

Xử lý ảnh - Ảnh số và Xử lý điểm ảnh

Đỗ Thanh Hà

Bộ môn Tin học
Khoa Toán - Cơ - Tin học
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên

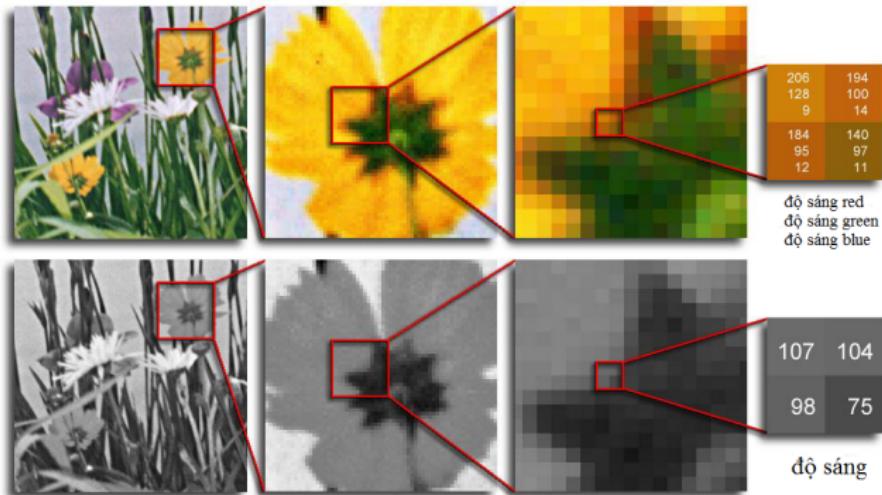
- Định nghĩa ảnh số
- Quá trình xử lý điểm ảnh

Định nghĩa ảnh số

Ảnh số

- Ảnh số, là một biểu diễn của ảnh 2 chiều, bao gồm tập hữu hạn các giá trị số (*các pixels hay các thành phần của ảnh*)
- Mỗi pixel có 3 giá trị (*ảnh màu*) hoặc 1 giá trị (*ảnh đơn sắc*)

lưới
các ô
vuông,
1 ô
vuông
là 1
màu

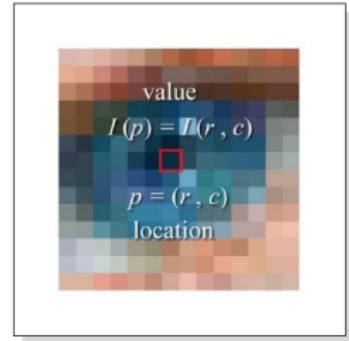
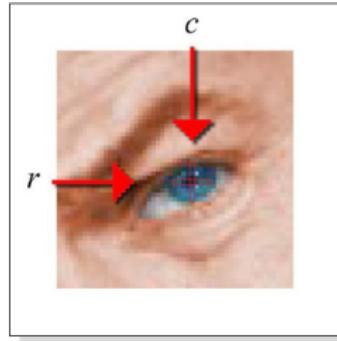
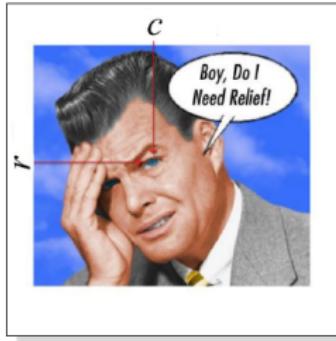


1 ô
vuông
= 1
pixel

- Một ảnh số, I , là một ánh xạ từ lưới hai chiều gồm các điểm rời rạc có khoảng cách đồng nhất bằng nhau, $\{p = (r, c)\}$, vào tập các giá trị nguyên dương, $\{I(p)\}$, hoặc tập các vector, ví dụ $\{[R \ G \ B]^T(p)\}$
- Cặp $(p, I(p))$ được gọi là *pixel*

- $p = (r, c)$ là vị trí pixel đánh chỉ số bởi hàng r , và cột c
- $I(p) = I(r, c)$ là giá trị của pixel tại vị trí $p = (r, c)$
- Nếu $I(p)$ là một số thì I là một ảnh đơn sắc
- Nếu $I(p)$ là một vector thì I có nhiều kênh màu (ví dụ ảnh màu)

Pixels



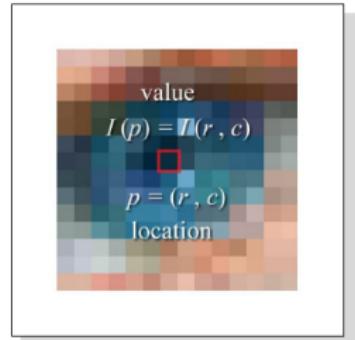
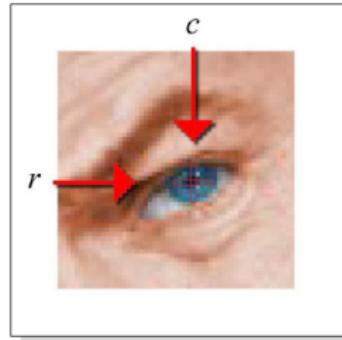
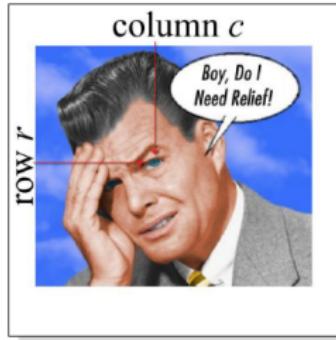
Pixel Location: $p = (r, c)$

Pixel Value: $I(p) = I(r, c)$

Pixel : $[p, I(p)]$

Pixels

Pixel : $[p, I(p)]$



$$\begin{aligned} p &= r, c \\ &= \text{row \#}, \text{col \#} \\ &= 272, 277 \end{aligned}$$

$$I(p) = \begin{bmatrix} \text{red} \\ \text{green} \\ \text{blue} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 43 \\ 61 \end{bmatrix}$$

Quá trình xử lý điểm ảnh

- Trong ảnh số, điểm ảnh = pixel
- Quá trình xử lý điểm ảnh sẽ biến đổi giá trị của một pixel bằng một hàm giá trị của nó (*hàm biến đổi mức xám*)
- Hàm này không phụ thuộc vào giá trị của các pixel hàng xóm mà chỉ phụ thuộc vào giá trị pixel đang xét, nên các kỹ thuật thuộc dạng này được gọi là *xử lý điểm*

- Điều chỉnh độ sáng và độ tương phản (*Brightness and contrast adjustment*)
- Điều chỉnh thông số Gamma (*Gamma Correction*)
- Cân bằng histogram (*Histogram Equalization*)
- So khớp histogram (*Histogram matching*)
- Điều chỉnh màu (*Color Correction*)

Xử lý điểm ảnh



- gamma



- brightness



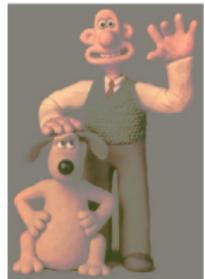
original



+ brightness



+ gamma



histogram mod



- contrast



original



+ contrast



histogram EQ

Histogram của ảnh xám

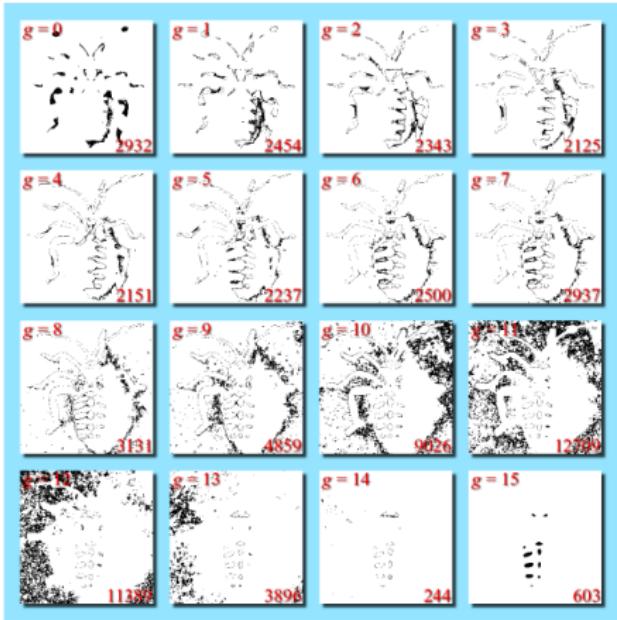
- Gọi I là một ảnh xám
- $I(r, c)$ là một giá trị nguyên 8-bit trong khoảng từ 0 đến 255
- Histogram, h_I của I :
 - là một mảng gồm 256 thành phần, h_I
 - $h_I(g)$, với $g = 1, 2, \dots, 256$, là một số nguyên
 - $h_I(g)$ là số các pixel trong I có giá trị bằng $g - 1$

Ví dụ về Histogram của ảnh xám



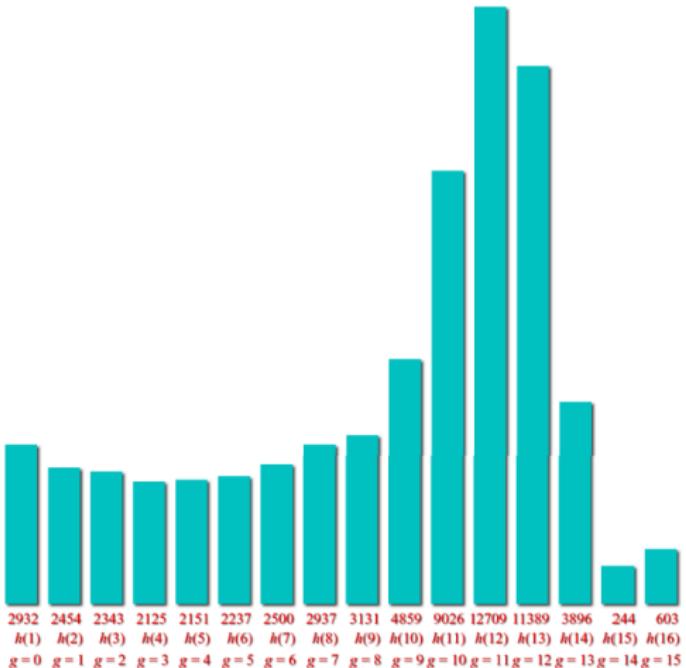
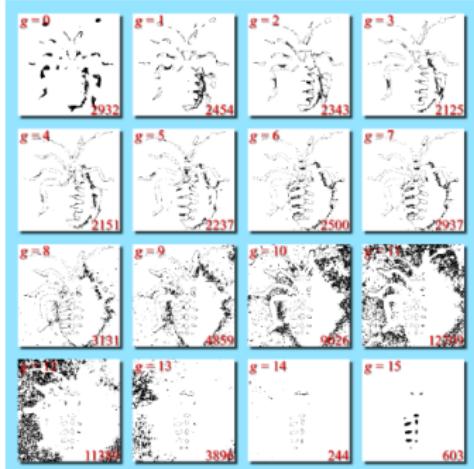
ảnh 4 bit (16 mức)

Số các pixels có độ sáng bằng g

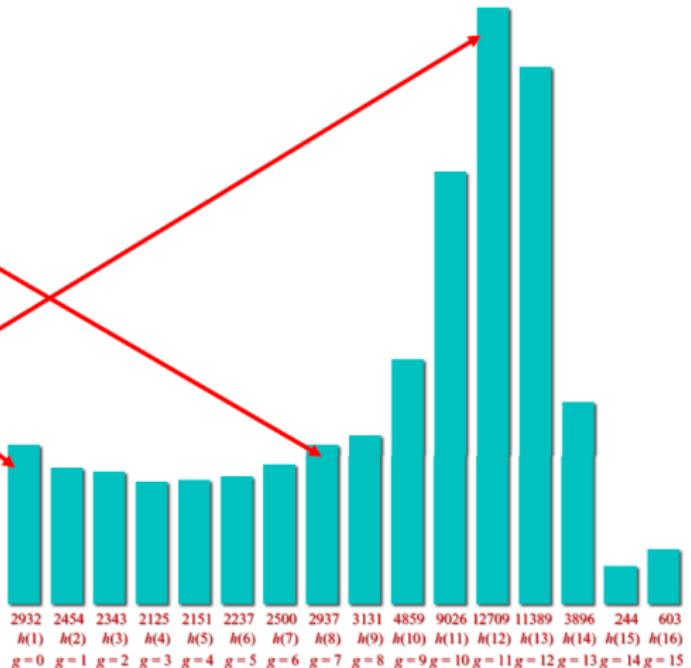
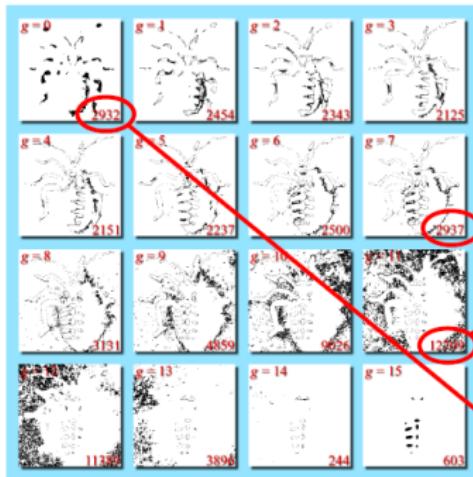


các pixels đánh dấu màu đen có độ sáng g

Ví dụ về Histogram của ảnh xám

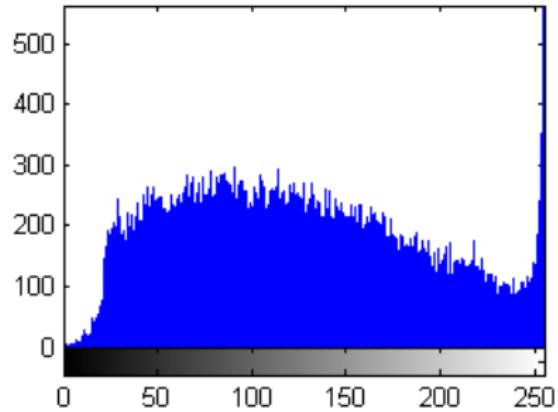


Ví dụ về Histogram của ảnh xám



Histogram của ảnh xám

$h_I(g + 1) = \text{số các pixel trong } I \text{ có độ sáng bằng } g.$



Histogram của ảnh màu

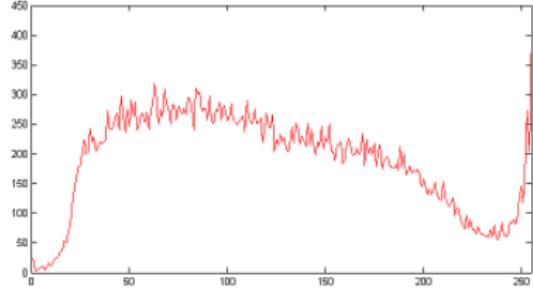
- Nếu I là một ảnh màu (3-kênh (*3-bands*), 24 bits)
- thì $I(r, c, b)$ là một số nguyên trong khoảng từ 0 đến 255
- Khi đó I có 3 histogram
 - $h_R(g + 1) =$ số các pixel trong $I(:, :, 1)$ có mức sáng bằng g
 - $h_G(g + 1) =$ số các pixel trong $I(:, :, 2)$ có mức sáng bằng g
 - $h_B(g + 1) =$ số các pixel trong $I(:, :, 3)$ có mức sáng bằng g

Ví dụ về histogram của ảnh màu

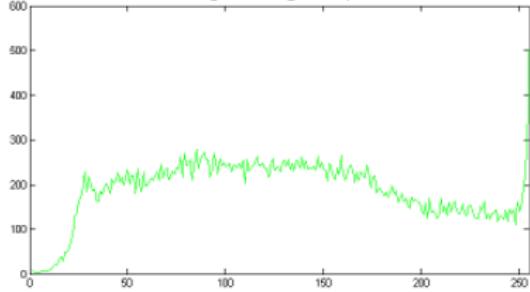
Original Color Image



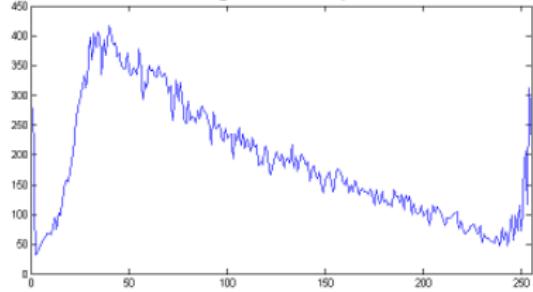
Histogram of red plane



Histogram of green plane



Histogram of blue plane



Value histogram và Luminance histogram

- Value histogram của ảnh màu I là histogram của ảnh value.
Ảnh value được định nghĩa như sau:

$$V(r, c) = \frac{1}{3}(R(r, c) + G(r, c) + B(r, c))$$

với R , G , B là các kênh màu đỏ, xanh lá cây và xanh da trời của I.

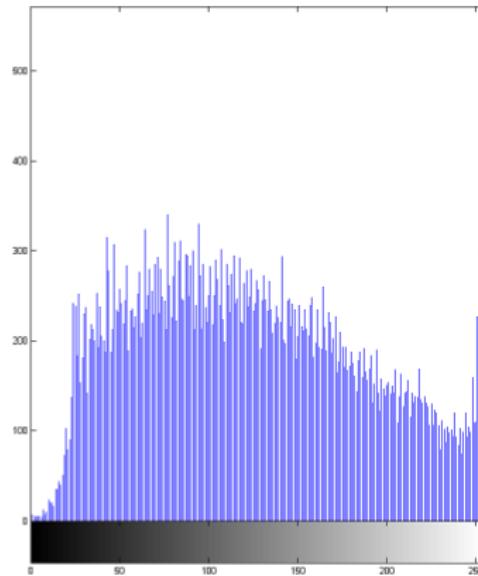
- Luminance histogram của I là histogram của ảnh luminance.
Ảnh luminance được định nghĩa như sau:

$$L(r, c) = 0.299 \times R(r, c) + 0.587 \times G(r, c) + 0.114 \times B(r, c)$$

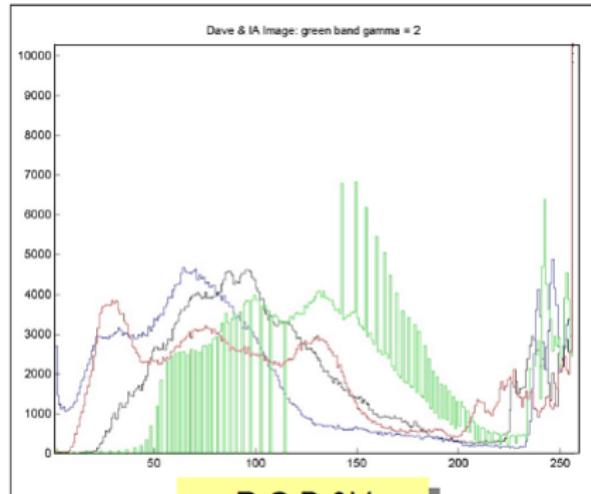
Gọi số thành phần của mảng h_I là n , khi đó

- Nếu I là ảnh xám có kiểu $int8$, thì mặc định $n = 256$
- Nếu I là ảnh nhị phân, thì $n = 2$
- Nếu I không có kiểu $int16$, thì thành phần thứ p của mảng h_I chứa số pixels có giá trị nằm trong khoảng $\left[\frac{A(p-1.5)}{(n-1)}, \frac{A(p-0.5)}{(n-1)} \right)$
- Nếu I có kiểu $int16$, thì thành phần thứ p của mảng h_I chứa số pixels có giá trị nằm trong khoảng $\left[\frac{A(p-1.5)}{(n-1)} - 32768, \frac{A(p-0.5)}{(n-1)} - 32768 \right)$
- Hằng số A phụ thuộc và lớp ảnh. Nếu ảnh là *double* hoặc *single*, thì $A = 1$. Nếu ảnh là *uint8*, $A = 255$. Nếu ảnh là *uint16* hoặc *int16* thì $A = 65535$

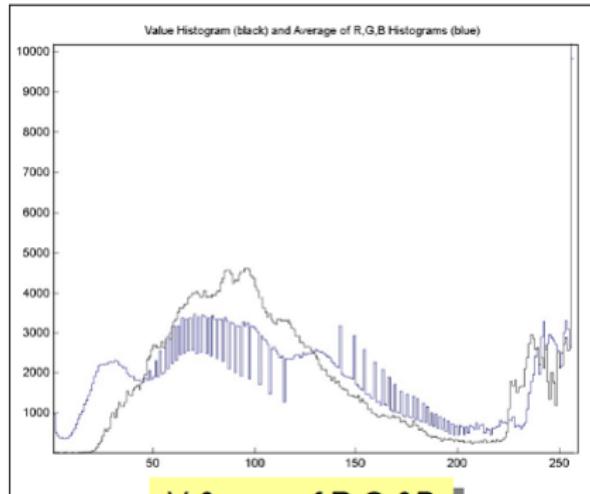
Ví dụ về luminance histogram



Ví dụ về luminance histogram



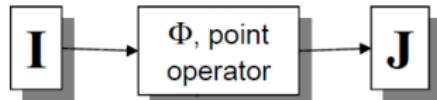
R,G,B,&V
histograms



V & avg. of R,G,&B
histograms

Phép toán điểm qua các ánh xạ hàm

- Một biến đổi ảnh I thành ảnh J được thực hiện bằng cách thay thế mỗi mức sáng g bằng một mức sáng k , tại vị trí (r, c) với $I(r, c) = g$



- Ảnh: $J = \Phi(I)$
- Pixel: Nếu $I(r, c) = g$ và $f(g) = k$ thì $J(r, c) = k$



- Luật liên kết k với g thường được xác định bằn hàm f sao cho $f(g) = k$

Phép toán điểm qua các ánh xạ hàm

- **Ánh xám**

$$J(r, c) = f(I(r, c)) \text{ với mọi } (r, c)$$

- **Ánh màu**

$$J(r, c, b) = f(I(r, c, b)) \text{ hoặc}$$

$$J(r, c, b) = f_b(I(r, c, b))$$

với $b = 1, 2, 3$ và với mọi (r, c)

Các phép toán điểm sử dụng Look-up Table

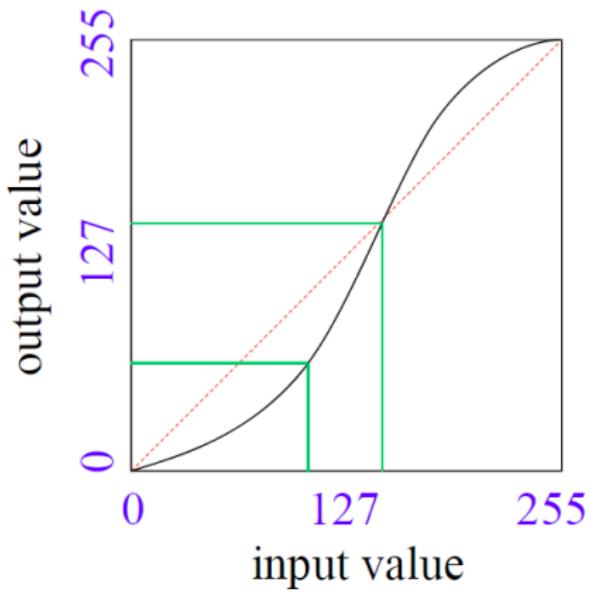
- Look-up Table (LUT) thực hiện một ánh xạ hàm
 - Nếu $k = f(g)$, $g = 0, \dots, 255$ và nếu $k \in \{0, \dots, 255\}$
 - thì LUT mà thực hiện f là một mảng kích thước 256×1 trong đó phần tử thứ $g + 1$ có giá trị bằng $k = f(g)$
- Nếu I là ảnh xám, thì $J = LUT(I + 1)$
- Nếu I là một ảnh màu (3-kênh) thì:
 - Mỗi kênh màu được ánh xạ riêng lẻ sử dụng cùng một LUT

$$J = LUT(I + 1)$$

- Mỗi kênh màu được ánh xạ sử dụng các LUT khác nhau

$$J(:,:,b) = LUT_b(I(:,:,b) + 1) \text{ với } b = 1, 2, 3$$

Phép toán điểm = Phép toán LUT



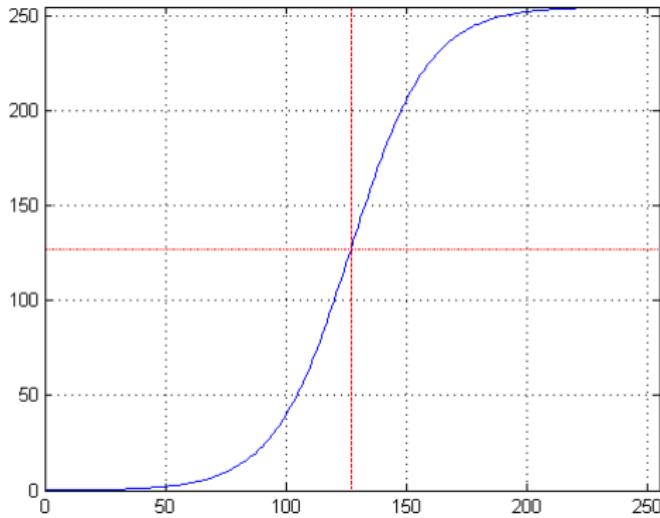
<i>E.g.:</i>	index	value
...
101	64	
102	68	
103	69	
104	70	
105	70	
106	71	
...

input output

Tạo ra LUT? Ví dụ

- Giả sử $a = 2$ và $x \in \{0, \dots, 255\}$ thì

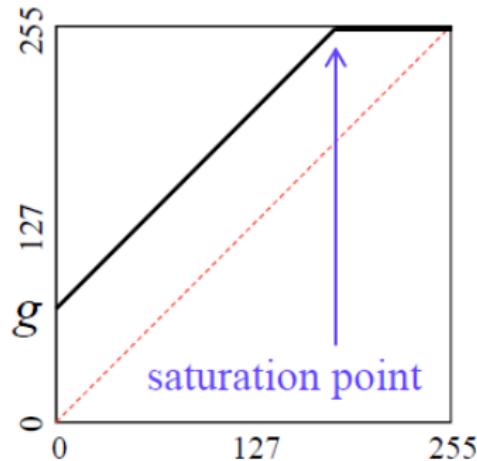
$$\sigma(x; a) = \frac{255}{1 + e^{-a(x-127)/32}}$$



Xử lý điểm: Tăng độ sáng

$$J(r, c, b) = \begin{cases} I(r, c, b) + g & \text{nếu } I(r, c, b) + g < 256 \\ 255 & \text{nếu } I(r, c, b) + g > 255 \end{cases}$$

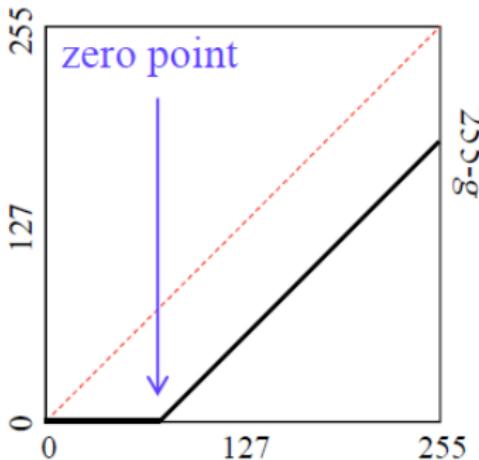
trong đó $g \geq 0$ và $b \in \{1, 2, 3\}$ là các chỉ số kênh màu



Xử lý điểm: Giảm độ sáng

$$J(r, c, b) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } I(r, c, b) - g < 0 \\ I(r, c, b) - g & \text{nếu } I(r, c, b) - g > 0 \end{cases}$$

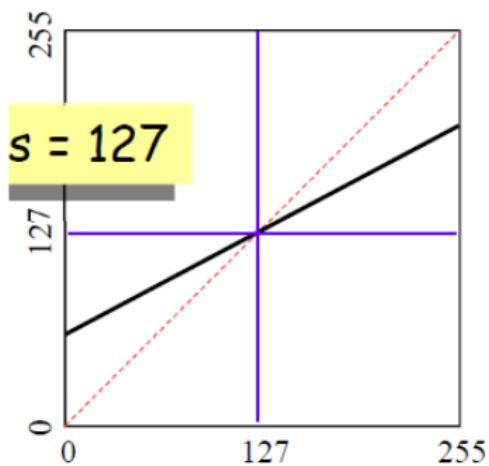
trong đó $g \geq 0$ và $b \in \{1, 2, 3\}$ là các chỉ số kênh màu



Xử lý điểm: Giảm độ tương phản

$$J(r, c, b) = a[I(r, c, b) - s] + s$$

với $\begin{cases} 0 \leq a < 1.0 \\ s \in \{0, 1, 2, \dots, 255\} \text{ là tâm của hàm tương phản} \\ b \in \{1, 2, 3\} \end{cases}$

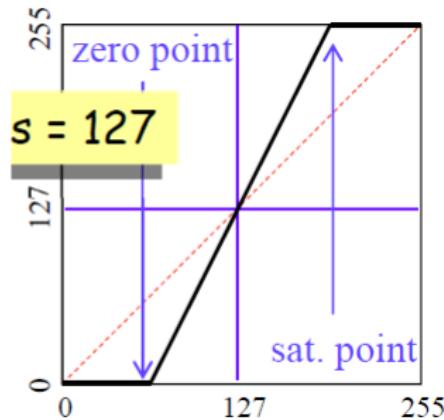


Xử lý điểm: Tăng độ tương phản

$$T(r, c, b) = a[I(r, c, b) - s] + s$$

$$J(r, c, b) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } T(r, c, b) < 0 \\ T(r, c, b) & \text{nếu } 0 \leq T(r, c, b) \leq 255 \\ 255 & \text{nếu } T(r, c, b) > 255 \end{cases}$$

trong đó $a > 1$, $s \in \{0, \dots, 255\}$, $b \in \{1, 2, 3\}$

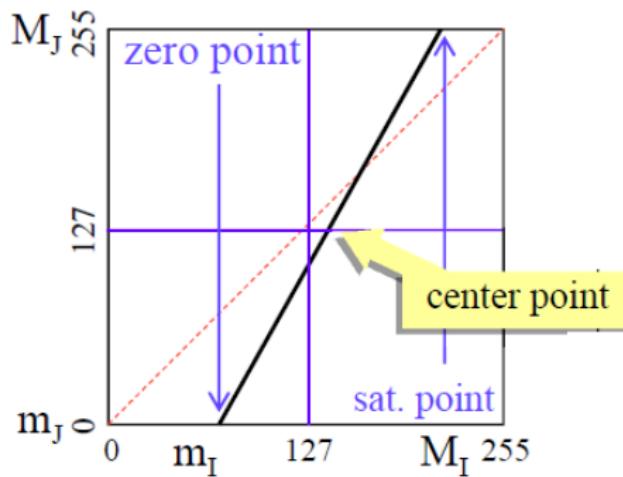


Xử lý điểm: Dãn độ tương phản (*Contrast Stretch*)

$$m_I = \min[I(r, c)], M_I = \max[I(r, c)]$$

$$m_J = \min[J(r, c)], M_J = \max[J(r, c)]$$

$$J(r, c) = (M_J - m_J) \frac{I(r, c) - m_I}{M_I - m_I} + m_J$$



Xử lý điểm: Tăng/Giảm Gamma

- Tăng Gamma

$$J(r, c) = 255 \times \left[\frac{I(r, c)}{255} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \text{ với } \gamma > 1.0$$

- Giảm Gamma

$$J(r, c) = 255 \times \left[\frac{I(r, c)}{255} \right]^{\frac{1}{\gamma}} \text{ với } \gamma < 1.0$$

Hàm mật độ xác suất của ảnh

- Gọi

$$A = \sum_{g=0}^{255} h_{I_k}(g + 1)$$

với $h_{I_k}(g + 1)$ là số các pixels trong I_k (k là kênh màu thứ k của ảnh I) có giá trị bằng g , và A là số các pixels trong I , nếu I có R hàng và C cột thì $A = R \times C$

- Khi đó

$$p_{I_k}(g + 1) = \frac{1}{A} h_{I_k}(g + 1)$$

là hàm mật độ xác suất (*Probability Density Function - pdf*) của I_k

Đây là xác suất mà một pixel bất kì trên I_k có giá trị bằng g .

- $p_{I_k}(g + 1)$ là tỉ lệ các pixels (trên kênh màu I_k) của ảnh I mà có giá trị mức sáng bằng g
- $p_{I_k}(g + 1)$ là xác suất mà một pixel được chọn ngẫu nhiên từ một kênh màu cho trước I_k có giá trị mức sáng bằng g
- Tổng các histogram $h_{I_k}(g + 1)$ với g từ 0 đến 255 bằng số các pixels trong ảnh, tổng của $p_{I_k}(g + 1)$ trên tất cả g bằng 1
- p_{I_k} là **histogram chuẩn hoá** của kênh I_k .

Hàm mật độ xác suất của một ảnh (PDF) (hay *Cumulative Distribution Function - CDF*)

- Giả sử $\mathbf{q} = [q_1 q_2 q_3] = I(r, c)$ là giá trị của một pixel được lựa chọn ngẫu nhiên trong I , và g là một mức xám cho trước.
- Xác suất mà $q_k \leq g$ là:

$$P_{I_k}(g+1) = \sum_{\gamma=0}^g p_{I_k}(\gamma+1) = \frac{1}{A} \sum_{\gamma=0}^g h_{I_k}(\gamma+1) = \frac{\sum_{\gamma=0}^g h_{I_k}(\gamma+1)}{\sum_{\gamma=0}^{255} h_{I_k}(\gamma+1)}$$

với $h_{I_k}(\gamma + 1)$ là histogram của kênh thứ k của ảnh I

Đây là xác suất mà bất kì một pixel cho trước nào từ I_k có giá trị nhỏ hơn hoặc bằng g

Hàm phân bố xác suất của một ảnh

- $P_{I_k}(g + 1)$ là tỉ lệ các pixel (trên kênh I_k) của ảnh mà có giá trị mức sáng nhỏ hơn hoặc bằng g .
- $P_{I_k}(g + 1)$ là xác suất mà một pixel được lựa chọn ngẫu nhiên từ một kênh màu cho trước I_k có giá trị mật độ nhỏ hơn hoặc bằng g .
- $P_{I_k}(g + 1)$ là tổng tích luỹ từ 0 đến g của $p_{I_k}(g + 1)$
- $P_{I_k}(1) = p_{I_k}(1)$ và $P_{I_k}(256) = 1$; $P_{I_k}(g + 1)$ là không giảm

Xử lý điểm: cân bằng histogram (*Histogram Equalization*)

Mục tiêu: remap ảnh I sao cho histogram của nó gần một giá trị hằng nhất có thể

- Gọi $P_I(\gamma + 1)$ là hàm phân bố (xác suất) tích luỹ (CDF) của I
- Khi đó, ảnh J remap từ ảnh I bằng phương trình sau sẽ có histogram thỏa mãn yêu cầu:

$$J(r, c, b) = 255 \times P_I[I(r, c, b) + 1]$$

- Hàm phân bố xác suất bản thân nó được sử dụng như LUT

Chú ý: tất cả các kênh màu được xử lý giống nhau

Xử lý điểm: cân bằng histogram - ví dụ



$$\mathbf{J}(r,c,b) = 255 \cdot P_{\mathbf{I}}(g+1), \\ g = \mathbf{I}(r,c,b), \quad b \in \{1, 2, 3\}.$$

