Operações Matemáticas e Transformações Radiométricas

Jefersson Alex dos Santos

jefersson@dcc.ufmg.br

DCC
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

UFMG

[1] Baseado nas aulas do Prof. Alexandre Xavier Falcão

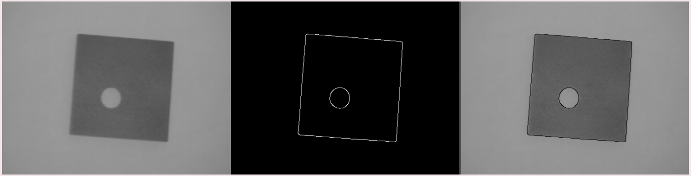
Roteiro da Aula

Operações Lógico-Aritméticas

UFMG

- Forma simples de processamento (pixel a pixel)
- Resultados de interesse prático: identificar diferenças, redução de ruídos, ajuste de brilho, remoção de informação estática de fundo

Exemplos



Operações Lógico-Aritméticas

UFMG

- Forma simples de processamento (pixel a pixel)
- Resultados de interesse prático: identificar diferenças, redução de ruídos, ajuste de brilho, remoção de informação estática de fundo

Exemplos

Operações Matemáticas

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

- Uma operação $\odot$ (**lógica ou aritmética**) entre $\hat{I}$ e $\hat{J}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I = D_J$, onde $K(p) = I(p) \odot J(p)$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser *MINIMO* (*and* lógico), *MAXIMO* (*or* lógico), +, -, / , *, etc.

Operações Matemáticas

UFMG

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

- Uma operação $\odot$ (**lógica ou aritmética**) entre $\hat{I}$ e $\hat{J}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I = D_J$, onde $K(p) = I(p) \odot J(p)$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser *MINIMO* (*and* lógico), *MAXIMO* (*or* lógico), +, -, / , *, etc.

Operações Matemáticas

UFMG

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

- Uma operação $\odot$ (**lógica ou aritmética**) entre $\hat{I}$ e $\hat{J}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I = D_J$, onde $K(p) = I(p) \odot J(p)$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser $MINIMO$ (and lógico), $MAXIMO$ (or lógico), +, -, / , *, etc.

Operações Matemáticas

Sejam $\hat{I} = (D_I, I)$ e $\hat{J} = (D_J, J)$ duas imagens cinzas de **mesmo domínio**, $D_I = D_J$.

- Uma operação $\odot$ (**lógica ou aritmética**) entre $\hat{I}$ e $\hat{J}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I = D_J$, onde $K(p) = I(p) \odot J(p)$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser $MINIMO$ (and lógico), $MAXIMO$ (or lógico), +, -, / , *, etc.

Mínimo

2	4	2
9	2	4
2	2	4

(a)

$\hat{I}$

4	0	0
1	0	2
0	0	0

(b)

$\hat{J}$

2	0	0
1	0	2
0	0	0

(c)

$MINIMO(\hat{I}, \hat{J})$.

Operações Matemáticas

UFMG

- Uma operação **aritmética** $\odot$ entre um escalar s e $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = I(p) \odot s$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser $+, -, /, *, \hat{}$. Por exemplo, em $\hat{K} = \hat{I}^{1/2}$, $K(p) = \sqrt{I(p)}$.

Operações Matemáticas

UFMG

- Uma operação **aritmética** $\odot$ entre um escalar s e $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = I(p) \odot s$ para todo $p \in D_K$.
- A operação $\odot$ pode ser $+, -, /, *, \hat{}$. Por exemplo, em $\hat{K} = \hat{I}^{1/2}$, $K(p) = \sqrt{I(p)}$.

Operações Matemáticas

UFMG

- Um operador matemático $\mathbf{O}$ sobre uma imagem $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = \mathbf{O}(I(p))$ para todo $p \in D_K$.
- O operador $\mathbf{O}$ pode ser o valor absoluto, logaritmo, exponencial, seno, etc. Por exemplo, em $\hat{K} = |\hat{I} - \hat{J}|$, $K(p) = |I(p) - J(p)|$.

Desta forma podemos ter expressões lógicas e aritméticas envolvendo várias imagens e escalares.

Operações Matemáticas

UFMG

- Um operador matemático $\mathbf{O}$ sobre uma imagem $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = \mathbf{O}(I(p))$ para todo $p \in D_K$.
- O operador $\mathbf{O}$ pode ser o valor absoluto, logaritmo, exponencial, seno, etc. Por exemplo, em $\hat{K} = |\hat{I} - \hat{J}|$, $K(p) = |I(p) - J(p)|$.

Desta forma podemos ter expressões lógicas e aritméticas envolvendo várias imagens e escalares.

Operações Matemáticas

UFMG

- Um operador matemático $\mathbf{O}$ sobre uma imagem $\hat{I}$ gera uma imagem $\hat{K} = (D_K, K)$, $D_K = D_I$, tal que $K(p) = \mathbf{O}(I(p))$ para todo $p \in D_K$.
- O operador $\mathbf{O}$ pode ser o valor absoluto, logaritmo, exponencial, seno, etc. Por exemplo, em $\hat{K} = |\hat{I} - \hat{J}|$, $K(p) = |I(p) - J(p)|$.

Desta forma podemos ter expressões lógicas e aritméticas envolvendo várias imagens e escalares.

Transformações entre espaços de cores

UFMG

No caso de imagens coloridas $\hat{I} = (D_I, \vec{I})$ em um dado espaço de cor, este espaço pode ser transformado em outro por multiplicação matricial e outras operações matemáticas.

$$\begin{bmatrix} K_1(p) \\ K_2(p) \\ K_3(p) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1(p) \\ I_2(p) \\ I_3(p) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$

Neste exemplo, o operador $\hat{K} = \mathbf{O}(\hat{I})$ transforma a imagem $\hat{I}$ do espaço RGB para uma imagem $\hat{K} = (D_K, \vec{K})$, $D_K = D_I$, no espaço YC_bC_r, onde K_1 é luminância Y, K_2 é crominância C_b e K_3 é crominância C_r.

Roteiro da Aula

UFMG

1 Operações Lógico-Aritméticas

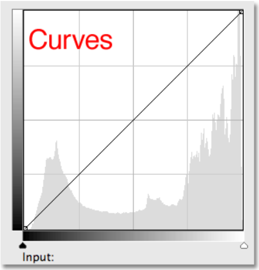
2 Transformação Radiométrica
- Transformações Simples
- Transformações em Histogramas

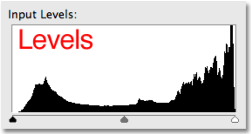
Transformação Radiométrica

UFMG

Aka:* Realce de Imagem ou *Exposure

- É um mapeamento aplicado às intensidades dos pixels, independente da localização desses pixels na imagem
- Visa alterações de brilho e contraste





Transformação Radiométrica

Brilho e Contraste

UFMG

Brilho

Esta associado à sensação visual da intensidade luminosa de uma fonte

- Experimentos indicam: sensibilidade do sistema visual humano possui resposta logarítmica com relação à intensidade de luz incidente no olho
- Sistema visual tende a substimar ou superestimar a intensidade próxima às transições

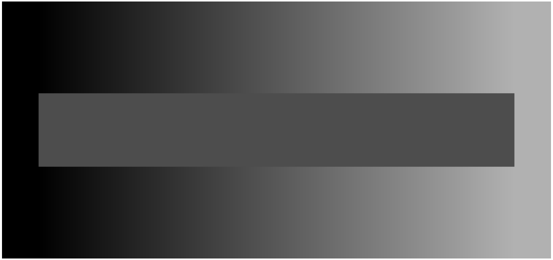
Contraste

É uma medida da variação relativa da luminância

- O brilho aparente de uma região depende fortemente da intensidade do fundo
- Resposta do sistema visual humano depende de variações locais de luminância

Transformação Radiométrica

Brilho e Contraste

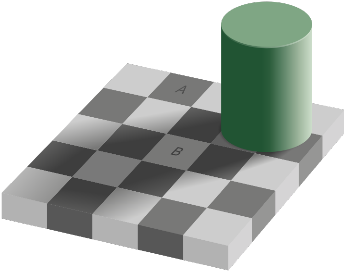


Transformação Radiométrica

Brilho e Contraste

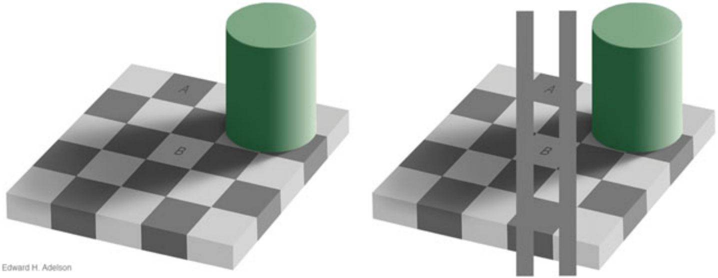
Transformação Radiométrica

Brilho e Contraste



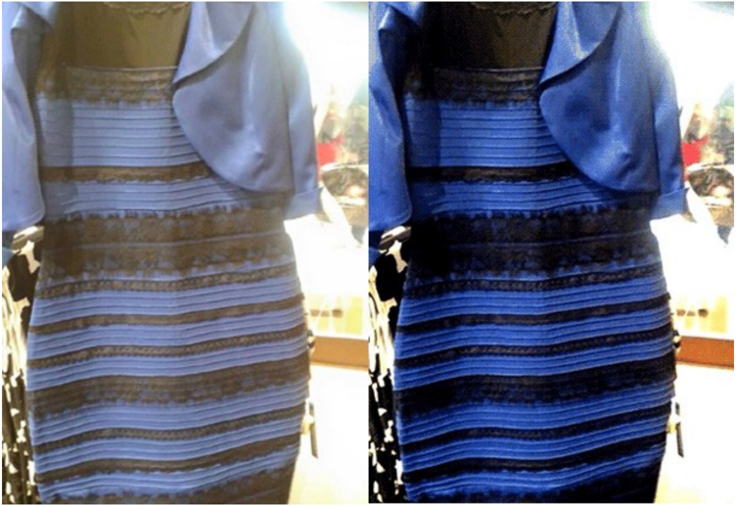
Transformação Radiométrica

Brilho e Contraste



Transformação Radiométrica

Brilho e Contraste



Transformação Radiométrica

UFMG

- Seja $\hat{I} = (D_I, I)$ uma imagem cinza, uma transformação radiométrica gera outra imagem cinza $\hat{J} = (D_J, J)$, onde $D_J = D_I$ e $J(p) = T(I(p))$ para todo $p \in D_I$.
- Suponha que $l = I(p)$ e $k = J(p)$. Então, l e k são variáveis aleatórias, tais que $k = T(l)$, cujos valores variam com $p \in D_I$.
- Neste sentido, o histograma normalizado $0 \leq h(l) \leq 1$ representa a distribuição de probabilidades da variável aleatória l.

$k = T(l)$ é a função de transformação!

Transformação Radiométrica

UFMG

- Seja $\hat{I} = (D_I, I)$ uma imagem cinza, uma transformação radiométrica gera outra imagem cinza $\hat{J} = (D_J, J)$, onde $D_J = D_I$ e $J(p) = T(I(p))$ para todo $p \in D_I$.
- Suponha que $l = I(p)$ e $k = J(p)$. Então, l e k são variáveis aleatórias, tais que $k = T(l)$, cujos valores variam com $p \in D_I$.
- Neste sentido, o histograma normalizado $0 \leq h(l) \leq 1$ representa a distribuição de probabilidades da variável aleatória l.

$k = T(l)$ é a função de transformação!

Transformação Radiométrica

UFMG

- Seja $\hat{I} = (D_I, I)$ uma imagem cinza, uma transformação radiométrica gera outra imagem cinza $\hat{J} = (D_J, J)$, onde $D_J = D_I$ e $J(p) = T(I(p))$ para todo $p \in D_I$.
- Suponha que $l = I(p)$ e $k = J(p)$. Então, l e k são variáveis aleatórias, tais que $k = T(l)$, cujos valores variam com $p \in D_I$.
- Neste sentido, o histograma normalizado $0 \leq h(l) \leq 1$ representa a distribuição de probabilidades da variável aleatória l.

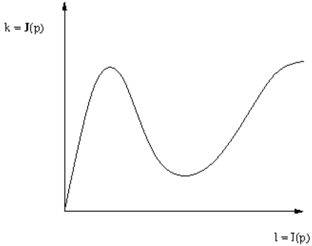
$k = T(l)$ é a função de transformação!

Transformação Radiométrica

UFMG

- Seja $\hat{I} = (D_I, I)$ uma imagem cinza, uma transformação radiométrica gera outra imagem cinza $\hat{J} = (D_J, J)$, onde $D_J = D_I$ e $J(p) = T(I(p))$ para todo $p \in D_I$.
- Suponha que $l = I(p)$ e $k = J(p)$. Então, l e k são variáveis aleatórias, tais que $k = T(l)$, cujos valores variam com $p \in D_I$.
- Neste sentido, o histograma normalizado $0 \leq h(l) \leq 1$ representa a distribuição de probabilidades da variável aleatória l.

$k = T(l)$ é a função de transformação!



Transformação linear

UFMG

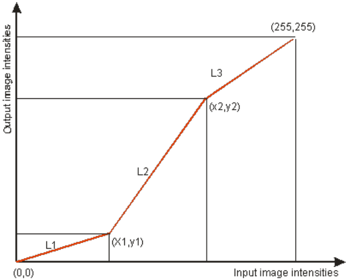
Sejam $[l_1, l_2]$, $l_1 \leq l_2$, e $[k_1, k_2]$ dois intervalos de cinza no conjunto de valores de I e J. A transformação (stretching) linear é dada por:

$$k = \begin{cases} k_1, & \text{se } l < l_1, \\ \frac{(k_2 - k_1)}{(l_2 - l_1)}(l - l_1) + k_1, & \text{se } l_1 \leq l < l_2, \\ k_2, & \text{se } l \geq l_2. \end{cases}$$

Transformação linear

Sejam $[l_1, l_2]$, $l_1 \leq l_2$, e $[k_1, k_2]$ dois intervalos de cinza no conjunto de valores de I e J. A transformação (stretching) linear é dada por:

$$k = \begin{cases} k_1, & \text{se } l < l_1, \\ \frac{(k_2 - k_1)}{(l_2 - l_1)}(l - l_1) + k_1, & \text{se } l_1 \leq l < l_2, \\ k_2, & \text{se } l \geq l_2. \end{cases}$$



Transformação linear

UFMG

Sejam $[l_1, l_2]$, $l_1 \leq l_2$, e $[k_1, k_2]$ dois intervalos de cinza no conjunto de valores de I e J. A transformação (stretching) linear é dada por:

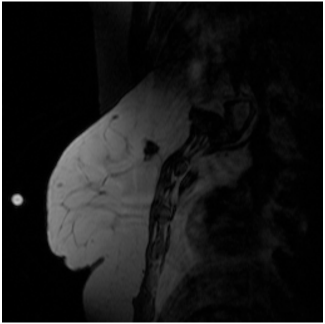
$$k = \begin{cases} k_1, & \text{se } l < l_1, \\ \frac{(k_2 - k_1)}{(l_2 - l_1)}(l - l_1) + k_1, & \text{se } l_1 \leq l < l_2, \\ k_2, & \text{se } l \geq l_2. \end{cases}$$

Casos particulares:

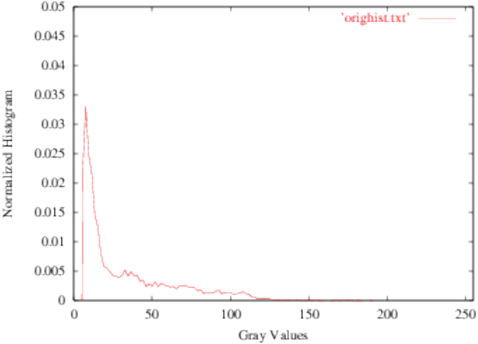
- **Normalização** em $[0, H]$ (e.g., $H = 255$): $k_2 = H$, $k_1 = 0$, $l_1 = l_{\min}$, e $l_2 = l_{\max}$, onde $l_{\min}$ e $l_{\max}$ são os valores mínimo e máximo de $\hat{I}$.
- **Negativo:** $k_2 = l_{\min}$, $k_1 = l_{\max}$, $l_1 = l_{\min}$, e $l_2 = l_{\max}$.
- **Largura & Nível (width & level):** $k_2 = H$, $k_1 = 0$, e $l_1 < l_2$, onde o nível $\frac{l_1 + l_2}{2}$ altera o brilho e a largura $l_2 - l_1$ altera o contraste.
- **Limiarização/Binarização (thresholding):** $k_2 = H$, $k_1 = 0$ e $l_1 = l_2$.

UFMG

Imagem escura com baixo contraste

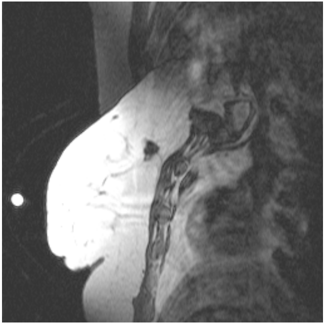


(a) Carcinoma de mama em RM

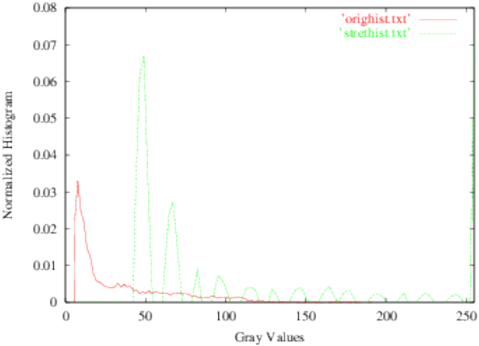


(b) Seu histograma

Após transformação linear



(a) Imagem transformada



(b) Histogramas antes e depois

Transformação exponencial

UFMG

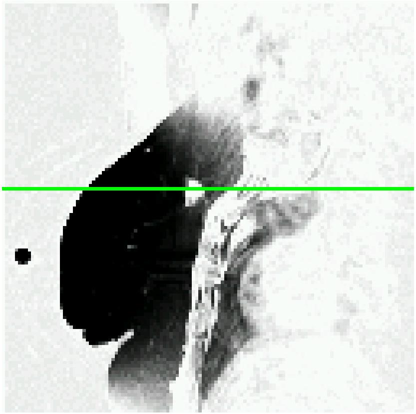
A transformação exponencial pode ser definida por:

- $k = l_{\max} \exp(\frac{l - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}}) - l_{\max}$ e
- $k = H \exp(\frac{-(l-\mu)^2}{2\sigma^2})$.

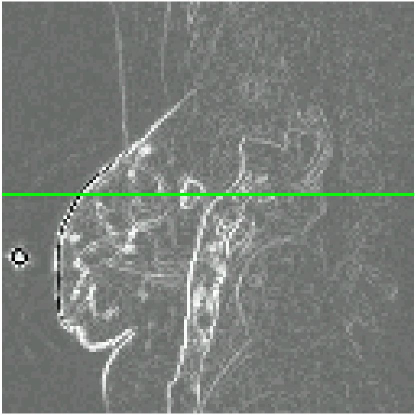
O primeiro caso aumenta o contraste no intervalo $[l_{\min}, l_{\max}]$ e o segundo aumenta o contraste em relação a um valor μ (e.g., μ pode ser o brilho médio de um objeto na imagem).

Após transformação Gaussiana

UFMG



(a) Original transformada



(b) Imagem de bordas transformada

Transformação logarítmica

UFMG

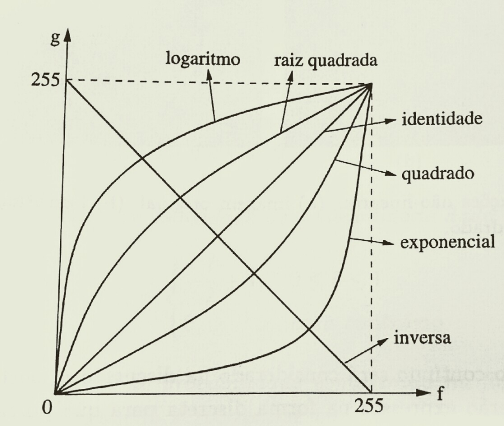
A transformação logarítmica reduz a dinâmica da imagem (intervalo de brilho), sendo muito usada para visualizar a magnitude da transformada de Fourier.

$$J(p) = H \log(1 + \left|\vec{I}(p)\right|),$$

onde $\vec{I} = \{I_1, I_2\}$ contém a parte real I_1 e a imaginária I_2 do espectro.

Transformação Radiométrica

Resumo



UFMG

Transformações radiométricas para imagens coloridas

- Transformações radiométricas devem preservar a informação de matiz da imagem colorida. Neste caso, as transformações acima podem ser aplicadas na imagem de brilho (ou de saturação) usando algum espaço descorrelacionado: HSV, Luv, Lab, $YCbCr$.
- Por exemplo: Converte-se a imagem de RGB para $YCbCr$, aplica-se a transformação radiométrica em Y, e volta a imagem transformada de $YCbCr$ para RGB.

Transformações radiométricas para imagens coloridas

UFMG

- Transformações radiométricas devem preservar a informação de matiz da imagem colorida. Neste caso, as transformações acima podem ser aplicadas na imagem de brilho (ou de saturação) usando algum espaço descorrelacionado: HSV, Luv, Lab, $YCbCr$.
- Por exemplo: Converte-se a imagem de RGB para $YCbCr$, aplica-se a transformação radiométrica em Y, e volta a imagem transformada de $YCbCr$ para RGB.

Histograma acumulado

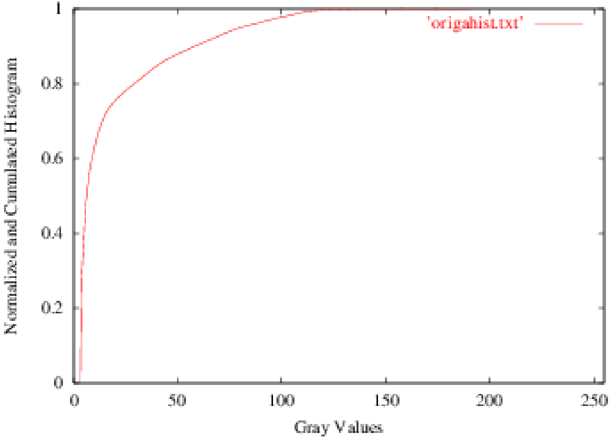
UFMG

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 $l_{\text{min}} \leq l \leq l_{\text{max}}$ (vamos assumir que $0 \leq l_{\text{min}}$).

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

Note que $h_a(l_{\text{max}}) = 1$. Este conceito pode ser explorado para equalização da imagem.

Histograma acumulado



Histograma acumulado da imagem de mama.

Equalização

UFMG

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

$$k = h_a(l)$$

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.

Equalização

UFMG

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

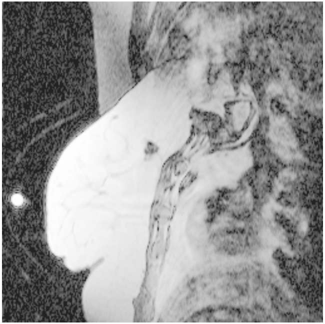
$$k = h_a(l)$$

Esta transformação tem como propriedades ser:

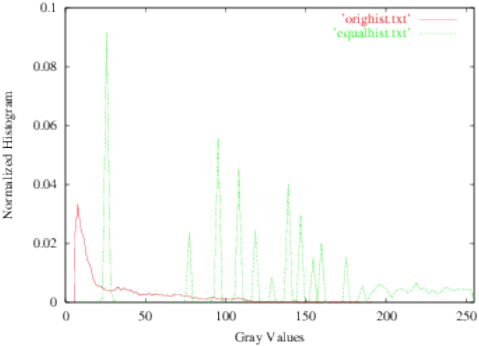
- bijetora e monotonicamente crescente em $[0, 1]$, e
- limitada, $0 \leq T(l) \leq 1$, para $0 \leq l \leq 1$.

Após equalização, os valores $0 \leq k \leq 1$ podem ser multiplicados por H para gerar valores inteiros de brilho.

Após equalização

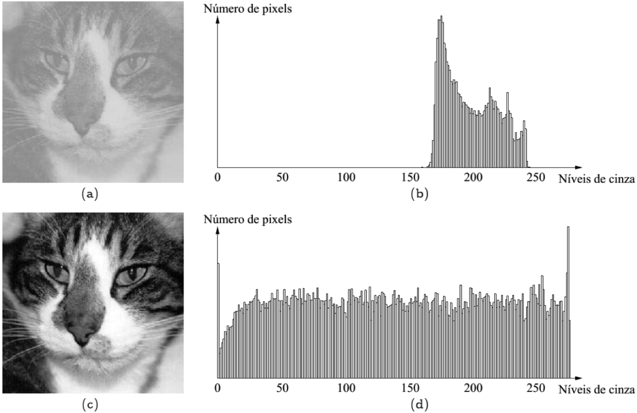


(a) Original equalizada



(b) Histogramas antes e depois

Após equalização



Equalização – Exemplo de Cálculo

UFMG

Tabela 4.1: Histograma a ser equalizado.

Níveis de cinza (k)	0	1	2	3	4	5	6	7
Número de pixels (n_k)	1314	3837	5820	4110	2374	921	629	516

Equalização – Exemplo de Cálculo

UFMG

Tabela 4.1: Histograma a ser equalizado.

Níveis de cinza (k)	0	1	2	3	4	5	6	7
Número de pixels (n_k)	1314	3837	5820	4110	2374	921	629	516

Inicialmente, deve-se encontrar a probabilidade p_f *com que cada nível de cinza* k *aparece na imagem* f*, ou seja*

$p_f(f_0) = 1314/19521 \approx 0.067$ $p_f(f_1) = 3837/19521 \approx 0.197$ $p_f(f_2) = 5820/19521 \approx 0.298$

$p_f(f_3) = 4110/19521 \approx 0.211$ $p_f(f_4) = 2374/19521 \approx 0.122$ $p_f(f_5) = 921/19521 \approx 0.047$

$p_f(f_6) = 629/19521 \approx 0.032$ $p_f(f_7) = 516/19521 \approx 0.026$

Equalização – Exemplo de Cálculo

UFMG

Tabela 4.1: Histograma a ser equalizado.

Níveis de cinza (k)	0	1	2	3	4	5	6	7
Número de pixels (n_k)	1314	3837	5820	4110	2374	921	629	516

Inicialmente, deve-se encontrar a probabilidade p_f *com que cada nível de cinza* k *aparece na imagem* f*, ou seja*

$$p_f(f_0) = 1314/19521 \approx 0.067 \quad p_f(f_1) = 3837/19521 \approx 0.197 \quad p_f(f_2) = 5820/19521 \approx 0.298$$
$$p_f(f_3) = 4110/19521 \approx 0.211 \quad p_f(f_4) = 2374/19521 \approx 0.122 \quad p_f(f_5) = 921/19521 \approx 0.047$$
$$p_f(f_6) = 629/19521 \approx 0.032 \quad p_f(f_7) = 516/19521 \approx 0.026$$

Calculando a função distribuição acumulada de probabilidade, obtém-se

$$g_0 = T(f_0) = \sum_{i=0}^{0} p_f(f_0) = 0.067 \qquad g_1 = T(f_1) = \sum_{i=0}^{1} p_f(f_1) = 0.264$$

De forma similar

$$g_2 = 0.562 \qquad g_3 = 0.773 \qquad g_4 = 0.895$$
$$g_5 = 0.942 \qquad g_6 = 0.974 \qquad g_7 = 1$$

Equalização – Exemplo de Cálculo

UFMG

Como a imagem foi quantizada com oito níveis de cinza, cada valor g_k *deverá ser substituído pelo nível de cinza mais próximo, ou seja*

$$g_0 = g_0 \times 7 = 0.067 \times 7 = 0.469 \approx 0$$

Analogamente para os outros valores de g_k*, tem-se*

$$g_1 = 0.264 \times 7 = 1.848 \approx 2 \quad g_2 = 0.562 \times 7 = 3.934 \approx 4 \quad g_3 = 0.773 \times 7 = 5.411 \approx 5$$
$$g_4 = 0.895 \times 7 = 6.265 \approx 6 \quad g_5 = 0.942 \times 7 = 6.594 \approx 7 \quad g_6 = 0.974 \times 7 = 6.818 \approx 7$$
$$g_7 = 1 \times 7 = 7$$

Equalização – Exemplo de Cálculo

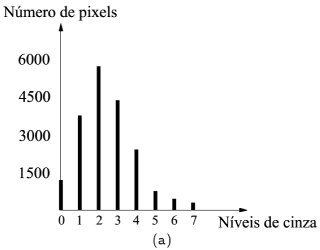
UFMG

Como a imagem foi quantizada com oito níveis de cinza, cada valor g_k deverá ser substituído pelo nível de cinza mais próximo, ou seja

$$g_0 = g_0 \times 7 = 0.067 \times 7 = 0.469 \approx 0$$

Analogamente para os outros valores de g_k, tem-se

$$g_1 = 0.264 \times 7 = 1.848 \approx 2 \quad g_2 = 0.562 \times 7 = 3.934 \approx 4 \quad g_3 = 0.773 \times 7 = 5.411 \approx 5$$
$$g_4 = 0.895 \times 7 = 6.265 \approx 6 \quad g_5 = 0.942 \times 7 = 6.594 \approx 7 \quad g_6 = 0.974 \times 7 = 6.818 \approx 7$$
$$g_7 = 1 \times 7 = 7$$



Equalização por ordenação

UFMG

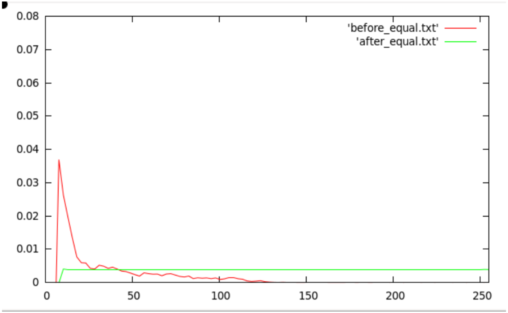
Uma forma de garantir que o histograma de $\hat{J}$ seja mesmo uniforme é equalizar a imagem seguindo os passos abaixo.

1. Ordene os pixels da imagem $\hat{I}$ por ordem crescente de brilho.
2. Divida a sequência ordenada de pixels em $H + 1$ intervalos, $k = 0, 1, \ldots, H$, 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.

Após equalização por ordenação

UFMG

(a) Original equalizada



(b) Histogramas antes e depois

Casamento de histogramas

UFMG

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.
- 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 $\hat{I}_2$.

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

O casamento entre imagens coloridas requer conversão de RGB para $YCbCr$, o casamento entre os componentes de brilho, e a volta de $YCbCr$ para RGB.

Casamento de histogramas

UFMG

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.
- 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 $\hat{I}_2$.

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

O casamento entre imagens coloridas requer conversão de RGB para $YCbCr$, o casamento entre os componentes de brilho, e a volta de $YCbCr$ para RGB.

Casamento de histogramas

UFMG

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.
- 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 $\hat{I}_2$.

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

O casamento entre imagens coloridas requer conversão de RGB para $YCbCr$, o casamento entre os componentes de brilho, e a volta de $YCbCr$ para RGB.

Casamento de histogramas

UFMG

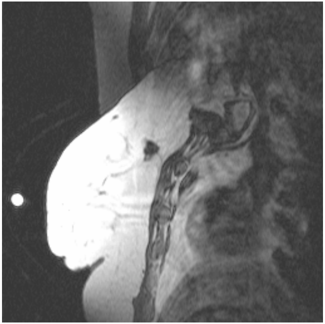
Sejam $\hat{I}_1 = (D_{I_1}, I_1)$ e $\hat{I}_2 = (D_{I_2}, I_2)$ duas imagens cinza. Suponha que desejamos fazer com que o histograma de $\hat{I}_1$ fique parecido com o histograma de $\hat{I}_2$.

- 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.
- 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 $\hat{I}_2$.

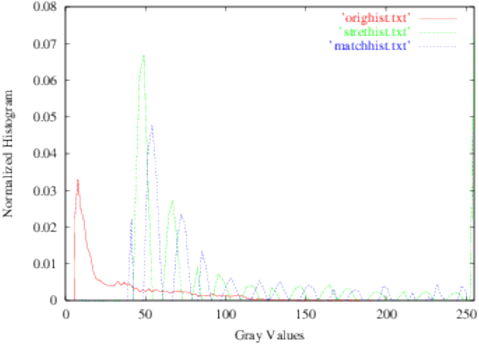
$$J(p) = T_2^{-1}(T_1(I_1(p)))$$

O casamento entre imagens coloridas requer conversão de RGB para $YCbCr$, o casamento entre os componentes de brilho, e a volta de $YCbCr$ para RGB.

Casamento de histogramas: original e linearmente transformada



(a) Após casamento



(b) Histogramas antes e depois

Exercícios

UFMG

Considerando imagens cinzas, escreva os algoritmos em linguagem de alto nível para:

1. Transformação linear.
2. Equalização pelo histograma acumulado.
3. Casamento de histogramas.

Bibliografia

UFMG

- Processamento de Imagens Digitais (Gonzalez & Woods)
  - Seção 2.4.6 - Operações Lógico-Aritméticas
  - Cap. 4 – Realce de Imagens
- Análise de Imagens (Pedrini & Schwartz)
  - Seção 2.11.8 - Operações Lógicas e Aritméticas
  - Cap. 4 – Realce de Imagens
- Notas de aula do Prof. Falcão:
  - `http://www.ic.unicamp.br/~afalcao/mo443/aula2.pdf` (Seção 4)
  - `http://www.ic.unicamp.br/~afalcao/mo443/aula6.pdf`
  - `http://www.ic.unicamp.br/~afalcao/mo443/aula7.pdf`
- Skimage:
  - Histogram **exposure** module: `http://scikit-image.org/docs/dev/api/skimage.exposure.html`