Processamento de Imagens usando Grafos

Prof. Alexandre Xavier Falcão

Segundo semestre de 2004

Dado um contorno fechado, seu **esqueleto interno** é definido como o lugar geométrico dos centros dos discos de raios máximos contidos no contorno. Note que estes discos tocam o contorno em mais que um ponto, mas sem cruzamentos, e que o esqueleto interno é a fronteira entre regiões formadas por pixels "mais próximos" de um ponto do contorno do que dos outros. Uma definição similar é válida para o **esqueleto externo**.

As representações da borda de um objeto pelos seus esqueletos interno e externo têm sido motivo de estudo por vários anos. Isto porque elas são compactas e permitem reconstruir o objeto, filtrar detalhes da sua borda, registrar imagens, e extrair características de forma úteis para o reconhecimento de padrões. As principais dificuldades, porém, são a obtenção de esqueletos conexos, com 1-pixel de espessura e sem ramos irrelevantes para a descrição da forma. Muito embora este problema tenha sido resolvido para contornos fechados de forma eficiente, através da IFT, o problema ainda persiste para superfícies fechadas.

Quando um objeto possui múltiplos contornos, o lugar geométrico dos centros dos discos de raios máximos que tocam contornos distintos (sem cruzamentos) é denominado **esqueleto por zonas de influência** (SKIZ - *Skeleton by Influence Zones*). Este esqueleto representa a fronteira entre regiões, nas quais os pixels são "mais próximos" de um contorno do que dos outros. Note que, as linhas de watershed são um tipo de SKIZ entre os marcadores, porém usando a "distância" definida pela função de custo desta transformada. Nesta aula, estamos interessados em esqueletos por **distância Euclideana**.

1 Esqueleto multi-escala

Para simplificar, vamos considerar inicialmente uma imagem binária $\hat{I} = (D_I, I)$ com um único objeto, representado por um único contorno fechado. Se aplicarmos o algoritmo de rotulação de pixels de contorno, dado na aula anterior, teremos uma imagem rotulada $\hat{L} = (D_I, L)$, onde $L(p) = 0$, para pixels $p \in D_I$ que não pertencem ao contorno, e $L(p_i) = i$, para pixels $p_i \in D_I$ que pertencem ao contorno, onde $i = 1, 2, \ldots, n$ e n é o número de pixels do contorno. A IFT, com adjacência-8, função de custos f^S_{euc}, política FIFO, e sementes S representadas pelos pixels do contorno, propaga em $\hat{L}$ os rótulos i de cada pixel p_i de acordo com a transformada de distância Euclideana. Mesmo quando a adjacência-8 não é suficiente para obter uma transformada exata, as regiões de influência 8-conexas dessas sementes são fundamentais para gerar esquetetos 8-conexos. Na verdade, os esqueletos serão 8-conexos mesmo com **distância de chamfer**.

Para obter esqueletos 8-conexos e com 1-pixel de espessura, devemos gerar uma **imagem de diferenças** $\hat{D} = (D_I, D)$ associando a cada pixel $p \in D_I$ o comprimento do maior entre os menores arcos do contorno entre pixels "próximos de equidistantes do pixel p" (i.e. pixels raízes dos pixels 4-adjacentes de p).

$$D(p) \leftarrow \max_{\forall q \in A_4(p)} \{\min\{\delta(p,q), n - \delta(p,q)\}\}, \tag{1}$$

onde $\delta(p,q) = L(q) - L(p)$ e A_4 é uma relação de adjacência-4. A imagem de diferenças $\hat{D}$ representa os esqueletos interno e externo multi-escala. Esqueletos conexos e com 1-pixel de espessura são obtidos limiarizando a imagem $\hat{D}$ para valores inteitos subseqüentes. Quanto maior é o valor de limiar, mais simplificados os esqueletos ficam, com detalhes sendo removidos à medida que o limiar aumenta.

Note que, podemos reconstruir o objeto a partir do esqueleto interno, pintando os discos com centro nos pixels p de esqueleto e raio igual a raiz quadrada do custo $C(p)$ obtido pela IFT (i.e. distância Euclideana entre p e sua raiz no contorno). À medida que filtramos o esqueleto multi-escala para obter esqueletos binários, estes geram filtragens multi-escala da forma do objeto, com detalhes da borda sendo removidos à medida que o limiar aumenta. Uma observação interessante é que este método de reconstrução do objeto praticamente não gera deslocamento da borda, a não ser pelos pixels eliminados com a filtragem.

2 Esqueleto por zonas de influência

No caso de múltiplos contornos, a IFT propaga na imagem $\hat{L}$ os respectivos rótulos dos pixels enumerados com o algoritmo da aula anterior, e o método acima obtém simultaneamente todos os esqueletos multi-escala. Porém, esses esqueletos devem ser combinados com o SKIZ.

O SKIZ é facilmente obtido a partir da propagação simultânea dos rótulos dos contornos. Seja $\hat{L}_c = (D_I, L_c)$, onde $L_c(p) = 0$, para pixels $p \in D_I$ que não pertencem a nenhum contorno, e $L_c(p) = j$, para pixels $p \in D_I$ que pertencem a algum contorno, onde $j = 1, 2, \ldots, k$ e k é o número de contornos. A IFT, com adjacência-8, função de custos f_{euc}^S, política FIFO, e sementes S representadas pelos pixels dos contornos, pode propagar simultaneamente em $\hat{L}_c$ os rótulos j de cada contorno, e em $\hat{L}$ os rótulos dos pixels, de acordo com a transformada de distância Euclideana. Uma imagem binária $\hat{D}_c = (D_I, D_c)$ pode ser obtida associando $D_c(p) \leftarrow D_M$, onde D_M é o maior valor da imagem $\hat{D}$, para todos os pixels $p \in D_I$ tais que $L_c(q) > L_c(p)$ para algum $q \in A_4(p)$, e $D_c(p) \leftarrow 0$ no caso contrário.

A combinação dos esqueletos multi-escalas com o SKIZ é dada pela atribuição $D(p) \leftarrow \max\{D(p), D_c(p)\}$ para todo pixel $p \in D_I$. Neste caso, à medida que o limiar aumenta, os esqueletos podem se desconectar do SKIZ, em algum momento eles desaparecem, restando o SKIZ.

3 Exercício

Escreva o algoritmo da IFT para obtenção da imagem $\hat{D}$ com esqueletos multi-escalas e SKIZ.