

УДК 681.3.01 : 519.67

А. А. Демидов, А. Д. Ковтун, Ю. М. Макаров, Л. Б. Садунова,
Л. А. Толстикова
(Москва)

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ
КОНТУРА ОБЪЕКТА НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Описан алгоритм автоматического прослеживания контуров по продифференцированному изображению. Предложено тестовое изображение для исследования этого алгоритма. Приведен пример прослеживания контура объекта на рентгеновском снимке.

Одной из основных проблем анализа изображений является разработка эффективных алгоритмов выделения контуров объектов. При этом контуры должны быть представлены в виде линий или массивов точек, соответствующих этим линиям.

Обычно контуры получают путем дифференцирования исходного изображения и последующей пороговой обработки с использованием операций утончения контуров и устранения разрывов [1].

В предлагаемой работе описан алгоритм, который позволяет получать контуры в виде тонких линий прямо из продифференцированного изображения. Алгоритм разработан для получения информации о размерах сферических объектов по их полутоновым изображениям.

Обработка изображений состоит при этом из трех основных этапов: фотометрирования, дифференцирования и прослеживания контуров. В результате дифференцирования изображение приобретает вид «хребтовой» функции. Положение «хребта» соответствует максимальным градиентам яркости на исходном изображении, которые характеризуют границу объекта [2].

В зависимости от степени зашумленности изображений могут применяться операторы дифференцирования с различными окнами: чем больше окно, тем большим сглаживающим эффектом обладает оператор [1].

Дальнейшая обработка заключается в автоматическом прослеживании контуров по продифференцированному изображению, т. е. в получении контурной линии в виде массива контурных точек. Прослеживание контура желательно проводить в интерактивном режиме для того, чтобы в случае сбоя, например, из-за дефекта изображения оператор мог остановить построение контура, обойти дефект и снова включить автоматический режим.

Исходная точка для обработки задается оператором на контуре или в непосредственной близости от него. Нахождение второй и последующих точек производится в автоматическом режиме следующим образом. Анализируется окрестность радиусом R около исходной точки (рис. 1, где 1—5 — точки контура):

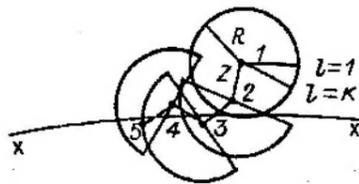


Рис. 1

$$R = MH,$$

где H — шаг дискретизации изображения, M — целое число.

Анализ проводится по k направлениям. Для каждого направления вычисляется сумма

$$S_l = \sum_{ij}^M b_{ij},$$

где b_{ij} — элементы продифференцированного изображения в направлении l , $l = 1, k$.

За вторую точку принимается точка, отстоящая от первой на расстоянии Z вдоль того луча, где сумма S_l максимальна:

$$Z = nH,$$

где n — вещественное число.

Для нахождения третьей и последующих точек, чтобы исключить «возврат» назад, необходимо анализировать не всю окрестность точки, а только ее часть (см. рис. 1). В результате вычисления нескольких первых точек контур выводится на «хребет» (X), поэтому эти точки следует отбрасывать. Прослеживание контура прекращается при замыкании контура (если контур должен быть замкнут) или по команде оператора.

При отклонении точек с вершин «хребта» алгоритм «возвращает» их снова на «хребет», поскольку луч l , где сумма S_l максимальна, всегда направлен в сторону «хребта». Очевидно, что чем больше радиус анализируемой окрестности R , определяемый параметром M , тем устойчивей работа алгоритма. Однако параметр M не должен быть слишком большим, так как при его увеличении ухудшается качество выделения мелких деталей на границе объекта.

Исследование устойчивости и точности прослеживания контуров проводилось на специально сформированном бинарном тестовом изображении (рис. 2), идеальный контур которого в полярной системе координат описывается выражением

$$r(\varphi) = R_0 + A \sin(N\varphi), \quad (1)$$

где R_0 — средний радиус объекта, A — амплитуда гармоники, N — частота гармоники, $0 \leq \varphi \leq 2\pi$.

Элементы этого изображения равны:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } R_i \leq r, \\ 0 & \text{при } R_i > r, \end{cases}$$

где

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$$

(x_0, y_0 — координаты центра изображения; x_i, y_i — текущие координаты изображения).

Параметры алгоритма прослеживания контуров по продифференцированным изображениям в этих исследованиях были взяты равными:

$$R = 4 * H, \quad Z = 1 * H, \quad k = 32.$$

Для того чтобы выяснить, насколько полученный массив контурных точек близок к заданному контуру, контурные точки аппроксимируются по методу наименьших квадратов функцией вида

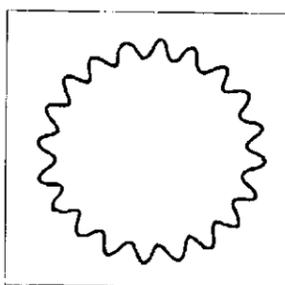


Рис. 2

(1). При этом частота N считается постоянной (ее значение всегда воспроизводится при прослеживании контура). В результате аппроксимации вычисляются средний радиус объекта RA и амплитуда гармоники AA . Величина $P(N) = AA/A$ характеризует воспроизводимость деталей контура объекта при его прослеживании.

Величины RA и $P(N)$ были вычислены для двух типов дифференциальных операторов, применяемых для получения «хребтовой» функции. Каждый дифференциальный оператор представляет собой сумму сверток исходного изображения с различными градиентными масками:

$$b_{ij} = \sum_{q=1}^m H_q * a_{ij},$$

где a_{ij} — элемент исходного изображения, b_{ij} — элемент нового изображения, H_q — градиентная маска, выделяющая q -е направление на изображении, m — число градиентных масок.

Для оператора с окном 2×2 градиентные маски имеют вид

$$H_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}, \quad H_2 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix}.$$

Оператору с окном 6×6 соответствуют следующие градиентные маски:

$$H_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix},$$

$$H_3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_4 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix},$$

$$H_5 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_6 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \end{vmatrix},$$

$$H_7 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 \end{vmatrix}, \quad H_8 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{vmatrix}.$$

Результаты расчетов для теста с $RO = 20$ и $A = 2$ приведены в таблице.

Из таблицы видно, что радиус теста RO воспроизводится хорошо при всех частотах гармоник для обоих операторов дифференцирования. Амплитуда гармоники теста A воспроизводится при прослеживании контура хуже, так как «заваливаются» высокочастотные детали контура: его вершины и впадины.

Дифференциальный оператор с окном 6×6 , обладая сильным сглаживающим эффектом, передает высокочастотные детали контура хуже, чем оператор с окном 2×2 .

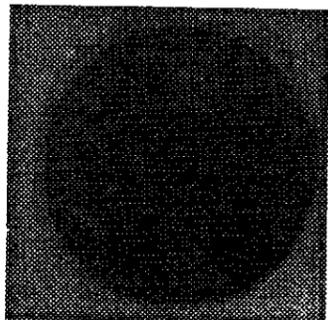


Рис. 3

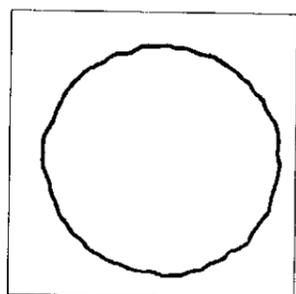


Рис. 4

Оператор дифференцирования с окном 2 × 2			Оператор дифференцирования с окном 6 × 6		
N	RA	P(N)	N	RA	P(N)
10	20,01	0,856	10	19,92	0,751
15	20,06	0,817	15	19,98	0,612
20	19,97	0,781	20	19,96	0,449
25	19,95	0,736	28	20,03	0,166

В качестве иллюстрации применения алгоритма рассмотрим обработку рентгеновского изображения тест-объекта, проекцией которого на плоскость является круг диаметром 39,86 мм (рис. 3). Шаг дискретизации при фотометрировании выбирается равным апертуре микроденситометра. Для сокращения времени обработки полученный массив сжимался до размерности 125 × 125 путем усреднения соседних элементов. Дифференцирование этого изображения проводилось с помощью оператора с окном 2 × 2 элемента. На рис. 4 приведен контур объекта, выделенный по продифференцированному изображению.

Параметры оператора отслеживания контура равны: $M = 4$, $Z = H$, $k = 32$.

Вычисленные контурные точки аппроксимировались окружностью методом наименьших квадратов. Радиус окружности аппроксимации равен 19,91 мм. Среднеквадратичное отклонение контурных точек от аппроксимирующей окружности равно 0,16 мм.

Таким образом, описанный алгоритм отслеживания контуров эффективно может быть использован на достаточно простых рентгеновских изображениях. Линии треков и осциллограмм можно отслеживать прямо по исходным изображениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакут П. А., Колмогоров Г. С. Сегментация изображений: методы выделения границ областей // Зарубеж. радиоэлектрон.—1987.—№ 10.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.—М.: Мир, 1982.

Поступила в редакцию 2 февраля 1990 г.