Processamento de Imagens usando Grafos

Prof. Alexandre Xavier Falcão

Segundo semestre de 2004

1 Transformada de watershed de marcadores binários

Em algumas situações, desejamos extrair objetos de uma imagem cinza $\hat{I} = (D_I, I)$ usando duas imagens binárias $\hat{M}_f = (D_I, M_f)$ e $\hat{M}_o = (D_I, M_o)$, onde pixels marcadores de fundo e de objetos têm valor 1, e os demais valor 0, nas respectivas imagens, e cada objeto tem um único marcador (i.e. componente conexo de acordo com A). Um exemplo é a identificação automática de células em uma imagem de microscopia para análise de medidas. Os marcadores de objetos podem ser obtidos por algum pré-processamento (e.g. mínimos regionais de uma imagem de gradiente morfológico, limiarização de $\hat{I}$). Os marcadores de fundo podem ser a borda da imagem, o SKIZ dos marcadores de objeto, a união entre ambos, ou podem até mesmo serem obtidos por limiarização de $\hat{I}$. Neste caso, devemos propagar rótulo 0 para os marcadores de fundo e um rótulo inteiro distinto por objeto. Esta rotulação pode ser feita *a priori* nos marcadores e podemos aplicar um dos algoritmos vistos na aula anterior. Outra opção é calcular a rotulação durante a execução do algoritmo.

A rotulação em tempo de execução requer que cada marcador seja representado por uma única raiz, cujo rótulo será propagado para os demais pixels do marcador e de sua zona de influência. Isto ocorre naturalmente com a política LIFO, porém platôs na imagem de custos farão parte da zona de influência da última raiz a alcançá-los. Esta abordagem pode ser interessante no caso de estarmos serapando um único objeto do fundo e esses platôs fazerem parte ou do objeto ou do fundo, pois a ordem de inserção dos marcadores em Q definirá o resultado desejado. No caso da política FIFO, para garantir uma raiz por marcador, devemos inserí-los na fila Q com custo inicial $K+1$ maior que o maior valor de dissimilaridade, e ao retirar uma raiz da fila (i.e. pixel ainda não rotulado), nós retomamos o seu custo inicial para 0, rotulamos esta raiz e iniciamos a propagação do seu rótulo.

Por exemplo, considere o algoritmo usando política FIFO e função $f_{\max}$ com δ_2:

Transformada de watershed de marcadores binários com rotulação on-the-fly e função $f_{\max}$ com δ_2:

Entrada: Imagens $\hat{I} = (D_I, I)$, $\hat{M}_o = (D_I, M_o)$, $\hat{M}_f = (D_I, M_f)$, e adjacência A.
Saída: Imagem $\hat{L} = (D_I, L)$ com rótulos propagados.

Auxiliares: Fila Q de prioridades com política FIFO, imagem $\hat{C} = (D_I, C)$ de custos, e variáveis tmp e $l = 1$.

1. Para todo pixel $p \in D_I$ faça
2. Faça $L(p) \leftarrow -1$.
3. Se $M_o(p) = 1$ ou $M_f(p) = 1$, então faça $C(p) \leftarrow K + 1$ e insira p em Q.
4. Se não $C(p) \leftarrow +\infty$.
5. Enquanto $Q \neq \emptyset$ faça
6. Remova um pixel p de Q cujo custo $C(p)$ é mínimo.
7. Se $L(p) = -1$ então
8. Se $M_f(p) = 1$ então $C(p) \leftarrow 0$ e $L(p) \leftarrow 0$.
9. Se não $C(p) \leftarrow 0$, $L(p) \leftarrow l$ e $l \leftarrow l + 1$.
10. Para todo $q \in A(p)$, tal que $C(q) > C(p)$, faça
11. $tmp \leftarrow \max\{C(p), \delta_2(p, q)\}$.
12. Se $tmp < C(q)$ faça
13. Se $C(q) = K + 1$, remova q de Q.
14. $C(q) \leftarrow tmp$, $L(q) \leftarrow L(p)$, e insira q em Q.

2 Transformada de watershed de marcador cinza

A transformada clássica de watershed é obtida com política FIFO, função f_{peak}, com $h(q) = I(q) + 1$, e $S = D_I$, onde as raízes da floresta serão os mínimos regionais da imagem $\hat{I}$. O resultado é normalmente uma supersegmentação, a qual pode ser reduzida com a inclusão de marcadores (i.e. algoritmos anteriores) ou com filtragem por reconstrução superior (e.g. fechamento morfológico por reconstrução) para reduzir o número de mínimos regionais da imagem de entrada. Na segunda abordagem, podemos evitar o cálculo de duas IFTs, uma para reconstrução e outra para a transformada de watershed, se usarmos como custo inicial a imagem antes da reconstrução. Por exemplo, se $\hat{J} = (D_I, J)$ for a imagem resultante de um fechamento morfológico de $\hat{I}$ (i.e. $J(p) \geq I(p)$) e usarmos f_{peak} com $h(p) = J(p) + 1$ para todo $p \in D_I$, a seguinte IFT calculará a reconstrução superior de $\hat{I}$ com marcador $\hat{J}$ na imagem de custos $\hat{C}$ e as bacias da transformada clássica de watershed de $\hat{C}$ em $\hat{L}$ com rotulação em tempo de execução.

Transformada de watershed de marcador cinza:

Entrada: Imagens $\hat{I} = (D_I, I)$, $\hat{J} = (D_I, J)$, e adjacência A.
Saída: Imagem $\hat{L} = (D_I, L)$ com rótulos propagados.
Auxiliares: Fila Q de prioridades com política FIFO, imagem $\hat{C} = (D_I, C)$ de custos, e variáveis tmp e $l = 1$.

1. Para todo pixel $p \in D_I$ faça
2.   Faça $L(p) \leftarrow -1$, $C(p) \leftarrow J(p) + 1$ e insira p em Q.
3. Enquanto $Q \neq \emptyset$ faça
4.   Remova um pixel p de Q cujo custo $C(p)$ é mínimo.
5.   Se $L(p) = -1$ então
6. $C(p) \leftarrow J(p)$, $L(p) \leftarrow l$ e $l \leftarrow l + 1$.
7.   Para todo $q \in A(p)$, tal que $C(q) > C(p)$, faça
8. $tmp \leftarrow \max\{C(p), I(q)\}$.
9.   Se $tmp < C(q)$ faça
10.   Remova q de Q, $C(q) \leftarrow tmp$, $L(q) \leftarrow L(p)$, e insira q em Q.

3 Exercícios

1. Implemente as transformadas de watershed de marcadores binários e rotulados com políticas LIFO e FIFO, e avalie os resultados da IFT para separar um único objeto do fundo usando a ordem de prioridade entre os marcadores para seleção de platôs.

2. Implemente a transformada de watershed de marcador cinza, usando $\hat{I}$ como imagem de gradiente e $\hat{J} = (D_I, J)$ como marcadora, onde $J(p) = I(p) + k$, $\forall p \in D_I$ e para k inteiro positivo. Verifique os resultados na tarefa de segmentar células. Você pode sugerir também outras formas de gerar $\hat{J}$, desde que $J(p) \geq I(p)$.