



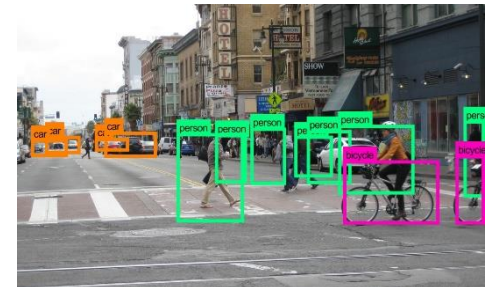
# ĐẠI HỌC CẦN THƠ TRƯỜNG CÔNG NGHỆ THÔNG TIN & TRUYỀN THÔNG

## Chương 2: CÁC KỸ THUẬT NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ẢNH

Giảng viên: Ts. Mã Trường Thành  
Khoa Khoa học máy tính



T1/2023



# Biểu diễn Ảnh



Ảnh mức xám  
Gray scale



Ảnh Màu  
RGB

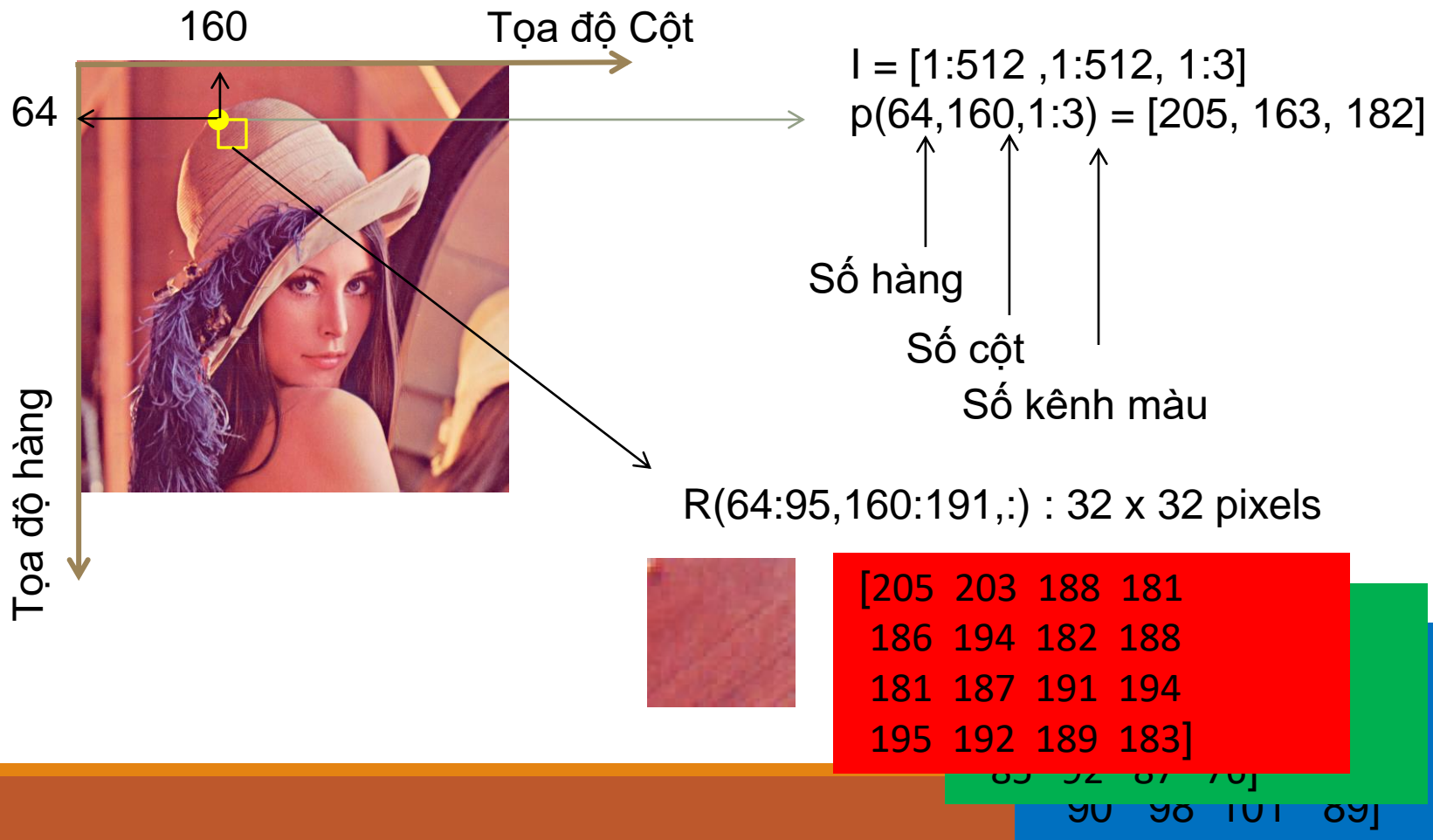


Ảnh trắng/đen  
BW

Đặc điểm	Ảnh mức xám	Ảnh Màu	Ảnh trắng/đen
Ma trận biểu diễn	[512 x 512]	[512 x 512 x 3]	[512 x 512]
Số kênh	1	3	1
Giá trị biểu diễn	[0 .. 255]	[0 .. 255, 0..255, 0..255]	[0 , 255]

# Biểu diễn Ảnh

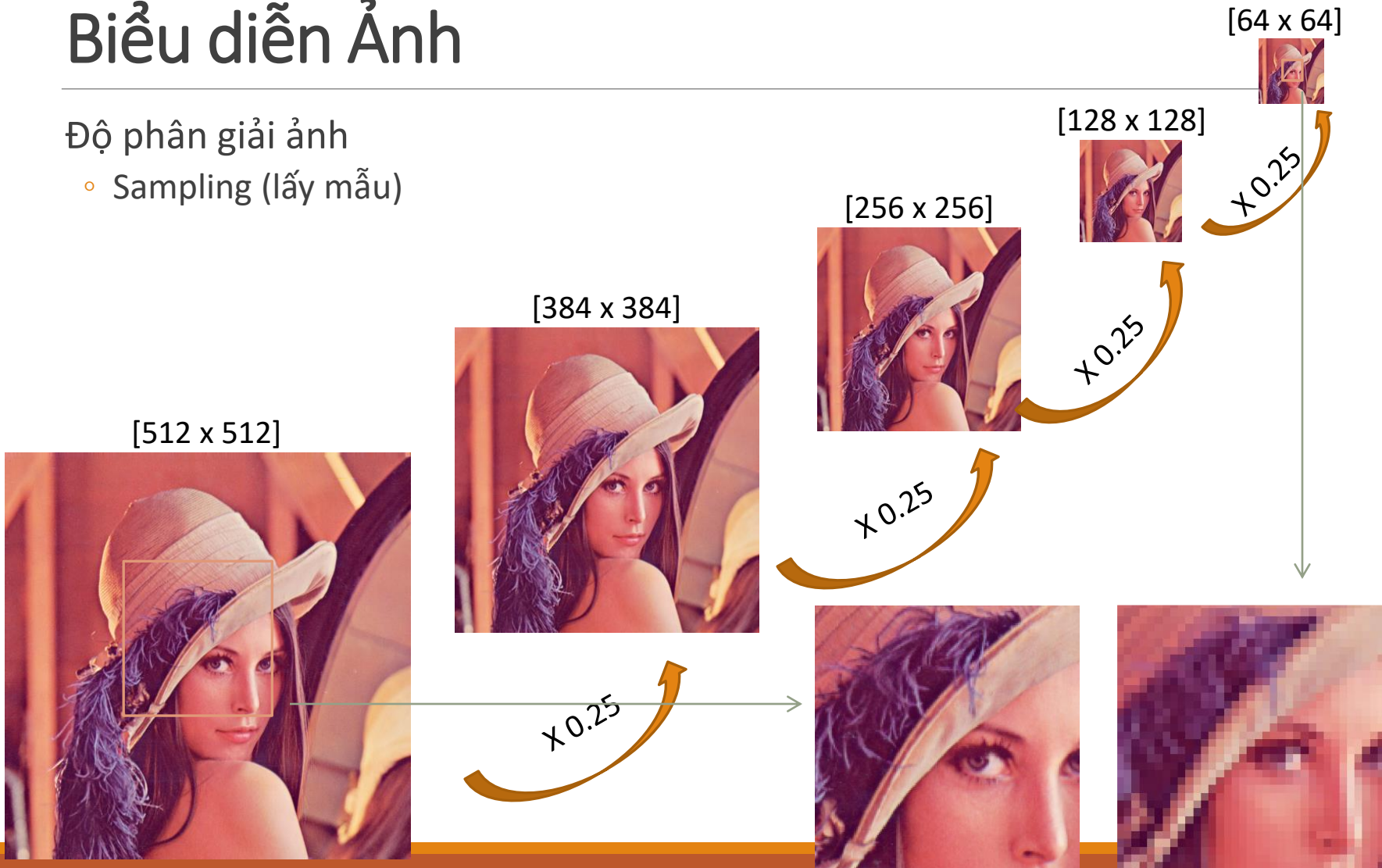
Giá trị màu tại mỗi điểm ảnh, vùng ảnh



# Biểu diễn Ảnh

Độ phân giải ảnh

- Sampling (lấy mẫu)





# Biểu diễn ảnh

Thay đổi mức lượng tử



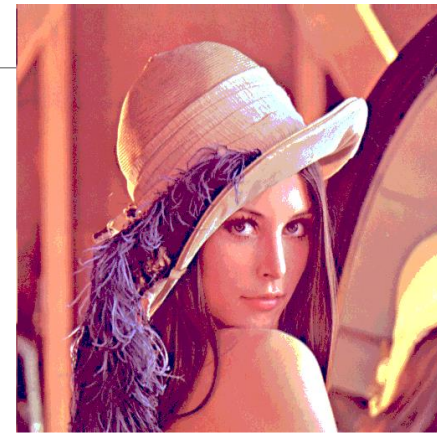
Ảnh gốc



16 mức



12 mức



7 mức

Đặc điểm	Ảnh gốc	16 mức	12 mức	7 mức
Độ phân giải	[512 x 512 x 3]	[512 x 512 x 3]	[512 x 512 x 3]	[512 x 512 x 3]
Biểu diễn	24 bits	24 bits	24 bits	24 bits
Kích thước	768 K	775 K	769 K	760 K
Số lượng màu	148279	848	468	190

# Nội dung

---

2.1. Các kỹ thuật không phụ thuộc không gian

2.2. Các kỹ thuật phụ thuộc không gian

2.3. Các phép toán hình thái học

## 2.1. Các kỹ thuật không phụ thuộc không gian

---

2.1.1 Giới thiệu

2.1.2. Tăng giảm độ sáng

2.1.3. Tách ngưỡng

2.1.4. Bó cụm

2.1.5. Kỹ thuật tách ngưỡng tự động

2.1.6. Cân bằng Histogram

2.1.7. Tăng độ tương phản - Contrast stretching

2.1.8. Ảnh âm bản

## 2.1.1 Giới thiệu

---

Các kỹ thuật không phụ thuộc không gian là các phép biến đổi ảnh không phụ thuộc vị trí của điểm ảnh.

Ví dụ: Phép tăng giảm độ sáng , phép thống kê tần suất, biến đổi tần suất v.v..

Một khái niệm quan trọng trong xử lý ảnh là biểu đồ tần suất (Histogram). Biểu đồ tần suất của mức xám  $g$  của ảnh  $I$  là số điểm ảnh có giá trị  $g$  của ảnh  $I$ . Ký hiệu là  $h(g)$ :



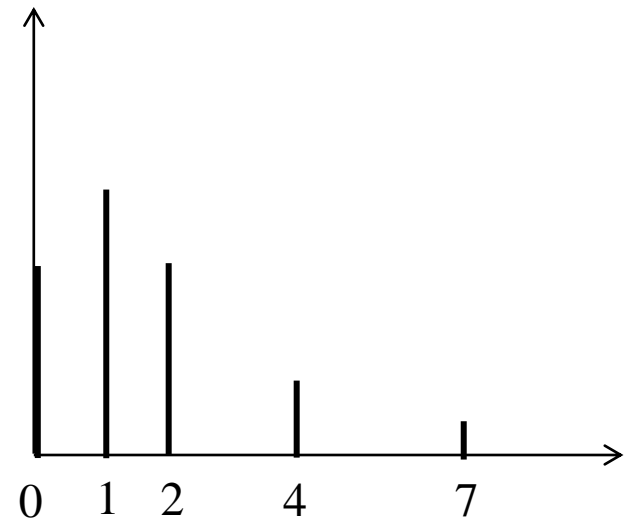
Ví dụ

- Ta có ảnh I

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 & 4 \\ 1 & 0 & 0 & 7 \\ 2 & 2 & 1 & 0 \\ 4 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

- Biểu đồ tần xuất mức xám

g	0	1	2	4	7
h(g)	5	7	5	2	1



## 2.1.2. Tăng giảm độ sáng

---

Giả sử ảnh  $I$  có kích thước  $m \times n$  và số nguyên  $c$ . Khi đó, kỹ thuật tăng, giảm độ sáng được thể hiện

```
for ( $i = 0; i < m; i++$ )  
    for ( $j = 0; j < n; j++$ )  
         $I[i, j] = I[i, j] + c;$ 
```

- Nếu  $c > 0$ : ảnh sáng lên
- Nếu  $c < 0$ : ảnh tối đi

## 2.1.3. Tách ngưỡng

---

Giả sử ảnh  $I$  có kích thước  $m \times n$ , hai số  $Min$ ,  $Max$  và ngưỡng  $\theta$  khi đó: Kỹ thuật tách ngưỡng được thể hiện

```
for ( $i = 0; i < m; i++$ )  
    for ( $j = 0; j < n; j++$ )  
         $I[i, j] = I[i, j] \geq \theta ? Max : Min;$ 
```

Ứng dụng:

- Nếu  $Min = 0$ ,  $Max = 1$  kỹ thuật chuyển ảnh thành ảnh đen trắng được ứng dụng khi quét và nhận dạng văn bản.
- Có thể xảy ra sai sót nền thành ảnh hoặc ảnh thành nền dẫn đến ảnh bị đứt nét hoặc dính.

## 2.1.4. Bó cụm

---

Kỹ thuật nhằm giảm bớt số mức xám của ảnh bằng cách nhóm lại số mức xám gần nhau thành 1 nhóm

Nếu chỉ có 2 nhóm thì chính là kỹ thuật tách ngưỡng.

Thông thường có nhiều nhóm với kích thước khác nhau.

Để tổng quát khi biến đổi người ta sẽ lấy cùng 1 kích thước `bunch_size`

- $I[i,j] = (I[i,j] \text{ **div** } bunch\_size) * bunch\_size \quad \forall (i,j)$

Ví dụ:

---

Ảnh ban đầu

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 6 & 7 \\ 2 & 1 & 3 & 4 & 5 \\ 7 & 2 & 6 & 9 & 1 \\ 4 & 1 & 2 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

Ảnh mới sau khi thực hiện bó cụm với bunch\_size=3

$$I_{kq} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 3 & 6 & 6 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 3 \\ 6 & 0 & 6 & 9 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

## 2.1.5. Kỹ thuật tách ngưỡng tự động

---

Tìm ra ngưỡng  $\theta$  một cách tự động dựa vào histogram theo nguyên lý trong vật lý là vật thể tách làm 2 phần nếu tổng độ lệch trong từng phần là tối thiểu.

Mô tả:

- Ảnh  $I$  kích thước  $m \times n$
- $G$  là số mức xám của ảnh kể cả khuyết thiếu
- $t(g)$  là số điểm ảnh có mức xám  $\leq g$
- $m(g) = \frac{1}{t(g)} \sum_{i=0}^g i \cdot h(i)$  là mômen quán tính TB có mức xám  $\leq g$



- 
- Xây dựng hàm  $f: g \rightarrow f(g)$  sao cho  $f(g) = \frac{t(g)}{m.n-t(g)} [m(g) - m(G - 1)]^2$
  - Tìm  $\theta$  sao cho:  $f(\theta) = \max_{0 \leq g \leq G-1} \{f(g)\}$

Ví dụ:

- Ảnh ban đầu

$$I = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$m(g) = \frac{1}{t(g)} \sum_{i=0}^g i \cdot h(i)$$

$$f(g) = \frac{t(g)}{m \cdot n - t(g)} [m(g) - m(G-1)]^2$$

$$I = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Lập bảng tính toán các giá trị

g	h(g)	t(g)	g.h(g)	$\sum_{i=0}^g ih(i)$	m(g)	f(g)
0	15	15	0	0	0	1.35
1	5	20	5	5	0,25	1.66
2	4	24	8	13	0,54	1.54
3	3	27	9	22	0,81	1.10
4	2	29	8	30	1,03	0.49
5	1	30	5	35	1,16	$\infty$

- Ngưỡng cần tách là  $\theta=1$  ứng với  $f(\theta)=1.66$

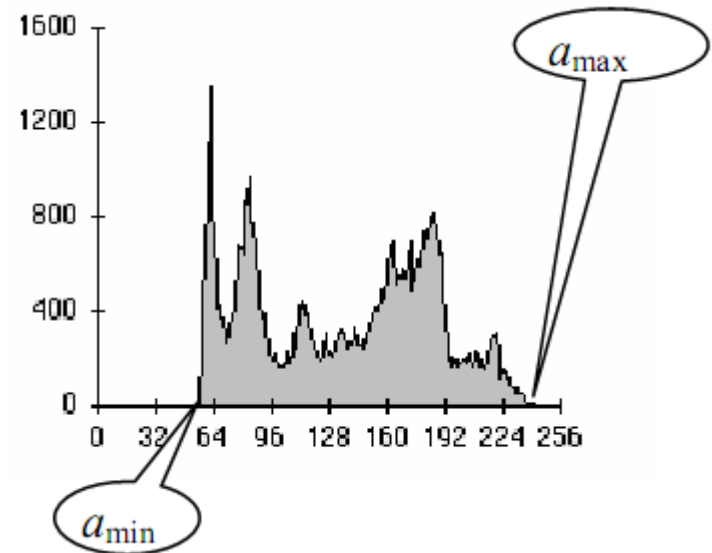
## 2.1.6. Cân bằng histogram (Equalization)

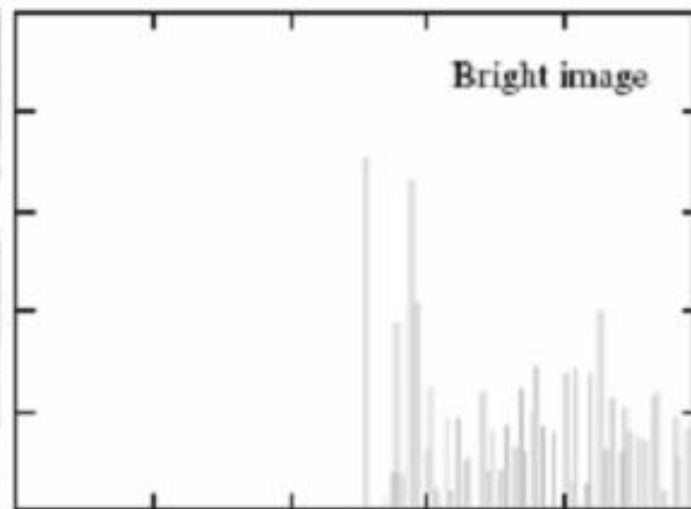
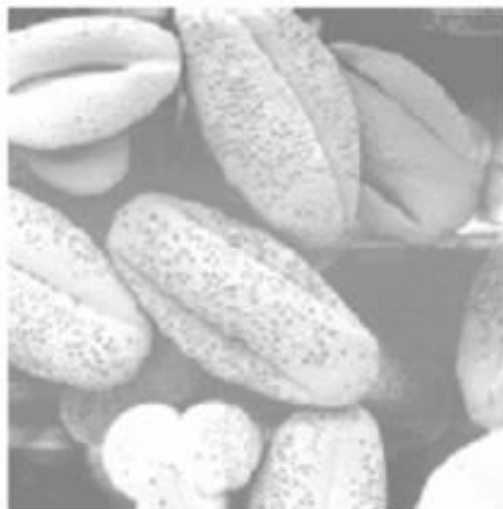
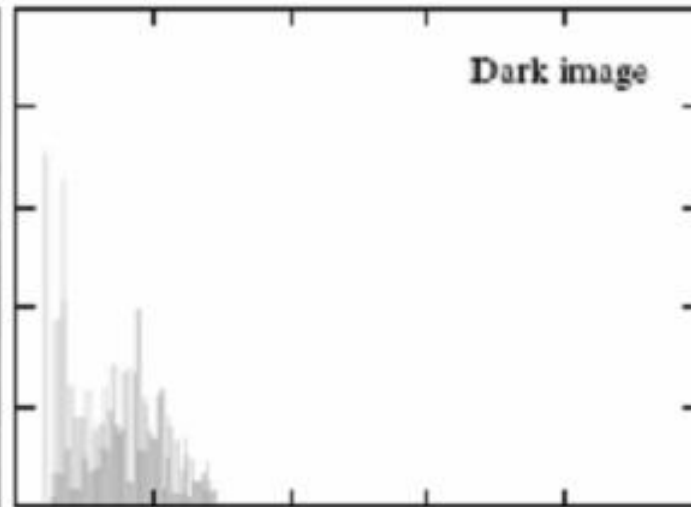
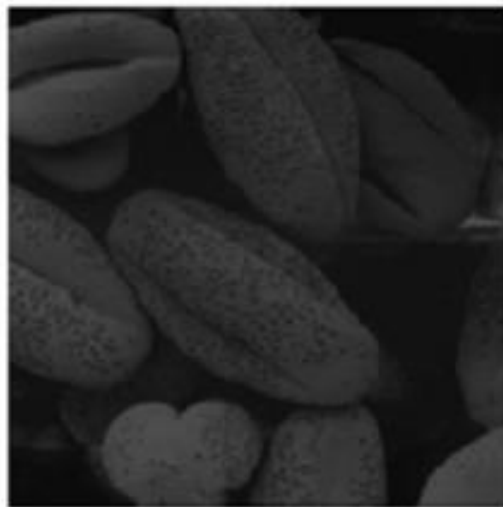
Histogram là gì ?

- Cường độ sáng của ảnh xám tại một vị trí  $(x, y)$  được gọi là mức xám (brightness)

$$a = f(x, y).$$

- $a_{\min} \leq a \leq a_{\max}$ , khi đó khoảng  $[a_{\min}, a_{\max}]$  được gọi là gray scale.
- Histogram,  $h[a]$ , là số điểm ảnh có mức xám là  $a$  trong ảnh.





## Cân bằng histogram

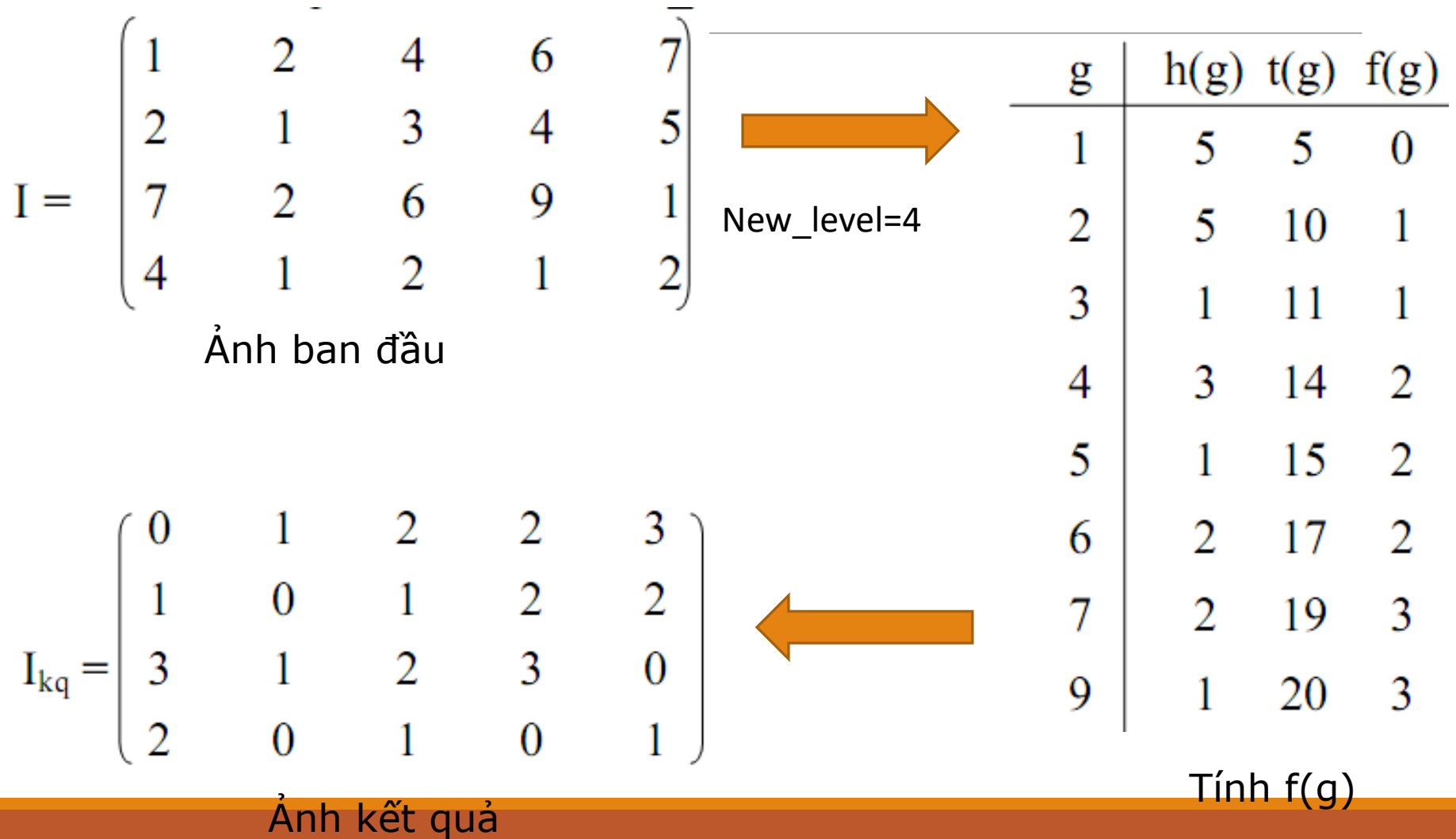
---

Ảnh I được gọi là cân bằng "lý tưởng" nếu với mọi mức xám  $g$ ,  $g'$  ta có  $h(g) = h(g')$

- Giả sử, ta có ảnh I có kích thước  $m \times n$
- $new\_level \sim$  số mức xám của ảnh cân bằng
- $TB = \frac{m.n}{new\_level}$  là số điểm ảnh trung bình của mỗi mức xám của ảnh cân bằng.
- $t(g) = \sum_{i=0}^g h(i)$  số điểm ảnh có mức xám  $\leq g$
- Xác định hàm  $f: g \rightarrow f(g) \mid f(g) = \max\{0, round \frac{t(g)}{TB} - 1\}$
- Ví dụ:

Ảnh sau khi thực hiện cân bằng chưa chắc đã là cân bằng "lý tưởng"

Xác định hàm f:  $g \rightarrow f(g) \mid f(g) = \max\{0, \text{round} \frac{t(g)}{TB} - 1\}$

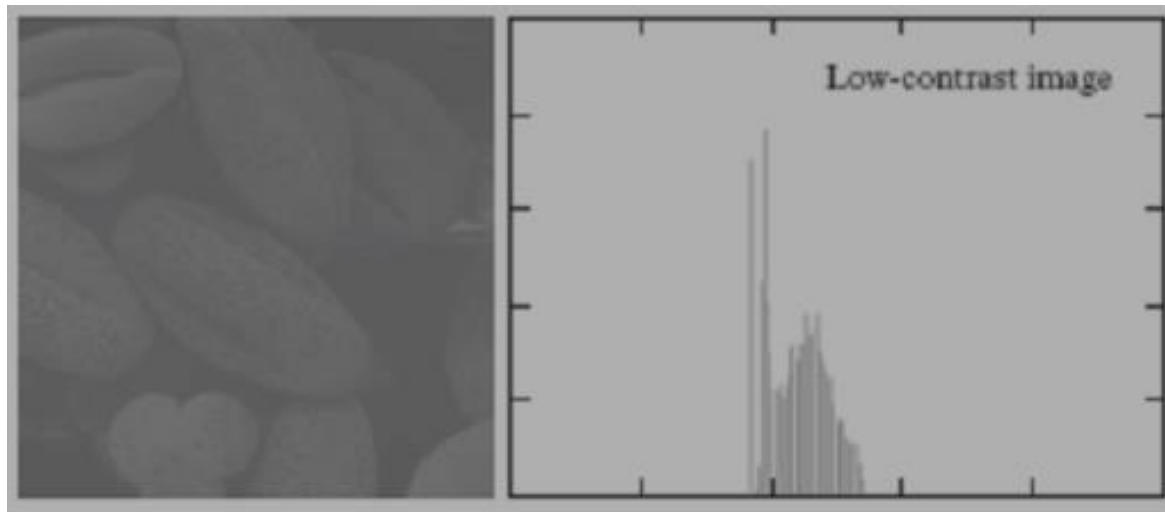




## 2.1.7 Contrast stretching

---

Một ảnh có độ tương phản thấp



Gọi  $L = 2^B - 1$ : giá trị lớn nhất của mức xám (brightness)

---

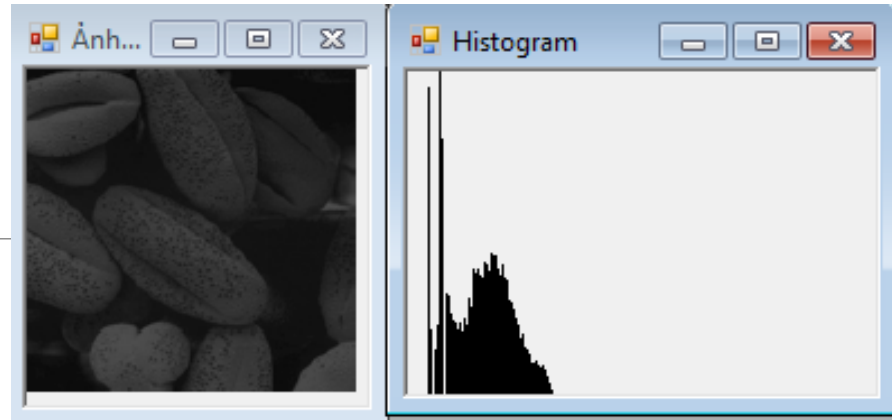
Áp dụng công thức  $g(x,y) = L \frac{f(x,y) - a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}}$

Ta có  $0 \leq g(x,y) \leq L$ , thay vì ban đầu ban đầu ta có  $a_{\min} \leq f(x,y) \leq a_{\max}$

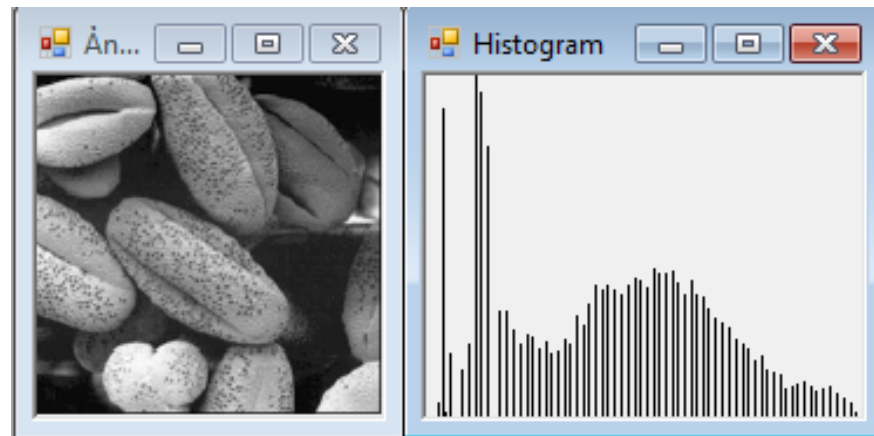
Ta cũng có thể áp dụng quy tắc sau cho giải thuật

$$g(x,y) = \begin{cases} 0, & f(x,y) < a_{\text{low}}, \\ L \cdot \frac{f(x,y) - a_{\text{low}}}{a_{\text{high}} - a_{\text{low}}}, & a_{\text{low}} \leq f(x,y) \leq a_{\text{high}}, \\ L, & a_{\text{high}} < f(x,y) \end{cases}$$

Ảnh ban đầu



Ảnh sau khi áp dụng giải thuật Contrast stretching



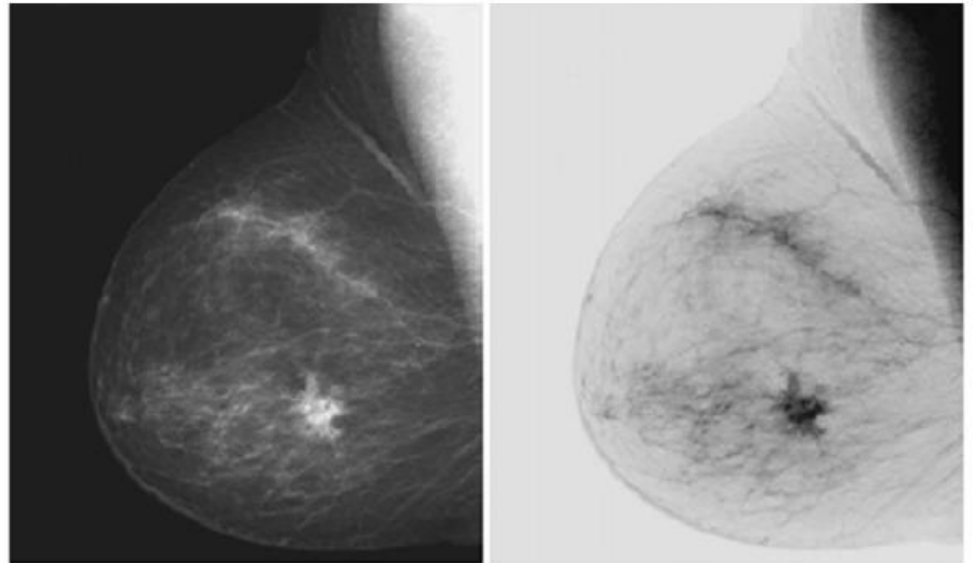
## 2.1.8. Ảnh âm bản (Image Negatives )

---

Âm bản của một ảnh với mức xám trong khoảng  $[0, L]$  thu được bằng cách biến đổi âm bản như sau:

- $b = T(a)$ , where  $T(a) = L - a$ ,
- Hoặc  $b = L - a$
- Hay  $g(x, y) = L - f(x, y)$

Ví dụ:



## 2.1.9. Biến đổi cấp xám tổng thể

---

Biết histogram của ảnh gốc, biết hàm biến đổi

Tính toán histogram của ảnh mới.

***Đọc tài liệu***

## 2.2. Các kỹ thuật phụ thuộc không gian

---

2.2.1. Phép nhân chập và mẫu

2.2.2. Một số mẫu thông dụng

2.2.3. Lọc trung vị (Lọc phi tuyến)

2.2.4. Lọc trung bình (Lọc tuyến tính)

2.2.5. Lọc trung bình theo k giá trị gần nhất

Mục tiêu của Bộ lọc là:

1. Làm mịn ảnh (Image Smoothing)
2. Sắc nét ảnh (Image Sharpening)
3. Phát hiện biên (Edge Detection)



## 2.2.1. Phép nhân chập (cuộn) và mẫu

---

Giả sử ta có ảnh  $I$  kích thước  $M \times N$ , mẫu  $T$  có kích thước  $m \times n$  khi đó, ảnh  $I$  cuộn theo mẫu  $T$  được xác định bởi công thức.

$$I \otimes T(x, y) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} I(x + i, y + j) * T(i, j) \quad (1)$$

Hoặc

$$I \otimes T(x, y) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} I(x - i, y - j) * T(i, j) \quad (2)$$

Ví dụ:

output

---

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

7	6	5	3	6	7
6	4	3	3	4	6
5	3	2	2	3	5
5	3	2	2	3	5
6	4	3	3	4	6
7	6	5	3	6	7


input

◦ Ảnh gốc:

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 5 & 8 & 7 \\ 2 & 1 & 1 & 4 & 2 & 2 \\ 4 & 5 & 5 & 8 & 8 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 4 & 4 \\ 7 & 2 & 2 & 1 & 5 & 2 \end{pmatrix} \quad \text{Mẫu: } T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

◦ Ảnh kết quả theo công thức (1)  $I \otimes T(x,y) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} I(x+i, y+j) * T(i,j)$

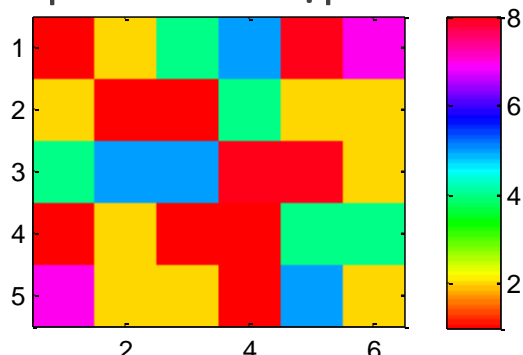
$$I \otimes T = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 8 & 7 & 10 & * \\ 7 & 6 & 9 & 12 & 4 & * \\ 6 & 6 & 6 & 12 & 12 & * \\ 3 & 4 & 2 & 6 & 6 & * \\ * & * & * & * & * & * \end{pmatrix}$$

- 
- Ảnh kết quả theo công thức (2)  $I \otimes T(x,y) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} I(x-i, y-j) * T(i,j)$

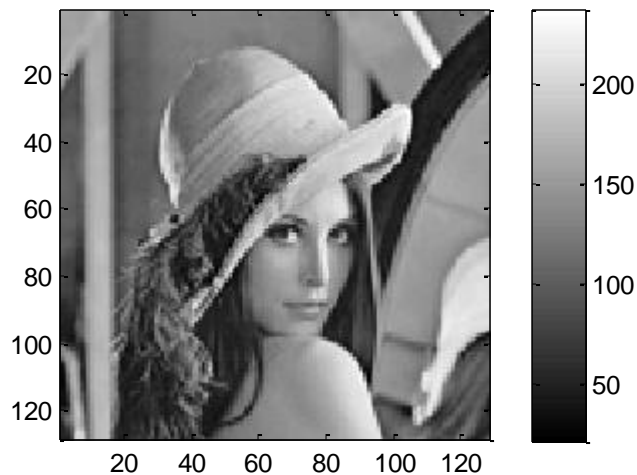
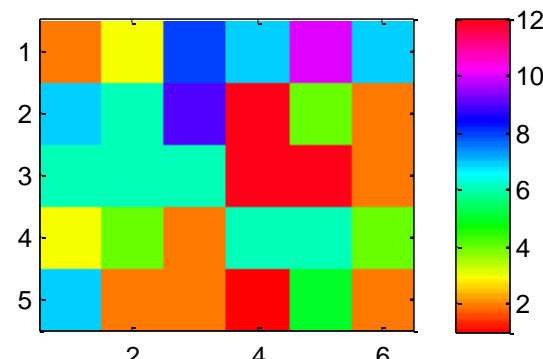
$$I \otimes T = \begin{pmatrix} * & * & * & * & * & * \\ * & 2 & 3 & 8 & 7 & 10 \\ * & 7 & 6 & 9 & 12 & 4 \\ * & 6 & 6 & 6 & 12 & 12 \\ * & 3 & 4 & 2 & 6 & 6 \end{pmatrix}$$

# Phép nhân chập trong ảnh

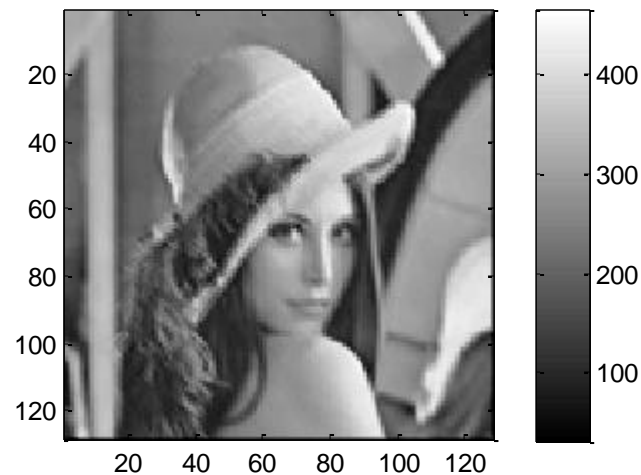
Kết quả nhân chập



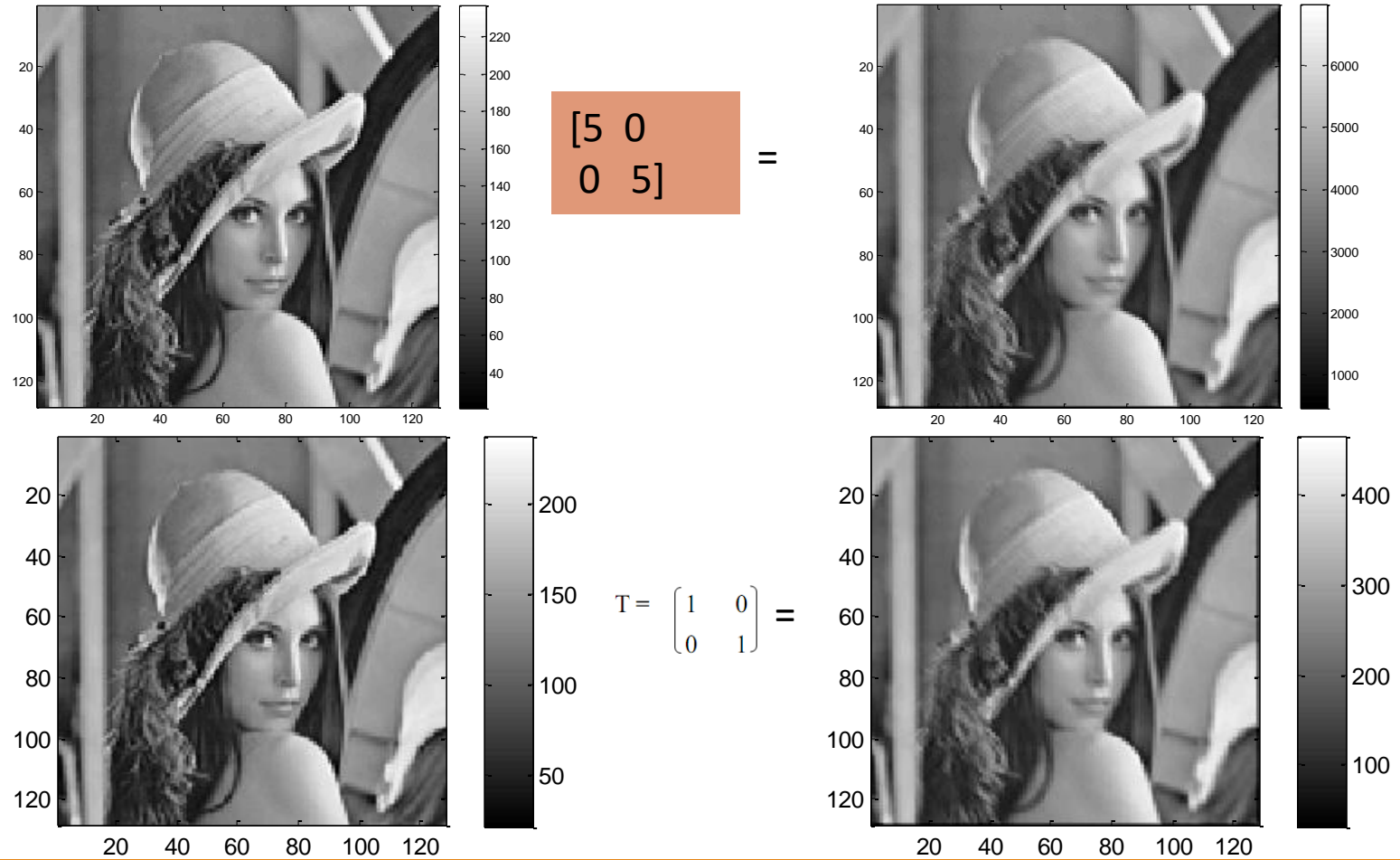
$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} =$$



$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} =$$



# Phép Nhân chập





## 2.2.2. Một số mẫu thông dụng

---

Mẫu dùng để khử nhiễu (tần số cao)

$$T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Mẫu phát hiện các điểm có tần số cao

$$T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$



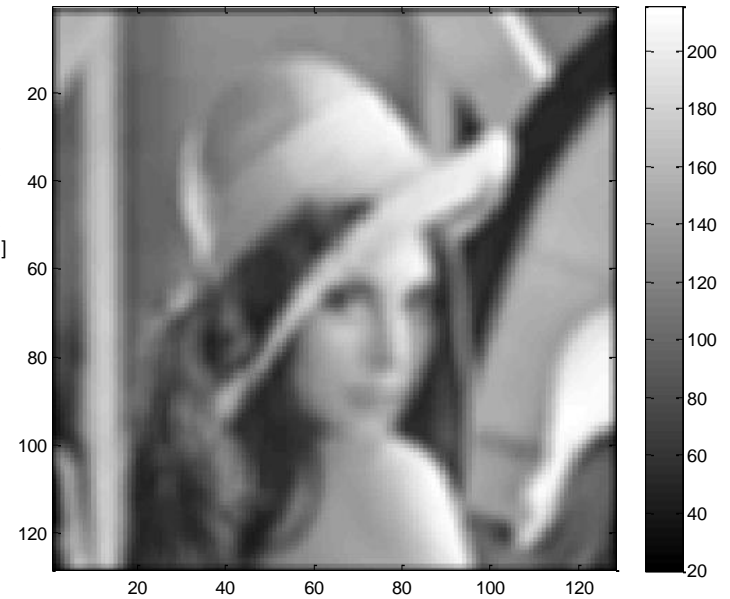
$$T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} =$$



[kernel =

```
0.0285 0.0363 0.0393 0.0363 0.0285
0.0363 0.0461 0.0500 0.0461 0.0363
0.0393 0.0500 0.0541 0.0500 0.0393
0.0363 0.0461 0.0500 0.0461 0.0363
0.0285 0.0363 0.0393 0.0363 0.0285]
```

Gaussian (0, 2.5)





$$T_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$



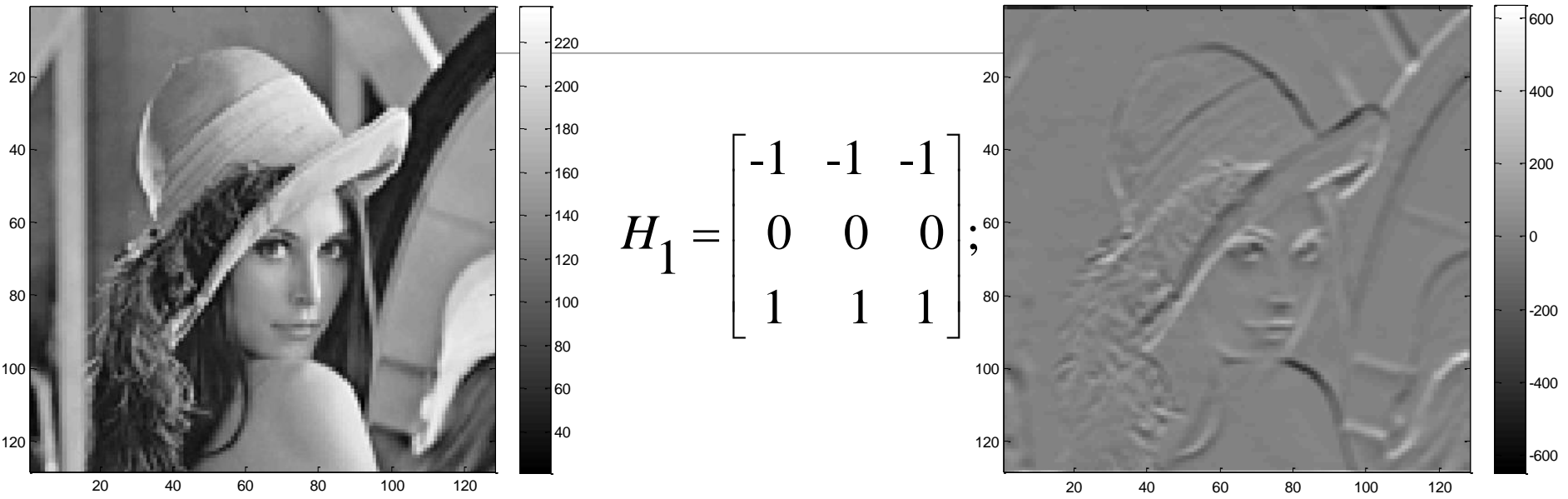
# Phát hiện Đường Biên

---

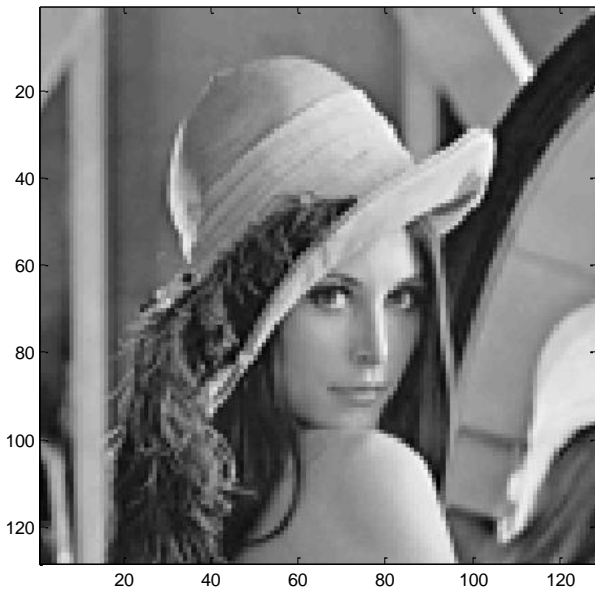
Mẫu dùng để phát hiện biên theo phương nằm ngang và thẳng đứng

$$H_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad H_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

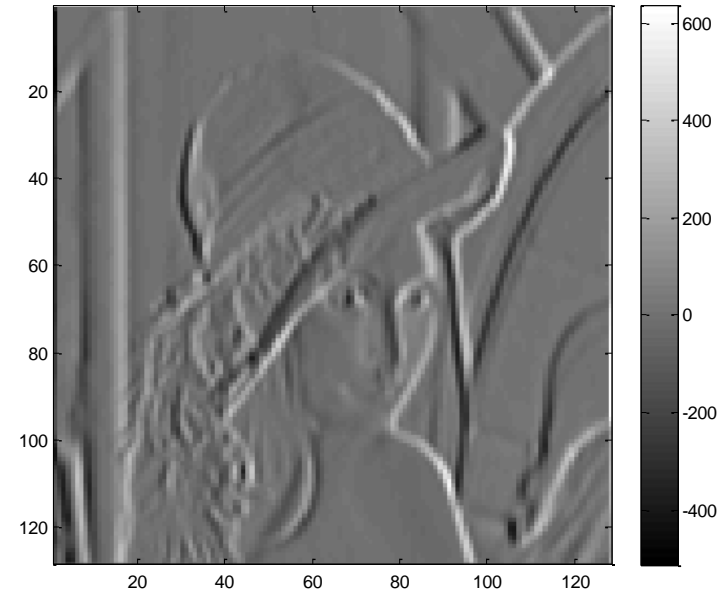
# Biên theo phương nằm ngang



# Biên theo phương thẳng đứng



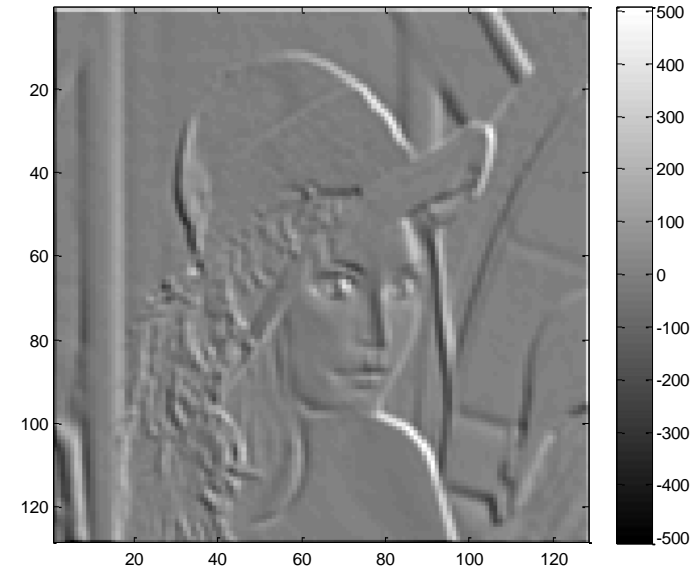
$$H_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



# Biên theo đường chéo

Mẫu dùng để phát hiện biên theo đường chéo

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \quad H_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



## 2.2.3. Lọc trung vị

---

Trung vị?

- Cho dãy  $x_1; x_2 \dots; x_{2m+1}$ . Khi đó trung vị  $x_k$  của dãy ký hiệu là  $\text{Med}(\{x_n\})$  nếu:
  - Tồn tại  $m$  phần tử có giá không lớn hơn  $x_k$  và  $m$  phần tử không nhỏ hơn  $x_k$ .
- Khi đó  $\sum_{i=1}^n |x - x_i| \rightarrow \min$  tại  $x = \text{Med}(\{x_n\})$
- Ví dụ: Dãy 15, 17, 18, 16, 78, 17, 17, 15, 20 có trung vị bằng 17.
  - Sắp xếp:
  - Lấy phần tử giữa

15	15	16	17	17	17	18	20	78
1	2	3	4	5	6	7	8	9



## 2.2.3. Lọc trung vị

---

Lọc trung vị dùng cửa sổ 3 x 3 và ngưỡng  $\theta$ .

- Dịch cửa sổ  $P$  (lưới  $m \times m$ ) đi lần lượt các vị trí trên ảnh. Ứng với mỗi vị trí tâm của cửa sổ tại điểm ảnh  $(x,y)$ :
  - Nhặt các phần tử thuộc cửa sổ theo hàng, cột  $\rightarrow$  tạo ra một dãy. ( $I(P)$  điểm ảnh trùng với tâm cửa sổ)
  - Tính trung vị của dãy
$$\{I(q) \mid q \in W(P)\} \rightarrow \text{Med}(P)$$
  - Thay thế điểm  $P(x,y)$  theo quy tắc

$$I(P) = \begin{cases} I(P) & \text{nếu } |I(P) - \text{Med}(P)| \leq \theta \\ \text{Med}(P) & \text{nếu ngược lại} \end{cases}$$

Ví dụ 1:

## 2.2.3. Lọc trung vị

- Vị trí cửa sổ hiện tại
- $(x,y)$  là điểm ảnh đang xét
- $\theta=2$

x

y

15	17	18
16	78	17
17	15	20

- Ta được một dãy: 15, 17, 18, 16, 78, 17, 17, 15, 20  $\rightarrow$  trung vị là 17.
- Vì  $78-17 > 2$   
 $\rightarrow$  Thay thế  $f(x,y)=17$
- Kết quả là:

x

y

15	17	18
16	17	17
17	15	20

## 2.2.3. Lọc trung vị

Ví dụ 2:

- Dùng cửa sổ 3 x 3 và ngưỡng  $\theta=2$
- Dãy: 1, 2, 3, 4, 16, 2, 4, 2, 1
- Sắp xếp: 1,1,2,2,2,3,4,4,16
- Trung vị là: 2
- Vị trí đang xét có giá trị 16
- $|16 - 2| > \theta \rightarrow$  Thay thế giá trị này bằng giá trị trung vị

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 16 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$



$$I_{kq} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 2 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

## 2.2.4. Lọc trung bình

---

Trung bình?

- Cho dãy  $x_1, x_2, \dots, x_n$  khi đó trung bình của dãy ký hiệu  $AV(\{x_n\})$  được định nghĩa:

$$AV(\{x_n\}) = \text{round}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right)$$

- $\sum_{i=1}^n (x - x_i)^2 \rightarrow \min$  tại  $AV(\{x_n\})$ 
  - Tổng bình phương độ lệch trung bình của các điểm trong cửa sổ so với giá trị trung bình là nhỏ nhất

## 2.2.4. Lọc trung bình

---

### Lọc trung bình

- Dịch cửa sổ P (lưới  $m \times m$ ) đi lần lượt các vị trí trên ảnh. Ứng với mỗi vị trí tâm của cửa sổ tại điểm ảnh  $(x,y)$ :
  - Nhặt các phần tử thuộc cửa sổ theo hàng, cột  $\rightarrow$  tạo ra một dãy.
  - Tính trung bình của dãy đó

$$\{I(q) \mid q \in W(P)\} \rightarrow AV(P)$$

- Thay thế điểm  $P(x,y)$  theo quy tắc

$$I(P) = \begin{cases} I(P) & \text{nếu } |I(P) - AV(P)| \leq \theta \\ AV(P) & \text{nếu ngược lại} \end{cases}$$

Ví dụ:

## 2.2.4. Lọc trung bình

Dùng cửa sổ 3 x 3 và ngưỡng  $\theta=2$

Dãy: 1, 2, 3, 4, 16, 2, 4, 2, 1

Trung bình là  $(1+2+3+4+16+2+4+2+1)/9=3$ . (Làm tròn có thể lấy giá trị 4)

Vị trí đang xét có giá trị 16

$|16 - 3| > \theta \rightarrow$  Thay thế giá trị này bằng giá trị trung bình

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 16 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$



$$I_{kq} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 3 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

## 2.2.5. Lọc trung bình theo k giá trị gần nhất

---

Dịch cửa sổ P (lưới  $m \times m$ ) đi lần lượt các vị trí trên ảnh. Ứng với mỗi vị trí tâm của cửa sổ tại điểm ảnh  $(x,y)$ :

- Nhặt k phần tử gần với  $I(P)$  nhất thuộc cửa sổ theo hàng, cột  $\rightarrow$  tạo ra một dãy.

$$\{I(q) | q \in W(p)\} \rightarrow \{k \text{ giá trị gần } I(P) \text{ nhất}\}$$

- Tính trung bình của dãy đó

$$\{k \text{ giá trị gần } I(P) \text{ nhất}\} \rightarrow AV_k(P)$$

- Thay thế điểm  $P(x,y)$  theo quy tắc

$$I(P) = \begin{cases} I(P) & \text{nếu } |I(P) - AV_k(P)| \leq \theta \\ AV_k(P) & \text{nếu ngược lại} \end{cases}$$

Ví dụ:

Dùng cửa sổ 3 x 3 và ngưỡng  $\theta=2$ ,  $k=3$ .

Dãy: 16, 4, 4

Trung bình là  $(4+16+4)/3=8$ .

Vị trí đang xét có giá trị 16

$|16 - 8| > \theta \rightarrow$  Thay thế giá trị này bằng giá trị trung bình 8

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 16 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$



$$I_{kq} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 2 \\ 4 & 8 & 2 & 1 \\ 4 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$



## 2.3. Các phép toán hình thái học

---

2.3.1. Các phép toán hình thái cơ bản

2.3.2. Một số tính chất của phép toán hình thái

**Tự đọc**