

МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ
ВЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ СКЕЛЕТИЗИРОВАННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

С. В. Абламейко

Результатом предварительной обработки бинарных изображений является скелетизированное изображение, где каждый объект имеет единичную ширину поперечного сечения. Следующим этапом структурного распознавания является вычисление характеристик и составление описания объектов изображения. Векторная модель скелетизированного изображения, предложенная в [1], предполагает, что любой связный компонент (объект) состоит из отрезков (сегментов). Для формирования векторной модели скелетизированного изображения необходимо каждый компонент разложить на отрезки и вычислить их характеристики. Одной из операций обработки скелетизированных изображений является дистанционное преобразование, отображающее исходное изображение объекта в изображение, в котором элементами являются величины расстояний от точки объекта до некоторой конечной точки того же объекта [2,3]. В зависимости от выбранной конечной точки различаются два вида дистанционных преобразований скелетных изображений: первое (ДП1) вычисляет расстояние до самой дальней конечной точки объекта, второе – до самой ближней (ДП2). Однако эти типы дистанционных преобразований не позволяют получить то описание изображения, которое требуется в векторной модели скелетизированного изображения. Кроме того, с их помощью невозможно описать замкнутые объекты, т.е. объекты, не содержащие конечных точек.

Исходя из этого, в данной работе для заполнения векторной модели скелетизированного изображения предлагается модифицированный вид дистанционного преобразования (ДПМ), особенностью которого является то, что расстояние от каждой точки объекта вычисляется не только до ближайшей конечной точки, но и до ближайшей точки ветвле-

ния. Отмечаются его особенности и возможности, проводится сравнительный анализ с двумя другими типами дистанционного преобразования. Рассматривается последовательная реализация предложенного дистанционного преобразования.

Пусть $x = \{x_{ij}\}$ - бинарное скелетное изображение. Окрестность элемента x_{ij} будем обозначать $S(i, j)$. Среди всевозможных окрестностей элемента x_{ij} выделим окрестность $S_4(i, j)$, состоящую из элементов x_1, x_3, x_5, x_7 , и окрестность $S_8(i, j)$, включающую в себя все элементы $x_i, i = 1, \dots, 8$ (см. рис. I).

x_4	x_3	x_2
x_5	x_{ij}	x_1
x_6	x_7	x_8

Следуя [2], введем логические функции:

$$A_4 = \sum_{k=1}^4 x_{2k-1}, \quad A_8 = \sum_{k=1}^8 x_k$$

- количество элементов соответственно в окрестностях $S_4(i, j), S_8(i, j)$;

Рис. I

$$C_8 = \sum_{k=1}^4 x_{2k-1} x_{2k} x_{2k+1} \quad (x_9 \equiv x_1)$$

- количество троек соседних единиц; $N_{C_4} = A_4 - C_8, N_{C_8} = A_8 - C_8$ - числа связности.

На основании чисел связности дается классификация точек объекта изображения:

$$N_{C_8} (N_{C_4}) = \begin{cases} 0 - \text{изолированная точка,} \\ 1 - \text{конечная точка,} \\ 2 - \text{связующая точка,} \\ 3 - \text{точка ветвления,} \\ 4 - \text{точка пересечения.} \end{cases}$$

Конечная точка, а также точки ветвления и пересечения называются особыми точками объекта.

Дадим теперь определение дистанционного преобразования скелетизированного изображения. Отображение $F = \{f_{ij}\}: X \rightarrow Y$, где $X = \{x_{ij}\}, Y = \{y_{ij}\}, y_{ij} = f_{ij}(\{x_{k1}\})$, называется операцией. Операции подразделяются на локальные и глобальные, итерационные и неитерационные, параллельные и последовательные [3]. Предлагаемое дистанционное преобразование может быть реализовано как параллельный или последовательный алгоритмы, который в обоих случаях является итерационным и локальным. При параллельной реализации дистанционное преобразование определяется соотношением $X^{(k)} = F(X^{(k-1)})$,

$k = 1, 2, \dots$, где операция F действует по правилу:

$$x_{ij}^{(k)} = \begin{cases} x_{ij}^{(k-1)} + 1, & \text{если } x_{ij}^{(k-1)} = k \text{ и условие } A \text{ не выполнено;} \\ x_{ij}^{(k-1)} - & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Условие A проверяется для бинарного изображения:

$$y_{ij}^{(k-1)} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_{ij}^{(k-1)} \geq k, \\ 0, & \text{если } x_{ij}^{(k-1)} < k, \end{cases}$$

которое строится по изображению $x^{(k-1)}$. В случае 4-связности условие A записывается в виде

$$\{N_{c_4}(y_{ij}^{(k-1)}) \leq 1\} \vee \{N_{c_4}(y_{ij}^{(k-1)}) \geq 3\}.$$

Соответственно для 8-связности условие A имеет вид

$$\{N_{c_8}(y_{ij}^{(k-1)}) = 1\} \vee \{N_{c_8}(y_{ij}^{(k-1)}) \geq 3\} \vee \{A_8(y_{ij}^{(k-1)}) = 0\}.$$

Момент останова дистанционного преобразования определяется условием $x^{(k-1)} = x^{(k)}$.

Следует отметить, что при реализации алгоритмов обработки изображений на обычных (не специализированных) ЭВМ последовательные алгоритмы часто оказываются более быстрыми, чем параллельные. Однако если параллельный алгоритм непосредственно следует из определения дистанционного преобразования, то последовательный алгоритм является более сложным.

Последовательная обработка изображений может вестись в режиме сканирования. Выделим четыре режима сканирования (рис.2) и для каждого из них определим окрестность (рис.3), элементы которой учитываются при определении значения центрального элемента окрестности (рассматривается случай 8-связности):

$$s^1(i, j) = \{(p, q) : (p, q) \in (S_8(i, j) \cap ((p < i) \cup (q < j, p = 1)))\},$$

$$s^2(i, j) = \{(p, q) : (p, q) \in (S_8(i, j) \cap ((p > i) \cup (q > j, p = 1)))\},$$

$$s^3(i, j) = \{(p, q) : (p, q) \in (S_8(i, j) \cap ((p < i, q = j) \cup (q < j)))\},$$

$$s^4(i, j) = \{(p, q) : (p, q) \in (S_8(i, j) \cap ((p > i, q = j) \cup (q > j)))\}.$$

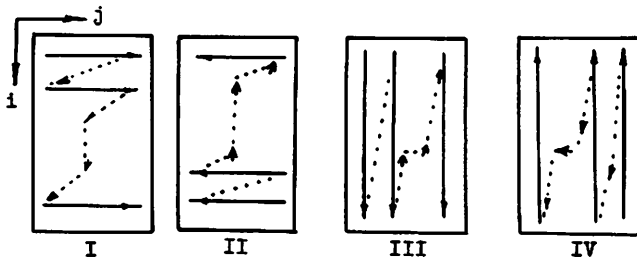


Рис.2

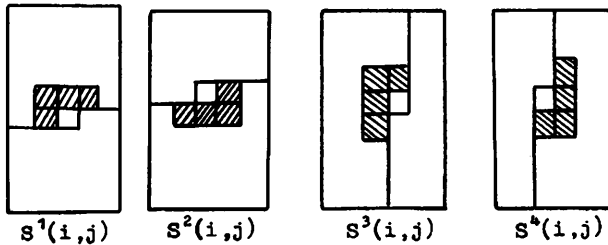


Рис.3

Последовательный алгоритм модифицированного дистанционного преобразования состоит из следующих этапов.

1. Инициализация. Исходное изображение X преобразуется в изображение $X^{(0)} = \{x_{ij}^{(0)}\}$, так что

$$x_{ij}^{(0)} = \begin{cases} N, & \text{если } N_{Cs}(x_{ij}) = 2 \text{ и } x_{ij} = 1; \\ 1, & \text{если } \{N_{Cs}(x_{ij}) = 1\} \vee \{N_{Cs}(x_{ij}) \geq 3\} \text{ и } x_{ij} = 1; \\ 0, & \text{если } x_{ij} = 0, \end{cases}$$

где N - достаточно большое положительное число.

2. Вычисляется последовательность изображений $X^{(k)}$, $k = 1, 2, \dots$, по правилу:

$$x_{ij}^{(k)} = \min \left\{ \min_{(p,q) \in S^m(i,j)} \{x_{pq}^{(k)} + 1\}, x_{ij}^{(k-1)} \right\},$$

$$k = 4l + m; m = 1, 2, 3, 4; l = 0, 1, \dots$$

причем вычисление $X^{(k)}$ ведется в режиме сканирования. Алгоритм заканчивает работу, если $X^{(k)} = X^{(k-4)}$. Пример работы алгоритма показан на рис.4.

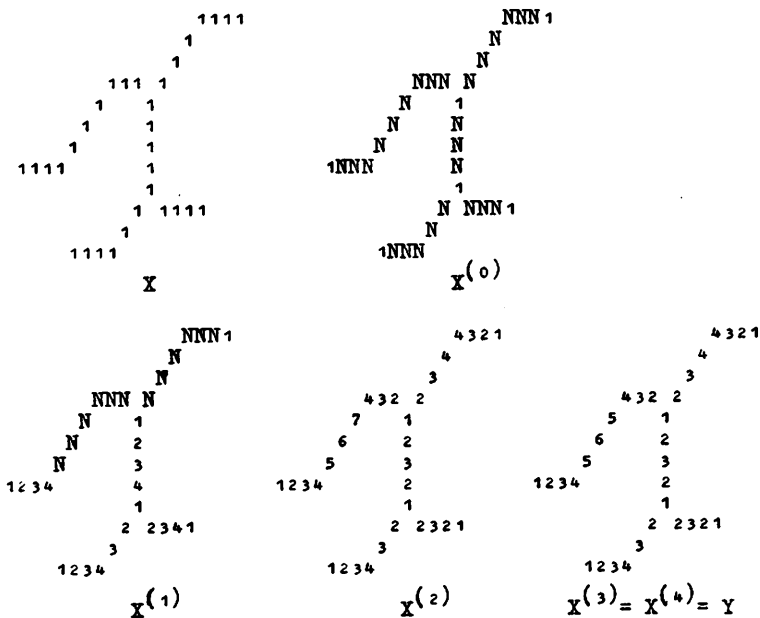


Рис.4

Отметим, что рассмотренное дистанционное преобразование можно определить как преобразование скелетного изображения, при котором каждому единичному элементу x_{ij} ставится в соответствие расстояние, измеренное от этого элемента до ближайшей особой точки x_{1k} . Другими словами, модифицированное дистанционное преобразование есть операция $F: X \rightarrow Y$ такая, что

$$y_{ij} = f(x_{ij}) = \rho(x_{ij}, x_{1k}),$$

где $\rho(x, y)$ - расстояние между точками x, y . Преобразование можно также наглядно интерпретировать как распространение по объекту волны с постоянной скоростью, когда источники возмущения размещены в особых точках объекта. Эта картина хорошо видна на рис.4.

И параллельный, и последовательный алгоритмы являются алгоритмами, зависящими от данных [4], т.е. количество итераций при

их реализации зависит от размера и формы объекта. Однако количество итераций для последовательного алгоритма во много раз меньше, чем для параллельного, поскольку у последнего на каждой итерации изменяются только точки, число которых равно удвоенному числу отрезков связного компонента, а у последовательного алгоритма изменяются все точки, расположенные по направлению сканирования. Различие в количестве итераций возрастает при увеличении размеров объекта.

Рассмотрим теперь применение модифицированного дистанционного преобразования скелетных изображений для вычисления характеристик объекта и описания его структуры. Любой объект (связный компонент) может быть разделен на части особыми точками. Часть объекта, ограниченная двумя особыми точками, называется отрезком связного компонента. Деревом называется совокупность отрезков, соединенных точками ветвления или пересечения и не образующих замкнутого цикла (рис.5а: a_1 - отрезки; точками отмечены концы отрезков). Совокупность отрезков называется циклом, если при ее обходе можно вернуться в начальную точку обхода (рис.5б). В частном случае цикл может состоять из одного замкнутого отрезка (рис.5в).

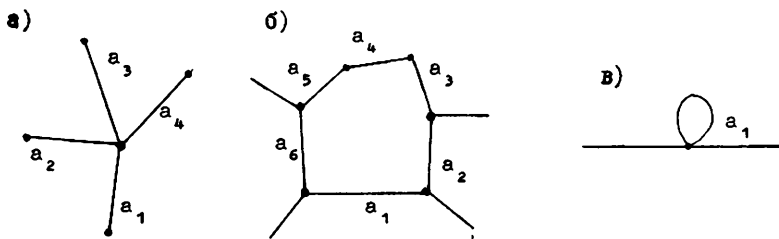


Рис.5

Обозначим через $p(i,k)$ i -й отрезок k -го объекта, через $d(i,k)$ его длину, $i = 1, \dots, n_k$; $k = 1, \dots, L$. С помощью модифицированного дистанционного преобразования скелетных изображений могут быть вычислены следующие характеристики отдельного объекта: количество отрезков связного компонента n_k , длина каждого отрезка $d(i,k)$, общая длина всех отрезков $D_k = \sum_{i=1}^{n_k} d(i,k)$, средняя длина отрезка $d_{k,ср} = D_k/n_k$, максимальная и минимальная

длины отрезков $d_{k,\max} = \max_i \{d(i,k)\}$, $d_{k,\min} = \min_i \{d(i,k)\}$. Могут быть также выделены петли на изображении объекта.

Кроме параметров отдельных объектов, модифицированное дистанционное преобразование позволяет найти следующие характеристики изображения: общее количество объектов L , количество отрезков

для всех объектов $M = \sum_{k=1}^L n_k$, общую длину объектов $R = \sum_{k=1}^L D_k$,

среднюю величину объекта $S_{cp} = R/L$, среднюю длину отрезка $d_{cp} = R/M$, максимальную и минимальную величину объекта $S_{\max} = \max_k \{D_k\}$, $S_{\min} = \min_k \{D_k\}$; максимальную и минимальную длину отрезка для всех объектов $d_{\max} = \max_{i,k} \{d(i,k)\}$, $d_{\min} = \min_{i,k} \{d(i,k)\}$.

В отличие от преобразования ДП1 модифицированное преобразование (как и преобразование ДП2) не позволяет составить иерархического описания структуры объекта, так как оно не определяет уровни объекта. Результатом применения этого преобразования является конкатенационное описание объекта (пример такого описания приведен на рис.6).

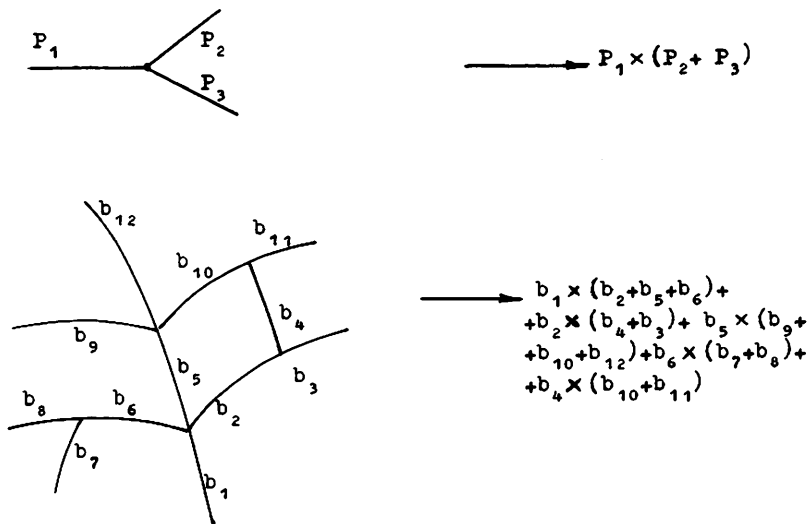


Рис.6

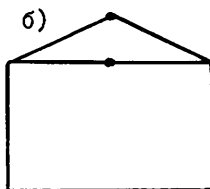
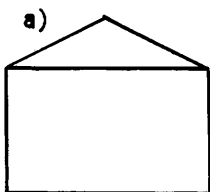


Рис. 7

Сравнительные характеристики всех видов дистанционных преобразований приведены в таблице. Кроме введенных понятий, использовано понятие ветви [2], в состав которой могут входить несколько отрезков связанного компонента. Отметим, что временные затраты для указанных типов дистанционного преобразования одинаковы.

Таким образом, предложенный вид дистанционного преобразования скелетизированных изображений позволяет выделить минимальные структурные единицы объекта - отрезки связанного компонента, вычислить их характеристики и описать объект в терминах этих отрезков. Одним из достоинств этого дистанционного преобразования является возможность обработки замкнутых объектов,

т.е. объектов, не содержащих конечных точек. На рис. 7 приведен пример объекта, который не может быть обработан с помощью дистанционных преобразований ДП1, ДП2 (а), и показан результат его обработки путем применения преобразования ДПМ. Недостатком последнего является невозможность иерархического описания структуры объекта.

Т а б л и ц а

В и д о п е р а ц и и	Дистанционные преобразования		
	ДП1	ДП2	ДПМ
Выделение ствола объекта и определение его длины	+	-	-
Описание циклов и петель объектов	-	+	+
Выделение отрезков объектов	-	-	+
Выделение ветвей объектов	+	-	-
Вычисление количества отрезков	-	-	+
Вычисление количества ветвей	+	-	+
Вычисление длины ветви	+	-	-
Вычисление длины отрезка	-	-	+
Вычисление длины объекта	+	-	+
Вычисление количества объектов	+	+	+
Обработка замкнутых объектов	-	-	+

Л и т е р а т у р а

1. АБЛАМЕЙКО С.В., БЕРЕШИК В.И., ВИНКУРОВ Д.И. Способ представления скелетизированных штриховых изображений//Автоматизация проектирования в машиностроении.- Минск,1986.- С.30-37.

2. TORIWAKI J.I., KOTO N., FUKUMURA T. Parallel local operations for a new distance transformation of a line pattern and their applications// IEEE Trans. Syst., Man, Cyber. -1979.-Vol.9, N 10.- P.628-643.

3. TORIWAKI J.I., YOKOI S. Distance transformation and skeletons of a digitized pictures with applications// Progress in pattern recognition.- Amsterdam a.o.: North-Holland Publ. Comp., 1981.-Vol.1.-P.187-264.

4. Основы клеточной логики с приложениями к обработке изображений/ К.Престон, М.Дж.Б.Дафф, С.Левьяльди и др. // ТИИЭР.-1979. - Т.67, № 5. - С.149-185.

Поступила в ред.-изд.отд.
9 февраля 1987 года