Оптимизация точного алгоритма определения зеркальной симметрии бинарных растровых изображений

Федотова Софья Антоновна

Студент

Тульский государственный университет, Тула, Россия

E-mail: fedotova.sonya@gmail.com

При анализе форм различных фигур на бинарных изображениях можно заметить, что многим из них присуща зеркальная (осевая) симметрия. Она характерна как для объектов искусственного, так и природного происхождения. Вычисление симметрии может применяться для решения многих задач, таких как анализ условий произрастания растений или обнаружения опухолей в медицинской обработке изображений.

Известен ряд методов быстрого приближенного поиска оси зеркальной симметрии на бинарных изображениях, например, на основе параметрического представления контура фигуры [1], вычисления функции поворота контура [2], сравнения подцепочек скелетных примитивов [3]. Для оценки и сравнения результатов работы этих методов необходимо иметь точную процедуру, которая позволит вычислять эталонную ось симметрии, а также меру симметричности изображения за приемлемое время.

Мера симметрии. В качестве математической основы такой процедуры предлагается использовать подобие Танимото — теоретико-множественное выражение, имеющее вид:

$$\mu_T(B) = \frac{|S(B) \cap S(B_r)|}{|S(B) \cup S(B_r)|}, \qquad (1)$$

где B — бинарное изображение, яркость черных пикселей которого обозначим 1, белых — 0; B_r — изображение, полученное отражением бинарного изображения B относительно прямой, $S(B)$ — множество пикселей изображения B, яркость которых равна 1. Очевидно, $\mu_T(B)$ обладает основными «хорошими» свойствами меры: $0 \leq \mu_T(B) \leq 1$, причем $\mu_T(B) = 1$, если B — идеально симметрично, и $\mu_T(B) = 0$, если B и B_r не пересекаются.

Предположим, что на плоскости изображения проведена некоторая прямая, разбивающая его пиксели на два множества точек. Отражая точки первого множества (от порядка выбора множеств результат не зависит) с яркостью 1 при помощи аффинных преобразований относительно выбранной оси и сравнивая яркости каждой соответствующей точки второго и отраженного множеств, можно подсчитать их пересечение и объединение: если совмещаются черные точки, то пересечение и объединение увеличиваются на единицу; если совмещаемые точки имеют разные значения (т.е. 0 и 1), то объединение увеличивается на единицу. Мерой же будет являться отношение пересечения к объединению данных множеств, то есть подобие Танимото.

Было разработано три варианта алгоритма:

1. **Перебор всех возможных линий, проходящих через фигуру.** Очевидно, что ось симметрии хотя бы дважды будет пересекать контур объекта, поэтому имеет смысл попарно рассматривать только точки контура фигуры, которые можно представить как последовательность. В результате работы алгоритма будут рассмотрены все возможные линии, пересекающие фигуру. Осью приближенной симметрии фигуры будет та из них, относительно которой получается максимальная мера симметричности.
2. **Построение линий через окрестности точек, делящих контур на полупериметры.** Очевидно, что ось симметрии делит идеально зеркально-симметричную фигуру пополам, а почти симметричную приблизительно пополам. Поэтому длины контуров каждой половины будут примерно равны. Следовательно, необходимо перебрать все линии, разбивающие контур на две почти равные части, то есть проходящие через некоторую окрестность точек ε, делящих контур на полупериметры.
3. **Перебор линий, находящихся в окрестности центра масс фигуры.** Известно, что ось идеальной симметрии обязательно проходит через центр масс фигуры. Можно предположить, что ось приближенной симметрии пройдет не точно через центр масс, а в некоторой его окрестности ε (см. рис. 1). Тогда достаточно перебрать все линии-кандидаты в искомую ось симметрии, которые находятся на некотором заранее заданном расстоянии от центра масс, то есть пересекают окружность с заранее заданным радиусом ε, центром которой является центр масс.

Второй и третий методы являются оптимизированными вариантами первого метода, основанного на полном переборе и имеющего большую вычислительную сложность, зависящую от количества точек в контуре N как $O\left(N(N-1)/2\right)$. Сложность алгоритма с оптимизацией по полупериметрам равна $O\left(N \cdot \varepsilon\right)$. Точную оценку сложности третьего алгоритма привести затруднительно, так как она зависит от расположения центра масс, которое, в свою очередь, зависит от формы фигуры. Для оценки времени работы второго и третьего методов при разных ε были проведены экспериментальные исследования.

Иллюстрации

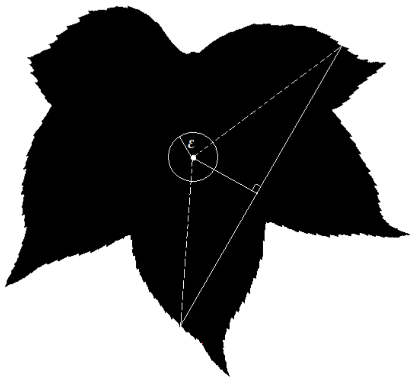

Рис. 1. Идея оптимизации полного поиска оси симметрии с учетом центра масс: линия-кандидат не проходит через ε-окрестность вокруг центра масс и не будет задействована в вычислениях

Литература

1. P. J. van Otterloo. A Contour-Oriented Approach to Digital Shape Analysis // PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, 1988.
2. Sheynin S., Tuzikov A., Volgin D. Computation of Symmetry Measures for Polygonal Shapes // Computer Analysis of Images and Patterns. Springer Berlin Heidelberg, 1999. P. 183–190.
3. Кушнир О. А., Середин О. С. Определение зеркальной симметрии фигур на основе цепочек скелетных примитивов // Математические методы распо-знавания образов: Тезисы докладов 17-й Всероссийской конференции с международным участием, г. Светлогорск, 2015 г. М.: Торус Пресс, 2015. С.180–181.