

# Transformações Radiométricas II

Prof. Alexandre Xavier Falcão

Aula 07

## 1 Histograma acumulado

Sendo  $h(l)$  o histograma normalizado de uma imagem cinza  $\hat{I} = (D_I, I)$ , o histograma acumulado de  $\hat{I}$  é uma função  $h_a(l)$  que produz o valor acumulado do histograma  $h(l)$  (área abaixo da curva) para cada nível de cinza  $l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$  (vamos assumir que  $0 \leq l_{\min}$ ).

$$h_a(l) = \sum_{l'=0}^{l'=l} h(l'). \quad (1)$$

Note que  $h_a(l_{\max}) = 1$ . Este conceito é explorado nas transformações a seguir.

## 2 Equalização

Considere uma imagem  $\hat{I}$  cinza e normalizada em  $0 \leq l \leq 1$ . A equalização  $k = T(l)$  visa gerar uma imagem  $\hat{J} = (D_I, J)$  com intensidades  $0 \leq k \leq 1$  e histograma uniforme (i.e., todas as intensidades equiprováveis), por aplicação direta do histograma acumulado.

$$k = \sum_{l'=0}^{l'=l} h(l'). \quad (2)$$

Esta transformação tem como propriedades ser:

- bijetora e monotonicamente crescente em  $[0, 1]$ , e
- limitada,  $0 \leq T(l) \leq 1$ , para  $0 \leq l \leq 1$ .

Após equalização, os valores  $0 \leq k \leq 1$  podem ser multiplicados por  $H$  para gerar valores inteiros de brilho. No caso de imagens coloridas, a equalização é aplicada no componente de brilho (ou de saturação) da mesma forma que descrito na aula anterior.

## 2.1 Caso contínuo

A motivação se baseia no caso contínuo, onde os histogramas normalizados  $h(l)$  e  $g(k)$  das imagens  $\hat{I}$  e  $\hat{J}$ , respectivamente, são densidades de probabilidade  $\rho(l)$  e  $\gamma(k) = 1$  (para que  $\int_0^1 \gamma(k') dk' = 1$ ) para valores contínuos de  $l$  e  $k$ , respectivamente. Neste caso, a probabilidade  $P(k \in [k_o - \frac{dk}{2}, k_o + \frac{dk}{2}])$  de um valor  $k$  está no intervalo  $dk$  em torno de um certo valor  $k_o$  deve ser igual à probabilidade  $P(l \in [l_o - \frac{dl}{2}, l_o + \frac{dl}{2}])$  de um valor  $l$  está no intervalo  $dl$  em torno de um certo valor  $l_o$ , onde  $k_o = T(l_o)$ . Então,

$$\int_{k_o - \frac{dk}{2}}^{k_o + \frac{dk}{2}} \gamma(k') dk' = \int_{l_o - \frac{dl}{2}}^{l_o + \frac{dl}{2}} \rho(l') dl' \quad (3)$$

$$\gamma(k) dk = \rho(l) dl \quad (4)$$

$$dk = \rho(l) dl \quad (5)$$

$$k = \int_0^l \rho(l') dl'. \quad (6)$$

## 2.2 Equalização por ordenação

Uma forma de garantir que o histograma  $g(k)$  de  $\hat{J}$  será uniforme é equalizar a imagem seguindo os passos abaixo.

1. Ordene os pixels da imagem  $\hat{I}$  por ordem crescente de brilho.
2. Divida a sequência ordenada de pixels em  $H + 1$  intervalos,  $k = 0, 1, \dots, H$ , com um mesmo número de pixels cada.
3. Gere a imagem  $\hat{J}$ , onde  $J(p)$  é o intervalo  $k$  no qual o pixel  $p$  tem seu brilho  $I(p)$  mapeado.

## 3 Casamento de histogramas

Outra forma de modificar as intensidades de uma imagem é casando seu histograma com o de outra. Esta transformação procura fazer com que duas imagens tenham o mesmo histograma (ou o mais parecido possível), e tem diversas finalidades. Por exemplo, o registro de imagens obtidas de uma mesma região em épocas diferentes, quando baseado na intensidade dos pixels, requer o casamento de histogramas como pré-processamento. O casamento de histogramas também pode ser realizado para melhorar o brilho e o contraste de uma imagem usando outra como referência.

Sejam  $\hat{I}_1 = (D_{I_1}, I_1)$  e  $\hat{I}_2 = (D_{I_2}, I_2)$  duas imagens cinza. Suponha que desejamos fazer com que o histograma de  $\hat{I}_1$  fique parecido com o histograma de  $\hat{I}_2$ . Sejam  $T_1$  e  $T_2$  as transformações de equalização para  $\hat{I}_1$  e  $\hat{I}_2$ . Após equalização, podemos assumir que os histogramas das imagens resultantes são iguais e uniformes. Assim, a inversa  $T_2^{-1}$  aplicada à equalização  $T_1$ , deve gerar uma imagem  $\hat{J} = (D_{I_1}, J)$  com histograma parecido com o de  $\hat{I}_2$ .

$$J(p) = T_2^{-1}(T_1(I_1(p))) \quad (7)$$

O casamento entre imagens coloridas requer a transformação RGB para HSV (ou outro espaço decorrelacionado) de ambas imagens, o casamento entre os componentes de brilho, e a volta de HSV para RGB da imagem desejada.

## 4 Exercícios

1. Equalize a imagem cujos pixels têm valores 1, 2, 3, 2, 1, 4, 2, 4, 4, mostrando o histograma acumulado e os valores finais.
2. Aplique o casamento de histogramas entre uma imagem, cujos valores são 2, 2, 2, 3, 4, 3, 4, 5, 6, e a imagem da questão anterior.
3. Implemente rotinas de equalização e casamento de histogramas.