

## **ПОДХОД К КЛАССИФИКАЦИИ ПЛОСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР, ВПИСАННЫХ В КВАДРАТ, ПО ИХ ФОРМЕ НА ОСНОВЕ ДИАГОНАЛЬНЫХ ОТРЕЗКОВ**

**Терехин А.В.**

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, Россия, (602264, ул. Орловская, д.23), e-mail: terehin\_murom@mail.ru*

**В статье предлагается подход к классификации плоских геометрических фигур, вписанных в квадрат, с использованием диагональных признаков формы. Описывается вектор признаков для идентификации изображений каждой из рассматриваемых фигур. Рассматриваемый набор характеристик представляет собой совокупность безразмерных коэффициентов, имеющих диапазон значений от нуля до единицы. Выводятся расчетные формулы для вычисления каждого из признаков. Вводятся новые определения, необходимые для описания формальных записей. В конце статьи продемонстрированы результаты тестов, проведенных для проверки работоспособности алгоритма в лабораторных испытаниях и подтверждающих ручные математические расчеты. На основе проведенных исследований сформулированы выводы о возможности применения данного подхода для классификации изображений реальных объектов, близких по форме к выпуклым геометрическим фигурам, и распознавании их на промышленных предприятиях при конвейерной сборке.**

**Ключевые слова:** признак, форма, классификация, диагональный коэффициент формы, геометрические фигуры.

## **AN APPROACH OF CLASSIFICATION OF FLAT GEOMETRIC FIGURES, INSCRIBED IN A SQUARE, BY THEIR FORM WITH USING DIAGONAL SEGMENTS**

**Terekhin A.V.**

*Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs", Murom, Russia (602264, Murom, street Orlovskaya, 23), e-mail: terehin\_murom@mail.ru*

**This article proposes an approach to the classification of plane geometric figures inscribed in a square by using diagonal form features. The feature vector that is using for identification of images of each figure is described. Proposed set of features is a set of dimensionless coefficients having a range of values from zero to one. Computational formulas for the calculation of each of the features is derived. New necessary definitions are introduced. The article reveals the research results for verification of the functionality of the algorithm in laboratory tests and supporting manual mathematical calculations. Research-based conclusions of the possibility of applying this approach to the recognition of real objects (similar to convex geometric figures by their form) in industrial enterprises in the conveyor assembly are formulated.**

**Keywords:** feature, shape, classification, diagonal form factor, geometric figures.

### **Введение**

В современном мире довольно стремительно развивается вычислительная техника, которая находит применение во многих областях человеческой деятельности, в том числе и на промышленном производстве. При этом часто используются системы автоматического распознавания (САР), являющиеся программно-аппаратными комплексами, решающими задачи идентификации реальных объектов с применением видео-датчиков.

Их основными задачами являются: предварительная обработка [2], обнаружение искомой области на изображении, классификация и распознавание. При этом техническое оснащение может отличаться, в зависимости от задач конкретной предметной области.

Скорость и точность работы САР в целом зависит как от аппаратной части, так и от выбранных алгоритмов. Немаловажным является этап предварительной классификации объектов на сцене. Эту задачу можно решить с помощью геометрических признаков [3], таких как периметр, площадь, величина углов (кривизна), но существуют ситуации, когда их оказывается недостаточно и возникает необходимость добавления новых характеристик [1]. Для удобства вычислений используемые признаки приводятся к нормированному виду.

Существует множество подходов к решению данной задачи. В статье предлагается подход к классификации выпуклых плоских геометрических фигур с использованием вектора признаков, представляющим собой набор безразмерных коэффициентов, характеризующих их форму, нормализованных определенным образом и имеющих общий диапазон значений от нуля до единицы.

### **Определения**

Для решения задачи классификации выпуклых плоских геометрических фигур автором были предложены прямоугольный и диагональный коэффициент формы, коэффициенты диагональных отрезков.

Введем следующие определения:

*Прямоугольный коэффициент формы,  $k_{ПКФ}$* , далее ПКФ, характеризует отношение меньшей стороны описанного вокруг фигуры прямоугольника к большей [4].

Область значений коэффициента находится в диапазоне (0;1]:

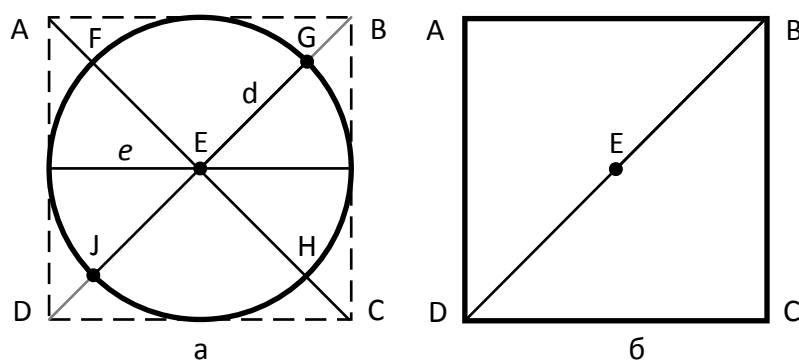
1. Отношение ширины и длины фигуры пропорционально отношению двух сторон квадрата, если  $k_{ПКФ} = 1$ , если  $a = b$ ;

2. Отношение ширины и длины фигуры пропорционально отношению двух сторон прямоугольника  $k_{ПКФ} \rightarrow 0$ , если  $a \gg b$ ;

где  $a, b$  – длины сторон описанного прямоугольника.

ПКФ позволяет классифицировать фигуры по форме их «вытянутости», то есть на те, которые можно «вписать» в квадрат, и те, которые можно вписать в «прямоугольник» (в данной статье речь пойдет о первом типе фигур).

*Главная диагональ фигуры (максимальный отрезок)* – отрезок (рис. 1,  $a - e$ ), соединяющий 2 точки контура фигуры и имеющий максимальную длину.



**Рис. 1. Пример плоской геометрической фигуры, вписанной в квадрат**

*Диагональный коэффициент формы,  $k_{ДКФ}$*  – признак формы, вычисляющийся как отношение длины стороны описанного квадрата и главной диагонали фигуры [4].

*Диагональные отрезки описанного квадрата,* – отрезки (рис. 1, а – EB, EC, ED, EA), соединяющие центр описанного квадрата и его вершины [4].

*Диагональный отрезок фигуры* – отрезок (рис. 1 – EG, EF, EH, EJ), лежащий на одной из диагоналей описанного вокруг нее квадрата и соединяющий центр фигуры и точку пересечения ее контура с этой диагональю [4].

*Коэффициенты диагональных отрезков,  $k_{КДО}$*  – отношения длин диагональных отрезков фигуры к длинам соответствующих диагональных отрезков описанного вокруг нее квадрата (EB, EC, ED, EA) [1].

### **Алгоритм классификации**

Чтобы классифицировать фигуры, вписанные в квадрат, необходимо выполнить этапы:

1. Вычисляются следующие промежуточные величины:

– длина, ширина фигуры [3];

– длины диагональных отрезков по алгоритму, описанному в [4];

2 а. Находится ПКФ по формуле, представленной в [4];

2 б. Рассчитываются другие коэффициенты формы [4];

3. Выполняется проверка значения ПКФ:

– Если  $k_{ПКФ} = 1$ , то фигуру можно вписать в квадрат и выполняется пункт 4 алгоритма.

– Если  $0 < k_{ПКФ} < 1$ , то фигуру можно вписать в прямоугольник (в данной статье рассматривается только первый вариант).

4. Если фигура близка по форме к кругу, то ее диагонали будут практически равны между собой (диаметры), следовательно,  $k_{ДКФ} \rightarrow 1$ .

Если фигура близка по форме к квадрату, то главная диагональ будет гипотенузой DB в прямоугольном треугольнике DBC, а сторона описанного вокруг фигуры квадрата будет

совпадать с катетом DC данного треугольника и соответственно иметь такую же длину (рис. 1, б).

Отсюда:

$$k_{ДКФ} = \frac{l_{DC}}{l_{DB}}$$

где  $l$  – длина соответствующего отрезка.

В прямоугольном треугольнике DNE:

$$l_{DB}^2 = l_{DC}^2 + l_{DC}^2 = 2l_{DC}^2,$$

$$l_{DB} = l_{DC}\sqrt{2},$$

Следовательно, для квадрата:

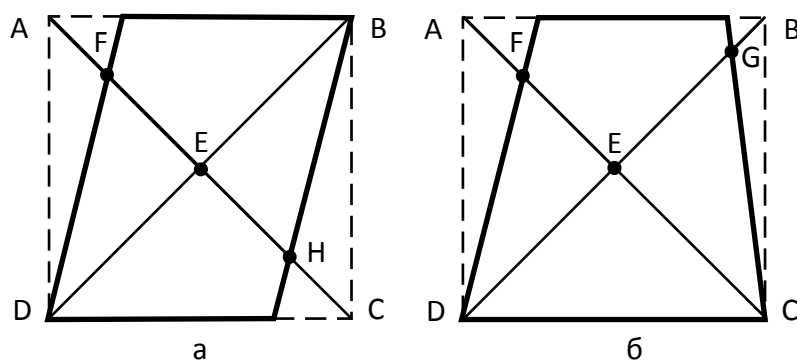
$$k_{ДКФ} = \frac{l_{DC}}{l_{DB}} = \frac{l_{DC}}{l_{DC}\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}.$$

Если  $k_{ДКФ} = 1$ , то есть главная диагональ и сторона описанного квадрата равны, то фигура является кругом (среди рассматриваемых типов фигур) (рис. 1а).

Таким образом,  $\frac{\sqrt{2}}{2} < k_{ДКФ} < 1$  при  $k_{ПКФ} \rightarrow 1$  (левое значение ДКФ описывают форму близкую к квадрату, правое – к кругу).

5. При распознавании более сложных фигур применяются коэффициенты диагональных отрезков.

В качестве примера были рассмотрены трапеция и параллелограмм. Найдены закономерности в значениях данных признаков у этих фигур.



**Рис. 2. Параллелограмм и трапеция, вписанные в квадрат**

Для параллелограмма коэффициенты диагональных отрезков следующие:

$$k_{КДО1} = \frac{l_{EB}}{l_{EB}} = 1;$$

$$k_{KDO2} = \frac{l_{EH}}{l_{EC}} < 1;$$

$$k_{KDO3} = \frac{l_{ED}}{l_{ED}} = 1;$$

$$k_{KDO4} = \frac{l_{EF}}{l_{EA}} < 1;$$

Для трапеции:

$$k_{KDO1} = \frac{l_{EG}}{l_{EB}} < 1 ;$$

$$k_{KDO2} = \frac{l_{EC}}{l_{EC}} = 1 ;$$

$$k_{KDO3} = \frac{l_{ED}}{l_{ED}} = 1 ;$$

$$k_{KDO4} = \frac{l_{EA}}{l_{EA}} < 1$$

Если выполняются следующие условия:

$$k_{KDO1} = k_{KDO4},$$

$$k_{KDO2} = k_{KDO3},$$

то трапеция будет равнобедренной.

Различие заключается в том, что в параллелограмме попарно равны коэффициенты противоположных диагональных отрезков, а в трапеции 2 смежных (рис. 2).

### **Исследование**

По предложенному алгоритму были проведены исследования на тестовых геометрических фигурах. Целью исследования было экспериментальное подтверждение математических расчетов и сопоставление соответствующих значений коэффициентов отдельных фигур.

Было сгенерировано по 1500 фигур каждого типа формы из рассмотренных со случайно выбранными параметрами, характеризующими их размеры.

Все сгенерированные фигуры были распознаны верно. При генерации трапеции 47 % фигур были классифицированы как частные случаи (равнобедренная трапеция – коэффициенты смежных диагональных отрезков были попарно равны).

Средние значения коэффициентов, полученных в процессе исследования, представлены в таблице 1. Расчетные значения коэффициентов показаны в таблице 2. Комментарии к условным обозначениям в таблицах приведены ниже.

Таблица 1. Средние значения коэффициентов, полученных при помощи работы программы

Название	$k_{ПКФ}$	$k_{ДКФ}$	$k_{КДО1}$	$k_{КДО2}$	$k_{КДО3}$	$k_{КДО4}$
Параллелограмм	0,9994	-	0,9844	<b>0,6249</b>	0,9791	<b>0,6198</b>
Трапеция	0,9947	-	0,6549	<b>0,9871</b>	<b>0,9785</b>	0,8382
Квадрат	0,9998	0,7101	0,9977	0,9879	0,9889	0,9987
Круг	0,9979	0,9901	0,4998	0,4996	0,5021	0,5033

Таблица 2 Расчетные значения признаков формы, вычисленные вручную

Название	$k_{ПКФ}$	$k_{ДКФ}$	$k_{КДО1}$	$k_{КДО2}$	$k_{КДО3}$	$k_{КДО4}$
Параллелограмм	<b>1</b>	-	л	л	л	л
Трапеция	<b>1</b>	-	л	л	л	л
Квадрат	<b>1</b>	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Круг	<b>1</b>	<b>1</b>	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

«-» – не рассчитываемый для данной фигуры коэффициент.

«л» – любое значение.  $k_{ПКФ}$ .

В полях, обозначенных буквой «л», происходит сравнение между собой коэффициентов, либо сравнение со значениями частных случаев.

### Заключение

Проведены испытания подхода к классификации плоских выпуклых геометрических фигур при помощи разработанной программы генератора изображений со случайными значениями параметров размера. Математически рассчитанные диапазоны значений параметров предложенных коэффициентов формы фигур были экспериментально подтверждены. В результате проведенных испытаний все фигуры были классифицированы верно.

Предложенный набор признаков можно применять для классификации объектов в САР на промышленных предприятиях при конвейерной сборке объектов [5, 6], у которых проекции на плоскость близки по форме к выпуклым геометрическим фигурам.

### Список литературы

1. Грановская Р.М., Березная И.Я., Григорьева А.И. Восприятия и признаки формы. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
2. Садыков С.С., Савичева С.В. Предварительная обработка изображений плоских объектов в системах технического зрения // Приборостроение. – 2012. – № 2. – С. 19-24.
3. Садыков С.С., Стулов Н.Н. Методы и алгоритмы выделения признаков объектов в системах технического зрения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 204 с.

4. Терехин А.В. Метод описания эталонов трехмерных объектов по форме их проекций и признакам отверстий // АМиСОД. – 2013. – № 23. – С. 65-71.
5. Терехин А.В. Распознавание и классификация не наложенных объектов методом морфологического водораздела по диагональным признакам формы / А.В. Терехин // Распознавание – 2013: сб. материалов XI Международной науч.-техн. конф. – Курск, 2013. – С. 94-96.
6. Terekhin A.V. «Identification of three-dimensional objects by computing estimates based on diagonal features of forms and octree models» / A.V. Terekhin // 11-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013): Conference Proceeding (Vol. I-II), Vol. II. – Samara: IPSI RAS, 2013, pp. 721-723.

**Рецензенты:**

Юрков Н.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет» (ПГУ), г. Пенза.

Жиганов И.Е., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и программная инженерия» Федерального государственного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), г. Владимир.