

П. П. КОВАЛЕНКО, В. М. МУСАЛИМОВ

## ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧИ ПАТТЕРНИЗАЦИИ СИГНАЛОВ И ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предложен новый метод преобразования сигналов и изображений на базе переходов от одномерного представления к двумерному и трехмерному. Рассмотрена обратная задача: переход от трехмерного представления к одномерному сигналу. Полученные результаты могут быть использованы при объектно-ориентированном программировании тактильного зрения роботов.

*Ключевые слова:* обработка изображений и сигналов, паттерны, бинарное преобразование, сложение по модулю два.

**Введение.** Разработка методов преобразования сигналов и изображений для расширения их информационных возможностей, а также приведения к виду, удобному для хранения и передачи, является актуальной задачей. Один из наиболее известных методов — вейвлет-преобразование сигналов, заключающееся в разложении исходного сигнала по частотам [1].

Суть предлагаемых в настоящей статье преобразований связана с понятием паттерна. Математические основы теории паттернов разработал американский математик Ульф Гренандер [2]. Слово “pattern” означает трафарет, образец, образ. Последнее значение используется специалистами по обработке изображений. Данный термин, применяемый также в медицине при анализе результатов исследований, характеризует устойчивый набор признаков того или иного заболевания.

Наличие в результатах исследований паттерна позволяет поставить диагноз. Термин „паттерн“ используется также и в других сферах деятельности: в объектно-ориентированном программировании — как некий набор команд, представляющий собой готовое решение задачи [3]; в психологии — как устойчивая совокупность реакций или действий; в шахматах — как характерное расположение фигур, позволяющее добиться определенного результата.

Применительно к преобразованиям сигналов можно сказать, что наличие в двумерных и трехмерных представлениях сигнала того или иного паттерна позволяет сделать определенный вывод об особенностях исследуемого сигнала. Следовательно, прямое преобразование  $1D \rightarrow 2D \rightarrow 3D$  обеспечивает возможность проведения более тщательного анализа исходного сигнала и выявления каких-либо дополнительных его особенностей, а получаемый в ходе обратного преобразования  $3D \rightarrow 2D \rightarrow 1D$  одномерный сигнал удобен для передачи и хранения.

Рассматриваемые в настоящей статье задачи тесно связаны также с задачами технического зрения, обработки изображений и распознавания образов.

**Паттернизация.** Рассмотрим процесс трансформации одномерного исходного сигнала (0-1-вектор-строки  $a_{1i}$ ) с помощью двоичного вектор-столбца  $b_{j1}$ , представляющего собой перечислительную маску-анализатор. Этот анализатор может быть представлен, например, двоичным кодом [4].

Осуществим сложение по модулю два исходного 1D-сигнала  $a_{1i}$  и анализатора  $b_{j1}$ . Результат такого сложения будет представлять собой матрицу элементов  $c_{ij}$  (рис. 1). При сложении по модулю два результат равен 0, если слагаемые равны, и 1, если слагаемые не равны.

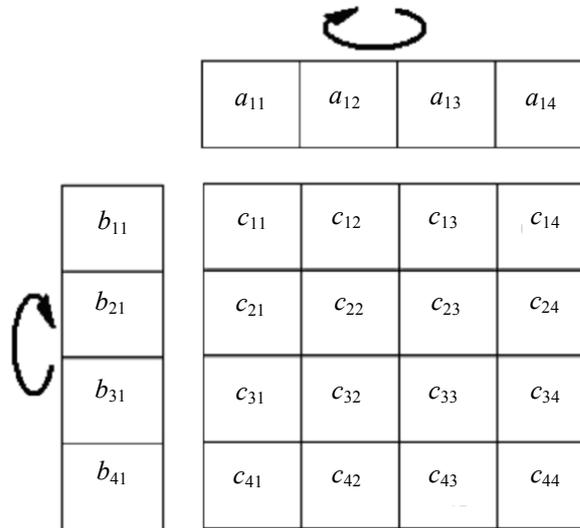


Рис. 1

Элементы этой матрицы формируются путем сложения по модулю два соответствующих элементов исходного двоичного образа и анализатора:

$$\begin{aligned} c_{11} &= a_{11} \oplus b_{11}; & c_{12} &= a_{12} \oplus b_{11}; & c_{13} &= a_{13} \oplus b_{11}; & c_{14} &= a_{14} \oplus b_{11}; \\ c_{21} &= a_{11} \oplus b_{21}; & c_{22} &= a_{12} \oplus b_{21}; & c_{23} &= a_{13} \oplus b_{21}; & c_{24} &= a_{14} \oplus b_{21}; \\ c_{31} &= a_{11} \oplus b_{31}; & c_{32} &= a_{12} \oplus b_{31}; & c_{33} &= a_{13} \oplus b_{31}; & c_{34} &= a_{14} \oplus b_{31}; \\ c_{41} &= a_{11} \oplus b_{41}; & c_{42} &= a_{12} \oplus b_{41}; & c_{43} &= a_{13} \oplus b_{41}; & c_{44} &= a_{14} \oplus b_{41}. \end{aligned}$$

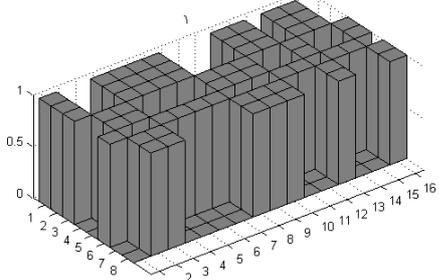
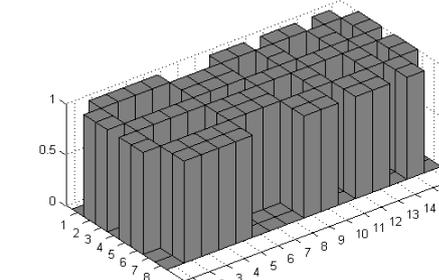
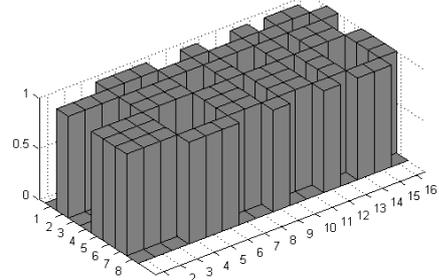
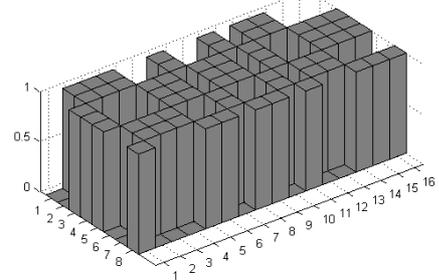
Матрица  $c_{ij}$  является своего рода двумерным представлением на плоскости исходного одномерного сигнала.

Описанную выше процедуру можно представить на поверхности тора [5]. При этом осуществляется одновременный поразрядный сдвиг как исходного сигнала, так и маски-анализатора (показано стрелками на рис. 1). При таком сдвиге второй элемент становится первым, третий — вторым, а первый — последним. После каждого акта сдвига (перемещения) вновь производится сложение по модулю два соответствующих элементов строки исходного сигнала и столбца маски-анализатора. Использование поверхности тора позволяет осуществлять сдвиг сигнала и анализатора по замкнутым циклам. Каждый из результатов сдвига назовем фазой. На плоскости каждой фазе соответствует своя результирующая матрица сложения по модулю два элементов маски и исходного одномерного сигнала. Таким образом, каждая фаза поверхности тора является отображением 0-1-матрицы и представляет собой двумерное многообразие исходного одномерного сигнала — паттерн. Это представление можно назвать торовой фазой, если ориентироваться на топологическую перспективу исследований. Количество возможных торовых фаз определяется количеством поразрядных сдвигов и, следовательно, количеством разрядов исходного сигнала.

Данный подход реализуется с помощью последовательных перечислительных операций.

В результате вышеописанных действий формируется набор 2D-паттернов исходного одномерного сигнала. Этот процесс назовем паттернизацией сигнала.

Для осуществления перехода от двумерных паттернов к трехмерному образу необходимо произвести суммирование всех полученных двумерных представлений. В результате формируется 3D-образ исходного одномерного сигнала. Последовательность процедуры построения 0-1-паттернов продемонстрирована в таблице.

Двумерное представление (матрица сложения по модулю два элементов маски-анализатора и исходного одномерного сигнала)	Поверхность двумерного представления (паттерн)																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th><math>m_1</math></th> <th>10</th> <th>01</th> <th>11</th> <th>10</th> <th>00</th> <th>11</th> <th>01</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td></tr> <tr><td>1</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td></tr> </tbody> </table>	$m_1$	10	01	11	10	00	11	01	10	0	10	01	11	10	00	11	01	10	0	10	01	11	10	00	11	01	10	1	10	01	11	10	00	11	01	10	1	01	10	00	01	11	00	10	01	0	10	01	11	10	00	11	01	10	1	01	10	00	01	11	00	10	01	1	01	10	00	01	11	00	10	01										
$m_1$	10	01	11	10	00	11	01	10																																																																										
0	10	01	11	10	00	11	01	10																																																																										
0	10	01	11	10	00	11	01	10																																																																										
1	10	01	11	10	00	11	01	10																																																																										
1	01	10	00	01	11	00	10	01																																																																										
0	10	01	11	10	00	11	01	10																																																																										
1	01	10	00	01	11	00	10	01																																																																										
1	01	10	00	01	11	00	10	01																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th><math>m_2</math></th> <th>01</th> <th>11</th> <th>10</th> <th>00</th> <th>11</th> <th>01</th> <th>10</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td></tr> <tr><td>0</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td></tr> <tr><td>0</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>01</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>00</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	$m_2$	01	11	10	00	11	01	10	10	0	01	11	10	00	11	01	10	10	1	10	00	01	11	00	10	01	01	1	10	00	01	11	00	10	01	01	0	01	11	10	00	11	01	10	10	1	10	00	01	11	00	10	01	01	1	10	00	01	11	00	10	01	01	0	01	11	10	00	11	01	10	10	0	01	11	10	00	00	01	10	10	
$m_2$	01	11	10	00	11	01	10	10																																																																										
0	01	11	10	00	11	01	10	10																																																																										
1	10	00	01	11	00	10	01	01																																																																										
1	10	00	01	11	00	10	01	01																																																																										
0	01	11	10	00	11	01	10	10																																																																										
1	10	00	01	11	00	10	01	01																																																																										
1	10	00	01	11	00	10	01	01																																																																										
0	01	11	10	00	11	01	10	10																																																																										
0	01	11	10	00	00	01	10	10																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th><math>m_3</math></th> <th>11</th> <th>10</th> <th>00</th> <th>11</th> <th>01</th> <th>10</th> <th>10</th> <th>01</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td></tr> <tr><td>1</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>1</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td></tr> <tr><td>0</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td></tr> <tr><td>0</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td></tr> <tr><td>0</td><td>11</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td></tr> <tr><td>1</td><td>00</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	$m_3$	11	10	00	11	01	10	10	01	1	00	01	11	00	10	01	01	10	0	11	10	00	11	01	10	10	01	1	00	01	11	00	10	01	01	10	1	00	01	11	00	10	01	01	10	0	11	10	00	11	01	10	10	01	0	11	10	00	11	01	10	10	01	0	11	10	00	11	01	10	10	01	1	00	01	11	00	10	01	01	10	
$m_3$	11	10	00	11	01	10	10	01																																																																										
1	00	01	11	00	10	01	01	10																																																																										
0	11	10	00	11	01	10	10	01																																																																										
1	00	01	11	00	10	01	01	10																																																																										
1	00	01	11	00	10	01	01	10																																																																										
0	11	10	00	11	01	10	10	01																																																																										
0	11	10	00	11	01	10	10	01																																																																										
0	11	10	00	11	01	10	10	01																																																																										
1	00	01	11	00	10	01	01	10																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th><math>m_4</math></th> <th>10</th> <th>00</th> <th>11</th> <th>01</th> <th>10</th> <th>10</th> <th>01</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td></tr> <tr><td>1</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td></tr> <tr><td>1</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td></tr> <tr><td>1</td><td>01</td><td>11</td><td>00</td><td>10</td><td>01</td><td>01</td><td>10</td><td>00</td></tr> <tr><td>0</td><td>10</td><td>00</td><td>11</td><td>01</td><td>10</td><td>10</td><td>01</td><td>11</td></tr> </tbody> </table>	$m_4$	10	00	11	01	10	10	01	11	1	01	11	00	10	01	01	10	00	1	01	11	00	10	01	01	10	00	0	10	00	11	01	10	10	01	11	0	10	00	11	01	10	10	01	11	0	10	00	11	01	10	10	01	11	1	01	11	00	10	01	01	10	00	1	01	11	00	10	01	01	10	00	0	10	00	11	01	10	10	01	11	
$m_4$	10	00	11	01	10	10	01	11																																																																										
1	01	11	00	10	01	01	10	00																																																																										
1	01	11	00	10	01	01	10	00																																																																										
0	10	00	11	01	10	10	01	11																																																																										
0	10	00	11	01	10	10	01	11																																																																										
0	10	00	11	01	10	10	01	11																																																																										
1	01	11	00	10	01	01	10	00																																																																										
1	01	11	00	10	01	01	10	00																																																																										
0	10	00	11	01	10	10	01	11																																																																										

Далее осуществим накопительное сложение элементов матрицы, расположенных в эквивалентных ячейках, в целях получения 3D-образа сигнала (рис. 2).

**Депаттернизация.** Решим обратную задачу — задачу депаттернизации. Рассмотрим этот процесс на конкретном примере. Пусть имеется 3D-образ, поверхность которого (см. рис. 2) представлена матрицей  $ms$  :

$$ms = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 4 & 3 & 2 & 2 & 0 & 2 & 2 & 1 & 4 & 2 & 2 & 3 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 4 & 2 & 0 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ 3 & 0 & 0 & 2 & 3 & 4 & 2 & 2 & 2 & 0 & 3 & 2 & 0 & 4 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 0 & 2 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 2 & 0 & 1 & 2 & 2 & 4 & 2 & 2 & 3 & 0 & 2 & 2 & 1 & 4 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 4 & 2 & 0 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ 1 & 4 & 4 & 2 & 1 & 0 & 2 & 2 & 2 & 4 & 1 & 2 & 4 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 0 & 2 & 4 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 \end{pmatrix}.$$

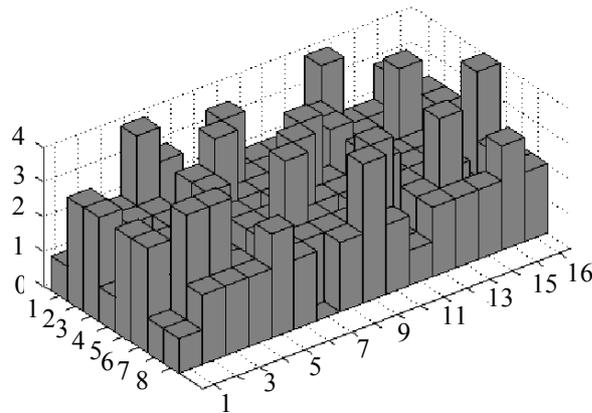


Рис. 2

Выделим поверхности  $ms$  по уровням 1 и 3. Иными словами, произведем бинаризацию имеющихся исходных данных по заданным уровням. В результате получим матрицы  $l_1$  и  $l_3$  :

$$l_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

$$l_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$



и единиц составляем оба варианта: осуществив их паттернизацию, можно определить, какой из вариантов оказался правильным.

Для рассмотренного примера получен одинаковый одномерный сигнал  $a$  по двум уровням поверхности  $ms$  :

$$a = [1001111000110110].$$

Следовательно, решены прямая и обратная задачи паттернизации сигнала, представляющего собой 0-1-вектор.

Для осуществления паттернизации и депаттернизации сигналов были написаны программы, структурные схемы которых приведены на рис. 4 и 5.

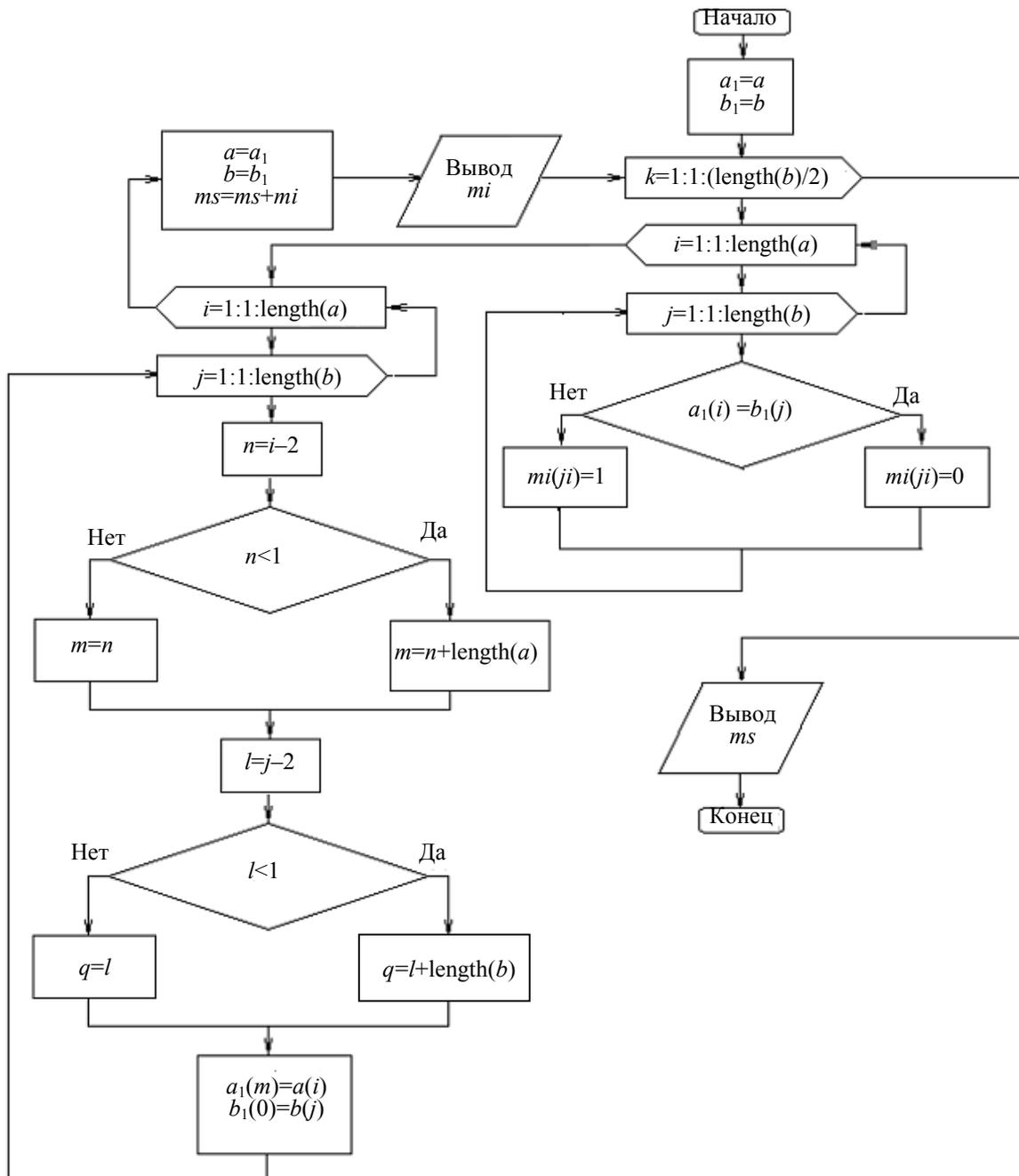


Рис. 4

Программа паттернизации (см. рис. 4) позволяет производить сложение по модулю два исходного сигнала и анализатора, осуществлять их сдвиг и повторное сложение. Результатом

работы программы являются двумерные паттерны и трехмерный паттерн, представляющий собой сумму двумерных паттернов.

Программа депаттернизации (см. рис. 5) позволяет осуществлять бинаризацию исходной поверхности по двум уровням и производить сложение полученных данных с анализатором, после чего получаемые результаты анализируются и формируется одномерный сигнал.

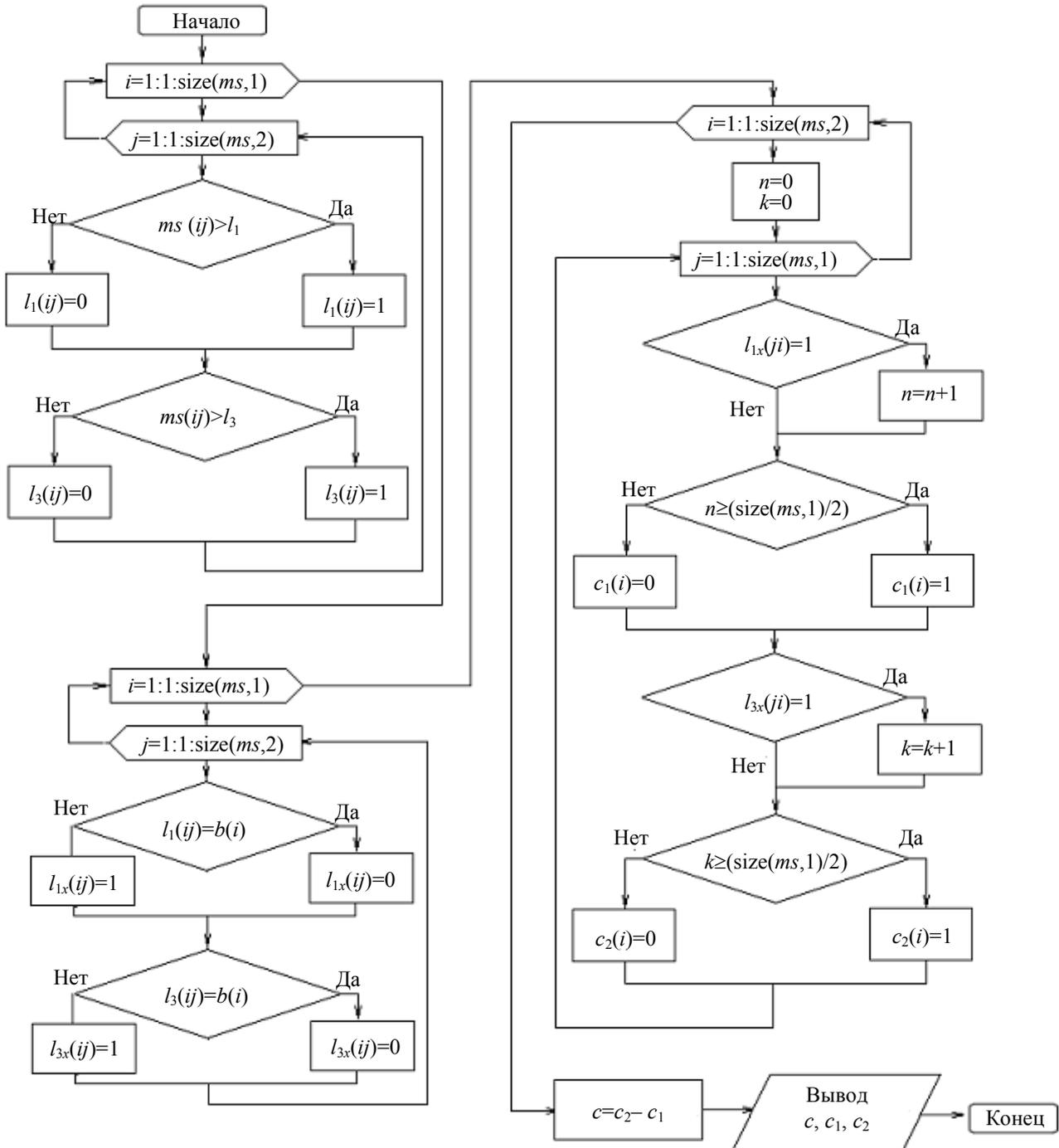


Рис. 5

**Заключение.** Разработанные новые алгоритмы трансформации сигналов и изображений с использованием переходов от одномерного представления сигнала к его двумерным и трехмерным представлениям позволяют расширить информационные возможности сигналов. Данный подход может быть использован при объектно-ориентированном программировании

тактильного зрения роботов. Отметим также, что работа в определенной степени перекликается с рядом публикаций [3, 6] по применению теории паттернов в компьютерных системах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
2. Grenander U. General Pattern Theory / Oxford University Press, 1993. 904 p.
3. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. СПб: Питер, 2007.
4. Романовский И.В. Дискретный анализ. СПб: Невский диалект, 2000. 240 с.
5. Коваленко П. П. Визуализация изображений на цилиндре и торе // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2007. Вып. 37. С. 26—29.
6. Шуткин Л. В. Паттерновая модель данных [Электронный ресурс]: <<http://osp.ru/os/1995/06/178747/>>.

**Сведения об авторах**

- Павел Павлович Коваленко** — Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; ассистент;  
E-mail: kovalenko\_p.p@mail.ru
- Виктор Михайлович Мусалимов** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра мехатроники; E-mail: musVM@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
мехатроники

Поступила в редакцию  
05.10.10 г.