

С.С. САДЫКОВ,  
Я.Ю. КУЛЬКОВ

**Распознавание отдельных  
тестовых плоских объектов на  
основе безразмерных признаков  
выпуклых оболочек их бинарных  
изображений**

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г. Муром

*В статье приведены результаты эксперименты использования безразмерных признаков, вычисляемых по выпуклой оболочке бинарного изображения объекта для его распознавания. В работе реализован алгоритм вычисления безразмерных признаков, предложенный в [1] для распознавания объектов в системах машинного зрения. На основе первичных коэффициентов, полученных по выпуклой оболочке, формируется вектор признаков. Создается набор эталонов для каждой группы изображений. С использованием среднеквадратичного отклонения вычисляется степень сходства вектора признаков неизвестного изображения и векторов признаков эталонов. Приведены результаты экспериментальных исследований по идентификации объектов.*

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по распознаванию отдельных тестовых плоских объектов (ОТПО) с использованием безразмерных признаков, полученных по выпуклым оболочкам бинарных изображений этих объектов, с помощью алгоритма, разработанного в [1].

Распознавание объектов по их изображениям – традиционная область цифровой обработки изображений. Распознавание имеет своей целью отнесение объекта к одному из заранее определенных типов. Для решения данной задачи необходимо

получение определенных признаков объекта по его изображению, которые позволят идентифицировать его с минимальной ошибкой. Для установления связи между значениями признаков объекта и решения о принадлежности его к определенному классу необходимо использование обучающей совокупности известных объектов [2-14].

Технология проведения экспериментов расчета безразмерных признаков по выпуклым оболочкам бинарных изображений отдельных тестовых плоских объектов и их распознавания состоит из следующих основных шагов: получение контура изображения объекта; построение его выпуклой оболочки; вычисления признаков; обучение системы распознаванию. Общая блок-схема алгоритма проведения экспериментов приведена на рисунке 1.

Блок 1 хранит исходные 10 бинарных изображений ОТПО. Примеры этих изображений объектов приведены на рисунке 2.

Эксперимент проводится на презентабельной выборке изображений каждого из 10 ОТПО. Для этого в блоке 2 проводится генерация множества повернутых изображений. Для каждого из изображений вычисляются центры тяжести по формулам (1).

$$x_{ц} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad y_{ц} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad (1)$$

где

$x_i, y_i$  – текущие координаты точек по X и Y, соответственно;  
 $m$  – число точек объекта ( $x_{ц}, y_{ц}$  – целые числа).

Быстрым алгоритмом вращения изображения является алгоритм, приведенный в [8], в котором для поворота объекта на угол  $\alpha$  координаты каждой точки объекта пересчитываются в соответствии с формулой (2):

$$\begin{aligned} x_i &= (x - x_{ц}) \cos \alpha - (y - y_{ц}) \sin \alpha + x_{ц} \\ y_i &= (y - y_{ц}) \cos \alpha - (x - x_{ц}) \sin \alpha + y_{ц} \end{aligned} \quad (2)$$

где

$x_i, y_i$  – новые координаты точки;  
 $x, y$  – исходные координаты точки;  
 $x_{ц}, y_{ц}$  – координаты центра тяжести объекта;  
 $\alpha$  – задаваемый угол поворота;  
 $x, y, x_i, y_i, x_{ц}, y_{ц}$  – целые числа.

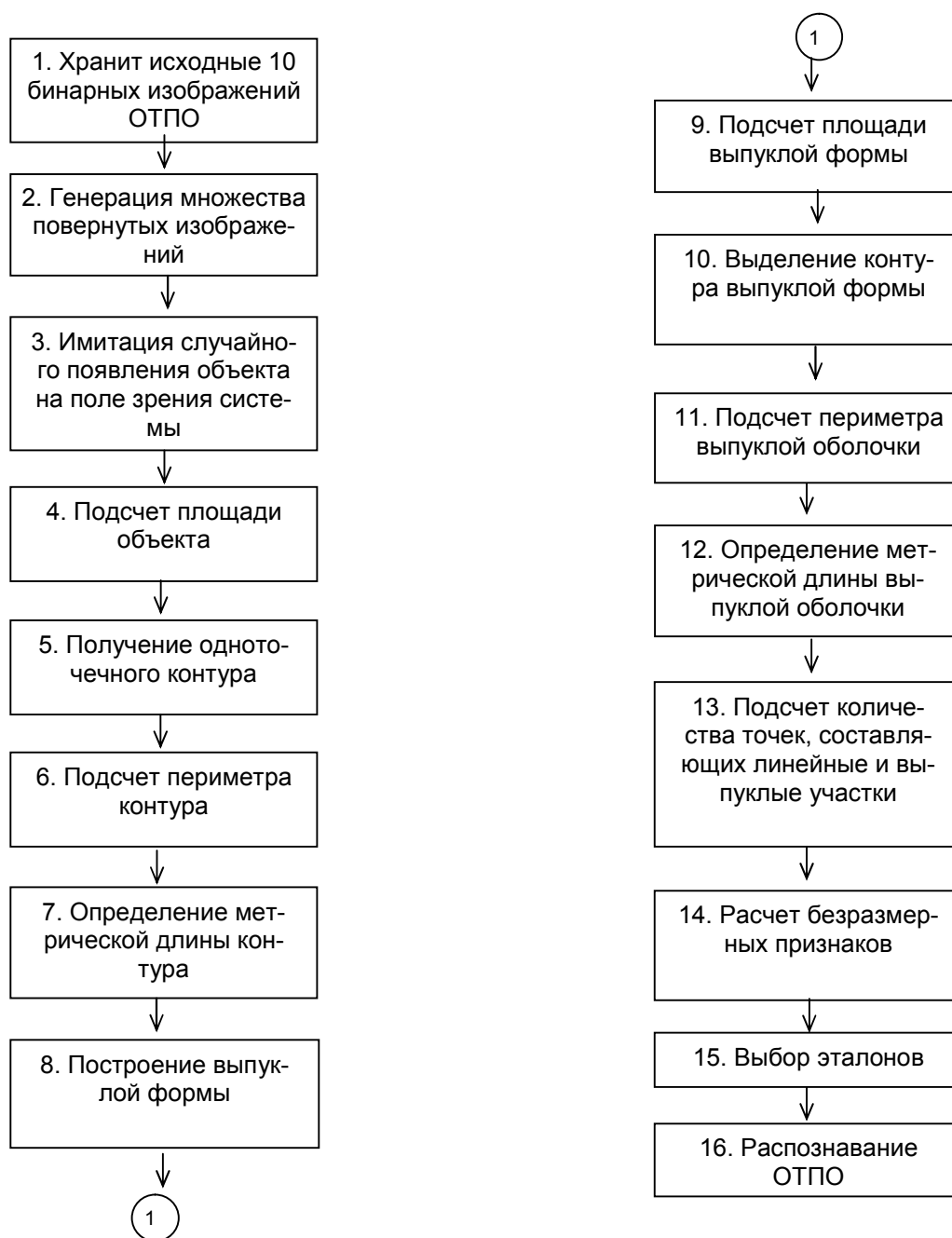


Рис. 1. Общая блок-схема технологии проведения экспериментов расчета безразмерных признаков по контурам бинарных изображений отдельных тестовых плоских объектов и их распознавания

Формируется массив повернутых изображений каждого из 10 ОТПО с шагом в 1 градус. Всего 3600 изображений.

Блок 3 реализует имитацию случайного появления объекта в поле зрения распознающей системы. С помощью генераторов случайных чисел (ГСЧ) с нормальным распределением, из

повернутых 360 изображений каждого из 10 ОТПО формируется 10 массивов по 2000 изображений.

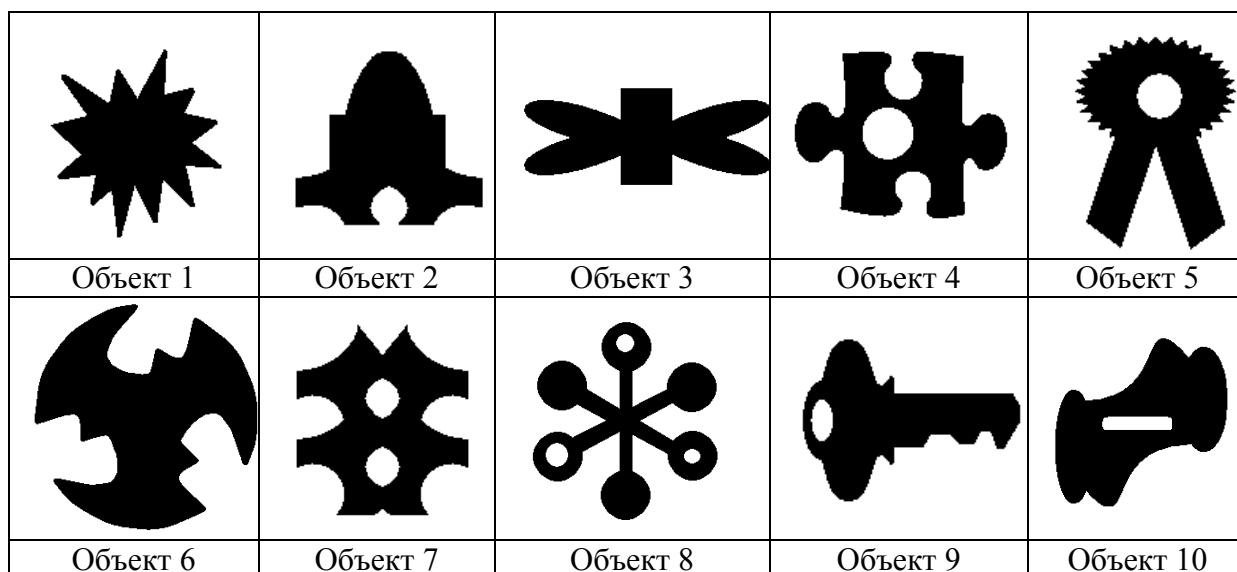


Рис. 2. Тестовые изображения

На рисунке 3 приведены примеры гистограмм использования исходных 360 повернутых изображений при формировании массивов 2000 изображений.

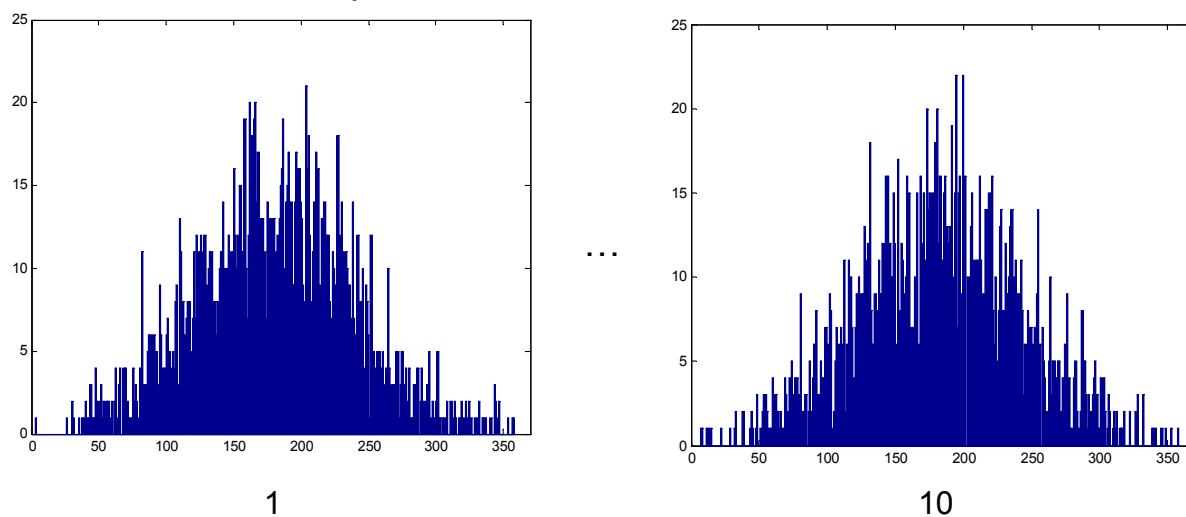


Рис. 3. Примеры гистограмм использования исходных 360 повернутых изображений при формировании массивов 2000 изображений 10 ОТПО

Примеры повернутых изображений приведены на рисунке 4.







Значение угла поворота \ Объект	$0^0$	...	$67^0$	...	$237^0$	$359^0$
1	...		...		...	...
...	...	...	...	...		...
5						...
...	...	...	...	...		...
10		...		...		...

Рис. 4. Примеры повернутых изображений.

В блоке 4 по полученным изображениям рассчитывается количество точек в каждом из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО, то есть вычисляется площадь объекта  $S_0$ . Пример результата вычислений площади  $S_0$  2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 1.

Таблица 1

Нереализации	1	2	3	....	...	856	.....	.....	1999	2000
Параметр $S_0$	8370	8377	8368	.....	.....	8366	.....	.....	8370	8368

Блок 5 формирует односточечные контуры бинарных изображений объектов по алгоритму в [9]. Пример односточечного контура бинарного изображения некоторого объекта приведен на рисунке 5.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис.5. Дискретный односточечный замкнутый контур

Блок 6 рассчитывает количество точек  $P_0$ , образующих контур каждого из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО. Пример такого расчета приведен для реализаций 1-го ОТПО на таблице 2.

Таблица 2

Нереализации	1	2	3	.....	947	.....	1346	....	1999	2000
Параметр $P_0$	637	649	641	.....	639	.....	645	.....	644	642

В блоке 7 определяется метрическая длина  $L_{\text{конт}}$  контура каждого из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО. Пример такого расчета приведен для реализаций 1-го ОТПО на таблице 3.

Таблица 3

Нереализации	1	2	3	.....	.....	1875	.....	.....	1999	2000
Параметр $L_{\text{конт}}$	752.98	754.637	776.477	.....	.....	785.791	.....	.....	775.649	776.063

Далее в блоке 8 для каждого изображения строится выпуклая форма. Выпуклой формой бинарного изображения плоского объекта назовем такую его форму, в которой отсутствуют точки, образующие вогнутые участки.

Бинарное изображение объекта сканируется маской размером  $3 \times 3$  и на каждом шаге сравниваются с набором эталонных масок, позволяющих обнаруживать точки изображения, лежащие в вогнутой области. Используемые для сканирования маски

приведены на рис.6 и рис.7. При нахождении такой точки ее значение меняется, например, с 0 на 1, т.е. происходит наращивание(дилатация) вогнутой части изображения.

1	0	1
1	1	1
1	1	1

$g_1$

1	1	1
1	1	0
1	1	1

$g_2$

1	1	1
1	1	1
1	0	1

$g_3$

1	1	1
0	1	1
1	1	1

$g_4$

Рис. 6. Первая группа масок для дилатации

1	1	0
1	1	0
1	1	1

$g_5$

1	1	1
1	1	0
1	1	0

$g_6$

1	1	1
1	1	1
1	0	0

$g_7$

1	1	1
1	1	1
0	0	1

$g_8$

1	1	1
0	1	1
0	1	1

$g_9$

0	1	1
0	1	1
1	1	1

$g_{10}$

0	0	1
1	1	1
1	1	1

$g_{11}$

1	0	0
1	1	1
1	1	1

$g_{12}$

Рис. 7. Вторая группа масок для дилатации

Результат работы алгоритма с использованием вышеприведенных масок на изображении на рис.5 показан на рис.8, где символами 2 обозначены точки появившиеся в процессе (дилатации) построения выпуклой формы объекта.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	0	0	0
0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0
0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0
0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0
0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	2	1	1	2	2	2	1	2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис.8. Выпуклая форма бинарного изображения плоского объекта на рис.5

По полученным выпуклым формам в блоке 9 рассчитывается количество точек в каждой из 2000 реализации каждого из 10 ОТПО, то есть определяется площадь построенной выпуклой формы  $S_{\text{вып.}}$ . Пример результата вычислений 2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 4.

Таблица 4

Нереализации	1	2	3	....	...	856	.....	.....	1999	2000
Параметр $S_{\text{вып.}}$	14744	14751	14741	.....	.....	14726	.....	.....	14875	14875

Определяется разность площадей объекта  $S_0$  и выпуклой формы  $S_{\text{вып.}}$  по формуле (3).

$$S_{\text{разн.}} = S_{\text{вып.}} - S_0 \quad (3)$$

Пример результата вычислений по формуле (3) для 2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 5.

Таблица 5

Нереализации	1	2	3	....	...	901	.....	.....	1999	2000
Параметр $S_{\text{разн.}}$	6373	6373	6749	.....	.....	6431	.....	.....	6503	6501

Используя алгоритм в [8,9], в блоке 10 выделяются выпуклые оболочки, представляющие собой контур выпуклой формы.

Примеры выделенных выпуклых оболочек по построенным выпуклым формам показаны на рис.6.





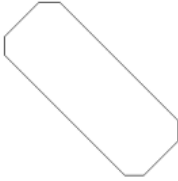
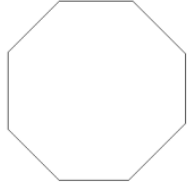
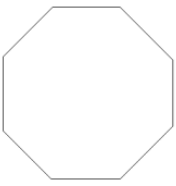
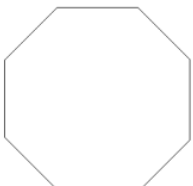
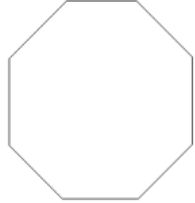
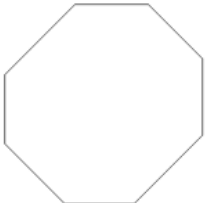
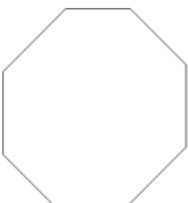
Значение угла поворота	$0^0$	...	$77^0$	...	$227^0$	$359^0$
Объект						
1						...
...	...	...	...	...	...	...
3						...
6						
...						
8						
...	...	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...	...

Рис. 6. Примеры выпуклых оболочек.

В блоке 11 определяется количество точек образующих выпуклую оболочку  $P_{\text{вып.}}$ .

Пример подсчета для 2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 6.

Таблица 6

Нереализации	1	2	3	....	...	901	.....	.....	1999	2000
Параметр $P_{\text{вып.}}$	376	376	377	.....	.....	369	.....	.....	370	370

Блок 12 определяет метрическую длину выпуклой оболочки  $L_{\text{вып.}}$ . Пример подсчета параметра  $L_{\text{вып.}}$  для 2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 7.

Таблица 7

Реализации	1	2	3	....	...	901	.....	.....	1999	2000
Параметр $L_{\text{вып.}}$	443.931	443.931		.....	.....	449.428	.....	.....	447.044	447.044

В блоке 13 определяется кривизна в точках выпуклой оболочки каждого из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО.

На выпуклой оболочке отсутствуют вогнутые участки. Она формируется из точек, имеющих значения 1 и 135, из которых образуются линейные и выпуклые участки оболочки.

Для определения значений кривизны в точках одноэлементной дискретной линии необходимо сканировать 12 масками размером 3x3 элемента и логически установить величину кривизны в каждой точке линии (рис.7, 8).

<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	0	1	0	0	1	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	1	0	1	0	1	0	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	1	0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	0																																					
0	1	0																																					
0	1	0																																					
0	0	0																																					
1	1	1																																					
0	0	0																																					
0	0	1																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
1	0	0																																					
0	1	0																																					
0	0	1																																					
$g_1$	$g_2$	$g_3$	$g_4$																																				

Рис. 7. Маски для определения кривизны в  $0^\circ$ 

<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	0	0	1	0	0	0	1	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	0	0	1	0	1	0	0	1	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	1	1	1	0	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	0	0	1	1	0	0	0	1
0	1	0																																					
0	1	0																																					
0	0	1																																					
0	0	1																																					
0	1	0																																					
0	1	0																																					
0	0	0																																					
0	1	1																																					
1	0	0																																					
0	0	0																																					
1	1	0																																					
0	0	1																																					
$g_5$	$g_6$	$g_7$	$g_8$																																				
<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	0	0	1	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	1	0	0	1	0	1	0	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	1	0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	0																																					
0	1	0																																					
0	1	0																																					
0	1	0																																					
0	1	0																																					
1	0	0																																					
0	0	1																																					
1	1	0																																					
0	0	0																																					
1	0	0																																					
0	1	1																																					
0	0	0																																					
$g_9$	$g_{10}$	$g_{11}$	$g_{12}$																																				

Рис. 8. Маски для определения кривизны в  $135^\circ$ 

После определения кривизны точек, определяется по количеству опорных точек со значениями 135 и сохраняется в параметре  $M_2$ .

Определяется суммарная метрическая длина выпуклых участков в контуре построенной выпуклой формы.

Поскольку выпуклый участок контура с опорной точкой 135 образуется тремя точками, из которых одна точка — опорная, одна точка является 4-связной, другая – D-связной, то длина  $L_j$  выпуклого участка в данной опорной точке определяется так:

$$L_j = a+b \quad (4)$$

где  $a$  – расстояние между двумя 4-связными точками;

$b$  – расстояние между двумя D-связными точками.

Отсюда получаем, что общая длина выпуклых участков с опорными точками 135 может быть вычислена по формуле (5).

$$L_{\text{общ.вып.}} = M_2(a+b) \quad (5)$$

Поскольку линейные участки контура образуются только единичными 4-х или D-связными точками, то следует определять эти длины этих участков отдельно.

Длина линейного участка, состоящего из трех точек, центральная из которых является 4-х связной определяется как  $L_{\text{лин4}}=2a$ . Длина линейного участка, также состоящего из трех точек, центральная из которых является D-х связной определяется как  $L_{\text{линD}}=2b$ .

Метрическая длина линейных участков с опорными 4-х связными и D-связными точками определяется по формуле (6).

$$L_{\text{общ.лин.}} = 1/2(K2a+ T2b) \quad (6)$$

где  $K$  – количество 4-х связных опорных точек;

$T$  - количество D-связных опорных точек.

Пример подсчета параметра  $L_{\text{общ.лин.}}$  для 2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 8.

Таблица 8

Нереализации	1	2	3	....	...	871	.....	.....	1999	2000
Параметр $L_{\text{общ.лин.}}$	435.688	435.688	441.186	.....	.....	441.52	.....	.....	438.801	438.801

По полученным первичным параметрам блок 14 осуществляет расчет векторов безразмерных признаков каждого из 2000 реализаций всех 10 ОТПО по формулам (7)-(28).

$$K1 = S_0 / S_{\text{вып}} \quad (7)$$

$$K2 = P_0 / S_{\text{вып}} \quad (8)$$

$$K3 = S_{\text{разн}} / S_{\text{вып}} \quad (9)$$

$$K4 = P_{\text{вып}} / S_{\text{вып}} \quad (10)$$

$$K5 = M_2 / S_{\text{вып}} \quad (11)$$

$$K6 = K / S_{\text{вып}} \quad (12)$$

$$K7 = T / S_{\text{вып}} \quad (13)$$

$$K8 = P_0 / S_0 \quad (14)$$

$$K9 = S_{\text{разн}} / S_0 \quad (15)$$

$$K10 = P_{\text{вып}} / S_0 \quad (16)$$

$$K11 = M_2 / S_0 \quad (17)$$

$$K12 = K / S_0 \quad (18)$$

$$K13 = T / S_0 \quad (19)$$

$$K14 = P_{\text{вып}} / P_0 \quad (20)$$

$$K15 = M_2 / P_{\text{вып}} \quad (21)$$

$$K16 = K / P_{\text{вып}} \quad (22)$$

$$K17 = T / P_{\text{вып}} \quad (23)$$

$$K18 = L_{\text{вып}} / L_0 \quad (24)$$

$$K19 = L_{\text{общ.вып.}} / L_{\text{вып}} \quad (25)$$

$$K20 = L_{\text{общ.лин.}} / L_{\text{вып}} \quad (26)$$

$$K21 = L_{\text{общ.вып.}} / L_0 \quad (27)$$

$$K22 = L_{\text{общ.лин.}} / L_0 \quad (28)$$

Пример полученных признаков для 2000 реализаций 1-го ОТПО дан в таблице 9.

Таблица 9

Значения безразмерных признаков реализаций 1-го ОТПО

№ реализации \ Коэффициенты	1	2	...	2000
$K_1$	0.567756	0.567961		0.562824
$K_2$	0.043204	0.0431835		0.0434286
$K_3$	0.432244	0.432039		0.437176
$K_4$	0.0255019	0.0254898		0.0248739
$K_5$	0.0005425	0.00054233		0.000537815
$K_6$	0.0141074	0.0141007		0.0121008

K <sub>7</sub>	0.0109197	0.0109145		0.0123025
K <sub>8</sub>	0.076096	0.0760325		0.077162
K <sub>9</sub>	0.761319	0.760683		0.776756
K <sub>10</sub>	0.044917	0.0448794		0.0441949
K <sub>11</sub>	0.0009556	0.00095488		0.000955566
K <sub>12</sub>	0.0248477	0.0248269		0.0215002
K <sub>13</sub>	0.0192331	0.019217		0.0218586
K <sub>14</sub>	0.590267	0.590267		0.572755
K <sub>15</sub>	0.0212766	0.0212766		0.0216216
K <sub>16</sub>	0.553191	0.553191		0.486486
K <sub>17</sub>	0.428191	0.428191		0.494595
K <sub>18</sub>	0.589566	0.588271		0.575733
K <sub>19</sub>	0.0435061	0.0435061		0.0432032
K <sub>20</sub>	0.981433	0.981433		0.981562
K <sub>21</sub>	0.0256497	0.0255934		0.0248735
K <sub>22</sub>	0.578619	0.577349		0.565118

Далее с помощью блока 15 в диалоговом режиме осуществляется выбор эталонов для распознавания каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО. По гистограмме, полученной на этапе генерации выбирается вектор признаков самой часто использованной из 360 повернутых вариантов, например, 1-го ОТПО, при формировании 2000 реализаций. Для данного вектора коэффициентов по методу среднеквадратичного отклонения (29) вычисляется  $Z_i$  с каждой из 2000 реализаций.

$$Z_i = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n (K_{ej} - K_{lj})^2 \quad (29)$$

где

$n$  – число признаков;

$l$  – номер распознаваемого объекта ( $l = 1, 2, \dots, 2000$ );

$K_{ej}$  – значение  $j$ -го признака вектора коэффициентов  $K$  выбранного эталона;

$K_{lj}$  – значение  $j$ -го признака вектора коэффициентов  $K$  выбранной реализации.

Вычисляются 2000 СКО  $Z_i$ . Среди них ищутся  $Z_{\min}$

$$Z_{\min} = \min\{Z_i\} \quad (30)$$

Найденные значения  $Z_{\min}$  указывают номера реализаций среди 2000 изображений, вектора-признаки которых совпадают с вектором-признаком выбранной как эталон реализации. Очевидно,

что с одним эталоном распознать все 2000 реализации 1-го ОТПО не возможно.

На втором шаге на основе гистограммы, выбирается как эталон вектор-признак следующей часто использованной из 360 повернутых вариантов, например, 1-го ОТПО, при формировании 2000 реализаций. Вычисляются 2000 СКО  $Z_i$ . Среди них ищутся  $Z_{\min}$  по формуле (30).

Найденные значения  $Z_{\min}$  указывают номера реализаций среди 2000 изображений, вектора-признаки которых совпадают с вектором-признаком выбранной как эталон реализации и т.д. Выбор эталонов для реализаций 1-го ОТПО проводится до тех пор, пока не будут распознаны все 2000 реализации.

Аналогично, выбор эталонов проводится для всех реализаций всех остальных 9 ОТПО.

Результаты выбора эталонов для 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО приведены в таблице 10.

Таблица 10

№ ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во эталонов	14	7	24	28	11	2	8	6	19	19

На этом обучение системы распознавания завершается.

Блок 16 осуществляется экзамен обученной системы на 20000 реализациях всех 10 ОТПО на основе формул (29) и (30).

Экзамен заключается в сравнении векторов признаков всех 20000 реализаций всех 10 ОТПО с выбранными эталонами.

Производится выбор некоторого случайного объекта. Для него выполняются все описанные процедуры получения безразмерных признаков контура. Полученный вектор признаков неизвестного ОТПО сравнивается со всеми эталонными векторами-признаками в табл. 10. Определяется тип ОТПО в соответствии с  $\min\{Z_{\min}\}$ .

Процедура экзамена повторяется для 2-го неизвестного объекта, и так далее для всех 20000 реализаций всех 10 ОТПО. Строится таблица правильного распознавания (Табл.11).

Таблица 11

**Результаты правильной идентификации на экзамене всех реальных объектов при количестве эталонов от 1 до 28 на каждый объект**

№ объекта	Кол-во испытаний	Количество эталонов											
		1		10		15		20		25		28	
		кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.	кол-во	проц. расп.
1	2000	312	15.6	1812	90.6	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
2	2000	457	22.9	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
3	2000	210	10.5	989	49.5	1241	62.1	1805	90.2	2000	100	2000	100
4	2000	189	9.5	901	45.1	1203	60.2	1671	83.6	1852	92.6	2000	100
5	2000	391	19.6	1730	86.5	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
6	2000	1412	70.6	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
7	2000	1105	55.3	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
8	2000	1201	60.1	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
9	2000	970	48.5	1512	75.6	1899	95	2000	100	2000	100	2000	100
10	2000	902	45.1	1715	85.8	1901	95.1	2000	100	2000	100	2000	100

На рисунке 9 представлен график изменения вероятности правильного распознавания тестовых объектов в зависимости от количества эталонов.

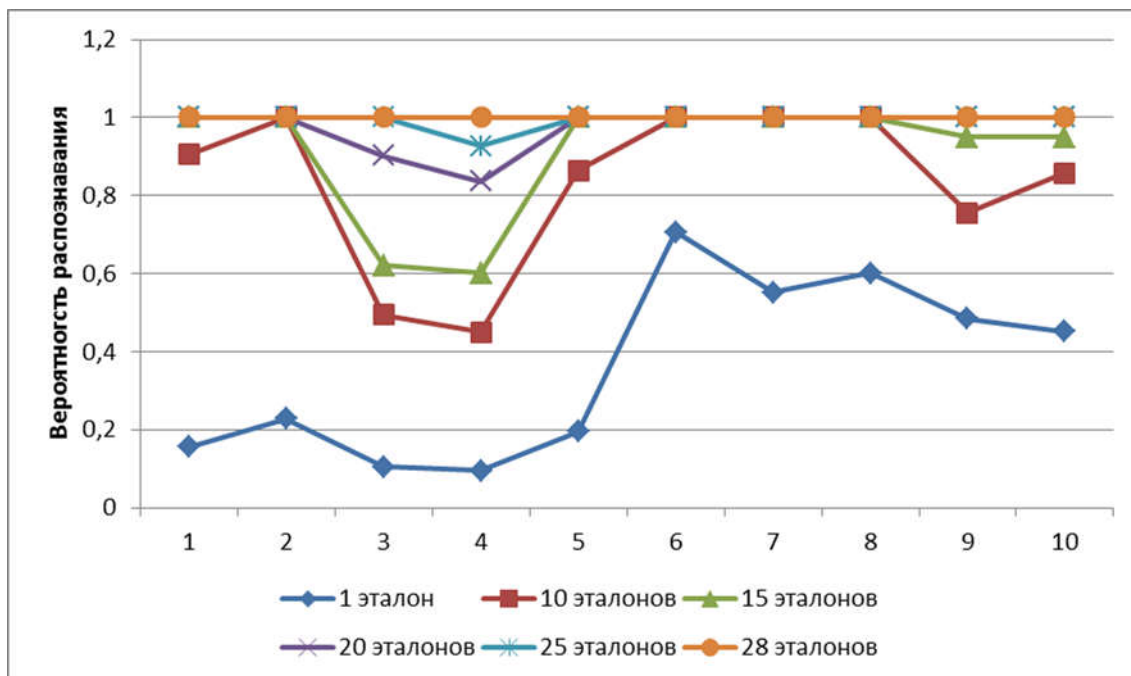


Рис. 9. График изменения вероятности правильного распознавания отдельных тестовых объектов при разном количестве эталонов

График изменения времени на распознавание при увеличении количества эталонов представлен на рисунке 10.

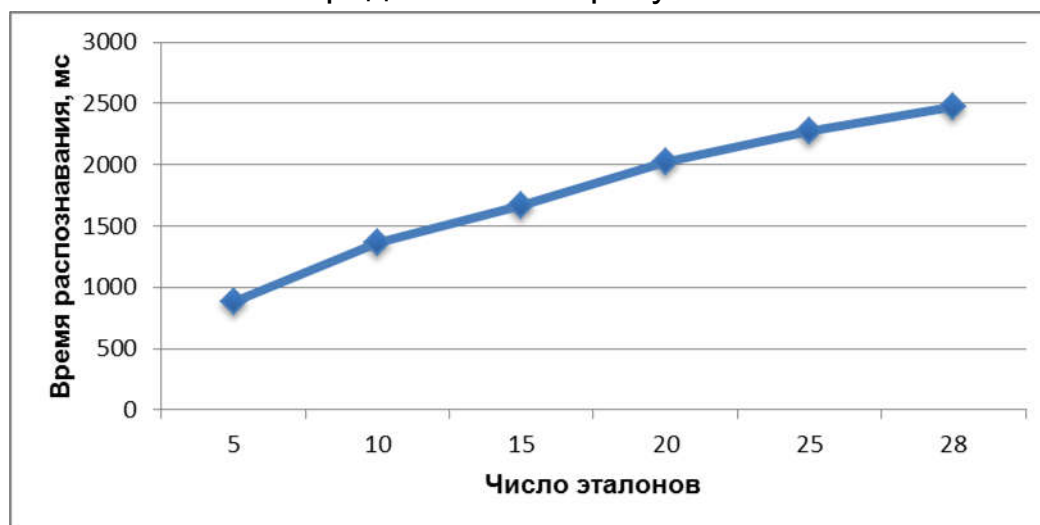


Рис. 10. График зависимости времени распознавания от числа эталонов на объект

### Заключение

Наибольшее количество эталонов понадобилось для распознавания всех реализаций объекта под номером 4. Это обусловлено тем, что при генерации повернутых экземпляров образуются изображения, имеющие несимметричную форму. Поэтому формируемые выпуклые оболочки сильно отличаются между собой.

Те же рассуждения справедливы и для объекта 3. При вращении изображения получаем различные соотношения линейных участков выпуклой оболочки, а также параметров контура. Это можно заметить в таблице 5.

Объект под номером 6 имеет сложный контур. Но в следствии симметричности изображения, выпуклые оболочки различных повернутых реализаций практически не отличаются между собой. Также стабильным остаются первичные коэффициенты, получаемые по контуру исходного изображения до заполнения вогнутых участков. Поэтому для распознавания всех 2000 реализаций данного объекта достаточно двух эталонов.

При обучении системы для распознавания объекта под номером 8 получено 6 эталонов. При всей сложности изображения



исходного объекта его выпуклые оболочки также остаются одинаковыми, как и у объекта под номером 6.

В ходе проведения экспериментов получено время, требуемое для распознавания поступающего на вход тестовой системы изображения объекта. Используемая для проведения экспериментов не подвергалась оптимизации. При вычислении коэффициентов дважды выделяется контур, сначала по исходному изображению, потом по выпуклой форме. Используемый алгоритм направленного перебора требует программной оптимизации.

Наибольшее время затрачивается на итерационный алгоритм формирования выпуклой формы. Сканирование масками можно оптимизировать, проходя только по контуру. Таким образом можно существенно уменьшить время работы всего алгоритма формирования безразмерных признаков по выпуклой оболочке изображения.

### Литература

1. Садыков, С.С. Алгоритм построения выпуклой оболочки бинарного изображения и формирование его безразмерных признаков/ С.С. Садыков//Алгоритмы, методы и системы обработки данных.2015.№2(31).С.77-85.
2. Технология выделения области кисты на маммограмме/С.С. Садыков, Е.А. Захарова, Ю.А. Буланова//Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2013. № 1 (43). С. 7-12.
3. Исследование маркерного водораздела для выделения области рака молочной железы/С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова, В.С. Яшков//Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2013. № 1 (23). С. 56-64.
4. Андрианов Д.Е. Разработка муниципальных геоинформационных систем/Д. Е. Андрианов, С. С. Садыков, Р. А. Симаков.- М.: Мир, 2006, 109 с.
5. Жизняков, А. Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений: монография / А. Л. Жизняков, С. С. Садыков. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008, 121 с.
6. Критерии выделения групп риска из лиц трудоспособного возраста при медицинских исследованиях на системе АСПО/О.И. Евстигнеева, С.С. Садыков, Е.Е. Сулова, А.С. Белякова//Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 19. С. 33-39.
7. Садыков, С.С. Диалоговая система анализа маммографических снимков/С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова//Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 19. С. 155-167.
8. Садыков, С.С. Формирование безразмерных коэффициентов формы замкнутого дискретного контура/ С.С.Садыков//Алгоритмы, методы и системы обработки данных.2014.№4(29).С.91-98.

9. Садыков, С.С. Алгоритм логического определения кривизны точек дискретной линии/С. С. Садыков//Алгоритмы, методы и системы обработки данных.2015.№1(30).С.52-59.

10. Садыков, С.С. Алгоритм текстурной сегментации для выявления областей кисты на маммограммах/С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, А.Г. Романов//Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2013. № 1 (23). С. 50-55.

11. Садыков, С.С. Автоматическая объективная оценка и выбор наиболее значимых параметров для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний//С.С. Садыков, И.А. Сафиулова, А.С.Белякова//Автоматизация и современные технологии. 2012. № 3. С. 27-33.

12. Садыков, С.С. Система формирования данных об информационных ресурсах краеведческого музея и управления ими: опыт разработки и использования/С.С. Садыков, Е.Е. Канунова//Информационные технологии. 2007. № 10. С. 59-65.

13. Садыков, С.С. Математические модели некоторых сердечно-сосудистых заболеваний/С.С. Садыков, А.С. Белякова//Информационные технологии. 2011. № 12. С. 59-63.

14. Садыков, С.С. Компьютерная диагностика новообразований на маммографических снимках/С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова//Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 1. С. 131-138.