

УДК 681.332 : 778.38

**И. И. Бессарабов***(Ростов-на-Дону)***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ  
КОНТУРОВ С ЦЕЛЬЮ ОПИСАНИЯ ОБЪЕКТОВ  
НА ИЗОБРАЖЕНИИ В ТЕРМИНАХ ОТРЕЗКОВ**

Представлен алгоритм последовательного преобразования изображения из яркостной формы в признаковую на основе ориентационной сегментации контуров. В качестве искоемых признаков рассматриваются прямолинейные отрезки. Алгоритм состоит из трех шагов: операции векторного суммирования направлений градиентов в локальном рецептивном поле; логического суммирования смещенных бинарных изображений, содержащих элементы с заданным направлением градиента; выделения признаков на каждом бинарном изображении с использованием стандартных методов.

**Введение.** Для задач технического зрения одним из наиболее важных процессов при обработке изображений является процесс перехода от яркостного к признаковому или сегментированному представлению. При этом особая роль отводится операции выделения контуров с использованием масочных дифференциальных операторов, т. е. уже на самом нижнем уровне обработки в системе технического зрения возникает задача определения значимости яркостных перепадов [1]. Существующие методы сегментации контуров предъявляют высокие требования к качеству градиентного препарата и чувствительны к локальным шумам [2]. С целью получения удовлетворительных градиентных препаратов применяются различные методы предварительной яркостной предобработки [3], которые состоят в сглаживании локальных шумов и повышении контрастности перепадов яркости. Тем не менее на градиентных препаратах, полученных после предобработки и дифференцирования, наблюдаются разрывы контуров и расслоение направлений градиентов яркости, что усложняет анализ изображения [4].

В данной работе описан алгоритм ориентационной сегментации контуров, предназначенный для обработки градиентного препарата изображения с целью представления объектов в виде совокупности отрезков или первичных признаков. Алгоритм состоит из трех шагов.

На первом шаге используется метод векторного суммирования направлений градиентов в локальном рецептивном поле. В качестве критерия информативности контура, проходящего через данное рецептивное поле, используется значение модуля векторной суммы направлений градиентов, представленных в этом поле.

Второй шаг обеспечивает заполнение разрывов между одинаково ориентированными участками контура. В его основе лежит логическое суммирование смещенных изображений, содержащих элементы с заданным направлением градиента. При этом смещения производятся в направлении, перпендикулярном заданному направлению градиента.

На третьем шаге анализируются полученные сегменты с использованием стандартных методов обработки бинарных изображений и описывается изображение в терминах отрезков.

Использование предлагаемого алгоритма в реальной системе не предполагает в общем случае применение методов яркостной предобработки, так как векторное суммирование направлений градиентов в локальном поле обладает свойствами сглаживания контуров.

В частности, известно, что точечные шумы образуют на градиентном изображении области, содержащие противоположные ориентации, модуль векторной суммы которых близок к нулю [4]. С другой стороны, высокое значение модуля суммарного вектора для полей, содержащих близкие ориентации, позволяет частично сгладить разрывы контуров [5].

**Оператор векторного суммирования направлений градиентов в локальном рецептивном поле.** Пусть задано изображение (рис. 1, *a*) в виде массива яркостей  $S$  размером  $n \times m$  с элементами  $s(i, j), i = 0, \dots, n, j = 0, \dots, m$ . Применим к яркостному массиву  $S$  один из операторов пространственного дифференцирования с маской размером  $v \times v$  и получим значения компонентов градиента яркости для каждой точки:  $dx(i, j)$  и  $dy(i, j)$ . Зададим  $k$  – число

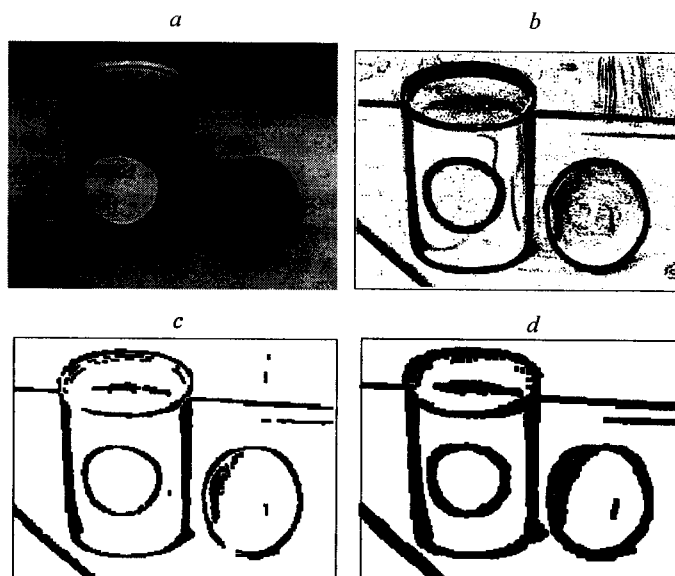


Рис. 1. Последовательность обработки изображения: исходное изображение (*a*), градиентное изображение (*b*), градиентное изображение после применения оператора векторного суммирования в локальных рецептивных полях (*c*), градиентное изображение после применения оператора логического суммирования смещенных изображений на каждом из ориентационных слоев (*d*)

квантов ориентаций и угловой шаг квантования  $Q = 2\pi/k$ . Определим направление градиента яркости в каждой точке через квант ориентации

$$g(i, j) = \begin{cases} 0, & \sqrt{dx(i, j)^2 + dy(i, j)^2} = 0; \\ 1 + R_d^Q, & \sqrt{dx(i, j)^2 + dy(i, j)^2} > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $R_d^Q = E(\arg \operatorname{ctg}(dy(i, j)/dx(i, j))/Q)$ ;  $E$  – целочисленная функция.

Таким образом, получим препарат изображения  $G$  (рис. 1, *b*), каждый элемент  $g(i, j)$  которого содержит значение кванта ориентации от 1 до  $k + 1$  или 0. Полученные значения  $dx(i, j)$  и  $dy(i, j)$  в каждой точке в дальнейшем не используются. Для векторного представления направлений градиентов зададим каждый квант ориентации в векторной форме с учетом углового шага квантования:

$$\begin{aligned} x(l+1) &= d \cos(Ql), \\ y(l+1) &= d \sin(Ql), \\ x(0) &= 0, \\ y(0) &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $l = 0, \dots, k$ ;  $d = \operatorname{const} > 0$ .

Для анализа устойчивости ориентации в заданном рецептивном поле размером  $w \times w$  градиентного препарата зададим оператор векторного суммирования направлений градиентов

$$\begin{aligned} gx(i, j) &= \sum_{t=-w/2}^{w/2} \sum_{s=-w/2}^{w/2} x(g(i+t, j+s)), \\ gy(i, j) &= \sum_{t=-w/2}^{w/2} \sum_{s=-w/2}^{w/2} y(g(i+t, j+s)), \quad i = w/2, \dots, n/w, \quad j = w/2, \dots, m/w. \end{aligned} \quad (3)$$

В результате получим ориентационный препарат  $GS$ , для которого

$$gs(i, j) = \begin{cases} 0, & \sqrt{gx(i, j)^2 + gy(i, j)^2} \leq \operatorname{th}; \\ 1 + R_g^Q, & \sqrt{gx(i, j)^2 + gy(i, j)^2} > \operatorname{th}, \end{cases} \quad (4)$$

где  $R_g^Q = E(\arg \operatorname{ctg}(gy(i, j)/gx(i, j))/Q)$ .

Порог  $\operatorname{th}$  зададим для каждой ориентации в зависимости от размеров рецептивного поля и размера маски дифференциального оператора:

$$\operatorname{th} = wv \sqrt{x(l+1)^2 + y(l+1)^2}, \quad l = 0, \dots, k + 1. \quad (5)$$

Препарат  $GS$  (рис. 1, *c*) будет содержать ориентации только в тех рецептивных полях, в окрестности которых находятся одинаковые или соседние направления градиентов яркости. Если локальное поле содержит широкий диапазон ориентаций, то результирующий вектор будет иметь низкое значе-

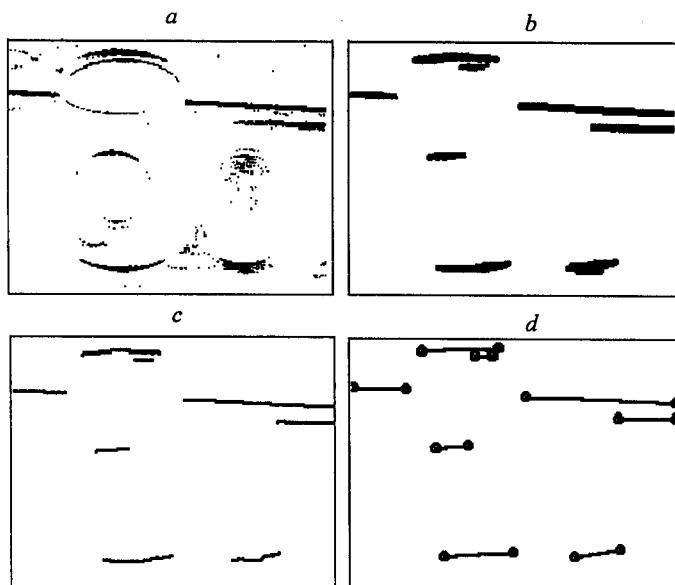


Рис. 2. Пример обработки на одном из ориентационных слоев: распределения заданной ориентации после дифференцирования (а), пример заданной ориентации после векторного суммирования направлений градиентов (b), пример ориентационного среза после скелетизации (с), обнаруженные признаки для заданной ориентации (d)

ние модуля. Таким образом, значимость перепада в данном рецептивном поле определяется через набор ориентаций, которые он содержит.

**Сегментация контура и выделение отрезков.** Для анализа отдельных ориентаций, как правило, используется разбиение градиентного изображения на набор бинарных изображений [4], ненулевые элементы которых являются точками, содержащими заданную ориентацию. Вследствие неравномерного распределения градиентных полей сегменты контура на таких изображениях представляют собой линии с разрывами, которые усложняют анализ. Для заполнения разрывов предлагается использовать оператор логического суммирования смещенных изображений, содержащих элементы с заданным направлением градиента. При этом смещения производятся в направлении, перпендикулярном заданному направлению градиента (рис. 1, d).

Пусть  $B$  – бинарное изображение, ненулевые элементы которого являются точками, содержащими заданную ориентацию  $L$  (рис. 2, a). Зададим направление смещения  $u = QL + \pi/2$ , шаг смещения  $d > 0$  и получим компоненты смещения

$$x = d\cos(u), \quad y = d\sin(u). \quad (6)$$

Суммируя соответствующие элементы, в результате получим изображение  $BS$  с элементами (рис. 2, b):

$$BS(i, j) = B(i, j) + B(i + x, j + y) + B(i - x, j - y). \quad (7)$$

Для дальнейшей обработки может быть использован широкий спектр методов, предназначенных для выделения признаков на бинарных изображениях [2]. В частности, использование методов скелетизации и отслеживания

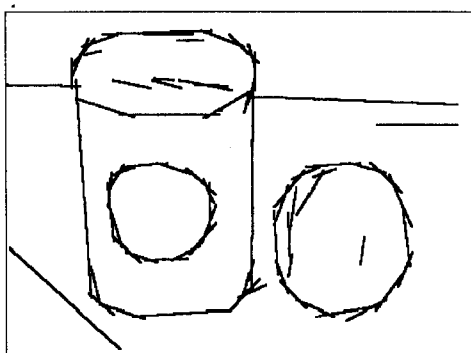


Рис. 3. Контурное изображение, восстановленное по признакам в виде отрезков

контуров отдельно для каждой ориентации позволяет представить сегменты контура в виде прямолинейных отрезков или первичных признаков (рис. 2, с, d). Таким образом, исходное контурное изображение может быть восстановлено в виде совокупности разноориентированных прямолинейных сегментов, которые могут интерпретироваться как элементы описания объекта (рис. 3).

**Заключение.** Предлагаемый в статье алгоритм ориентационной сегментации контуров и выделения признаков на изображении может использоваться в системах технического зрения для задач построения описания зрительных сцен. Особый интерес представляет целенаправленная обработка изображения с использованием оператора векторного суммирования градиентов яркости. Применение алгоритма в системе технического зрения позволяет: удалить яркостные перепады, ориентацию которых система не может однозначно определить; сегментировать контурный препарат на фрагменты с доминирующей ориентацией градиента яркости; построить описание объекта в терминах прямолинейных отрезков.

Практически метод не выходит за рамки обработки на нижнем уровне системы и может рассматриваться как дополнительная ступень в последовательности преобразований от яркостного представления к признаковому. При этом в силу локальности предлагаемый метод удобен для параллельной обработки и аппаратной реализации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Март Д.** Зрение. Информационный подход. М.: Радио и связь, 1987.
2. **Павлидис Т.** Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М.: Радио и связь, 1986.
3. **Фу К., Гонсалес Р., Ли К.** Робототехника. М.: Мир, 1989.
4. **Bessarabov I., Gavriley J., Samarin A.** Visual perception and selective image analysis: Proc. of the 2nd Intern. Symp. on Neuroinformatics and Neurocomputers. Rostov-on-Don, Russia, Sept. 20–23, 1995. P. 46.
5. **Bessarabov I., Gavriley J., Samarin A., Livenko M.** Goal-oriented perception by an active vision system // Theoretical and Experimental Study of the Context Vision with Application to Robot Control Problems. Le Havre (France): Progress of Works, 1996. P. 22.