

# СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА И МЕТРИКИ ХАУСДОРФА ПРИ СРАВНЕНИИ ОБЪЕКТА И ЭТАЛОНА

Р.В. Хмелев

Институт систем обработки изображений РАН  
Самарский государственный аэрокосмический университет

## Введение

Метрика Хаусдорфа для сравнения близости множеств (взаимное отклонение множеств друг от друга) используется в распознавании изображений не менее 10 лет [1, 2], и обычно применяется при сравнении бинарных контурных изображений. При этом контурные точки одного изображения привязываются к ближайшим контурным точкам другого с помощью преобразования расстояния [3, 4, 5].

В различных реализациях алгоритма сравнения контурных изображений точки контура рассматриваются как элементы множеств, изолированные и независимые друг от друга, хотя на самом деле они связаны друг с другом, а сам контур в целом обладает некоторой структурой.

В данной работе представлена модификация базового алгоритма сравнения контурных изображений по метрике Хаусдорфа, учитывающего направление обхода контура, и допускающая привязку контурных точек одного множества только к близким по направлению обхода контурным точкам другого множества. Также представлена схема применения метрики Хаусдорфа в структурном анализе.

## 1. Модификация алгоритма сравнения объекта и эталона по метрике Хаусдорфа с учетом направления обхода контура

В чем проявляется разница в привязке точек с учетом и без учета направления обхода контура? Разберем на примере (рис. 1), как можно учесть направление обхода при привязке контурных точек.

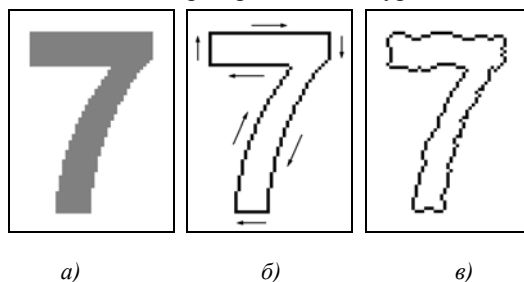


Рис. 1. а) Исходный бинарный образ эталона (цифра «7»). б) Соответствующая эталону контурная цепь и направление ее обхода. в) Контурная цепь объекта, с которым предстоит сравнить эталон

Свяжем два эталона (рис. 2, серый эталон привязывается к черному). На рис. 2а (без учета направлений) большинство точек оказалось привязанным к правой границе, а на рис. 2б – к границам с соответствующими направлениями обхода, что более адекватно характеризует смещение эталонов.

Рассмотрим, как технически производится разделение точек контура по направлениям обхода.

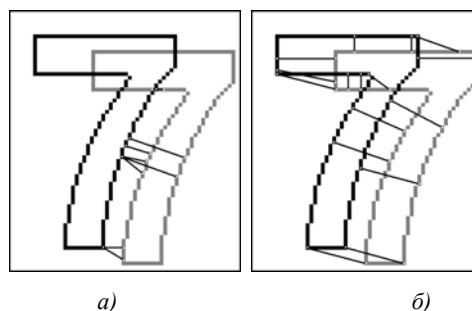


Рис. 2. Привязка точек одного множества (серые) к точкам другого множества (черные). а) Привязка к ближайшим точкам без учета направления обхода. б) Привязка к ближайшим точкам с близким направлением обхода.

Используется восемь направлений нормали к восьмисвязному контуру (рис. 3), значения нормалей задаются таблично для каждого допустимого двухшагового варианта перехода контурной цепи. Таблица состоит из 64 элементов, хотя некоторые пары переходов невозможны в восьмисвязном контуре. Если направление нормали промежуточное между одним из возможных восьми, то оно преобразуется к одному из этих восьми направлений, причем предпочтение отдается направлению, параллельному оси абсцисс или ординат, а не диагональному (рис. 3б, г). Ниже представлены примеры пар переходов и поставленные им в соответствие направления нормалей.

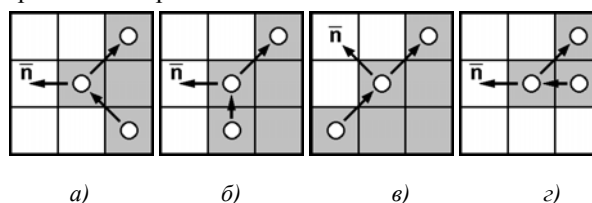


Рис. 3. Примеры переходов контурной цепи и поставленные им в соответствие направления нормалей

На рис. 4 представлено разделение контура эталона цифры «7» по направлениям нормалей, найденных таким образом.

Теперь нужно найти направления нормалей для контура объекта и установить привязку контуров эталона к соответствующим контурам объекта. Однако контур объекта неидеальный, и нельзя надеяться, что для каждой точки контура эталона найдется близкая точка контура объекта с точно такой же ориентацией нормали. Поэтому допускается привязка не только к контурам с тем же направлением нормали, но и с двумя другими ближайшими направлениями (рис. 5). При привязке контуров этало-

на к контурам объекта черные точки каждой картинке рис. 4 привязываются к ближайшим черным точкам соответствующих картинок рис. 5.

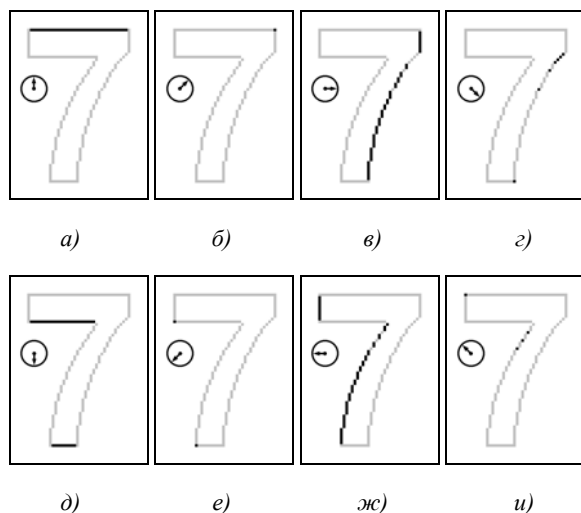


Рис. 4. Разделение контурных точек эталона по направлению нормали. На каждой картинке черным помечены точки контура, для которых нормаль к направлению обхода считается ориентированной в направлении, задаваемом вектором в кружке

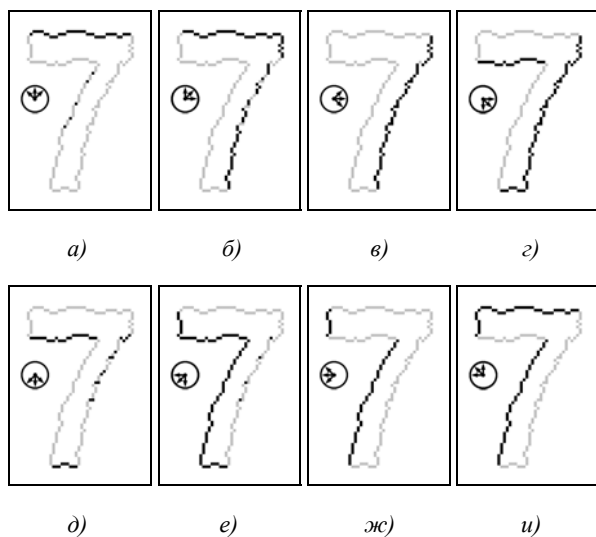


Рис. 5. На каждой картинке черным помечены точки, у которых нормали к направлению обхода контура ориентированы по одному из трех соседних направлений

Учет направления обхода контура практически всегда хорошо подходит для подсчета отклонений эталона от объекта, однако не всегда столь же хорошо для подсчета отклонений объекта от эталона. Связано это с тем, что при сильной изломанности контура объекта возможны локальные аномалии направления (рис. 6).

При этом локально сохраняется достаточно точек с подходящими направлениями для привязки эталона к объекту, но при привязке объекта к эталону аномалии объектного контура привязываются к далеким фрагментам контура эталона, что, в случае

большого количества аномалий, делает большим суммарное отклонение объекта от эталона.



Рис. 6. Объект с изломанным контуром. Черным помечены точки с аномальной ориентацией направления обхода

Поэтому может оказаться, что лучше использовать комбинированный способ подсчета взаимных отклонений множеств: эталон к объекту привязывается с учетом направления обхода контуров, а объект к эталону – без учета, как в базовом алгоритме.

## 2. Схема сравнения объекта и эталона по взаимному структурному отклонению

Использование направления обхода контура при подсчете взаимных отклонений объекта и эталона – это учет структуры контура на элементарном уровне. Данный подход породил идею использовать взаимное отклонение объекта и эталона при структурном анализе, что позволяло бы делать выводы о сходстве при неполном структурном совпадении.

Вкратце, опишем схему сравнения объекта и эталона по взаимному структурному отклонению. Пусть есть объект и набор эталонов, с которыми его предстоит сравнить. И объект, и эталоны представлены как наборы неких абстрактных структурных элементов (далее просто «элементов»).

Нахождение структурного отклонения объекта от эталона в таком случае сводится к нахождению для каждого элемента объекта соответствующего ему элемента эталона. Для тех элементов объекта, которым не будет найдено соответствия, устанавливается некоторый штраф, а структурное отклонение определяется как сумма штрафов. Аналогично, отклонение эталона от объекта сводится к нахождению всех элементов эталона, для которых нет соответствующих элементов объекта, и суммы штрафов для этих элементов.

Суммарное взаимное структурное отклонение объекта и эталона определяется как некая комбинация штрафов несоответствий, в простейшем случае – сумма этих штрафов. В конечном итоге среди набора эталонов наиболее подходящим для данного объекта считается тот, для которого суммарное взаимное отклонение минимально. Если есть несколько эталонов с одинаковым взаимным структурным отклонением для данного объекта, то однозначное решение о самом подходящем эталоне принять невозможно.

В качестве примера применения взаимного структурного отклонения рассмотрим простые структурные эталоны – стилизованные цифры поч-

товых индексов (рис. 7), и объекты, не совпадающие ни с одним эталоном (рис. 8). И эталоны, и объекты состоят из горизонтальных, вертикальных и диагональные отрезков.

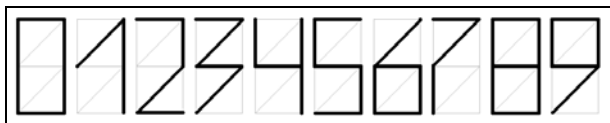
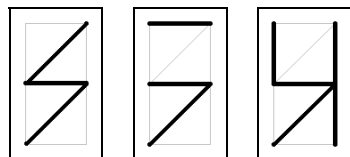


Рис. 7. Эталоны стилизованных цифр почтовых индексов



а) б) в)

Рис. 8. Примеры объектов, не совпадающих ни с одним эталоном стилизованной цифры

Пусть для каждого элементарного отрезка при нахождении соответствия устанавливается штраф величиной 1. Обозначим сумму штрафов несоответствия элементов объекта элементам эталона  $S_o$ , сумму штрафов несоответствия элементов эталона элементам объекта –  $S_s$ , суммарный штраф –  $S$ .

Попробуем найти для объектов рис. 8 наиболее подходящие эталоны по минимуму суммарного штрафа.

а) Самый похожий эталон – цифра 3:

$$S_o(3) = 0, S_s(3) = 1, S(3) = 1.$$

Ближайшие конкуренты – цифры 6, 7, 9:

$$S_o(6) = 1, S_s(6) = 3, S(6) = 4.$$

$$S_o(7) = 2, S_s(7) = 2, S(7) = 4.$$

$$S_o(9) = 1, S_s(9) = 3, S(9) = 4.$$

б) Самый похожий эталон – цифра 3:

$$S_o(3) = 0, S_s(3) = 1, S(3) = 1.$$

Ближайший конкурент – цифра 9:

$$S_o(9) = 0, S_s(9) = 2, S(9) = 2.$$

в) Самый похожий эталон – цифра 4:

$$S_o(4) = 1, S_s(4) = 0, S(4) = 1.$$

Ближайший конкурент – цифра 9:

$$S_o(9) = 1, S_s(9) = 1, S(9) = 2.$$

Таким образом, использование взаимного структурного отклонения позволяет находить наиболее правдоподобные эталоны для данных объектов.

В общем случае штрафная система может быть гораздо более нетривиальной, зависящей от важности конкретных структурных элементов, а также от характера структурных искажений. Например, может быть заранее известно, что у распознаваемых объектов преобладают искажения типа отсутствия

структурных элементов, тогда предпочтительными будут эталоны, для которых минимально структурное отклонение объекта от эталона. Т.е., для всех присутствующих элементов объекта желательно найти соответствующие структурные элементы эталона, а то, что не для всех элементов эталона будут найдены соответствующие элементы объекта – не так важно.

Аналогично, при преобладании искажений типа появления у распознаваемых объектов лишних структурных элементов предпочтительными будут эталоны с минимальным структурным отклонением эталона от объекта.

### Заключение

Модификация алгоритма сравнения объекта и эталона с учетом направления обхода контуров успешно применялась в задаче распознавания номеров железнодорожных цистерн [6].

Что касается применения метрики Хаусдорфа в структурном анализе, то, хотя реальные примеры применения автору и не известны, сам подход представляется весьма перспективным.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке российско-американской программы "Фундаментальные исследования и высшее образование" (BRHE), грантов Президента России № НШ-1007.2003.01 и Российского фонда фундаментальных исследований № 04-07-96500.

### Литература

1. Huttenlocher D.P., Klauderman G.A., Rucklidge W.J. Comparing images using the Hausdorff-distance // IEEE Transactions on pattern Analysis and machine Intelligence, 1993. Vol. 15. P. 850-863.
2. Казанский Н.Л., Хмелев Р.В. Сравнение объекта и эталона по отклонению контуров // Компьютерная оптика, 2000. № 20. с. 134-139.
3. Mauch S. A Fast Algorithm for Computing the Closest Point and Distance Transform // Technical report at <http://www-cgri.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/cg-projects/98/normand/main.html>, 2000.
4. Felzenszwalb P.F., Huttenlocher D.P. Distance Transforms of Sampled Functions // Cornell Computing and Information Science Technical Report TR2004-1963, 2004.
5. Казанский Н.Л., Мясников В.В., Хмелев Р.В. Алгоритмы поиска расстояний до объектных пикселей на бинарных изображениях // Компьютерная оптика № 20, 2000. с. 128-133.
6. Волотовский С.В., Казанский Н.Л., Попов С.Б., Хмелев Р.В. Система технического зрения для распознавания номеров железнодорожных цистерн с использованием модифицированного коррелятора в метрике Хаусдорфа. // Компьютерная оптика, 2005. № 27