

УДК 004.932.2

***СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ КОНТУРОВ БИНАРНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАССТОЯНИЙ ОТ ЦЕНТРА МАСС***

Черкасов А.С.¹

Магистрант

Московский технический университет связи и информатики

Россия, Москва

Аннотация. В статье предложена упрощенная статистическая модель описания контура бинарного объекта, основанная на распределении расстояний от центра масс до граничных точек. В отличие от чисто геометрических представлений, разработанная модель формирует компактный вектор признаков, учитывающий не только средние параметры формы, но и вариативность контура. Результаты вычислительного эксперимента показали, что предложенное описание позволяет различать бинарные объекты с различной геометрией границы и сохраняет устойчивость при наличии шумов и локальных искажений.

Ключевые слова: бинарные изображения, контурный анализ, статистическая модель, центр масс, вектор признаков, дескрипторы формы, техническое зрение.

***STATISTICAL MODEL FOR DESCRIBING BINARY IMAGE CONTOURS
BASED ON DISTANCES FROM THE CENTER OF MASS***

Cherkasov A.S.

Graduate Student

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Russia, Moscow

¹ Научный руководитель – к.т.н., доцент Воронов В.И.

Abstract. The paper proposes a simplified statistical model for describing the contour of a binary object based on the distribution of distances from the center of mass to boundary points. Unlike purely geometric representations, the proposed model forms a compact feature vector that captures not only the average shape parameters but also contour variability. The results of the computational experiment showed that the proposed description makes it possible to distinguish binary objects with different boundary geometries and remains robust in the presence of noise and local boundary distortions.

Keywords: binary images, contour analysis, statistical model, center of mass, feature vector, shape descriptors, computer vision.

Введение

В системах технического зрения анализ формы объектов занимает важное место, поскольку именно геометрические характеристики лежат в основе задач распознавания, классификации и сопоставления изображений. Для бинарных изображений одним из наиболее информативных способов описания формы является контур, представляющий собой границу объекта и, позволяющий перейти от пиксельного представления к более компактному и формализованному описанию [1;2;3].

В настоящее время для анализа и представления формы применяются различные подходы, включающие геометрические дескрипторы, сигнатурные методы, локальные признаки и их комбинации [2;4;5;6;7;8]. Такие методы позволяют учитывать особенности внешней границы объекта и формировать информативные признаки для последующей классификации. Вместе с тем многие из них либо требуют сравнительно сложных вычислительных процедур, либо ориентированы на использование большого числа признаков, что не всегда целесообразно при обработке бинарных изображений в прикладных задачах технического зрения [3;5;6;8].

Одним из перспективных направлений является статистическое описание контура на основе его геометрических характеристик. В частности, представление формы через расстояния от центра масс до точек границы позволяет получить компактное описание объекта, отражающее как его общую конфигурацию, так и вариации контура [9;10]. Дополнительное использование статистических характеристик такого распределения, включая средние значения и показатели разброса, создает основу для формирования вектора признаков, пригодного для сравнения и распознавания бинарных объектов [5;11]. Предпосылки к построению такого подхода были сформулированы в работе, посвященной анализу методов представления и моделирования контуров бинарных изображений в системах технического зрения [12].

В связи с этим представляет интерес разработка упрощенной статистической модели контура бинарного изображения, сочетающей вычислительную простоту, интерпретируемость и достаточную информативность. Целью настоящей работы является построение статистической модели описания контуров бинарных изображений на основе расстояний от центра масс до граничных точек с последующим формированием признакового вектора для анализа формы объектов.

Постановка задачи и описание модели

Рассматривается бинарное изображение, содержащее область одиночного объекта, отделенную от фона. Предполагается, что объект представлен связной областью пикселей, для которой может быть выделен внешний контур. Использование контурного представления позволяет перейти от полного пиксельного описания к более компактному описанию формы, что широко применяется в задачах распознавания, классификации и сопоставления изображений [1;2;3].

Пусть бинарное изображение задано на дискретной плоскости, где пиксели объекта принимают одно значение, а пиксели фона – другое. На первом этапе из Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

множества пикселей объекта выделяется его граница, представляющая собой упорядоченное множество точек контура. Такое представление является информативным при анализе формы, поскольку отражает внешнюю геометрию объекта и служит основой для построения контурных дескрипторов [2;4].

В качестве основы статистического описания в работе предлагается использовать расстояния от центра масс объекта до точек его контура. Данный подход позволяет представить форму объекта в виде совокупности радиальных характеристик, отражающих распределение граничных точек относительно центра объекта. Представления такого типа применяются в задачах описания и распознавания формы как основа для построения компактных дескрипторов [9;10].

Пусть объекту соответствует область Ω , а его контуру множество точек:

$$C = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N \quad (1)$$

Для заданного объекта определяется центр масс, после чего для каждой точки контура вычисляется расстояние до этого центра. Полученная совокупность расстояний рассматривается как одномерная выборка, на основе которой формируются статистические характеристики, описывающие форму объекта. В предлагаемой модели в состав признаков включаются среднее значение расстояний, дисперсия, минимальное и максимальное значения, а также производные показатели, характеризующие разброс и неоднородность контура [5;9;11].

Предлагаемая модель ориентирована на построение компактного признакового описания, пригодного для последующего сравнения объектов и решения задач классификации. Ее достоинством является сочетание вычислительной простоты, интерпретируемости и достаточной информативности для анализа бинарных изображений. По сравнению с многокомпонентными и многоуровневыми дескрипторами формы

рассматриваемый подход опирается на ограниченный набор признаков, непосредственно связанных с геометрией контура [6;8;13].

Алгоритм формирования признакового описания

Формирование признакового описания контура бинарного объекта включает несколько последовательных этапов. На первом этапе на бинарном изображении выделяется область объекта, отделенная от фона. Далее определяется его внешний контур как множество граничных точек, задающих форму объекта в дискретном пространстве. Такой переход от пиксельного представления к контурному описанию широко используется в задачах анализа и распознавания формы [1;2;3].

После выделения контура вычисляется центр масс объекта, который используется в качестве опорной точки для дальнейшего описания формы. Затем для каждой точки контура определяется расстояние до центра масс. Полученная последовательность расстояний рассматривается как радиальное представление контура, отражающее распределение граничных точек относительно центра объекта. Подобный подход применяется в задачах описания и распознавания формы как основа для построения компактных дескрипторов [9;10].

На следующем этапе по найденным расстояниям вычисляются статистические характеристики, в том числе среднее значение, дисперсия, минимальное и максимальное расстояния, а также показатели разброса. Использование таких характеристик позволяет перейти от множества точек контура к компактному количественному описанию формы объекта [5;11].

Итогом работы алгоритма является формирование вектора признаков, объединяющего рассчитанные статистические параметры. Полученное описание может использоваться для последующего сравнения объектов, анализа сходства форм и решения задач классификации бинарных изображений [5;6;8].

Математическое описание модели

Пусть бинарное изображение содержит область объекта Ω , состоящую из множества пикселей, принадлежащих объекту, а внешний контур объекта задан множеством граничных точек (формула 1).

Для построения статистического описания формы вначале определяется центр масс объекта. Координаты центра масс вычисляются по формулам:

$$x_c = \frac{1}{M} \sum_{(x,y) \in \Omega} x, y_c = \frac{1}{M} \sum_{(x,y) \in \Omega} y \quad (2)$$

где M – число пикселей, принадлежащих области объекта. Использование центра масс в качестве опорной точки является естественным при построении радиальных представлений формы [9;10].

Далее для каждой точки контура (x_i, y_i) определяется расстояние до центра масс:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2}, i = 1, \dots, N \quad (3)$$

Совокупность значений r_i образует радиальное описание контура, отражающее распределение граничных точек относительно центра объекта [9;10]. На основе полученной последовательности расстояний вычисляются статистические характеристики.

Среднее значение расстояний определяется выражением:

$$\bar{r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad (4)$$

Дисперсия расстояний вычисляется по формуле:

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (r_i - \bar{r})^2 \quad (5)$$

Дополнительно используются минимальное и максимальное значения расстояний:

$$r_{\min} = \min_{1 \leq i \leq N} r_i, r_{\max} = \max_{1 \leq i \leq N} r_i \quad (6)$$

Для оценки относительного разброса расстояний может применяться коэффициент вариации:

$$V_r = \frac{\sigma_r}{\bar{r}} \quad (7)$$

где:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_r^2} \quad (8)$$

Помимо радиальных характеристик в описание формы целесообразно включить коэффициент компактности объекта, определяемый как:

$$K = \frac{P^2}{4\pi S} \quad (9)$$

где P – длина контура, а S – площадь объекта. Данный показатель позволяет дополнительно учитывать степень отклонения формы объекта от круга и широко используется при анализе геометрических характеристик бинарных объектов [2,4,5].

Итоговый вектор признаков может быть представлен в следующем виде:

$$F = (\bar{r}, \sigma_r^2, r_{\min}, r_{\max}, V_r, K) \quad (10)$$

Сформированный вектор признаков задает компактное статистическое описание контура бинарного объекта и может использоваться для последующего сравнения форм, анализа сходства и решения задач классификации [5;6;11].

Вычислительный эксперимент и анализ результатов

Для проверки работоспособности предложенной статистической модели был проведен вычислительный эксперимент на тестовых бинарных изображениях объектов простой геометрической формы. В качестве объектов исследования были выбраны круг, эллипс, прямоугольник и треугольник. Исходные бинарные изображения и соответствующие им контуры представлены на рис. 1.

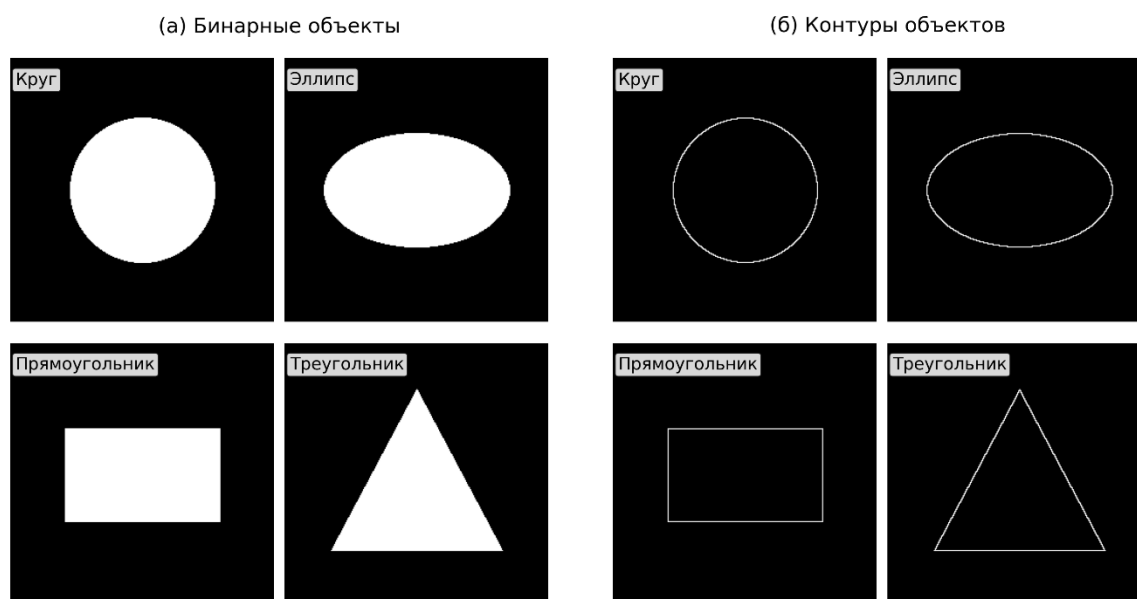


Рис. 1 – Тестовые бинарные объекты (а) и соответствующие им контуры (б)

Для каждого объекта в соответствии с предложенным алгоритмом определялись внешний контур, координаты центра масс и расстояния от центра масс до точек границы. На основе полученной последовательности расстояний вычислялись признаки статистической модели: среднее значение \bar{r} , дисперсия σ_r^2 , минимальное и максимальное расстояния r_{\min} и r_{\max} , коэффициент вариации V_r , а также коэффициент компактности K . Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения признаков предложенной статистической модели

Объект	\bar{r}	σ_r^2	r_{\min}	r_{\max}	V_r	K
Круг	69.811	0.145	69.029	70.456	0.005	0.999
Эллипс	72.036	139.098	55.000	90.139	0.164	1.086
Прямоугольник	67.897	190.171	45.000	87.464	0.203	1.213
Треугольник	68.675	244.465	48.024	104.006	0.228	1.638

Анализ полученных данных показывает, что предложенное описание позволяет различать объекты с различной геометрией контура. Для круга характерны минимальные значения дисперсии и коэффициента вариации, а

значение коэффициента компактности близко к единице, что соответствует высокой степени симметрии формы. Для эллипса, прямоугольника и треугольника наблюдается увеличение разброса расстояний и коэффициента компактности, отражающее рост неравномерности и отклонение формы от круговой.

Заключение

В работе предложена упрощенная статистическая модель описания контуров бинарных изображений, основанная на анализе расстояний от центра масс объекта до точек его внешней границы. Сформирован алгоритм построения признакового описания, включающий выделение контура, вычисление радиальных расстояний и определение статистических характеристик, на основе которых формируется компактный вектор признаков.

Результаты вычислительного эксперимента, выполненного на тестовых бинарных объектах различной формы, показали, что предложенная модель позволяет количественно различать контуры, отличающиеся степенью симметрии, вытянутости и угловатости. Установлено, что значения дисперсии, диапазона расстояний и коэффициента вариации отражают особенности геометрии объекта и могут использоваться в задачах анализа и классификации формы. Таким образом, предложенный подход обладает вычислительной простотой, интерпретируемостью и может быть применен в системах технического зрения при обработке бинарных изображений.

Библиографический список

1. Shapiro L. G., Stockman G. C. Computer Vision. — Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2001.

2. Zhang D., Lu G. Review of shape representation and description techniques // *Pattern Recognition*. — 2004. — Vol. 37, No. 1. — P. 1–19. — DOI: 10.1016/j.patcog.2003.07.008.
3. Huang Q., Huang J. Comprehensive review of edge and contour detection: from traditional methods to recent advances // *Neural Computing and Applications*. — 2025. — Vol. 37. — P. 2175–2209. — DOI: 10.1007/s00521-024-10936-2.
4. Bober M. MPEG-7 Visual Shape Descriptors // *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*. — 2001. — Vol. 11, No. 6. — P. 716–719.
5. Blandon J. S., Orozco-Gutierrez A. A., Alvarez-Meza A. M. An enhanced and interpretable feature representation approach to support shape classification from binary images // *Pattern Recognition Letters*. — 2021. — Vol. 151. — P. 348–354. — DOI: 10.1016/j.patrec.2021.08.020.
6. Yang C., Fang L., Fei B., Yu Q., Wei H. Multi-level contour combination features for shape recognition // *Computer Vision and Image Understanding*. — 2023. — Vol. 229. — Art. 103650. — DOI: 10.1016/j.cviu.2023.103650.
7. Kumar R., Mali K. Local Binary Patterns of Segments of a Binary Object for Shape Analysis // *Journal of Mathematical Imaging and Vision*. — 2023. — Vol. 65. — P. 618–630. — DOI: 10.1007/s10851-022-01130-x.
8. Ribas L. C., Bruno O. M. Learning a complex network representation for shape classification // *Pattern Recognition*. — 2024. — Vol. 154. — Art. 110566. — DOI: 10.1016/j.patcog.2024.110566.
9. Chang C. C., Hwang S. M., Buehrer D. J. A shape recognition scheme based on relative distances of feature points from the centroid // *Pattern Recognition*. — 1991. — Vol. 24, No. 11. — P. 1053–1063. — DOI: 10.1016/0031-3203(91)90121-K.
10. Zheng Y., Guo B., Chen Z., Li C. A Fourier Descriptor of 2D Shapes Based on Multiscale Centroid Contour Distances Used in Object Recognition in Remote Sensing Images // *Sensors*. — 2019. — Vol. 19, No. 3. — Art. 486. — DOI: 10.3390/s19030486.

11. Sá Junior J. J. de M., Backes A. R. Shape classification using line segment statistics // Information Sciences. — 2015. — Vol. 305. — P. 349–356. — DOI: 10.1016/j.ins.2015.01.027.
12. Черкасов А. С. Статистическое моделирование контуров бинарных изображений в системах технического зрения // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2026. — № 3-2 (114). — С. 143–148.
13. Lardeux F., Marchand S., Gomez-Krämer P. Low-complexity arrays of contour signatures for exact shape retrieval // Pattern Recognition. — 2021. — Vol. 118. — Art. 108000. — DOI: 10.1016/j.patcog.2021.108000.