

Processamento de Imagens usando Grafos

Prof. Alexandre Xavier Falcão

Segundo semestre de 2004

1 Saliências de formas

Seja S uma curva qualquer no plano e considere uma IFT com política de desempate FIFO, adjacência-8, e função de custos $f_{euc,r}^S$ dada por

$$\begin{aligned} f_{euc,r}^S(\langle q \rangle) &= \begin{cases} 0, & \text{se } q \in S, \\ +\infty, & \text{no caso contrário.} \end{cases} \\ f_{euc,r}^S(\pi \cdot \langle p, q \rangle) &= \begin{cases} d^2(org(\pi), q), & \text{se } d^2(org(\pi), q) \leq r^2, \\ +\infty, & \text{no caso contrário,} \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

onde $d^2(org(\pi), q) = (x_{org(\pi)} - x_q)^2 + (y_{org(\pi)} - y_q)^2$ e r é um raio de dilatação da curva por um disco planar. Note que quanto maior for a área da zona de influência (i.e. **saliência**) de um pixel $p \in S$ na região limitada pela distância r em torno da curva, mais **saliente** é o pixel (i.e. ponto da curva). O limitante r deve ser pequeno (i.e. em torno de 10 pixels) para evitar que zonas de influências de partes diferentes da curva se choquem, alterando a medida de saliência.

Quando a curva é um contorno fechado, dizemos que um pixel é um **ponto convexo** quando sua saliência externa é maior do que a interna. No caso oposto, o pixel é um **ponto côncavo**. As saliências interna e externa de um pixel $p \in S$ são, por definição, as áreas de influência de p dentro e fora do contorno, respectivamente. Essas áreas podem ser obtidas dos **histogramas** da imagem de rótulos \hat{L} resultante da IFT, dentro e fora do contorno. Basta enumerar os pixels do contorno S por valores inteiros subsequentes $i = 1, 2, \dots, n$ e propagar estes rótulos em \hat{L} durante a IFT. Cada *bin* dos histogramas interno e externo de \hat{L} está associado a um pixel do contorno e seus valores nos histogramas são as respectivas áreas de influência interna e externa.

Podemos então classificar cada pixel do contorno como côncavo ou convexo ou nenhum dos dois; podemos aplicar esta classificação para segmentos do contorno, se somarmos as áreas de influência de seus pontos dentro e fora; e podemos selecionar apenas os pixels mais salientes do contorno para fins de representação compacta da forma.

A identificação dos pixels mais salientes pode ser feita aplicando um limiar $\theta \geq 70$, por exemplo, ao **ângulo de abertura** da maior zona de influência do pixel, externa ou interna. Podemos, então, classificar o pixel como saliente se a área $A(p)$ de sua maior zona de influência

estiver relacionada com o ângulo $\theta \geq 70$ pela fórmula:

$$A(p) = \frac{\theta(p) \times r^2}{2}. \quad (2)$$

Apesar do método de identificação de saliências funcionar bem para esqueletos e algumas outras curvas, ele falha quando diferentes partes da curva se aproximam muito, tal como ocorre em contornos intrincados, pois o cálculo das áreas de influência dos pixels da curva fica afetado, mesmo para pequenos valores de r , tais como 10 pixels. Este problema, porém, pode ser resolvido para contornos, explorando a relação entre o contorno e seus esqueletos internos e externos.

2 Saliências de contorno

Sabemos que cada ponto de saliência do esqueleto interno está relacionado com um ponto de saliência convexo do contorno, e que cada ponto de saliência do esqueleto externo está relacionado com um ponto de saliência côncavo do contorno. Portanto, uma vez identificados os pontos de saliência dos esqueletos interno e externo pelo método de limiarização em θ , temos apenas que relacionar esses pontos com seus pontos equivalentes no contorno. Esta relação pode ser obtida sinalizando a imagem de diferenças \hat{D} do esqueleto multi-escala.

A Figura 2 ilustra a relação entre os pontos de saliência do contorno e do esqueleto. O pixel a do contorno está associado ao pixel c do esqueleto. Note que o valor $D(c)$ da imagem de diferenças é o comprimento do segmento \overline{dab} . Então, se b for o pixel raiz de c , o pixel a pode ser encontrado pulando $\overline{dab}/2$ pixels no sentido anti-horário a partir de b . Porém, se d for a raiz de c , a pode ser encontrado pulando $\overline{dab}/2$ pixels no sentido horário a partir de d . Note também que, se o contorno for rotulado no sentido horário, a raiz de c será b sempre que $\delta(p, q) > n - \delta(p, q)$, onde $\delta(p, q) = L(q) - L(p)$, para $L(q) = L(d)$ e $L(p) = L(b)$. Caso contrário, a raiz de c será d para $L(q) = L(b)$ e $L(p) = L(d)$. Portanto, precisamos apenas sinalizar a imagem \hat{D} de tal forma que o pixel a de saliência do contorno possa ser encontrado pulando $D(c)/2$ pixels no sentido correto a partir do pixel raiz $R(c)$ obtido na imagem de raízes da IFT. O sentido correto será o sentido horário, se $D(c) < 0$, e anti-horário, se $D(c) > 0$. O algoritmo abaixo supõe que o contorno foi rotulado no sentido horário e gera a imagem de diferenças \hat{D} sinalizada com o sentido correto.

Algoritmo para gerar imagem de diferenças sinalizadas:

Entrada: Imagem de rótulos $\hat{L} = (D_I, L)$ resultante da IFT.

Saída: Imagem de diferenças $\hat{D} = (D_I, D)$ sinalizadas.

Auxiliares: variáveis s , $sign$, max e min .

1. Para todo pixel $p \in D_I$, faça

2. $max \leftarrow -\infty$.
3. Para todo pixel $q \in A_4(p)$, faça
4. $min \leftarrow \min\{\delta(p, q), n - \delta(p, q)\}$ and $s \leftarrow 1$.
5. Se $min = n - \delta(p, q)$, então $s \leftarrow -1$.
6. Se $min > max$, então faça $max \leftarrow min$ and $sign \leftarrow s$.
7. $D(p) \leftarrow sign \times max$.

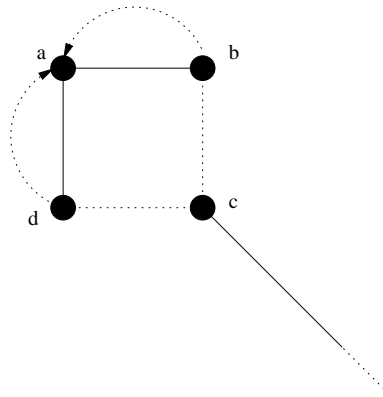


Figura 1: Relação entre saliências de contorno e esqueleto.

Conforme mencionado anteriormente, as saliências do contorno podem ser usadas para reconhecimento de padrões. Neste caso, após gerar a imagem de diferenças sinalizada, os valores de $D(p)$ para pixels p mais salientes do esqueleto são usados para localizar os pixels mais salientes do contorno. Saliências convexas do contorno são sinalizadas positivamente e saliências côncavas são sinalizadas negativamente. Podemos, por exemplo, representar o contorno por um vetor de saliências sinalizadas, iniciando em um dos pixels salientes e seguindo ao longo do contorno. No reconhecimento de padrões, a dissimilaridade entre contornos é medida por uma distância entre seus vetores de saliências. Porém, esses vetores devem ser registrados, antes de calcular a distância entre eles. O registro pode ser feito se armazenarmos também a posição relativa de cada pixel saliente do contorno em relação ao pixel inicial. Portanto, nosso vetor de características consiste de dois valores por pixel saliente, sua saliência sinalizada e sua posição relativa ao pixel inicial.