

# РАСПОЗНАВАНИЕ ФОРМЫ РАСТРОВЫХ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЛОСКИХ ФИГУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОРФИНГА КОНТУРОВ ГРАНИЦЫ

Л. М. Местецкий, И. А. Рейер

Вычислительный центр Российской Академии Наук,  
Отдел вычислительных методов прогнозирования  
117967, ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, 40  
[mest@kemar.msk.ru](mailto:mest@kemar.msk.ru); [john-reyer@usa.net](mailto:john-reyer@usa.net)

## ABSTRACT

In the paper the method of comparison of the images of flat figures is suggested. The method includes three stages.

1. Building the binary image of the figure by segmentation of the scene.
2. Construction of external continuous border of the binary image as a closed polygonal contour.
3. Comparison of border contours. It is suggested to compare contours using the following mechanical model. It is considered that the contours are made of wire. Deforming wire by stretching and bending the initial contour is transformed to the final. Such transformation is characterized by mechanical work. It is suggested to use the minimal work as a measure of distinction between contours.

## ВВЕДЕНИЕ

Ряд задач обработки изображений связан с поиском на изображении объектов характерной формы. К таким задачам относятся, например,

- распознавание произвольно расположенных на листе символов (например, букв и условных знаков на географической карте);
- обнаружение и опознавание цели в телевизионных системах наблюдения.

Основными особенностями этого типа задач являются:

- наличие небольшого числа эталонных изображений (вариант написания символа, силуэт самолета, профиль детали);
- существенной характеристикой объекта является его форма, а не линейные размеры, положение в пространстве и т. д.

Такой поиск предполагает сравнение изображений фигур с эталонами. Для сравнения нужно определить меру различия изображений на основе их формы. В данной статье предлагается метод сравнения изображений фигур с использованием такой меры, включающий следующие этапы:

1. Переход к бинарному изображению фигуры. Пусть проведена сегментация изображения, то есть выделение фигуры из общей сцены. Предлагается рассматривать результат сегментации как бинарное изображение (черные точки принадлежат фигуре, белые - нет) [1];
2. Построение непрерывной границы бинарного изображения. Для определения меры различия предлагается воспользоваться внешней границей изображения, точнее, ее непрерывным представлением, и от сравнения бинарных изображений перейти к сравнению замкнутых контуров границы;
3. Определение меры различия для контуров границы. Предлагается сравнивать контуры, используя следующую механическую модель. Считается, что контуры изготовлены из проволоки. Деформируя проволоку путем растяжения и изгиба, начальный контур

преобразуют в конечный. Такое преобразование характеризуется механической работой. В качестве меры различия между контурами предлагается использовать минимальную величину такой работы. Эта механическая модель применяется в компьютерной графике и анимации [3].

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (РФФИ) – проект 99-01-00829.

## **НЕПРЕРЫВНАЯ ГРАНИЦА РАСТРОВОГО БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.**

В качестве непрерывной границы растрового бинарного изображения (РБИ) предлагается использовать границу многоугольной фигуры, которая:

- 1) разделяет белые и черные точки растра;
- 2) имеет минимальный периметр.

Метод построения такой фигуры был предложен в [2].

На рис.1 приведен пример, иллюстрирующий конечный результат работы алгоритма оконтуривания: исходное РБИ и построенная граница аппроксимирующей многоугольной фигуры.

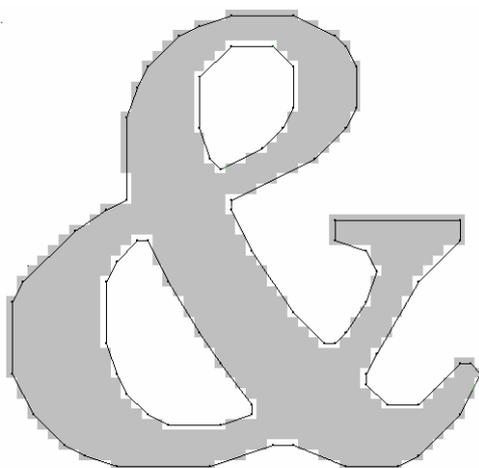


Рис.1

## **СРАВНЕНИЕ КОНТУРОВ**

### **1. Вычисление минимальной работы**

Для определения величины работы трансформации предлагается использовать метод, изложенный в [3]. Данный метод позволяет определить значение минимальной работы трансформации для двух замкнутых полигональных контуров. Трансформация задается соответствием вершин исходного контура вершинам конечного контура и моделируется перемещением вершины исходного контура в соответствующую ей вершину конечного контура. При этом одной вершине исходного контура можно поставить в соответствие несколько вершин конечного контура и наоборот: нескольким вершинам исходного контура - одну вершину конечного.

Определим замкнутый полигональный контур как упорядоченную циклическую цепочку вершин  $C = \{c_0, \dots, c_n\}$ .

Пусть даны два контура  $P = \{p_0, \dots, p_n\}$  и  $Q = \{q_0, \dots, q_m\}$ . В каждом из контуров зафиксируем одну из вершин, которую будем называть начальной.

Трансформацией контура  $P$  с начальной вершиной  $p^0$  в контур  $Q$  с начальной вершиной  $q^0$  будем называть упорядоченное множество  $S = \{(p^{(r)}, q^{(r)})\}_{r=1}^{|S|}$  пар вершин  $(p, q)$  таких, что  $p \in P, q \in Q$ , удовлетворяющее следующим условиям:

- 1) Каждая из вершин  $p \in P, q \in Q$  входит хотя бы в одну пару из  $S$ ;
- 2)  $(p^{(1)}, q^{(1)}) = (p^0, q^0), (p^{(|S|)}, q^{(|S|)}) = (p^0, q^0)$   
(начальной вершине контура  $P$  соответствует начальная вершина контура  $Q$ );
- 3)  $\forall r \in \{2, \dots, |S|\}$  пара  $(p^{(r)}, q^{(r)})$  удовлетворяет одному из следующих условий:
  - а)  $p^{(r)} = p^{(r-1)}, q^{(r)}$ -следующая в  $Q$  за  $q^{(r-1)}$  (вершине  $p^{(r-1)}$  соответствуют вершины  $q^{(r-1)}$  и  $q^{(r)}$ );
  - б)  $q^{(r)} = q^{(r-1)}, p^{(r)}$ -следующая в  $P$  за  $p^{(r-1)}$  (вершинам  $p^{(r-1)}$  и  $p^{(r)}$  соответствует вершина  $q^{(r)}$ );
  - в)  $p^{(r)}$ -следующая в  $P$  за  $p^{(r-1)}, q^{(r)}$ -следующая в  $Q$  за  $q^{(r-1)}$  (вершине  $p^{(r)}$  соответствует вершина  $q^{(r)}$ ).

Пример такого соответствия вершин для двух контуров приведен на рис.2.

Работа трансформации определяется двумя типами преобразований – растяжением (сжатием) и изгибом.

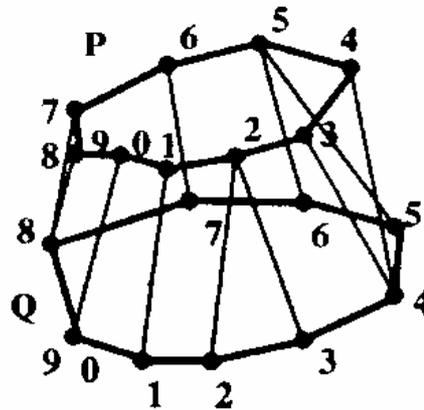


Рис.2

Работа растяжения (сжатия) характеризуется изменением расстояния между двумя соседними вершинами контура при трансформации. Работа изгиба характеризуется изменением угла, который образуют три соседние вершины контура.

Минимальной работой по преобразованию контура  $P$  с начальной вершиной  $p^0$  в контур  $Q$  с начальной вершиной  $q^0$  назовем  $W_{\min}((P, p^0), (Q, q^0)) = \min\{W(S) \mid S \in \Omega((P, p^0), (Q, q^0))\}$ , где  $W(S)$ -работа, соответствующая трансформации  $S$ , а  $\Omega((P, p^0), (Q, q^0))$  - множество допустимых трансформаций контура  $P$  с начальной вершиной  $p^0$  в контур  $Q$  с начальной вершиной  $q^0$ .

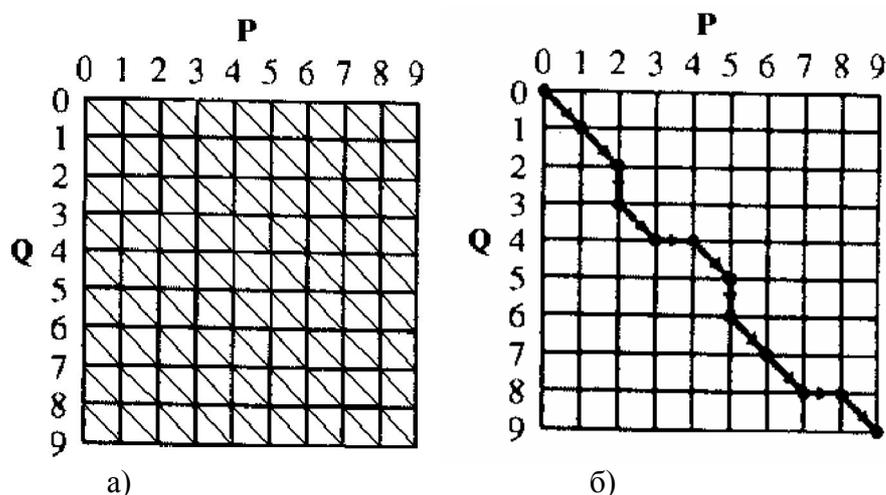


Рис.3

Все соответствия между вершинами контуров  $P$  и  $Q$  можно представить с помощью матрицы размерности  $(m+2) \times (n+2)$  (с учетом того, что  $p^{m+1} = p^0$ ,  $q^{n+1} = q^0$ ) или графа (рис. 3а). Вертикалям в этом случае соответствуют вершины контура  $P$ , а горизонталям - вершины контура  $Q$ . Точка на пересечении вертикали  $i$  и горизонтали  $j$  соответствует паре  $(p^i, q^j)$ . Обозначим эту точку как  $(i, j)$ . Согласно Условию 1, при трансформации каждая из вершин контура  $P$  должна перейти хотя бы в одну из вершин контура  $Q$  и наоборот: в каждую из вершин контура  $Q$  должна перейти хотя бы одна из вершин контура  $P$ . Кроме того, пара  $(p^i, q^j)$  принадлежит некоей трансформации  $S$ , если либо  $(p^{i-1}, q^j)$ , либо  $(p^i, q^{j-1})$ , либо  $(p^{i-1}, q^{j-1})$  принадлежит  $S$  (Условие 3). С учетом Условия 2 трансформацию  $S$  можно представить в виде пути на графе, начинающегося в точке  $(0,0)$  и заканчивающегося в точке  $(m+1, n+1)$  (так как  $p^{m+1} = p^0$ ,  $q^{n+1} = q^0$ ). На рис.3б приведен пример такого представления для трансформации, изображенной на рис.2.

Таким образом, задача о нахождении минимальной работы по преобразованию контура  $P$  с начальной вершиной  $p^0$  в контур  $Q$  с начальной вершиной  $q^0$  сводится к задаче о поиске кратчайшего пути на графе.

Минимальной работой по преобразованию контура  $P$  в контур  $Q$  назовем  $W_{\min}(P, Q) = \min \{ W_{\min}((P, p^0), (Q, q^0)) \mid p^0 \in P, q^0 \in Q \}$

## 2. Нормирование размеров

Величина работы зависит от линейных размеров контуров. Для того, чтобы мера различия была нечувствительна к линейным размерам, перед сравнением координаты вершин контура необходимо нормировать. При этом процедура нормирования не должна зависеть от положения контура в пространстве. Предлагается использовать нормирование по радиусу минимального круга, содержащего контур. Алгоритм построения такого круга сложности  $O(N \log N)$  был предложен в [4].

## ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА

Ниже приведены примеры использования предлагаемого метода: при распознавании произвольно расположенных символов алфавита (рис.4) и при распознавании инструментов по их силуэтам (рис.6). Изображение каждой фигуры сравнивалось с изображениями остальных фигур и последние упорядочивались по степени сходства.

На рис.5 приведены результаты сравнений для контуров символов 4, 5, 12 и 15 соответственно. В каждой из таблиц приведены контуры, наиболее похожие на исходный

(в смысле предложенной меры) и значения минимальной работы по их преобразованию в исходный контур.

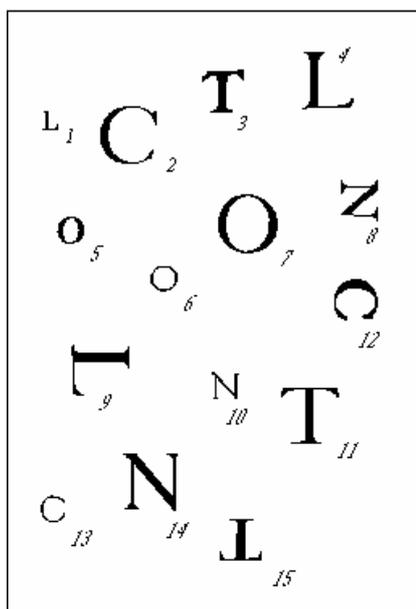


Рис.4

	36,8716875370372		31,768555234219		57,480230115535		39,8828403177803
	60,6900053876104		77,5869248732071		71,1184654587916		57,5813143963812
	66,902342835262		130,323683829352		74,5065050771582		72,490782480291
	104,333068673705		165,164786833945		91,9515175212869		79,9217846087399

Рис.5

На рис.7 приведены результаты сравнений для контуров силуэтов 1,2 и 8 соответственно.

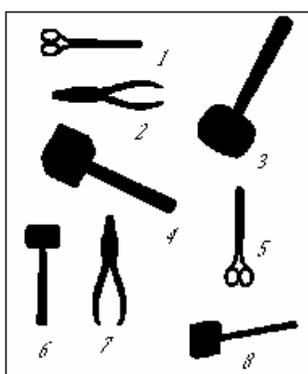


Рис.6

					
	74,9772719372241		97,9669195379748		121,22916085091
	128,105975151997		122,617688068656		124,201323747169
	128,348612978991		128,077820899045		154,451903373887
	216,532415769455		204,088325259957		246,436323946709

Рис.7

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод позволяет сравнивать изображения плоских фигур. Метод устойчив к изменению линейных размеров фигур и их положения в пространстве. По результатам проведенных экспериментов использование метода представляется достаточно эффективным. К недостаткам метода следует отнести относительно большие вычислительные затраты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Castleman K.* Digital image processing. Prentice Hall, 1995.
2. *Местецкий Л.М.* Непрерывный скелет бинарного растрового изображения. Труды межд. конф. "Графикон-98", Москва, 1998.
3. *T.W.Sederberg, E. Greenwood.* A physically based approach to 2-D shape blending. *Computer Graphics* 26(2), 25-34, 1992.
4. *Preparata F.P., Shamos M.I.* Computational geometry: An introduction. Springer, 1985.