

Алгоритм реализации пункта 1 метода генерации пакетов представлен на рис. 3, а пункта 2 – на рис. 4.

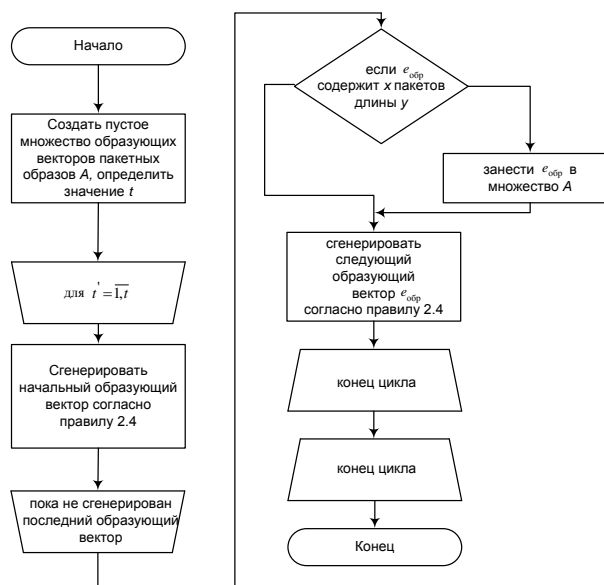


Рис. 3. Алгоритм реализации шага 1 метода генерации пакетов

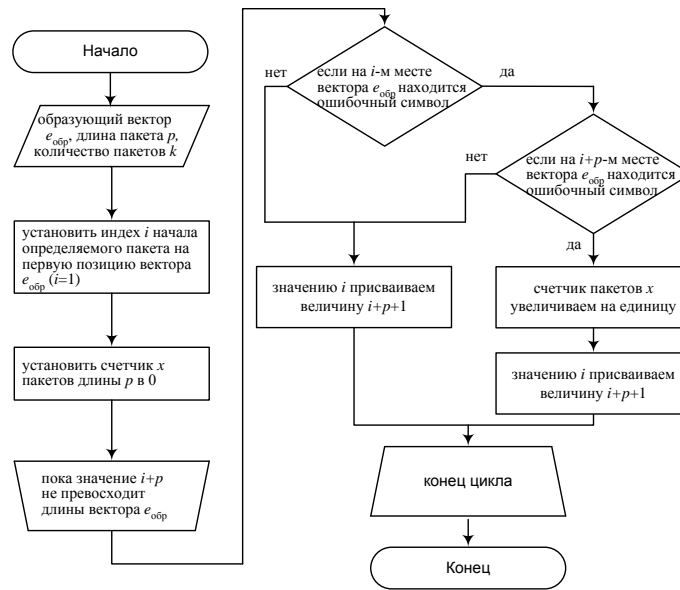


Рис. 4. Алгоритм реализации шага 2 метода генерации пакетов

С увеличением кратности корректируемой ошибки число образующих векторов ошибок, необходимых для анализа, также увеличивается (табл. 1). Анализ данных таблицы показывает, что число образующих векторов пакетных ошибок невелико и вычислительная сложность также не велика. Однако с увеличением величины кратности числа пакетов t_n растет и число образующих векторов пакетных ошибок, что для больших значений кратности ошибок приводит к проблеме вычислительной сложности.

Таблица 1. Число анализируемых образующих векторов пакетных ошибок в зависимости от кратности ошибки при применении перестановочного метода формирования образующих векторов пакетных ошибок

Кратность ошиб-ки t	Длина пакета p	Количество пакетов t_n	Число анализируемых $e_{обр}, C_p$	Кратность ошиб-ки t	Длина пакета p	Количество пакетов t_n	Число анализируемых $e_{обр}, C_p$
2	2	1	3	6	2	1	35
	3	2	1		8	2	2
3		1	14		2	3	5456
4	2	1	15		3	1	68
	2	2	91		3	2	1984
	3	1	28		4	1	132
	4	1	52		5	1	256
5	3	2	66		6	1	496
	2	1	24		5	2	8316
	2	2	253		4	2	4785
	3	1	46		4	3	2925
	4	1	88		3	3	4060
	5	1	168				
	4	2	855				
	3	2	630				

Для снижения вычислительной сложности и увеличения быстродействия следует воспользоваться свойством позиционной модификации для формирования образующих векторов, приведенный ниже.

Свойство позиционной модификации. Образующий вектор пакетной ошибки содержит пакет ошибок либо целиком в одной строке таблицы или в двух строках (рис. 5).

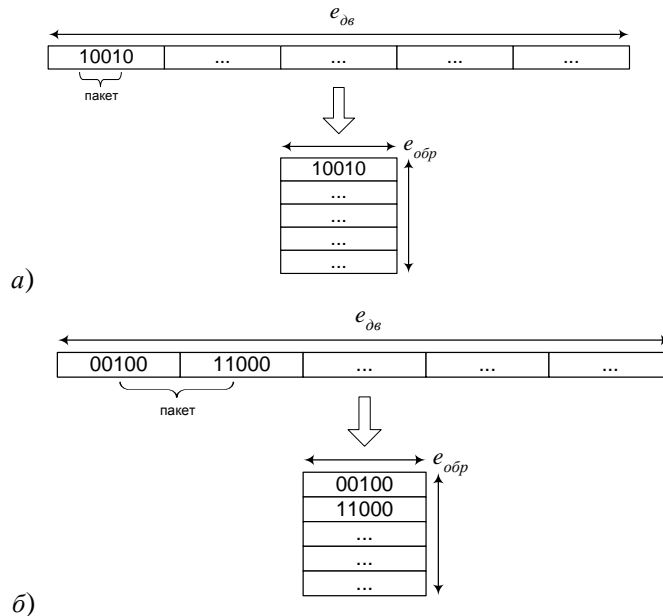


Рис. 5. Размещение пакета в образующем векторе ошибки:
 а – пакет располагается в одной строке;
 б - пакет располагается в двух строках

Отсюда, если вектор $e_{обр}$ содержит x пакетов, то они будут размещены максимум в $2*x$ строках.

Кроме того, если первый ошибочный символ образующего вектора пакетной ошибки $e_{обр}$ располагается на позиции с номером большим чем t , то генерируемый им образ ошибки будет одинаковым с образом, генерируемым вектором, у которого первый ошибочный символ располагается на позиции с номером меньшим t .

На основании этого предлагается *метод быстрого уменьшения числа образующих векторов* пакетных ошибок сущность состоит в том, что если первый ошибочный символ вектора $e_{обр}$ расположен на позиции с номером, большим t , то такой вектор из множества образующих векторов пакетных ошибок исключается.

Для формирования образующих векторов пакетных ошибок можно предложить *позиционный метод* сущность состоит в том, что если количество пакетов, необходимых для анализа равно t_n , кратность корректируемой ошибки t , p – длина пакета ($p < t$), то для генерации всех пакетных образов ошибок достаточно образующего вектора длиной $n_1' = 2 * t_n * t$.

Для реализации позиционного метода формирования образующих векторов пакетных ошибок используются следующие шаги:

1. Длина образующего вектора пакетной ошибки устанавливается равной $n_1' = 2 * t_n * t$
2. Генерируются все пакетные образующие вектора с кратностью исправляемой ошибки

$$t' = \overline{1, t}.$$

Аналогичные подходы и реализации методов можно применить для поиска и сокращения числа образующих векторов модульных ошибок.

Коэффициент уменьшения количества образующих векторов пакетных ошибок при использовании быстрого и позиционного методов представлен в табл. 2, анализ данных которой показывает, что применение позиционного метода сжатия пакетных образующих

векторов эффективно при малом числе недлинных пакетов на длине образующего вектора пакетной ошибки.

Таблица 2. Число образующих векторов пакетных ошибок при использовании быстрого и позиционного метода формирования

Кратность ошибки t	Длина пакета p	Количество пакетов t_n	Число векторов		Коэффициент уменьшения	
			быстрый метод, C_{p1}	позиционный метод C_{p2}		
					C_p/C_{p1}	C_p/C_{p2}
2	2	1	3		1	
3	2	1	4		2	
	3	1	7		2	
4	2	1	5		3	
	2	2	47		1,94	
	3	1	9		3,11	
	4	1	17		3,06	
	3	2	38		1,74	
5	2	1	6		4	
	2	2	101	76	2,5	3,33
	3	1	11		4,18	
	4	1	21		4,19	
	5	1	41		4,1	
	4	2	400	275	2,13	3,11
	3	2	270	195	2,33	3,23
6	2	1	7		5	
	2	2	184	112	3,01	5
	2	3	2532		2,15	
	3	1	13		5,23	
	3	2	685	397	2,9	5
	4	1	25		5,28	
	5	1	49		5,22	
	6	1	97		5,11	
	5	2	3234	1650	2,57	5,04
	4	2	1749	957	2,73	5
	4	3	1595		1,83	
	3	3	2036		2	

Метод поиска образов зависимых ошибок

Формирующим вектором $e_{\text{форм}}$ образа ошибки является вектор, полученный из образующего вектора $e_{\text{обр}}$ путем вычеркивания безошибочных строк (блоков длины t). Группой образов называется множество формирующих векторов $e_{\text{форм}}$, количество строк которых одинаково. Очевидно, что количество групп, по которым распределяются формирующие

вектора ошибок, равно t , а количество блоков длиной u в каждой группе изменяется от 1 до t . Классом образов назовем множество формирующих векторов $e_{форм}$, являющихся циклическими сдвигами друг друга не содержащие нулевых блоков.

Распределение формирующих векторов по классам внутри группы позволит уменьшить вычислительную сложность при устранении избыточности библиотеки образов за счет уменьшения числа сравнений классов между собой. Причем для сравнения достаточно одного вектора, принадлежащего классу, так как остальные формируют тот же образ ошибки по определению.

Распределение формирующих векторов ошибок по группам и классам внутри группы для $t=3$ приведено на рис. 6.

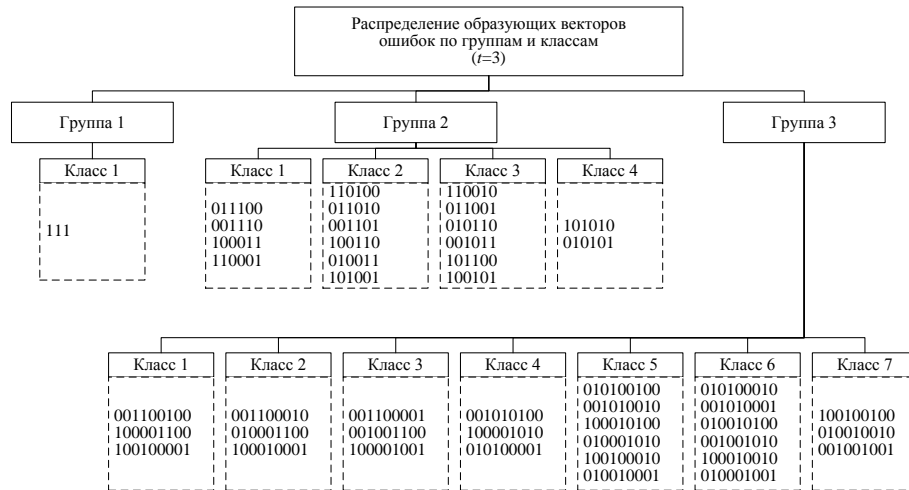


Рис. 6. Распределение образующих векторов ошибок по классам внутри группы

Вектора из разных групп формируют различные образы ошибок, а вектора из одной группы, но разных классов могут сформировать одинаковые образы ошибок. Для сравнения двух образов следует использовать правило сравнения образов классов.

Два образа класса формируют разные образы ошибок, если:

1) количество ошибочных символов в каждом блоке первого образа не совпадает с количеством ошибочных символов в каждом блоке второго образа без учета порядка следования блоков. На рис. 7а показано, что если формирующие вектора определяют один и тот же образ, то сумма ошибочных символов в их блоках совпадает;

2) суммарное количество единиц, стоящих на i -й позиции каждого блока первого образа класса не совпадает с суммарным количеством единиц, стоящих на j -й позиции второго образа класса, $i = \overline{1, t}, j = \overline{1, t}$. На рис. 7б показано, что у двух одинаковых образов сумма ошибочных символов у их формирующих векторов по каждой позиции одинакова.

Представление образа класса не как таблицы, а как строки, более удобно для дальнейшей его обработки на ЭВМ.

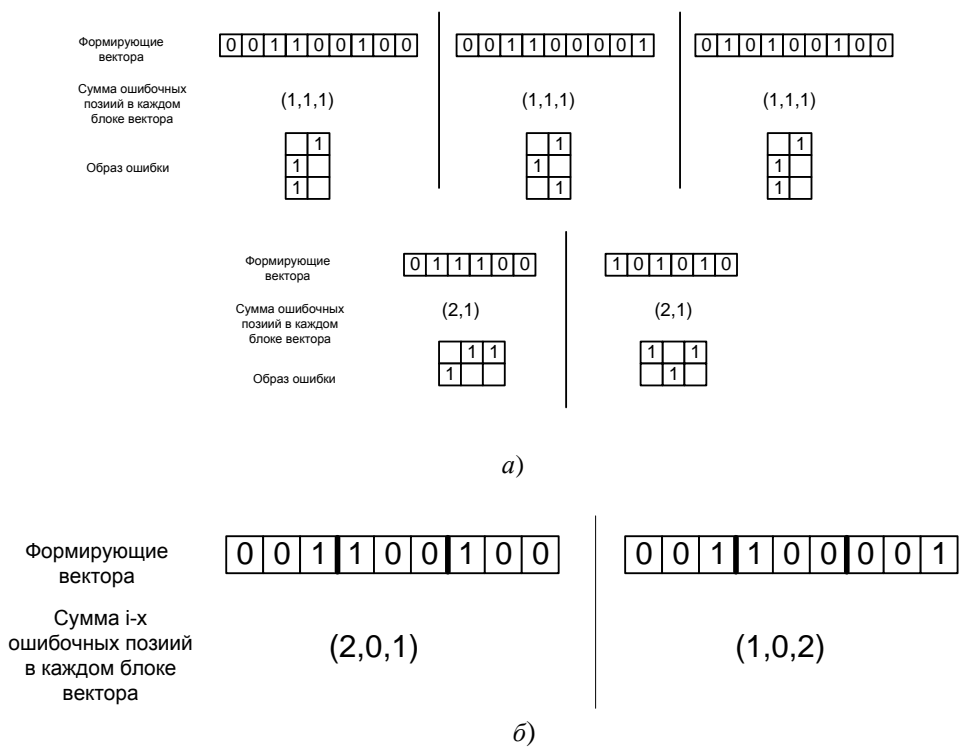


Рис. 7. Образы классов: *a* – совпадающие по строкам; *b* – совпадающие по столбцам

Если сравнение двух образов классов показало, что они формируют разные образы ошибок, то это означает, что сумма их ошибочных позиций по строкам и по столбцам соответственно разная. Однако существуют образы сумма ошибочных символов по строкам и столбцам которых одинакова, но они не являются одинаковыми; такие образы являются нетипичными (рис. 8).

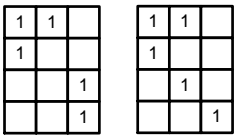


Рис. 8. Нетипичные образы ($t=5$)

Различить нетипичные образы можно применяя следующее правило:

- 1) переставлять строки образов согласно уменьшению общего числа ошибочных символов в них;
- 2) переставлять столбцы образов так, чтобы общее число ошибочных символов в них попарно совпадало;
- 3) циклически сдвигать строки одного образа, пока его первая строка не совпадет с первой строкой другого образа;
- 4) если два разных образа представляют собой одну и ту же ошибку, то строки образов совпадут без учета порядка их следования; если же строки образов не совпадут – то они формируют разные ошибки.

Метод формирования библиотеки образов ошибок использует эти правила и требует выполнения следующих этапов:

- 1) получить все образующие вектора для кратности ошибки t ;
- 2) получить все формирующие вектора для кратности t ;
- 3) распределить формирующие вектора по группам и классам;
- 4) определить среди классов типичные ошибки и из них оставить только один класс;

5) оставшиеся образы классов формируют все возможные образы пакетных/модульных ошибок.

Алгоритм формирования библиотеки образов ошибок для кратности t приведен на рис. 9.

Задачей блока 1 является определение кратности ошибки, для которой определяются образы ошибок. Блок 2 предназначен для генерации образующих векторов. В блоке 3 определяется набор формирующих векторов и производится их распределения по группам и классам внутри группы. В блоке 4 определяется образ класса, а в блоке 5 сравнение образов классов для выявления типичных и нетипичных образов ошибок и, кроме того, определяется множество формирующих векторов, порождающих все образы ошибок кратности t .

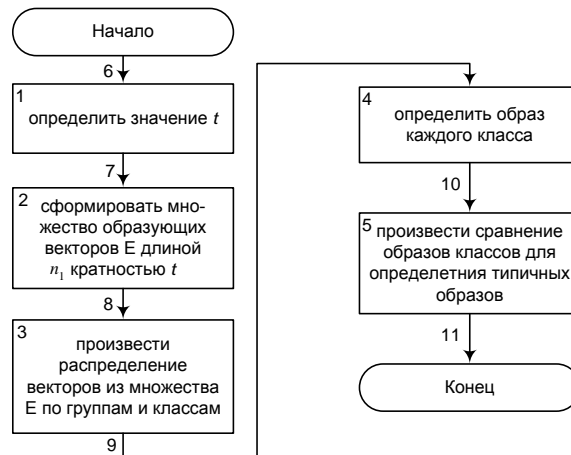


Рис. 9. Алгоритм формирования библиотеки образов ошибок кратности t

Выводы

В статье определены понятия образов пакетных и модульных образов ошибок. Показано, что образы зависимых ошибок можно сформировать с помощью соответствующих образующих векторов ошибок. Также показано, что от числа образующих векторов пакетных/модульных ошибок зависит скорость определения всех образов. Предложены методы классификации и поиска образов зависимых ошибок на основе множества образующих векторов.

SEARCH OF TWO-DIMENSIONAL DEPENDENT ERRORS IMAGES

O.G. SMOLYAKOVA, E.G. MAKEICHIK, I.V. KONOPELKO

Abstract

This paper considers a classification of two-dimensional dependent errors images. Determines the vector of dependent errors images. Suggests a method and algorithm for the formation of error packets libraries. Determines the images of module errors.

Литература

1. Фам Хак Хоан. Декодирование итеративных кодов на основе коррекции и идентификации ошибок, исправления стираний. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук
2. Конопелько В. К, Фам Хак Хоан. // Докл. БГУИР. 2007. № 1. 55-60.
3. Фам Хак Хоан, О.Г. Смолякова. // Докл. БГУИР. 2008. № 1. 70-75.