



XỬ LÝ ẢNH SỐ

Chương 2. Biến đổi cường độ và lọc không gian

- 2.1. Giới thiệu
- 2.2. Một số hàm biến đổi cường độ
- 2.3. Nền tảng của lọc không gian
- 2.4. Bộ lọc không gian Smoothing (lowpass)
- 2.5. Bộ lọc không gian Sharpening (highpass)
- 2.6. Kết hợp các phương pháp lọc không gian

1

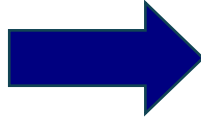
Giới thiệu



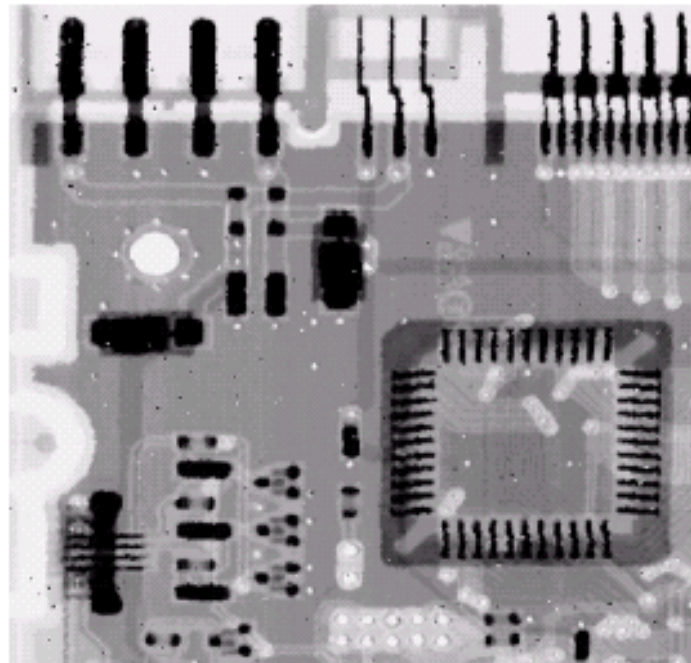
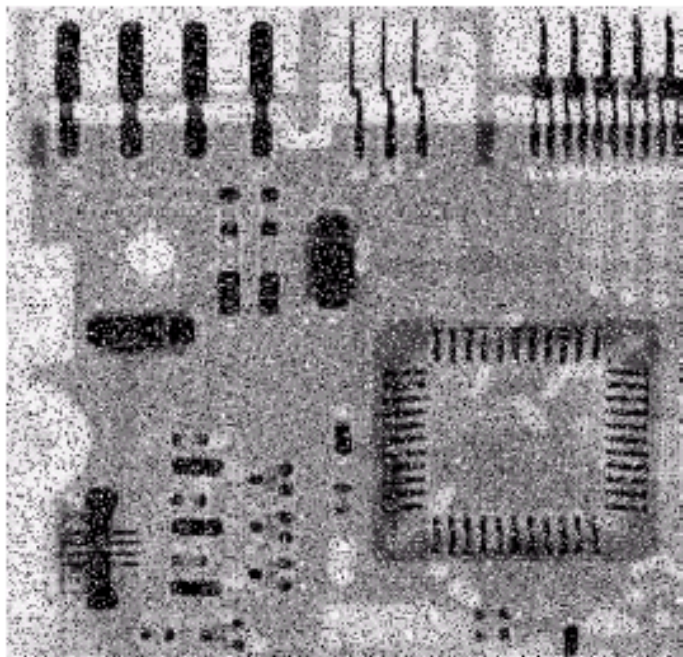
Tăng cường ảnh là gì?

- Tăng cường ảnh là quá trình làm cho bức ảnh trở nên hữu ích hơn.
- Lý do để thực hiện tăng cường ảnh bao gồm:
 - Làm nổi bật những chi tiết cần quan tâm trong bức ảnh
 - Loại bỏ nhiễu khỏi các bức ảnh
 - Làm cho bức ảnh hấp dẫn hơn về mặt trực quan

Ví dụ về tăng cường ảnh (1)



Ví dụ về tăng cường ảnh (2)



Ví dụ về tăng cường ảnh (3)



Xử lý ảnh miền không gian

- Miền không gian đề cập đến chính mặt phẳng ảnh và các phương pháp xử lý ảnh trong miền này dựa trên thao tác trực tiếp trên các pixel trong ảnh.
- Hai kỹ thuật xử lý không gian chính là *biến đổi cường độ* và *lọc không gian*:
 - Các phép *biến đổi cường độ* hoạt động trên các pixel đơn lẻ của một ảnh ví dụ như phân ngưỡng ảnh.
 - *Lọc không gian* thực hiện các hoạt động trên vùng lân cận của các pixel trong một hình ảnh. Ví dụ về lọc không gian bao gồm làm mịn và làm sắc nét hình ảnh.

2

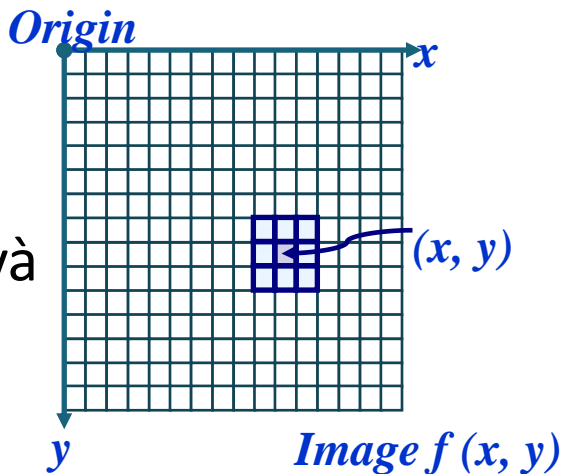
**Một số hàm biến
đổi cường độ**

Toán tử điểm

- Phép toán xử lý ảnh có dạng: $g(x,y) = T[f(x,y)]$
 - ✓ $f(x,y)$ là ảnh đầu vào; $g(x,y)$ là ảnh đầu ra
 - ✓ T là một số toán tử tác động lên các điểm ảnh xung quanh (x,y)
- Nếu T chỉ tác động lên 1 điểm ảnh tại (x,y) thì T là *hàm biến đổi cường độ hay toán tử xử lý điểm ảnh*.
- Các toán tử xử lý điểm ảnh có dạng:

$$s = T(r)$$

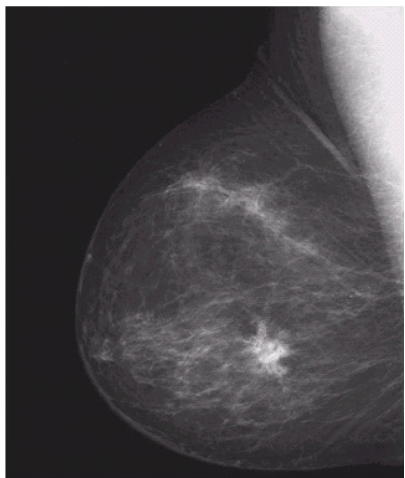
r và s tương ứng mức xám của ảnh đầu vào và ảnh đầu ra tại (x,y) .



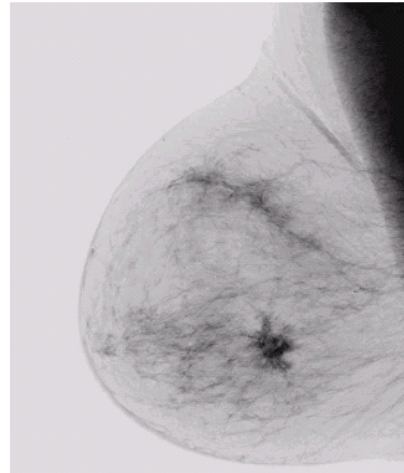
Biến đổi âm bản

- Phép biến đổi âm bản (negative image) sử dụng để tăng cường các chi tiết trắng hoặc xám trong nền tối
- Phép biến đổi: $s = T(r) = Intensive_{max} - r$

Ảnh gốc



$$s = 1.0 - r$$

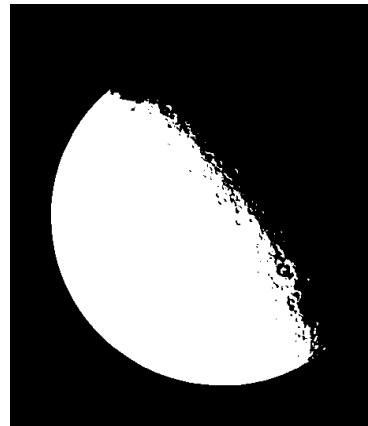
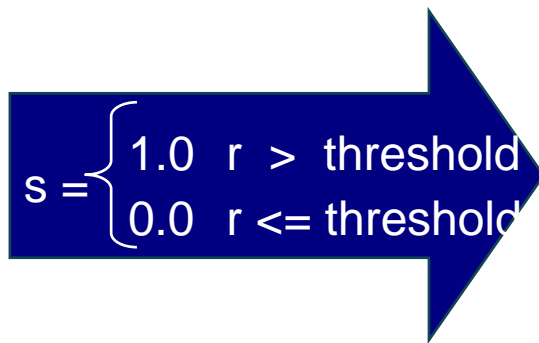


Ảnh âm bản

Phân ngưỡng (thresholding)

- Biến đổi phân ngưỡng được sử dụng cho việc làm nổi bật các đối tượng cần quan tâm trên nền của ảnh.

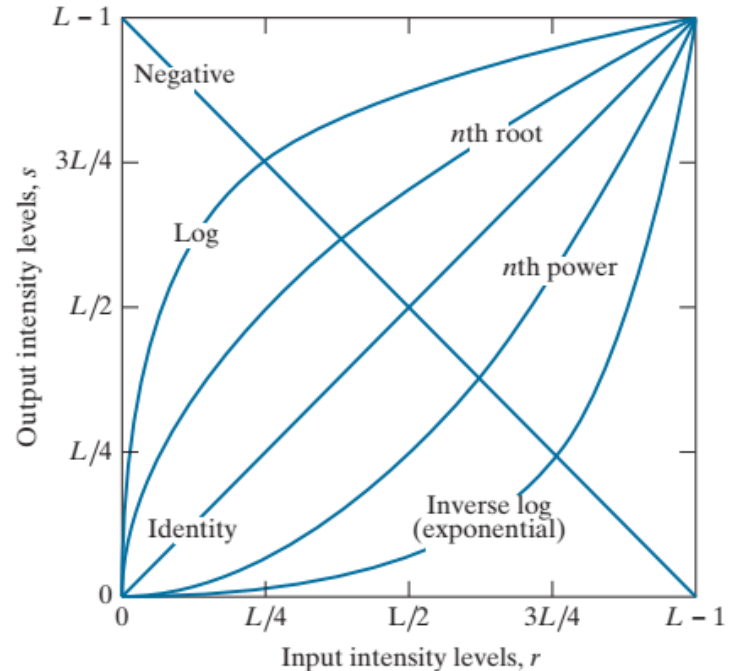
- Phép biến đổi:
$$s = \begin{cases} 1.0 & r > threshold \\ 0.0 & r \leq threshold \end{cases}$$



Các hàm biến đổi cường độ cơ bản

Có 3 hàm biến đổi mức xám thông dụng nhất:

- Biến đổi tuyến tính
Negative/Identity
- Biến đổi logarithm
Log/Inverse log
- Biến đổi hàm mũ
 n^{th} power/ n^{th} root



Biến đổi logarithm

❖ Dạng tổng quát của biến đổi log:

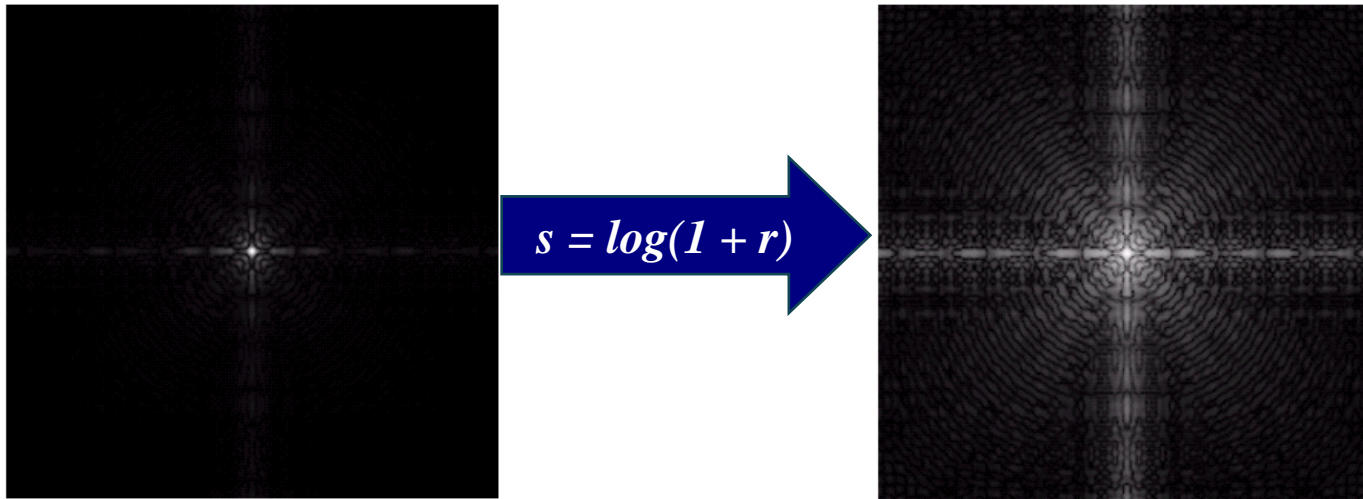
$$s = c * \log(1 + r)$$

❖ Biến đổi log ánh xạ một dải hẹp mức xám thấp của ảnh đầu vào đầu vào sang một dải rộng hơn cho ảnh đầu ra

❖ Biến đổi ngược của hàm log thực hiện điều ngược lại

Biến đổi logarithm

- ❖ Các hàm log Log được sử dụng khi giá trị mức xám của ảnh đầu vào nằm trong 1 dải rất rộng.
- ❖ Biến đổi Fourier của ảnh được đưa qua biến đổi log để hiển thị các chi tiết rõ ràng hơn

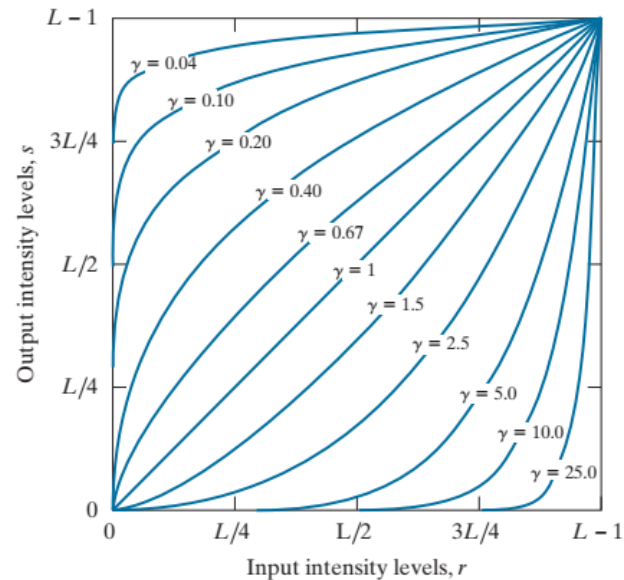


Biến đổi hàm mũ

❖ Biến đổi hàm mũ có dạng:

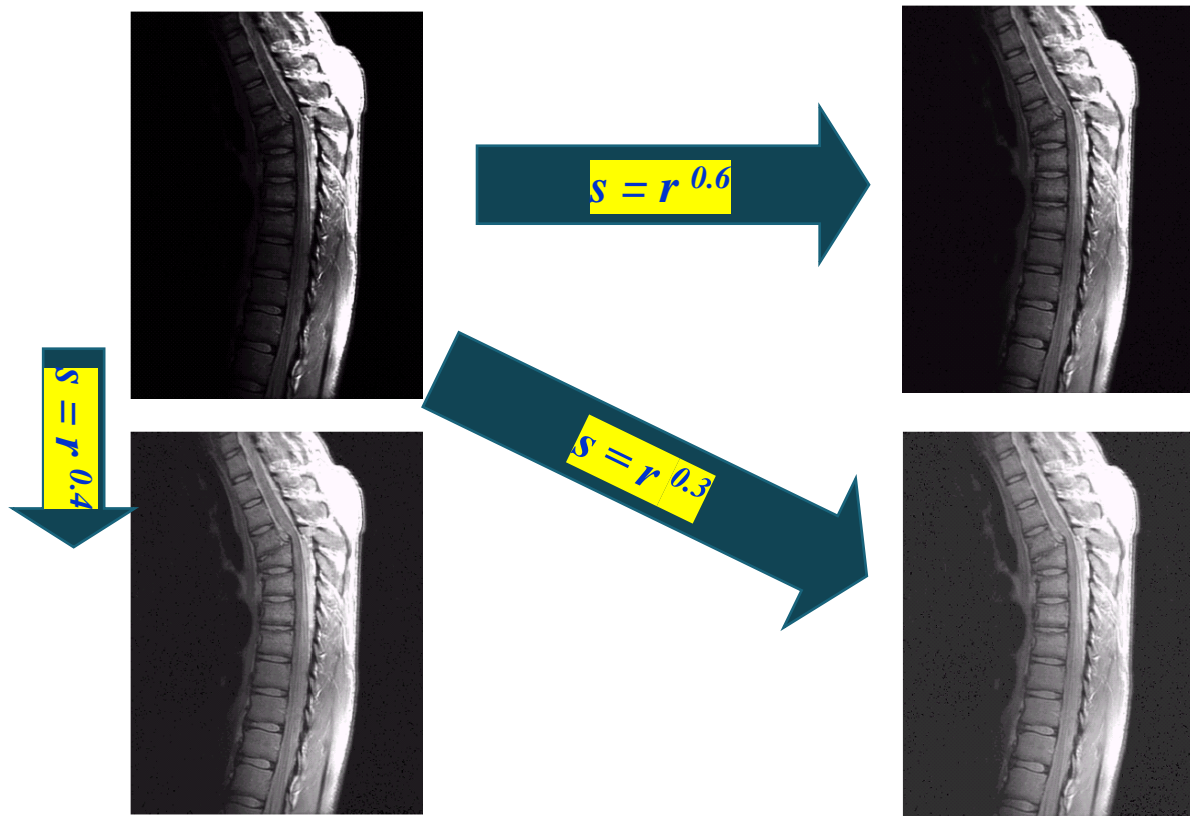
$$s = c * r^\gamma$$

❖ Biến đổi hàm mũ ánh xạ một dải hẹp mức xám thấp của ảnh đầu vào đầu vào sang một dải rộng hơn cho ảnh đầu ra và ngược lại.



❖ Khác với biến đổi log, có thể thay đổi giá trị γ của biến đổi hàm mũ để tạo ra các đồ thị biến đổi khác nhau.

Biến đổi hàm mũ...



Biến đổi hàm mũ...

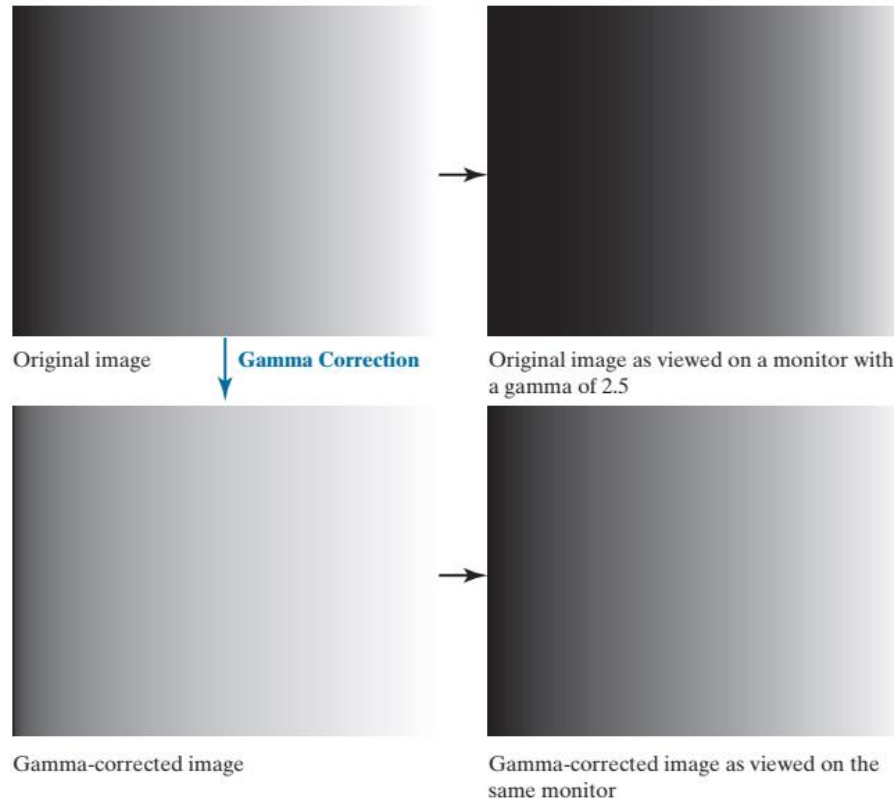


Biến đổi hàm mũ...

a	b
c	d

FIGURE 3.7

(a) Intensity ramp image. (b) Image as viewed on a simulated monitor with a gamma of 2.5. (c) Gamma-corrected image. (d) Corrected image as viewed on the same monitor. Compare (d) and (a).

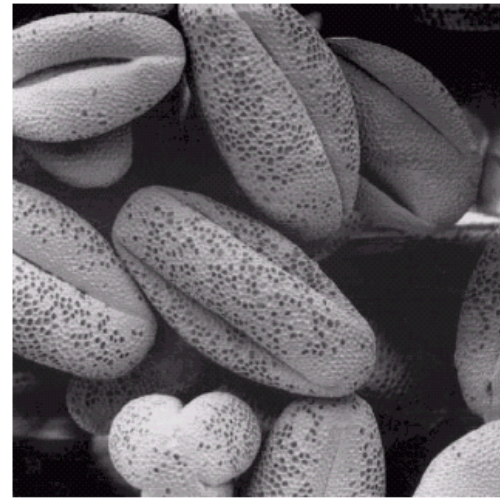
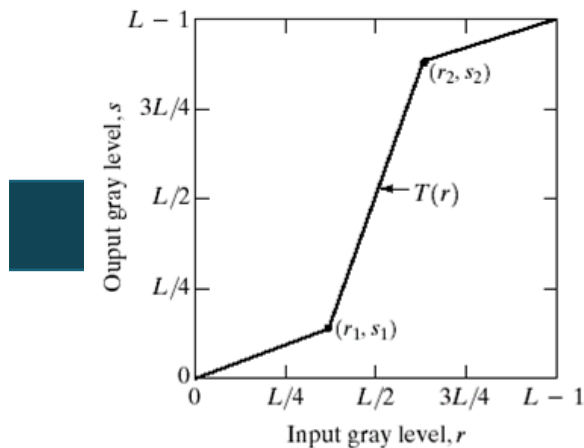
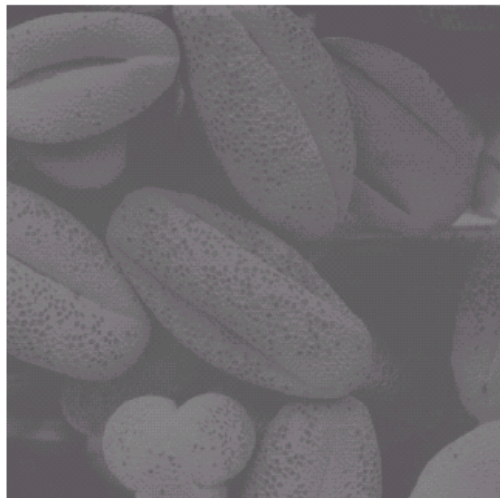


Biến đổi hàm mũ...



Tăng độ tương phản

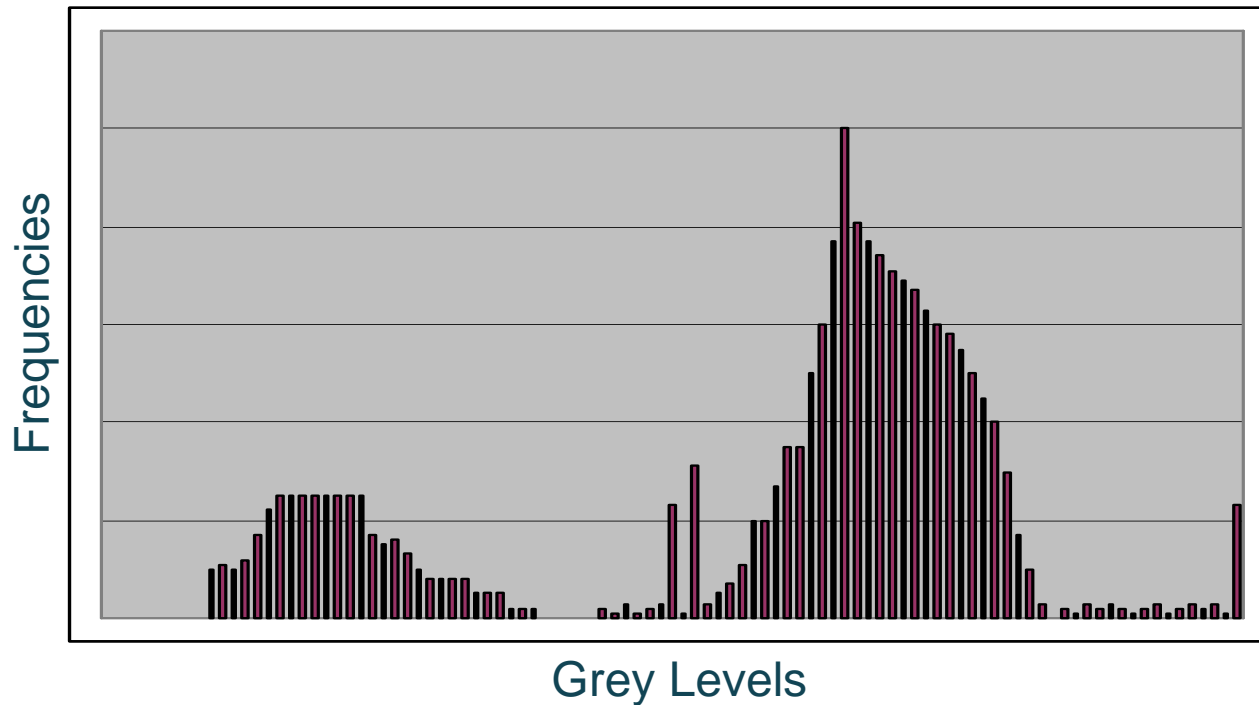
- Thay vì sử dụng 1 hàm toán học, ta có thể sử dụng nhiều hàm toán học tại các phân đoạn khác nhau để biến đổi cường độ.



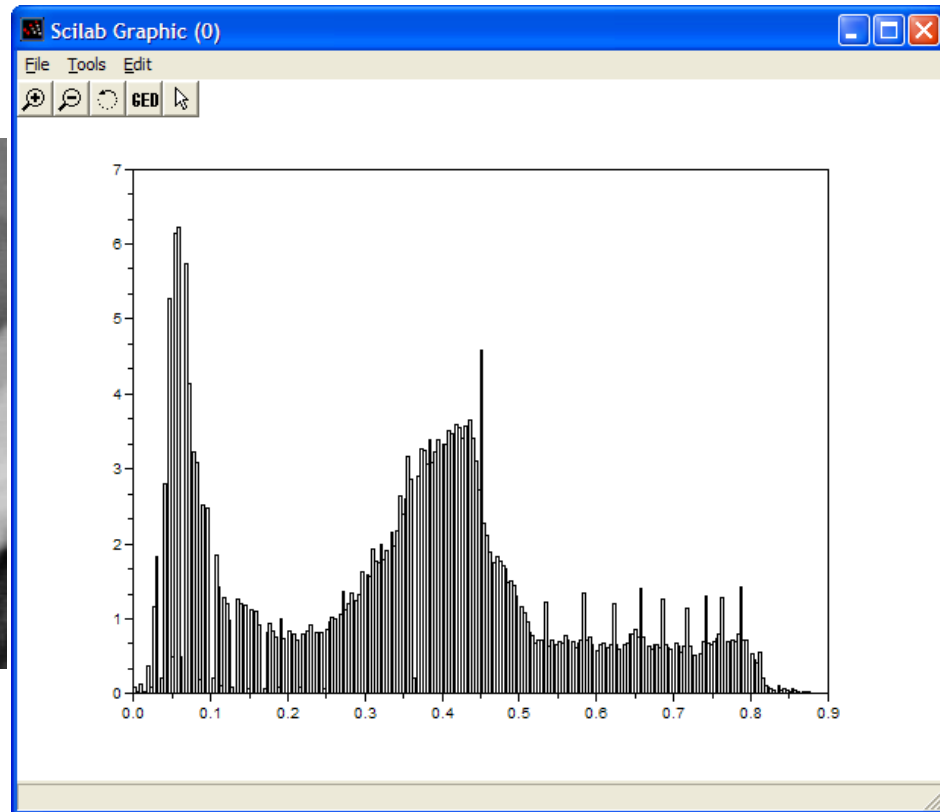
Xử lý biểu đồ (histogram)

- Biểu đồ của ảnh có mức xám trong khoảng $[0, L - 1]$ là hàm rời rạc có dạng như sau:
- $p(r_k) = \frac{n_k}{n}$ với $\begin{cases} n_k \text{ là số lượng pixel có giá trị xám } r_k \\ n \text{ là tổng số pixel của ảnh} \end{cases}$
- Hàm $p(r_k)$ mô tả tỷ lệ giữa tổng số pixel có mức xám r_k và tổng số pixel của ảnh
- Histogram mô tả tổng thể phân bố mức xám của ảnh

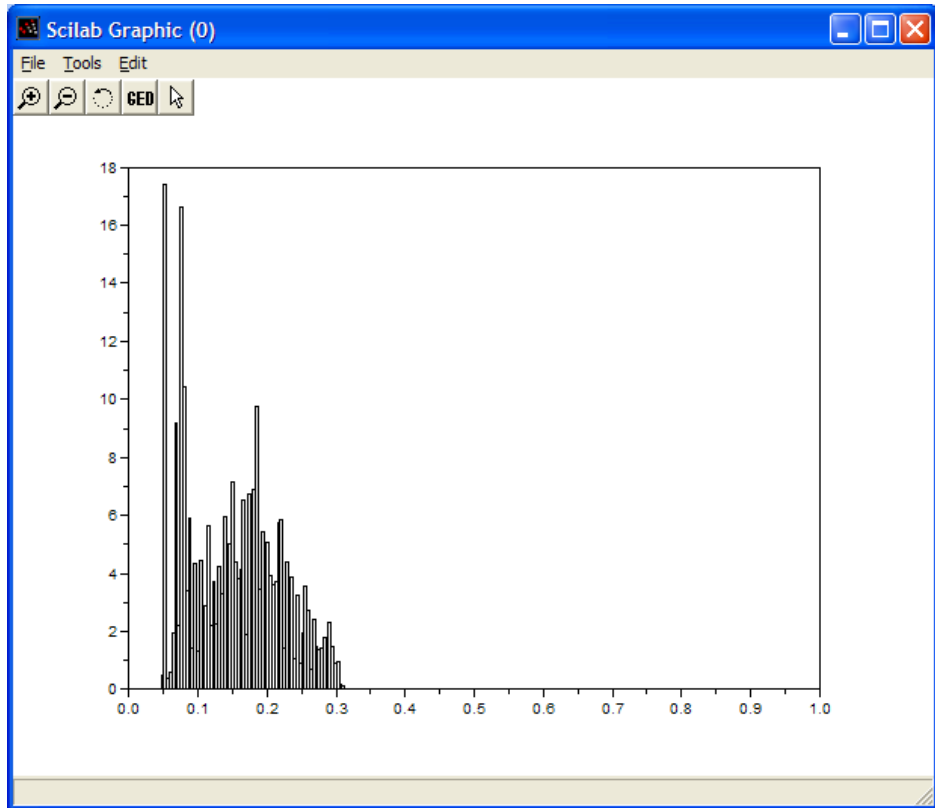
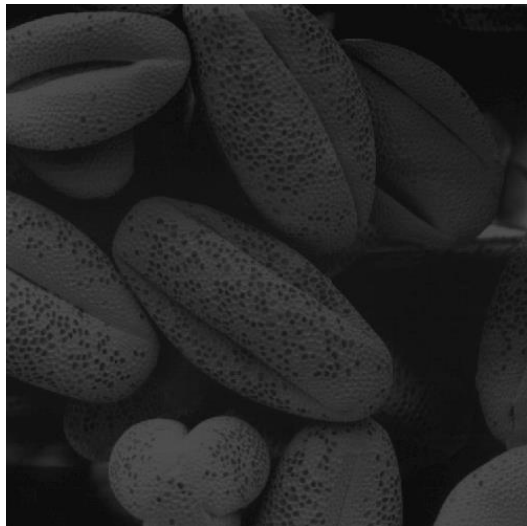
Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh



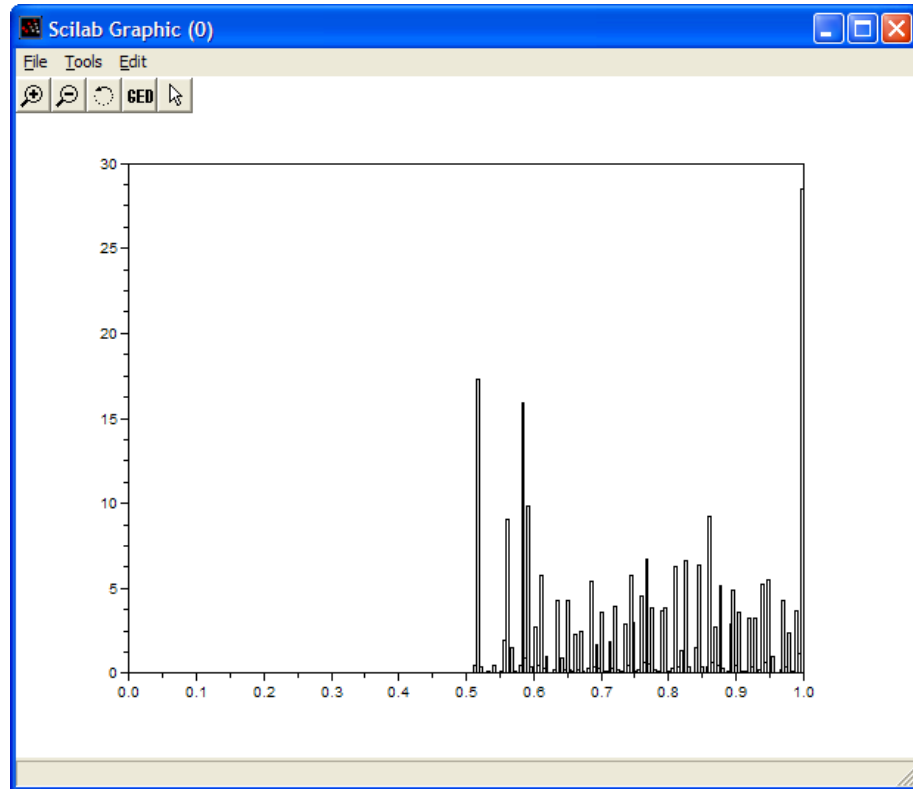
Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh



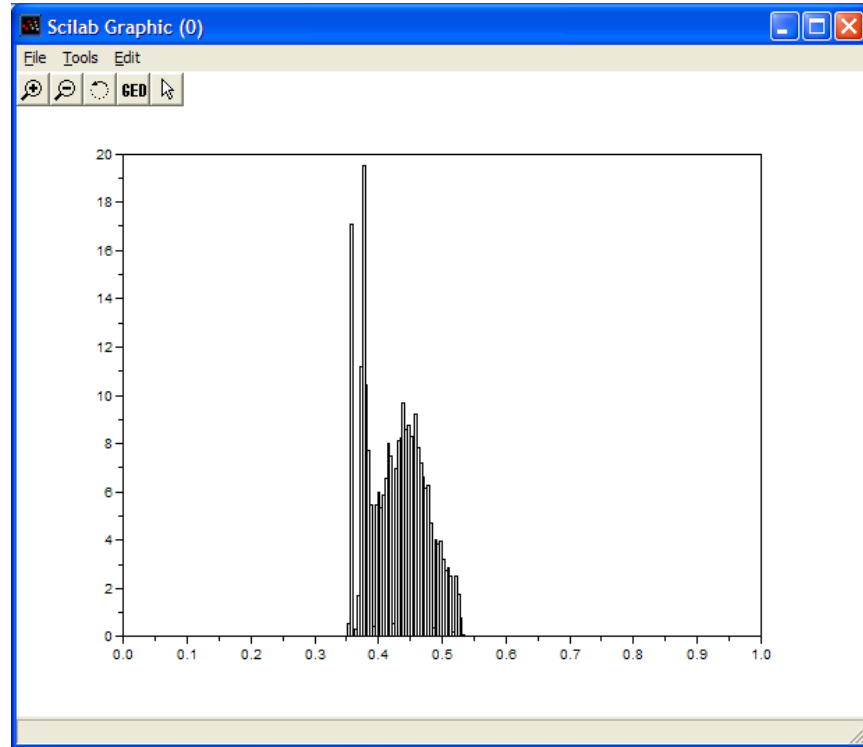
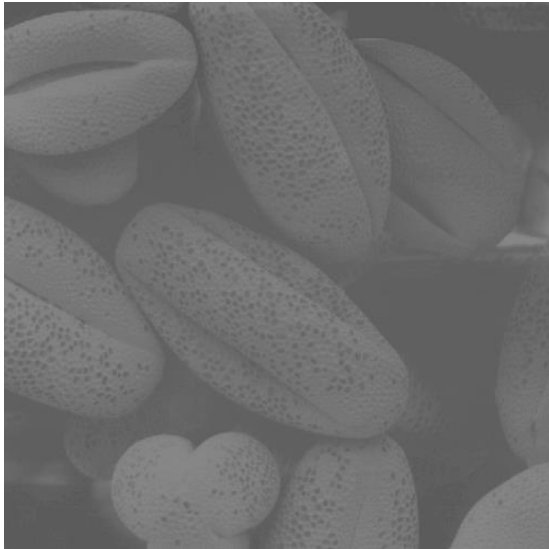
Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh...



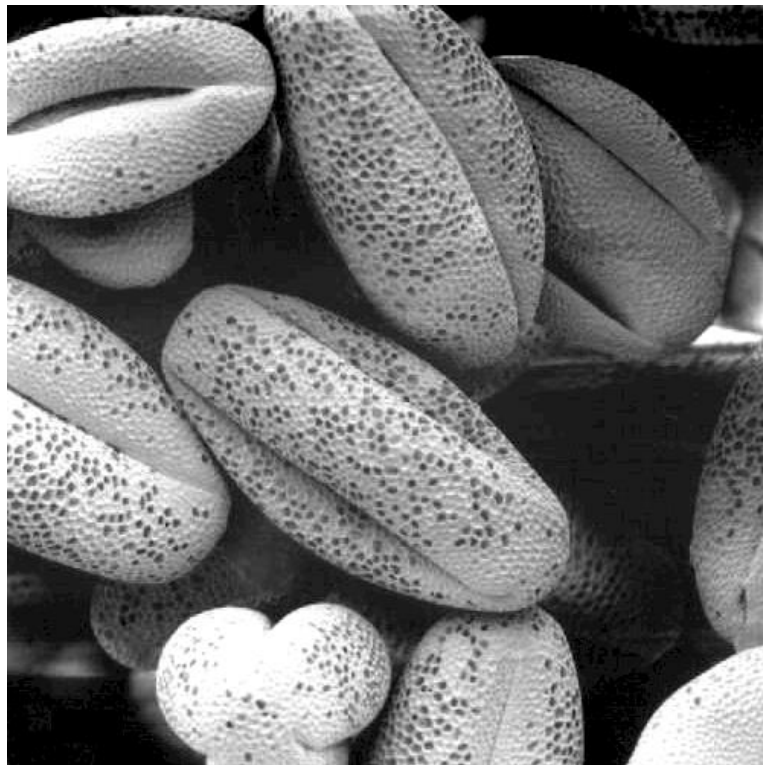
Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh...



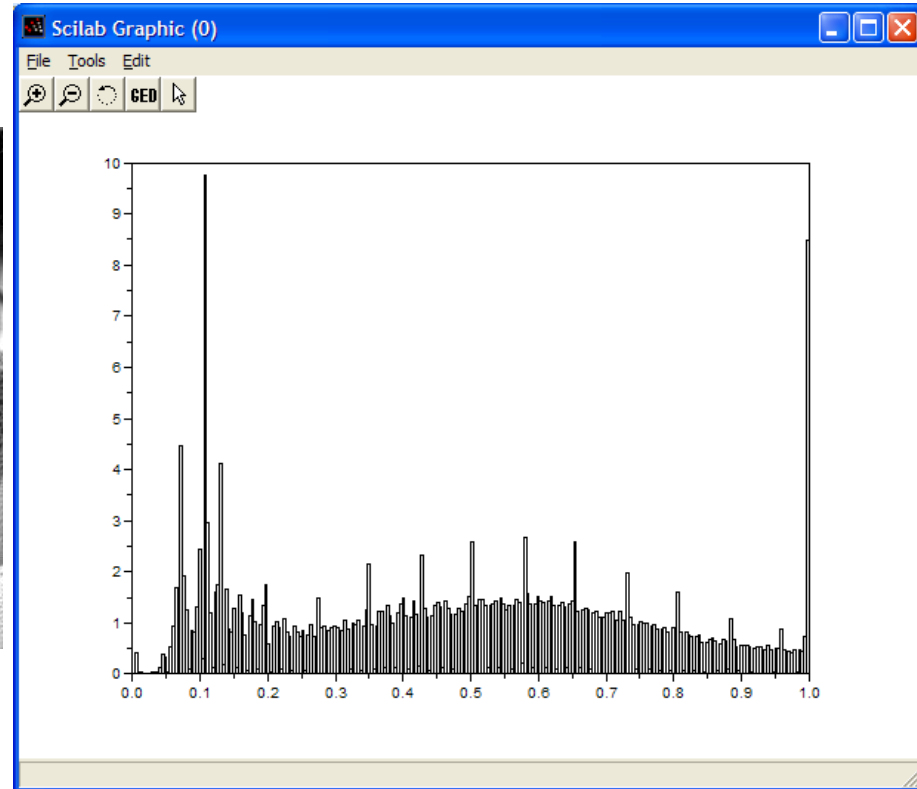
Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh...



Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh...

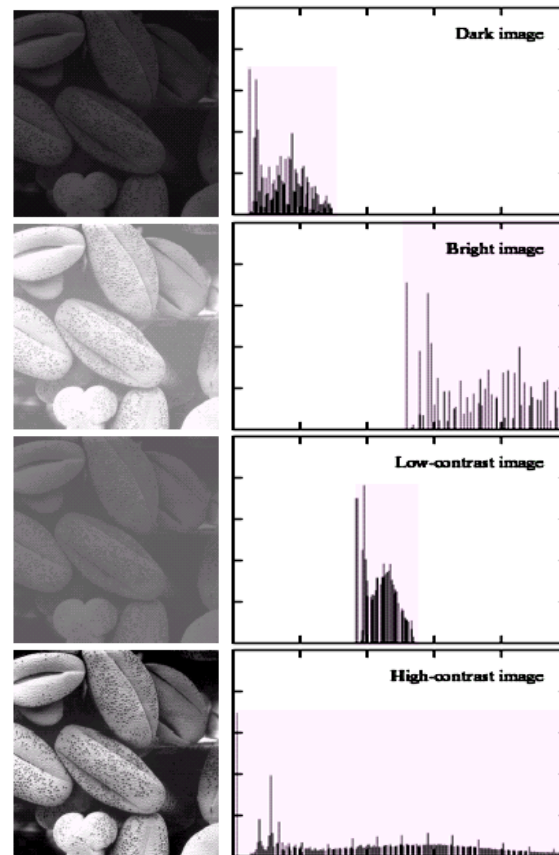


Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh...



Ví dụ về biểu đồ xám của ảnh...

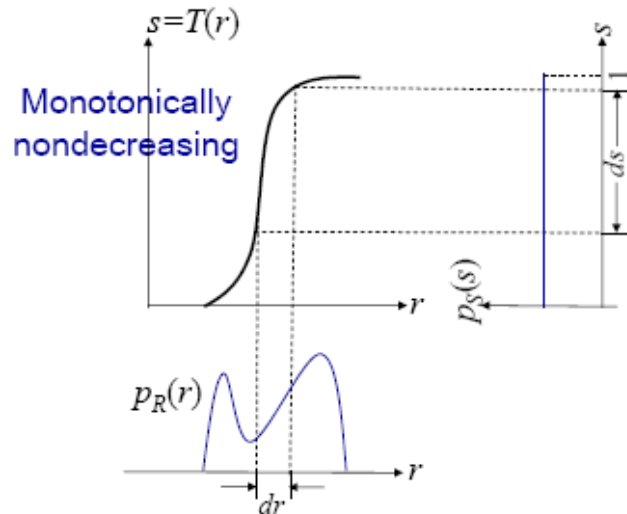
Bức ảnh có độ tương phản cao thì phân bố xác suất mức xám đều và đồng nhất



Cân bằng biểu đồ

Việc phải làm là tìm hàm biến đổi $s = T(r)$

$$p_R(r) \Rightarrow \boxed{T} \Rightarrow \text{uniform } p_S(s)$$



Cân bằng biểu đồ

r_k : mức xám đầu vào

s_k : mức xám đầu ra

k : dải cường độ sáng

n_j : tần suất của cường độ j

n : tổng số điểm ảnh

L' : số mức xám ở ảnh đầu ra

(thông thường bằng số mức xám đầu vào)

$$\begin{aligned}s_k &= T(r_k) \\ &= (L'-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \\ &= (L'-1) \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}\end{aligned}$$

Ví dụ

- Xét bức ảnh có kích thước 64x64 ở 8 mức xám (0, 1, ..., 7). Chuẩn hóa giá trị mức xám như trong bảng sau. Hãy thực hiện quá trình cân bằng mức xám cho ảnh.

k	r_k	n_k	$P(r_k) = n_k/n$
0	$r_0 = 0$	790	0.19
1	$r_1 = 1$	1023	0.25
2	$r_2 = 2$	850	0.21
3	$r_3 = 3$	656	0.16
4	$r_4 = 4$	329	0.08
5	$r_5 = 5$	245	0.06
6	$r_6 = 6$	122	0.03
7	$r_7 = 7$	81	0.02

Ví dụ

$$s_0 = T(r_0) = \sum_{i=0}^0 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) = 0.19 \rightarrow 1/7$$

$$s_1 = T(r_1) = \sum_{i=0}^1 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) = 0.44 \rightarrow 3/7$$

$$s_2 = T(r_2) = \sum_{i=0}^2 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) + p_{\text{in}}(r_2) = 0.65 \rightarrow 5/7$$

$$s_3 = T(r_3) = \sum_{i=0}^3 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) + \cdots + p_{\text{in}}(r_3) = 0.81 \rightarrow 6/7$$

$$s_4 = T(r_4) = \sum_{i=0}^4 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) + \cdots + p_{\text{in}}(r_4) = 0.89 \rightarrow 6/7$$

$$s_5 = T(r_5) = \sum_{i=0}^5 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) + \cdots + p_{\text{in}}(r_5) = 0.95 \rightarrow 1$$

$$s_6 = T(r_6) = \sum_{i=0}^6 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) + \cdots + p_{\text{in}}(r_6) = 0.98 \rightarrow 1$$

$$s_7 = T(r_7) = \sum_{i=0}^7 p_{\text{in}}(r_i) = p_{\text{in}}(r_0) + p_{\text{in}}(r_1) + \cdots + p_{\text{in}}(r_7) = 1.00 \rightarrow 1$$

Ví dụ

a b c

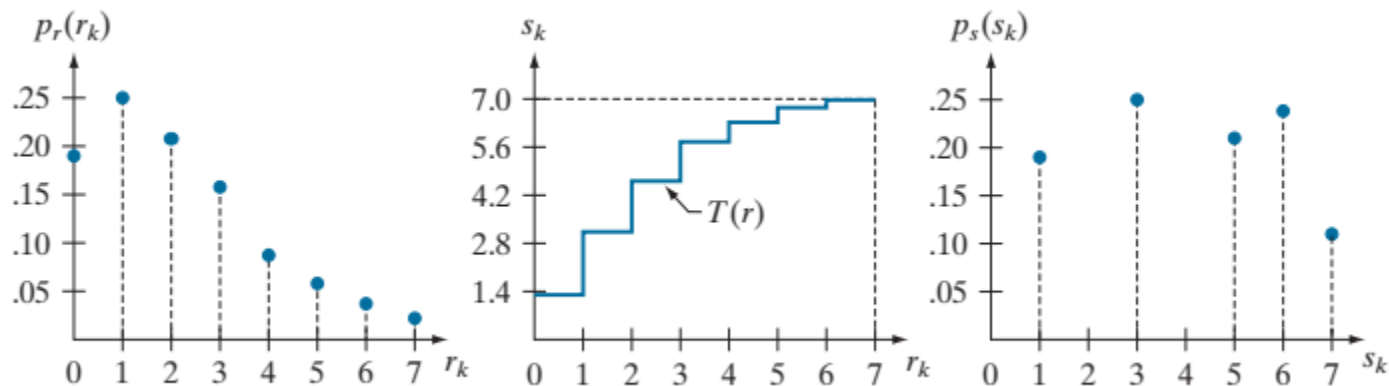
FIGURE 3.19

Histogram equalization.

(a) Original histogram.

(b) Transformation function.

(c) Equalized histogram.



Bài tập

- Cho bức ảnh I. Hãy vẽ lược đồ xám và thực hiện cân bằng lược đồ xám. Tìm ảnh I' sau khi đã cân bằng lược đồ xám.

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

3

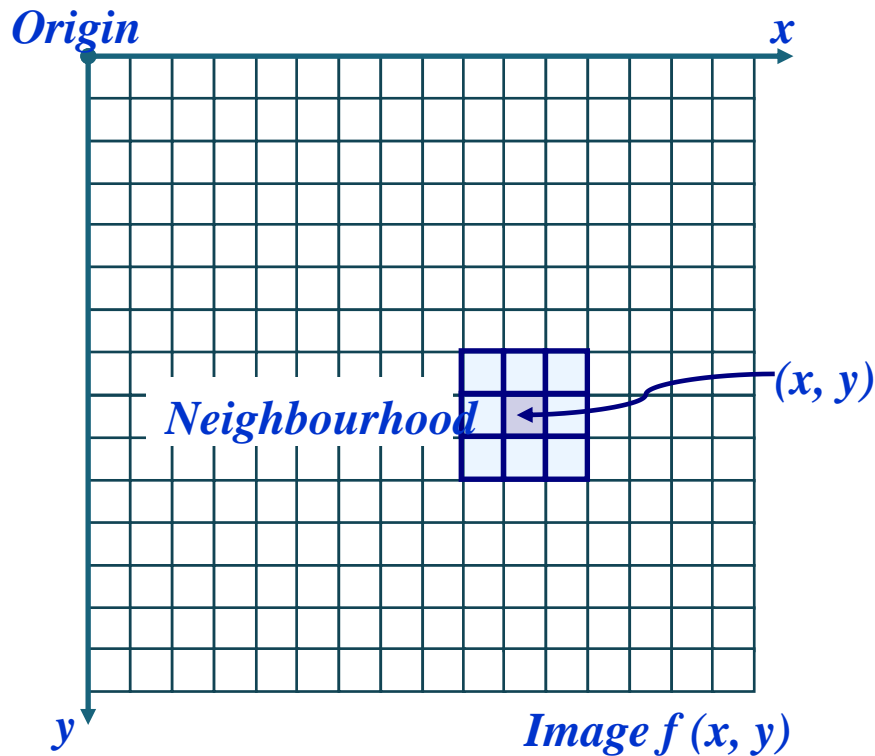
Nền tảng của lọc không gian

Giới thiệu

- Lọc không gian được sử dụng trong rất nhiều ứng dụng xử lý ảnh.
- Trong phần này tập trung vào các ví dụ trong tăng cường ảnh.
- Khái niệm “bộ lọc (filter)” được vay mượn từ quá trình xử lý miền tần số ở đó “lọc” để nói đến việc cho qua, thay đổi hoặc từ chối các thành phần tần số nào đó của một ảnh. Ví dụ bộ lọc cho qua tần số thấp được gọi là bộ lọc thông thấp (lowpass filter).
- Lọc không gian sửa đổi hình ảnh bằng cách thay thế giá trị của mỗi pixel bằng một hàm của các giá trị của pixel và các pixel lân cận của nó. Nếu thao tác được thực hiện trên pixel là tuyến tính, khi đó bộ lọc được gọi là *bộ lọc không gian tuyến tính*. Ngược lại gọi là bộ lọc *không gian phi tuyến*.

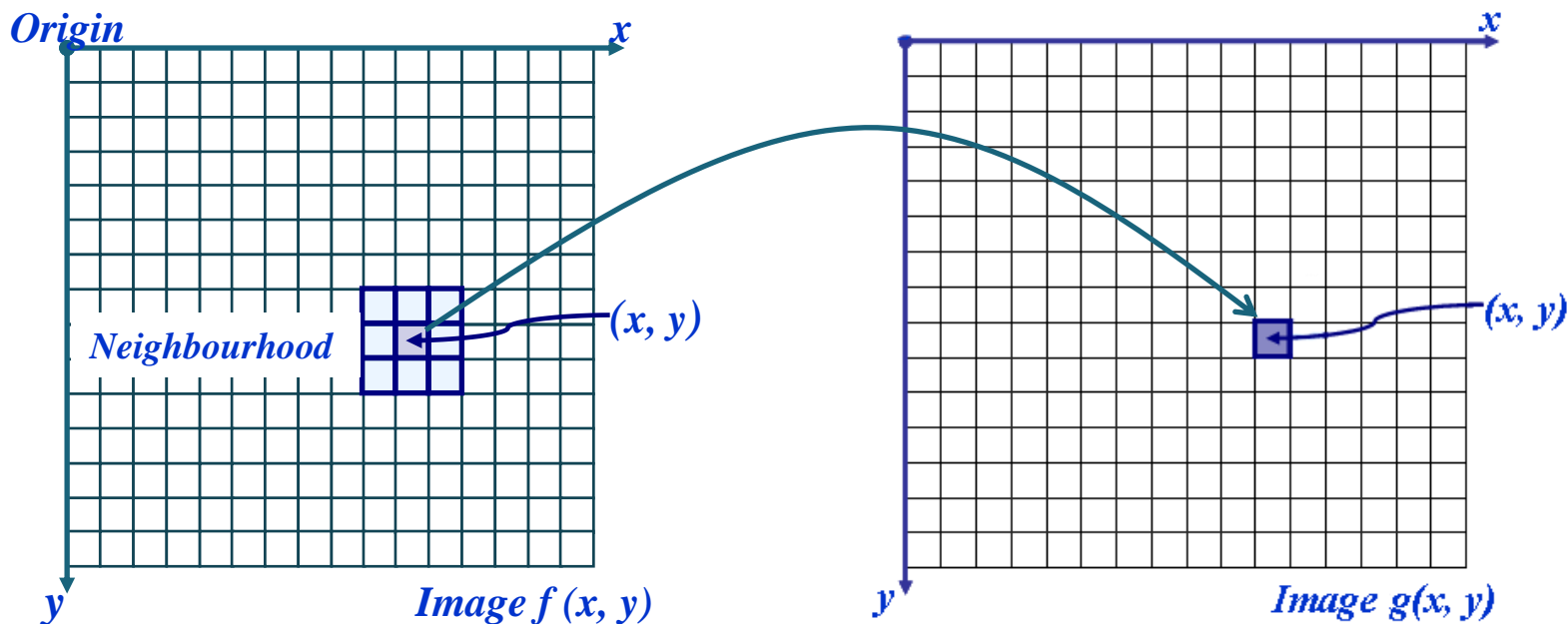
Toán tử láng giềng (neighbourhood)

- Toán tử láng giềng hoạt động trên một tập các pixel xung quanh pixel tâm.
- Neighbourhoods (láng giềng, lân cận) hầu hết có dạng hình chữ nhật quanh pixel tâm.



Toán tử láng giềng (neighbourhood)

- Đối với mỗi pixel trong ảnh gốc, sau xử lý đầu ra là pixel ở cùng vị trí đó trong ảnh đích.



Cơ chế lọc không gian tuyến tính

- Bộ lọc không gian tuyến tính thực hiện phép toán tổng các tích giữa ảnh f và nhân bộ lọc w . Nhân (*kernel*) là một mảng có kích thước xác định vùng tính toán và các hệ số của nó xác định bản chất của bộ lọc.
- Nhân bộ lọc không gian còn được gọi là mặt nạ (*mask*), mẫu (*template*) hoặc cửa sổ (*window*).

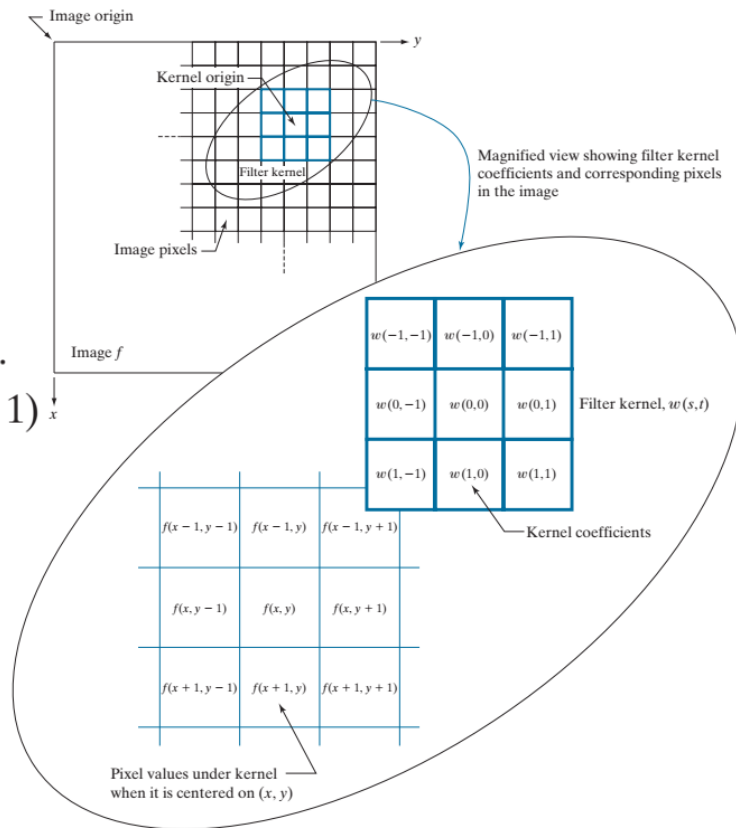
Cơ chế lọc không gian tuyến tính

- Ví dụ: Lọc không gian tuyến tính sử dụng nhân 3×3 . Tại pixel (x,y) , đáp ứng $g(x,y)$ của bộ lọc là tổng các tích giữa hệ số của nhân và các pixel ảnh nằm trong nhân.

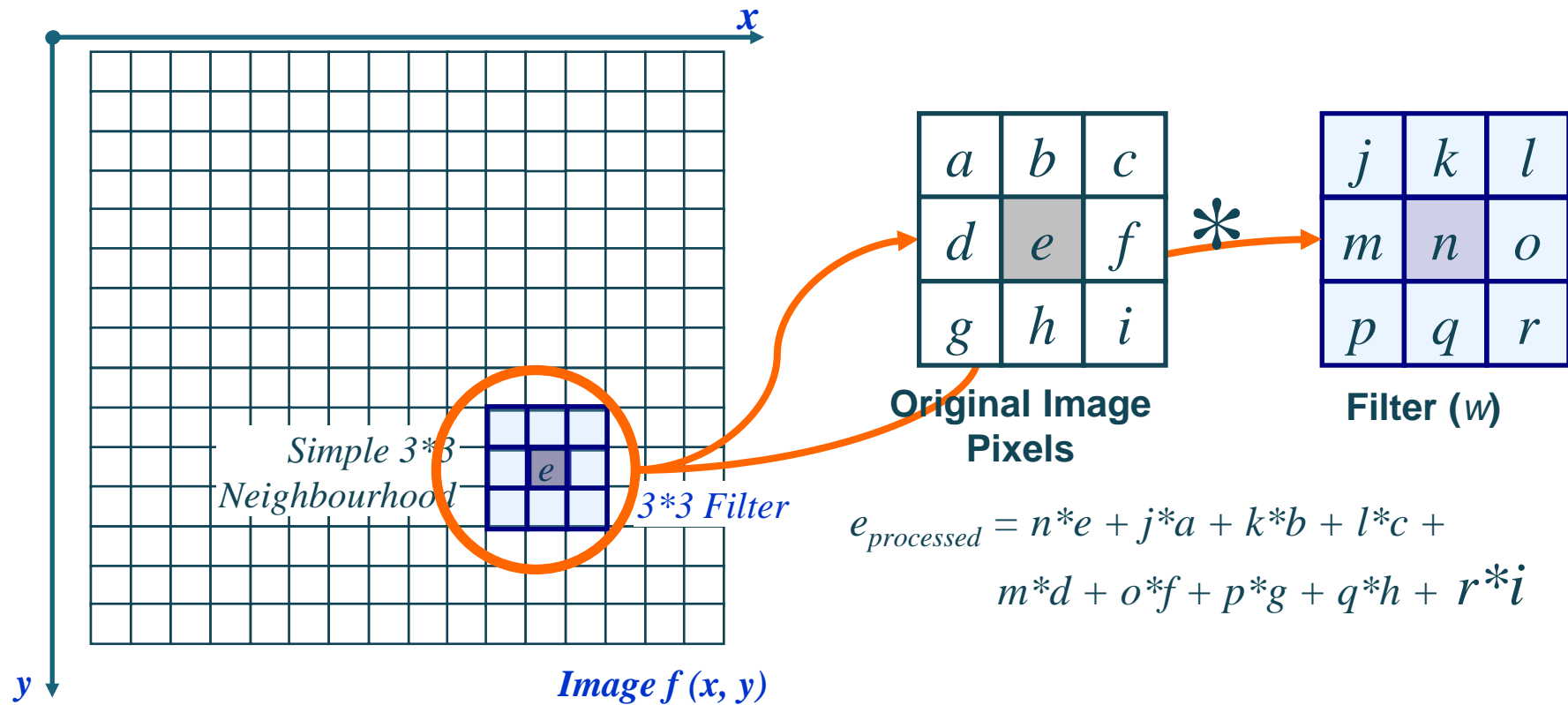
$$g(x, y) = w(-1, -1)f(x - 1, y - 1) + w(-1, 0)f(x - 1, y) + \dots \\ + w(0, 0)f(x, y) + \dots + w(1, 1)f(x + 1, y + 1)$$

- Tổng quát: Nếu hệ số tâm của nhân lọc $w(0,0)$ trùng với pixel tại vị trí (x, y) . Kích thước nhân là $m \times n$; $m = 2a + 1$, $n = 2b + 1$ thì đáp ứng ra là:

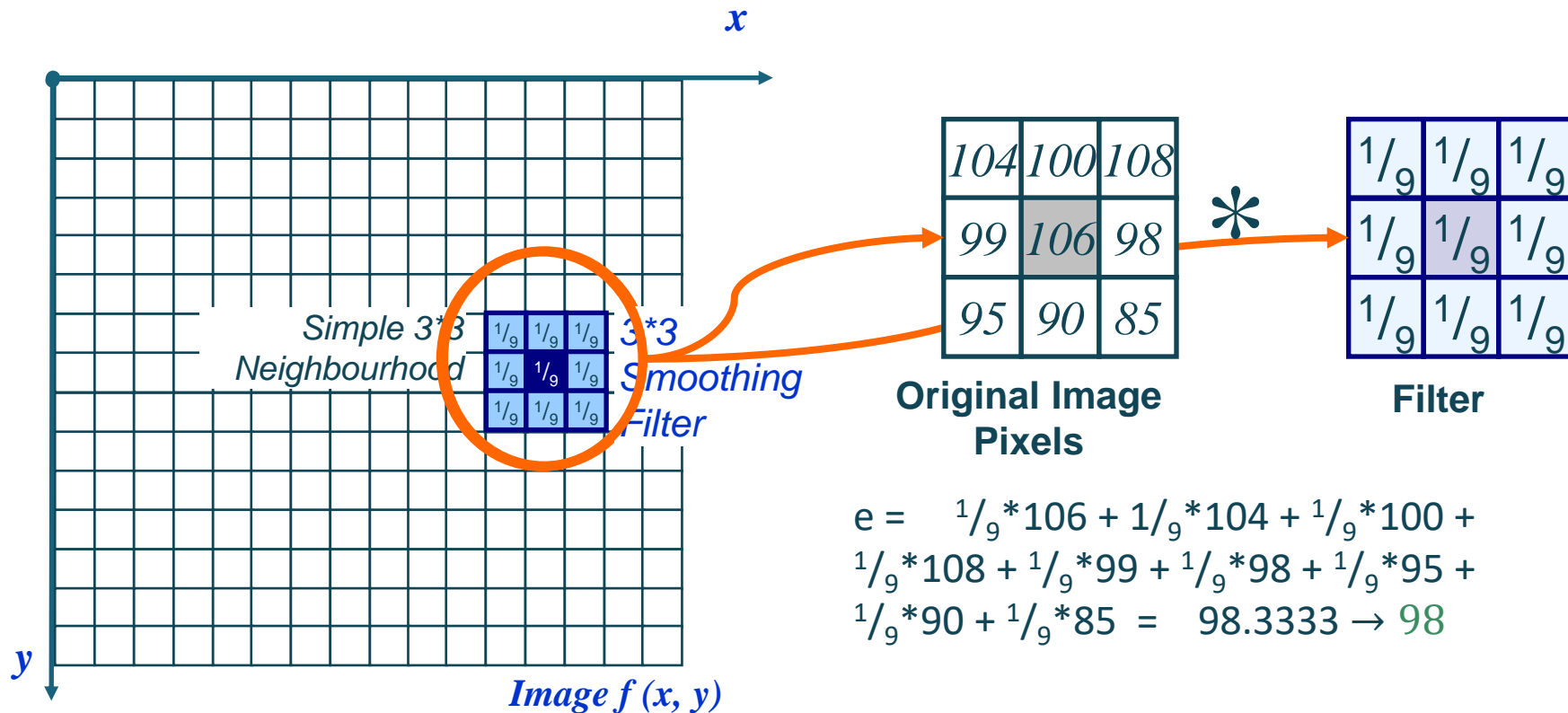
$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t)f(x + s, y + t)$$



Cơ chế lọc không gian tuyến tính

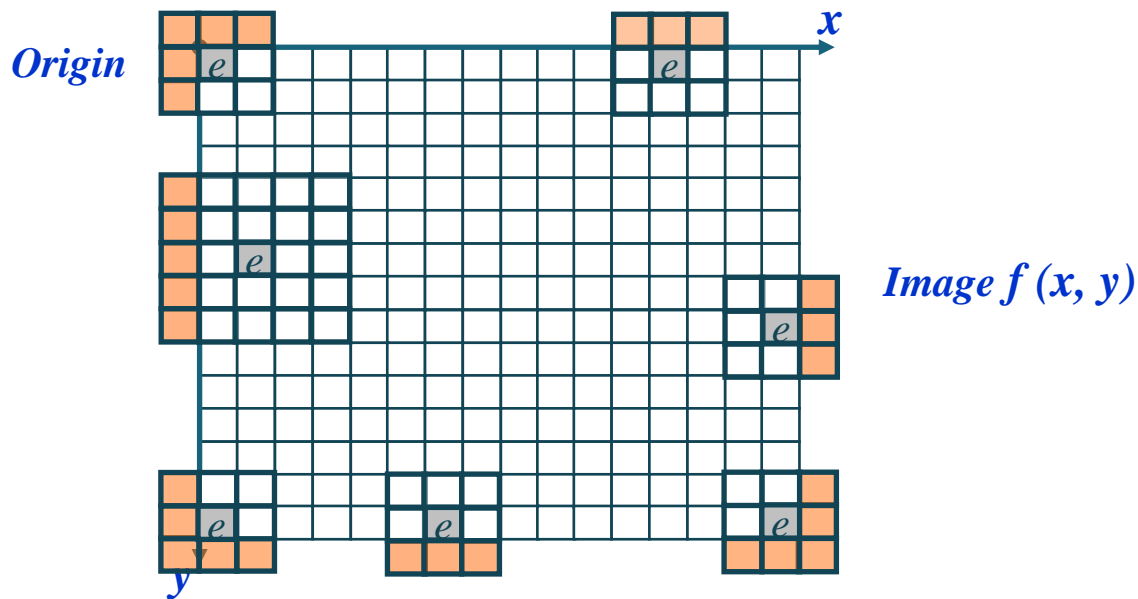


Cơ chế lọc không gian tuyến tính



Xử lý biên ảnh

- Tại biên của bức ảnh sẽ gặp trường hợp thiếu pixel ảnh để tạo thành vùng kích thước trùng với nhân bộ lọc.



Xử lý biên ảnh

Có một số cách tiếp cận để giải quyết vấn đề thiếu pixel ở biên:

- Loại bỏ pixel bị thiếu.
 - Chỉ làm việc với một số bộ lọc.
 - Làm thay đổi kích thước ảnh.
- Chèn thêm pixel vào ảnh
 - Thông thường thêm vào hoặc toàn pixel đen hoặc toàn pixel trắng.
 - Lặp lại các pixels ở rìa ảnh (replicate padding).
 - Lấy các giá trị pixel đối xứng qua biên (mirror hay symmetric/reflection padding)
 - Làm thay đổi tính chất ảnh.

Xử lý biên ảnh

0	0	0	0	0
0	3	2	5	0
0	7	1	7	0
0	3	3	2	0
0	0	0	0	0

Zero padding

1	7	1	7	1
2	3	2	5	2
1	7	1	7	1
3	3	3	2	3
1	7	1	7	1

Reflection padding

3	3	2	5	5
3	3	2	5	5
7	7	1	7	7
3	3	3	2	2
3	3	3	2	2

Replication padding

Tương quan không gian và tích chập không gian

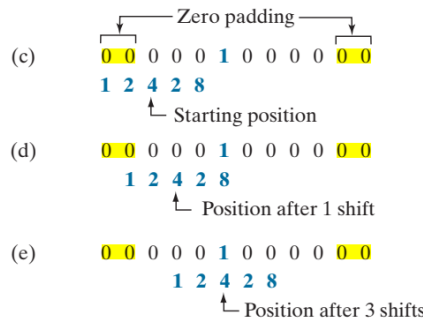
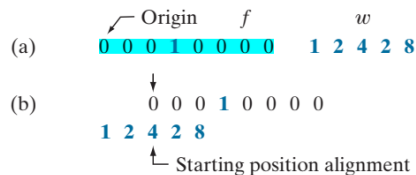
- *Tương quan không gian* bao gồm việc dịch chuyển tâm của nhân lọc qua toàn bộ ảnh và tính tổng các tích tại mỗi vị trí.
- Cơ chế của *tích chập không gian* tương tự, chỉ khác là nhân tương quan được quay 180° .

Tương quan không gian và tích chập không gian

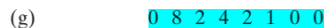
- Một hàm chứa một số 1 với phần còn lại là 0 được gọi là *xung đơn vị rời rạc*.

- Tương quan một nhân w với một *xung đơn vị rời rạc* tạo ra một phiên bản xoay 180° của nhân tại vị trí của xung.

Correlation



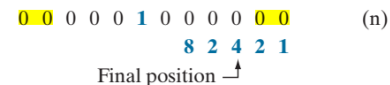
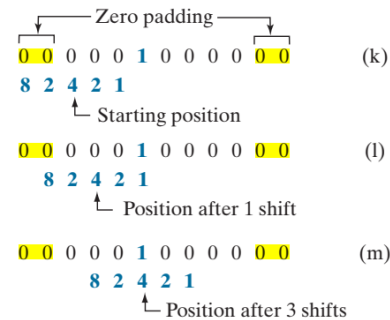
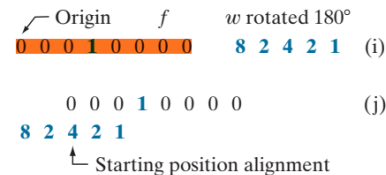
Correlation result



Extended (full) correlation result



Convolution



Convolution result



Extended (full) convolution result



Tương quan không gian và tích chập không gian

Tổng quát: Với nhân w kích thước $m \times n$; ảnh $f(x, y)$ thì:

- *Tương quan* giữa nhân w với ảnh f là:

$$(w \star f)(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

- *Tích chập* giữa nhân w với ảnh f là:

$$(w \star f)(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x - s, y - t)$$

		Padded f
↙ Origin	f	0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 1 0 0	0 0 0 1 0 0 0 0
	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0
		0 0 0 0 0 0 0 0
		0 0 0 0 0 0 0 0
		0 0 0 0 0 0 0 0
		0 0 0 0 0 0 0 0
		0 0 0 0 0 0 0 0
		0 0 0 0 0 0 0 0

(a) (b)

↙ Initial position for w	
1 2 3	0 0 0 0 0
4 5 6	0 0 0 0 0
7 8 9	0 0 0 0 0
0 0 0	1 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0

(c)

Correlation result				
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	9	8	7	0
0	6	5	4	0
0	3	2	1	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

(d)

Full correlation result									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	9	8	7	0	0	0	0	0
0	0	6	5	4	0	0	0	0	0
0	0	3	2	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(e)

↙ Rotated w	
9 8 7	0 0 0 0 0
6 5 4	0 0 0 0 0
3 2 1	0 0 0 0 0
0 0 0	1 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0
0 0 0	0 0 0 0 0

(f)

Convolution result				
0	0	0	0	0
0	1	2	3	0
0	4	5	6	0
0	7	8	9	0
0	0	0	0	0

(g)

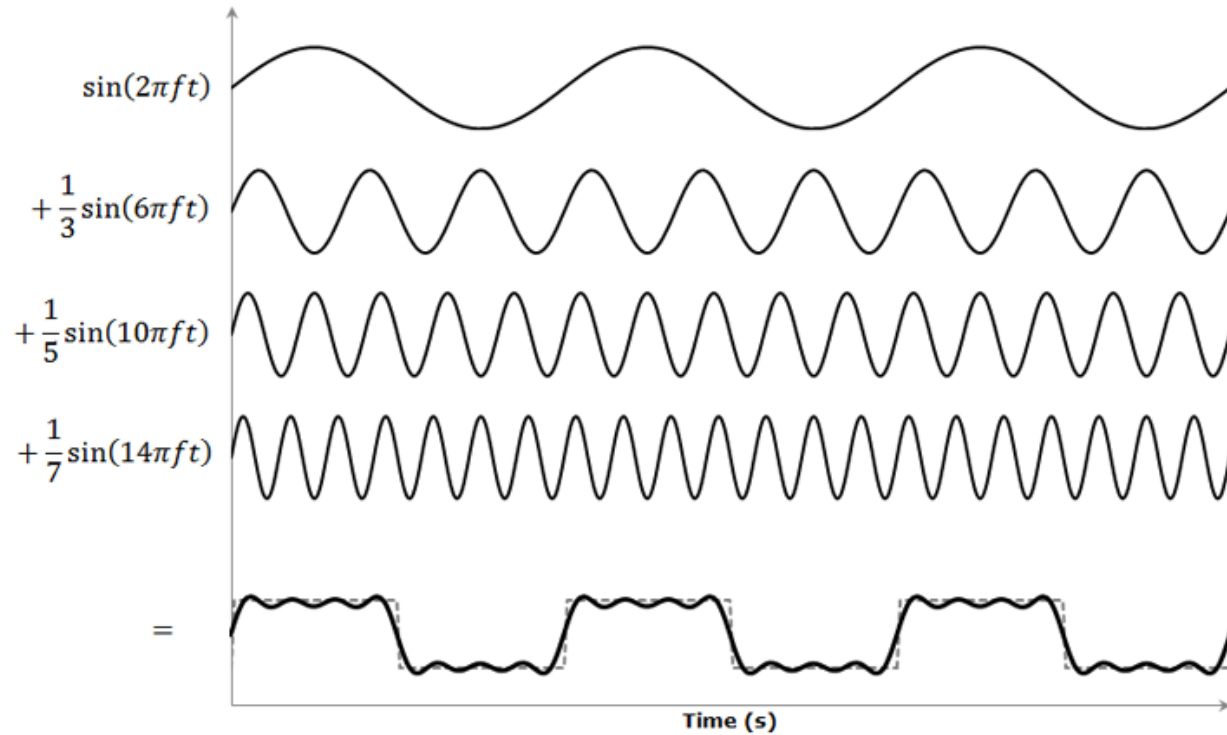
Full convolution result									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	2	3	0	0	0	0	0
0	0	4	5	6	0	0	0	0	0
0	0	7	8	9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(h)

Một số so sánh giữa lọc miền không gian và miền tần số

1. Tích chập, cơ sở để lọc trong miền không gian, tương đương với phép nhân trong miền tần số và ngược lại.
 2. Xung có độ lớn A trong miền không gian là một hằng số có giá trị A trong miền tần số và ngược lại.
- Một hình ảnh thỏa mãn một số điều kiện nào có thể biểu diễn dưới dạng tổng của một số sóng hình sin với tần số và biên độ khác nhau.
 - Vẽ bề ngoài của một hình ảnh phụ thuộc vào các thành phần tần số, *do đó thay đổi tần số của các thành phần này sẽ thay đổi ảnh.*
 - Ví dụ: Vùng ảnh có cường độ thay đổi chậm (ví dụ các bức tường của một căn phòng) được đặc trưng bởi sóng sin tần số thấp. Các cạnh và các vùng quá độ có cường độ thay đổi nhanh được đặc trưng bởi vùng tần số cao. *Vì vậy, làm giảm thành phần tần số cao của ảnh sẽ có xu hướng làm mờ ảnh.*

Square waves from sine waves



4

**Bộ lọc không gian
làm mịn ảnh
(lowpass)**

Giới thiệu

- Các bộ lọc không gian làm mịn ảnh (còn gọi là trung bình) được sử dụng để giảm sự chuyển đổi cường độ sắc nét.
- Làm mịn được sử dụng để giảm các chi tiết không liên quan trong bức ảnh, chi tiết “không liên quan” để chỉ vùng pixel có kích thước nhỏ so với kích thước lọc của nhân lọc.



**Bộ lọc hộp
(Box filter)**

**Bộ lọc
Gaussian**

**Bộ lọc phi
tuyến**

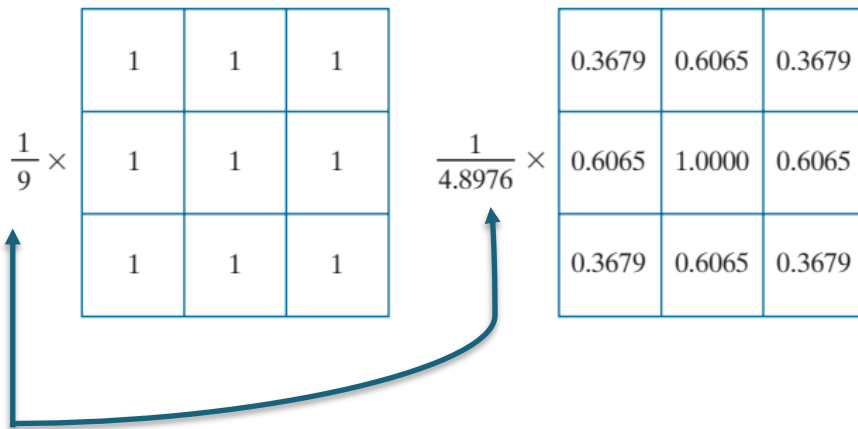
Bộ lọc hộp

- Nhân lọc thông thấp đơn giản nhất, có thể phân tách được là bộ lọc hộp ở đó các hệ số có cùng giá trị (thường là 1).

a b

FIGURE 3.31

Examples of smoothing kernels:
(a) is a *box* kernel;
(b) is a *Gaussian* kernel.



Hằng số chuẩn hóa

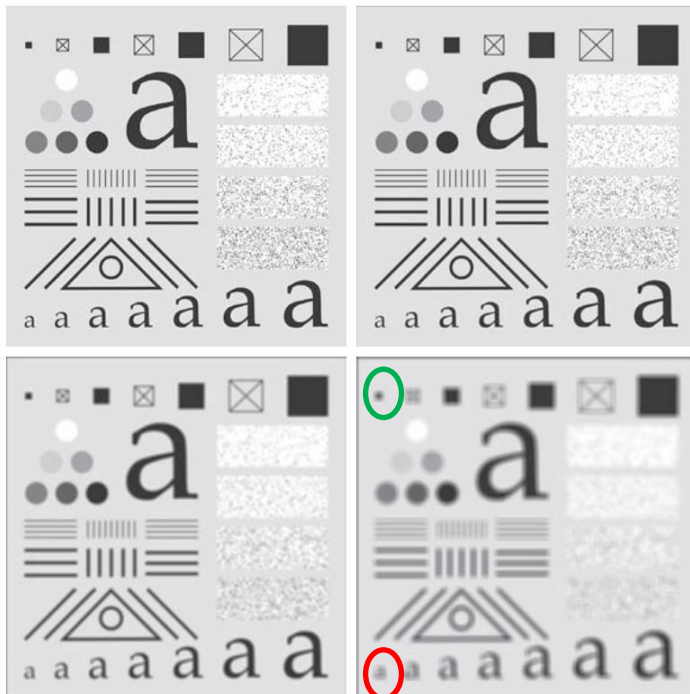
Ví dụ: Lọc thông thấp với bộ lọc hộp

a b
c d

FIGURE 3.33

(a) Test pattern of size 1024×1024 pixels.

(b)-(d) Results of lowpass filtering with box kernels of sizes 3×3 , 11×11 , and 21×21 , respectively.



- Quan sát các đường thẳng mảnh trong ảnh và các điểm nhiễu chứa trong các hình chữ nhật bên phải ảnh.
- Với bộ lọc 21×21 , đường viền đen rõ nét nhất và có sự thay đổi về hình dạng một số thành phần, ví dụ hình vuông nhỏ trên góc bên trái và chữ cái nhỏ ở góc dưới trái.

Bộ lọc Gauss thông thấp

- Bộ lọc hộp có một số hạn chế trong một số ứng dụng. Thực tế là các bộ lọc hộp ưu tiên làm mờ các hướng vuông góc.
- Trong các ứng dụng có các ảnh có mức độ chi tiết cao, hoặc với các thành phần hình học mạnh, tính định hướng của bộ lọc hộp thường tạo ra kết quả không mong muốn. Đây là hai ứng dụng trong đó bộ lọc hộp không phù hợp.
- Trong các trường hợp này cần chọn nhân có tính đẳng hướng (isotropic) nghĩa là đáp ứng của chúng độc lập với hướng.

Bộ lọc Gauss thông thấp

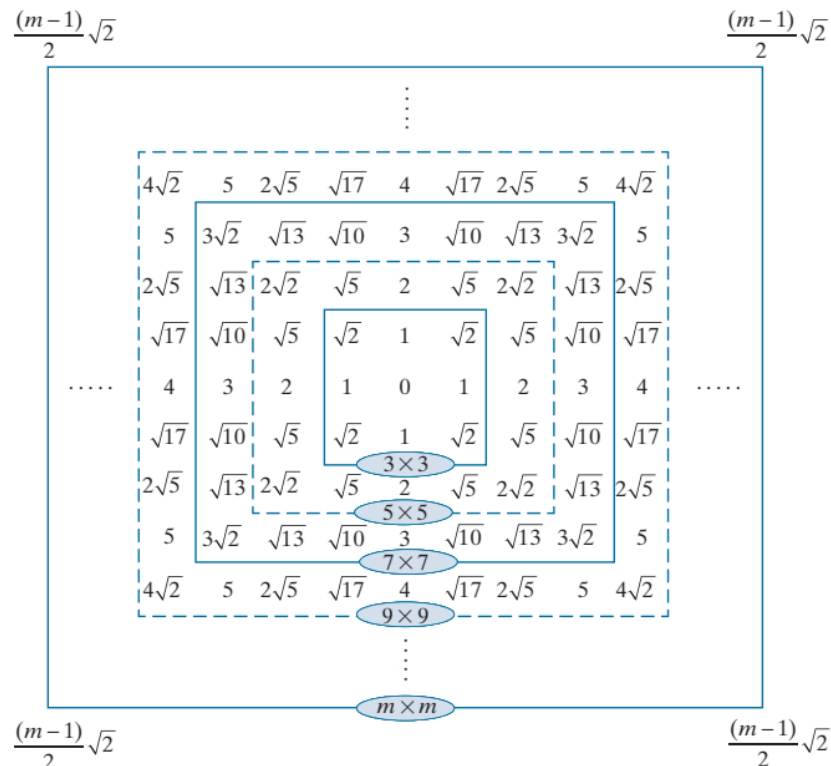
- Nhân Gauss có dạng:

$$w(s, t) = G(s, t) = Ke^{-\frac{s^2 + t^2}{2\sigma^2}}$$

ở đó s, t là các số thực rời rạc.

hay
$$G(r) = Ke^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

- Ví dụ dưới đây mô tả các giá trị của r đối với một số kích thước nhân khác nhau sử dụng các số nguyên cho s và t (nhân có kích thước $m \times m$).



Bộ lọc Gauss thông thấp

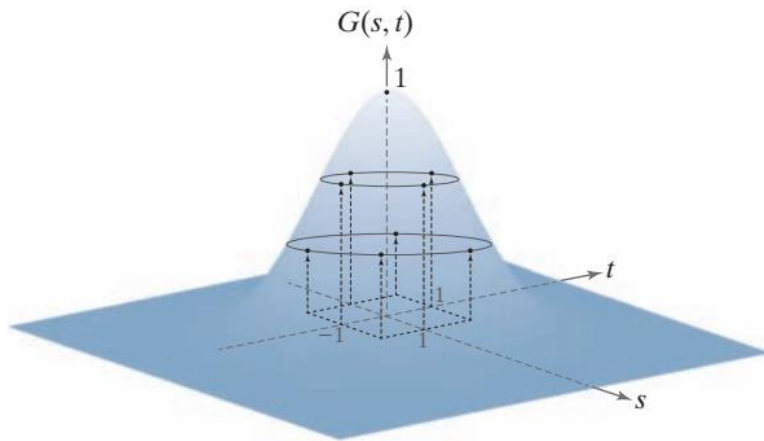
- Lấy mẫu công thức dưới đây với $K = 1$; $\sigma = 1$ ta được hệ số bộ lọc Gauss tương ứng:

$$w(s, t) = G(s, t) = K e^{-\frac{s^2 + t^2}{2\sigma^2}}$$

a b

FIGURE 3.35

(a) Sampling a Gaussian function to obtain a discrete Gaussian kernel. The values shown are for $K = 1$ and $\sigma = 1$. (b) Resulting 3×3 kernel [this is the same as Fig. 3.31(b)].


$$\frac{1}{4.8976} \times$$

0.3679	0.6065	0.3679
0.6065	1.0000	0.6065
0.3679	0.6065	0.3679

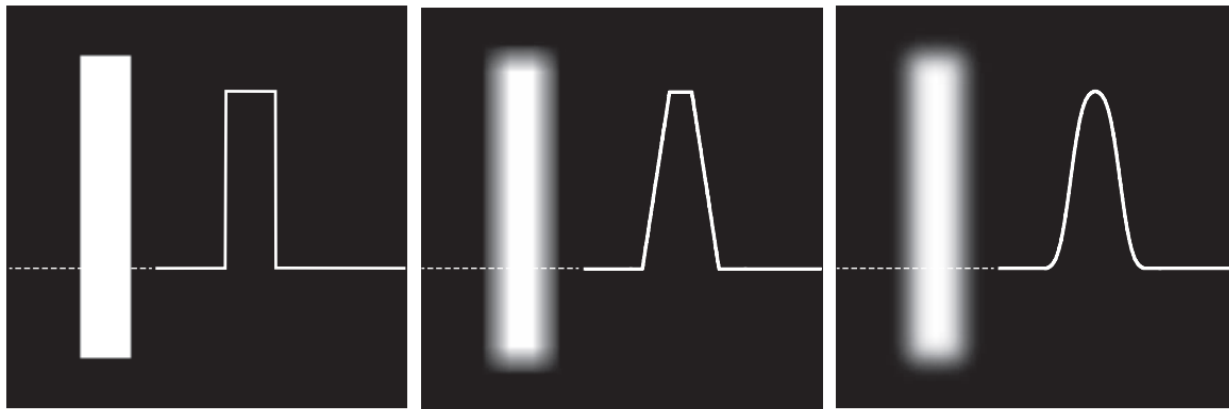
Bộ lọc Gauss thông thấp



a b c

FIGURE 3.36 (a) A test pattern of size 1024×1024 . (b) Result of lowpass filtering the pattern with a Gaussian kernel of size 21×21 , with standard deviations $\sigma = 3.5$. (c) Result of using a kernel of size 43×43 , with $\sigma = 7$. This result is comparable to Fig. 3.33(d). We used $K = 1$ in all cases.

So sánh bộ lọc Gauss và bộ lọc hộp



a b c

FIGURE 3.38 (a) Image of a white rectangle on a black background, and a horizontal intensity profile along the scan line shown dotted. (b) Result of smoothing this image with a box kernel of size 71×71 , and corresponding intensity profile. (c) Result of smoothing the image using a Gaussian kernel of size 151×151 , with $K = 1$ and $\sigma = 25$. Note the smoothness of the profile in (c) compared to (b). The image and rectangle are of sizes 1024×1024 and 768×128 pixels, respectively.



Bộ lọc Gauss kích thước 43×43 với $\sigma = 7$

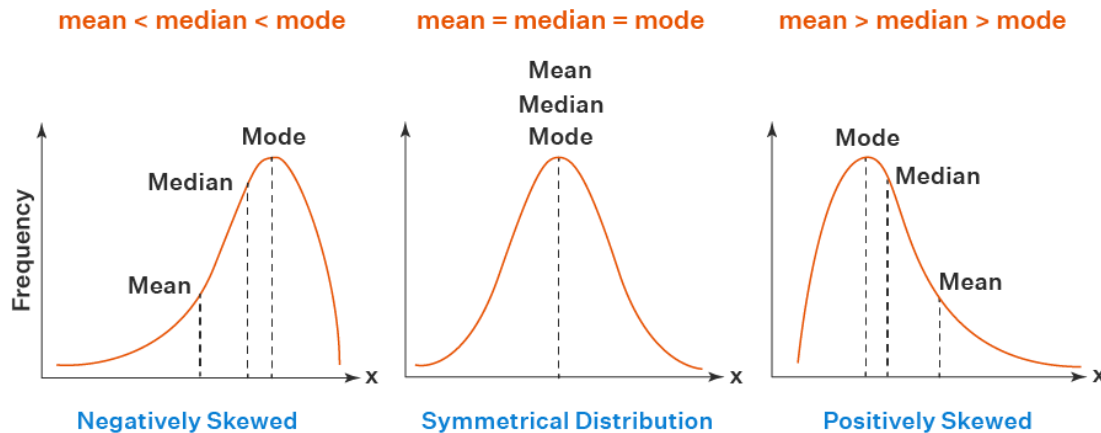


Bộ lọc hộp kích thước 21×21

Bộ lọc phi tuyến

- Bộ lọc phi tuyến có đáp ứng dựa trên việc sắp xếp (*xếp hạng*) các pixel chứa trong vùng nằm trong bộ lọc.
- Việc thay thế các giá trị pixel tâm bởi kết quả xếp hạng sẽ mang lại kết quả ảnh mịn.
- Bộ lọc nổi tiếng nhất trong loại này là *bộ lọc trung vị (median filter)*. Bộ lọc này thay thế giá trị của pixel tâm bởi giá trị cường độ pixel nằm ở giữa trong vùng lân cận của pixel đó.
- Bộ lọc trung vị có khả năng **giảm nhiễu tốt** cho một số loại nhiễu xác định với **hiệu ứng mờ ít hơn nhiễu** so với các bộ lọc làm mịn tuyến tính có kích thước tương đương.
- Bộ lọc trung vị rất hiệu quả trong trường hợp nhiễu xung (đôi khi còn gọi là nhiễu muối tiêu).

Mean & median



Mean, Median, Mode and Range

Mean

Add all the numbers then divide by the amount of numbers

9, 3, 1, 8, 3, 6

$$9 + 3 + 1 + 8 + 3 + 6 = 30$$

$$30 \div 6 = 5$$

The mean is 5

Median

Order the set of numbers, the median is the middle number

9, 3, 1, 8, 3, 6

1, 3, 3, 6, 8, 9

The median is 4.5

Mode

The most common number

9, 3, 1, 8, 3, 6

The mode is 3

Range

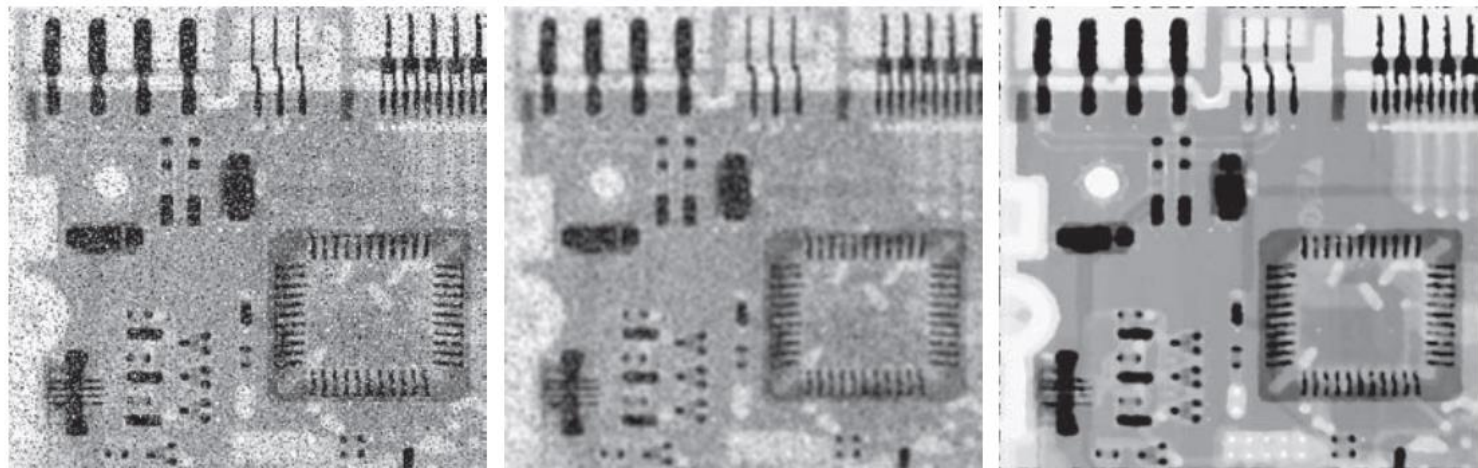
The difference between the highest number and lowest number

9, 3, 1, 8, 3, 6

$$9 - 1 = 8$$

The range is 8

Ví dụ giảm nhiễu của bộ lọc trung vị



a b c

FIGURE 3.43 (a) X-ray image of a circuit board, corrupted by salt-and-pepper noise. (b) Noise reduction using a 19×19 Gaussian lowpass filter kernel with $\sigma = 3$. (c) Noise reduction using a 7×7 median filter. (Original image courtesy of Mr. Joseph E. Pascente, Lixi, Inc.)

5

**Bộ lọc không gian
làm sắc nét ảnh
(highpass)**

Giới thiệu

- Việc tính trung bình pixel trong vùng lân cận có thể làm mịn ảnh. Bởi vì trung bình tương tự như tích phân nên có thể làm sắc nét ảnh bằng cách tính đạo hàm trong miền không gian.
- Độ mạnh của đáp ứng của toán tử đạo hàm tỷ lệ thuận với sự gián đoạn về cường độ tại điểm áp dụng toán tử.
- Vì vậy, đạo hàm ảnh tăng cường cạnh và các sự gián đoạn khác (ví dụ nhiễu) và làm giảm sự nổi bật các vùng có cường độ thay đổi chậm.
- Trong phần trước, làm mịn ảnh được gọi là **lọc thông thấp** nên trong trường hợp này, làm sắc nét ảnh là cho các tần số cao đi qua nên gọi là **lọc thông cao**.

Thuộc tính cơ bản của đạo hàm kỹ thuật số

- Đạo hàm của một hàm số được định nghĩa ở khía cạnh sự sai khác.
- Mặc dù có một số cách khác nhau để định nghĩa sự sai khác này, tuy nhiên bất cứ định nghĩa nào cũng phải thỏa mãn các yêu cầu dưới đây.

Đạo hàm bậc 1

1. Phải bằng 0 ở những vùng có cường độ không đổi.
2. Phải khác 0 khi bắt đầu bước nhảy hoặc đoạn dốc.
3. Phải khác 0 dọc theo đường dốc cường độ.

Đạo hàm bậc 2

1. Phải bằng 0 ở những vùng có cường độ không đổi.
2. Phải khác 0 khi bắt đầu và kết thúc bước nhảy hoặc đoạn dốc cường độ.
3. Phải bằng 0 dọc theo đường dốc cường độ

Thuộc tính cơ bản của đạo hàm kỹ thuật số

- Định nghĩa cơ bản của đạo hàm bậc 1 và đạo hàm bậc 2 của hàm 1 chiều $f(x)$ là:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x);$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial^2 x} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

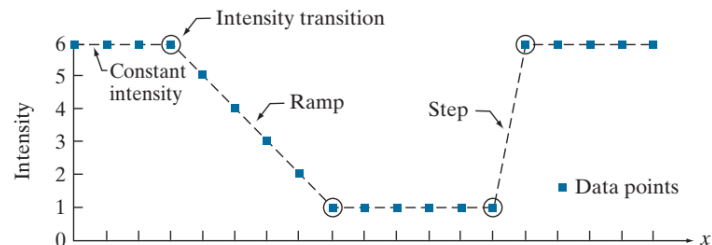
a
b
c

FIGURE 3.44

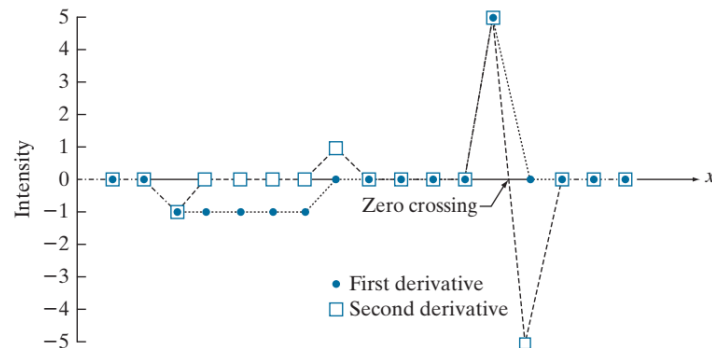
(a) A section of a horizontal scan line from an image, showing ramp and step edges, as well as constant segments.

(b) Values of the scan line and its derivatives.

(c) Plot of the derivatives, showing a zero crossing. In (a) and (c) points were joined by dashed lines as a visual aid.



Values of scan line	6	6	6	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	6	6	6	6	6	→ x
1st derivative	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	
2nd derivative	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5	-5	0	0	0	0	



Đạo hàm bậc 1 và đạo hàm bậc 2

- Các cạnh trong ảnh số thường là các chuyển đổi cường độ dạng dốc. Trong trường hợp này, đạo hàm bậc 1 của ảnh thường tạo ra cạnh dày bởi vì đạo hàm khác 0 dọc theo đoạn dốc. Mặt khác, đạo hàm bậc 2 có thể tạo ra biên kép độ dày 1 pixel, được phân tách bởi các con 0.
- Do đó có thể kết luận như sau:
 1. Đạo hàm bậc 2 tăng cường các chi tiết sắc nét tốt hơn đạo hàm bậc 1, đây là thuộc tính rất lý tưởng phù hợp cho việc làm sắc nét ảnh.
 2. Thực hiện đạo hàm bậc 2 yêu cầu ít phép tính hơn so với đạo hàm bậc 1.

Sử dụng đạo hàm bậc 2 để làm sắc nét ảnh

Bộ lọc Laplacian

- Toán tử đạo hàm đẳng hướng đơn giản nhất là toán tử Laplacian. Đối với một ảnh $f(x, y)$ có hai biến, hàm được định nghĩa là:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad \text{Với} \quad \begin{aligned} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} &= f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y) \\ \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} &= f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y) \end{aligned}$$

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

$f(x-1, y-1)$	$f(x-1, y)$	$f(x-1, y+1)$
$f(x, y-1)$	$f(x, y)$	$f(x, y+1)$
$f(x+1, y-1)$	$f(x+1, y)$	$f(x+1, y+1)$

- Công thức này có thể được thực hiện sử dụng tích chập với nhân (mặt nạ) như trong phần lọc không gian. Giống như lọc thông thấp, cơ chế lọc để làm sắc nét ảnh được thực hiện tương tự bằng cách sử dụng các hệ số khác của mặt nạ lọc.

Sử dụng đạo hàm bậc 2 để làm sắc nét ảnh

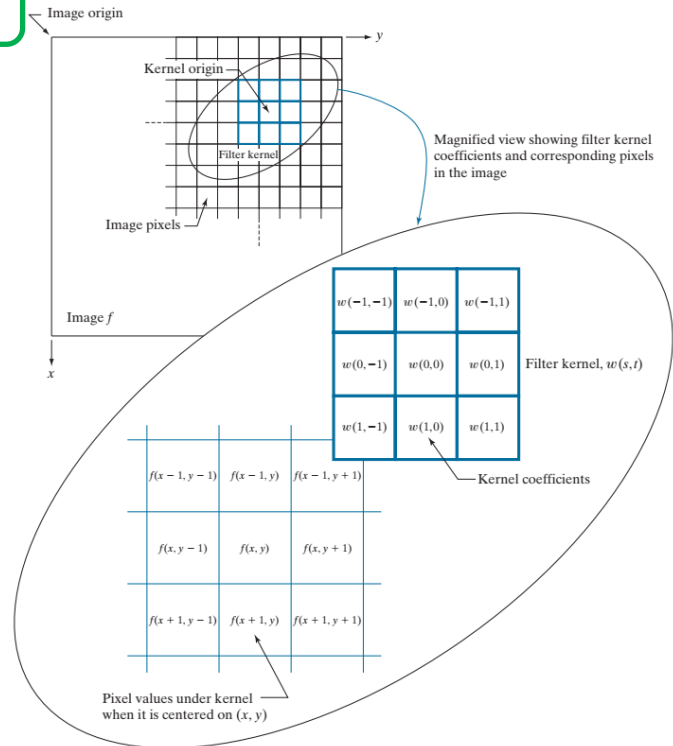
Bộ lọc Laplacian

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

0	1	0	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1
1	-4	1	1	-8	1	-1	4	-1	-1	8	-1
0	1	0	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1

a b c d

FIGURE 3.45 (a) Laplacian kernel used to implement Eq. (3-53). (b) Kernel used to implement an extension of this equation that includes the diagonal terms. (c) and (d) Two other Laplacian kernels.



Sử dụng đạo hàm bậc 2 để làm sắc nét ảnh

Bộ lọc Laplacian

- Do Laplacian là toán tử đạo hàm, nó làm nổi bật các vùng chuyển đổi cường độ sắc nét trong ảnh và làm giảm sự nổi bật của các vùng cường độ thay đổi chậm.
- Điều này tạo ra các ảnh có các đường cạnh màu xám và các điểm gián đoạn khác được chồng nhau trên một nền tối.
- Để tạo ra ảnh sắc nét ta sử dụng công thức sau:

$$g(x, y) = f(x, y) + c[\nabla^2 f(x, y)]$$

ở đó $f(x, y)$ và $g(x, y)$ là các ảnh đầu vào và ảnh đầu ra đã làm sắc nét. $c = -1$ nếu sử dụng mặt nạ trong hình (a) hoặc (b); $c = 1$ nếu sử dụng các mặt nạ khác.

0	1	0	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1
1	-4	1	1	-8	1	-1	4	-1	-1	8	-1
0	1	0	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1

Sử dụng đạo hàm bậc 2 để làm sắc nét ảnh

Bộ lọc Laplacian

a b
c d

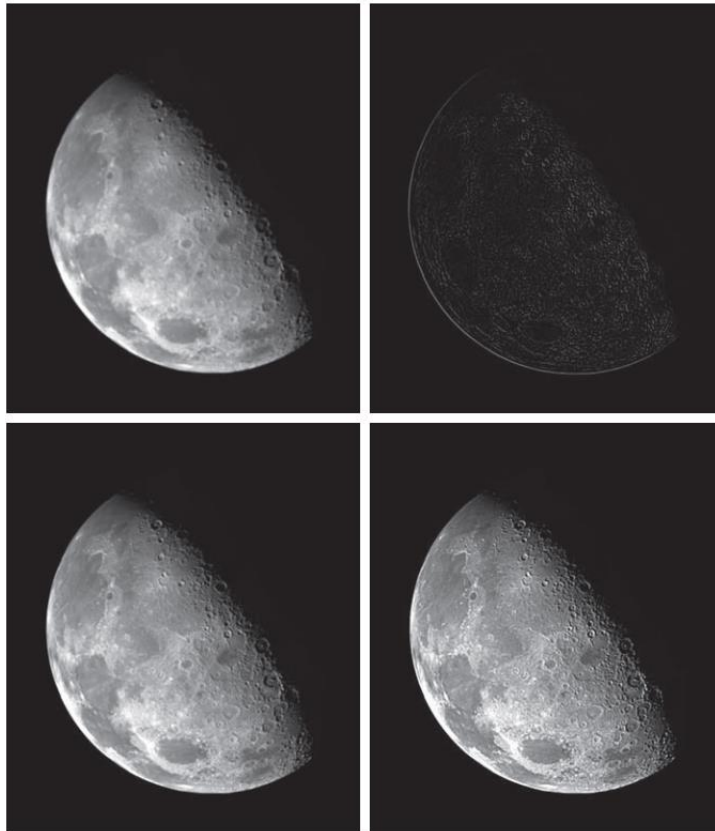
FIGURE 3.46

(a) Blurred image of the North Pole of the moon.

(b) Laplacian image obtained using the kernel in Fig. 3.45(a).

(c) Image sharpened using Eq. (3-54) with $c = -1$.

(d) Image sharpened using the same procedure, but with the kernel in Fig. 3.45(b). (Original image courtesy of NASA.)



$$g(x, y) = f(x, y) + c[\nabla^2 f(x, y)] \quad (3-54)$$

0	1	0	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1
1	-4	1	1	-8	1	-1	4	-1	-1	8	-1
0	1	0	1	1	1	0	-1	0	-1	-1	-1

a b c d

FIGURE 3.45 (a) Laplacian kernel used to implement Eq. (3-53). (b) Kernel used to implement an extension of this equation that includes the diagonal terms. (c) and (d) Two other Laplacian kernels.

Sử dụng đạo hàm bậc 1 để làm sắc nét ảnh

Gradient

- Đạo hàm bậc 1 trong xử lý ảnh được thực hiện sử dụng biên độ của gradient.
- Gradient của ảnh f tại tọa độ (x, y) được định nghĩa là vector cột hai

chiều:

$$\nabla f \equiv \text{grad}(f) = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

Vector này có một thuộc tính hình học quan trọng là nó chỉ hướng có tốc độ thay đổi lớn nhất của f tại vị trí (x, y) .

- Biên độ (chiều dài) của vector ∇f , ký hiệu là $M(x, y)$:

$$M(x, y) = \|\nabla f\| = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \approx |g_x| + |g_y|$$

Sử dụng đạo hàm bậc 1 để làm sắc nét ảnh Gradient

- Nếu các giá trị z là các giá trị cường độ pixel.
- Theo định nghĩa của Roberts [1965]:

$$g_x = (z_9 - z_5) \text{ và } g_y = (z_8 - z_6)$$

- Khi đó toán tử gradient Roberts là:

-1	0	0	-1
0	1	1	0

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

- Khi sử dụng mặt nạ kích thước lẻ, mặt nạ đơn giản nhất là 3×3 .

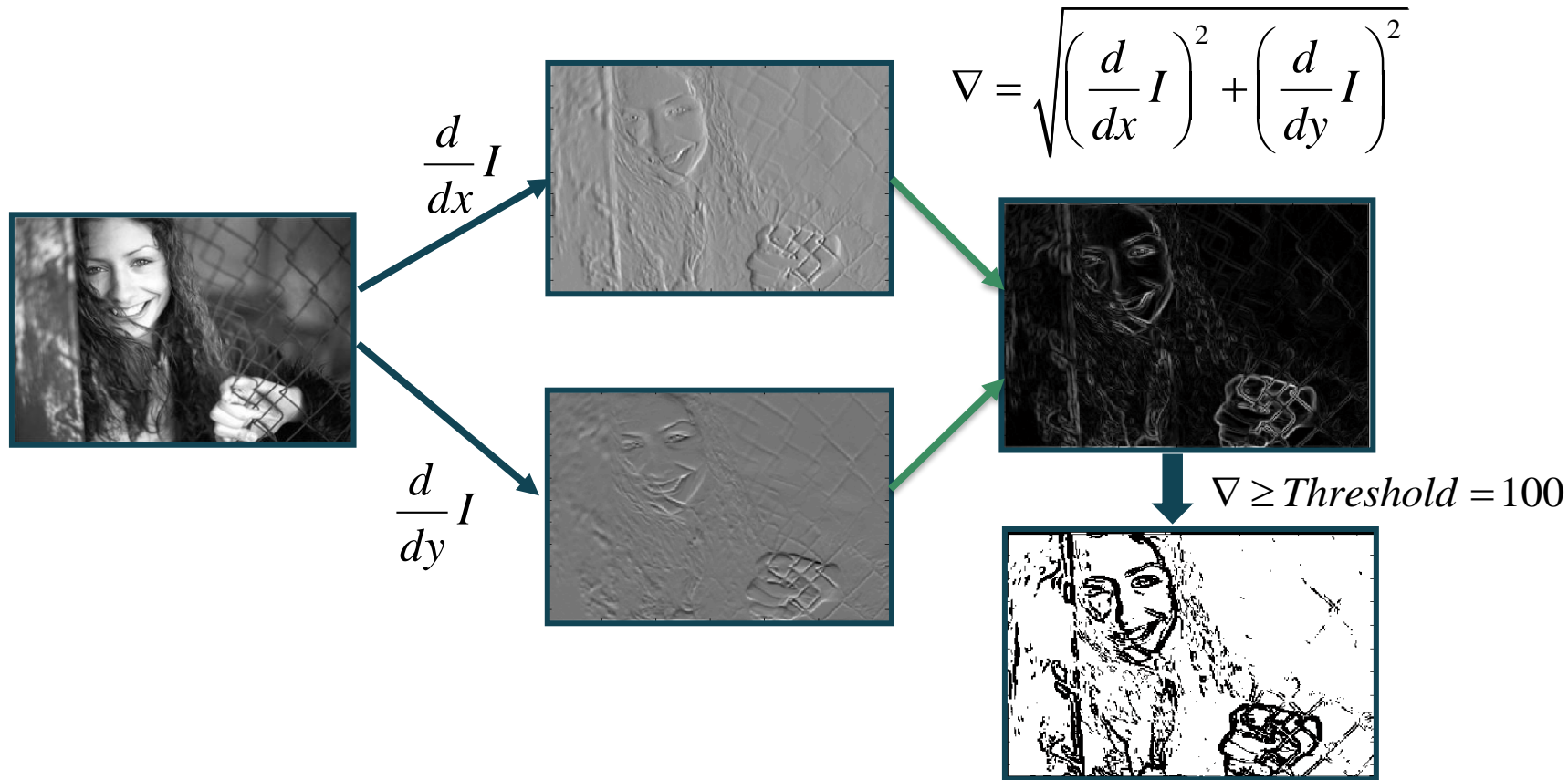
Toán tử Sobel, xấp xỉ của g_x và g_y với vùng lân cận có tâm z_5 là:

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

Sử dụng đạo hàm bậc 1 để làm sắc nét ảnh Gradient



6

**Kết hợp các phương
pháp tăng cường ảnh
không gian**

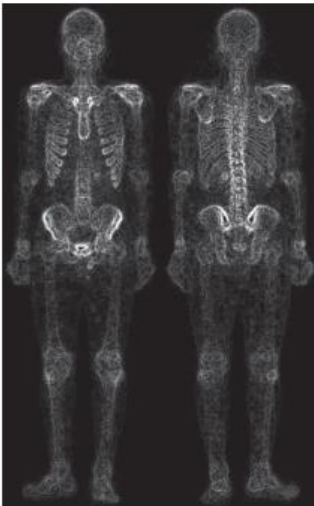
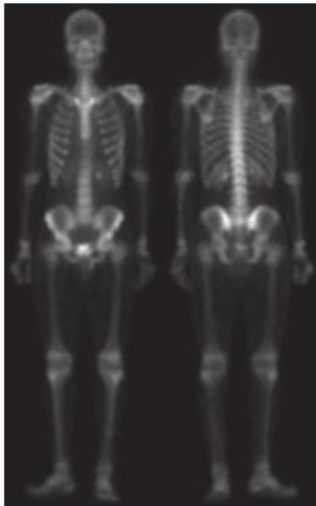
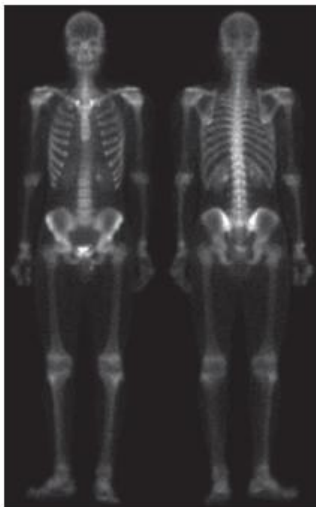
Giới thiệu

- Thông thường, một tác vụ nào đó sẽ yêu cầu việc áp dụng một vài kỹ thuật bổ sung để đạt được kết quả mong muốn.
- Ví dụ: ảnh quét toàn bộ cơ thể hạt nhân, được sử dụng để phát hiện các bệnh như nhiễm trùng và khối u xương.

a b
c d

FIGURE 3.57

(a) Image of whole body bone scan.
(b) Laplacian of (a).
(c) Sharpened image obtained by adding (a) and (b).
(d) Sobel gradient of image (a). (Original image courtesy of G.E. Medical Systems.)



e f
g h

FIGURE 3.57

(Continued)

(e) Sobel image smoothed with a 5×5 box filter.
(f) Mask image formed by the product of (b) and (e).
(g) Sharpened image obtained by the adding images (a) and (f).
(h) Final result obtained by applying a power-law transformation to (g). Compare images (g) and (h) with (a). (Original image courtesy of G.E. Medical Systems.)

