

Садыков С.С., Кульков Я.Ю.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23*

**Распознавание отдельных плоских объектов алгоритмом k-средних на основе безразмерных признаков их контуров**

В представленной статье приведены результаты экспериментальных исследований возможности применения метода k-средних для распознавания отдельных тестовых и реальных плоских объектов. В качестве признаков для формирования эталонов в данном методе используются безразмерные признаки, полученные как по контурам, так и по выпуклым оболочкам бинарных изображений объектов, описанные в [1] и [2].

Распознавание объектов по их изображениям применяется в автоматизации технологического процесса, в том числе с помощью роботизированных комплексов. В частности, системы технического зрения на конвейере используются для сортировки или отбраковки объектов [3-5].

Распознавание объектов предполагает отнесение объекта к одному из predetermined 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 [4-16].

Технология проведения экспериментов заключается в подготовке множества реализаций объектов, формировании векторов безразмерных признаков для каждого изображения, отборе обучающей последовательности и распознавании всех объектов, попадающих на вход системы [1].

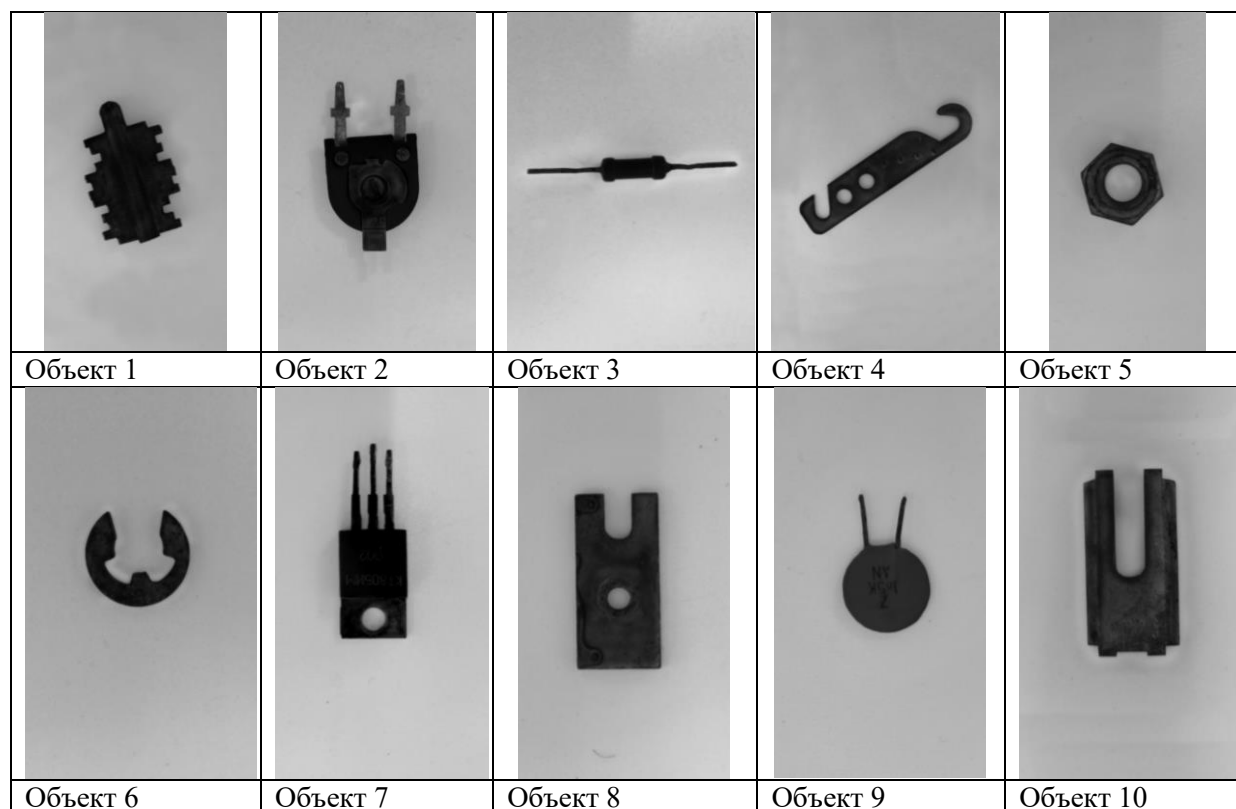


Рис. 1. Изображения реальных объектов

Расчет безразмерных признаков по контурам бинарных изображений отдельных объектов состоит из формирования контура изображения объекта, вычисления первичных признаков, формирование вектора безразмерных признаков из 16 коэффициентов, обучение системы [1].

При формировании признаков по выпуклым оболочкам бинарных изображений, также формируется контур изображения, вычисляются первичные признаки, далее строится его выпуклая оболочка, вычисляются дополнительные первичные признаки на основе контура выпуклой оболочки, формируется вектор безразмерных признаков из 20 коэффициентов, обучение системы [2].

Полутонные изображения дополнительно проходят процедуру фильтрации для устранения шумов и бинаризацию методом Отсу.

Изображения реальных объектов, использованных для проведения экспериментов приведены на рисунке 1.

Распознавание входного объекта осуществляется методом k-средних. В этом методе решение о принадлежности объекта к определенному классу принимается на основе рассчитанного по формуле (1) минимума суммарного квадратичного отклонения точек кластера от центра этого кластера.

$$Z_r = \sum^K (X^* - X_r)^2 \quad (1)$$

где  $X^*$  - вектор признаков объекта, подлежащего классификации;  
 $X_r$  - центр масс кластера (центроид), вычисленный по формуле (2).

$$X_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (2)$$

где  $X_i$  - вектор признаков  $i$ -го объекта;  
 $N$  - количество объектов в обучающей выборке;  
 $r$  - номер класса  $r=1, \dots, K$ ;  
 $K$  - количество классов объектов в обученной системе.

Выбор объектов для обучающей выборки осуществляется по следующему алгоритму. В диалоговом режиме осуществляется выбор эталонов для распознавания каждой из 2000 реализаций каждого из 10 объектов. 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 (3) вычисляется  $Z_i$  с каждой из 2000 реализаций.

$$Z_i = \frac{1}{n+1} \sum_{j=1}^n (X_{ej} - X_{ij})^2 \quad (3)$$

где  $n$  - число признаков;  
 $l$  - номер распознаваемого объекта ( $l = 1, 2, \dots, 2000$ );  
 $X_{ej}$  - значение  $j$ -го признака вектора коэффициентов  $K$  выбранного эталона;  
 $X_{ij}$  - значение  $j$ -го признака вектора коэффициентов  $K$  выбранной реализации.

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

$$Z_{\min} = \min\{ Z_i \} \quad (4)$$

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

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 (4).

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

и т.д. Выбор эталонов для реализаций 1-го объекта проводится до тех пор, пока не будут распознаны все 2000 его реализации.

Аналогично, выбор эталонов проводится для всех реализаций всех остальных 9 классов объектов.

На следующем шаге по формуле (2) вычисляются центры масс для каждого класса ОТПО или ОРПО. В таблице 1 показаны примеры вычисленных центроидов для объектов с использованием безразмерных признаков, вычисленных по их контурам.

Таблица 1 - Примеры вычисленных центроидов для тестовых объектов

№ реализации \ Коэффициенты	1	2	...	10
K <sub>1</sub>	0.567756	0.567961		0.562824
K <sub>2</sub>	0.043204	0.0431835		0.0434286
K <sub>3</sub>	0.432244	0.432039		0.437176
K <sub>4</sub>	0.0255019	0.0254898		0.0248739
K <sub>5</sub>	0.0005425	0.00054233		0.000537815
K <sub>6</sub>	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

В таблице 2 приведено количество эталонных векторов для ОРПО, использованных при вычислении центроидов для алгоритма формирования векторов признаков по контурам бинарных изображений.

Таблица 2

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

В таблице 3 приведено количество эталонных векторов для алгоритма формирования признаков по выпуклым оболочкам бинарных изображений ОТПО и ОРПО.

Таблица 3

№ ОРПО	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во эталонов	63	59	63	41	59	17	51	26	59	51

На рисунке 2 представлена диаграмма, показывающая количество эталонных векторов при вычислении центроидов для ОРПО для алгоритмов формирования признаков по контурам и выпуклым оболочкам.

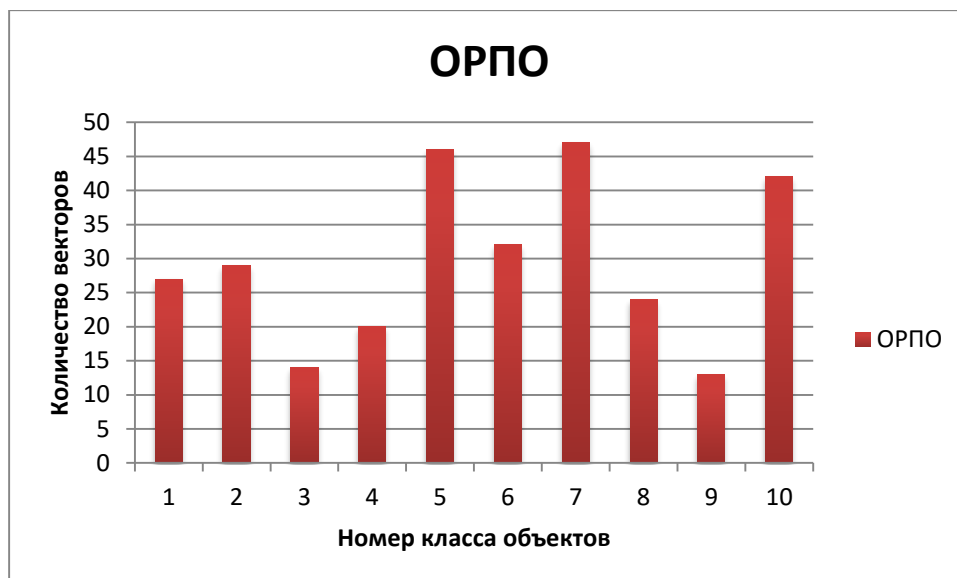


Рис. 2. Диаграмма количества векторов при вычислении центроидов классов для алгоритма формирования признаков по контуру

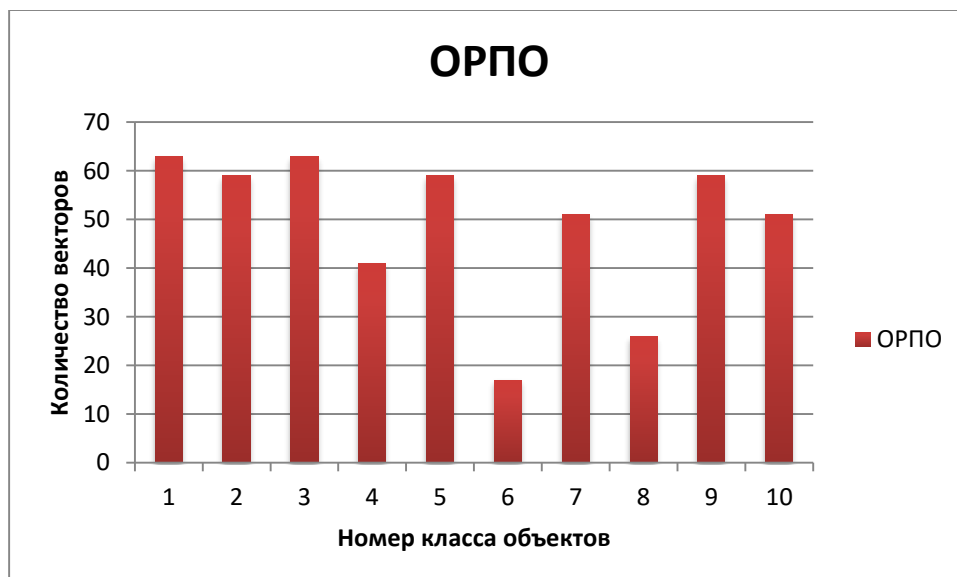


Рис. 3. Диаграмма количества векторов при вычислении центроидов классов для алгоритма формирования признаков по выпуклым оболочкам

При проведении экзамена обученной системы с использованием метода k-средних были распознаны все реализации реальных объектов как с использованием контурных признаков, так и вычисленных по выпуклым оболочкам бинарных изображений.

При этом, для каждого объекта использовалось различное количество эталонных векторов для вычисления центров масс кластеров.

Наибольшее количество эталонов понадобилось для формирования центроида при распознавания всех реализаций объекта под номером 8 с использованием контурных признаков. Данный объект имеет сложный контур, 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.

При этом, объекты с простым контуром, например 5 ОРПО, потребовали меньшее количество эталонов при усреднении для успешного распознавания всех их реализаций.

Время, требуемое системой для вычисления вектора безразмерных признаков на тестовой машине составило 220 мс для контурных признаков и 300 мс при использовании выпуклой оболочки. Время вычисления величины отклонения неизвестного вектора от 10 центроидов независимо от типа объекта и используемого алгоритма формирования признаков составила 20 мс.

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. Экспериментальное исследование алгоритма распознавания отдельных тестовых плоских объектов на основе их безразмерных контурных признаков/Садыков С.С., Кульков Я.Ю. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 3 (32). С.76-90.
2. Распознавание отдельных тестовых плоских объектов на основе безразмерных признаков выпуклых оболочек их бинарных изображений / Садыков С.С., Кульков Я.Ю. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2015. № 4 (32). С.114-131.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.