

**Р. К. Мамедов**, д-р техн. наук, проф., e-mail: rahim1951@mail.ru,  
**Т. Ч. Алиев**, канд. техн. наук, ассистент, e-mail: alievtima18@rambler.ru,  
**А. С. Муталлимова**, ассистент, e-mail: ayzberg69@mail.ru

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку

## Распознавание бинарных изображений объектов, подвергнутых аффинным преобразованиям

*Рассматривается способ распознавания бинарных изображений объектов, подвергнутых аффинным преобразованиям, базирующийся на зависимости изменения моментов инерции от изменения размера и поворота изображения объекта. Приведены результаты компьютерного моделирования, подтверждающие эффективность предложенного способа.*

**Ключевые слова:** распознавание объектов, бинарные изображения, аффинные преобразования, моменты инерции

### Введение

В настоящее время среди информационно-измерительных систем стал выделяться класс систем распознавания образов, позволяющих проводить идентификацию и прогнозирование состояний окружающей среды и объекта измерения [1]. Обычно в качестве таких систем активно используются системы автоматической обработки изображений объектов и распознавания зрительных образов, формируемых в оптическом, радио- и инфракрасном диапазонах, имеющие по сравнению с другими такие преимущества, как большая дальность действия и проникновение через среду (лед, вода, облачность) [2].

В большинстве случаев практически значимые результаты могут быть получены по бинарным изображениям, формируемым по исходным многоградационным изображениям. При этом значительно упрощается процесс принятия решения и сокращается объем обрабатываемой информации [2].

Методы распознавания образов и, в частности, изображений объектов можно разделить на два основных класса: распознавание, основанное на операциях с признаками (в основном геометрическими), и распознавание, основанное на операциях с объектами (сравнение изображения сцены с эталоном) [1]. Предлагаемый в статье способ относится ко второму классу методов распознавания.

### Постановка задачи исследования

Большинство изображений, подлежащих распознаванию, подвергаются аффинным преобразованиям<sup>1</sup> [3], что затрудняет процесс идентификации, так как для методов первого класса происходит искажение признаков, а для методов второго

<sup>1</sup> Здесь под аффинным преобразованием понимается неравномерное изменение масштаба и поворот распознаваемого изображения в плоскости проекции.

класса число операций сравнения увеличивается во много раз. Это вызывает необходимость применения сложных многоэтапных методов цифровой обработки изображений и параллельных многопроцессорных вычислительных устройств.

Однако специфика многих задач требует проводить обработку изображений в реальном масштабе времени, а большинство систем распознавания изображений имеют программные и аппаратные средства средней производительности. Кроме того, существующие способы ориентированы на идентификацию изображений объектов, подвергнутых только одному типу аффинных преобразований (изменение масштаба, поворот в плоскости изображений, сдвиг в плоскости изображения т.д.). Вследствие этого эффективность существующих способов недостаточно высока.

Таким образом, можно сказать, что задача распознавания изображений до сих пор не решена в полном объеме, а разработка способа идентификации широкого круга искаженных изображений объектов остается актуальной с точки зрения теории и практики.

### Метод решения задачи

Предлагаемый способ основывается на предположении, что сегментация изображения объекта проведена и получены бинарные изображения его сторон, а само распознаваемое изображение представляет замкнутую одноконтурную или многоконтурную фигуру. В качестве аффинного преобразования в статье рассматривается поворот изображения стороны объекта вокруг оси ординат или аппликат [4] с поворотом вокруг оси абсцисс, проходящей через центр изображения объекта, и изменением масштаба относительно центра.

В работе [5] получены уравнения, показывающие соответствующие рассматриваемому аффинному преобразованию зависимости изменения моментов инерции изображения при изменении его раз-

мера относительно центра вдоль оси ординат в  $M$  раз и вдоль оси аппликат в  $N$  раз с поворотом данных осей изображения вокруг оси абсцисс на угол  $\varphi$ :

$$J_{U2} = J_{Y1}M^2N^4\cos^2\varphi + J_{Z1}M^4N^2\sin^2\varphi - J_{YZ1}M^3N^3\sin 2\varphi; \quad (1)$$

$$J_{V2} = J_{Y1}M^2N^4\sin^2\varphi + J_{Z1}M^4N^2\cos^2\varphi + J_{YZ1}M^3N^3\sin 2\varphi; \quad (2)$$

$$J_{UV2} = J_{YZ1}M^3N^3\cos 2\varphi + \frac{J_{Y1}M^2N^4 - J_{Z1}M^4N^2}{2} \sin 2\varphi, \quad (3)$$

где  $\varphi$  — угол поворота осей ординат и аппликат вокруг оси абсцисс;  $J_{Y1}$ ,  $J_{Z1}$ ,  $J_{YZ1}$  — соответственно

моменты инерции изображения объекта относительно исходных осей ординат и аппликат, а также центробежный момент инерции относительно данных осей;  $J_{U2}$ ,  $J_{V2}$ ,  $J_{UV2}$  — соответственно момент инерции измененного в размерах изображения объекта относительно повернутых осей ординат и аппликат на угол  $\varphi$ , а также центробежный момент инерции относительно данных осей.

Приняв  $J_{Y1}$ ,  $J_{Z1}$ ,  $J_{YZ1}$  за моменты инерции эталонного изображения объекта, а  $J_{U2}$ ,  $J_{V2}$ ,  $J_{UV2}$  — за моменты инерции распознаваемого изображения объекта, можно провести идентификацию, для чего тригонометрические уравнения (1) и (3) приводим к однородным и решаем относительно  $\varphi$ . В результате получаем:

$$\varphi_1 = \arctg \left( \frac{-J_{YZ1}M^3N^3 \pm ((J_{YZ1}^2 - J_{Z1}J_{Y1})M^6N^6 - (J_{U2}^2 + J_{U2}J_{Y1}M^2N^4 + J_{U2}J_{Z1}M^4N^2))^{1/2}}{J_{U2} - J_{Z1}M^4N^2} \right) - \pi k, \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \arctg \left( \frac{-(J_{Z1}M^4N^2 - J_{Y1}M^2N^4) \pm (J_{Z1}^2M^8N^4 + (4J_{YZ1}^2 - 2J_{Z1}J_{Y1})M^6N^6 + J_{Y1}^2M^4N^8 - 4J_{UV2}^2)^{1/2}}{2(J_{UV2} + J_{YZ1}M^3N^3)} \right) - \pi k, \quad (5)$$

где  $k = 0, 1$ .

При сложении уравнений (1) и (2) получаем:

$$M = \left( \frac{-N^3J_{Y1} + \sqrt{N^6J_{Y1}^2 + 4J_{Z1}J_{U2} + 4J_{Z1}J_{V2}}}{2NJ_{Z1}} \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Подставляя формулу (6) в уравнения (4), (5), получаем два выражения зависимости изменения  $\varphi$  от изменения  $N$ :

$$\varphi_1 = f_1(J_{Y1}, J_{Z1}, J_{YZ1}, J_{U2}, J_{V2}, J_{UV2}, N),$$

$$\varphi_2 = f_2(J_{Y1}, J_{Z1}, J_{YZ1}, J_{U2}, J_{V2}, J_{UV2}, N).$$

Подставляя вычисленные числовые значения моментов инерции для идентифицируемого и эталонного изображений  $J_{X1}$ ,  $J_{Y1}$ ,  $J_{XY1}$ ,  $J_{U2}$ ,  $J_{V2}$ ,  $J_{UV2}$  и задавая переменной  $N$  значения в пределах  $(0t)$ , где  $t$  — достаточно большое число, строятся графики данных уравнений. Рассматривая графики как независимые изображения кривых, можно определить точки их пересечения, координаты которых будут значениями корней. Подставляя полученные значения  $N$  в уравнение (6), получаем значения переменной  $M$ .

Таким образом, получаем набор корней  $\varphi$ ,  $N$ ,  $M$  системы уравнений (1)–(3).

В зависимости от частоты дискретизации переменной  $N$  и интерполяционной функции координаты точек пересечения, а следовательно, и величина  $M$ , будут иметь приближенное значение. Чтобы уточ-

нить значение корней системы уравнений (1)–(3), можно применить итерационный метод Ньютона [4].

Процесс распознавания изображения объекта будет осуществляться путем разворота идентифицируемого изображения на углы  $\varphi$ , корректировки размеров по величинам  $M$  и  $N$  и непосредственного сличения полученного изображения с эталоном, т.е. после предварительных вычислений перебор всевозможных положений ограничивается несколькими положениями. Если идентифицируемое изображение соответствует эталону, то после преобразований оно будет совпадать с эталоном. При этом полного совпадения не будет из-за наличия у преобразованного изображения искажения от дискретизации, проявляющегося на его контуре в виде изменения значений отдельных пикселей. В качестве численной оценки сходства эталона и распознаваемого изображения можно воспользоваться мерой близости:

$$Z = \sum_{i=1}^m |A(x, y)_i - B(x, y)_i| \leq \varepsilon = 2P_3, \quad (7)$$

где  $A(x, y)_i$  и  $B(x, y)_i$  — соответственно значения точек, принадлежащих эталону и распознаваемому изображению;  $x, y$  — координаты пикселя на изображении;  $i$  — число пикселей в изображении;  $\varepsilon$  — значение доверительного порога, зависящего от размеров изображений и вычислительной погрешности анализа;  $P_3$  — периметр эталона.

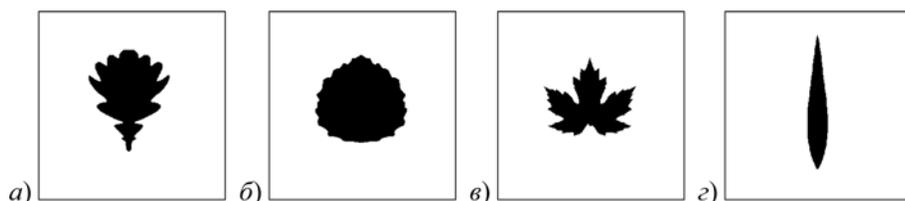


Рис. 1. Эталонные бинарные изображения объектов

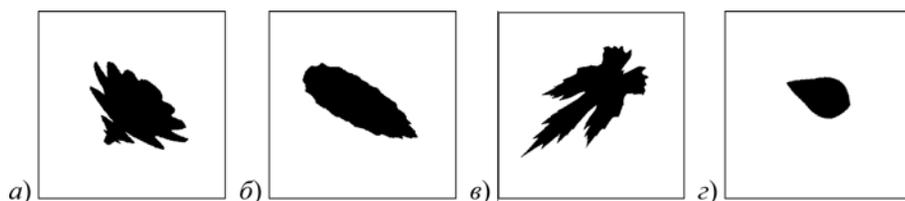


Рис. 2. Распознаваемые бинарные изображения объектов

Данная мера показывает расхождение изображений, т.е. число несовпадающих пикселей при непосредственном сличении.

Если для одного из положений идентифицируемого изображения указанное условие будет выполняться, то делается вывод о том, что оно является аналогом эталона.

### Компьютерное моделирование

В целях подтверждения полученных теоретических результатов проведено компьютерное моделирование предложенного способа распознавания.

Эксперименты проводились на четырех изображениях, представляющих собой упрощенные силуэты листьев деревьев: дуба, осины, клена и ивы. Данные изображения приняты в качестве эталонов. Для получения распознаваемых изображений

Таблица 1

Периметры эталонных изображений

Эталонные изображения	Дуб	Осина	Клен	Ива
Периметр, пиксели	766	588	913	575

Таблица 2

Наименьшие расхождения (в пикселях) между эталонными и распознаваемыми изображениями

Эталонные изображения	Распознаваемые изображения			
	Дуб	Осина	Клен	Ива
Дуб	611	4010	—	3482
Осина	5336	363	9669	3204
Клен	—	5604	410	5686
Ива	—	1533	2712	327

с помощью программы PhotoShop эталонные изображения были изменены в разных масштабах по горизонтальной и вертикальной осям, а также повернуты в плоскости изображения.

На рис. 1 и 2 представлены соответственно эталонные и распознаваемые изображения после их бинаризации.

Вычисленные значения периметров эталонных изображений сведены в табл. 1.

В табл. 2 сведены вычисленные по формуле (7) минимальные значения величины  $Z$  для каждого распознаваемого изображения.

При распознавании эталонных изображений дуба с кленом, а также клена и ивы с дубом, корней у системы уравнений (1)—(3) найдено не было.

### Заключение

Как видно из табл. 2, только у соответствующего эталону идентифицируемого изображения наименьшее расхождение находится в пределах допустимого порога. Для остальных изображений оно значительно превышает допустимый порог или пересечения графиков не происходит.

Таким образом, используя рассмотренный в статье способ распознавания бинарных изображений объектов, подвергнутых аффинным преобразованиям (закрывающимся в неравномерном изменении масштаба и повороте изображения в плоскости проекции), можно выполнить процесс идентификации изображений по эталону, сохранив при этом достаточную достоверность.

### Список литературы

1. Луценко Е. В. Интеллектуальные информационные системы: Учеб. пособие для студентов. Краснодар: КубГАУ, 2004. 633 с.
2. Фурман Я. А., Юрьев А. Н., Яшин В. В. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. 248 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
4. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
5. Мамедов Р. К., Муталлимова А. С., Алиев Т. Ч. Использование моментов инерции изображения для инвариантного к аффинным преобразованиям распознавания // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 4/3 (58). С. 4—7.

**R. G. Mammadov**, PhD of technical sciences, Professor, e-mail: rahim1951@mail.ru,  
**T. Ch. Aliyev**, PhD of technical sciences, Assistant, e-mail: alievtima18@rambler.ru,  
**A. S. Mutallimova**, Assistant, e-mail: ayzberg69@mail.ru,  
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku

## Recognition of Binary Images of the Objects Suffered to Affine Transformations

*Application of pattern recognition and, in particular, a system of automatic processing of images of objects, allows for identification and prediction of environment condition and the object of study. To reduce the amount of information processed, detection is convenient to conduct recognition of binary images. The most of images to be recognized comprise complex of affine transformations. This reduces the efficiency of identification due to distortion of indications. Also, the number of comparisons is increased significantly.*

*As an affine transformation we consider rotation of an image of side of the object around two axis passing through the center of the object image, with a change of scale to the center.*

*Research is performed on the basis of the system of three equations obtained by the authors which show the dependence of variation of the moments of inertia of the image when it is resized to the center along Y-axis of  $M$  times and  $N$  times along the Z-axis with the rotation of the axes of the image around the X-axis by the angle  $\varphi$ .*

*By solving this system of equations on the basis of semigraphical method the values of  $M$ ,  $N$  and  $\varphi$ . Then turn identified carried image on the corners with the adjustment of the size of the values of  $M$  and  $N$ , as well as a direct comparison of the image obtained with the standard. Thus, after the preliminary calculations of various provisions of the bust recognizable image is limited to several provisions. If identifiable image corresponds to the standard, after conversion it will be the same as the standard.*

*In order to confirm the theoretical results of the computer modeling of the proposed method of detection. Experiments were carried out on four images are simplified silhouettes of leaves of trees: oak, aspen, maple and willow. The simulation results showed that only the appropriate reference image identified by the smallest discrepancy is within a certain allowable threshold differences. For other images, it is much higher.*

*Thus, using the proposed method of pattern recognition, the identification process can be performed on the model, while retaining sufficient reliability.*

**Keywords:** object recognition, binary image, affine transformation, moments of inertia

### References

1. **Lucenko E. V.** *Intellektual'nye informacionnye sistemy: Uchebnoe posobie dlja studentov.* Krasnodar: KubGAU, 2004. 633 p. (E. V. Lutsenko Intelligent Information Systems: A manual for students / Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2004. 633 p.)
2. **Furman Ja. A., Jur'ev A. N., Jashin V. V.** *Cifrovye metody obrabotki i raspoznavanija binarnyh izobrazhenij,* Krasnojarsk: Izd-vo Krasnojarsk. un-ta, 1992. 248 p. (Y. A. Furman, A. N. Yuryev, V. V. Yashin. Digital methods of processing and recognition of the binary images, Krasnojarsk: Publishing House of Krasnojarsk. University Press, 1992. 248 p.)
3. **Gonzales R., Vuds R.** *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij,* Moscow: Tehnosfera, 2006. 1072 p. (R. Gonzalez, R. Woods. Digital Image Processing. M.: Technosphere, 2006. 1072 p.)
4. **Bronshtejn I. N., Semendjaev K. A.** *Spravochnik po matematike dlja inzhenerov i uchashhihsja vtuzov,* Moscow: Nauka, 1986, 544 p. (I. N. Bronshtein, K. A. Semendyaev. Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges. M.: Science, 1986. 544 p.)
5. **Mamedov R. K., Mutallimova A. S., Aliev T.Ch.** *Ispol'zovanie momentov inercii izobrazhenija dlja invariantnogo k affinnym preobrazovanijam raspoznavanija,* *Vostochno-Evropskij zhurnal periodovyh tehnologij,* 2012, no. 4/3 (58), pp. 4–7. (R. G. Mammadov, A. S. Mutallimov, T. Ch. Aliyev. Using the moments of inertia of image invariant to affine transformations recognition *Eastern European journal of advanced technologies,* 2012, no. 4/3 (58). pp. 4–7.)