

С.С. САДЫКОВ,
Я.Ю. КУЛЬКОВ

**Экспериментальное исследование
алгоритма распознавания
отдельных тестовых плоских
объектов на основе их
безразмерных контурных
признаков**

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

Статья посвящена экспериментальному исследованию возможности применения безразмерных признаков контура бинарного изображения объекта для его распознавания. Основой для формирования вектора признаков являются характеристики контура изображения. Проведены эксперименты по идентификации объектов на основе расчета среднеквадратичного отклонения.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований по распознаванию отдельных тестовых плоских объектов (ОТПО) с использованием безразмерных признаков, полученных из характеристик контуров бинарных изображений этих объектов, разработанных в [1].

Обнаружение и распознавание объектов составляет неотъемлемую часть человеческой деятельности. Под объектом понимается не только цифровое представление локального фрагмента двумерной сцены, а некоторое его приближенное описание, в виде набора характерных свойств или признаков. Основное назначение описания признаков - это их использование в процессе установления соответствия объектов, осуществляемого путем сравнения. Задачей распознавания является определение принадлежности объекта к тому или иному классу путем анализа вектора значений вычисляемых признаков. Информацию о связи

между значениями признаков объекта и его принадлежностью к определенному классу алгоритм распознавания должен извлечь из обучающей совокупности объектов, для которых известны значения признаков и классов [2-13].

На рисунке 1 приведена общая блок-схема технологии проведения экспериментов расчета безразмерных признаков по контурам бинарных изображений отдельных тестовых плоских объектов и их распознавания.

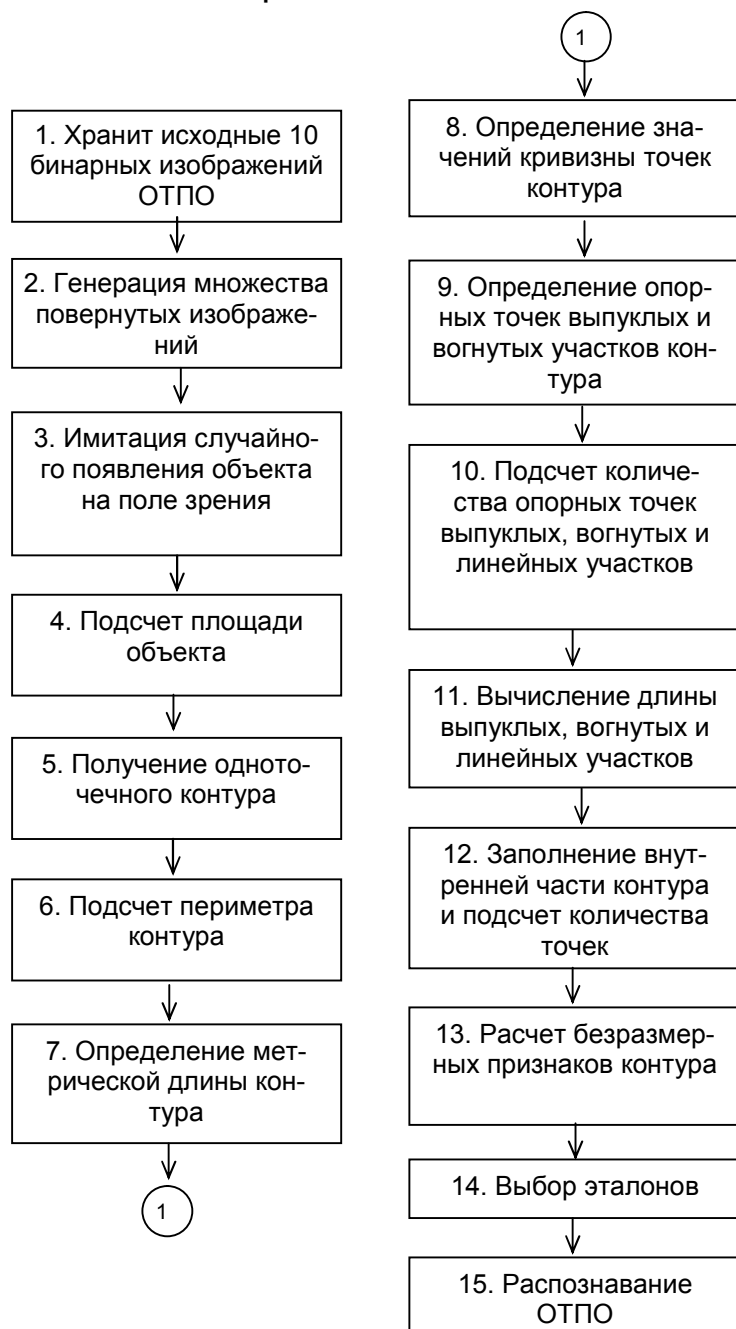


Рис. 1. Общая блок-схема технологии проведения экспериментов расчета безразмерных признаков по контурам бинарных изображений отдельных тестовых плоских объектов и их распознавания

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

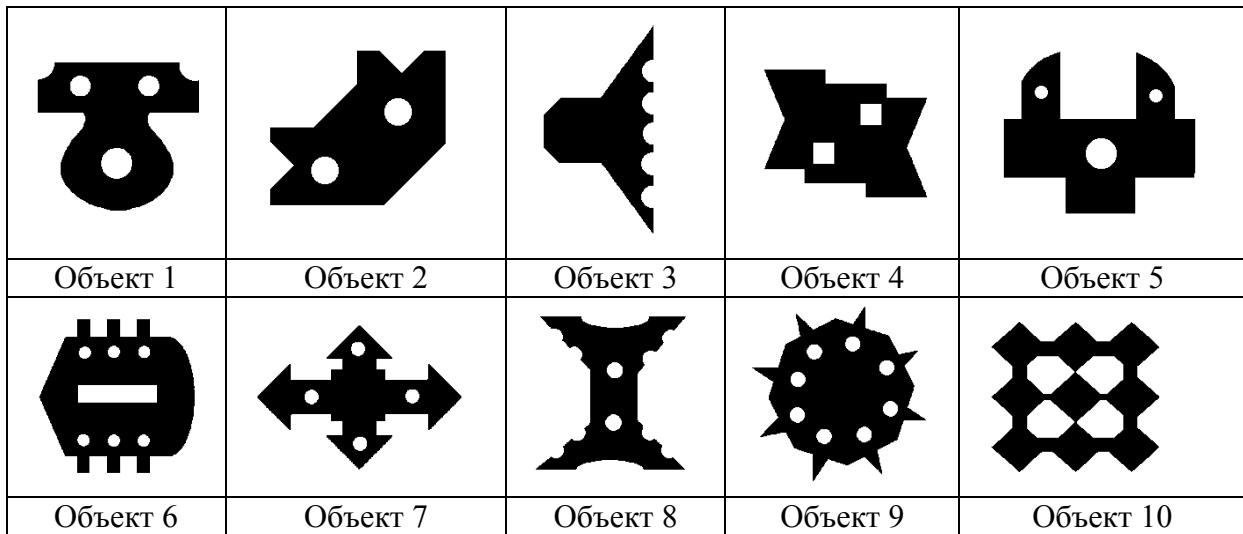


Рис. 2. Тестовые изображения

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 α 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;

α – задаваемый угол поворота;

$x, y, x_i, y_i, x_{ц}, y_{ц}$ – целые числа.

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

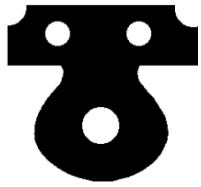
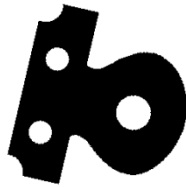

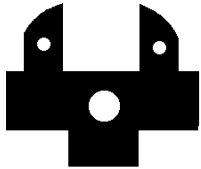
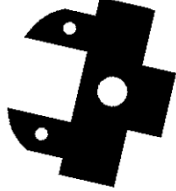

Значение угла поворота \ Объект	0^0	...	77^0	...	227^0	359^0
1						...
...
5						...
...
10

Рис. 3. Примеры повернутых 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.

На рис. 4 приведены примеры гистограмм использования исходных 360 повернутых изображений при формировании массивов 2000 изображений.

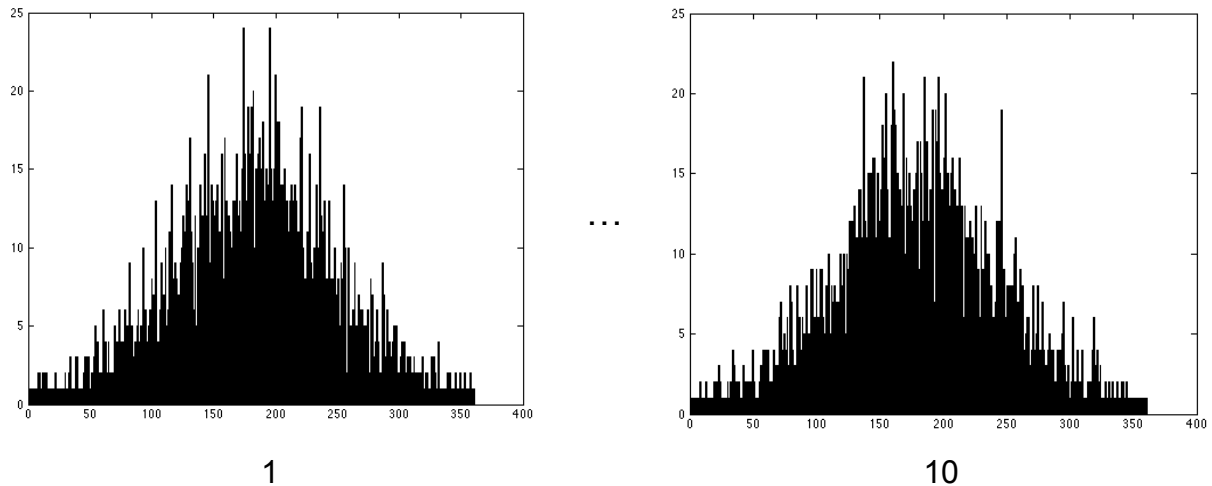


Рис. 4. Примеры гистограмм использования исходных 360 повернутых изображений при формировании массивов 2000 изображений 10 ОТПО

С помощью второго ГСЧ получаем числа в диапазоне 0,364 до 0,720. Такое ограничение необходимо для того, чтобы свести к минимуму расположения изображений вне рабочего поля). Для 2000 реализаций каждого объекта генерируются 4000 чисел. Первое число от ГСЧ будем считать координатой центра тяжести по оси x_c объекта, второе число – y_c . Таким образом определяются координаты центра тяжести каждой из 2000 реализации каждого из 10 ОТПО. Согласно этим координатам 2000 реализации каждого из 10 ОТПО размещаются на рабочем поле.

Блок 4 рассчитывает количество точек в каждом из 2000 реализации каждого из 10 ОТПО, то есть вычисляет площадь объекта S_0 . Пример результата вычислений 2000 реализаций 1-го ОТПО приведен в таблице 1.

Таблица 1

№реализации	1	2	3	....	...	856	.....	.....	1999	2000
Параметр S_0	34041	22039	17080	.....	.....	47925	.....	.....	44865	36684

Блок 5 формирует одноточечные контуры бинарных изображений объектов по алгоритму в [4].

Примеры полученных контуров изображений реализаций 1-го ОТПО приведены на рис. 5.

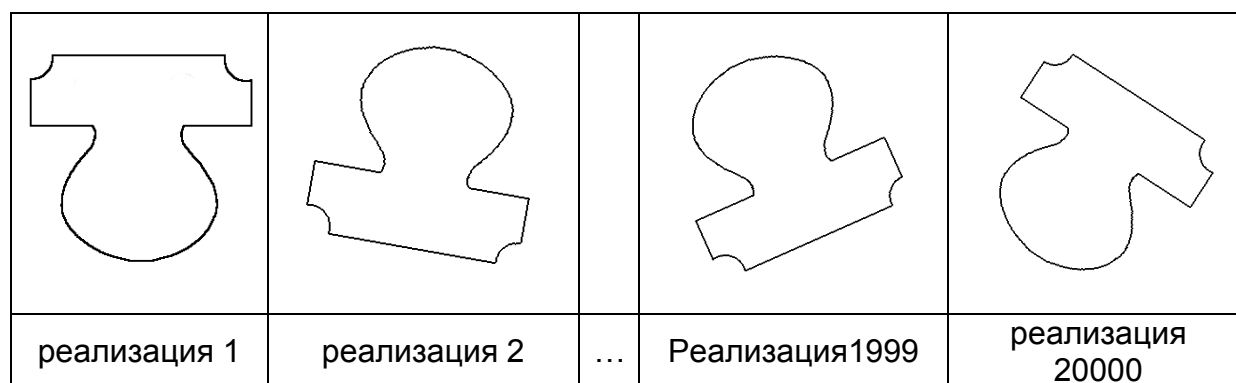


Рис. 5. Примеры полученных контуров изображений реализаций 1-го ОТПО

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

Таблица 2

№реализации	1	2	3	.....	947	.....	1346	....	1999	2000
Параметр P_0	843	600	710	.....	1734	.....	960	.....	1054	778

Блок 7 определяет метрическую длину контура каждого из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО. Пример такого расчета приведен для реализаций 1-го ОТПО на таблице 3.

Таблица 3

№реализации	1	2	3	.....	.....	1875	.....	.....	1999	2000
Параметр $L_{\text{конт}}$	927.91	690.29	825.56	.....	.....	1138.70	.....	.....	1236.25	1018.66

В блоке 8 определяется значение кривизны в точках каждого контура каждого из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО по алгоритму в [2].

Пример определения кривизны точек контура приведен на рис. 6.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	135	1	1	1	0	135	1	135	0	0	0	0
0	0	135	0	0	0	0	90	0	0	0	1	0	0	0
0	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0
0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	0	135	135	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0
0	135	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0
0	0	90	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0
0	0	0	0	135	0	0	135	1	135	0	135	135	0	0
0	0	0	0	0	135	135	0	0	0	90	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 6. Пример дискретного одноточечного замкнутого контура с указанными значениями кривизны в его точках (где «1» означает нулевую кривизну контура в данной точке)

Блок 9 определяет опорные точки выпуклых и вогнутых участков контура.

Пример маркировки опорных точек с отмеченными выпуклыми (+90, +135), вогнутыми (-90, -135) и линейными (отмечены 1) участками приведен на рис.7.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	+135	1	1	1	0	+135	1	+135	0	0	0	0
0	0	+135	0	0	0	0	-90	0	0	0	1	0	0	0
0	0	+135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+135	0	0
0	0	0	-90	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	+90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-135	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+90	0
0	0	0	0	-90	0	0	0	0	0	0	0	-135	0	0
0	0	+135	-135	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	+135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-135	0	0
0	+135	0	-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+135	0
0	0	+90	0	-135	0	0	0	0	0	0	0	0	+135	0
0	0	0	0	+135	0	0	-135	1	-135	0	-135	+135	0	0
0	0	0	0	0	+135	+135	0	0	0	+90	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 7. Пример результата работы блока 9

Блок 10 Вычисляет количество опорных точек выпуклых, вогнутых и линейных участков контуров.

Пример расчета опорных точек реализаций 1-го ОТПО дан в табл.4.

Таблица 4

№ реализ. Параметр	1	2	3	.....	.....	956	957	....	....	2000
M ₁	4	0	0	.....	.....	5	7	.....	.....	10
M ₂	3	1	0	.....	.....	5	0	.....	.....	0
M ₃	111	12	113	.....	.....	158	43	.....	.....	68
M ₄	109	4	111	.....	.....	150	49	.....	.....	84
K	528	374	320	.....	.....	716	526	.....	.....	120
T	88	209	167	.....	.....	26	335	.....	.....	495

где

M₁ - количество точек контура с значением +90;

M₂ - количество точек контура с значением -90;

M₃ - количество точек контура с значением +135;

M₄ - количество точек контура с значением -135;

K - количество 4-х связных точек контура;

T - количество D связных точек контура.

Блок 11 по формулам (3), (4) и (5) вычисляет общую длину выпуклых, вогнутых и линейных участков всего контура каждого объекта:

$$\text{Лобщ.вып.} = \frac{1}{2}[M_1 2b + M_3(a+b)] \quad (3)$$

$$\text{Лобщ.вог.} = \frac{1}{2}[M_2 2b + M_4(a+b)] \quad (4)$$

$$\text{Лобщ.лин.} = \frac{1}{2}(K 2a + T 2b) \quad (5)$$

где

a – расстояние между 4-х связными точками;

b – расстояние между D связными точками.

Пример результата работы блока по расчету параметров на основе формул (3), (4) и (5) приведен в табл.5

Таблица 5

№ реализ. Параметр	1	2	.....	573	.....	1233	.....	.....	.....	2000
Лобщ.вып.	139.64	14.485	.....	143.26	.....	197.79	.....	.....	.....	96.23

Лобщ.вог.	135.81	6.2426	.....	139.64	.....	188.13	.....	.....	.....	101.39
Лобщ.лин.	652.45	669.57	.....	542.48	.....	752.77	.....	.....	.....	820.03

Блок 12 формирует изображения ОТПО с отмеченными внутренними точками и подсчитывает их (табл.6). Пример работы блока 12 над изображением на рис.7 приведен на рис. 8.

Пример подсчета внутренних точек для реализаций 1-го ОТПО дан в таблице 6.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	+135	1	1	1	0	+135	1	+135	0	0	0	0
0	0	+135	2	2	2	2	-90	2	2	2	1	0	0	0
0	0	+135	2	2	2	2	2	2	2	2	2	+135	0	0
0	0	0	-90	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0
0	0	+90	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-135	0	0
0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0	+90	0
0	0	0	0	-90	2	2	2	2	2	2	2	-135	0	0
0	0	+135	-135	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0
0	+135	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-135	0	0
0	+135	2	-90	2	2	2	2	2	2	2	2	2	+135	0
0	0	+90	0	-135	2	2	2	2	2	2	2	2	+135	0
0	0	0	0	+135	2	2	-135	1	-135	2	-135	+135	0	0
0	0	0	0	0	+135	+135	0	0	0	+90	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 8. Контур из рис.7 с отмеченными внутренними точками

Таблица 6

№ реализации	1	2	.....	753	.....	1387	.....	1786	.....	2000
Параметр В	33198	21439	.....	26404	.....	46865	.....	24600	.....	35906

Блок 13 осуществляет расчет векторов безразмерных признаков каждого из 2000 реализаций всех 10 ОТПО.

$$K_1 = P_0/S_0 \quad (6);$$

$$K_2 = M_1/S_0 \quad (7);$$

$$K_3 = M_2/S_0 \quad (8);$$

$$K_4 = M_3/S_0 \quad (9);$$

$$K_5 = M_4/S_0 \quad (10);$$

$$K_6 = K/S_0 \quad (11);$$

$$K_7 = T/S_0 \quad (12);$$

$$K_8 = M_1/P_0 \quad (13);$$

$$K_9 = M_2/P_0 \quad (14);$$

$$K_{10} = M_3/P_0 \quad (15);$$

$$K_{11} = M_4/P_0 \quad (16);$$

$$K_{12} = K / P_0 \quad (17);$$

$$K_{13} = S / P_0 \quad (18);$$

$$K_{14} = L_{\text{Общ.Лин.}} / L_{\text{Конт}} \quad (19);$$

$$K_{15} = L_{\text{Общ.Вог.}} / L_{\text{Конт}} \quad (20);$$

$$K_{16} = L_{\text{Общ.Вып.}} / L_{\text{Конт}} \quad (21);$$

Пример полученных признаков для 2000 реализаций 1-го ОТПО дан в таблице 8.

Таблица 8

Значения безразмерных признаков реализаций 1-го ОТПО

№ реализации \ Коэффициенты	1	2	...	2000
K_1	0.0247	0.02252		0.02193
K_2	0.00011	0.00038		0.00032
K_3	8.812e-5	0.00044		0.00020
K_4	0.00326	0.0045		0.00358
K_5	0.0032	0.00428		0.00358
K_6	0.0155	0.00443		0.00449
K_7	0.0025	0.00840		0.00977
K_8	0.0047	0.0169		0.0147
K_9	0.0035	0.01955		0.00937
K_{10}	0.1316	0.2033		0.16332
K_{11}	0.1293	0.1903		0.16332
K_{12}	0.6263	0.1968		0.20481
K_{13}	0.0247	0.0225		0.02193
K_{14}	0.7031	0.5788		0.66199
K_{15}	0.1463	0.2057		0.16675
K_{16}	0.1504	0.2153		0.17275

С помощью блока 14 в диалоговом режиме осуществляется выбор эталонов для распознавания каждой из 2000 реализаций каждого из 10 ОТПО. По гистограмме, полученной в блоке 3 (например, рис. 4) 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 (22) вычисляется Z_i с каждой из 2000 реализаций.

$$Z_i = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n (K_j - K_{jl})^2 \quad (22)$$

где

n – число признаков;

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

K_j – значение j -го признака вектора коэффициентов K выбранного эталона;

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

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

$$Z_{\min} = \min\{Z_i\} \quad (23)$$

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(рис.4), 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 (23).

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 9.

Таблица 9

№ ОТПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во эталонов	28	35	17	25	43	27	34	28	8	33

На этом обучение системы распознавания завершается.

Блок 15 осуществляет экзамен обученной системы на 20000 реализациях всех 10 ОТПО на основе формул (22) и (23).

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. 9. Определяется тип ОТПО в соответствии с $\min\{Z_{\min}\}$.

Процедура экзамена повторяется для 2-го неизвестного объекта, и так далее для всех 20 000 реализаций всех 10 ОТПО.

Строится таблица и графики правильного распознавания.

Таблица 10

Результаты правильной идентификации всех реальных объектов при количестве эталонов от 10 до 43 на каждый объект

№ объекта	Кол-во испытаний	Количество эталонов											
		10		16		20		25		30		43	
		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	1029	52	1481	74	1738	86	1921	96	2000	100	2000	100
2	2000	729	46	1265	60	1412	69	1668	82	1852	93	2000	100
3	2000	1670	83	1982	99	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
4	2000	900	52	148	78	1717	92	2000	100	2000	100	2000	100
5	2000	723	29	1026	45	1197	55	1369	67	1637	79	2000	100
6	2000	993	51	1453	72	1671	85	1906	98	2000	100	2000	100
7	2000	867	47	1310	60	1497	75	1714	90	1939	96	2000	100
8	2000	1217	57	1664	78	1845	87	1999	99	2000	100	2000	100
9	2000	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100	2000	100
10	2000	795	37	1210	62	1509	76	1772	90	1969	96	2000	100

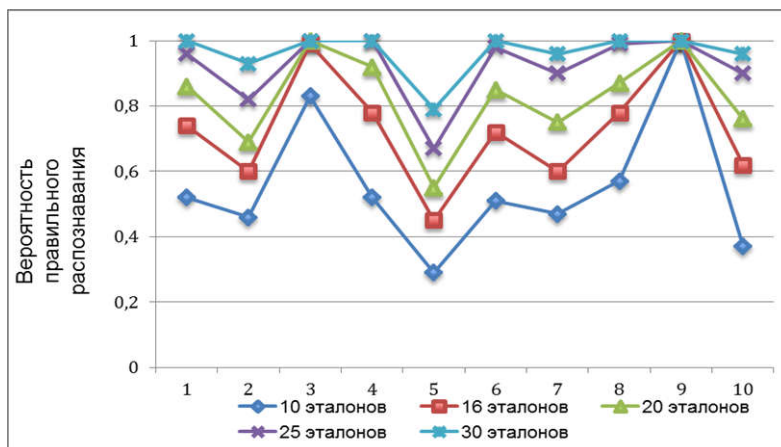


Рис. 9. График изменения вероятности правильного распознавания отдельных тестовых объектов при разном количестве эталонов

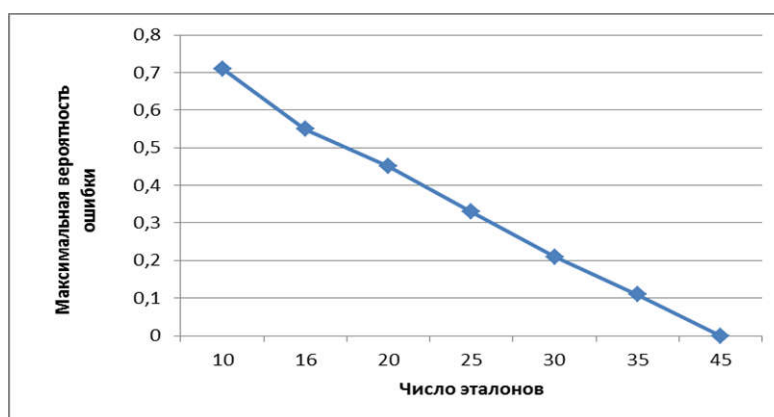


Рис. 10. График зависимости максимальной вероятности ошибки от числа эталонов для 5-го объекта

График изменения времени на распознавание при увеличении количества эталонов представлен на рисунке 11.

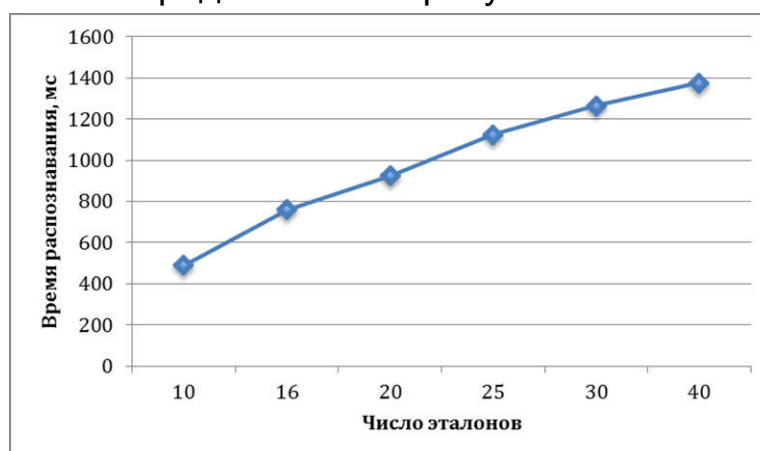


Рис. 11. График зависимости времени распознавания от числа эталонов на объект

Заключение

Объект 9 имеет простой симметричный контур. Повернутые изображения которого практически не отличаются между собой. Поэтому для распознавания данного объекта потребовалось всего 8 эталонов. При этом объект 5 имеет более сложную форму. Это привело к необходимости использовать 43 эталона для полного распознавания всех реализаций данного объекта. В среднем требуется около 30 эталонов.

В ходе работы были проведены экспериментальные исследования по распознаванию отдельных тестовых плоских объектов на основе безразмерных признаков их контуров. Эксперименты были проведены на основе презентабельной выборки в 2000 изображений для выбранных 10 объектов.

Результаты исследования показали высокую эффективность предложенных безразмерных признаков. Количество требуемых для распознавания эталонов зависит от сложности и симметричности контура объекта.

При данном наборе эталонных векторов коэффициентов распознавание неизвестных объектов составило 100%.

Значения времени распознавания получены для тестовых алгоритмов выделения контура и определения коэффициентов. В качестве алгоритма выделения контура использовался метод направленного перебора. Данный метод, а также алгоритм маркировки опорных точек являются самыми затратными по времени работы в данной системе и могут быть оптимизированы для применения в реальной системе с целью сокращения времени распознавания.

Литература

1. 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.

2. 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.

3. Садыков, С.С. Регрессионные модели стенокардии и зависимость их информативности от количества параметров работы сердца/ С. С. Садыков, А. С. Белякова//Системы управления и информационные технологии.2011.т.45. № 3.1.С.190-194.

4. Садыков, С.С. Идентификация реальных плоских объектов на основе единственного признака точек их внешних контуров/С.С. Садыков, С.В. Савичева// Информационные технологии.2011.№ 8.С.13-16.

5. Садыков, С.С. 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.

6. Садыков, С.С. 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.

7. 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 (23). С.77-85.

8. Садыков, С.С. Методы и алгоритмы выделения признаков объектов в системах технического зрения/С.С. Садыков, Н.Н. Стулов.- М.: Горячая линия-Телеком. 2005.-204с.

9. Андрианов, Д.Е. Разработка муниципальных геоинформационных систем/Д. Е. Андрианов, С. С. Садыков, Р. А. Симаков.-М.: Мир. 2006.-109 с.

10. Жизняков, А.Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений/ А. Л. Жизняков, С. С. Садыков.- Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008.- 121 с.

11. 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.

12. 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.

13. Методы и алгоритмы обработки и анализа дефектоскопических и металлографических снимков/А.А. Ермаков, А.А. Орлов, С.С. Садыков, Д.Н. Стародубов. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008.-112 с.