

# ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

## СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ВОЗДУШНОГО ОБЪЕКТА

Титов И.О., Емельянов Г.М.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»

### Аннотация

Рассматривается проблема создания автоматизированной системы для выделения и идентификации движущегося воздушного объекта. Исследуется вопрос классификации воздушного объекта, который чётко отделён от фона, не соприкасается с другими объектами, не перекрывается и представлен контуром. Результатом является набор характеристик, необходимых для реализации отображения: объект – номер класса.

Ключевые слова: выделение, идентификация, контур, набор характеристик, центральные моменты.

### Введение

Одной из серьёзных проблем компьютерного зрения является задача наблюдения за объектами при различных трансформациях. Чувствительность этих систем наблюдения к геометрическим искажениям объектов делает эту задачу достаточно сложной.

Если рассмотреть систему компьютерного зрения в усечённом варианте, то её можно представить следующей схемой.

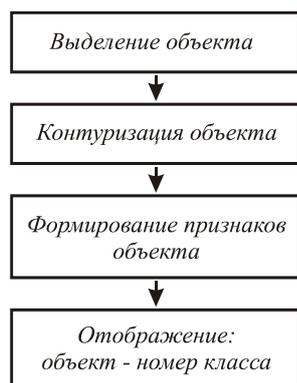


Рис. 1. Система компьютерного зрения

Предпоследний этап - это формирование признаков объекта, которые его уникально идентифицируют.

Основным требованием к системе формирования признаков анализируемого объекта является требование их эффективности в процессе распознавания. Эти требования эффективности распознавания накладывают определённые ограничения на значения признаков, а именно: для объектов различных классов значения должны образовывать компактные области – кластеры - в пространстве признаков. Кроме того, желательно, чтобы они были устойчивы к ряду возможных искажений объекта.

В данной работе будут рассмотрены инвариантность системы к следующим изменениям:

- к изменению местоположения объекта;
- к изменению масштаба объекта;
- к изменению ориентации объекта (к повороту объекта в плоскости изображения);
- к определённым аффинным преобразованиям.

Для задачи распознавания контурного движущегося объекта нет необходимости рассчитывать характеристики инвариантные к шумовым и динамическим искажениям, изменению яркости и контрастности. Достаточно остановиться только на инвариантах, причисленных выше.

Известно несколько методов для решения поставленной задачи, которые подробно рассмотрены в [1, 2, 3].

Метод Фурье–Меллина предназначен для сопоставления изображений в присутствии взаимного геометрического преобразования из группы подобия. Метод не чувствителен к простым искажениям. Применить его к оценке перспективных искажений можно, но это очень затратная задача с точки зрения ресурсов.

Другой метод классификации объектов основан на контуре объекта. Контур можно представить как одномерный сигнал, который позволяет проще устранять эффекты геометрических искажений. Метод Фурье дескрипторов реализует требования к инвариантности, но в вычислительном плане он очень затратный, что усложняет применение в задачах реального времени.

Метод, основанный на анализе моментов, используется на «поточечных» или растровых изображениях. Он позволяет рассчитывать инвариантные характеристики к любым геометрическим искажениям. Также является очень ресурсоёмким.

### 1. Признаки формы на основе анализа моментов

Попытаемся применить метод моментов по контурному изображению, тем самым сократив его вычислительную сложность в несколько раз.

Рассмотрим изображение как функцию двух непрерывных аргументов  $f(x, y)$ . Момент порядка  $(p + q)$  определяется как

$$m_{pq} = \int \int x^p y^q f(x, y) dx dy$$

для  $p, q = 0, 1, 2, \dots$ . Теорема единственности утверждает, что для любой кусочно-непрерывной функции  $f(x, y)$ , принимающей ненулевые значения только в конечной области плоскости  $x, y$ , существует

момент любого порядка и последовательность моментов ( $m_{pq}$ ) однозначно определяется функцией  $f(x, y)$ . И наоборот,  $m_{pq}$  однозначно определяет функцию  $f(x, y)$  [1]. Будем использовать центральные моменты, обладающие инвариантностью к сдвигу.

$$\mu_{pq} = \iint_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy,$$

где  $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}$  и  $\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$ ,

где  $\bar{x}, \bar{y}$  - координаты центра тяжести изображения.

Так как  $f(x, y)$  - дискретное изображение, то равенство принимает вид

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy.$$

Основным достоинством моментных инвариантов является нечувствительность к поворотам изображения, что делает эффективным их применение в качестве признаков в задаче обнаружения и распознавания на изображении объектов неизвестной ориентации [1, 3, 4].

$$\begin{aligned} \mu_{00} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = \\ &= \sum_x \sum_y f(x, y) = m_{00}, \end{aligned}$$

$$\mu_{10} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = m_{10} - \frac{m_{10}}{m_{00}} (m_{00}) = 0,$$

$$\mu_{01} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = m_{01} - \frac{m_{01}}{m_{00}} (m_{00}) = 0,$$

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = \\ &= m_{11} - \frac{m_{10} m_{01}}{m_{00}} = m_{11} - \bar{x} \bar{y}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{20} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = \\ &= m_{20} - \frac{2m_{10}^2}{m_{00}} + \frac{m_{10}^2}{m_{00}} = m_{20} - \bar{x}^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{02} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 f(x, y) = \\ &= m_{02} - \frac{m_{01}^2}{m_{00}} = m_{02} - \bar{y}^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{21} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^1 f(x, y) = \\ &= m_{21} - 2\bar{x} m_{11} - \bar{y} m_{20} + 2\bar{x}^2 m_{01}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{12} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^2 f(x, y) = \\ &= m_{12} - 2\bar{y} m_{11} - \bar{x} m_{02} + 2\bar{y}^2 m_{10}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{30} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^3 (y - \bar{y})^0 f(x, y) = \\ &= m_{30} - 3\bar{x} m_{20} + 2\bar{x}^3 m_{10}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{03} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^3 f(x, y) = \\ &= m_{03} - 3\bar{y} m_{02} + 2\bar{y}^3 m_{01}. \end{aligned}$$

Данный набор использует только момент до порядка  $p + q \leq 3$ . Он обеспечивает полноту, то есть возможность построения с помощью моментов до заданного порядка других функционально независимых инвариантов, в то же время отсутствует функциональная избыточность, когда есть возможность выразить один из инвариантов как функцию других.

Нормированные центральные моменты определяются как

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \text{ где } \gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \text{ для } p+q = 2, 3, \dots$$

На базе моментных инвариантов формируются признаки, устойчивые к преобразованиям подобия. Использование моментов второго и третьего порядков позволяет получить следующий набор из семи инвариантных моментов [1].

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02}, \\ \varphi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21}^2 - \eta_{03})^2, \\ \varphi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} - \eta_{03})^2, \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - \\ &\quad - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \times \\ &\quad \times [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2], \\ \varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}), \\ \varphi_7 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - \\ &\quad - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \times \\ &\quad \times [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]. \end{aligned}$$

Этот набор моментов является инвариантным по отношению к параллельному переносу, повороту и изменению масштаба.

Дополнительно можно получить признаки, описывающие силуэт контура изображения за счёт аффинных преобразований [3, 5].

Аффинные преобразования можно рассматривать как декомпозицию следующих трансформаций: преобразование типа сдвига, пропорциональное масштабирование, искажение масштаба вдоль одной из осей координат, поворот и деформацию изображения, неопределяемые преобразования подобия.

С использованием моментов второго и третьего порядков получается набор из четырёх аффинных моментных инвариантов [3, 5].

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{1}{\mu_{00}^4} (\mu_{20} \mu_{02} - \mu_{11}^2), \\ i_2 &= \frac{1}{\mu_{00}^{10}} (\mu_{30}^2 \mu_{03}^2 - 6\mu_{30} \mu_{21} \mu_{12} \mu_{03} + 4\mu_{30} \mu_{12}^3 + \\ &\quad + 4\mu_{03} \mu_{21}^3 - 3\mu_{21}^2 \mu_{12}^2), \end{aligned}$$

$$i_3 = \frac{1}{\mu_{00}^7} (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2)),$$

$$i_4 = \left( \frac{1}{\mu_{00}^{11}} \right) (\mu_{20}^3 \mu_{03}^2 - 6\mu_{20}^2 \mu_{11} \mu_{12} \mu_{03} - 6\mu_{20}^2 \mu_{02} \mu_{21} \mu_{03} + 6\mu_{20} \mu_{11} \mu_{02} \mu_{30} \mu_{03} - 18\mu_{20} \mu_{11} \mu_{02} \mu_{21} \mu_{12} + 9\mu_{20}^2 \mu_{02} \mu_{12}^2 + 12\mu_{20} \mu_{11}^2 \mu_{21} \mu_{03} - 8\mu_{11}^3 \mu_{30} \mu_{30} - 6\mu_{20} \mu_{02}^2 \mu_{30} \mu_{12} + 9\mu_{20} \mu_{02}^2 \mu_{21}^2 + 12\mu_{11}^2 \mu_{02} \mu_{30} \mu_{12} - 6\mu_{11} \mu_{02}^2 \mu_{30} \mu_{21} + \mu_{02}^3 \mu_{30}^2).$$

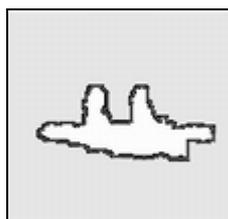


Рис. 2. Исходное изображение

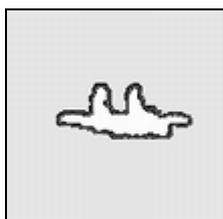


Рис. 3. Уменьшенное в два раза



Рис. 4. Повёрнутое на 45°

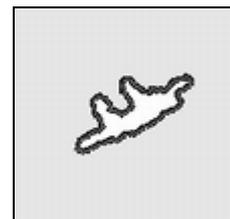


Рис. 5. Уменьшенное в два раза и повёрнутое на 45°

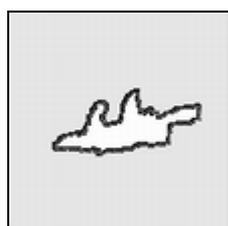


Рис. 6. Перспективное искажение 1

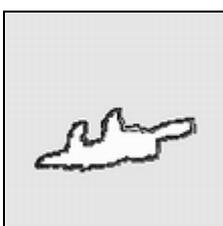


Рис. 7. Перспективное искажение 2

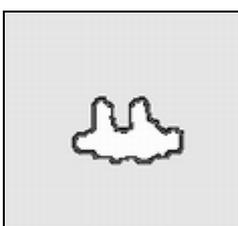


Рис. 8. Другой контур объекта с той же видеопоследовательности

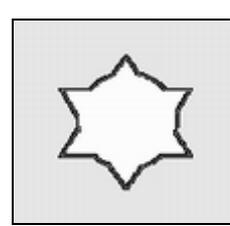


Рис. 9. Ложный контур

## 2. Эксперимент

Исходное изображение было подвергнуто геометрическим искажениям, таким как поворот, уменьшение, а также перспективное искажение. Для каждого изображения были рассчитаны инвариантные характеристики. Результаты прологарифмированы, чтобы сузить динамический диапазон.

## Заключение

Рассмотренный нами набор изображений включал в себя ложный контур, помимо исходного изображения и его геометрически искажённых аналогов.

Таблица 1. Значения инвариантных признаков для исходного изображения

Инвариант	Рис. 2	Рис. 3	Рис. 4	Рис. 5	Рис. 6	Рис. 7	Рис. 8	Рис. 9
$\varphi_1$	-1,306	-1,279	-1,317	-1,305	-1,248	-1,132	-1,564	-1,774
$\varphi_2$	-3,363	-3,221	-3,388	-3,283	-3,045	-2,678	-4,552	-8,864
$\varphi_3$	-6,902	-6,884	-6,940	-7,003	-7,877	-7,187	-7,318	-13,172
$\varphi_4$	-11,337	-10,794	-11,309	-10,834	-9,774	-8,009	-12,350	-14,863
$\varphi_5$	20,471	19,692	20,434	19,856	-18,633	-15,638	-22,184	28,936
$\varphi_6$	13,024	12,498	13,027	12,607	-11,463	-9,367	-14,840	-20,511
$\varphi_7$	-22,243	20,727	-27,321	20,595	-19,981	-17,011	26,612	-30,010
$i_1$	-4,639	-4,671	-4,659	-4,709	-4,744	-4,731	-4,790	-4,939
$i_1$	18,049	18,081	18,131	18,333	20,643	21,681	18,831	-30,718
$i_1$	11,171	11,222	11,229	11,380	12,346	12,339	11,723	17,915
$i_1$	-13,606	-13,701	-13,691	-13,908	-14,797	-14,757	-14,373	-20,575

Значения инвариантных признаков, рассчитанных для всего набора изображений, позволяют сделать вывод, что с применением простейшего линейного классификатора ложный контур определяется достаточно просто и быстро, поскольку степень различия одноимённых признаков весьма существенна.

В качестве направления дальнейших исследований следует отметить применение более сложных классификаторов для оценки принадлежности выделяемого контура к определённому классу на основе рассмотренных признаков формы.

*Литература*

1. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка информации / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – С. 957-961.
2. **Яне, Б.** Цифровая обработка информации / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – С. 515-517.
3. **Сойфер, В.А.** Методы компьютерной обработки изображений / В. Сойфер, В. Котляр, Л. Досколович; под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2003. – С. 601-634.
4. **Венцель, Е.** Теория вероятности и ей инженерное приложения / Е. Венцель, Л. Овчаров. – М.: Высш. шк, 2000. – С. 115-128.
5. **Heikkil, J.** Pattern matching with affine moment descriptors «Elsevier Science». – 3 March, 2004. – P. 23-50.

*References*

1. **Gonzalez, R.** Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods. – Moscow: “Technosfera” Publisher, 2005. – P. 957-961. – (In Russian).
2. **Jahne, B.** Digital Image Processing / B. Jahne. – Moscow: “Technosfera”, 2005. – P. 515-517. – (In Russian).
3. **Soifer, V.** Iterative Methods for Diffractive Optical Elements Computation / V. Soifer, V. Kotlyar, L. Doskolovich; edited by V.A. Soifer. – Moscow: “Physmath” Publisher, 2003. – P. 601-634. – (In Russian).
4. **Venchel, E.** Theory to probability and its engineering using / E. Venchel, L. Ovcharov. – Moscow: “High school” Publisher, 2000. – P.115-128. – (In Russian).
5. **Heikkil, J.** Pattern matching with affine moment descriptors journal «Elsevier Science» 3 March, 2004. – P. 23-50.

**SYSTEM OF THE COMPUTER VISION MOVING AIR OBJECT***I.O. Titov, G.M. Emelyanov**State Education Institution of Higher Vocational Education «Yaroslav-the-Wise Novgorod State University»**Abstract*

The problem of the making the automatic system is considered for separation and identifications of moving air object. It is researched question to categorizations, air object, which is clearly separated from background, does not touch and not cross with the other object, and is presented by sidebar. The result is a set of the features required for realization of the image: object - a number of the class.

*Key words:* separation, identification, sidebar, set of the features, central moments.

*Сведения об авторах*

**Титов Илья Олегович**, 1983 года рождения, в 2005 году окончил Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, в настоящее время является аспирантов НовГУ. Область научных интересов: цифровая обработка изображений.

E-mail: [TitovIlya@yandex.ru](mailto:TitovIlya@yandex.ru).

**Ilya Olegovich Titov** (b. 1983) graduated from State Education Institution of Higher Vocational Education «Yaroslav-the-Wise Novgorod State University» in 2005. Now he is post-graduate student of Novgorod State University. Research interests: digital image processing.



**Емельянов Геннадий Мартинович**, родился в 1943 году. Окончил Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина) в 1966 году. В 1971 году защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук. Доктор технических наук (1990 год). В настоящее время – профессор кафедры информационных технологий и систем. Область научных интересов: построение проблемно-ориентированных вычислительных систем обработки и анализа изображений.

E-mail: [Gennady.Emelyanov@novsu.ru](mailto:Gennady.Emelyanov@novsu.ru).

**Gennadiy Martinovich Emelyanov**, born 1943. Graduated from the Leningrad Institute of Electrical Engineering in 1966. Obtained his PhD (Kandidat Nauk) and his Doctoral (Doktor Nauk) degrees in 1971 and 1990, respectively. Now he is a Professor of the Department of Information Technologies and Systems at the same university. Research interests: construction of problem-oriented computing systems of image processing and analysis.

*Поступила в редакцию 11 мая 2011 г.*