CARACTERIZACIÓN DE CONTORNOS MEDIANTE SEGMENTACIÓN JERÁRQUICA DEL CÓDIGO CADENA

Fabián Arrebola Pérez *Ignacio Molina Conde* *Francisco Sandoval Hernández*

Departamento de Tecnología Electrónica
Universidad de Málaga
fabian@dte.uma.es

ABSTRACT

In this paper, an algorithm to represent and characterize the contour of objects by means of their polygonal approximation, is presented. The novelty of this approach lies in the way of attaining the polygonal approximation, which is done by hierarchically processing a multiresolution data structure. This structure, consisting of successive lower resolution versions of the same object, is obtained from the contour chain code. The resulting method features a low computational load, and the capability to deal with contours presenting corners and segments with different natural scales.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización de la forma de un objeto es una tarea esencial en numerosas aplicaciones de reconocimiento de patrones. Una alternativa para realizarla se basa en el análisis de los pixels que componen el contorno. En este sentido, se pueden aplicar una gran variedad de métodos que van desde las aproximaciones poligonales hasta los detectores de esquinas, pasando por los descriptores de Fourier o la transformada de Hough. Cualquier contorno digital puede ser aproximado mediante un polígono que represente la esencia del mismo. El objetivo de una Aproximación Poligonal radica en obtener el polígono asociado a un contorno de manera que, por un lado, esté formado por un número de segmentos mínimo y suficiente y, por otro, que dicho número de segmentos no dependa ni de la rotación ni de la escala con que se captura el contorno. Existe una amplia variedad de técnicas para obtener la Aproximación Poligonal, como punto de partida se pueden considerar los métodos óptimos [1], que obtienen los puntos de ruptura del contorno iterativamente, optimizando tanto el número de éstos como su posición para que la aproximación sea lo más precisa posible. Sin embargo, éstos presentan el inconveniente de ser computacionalmente costosos, con lo que en la práctica se suele recurrir a métodos no óptimos cuya complejidad es menor. Normalmente, los métodos no óptimos se basan en determinar los puntos singulares y unirlos mediante rectas. Para determinar tales puntos también existe una gran variedad de algoritmos, pero los que presentan un comportamiento mejor en cuanto tiempo de computación, precisión de las detecciones y estabilidad de las mismas frente a giros y cambios de escala, son los estimadores de curvatura, tanto los basados en código cadena [2,3] como en las coordenadas de los puntos del contorno [4].

En este trabajo se presenta un algoritmo que obtiene los puntos de ruptura del contorno mediante la segmentación jerárquica del código cadena. Se verá que el método genera una aproximación poligonal estable frente a giros y a cambios de escala y que es capaz de trabajar con contornos ruidosos y que presentan esquinas a diferentes escalas naturales.

2. ALGORITMO DE SEGMENTACIÓN

El algoritmo que se propone consiste en adaptar una técnica jerárquica que Burt [5] desarrolló para pirámides de imágenes y que está basada en el empleo de enlaces adaptativos entre celdas de capas sucesivas. Las diferencias del método que aquí se propone con respecto al ya utilizado radican en que:

- Se trata de procesar una estructura multinivel que no es tridimensional, sino bidimensional. Además será circular, entendiendo por ello el hecho de que no existirá un principio ni un final. Dicha estructura se corresponde con la superficie de un cono para el caso de que el número de puntos del contorno que sea potencia de dos (caso ideal). Debido a que esta condición es bastante restrictiva se ha optado por transformar la estructura de forma que pueda procesar un subconjunto de celdas de dicho cono y así poder operar con cualquier número de puntos.
- El descriptor del contorno es el código cadena, con lo que los elementos de la estructura no son enteros que representan cierto nivel de gris, sino que son orientaciones codificadas (vectores).
- El principio de enlace adaptativo en vez de ser de 16 a 4 será de 4 a 2, esto es, una celda de un nivel de resolución *k* podrá tener sólo dos posibles padres en el nivel *k+1* y una celda padre del nivel *k+1* tendrá de 0 a 4 hijos en el nivel *k*.

2.1. Pasos del algoritmo

i).- Generar la estructura de datos jerárquica. Inicialmente hay que determinar en número de puntos N_k de cada nivel de resolución k.

$$N_{k+1} = \begin{cases} N_k/2 & si \quad N_k = \dot{2} \\ N_k/2 + 1 & si \quad N_k \neq \dot{2} \end{cases} \qquad (1)$$

Siendo N_0 el número de puntos del contorno original, que coincide con el de la base de la estructura de dados.

A continuación, se obtiene la longitud $L_k[i]$ en pixels de cada celda y el código cadena $C_k[i]$ de todas las celdas superiores a la base. En la base la longitud es 1 o $\sqrt{2}$. En un nivel k+1 cualquiera dicha longitud se obtiene sumando las longitudes de las dos celdas del nivel k. El código cadena las celdas del nivel k+1 ($C_{k+1}[i]$) se obtienen como la media ponderada de dos celdas del nivel k según se muestra en (2):

$$C_{k+1}[i] = \begin{cases} \dfrac{C_1 L_1 + C_2 L_2}{L_1 + L_2} & si\ |C_1 - C_2| < 4 \\ \left(\dfrac{C_1 + C_2 + 8}{L_1 + L_2} \right)_{\mathrm{mod}\ 8} & si\ |C_1 - C_2| > 4 \end{cases} \qquad (2)$$

$$|L_{k+1}[i]| = \sqrt{(L_{1,x} + L_{2,x})^2 + (L_{1,y} + L_{2,y})^2}$$

$donde$: $C_1 = C_k[2i]$, $C_2 = C_k[(2i+1) \bmod N_k]$

L_j es la longitud de la celda j

$L_{j,x}$, $L_{j,x}$ son las proyecciones en X e Y de L_j

$i = 0 \ldots N_{k+1}$

ii) Establecer enlaces entre celdas de capas sucesivas. Cada celda del nivel k (hija) se enlazará a la más parecida de entre dos posibles celdas del nivel k+1 (padres). Dada una celda i del nivel k las dos posibles celdas padres en el nivel k+1 $P_{i,k+1}$ son:

$$P_{i,k+1} = \begin{cases} [(i/2 - 1 + N_{k+1}) \bmod N_{k+1},\ i/2] & si\ \ i = \dot{2} \\ [i/2,\ (i/2 + 1 + N_{k+1}) \bmod N_{k+1}] & si\ \ i \neq \dot{2} \end{cases} \qquad (3)$$

iii) Computar el código cadena y la longitud de las celdas teniendo en cuenta los enlaces establecidos en el paso ii). Cada celda del nivel k+1 podrá tener enlazadas entre 0 y 4 celdas del nivel k. Para realizar dicho cómputo se aplica sucesivamente (2) por cada par de hijos enlazados. En todos niveles, este paso y el anterior se pueden aplicar iterativamente hasta que no se produzcan cambios de enlace, pero se ha comprobado que dos iteraciones son suficientes para obtener una estructura de enlaces robusta.

iv) Evitar cruces de enlaces. Un problema que presenta la estructura de enlaces obtenida es que no garantiza que los grupos de pixels enlazados a las celdas por encima de la base formen segmentos contiguos. Esto sucede cuando una celda i posterior a otra j (i > j) se enlaza a un padre P_i anterior a P_j ($P_i < P_j$). Por ello, se aplica un paso correctivo de abajo arriba que detecta si se produce este cruce de enlaces y lo corrige. Evidentemente, a continuación, se vuelve a aplicar el paso iii) que computa el código cadena y la longitud de todas las celdas de la estructura.

v) Generar de clases o segmentos. La segmentación del contorno, u obtención de los puntos de ruptura, se realiza eligiendo un nivel L de la estructura y propagando –según los enlaces establecidos- el valor del código cadena de sus celdas hasta la base, el contorno quedará dividido en tantos segmentos como celdas existan en dicho nivel. Este procedimiento, provoca que el número de segmentos obtenidos dependa del nivel L elegido, hecho que puede generar una segmentación errónea si L es excesivamente alto o bajo. En este sentido, la propagación debe hacerse de forma adaptativa, de manera que desde el nivel L hasta el L/2+1 se evite la propagación si las celdas son muy diferentes, esto es, su diferencia supera de un umbral U_k, umbral que irá aumentando a medida que se descienda de nivel. A partir del nivel L/2 no habrá esta restricción. Experimentalmente, se ha determinado que L sea el nivel más alto con al menos 8 celdas y el umbral U_k responde a la expresión: $U_k = \theta \bullet (1 - k/L)$, donde θ indica el grado de restricción. Finalmente, en L/2 se fusionan todas las celdas contiguas que presenten el mismo código cadena, obteniéndose así los puntos de ruptura del contorno.

3. RESULTADOS

La Fig. 1 muestra los puntos de ruptura (arriba) y la aproximación poligonal lograda (abajo) de varios objetos: l.a y 1.b muestran la estabilidad del método frente a rotaciones y a cambios de escala y la 1.c presenta la robustez del mismo al operar con un contorno ruidoso y con esquinas a diferentes escalas naturales.

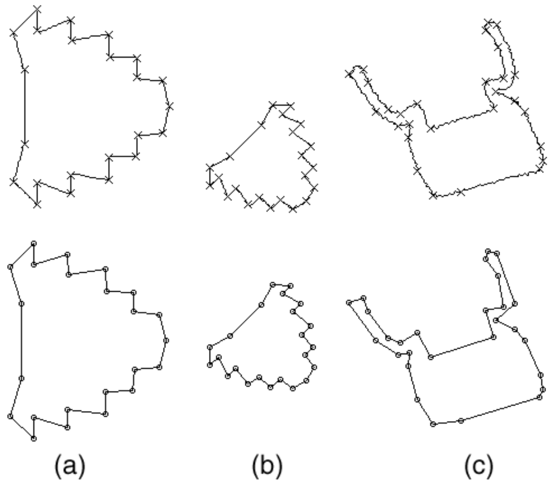

Fig. 1 Puntos de ruptura y aproximación poligonal de contornos.

4. CONCLUSIONES

Se ha propuesto un método que obtiene la aproximación poligonal segmentando el contorno de manera jerárquica y no comparando características en una vecindad de longitud fija -idea compartida por casi todos los métodos no óptimos-. Se ha demostrado que es estable frente a giros y a homotecias y que es robusto frente al ruido y a la existencia de diferentes escalas naturales.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la CICYT, Proyecto No. TIC098-0562.

5. REFERENCIAS

[1] Pérez J., Vidal E., "Optimum polygonal approximation of digitized curves", *Pattern Recognition Letters*, 15:743-750, 1994.

[2] Arrebola F., Bandera A., Camacho P., Sandoval S., "Corner Detection by Local Histograms of Contour Chain Code", *Electronics Letters*, 33(21):1769-1771, 1997.

[3] Arrebola F., Camacho P., Bandera A., Sandoval F., "Corner Detection and Curve Representation by Circular Histograms of Contour Chain Code", *Electronics Letters*, 35(13):1065-1067, 1999.

[4] Mokhtarian F. y Mackworth A., "Scale-based Description and Recognition of Planar Curves and Two-dimensional Shapes", *IEEE Transactions on Pattern Analisys and Machine Intelligence*, 8(6):679-698, 1986.

[5] Burt P., Hong T., Rosenfeld A., "Image Smoothing Based on Neighbor Linking", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 11(12):769-780, 1981.