УДК 681.007.05

ИНТЕГРАЛЬНО - РАЗНОСТНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫДЕЛЕНИЯ КОНТУРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

д.т.н., проф. Е.П. Путятин, к.т.н. А.В. Липанов

Приведен алгоритм выделения контура объекта, основанный на анализе гистограммы изображения. Алгоритм прост в реализации и пригоден для использования в системах технического зрения, работающих в реальном масштабе времени.

Процесс слежения за движущимся объектом начинается с определения объекта, за которым должна следить система [1]. Оператор определяет указателем точку на объекте, которая является стартовой точкой для одного из алгоритмов сегментации, при помощи которого убирается фон вокруг объекта с целью определения размеров следящей рамки.

При решении задачи слежения целесообразно выделять контур объекта, что позволяет осуществлять накопление контуров и, следовательно, следить за динамикой объекта, определять размеры и формы рамок по контуру. При технической реализации систем слежения чаще всего используют рамки слежения квадратной или прямоугольной формы. Для выделения контуров объектов существуют различные алгоритмы, основанные на пространственном дифференцировании с использованием свертки.

В статье описывается разработанный интегрально–разностный алгоритм выделения контура объекта, в котором сначала определяется порог принадлежности точек к контуру, а затем происходит его выделение.

Введем общие обозначения и определения, необходимые для описания алгоритма. Сделаем предположение, что размеры области, с которой работает алгоритм, равны половинам линейных размеров поля зрения. Заметим, что в конкретной компьютерной модели автоматизированной системы слежения размер этой области составляет 128x128 точек (поле зрения 256x256). Это множество точек обозначим **D'**.

Определение 1. Окрестностью δ точки изображения **B(i, j)** будем называть множество точек, лежащих непосредственно вокруг точки **B(i,j)**. В частном случае окрестность δ имеет размер 3x3 точки. Запись $\delta(\overline{B}(i,j))$ понимаем как окрестность точки **B(i,j)**, исключая точку **B(i,j)**, $\delta(B(i,j))$ – окрестность **B(i,j)** вместе с точкой **B(i,j)**.

Точку целеуказания считаем стартовой точкой для алгоритма, а ее координаты – координатами центра объекта. В окрестности этой точки определяем среднюю яркость $\mathbf{C_0}$:

$$\mathbf{C_0(\delta(B(i,j)))=\frac{1}{card\,\delta(B(i,j))}\sum_{B_{i,j}\in\delta(B(i,j))}B(i,j)}\ , \qquad (1)$$

где $\mathbf{B(i,j)}$ – функция яркости изображения, $\mathbf{B(i,j)\in\ \delta(B(i,j))}$.

Пусть $\mathbf{K}$ – множество значений яркости изображения, $\mathbf{k=\overline{0,255}}$, $\mathbf{k\in K}$, $\mathbf{N_к}$ – количество точек яркости $\mathbf{k}$, определяемых по функции яркости $\mathbf{B(i,j)}$ в поле зрения $\mathbf{D'}$. Обозначим $\mathbf{N_{ср}}$ – количество точек, яркость которых равна значению $\mathbf{C_0}$ в поле зрения $\mathbf{D'}$.

Вводится функция количества точек $\mathbf{N_к}$ для каждой яркости $\mathbf{B(i,j)=k}$, т.е. гистограмма распределения яркостей точек изображения в рабочей области $\mathbf{D'}$ (рис. 1).

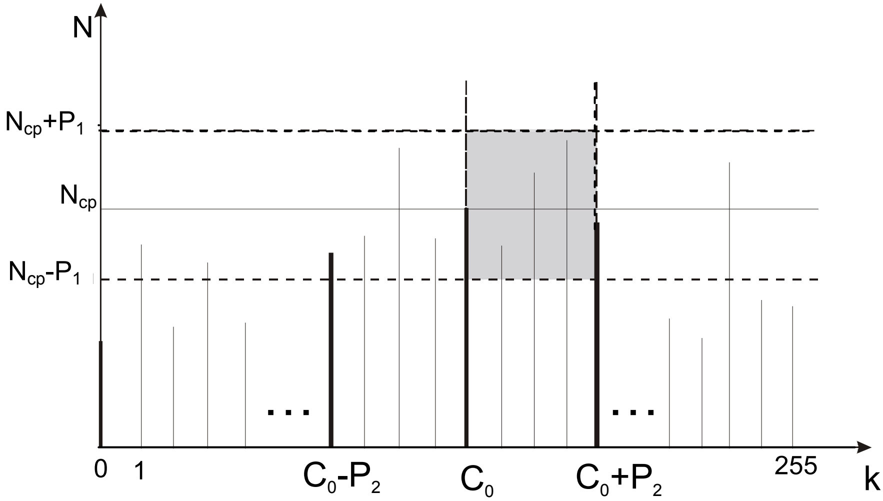

Рис. 1. Гистограмма распределения яркостей рабочей области

Определяем величину порога $\mathbf{T}$ принадлежности точек к контуру следующим образом:

$$\mathbf{T=\sum_{k=C_0}^{255}\left(T_0+1\ \middle|\ \left\{\left|N_k-N_{cp}\right|\geq P_1\cap\left|C_0-k\right|\leq P_2\right\}\right)}, \qquad (2)$$

где $\mathbf{T_0=0}$ в начале процедуры определения порога $\mathbf{T}$;

$\mathbf{N_к}$ - количество точек $\mathbf{k}$ - ой яркости;

$\mathbf{N_{ср}}$ - количество точек, яркость которых соответствует яркости $\mathbf{C_0}$;

$\mathbf{k}$ - текущая яркость;

$\mathbf{P_1>0}$, $\mathbf{P_2>0}$ - пороги, задаваемые в начале процедуры выделения контура.

При определении порога **T** просмотр диапазона яркостей начинается с величины $\mathbf{k = C_0}$, что позволяет убрать часть случайных помех, имеющих низкую яркость и способных оказать влияние на точность определения величины порога **T**. Порог **T** – это количество яркостей, превышающих значение $\mathbf{N_{cp}-P_1}$, попавших в закрашенную область на рис. 1.

Экспериментально установлено, что для СТЗ можно рекомендовать значение $\mathbf{P_1=64}$, $\mathbf{P_2=50}$. В общем случае величины порогов выбираются эмпирически, в зависимости от класса изображений, с которыми работает система слежения или на основе статистического анализа.

Множество **D'** содержит в себе три подмножества: подмножество точек объекта, подмножество точек контура объекта, подмножество точек фона (все точки, которые не вошли в первые два подмножества). Таким образом, множество точек контура может быть определено удалением из **D'** всех точек, относящихся к объекту и фону.

Введем множество $\mathbf{D^1}$, равномощное множеству **D'**, а его элемент $\mathbf{d^1(i,j)\in D^1}$ определим следующим образом:

$$\mathbf{d^1(i,j)} = \begin{cases} \mathbf{1}, & \left|\mathbf{B(i,j)-\overline{B}(m,n)}\right| < \mathbf{T}, \ \forall\, \mathbf{B(i,j)} \in \delta(\mathbf{\overline{B}(i,j)}); \\ \mathbf{0}, & \left|\mathbf{B(i,j)-\overline{B}(m,n)}\right| > \mathbf{T}, \ \forall\, \mathbf{B(i,j)} \in \delta(\mathbf{\overline{B}(i,j)}), \end{cases} \tag{3}$$

где $\mathbf{i=\overline{1,128}}$, $\mathbf{j=\overline{1,128}}$;

$\mathbf{\overline{B}(m,n)}$ – яркости точек окрестности $\delta(\mathbf{\overline{B}(i,j)})$;

$\mathbf{B(i,j)}$ – яркость центральной точки окрестности.

Индексы **m** и **n** пробегают по окрестности $\delta(\mathbf{\overline{B}(i,j)})$.

В множестве $\mathbf{D^1}$ элемент $\mathbf{d^1(i,\ j)=1}$ указывает на точку контура, а $\mathbf{d^1(i,\ j) = 0}$ – точки объекта, фона или помехи.

На рис. 2 приведено возможное расположение точек в окрестности $\delta(\mathbf{\overline{B}(i,j)})$ точки $\mathbf{B(i,j)}$.

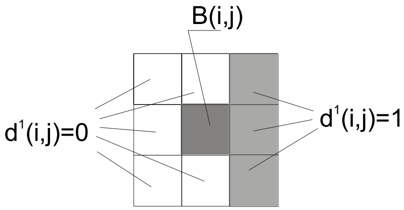

Рис. 2. Окрестность точки **B(i,j)**

Светло-серым цветом окрашены те точки, которые соответствуют $\mathbf{d^1(i,j)=1}$, белые $\mathbf{d^1(i,j)=0}$. Точка **B(i,j)** сравнивается с точками окрестности, а ей самой значение 0 или 1 на этом шаге не присваивается.

Такой метод формирования множества $\mathbf{D^1}$ позволяет выделить в множестве $\mathbf{D}$ группы точек с близкими значениями яркости. С другой стороны, случайные шумовые всплески и помехи будут удалены, поскольку они, как правило, имеют яркость, значительно отличающуюся от яркостей в точках окрестности $\delta(\overline{\mathbf{B}}(\mathbf{i,j}))$.

Введем множество $\mathbf{D^2}$, равномощное множеству $\mathbf{D'}$. Элемент $\mathbf{d^2(i,j)\in D^2}$ определим следующим образом:

$$\mathbf{d^2(i,j)=\begin{cases}1, & C_0-T<B(i,j)<C_0+T,\ \forall\ B(i,j);\\ 0, & B(i,j)\notin \left(C_0-T, C_0+T\right),\ \forall\, B(i,j),\end{cases}} \tag{4}$$

где $\mathbf{i=\overline{1,128},\ j=\overline{1,128}}$.

В множество $\mathbf{D^2}$ войдут те точки, яркости которых близки к яркости $\mathbf{C_0}$, в пределах порога $\mathbf{T}$.

Отличие в формировании множеств $\mathbf{D^1}$ и $\mathbf{D^2}$ состоит в том, что при отборе в первое множество попадают яркости точек окрестности $\delta(\overline{\mathbf{B}}(\mathbf{i,j}))$ в сравнении с яркостью $\mathbf{B(i,j)}$, а в множество $\mathbf{D^2}$ отбираются точки, яркость которых попадает в яркостный интервал $\mathbf{(C_0 - T,\ C_0 + T)}$. При этом анализируются все точки окрестности $\delta(\mathbf{B(i,j)})$, включая $\mathbf{B(i,j)}$.

Множество $\mathbf{D^1}$ уже содержит в себе указания на наличие точек контура. Если использовать только $\mathbf{D^1}$ для определения контура объекта, то во многих случаях его не удастся выделить правильно. При использовании только $\mathbf{D^1}$ для определения контура алгоритм становится слабо помехозащищенным и сильно зависит от того, какая точка объекта оказалась стартовой для него. Для устранения этого недостатка используем определенное ранее множество $\mathbf{D^2}$. Оно указывает на наличие точек объекта и фона $\mathbf{d^2(i,j) = 1}$, а также $\mathbf{d^2(i,j) = 0}$ – точки контура и помехи.

Множество $\mathbf{L}$ точек контура $\mathbf{l(i,\ j)}$ определим путем удаления точек из $\mathbf{D'}$ в соответствии со следующим условием:

$$l\mathbf{(i,j)}=\begin{cases}\mathbf{255,\ \ ((d^1(i,j)=1)\wedge(d^2(i,j)=0))\vee(d^1(i,j)=1)=1;}\\ \mathbf{B(i,j),\ \ ((d^1(i,j)=0)\wedge(d^2(i,j)=1))\vee(d^1(i,j)=0)=0,}\end{cases} \tag{5}$$

где $\mathbf{i=\overline{1,128},\ j=\overline{1,128}}$; $\mathbf{d^1(i,j)\in D^1}$; $\mathbf{d^2(i,j)\in D^2}$; $l\mathbf{(i,j)\in L}$.

Удалению точки соответствует присвоение ей кода 255 (белого цвета) при условии, что выражение $\mathbf{(d^1(i,j)\wedge d^2(i,j))\vee d^1(i,j)}$, для соответствующих элементов из $\mathbf{D^1}$ и $\mathbf{D^2}$ является равным 1. При формировании множества $\mathbf{L}$ при невыполнении условия остается точка с яркостью $\mathbf{B(i,j)}$. Для повышения четкости контура эту точку можно заменить точкой черного цвета. В другой интерпретации элементы из множеств $\mathbf{D^1}$ и $\mathbf{D^2}$, делающие выражение $\mathbf{(d^1(i,j)\wedge d^2(i,j))\vee d^1(i,j)}$ равным 1, указывают на точки, принадлежащие объекту или фону. Именно, им присваивается белый цвет. В этом условии предпочтение отдается точкам из множества $\mathbf{D}^1$, поскольку в этом множестве содержится объект и контур. Таким образом, в множестве **L** не белым цветом будут выделены точки контура, т.е. производится процедура выделения объекта и фона. Затем все эти точки забеливаются, и остается лишь контур – точки контура $\boldsymbol{l}(\mathbf{i},\mathbf{j}) = \mathbf{B}(\mathbf{i},\mathbf{j})$ или $\boldsymbol{l}(\mathbf{i},\mathbf{j}) = \mathbf{0}$ (0–код черного цвета). Множество **L** содержит контур объекта, т.е. является рамкой неправильной формы, чем достигается решение поставленной задачи – определение следящей рамки **S** в форме контура объекта.

Полученный контур **L** можно использовать для определения размеров прямоугольной рамки. Для этого осуществляется просмотр множества **L** слева - направо, справа - налево, сверху - вниз, снизу - вверх и определяются координаты первых точек, встречающихся на пути просмотра. Таким образом, определены начальные значения параметров следящей рамки **S: W** – ширина, **H** – высота рамки слежения. В процессе выделения контура могут остаться части фона, которые можно рассматривать как помехи. Наличие помех будет влиять на выбор размера следящей рамки, так как процедуры определения размера ошибочно могут принять их за некоторую часть объекта.

Описанный алгоритм дает хорошие результаты выделения контура объекта. Достоинством алгоритма является его простота, что позволяет повысить надежность системы слежения. Скорость работы алгоритма высокая, так как используются простейшие логические операции, что дает возможность использовать его в процессе слежения для периодического обновления контура в реальном времени и накопления контуров с целью их уточнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путятин Е.П., Липанов А.В., Прокопенко Д.О. Теоретические предпосылки слежения за протяженными объектами // Системы обработки информации. – Харьков : НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1998. – С. 80 - 84.

Поступила в редколлегию 13.09.2000