

УДК 004.932.72:004.931.4

**РАСПОЗНАВАНИЕ ФРАГМЕНТОВ ВЫПУКЛЫХ КОНТУРНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

В.В. Авраменко, доцент,

Р.С. Волков, аспирант,

Сумский государственный университет, г. Сумы

Рассматривается задача распознавания изображений с выпуклыми контурами, которые могут состоять из фрагментов эталонных изображений. Фрагменты распознаваемого изображения произвольно расположены относительно соответствующих фрагментов в эталонах. Кроме того, они могут отличаться по масштабу и углу поворота.

Предложен метод локального распознавания фрагментов контурных изображений по их эталонам при помощи функции непропорциональности по производной первого порядка для функций, заданных параметрически.

Ключевые слова: *выпуклый контур, локальное распознавание, функции непропорциональностей, фрагменты изображений.*

Розглядається задача розпізнавання зображень з випуклими контурами, які можуть складатися із фрагментів, що мають наперед невідомі положення, масштаб та кут нахилу відносно відповідних фрагментів у еталонних зображеннях.

Запропоновано метод локального розпізнавання фрагментів контурних зображень за їх еталонами за допомогою функції непропорційності за похідною першого порядку для функцій, заданих параметрично.

Ключові слова: *опуклий контур, локальне розпізнавання, функції непропорційностей, фрагменти зображень.*

ВВЕДЕНИЕ

Обработка изображений с целью их распознавания является одной из центральных и практически важных задач при создании систем искусственного интеллекта [3].

Среди существующих методов распознавания изображений наибольший интерес представляют те, что распознают контуры, т.к. эта задача является одной из основных при обработке изображений в информационных технологиях, связанных с созданием искусственного интеллекта.

На практике анализируемый контур часто является неполным и может отличаться масштабом, положением и углом поворота относительно своего эталона. Это обстоятельство приводит к необходимости использовать локальные методы распознавания и характеристики, инвариантные к вышперечисленным искажениям.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дан контур анализируемого изображения. Он является выпуклым и может включать в себя фрагменты нескольких эталонных контурных изображений. В общем случае фрагменты, входящие в анализируемое изображение, имеют заранее неизвестные положение, масштаб и угол

поворота относительно соответствующих фрагментов в эталонных изображениях.

Для каждой точки анализируемого контура необходимо определить, фрагментом какого (каких) эталонных изображений она является.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

В связи с тем, что распознаваемый контур в общем случае расположен произвольно, для его описания выбрана полярная система координат, начало которой последовательно помещается в каждую точку контура, а в качестве начального угла используется угол наклона касательной в точке. Начало координат соединяется отрезками со всеми точками контура. Эти отрезки составляют массив радиус-векторов.

Контурное изображение можно представить как зависимость длины радиуса-вектора от параметра – угла наклона к касательной. На рис.1 приведены контурное изображение и соответствующий ему график зависимости длины радиус-вектора (в пикселях – R) от угла наклона, построенный для случая, когда начало полярной системы координат находится в точке (x_c, y_c) .

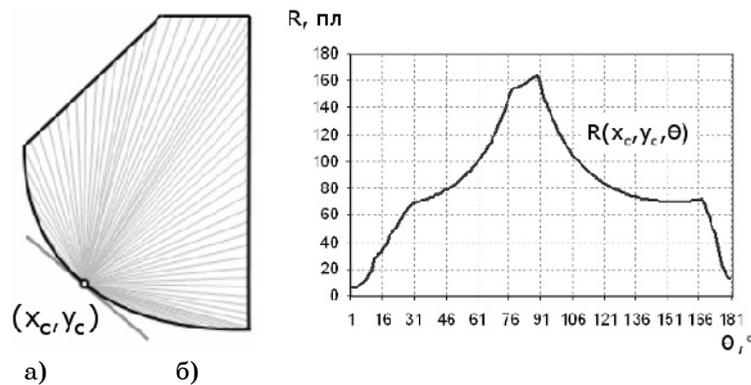


Рисунок 1 – а) представление контура изображения в полярной системе координат; б) зависимость длины радиус-вектора от угла наклона к касательной для данного примера

В случае если в анализируемом контуре присутствует фрагмент n -го эталона и зависимости длин радиус-векторов от угла наклона построены, при размещении центра полярной системы координат в соответствующих точках распознаваемого контура и эталона, то существует пропорциональная зависимость (1).

$$R(x_i, y_i, \theta) = k \cdot E_n(x_{nj}, y_{nj}, \theta), \quad (1)$$

где $R(x_i, y_i, \theta)$ - функция зависимости длины радиус-вектора с началом координат в i -й точке распознаваемого контура (x_i, y_i) от угла наклона θ ;

$E_n(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$ - функция зависимости длины радиус-вектора с началом координат в j -й точке (x_{nj}, y_{nj}) n -го эталонного контура от угла наклона θ ;

i - порядковый индекс точки в анализируемом контуре, $1 \leq i \leq N$, N - количество точек анализируемого контура;

j - порядковый индекс точки в n -м эталонном контуре, $1 \leq j \leq M_n$, M_n - количество точек в n -м эталонном контуре;

n - порядковый индекс эталона в списке эталонов, $1 \leq n \leq Q$, Q - кол-во эталонов;

- угол наклона отрезка к касательной в точке, $0 \leq \theta \leq \pi$;

k - коэффициент пропорциональности.

Однако коэффициент k в (1) заранее неизвестен. Поэтому в качестве меры расхождения между анализируемым изображением и эталонами необходимо использовать инвариантную к масштабному множителю функцию непропорциональности по производной первого порядка для функций, заданных параметрически [1, 2]. Она равна нулю, когда на исходном изображении рассматривается фрагмент эталонного контура, т. е. когда имеет место пропорциональная зависимость (1). В противном случае непропорциональность отличается от нуля.

Так как для выбранной i -й точки (x_i, y_i) анализируемого контура соответствующая точка (x_{nj}, y_{nj}) эталонного контура неизвестна, необходимо начало полярной системы координат последовательно перемещать по контуру эталона и каждый раз находить графики зависимости длины радиус-вектора от угла наклона $E_n(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$. Для каждой пары зависимостей $R(x_i, y_i, \theta)$ и $E_n(x_{nj}, y_{nj}, \theta)$ вычисляется функция непропорциональности в соответствии с формулой

$$\textcircled{d}_{E_n}^{(1)} R = \frac{R(x_i, y_i, \theta)}{E_n(x_{nj}, y_{nj}, \theta)} - \frac{d R(x_i, y_i, \theta)/d \theta}{d E_n(x_{nj}, y_{nj}, \theta)/d \theta}. \quad (2)$$

В случае, когда непропорциональность (2) равна нулю, точка с координатами (x_i, y_i) является фрагментом рассматриваемого эталона.

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ

Ключевым этапом распознавания являются вычисление значений функции непропорциональности (2) и выявление точек контура, для которых она принимает значения, равные нулю (либо не превышающие по модулю заранее определенное пороговое значение). В этих точках имеет место пропорциональная зависимость (1) между функциями зависимостей длины радиуса-вектора от угла наклона распознаваемого изображения и эталона.

Предполагается, что информация о количестве и взаимном положении таких точек на контуре будет учитываться системой принятия решений в процессе определения фрагментов эталонов в анализируемом изображении. Например, она может учитывать только те точки, для которых нулевые значения идут последовательно.

Эталонные контуры могут иметь одинаковые между собой фрагменты, поэтому не исключается ситуация, когда точка анализируемого контура может быть фрагментом одновременно нескольких эталонов. В этом случае система принятия решений может учитывать общее количество нулевых значений функции (2) для каждого из эталонов и по максимальному их количеству отнести распознаваемый фрагмент к одному из них.

Как правило, количество точек анализируемого изображения и эталона может быть различным. Поэтому при вычислении функции непропорциональности (2) применяется интерполяция.

Таким образом, алгоритм распознавания имеет следующий вид:

1) считываются все эталонные изображения;

- 2) принимается $n=1$, n – порядковый номер эталона в массиве эталонов, $1 \leq n \leq Q$, где Q – количество эталонов в массиве эталонов;
- 3) принимается $j=1$, где j – порядковый номер точки эталонного контура, $1 \leq j \leq M_n$, M_n – количество точек в n -ом эталонном контуре;
- 4) вычисляется зависимость длины радиуса-вектора $E_n(x_{nj}, y_{nj},)$ от угла наклона к касательной. Для этого выполняются следующие действия:
 - а) начало полярной системы координат устанавливается в j -ю точку контура;
 - б) начало координат соединяется отрезками со всеми остальными точками контура;
 - в) вычисляются длины полученных отрезков и запоминаются в виде массива;
 - г) полученный массив сортируется в порядке увеличения угла наклона отрезка к касательной в точке начала координат;
- 5) принимается $n=n+1$ и выполняются действия пп. 3, 4, пока не будут обработаны все имеющиеся эталоны;
- 6) считывается распознаваемое изображение и для него выполняются действия аналогичные пп. 3, 4;
- 7) принимается $i=1$, где i – порядковый номер точки анализируемого контура, $1 \leq i \leq N$, N – количество точек анализируемого контура;
- 8) а соответствии с выражением (2) производится проверка, может ли i -я точка изображения быть фрагментом n -го эталонного контура. Для этого:
 - а) выбирается первый эталон (принимается $n=1$);
 - б) выбирается первая точка n -го эталона (принимается $j=1$);
 - в) вычисляются значения функции непропорциональности (2) $R(x_i, y_i,)$ по $E_n(x_{nj}, y_{nj},)$;
 - г) если среди вычисленных значений встречаются нулевые, то i -й точке ставится в соответствие n -й эталон. Действия продолжаются с п. 8 в);
 - д) если среди вычисленных значений в п. 8 б) нет нулевых, то выполняется переход к следующей точке n -ого эталонного контура, т.е. принимается $j=j+1$, а действия продолжаются с п. 8 в);
 - е) выполняется переход к следующему эталону, т.е. принимается $n=n+1$, и продолжаются действия с п. 8 б);
 - ж) выполняется переход к следующей точке анализируемого контура, (принимается $i=i+1$) и повторяются действия, начиная с п. 8 а).

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ

Для иллюстрации работы метода рассмотрим случай, когда распознаваемый контур включает фрагменты трёх эталонных контуров – окружности, эллипса и квадрата, как показано на рис. 2.

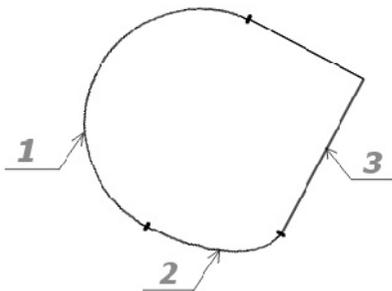


Рисунок 2 – Анализируемый контур, состоящий из фрагментов окружности (1), эллипса (2) и квадрата (3)

На рис.3 сплошной линией обозначен анализируемый контур, а пунктирной – эталон, фрагмент которого содержится в распознаваемом изображении. Также на рисунке приведены зависимости длин радиус-векторов от угла наклона для случаев, когда центры полярных систем координат расположены в соответствующих точках распознаваемого изображения (x_i, y_i) и эталона (x_{nj}, y_{nj}) .

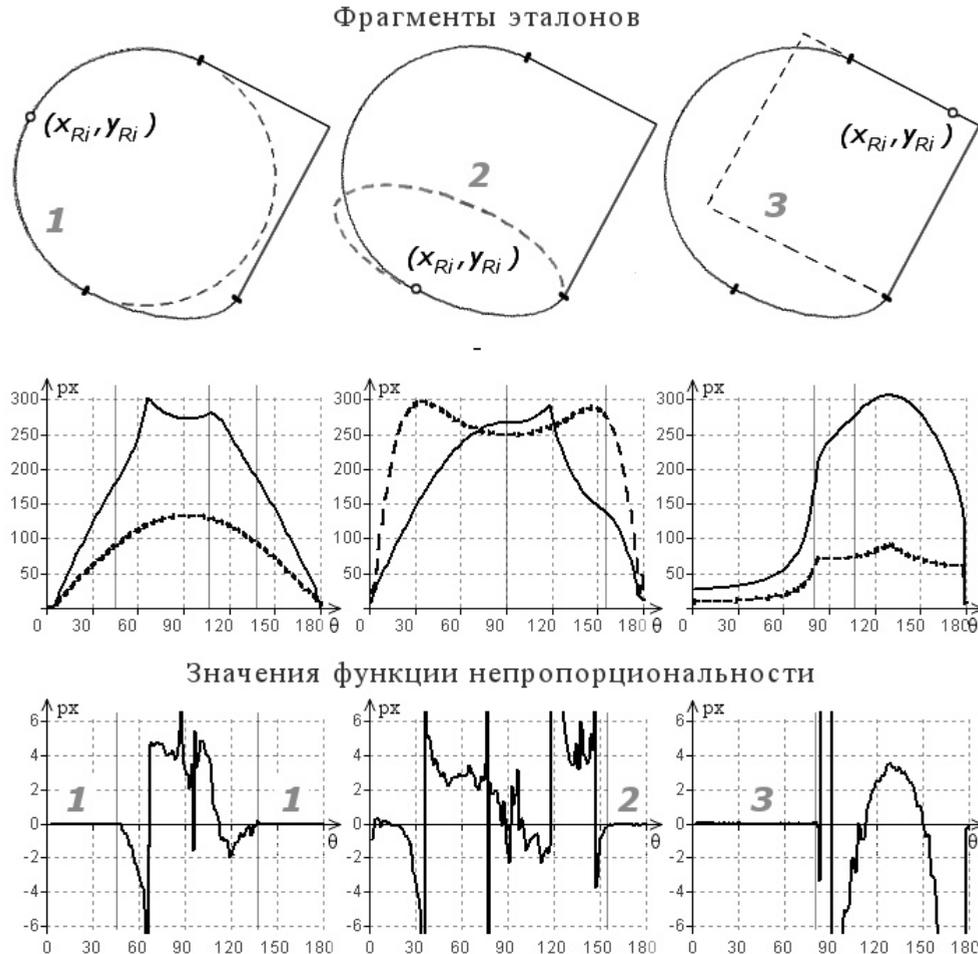


Рисунок 3 – Фрагменты эталонов в анализируемом контуре, функции зависимостей длин радиус-векторов от угла наклона и значения функции непропорциональности

Графики зависимостей длин радиус - векторов от угла наклона на рис. 3 отображают анализируемый контур (сплошная линия) и эталоны (пунктир) в их истинном масштабе по отношению друг к другу.

По нулевым значениям функции непропорциональности на рис. 3 можно видеть, что фрагмент окружности находится в диапазоне изменения параметра от 0 до 45 и от 135 до 180 градусов, при расположении центра полярной системы координат в точке (x_i, y_i) , показанной на рисунке. По приведенным выше графикам видно расположение фрагментов остальных эталонов. Таким образом, поставленная задача решена.

ВЫВОДЫ

Предложен метод распознавания изображений, имеющих выпуклый контур. Этот метод использует полярную систему координат для параметрического представления контурного изображения как зависимости длины радиус-вектора от угла наклона к касательной, что делает его инвариантным к положению и повороту фрагментов анализируемого контура относительно соответствующих эталонов. Использование функции непропорциональности по производной первого порядка для функций, заданных параметрически, позволило сделать метод инвариантным и к масштабам фрагментов изображения по отношению к соответствующим эталонам.

Практическая реализация метода иллюстрирует его способность решать поставленную задачу.

SUMMARY

CONVEX CONTOUR IMAGE FRAGMENT RECOGNITION

*V.V. Avramenko, R.S. Volkov,
Sumy State University, Sumy*

A novel method for recognition of convex contour images is proposed. It allows to perform a local recognition of standard fragments based on a theory of disproportion of numerical functions. The main feature of this approach is capability to operate on fragments which has arbitrary position, rotation and scale with respect to their corresponding standards.

Key words: *convex contour, local recognition, disproportion of numerical functions, image fragments.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение. Деп. в ГНТБ Украины 19.01.98, № 59 – Ук 98.
2. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение при решении задач диагностики / В.В. Авраменко // Вісник СумДУ. – 2000. - № 16. – С. 12 – 20.
3. Путятин Е.П. Нормализация и распознавание изображений [Электронный ресурс] / Сумский гос. ун-т, летняя научно-практическая школа «Интеллектуальные системы». – Режим доступа: [www/URL: http://sumschool.sumdu.edu.ua/is-02/rus/lectures/pytyatin/pytyatin.htm/](http://sumschool.sumdu.edu.ua/is-02/rus/lectures/pytyatin/pytyatin.htm/) - 08.02.2011 г. – Загл. с экрана.

Поступила в редакцию 25 февраля 2011 г.