Xử lý ảnh

Hoàng Văn Hiệp
Bộ môn Kỹ thuật máy tính
Viện Công nghệ thông tin và Truyền thông
Email: hiephv@soict.hut.edu.vn

1

Nội dung

- Chương 1. Giới thiệu chung
- Chương 2. Thu nhận & số hóa ảnh
- Chương 3. Cải thiện & phục hồi ảnh
- Chương 4. Phát hiện tách biên, phân vùng ảnh
- Chương 5. Trích chọn các đặc trưng trong ảnh
- Chương 6. Nén ảnh
- Chương 7. Lập trình xử lý ảnh bằng Matlab và C

2

Chương 3. Cải thiện và phục hồi ảnh

- Cải thiện ảnh
- Phục hồi ảnh

3

Cải thiện ảnh

- Xử lý ảnh để đầu ra "tốt" hơn đầu vào cho mục đích nhất định
  - Do đó: Cải thiện ảnh rất phụ thuộc vào từng ứng dụng cụ thể
- Phương pháp cải thiện ảnh
  - Xử lý trên miền không gian
    - Xử lý trên điểm ảnh
    - Xử lý mặt nạ
  - Xử lý trên miền tần số
    - Các phép lọc
  - Xử lý trên màu sắc

4

Cải thiện ảnh trên miền tần số

- Miền tần số?
- Phép biến đổi Fourier
  - Phép biến đổi Fourier của hàm liên tục một biến f(x) được định nghĩa như sau:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j2\pi ux}\, dx$$

  - Phép biến đổi ngược

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{j2\pi ux}\, du.$$

5

Phép biến đổi Fourier

- Phép biến đổi Fourier của hàm liên tục 2 biến f(x, y)
  - Biến đổi xuôi

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(ux+vy)}\, dx\, dy$$

  - Biến đổi ngược

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{j2\pi(ux+vy)}\, du\, dv.$$

6

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

- Trên miền rời rạc (ảnh số):
  - Phép biến đổi Fourier của hàm rời rạc 1 biến f(x) với x = 0, 1, 2, …, M-1

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi ux/M} \quad \text{Với} \quad u = 0, 1, 2, \dots, M-1.$$

  - Phép biến đổi ngược

$$f(x) = \sum_{u=0}^{M-1} F(u)e^{j2\pi ux/M} \quad \text{với} \quad x = 0, 1, 2, \dots, M-1$$

7

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

- Phép biến đổi Fourier của hàm rời rạc 2 biến f(x, y) với x = 0, 1, …, M-1; y = 0, 1, … N-1;

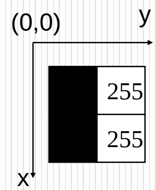
$$F(u, v) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)}$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1} F(u, v)e^{j2\pi(ux/M + vy/N)}$$

8

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

- Ví dụ:



f(x,y)

- Tính biến đổi Fourier của ảnh trên

9

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

$$F(0,0) = \frac{1}{2*2}(f(0,0) + f(0,1) + f(1,0) + f(1,1)) = 127.5$$

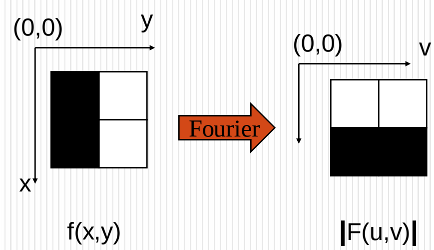
$$F(0,1) = \frac{1}{2*2}(f(0,0)*e^{-j2\pi(0*0/2+1*0/2)} + f(0,1)*e^{-j2\pi(0*0/2+1*1/2)}$$
$$+ f(1,0)*e^{-j2\pi(0*1/2+1*0/2)} + f(1,1)*e^{-j2\pi(0*1/2+1*1/2)}) = -127.5$$

$$F(1,0) = \frac{1}{2*2}(f(0,0)*e^{-j2\pi(1*0/2+0*0/2)} + f(0,1)*e^{-j2\pi(1*0/2+0*1/2)}$$
$$+ f(1,0)*e^{-j2\pi(1*1/2+0*0/2)} + f(1,1)*e^{-j2\pi(1*1/2+0*1/2)}) = 0$$

$$F(1,1) = \frac{1}{2*2}(f(0,0)*e^{-j2\pi(1*0/2+1*0/2)} + f(0,1)*e^{-j2\pi(1*0/2+1*1/2)}$$
$$+ f(1,0)*e^{-j2\pi(1*1/2+1*0/2)} + f(1,1)*e^{-j2\pi(1*1/2+1*1/2)}) = 0$$

10

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

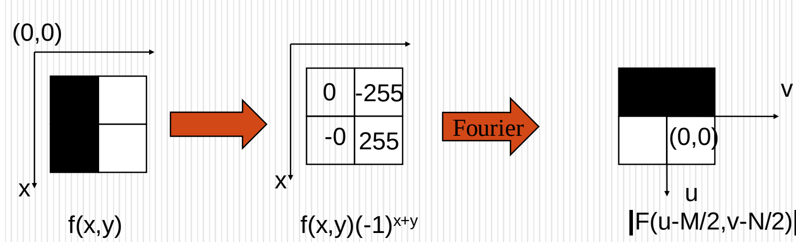


- (x, y) → f(x, y): miền không gian
- (u, v) → F(u, v): miền tần số

11

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

- Trên miền tần số: thường xét tâm (0, 0) tại điểm tâm của ảnh
  - Thực hiện bằng cách: Nhân f(x, y) với $(-1)^{x+y}$ rồi mới thực hiện phép biến đổi Fourier



12

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

❑Biểu diễn bằng cos, sin

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi ux/M}$$

- Công thức Euler $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$

$$F(u) = \frac{1}{M}\sum_{x=0}^{M-1} f(x)[\cos 2\pi ux/M - j\sin 2\pi ux/M]$$

  - Mỗi giá trị của u: ứng với 1 tần số
  - u → f(u): miền tần số

13

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

❑Biểu diễn trên hệ cực

$$F(u) = |F(u)|e^{-j\phi(u)}$$

- Trong đó: $|F(u)|$ gọi là phổ biên độ

$$|F(u)| = \left[R^2(u) + I^2(u)\right]^{1/2}$$

  - Và: $\phi(u)$ gọi là phổ pha của biến đổi Fourier

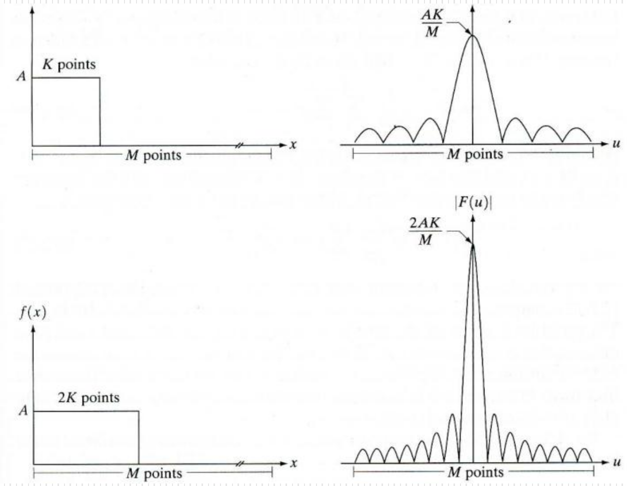
$$\phi(u) = \tan^{-1}\left[\frac{I(u)}{R(u)}\right]$$

- Phổ năng lượng

$$P(u) = |F(u)|^2 = R^2(u) + I^2(u)$$

14

Phép biến đổi Fourier (tiếp)



$$\Delta u = \frac{1}{M\Delta x}$$

15

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

❑Hàm 2 biến

- Phổ biên độ

$$|F(u,v)| = \left[R^2(u,v) + I^2(u,v)\right]^{1/2}$$

- Phổ pha

$$\phi(u,v) = \tan^{-1}\left[\frac{I(u,v)}{R(u,v)}\right]$$

$$\Delta u = \frac{1}{M\Delta x}$$

- Phổ năng lượng

$$P(u,v) = |F(u,v)|^2 = R^2(u,v) + I^2(u,v)$$

$$\Delta v = \frac{1}{N\Delta y}$$

16

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

$$\Im[f(x,y)(-1)^{x+y}] = F(u - M/2, v - N/2)$$

- ➔F(0, 0) ứng với u = M/2 và v = N/2 tức là ở tâm ảnh (M và N thường chẵn)

$$F(0,0) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)$$

- F(0, 0) còn gọi là thành phần một chiều của phổ (thành phần tần số bằng 0)

17

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

- Một số chú ý

Phép dịch về tâm

$$f(x,y)(-1)^{x+y} \Leftrightarrow F(u - M/2, v - N/2)$$
$$f(x - M/2, y - N/2) \Leftrightarrow F(u,v)(-1)^{u+v}$$

Phép quay

$$f(r, \theta + \theta_0) \Leftrightarrow F(\omega, \varphi + \theta_0)$$
$$x = r\cos\theta \quad y = r\sin\theta \quad u = \omega\cos\varphi \quad v = \omega\sin\varphi$$

Phép tích chập

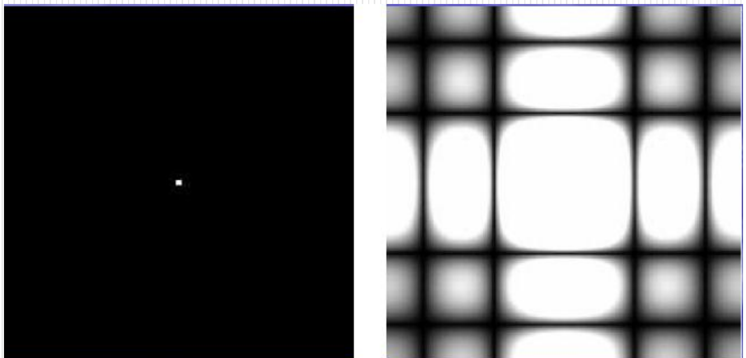
$$f(x,y) \bigstar h(x,y) \Leftrightarrow F(u,v)H(u,v)$$
$$f(x,y)h(x,y) \Leftrightarrow F(u,v) \bigstar H(u,v)$$

Phép tương quan (correlation)

$$f(x,y) \star h(x,y) \Leftrightarrow F^*(u,v)H(u,v)$$
$$f^*(x,y)h(x,y) \Leftrightarrow F(u,v) \star H(u,v)$$

18

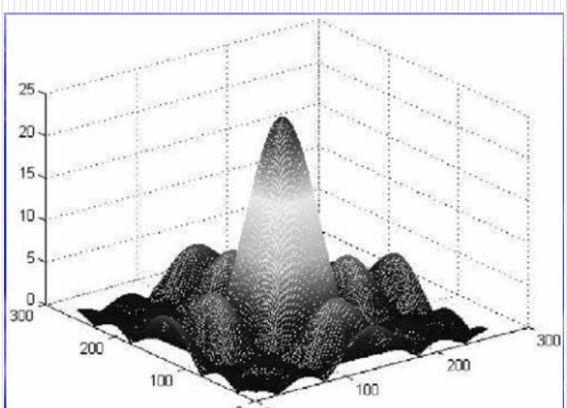
Phép biến đổi Fourier (tiếp)



f(x,y) |F(u,v)| displayed as image

19

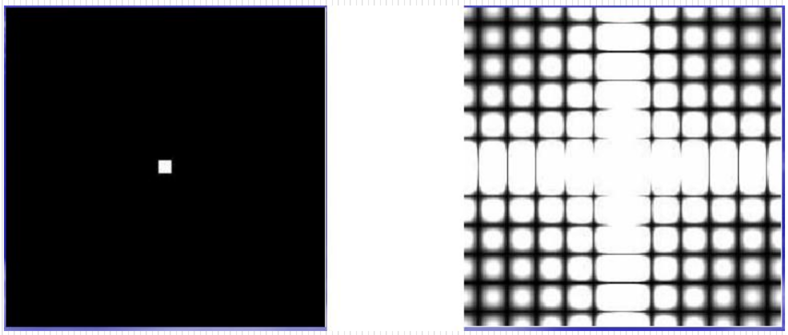
Phép biến đổi Fourier (tiếp)



|F(u,v)| displayed in 3-D

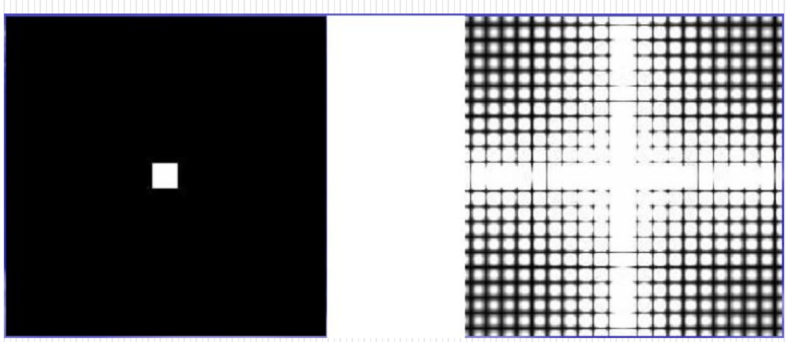
20

Phép biến đổi Fourier (tiếp)



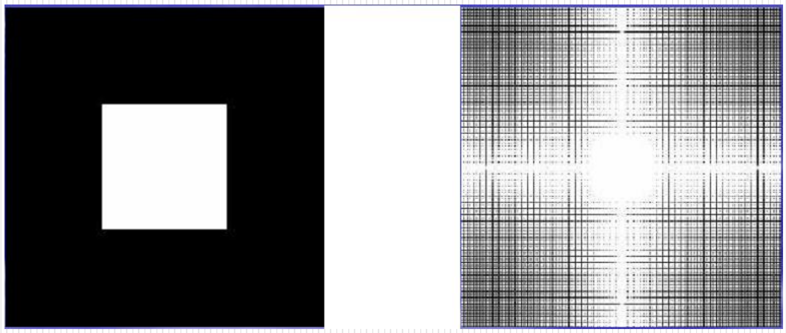
21

Phép biến đổi Fourier (tiếp)



22

Phép biến đổi Fourier (tiếp)



23

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

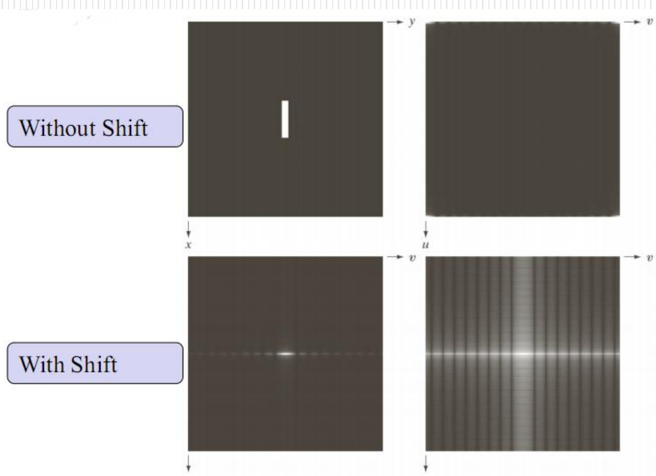
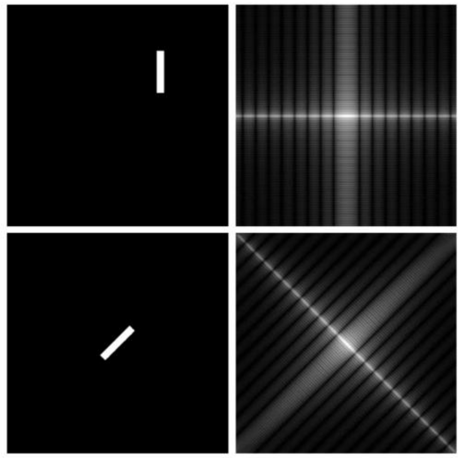


FIGURE 4.24 (a) Image. (b) Spectrum showing bright spots in the four corners. (c) Centered spectrum. (d) Result showing increased detail after a log transformation. The zero crossings of the spectrum are closer in the vertical direction because the rectangle in (a) is longer in that direction. The coordinate convention used throughout the book places the origin of the spatial and frequency domains at the top left.

24

Phép biến đổi Fourier (tiếp)

- Translation
- Rotation

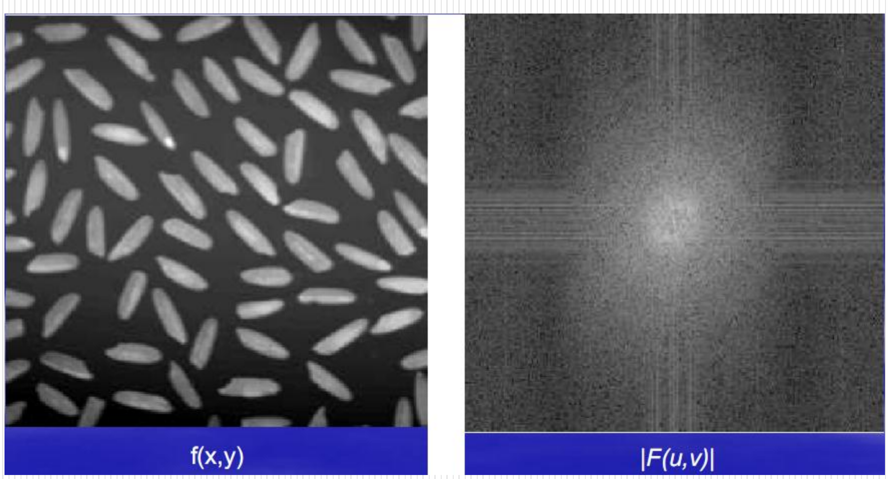


a b
c d

FIGURE 4.25 (a) The rectangle in Fig. 4.24(a) translated, and (b) the corresponding spectrum. (c) Rotated rectangle, and (d) the corresponding spectrum. The spectrum corresponding to the translated rectangle is identical to the spectrum corresponding to the original image in Fig. 4.24(a).

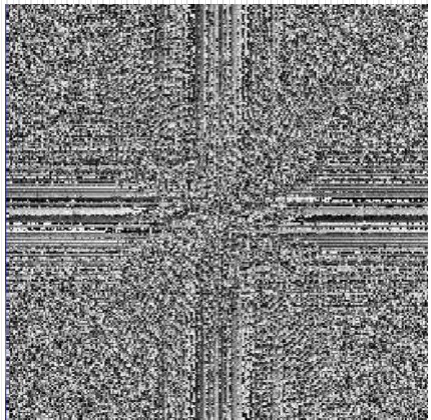
25

Ý nghĩa phổ biên độ và phổ pha



26

Ý nghĩa phổ biên độ và phổ pha (tiếp)

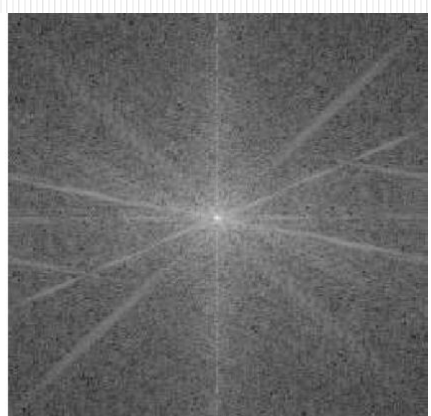


∠F(u,v)

27

Ý nghĩa phổ biên độ và phổ pha (tiếp)

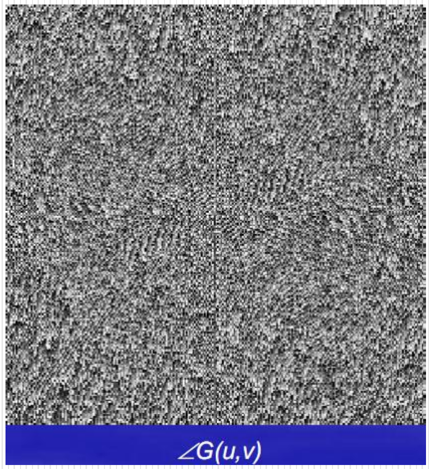
g(x,y)



|G(u,v)|

28

Ý nghĩa phổ biên độ và phổ pha (tiếp)

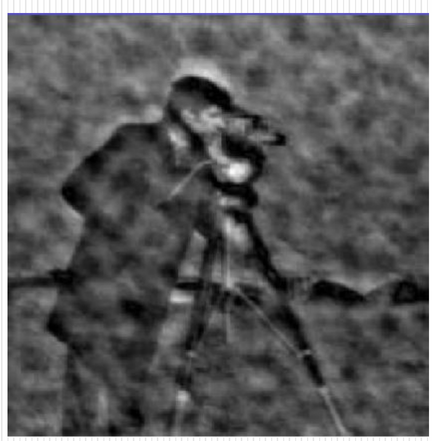


29

Ý nghĩa phổ biên độ và phổ pha (tiếp)

- Ảnh trộn phổ biên độ của ảnh hạt gạo với phổ pha của ảnh người quay phim

$$\mathcal{F}^{-1}(|F(u,v)| * \exp(i\angle G(u,v)))$$

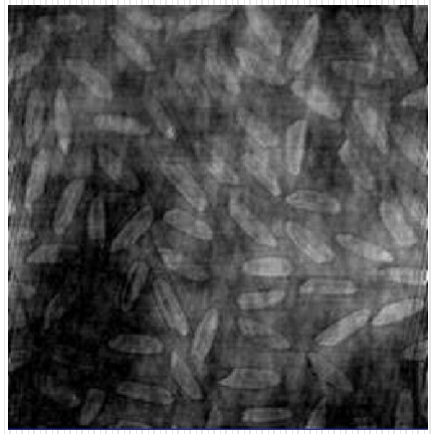


30

Ý nghĩa phổ biên độ và phổ pha (tiếp)

- Ảnh trộn phổ biên độ của ảnh người quay phim với phổ pha của ảnh hạt gạo

$$\mathcal{F}^{-1}(|G(u,v)| * \exp(i\angle F(u,v)))$$



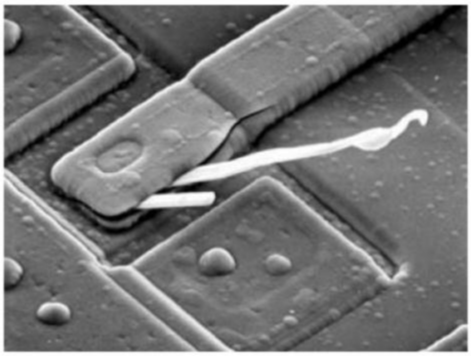
31

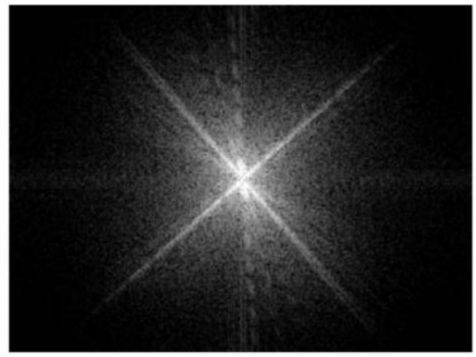
Tương quan giữa miền không gian và miền tần số

- Rất khó để ánh xạ một vùng ảnh trên miền không gian sang miền tần số
- Ánh xạ sự thay đổi mức xám trên miền không gian với các thành phần tần số trên miền tần số
  - Thành phần tần số bằng 0 (F(0, 0)) tương ứng với giá trị trung bình của mức xám trong ảnh
  - Các thành phần tần số thấp: tương ứng với sự thay đổi chậm của các mức xám (những điểm có giá trị mức xám ít thay đổi so với lân cận)
  - Các thành phần tần số cao: tương ứng với sự thay đổi nhanh của các mức xám trong ảnh (những điểm nằm trên biên, cạnh, nhiễu)

32

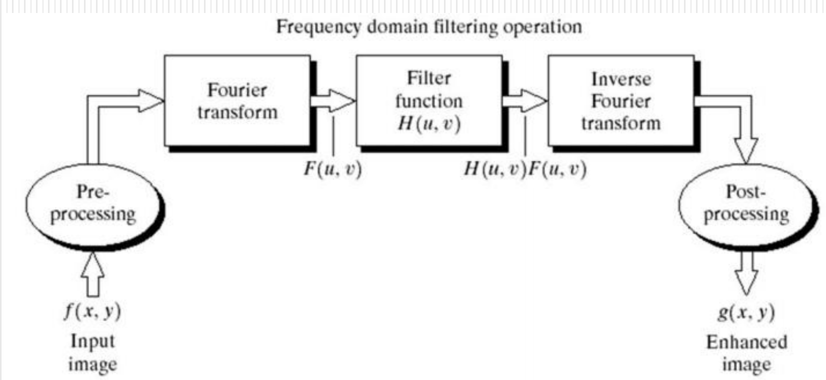
Tương quan giữa miền không gian và miền tần số





33

Phép lọc trên miền tần số



34

Phép lọc trên miền tần số (tiếp)

- Các bước thực hiện lọc trên miền tần số
  - Bước 1. Nhân ảnh đầu vào với $(-1)^{x+y}$ để dịch tâm sau biến đổi Fourier
  - Bước 2. Tính biến đổi Fourier của ảnh đầu vào → F(u, v)
  - Bước 3. Thực hiện phép nhân F(u, v) với bộ lọc H(u, v)
  - Bước 4. Tính Fourier ngược của kết quả thu được sau bước 3
  - Bước 5. Nhân kết quả thu được ở bước 4 với $(-1)^{x+y}$

35

Mối quan hệ giữa lọc trên miền tần số và lọc trên miền không gian

$$f(x,y) * h(x,y) = \frac{1}{MN}\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)h(x-m, y-n)$$

$$\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} s(x,y)A\delta(x-x_0, y-y_0) = As(x_0, y_0)$$

$$\Rightarrow \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} s(x,y)\delta(x,y) = s(0,0)$$

Nếu chọn: $f(x,y) = \delta(x,y)$

$$\Rightarrow f(x,y) * h(x,y) = \frac{1}{MN}\sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} \delta(m,n)h(x-m, y-n) = \frac{1}{MN}h(x,y)$$

$$\Rightarrow F(u,v) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} \delta(x,y)e^{-j2\pi(ux/M+vy/N)} = \frac{1}{MN}$$

$$f(x,y) * h(x,y) \Leftrightarrow F(u,v)H(u,v)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{MN}h(x,y) \Leftrightarrow \frac{1}{MN}H(u,v)$$

$$\boxed{h(x,y) \Leftrightarrow H(u,v)}$$

36

Mối quan hệ giữa lọc trên miền tần số và lọc trên miền không gian

- Nếu 2 bộ lọc h(x, y) và H(u, v) cùng kích thước thì việc tính toán trên miền tần số là nhanh hơn
- Lọc trên miền tần số → trực quan hơn (dễ hình dung cho người dùng hơn)
- Thông thường chúng ta sử dụng bộ lọc có kích thước nhỏ trên miền không gian
  - → Tìm H(u, v) thực hiện Fourier ngược → h(x, y) sau đó áp dụng nhân chập trên miền không gian

37

Phép lọc trên miền tần số

- Các phép lọc làm trơn ảnh, lọc nhiễu
- Các phép lọc tăng cường độ nét và cải thiện biên
- Phép lọc đồng hình

38

Phép lọc làm trơn ảnh

- Bộ lọc thông thấp lý tưởng
- Bộ lọc thông thấp Butterworth
- Bộ lọc thông thấp Gaussian

39

Bộ lọc thông thấp lý tưởng

- Ideal Lowpass filters (ILPF)

$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(u,v) \le D_0 \\ 0 & \text{if } D(u,v) > D_0 \end{cases}$$

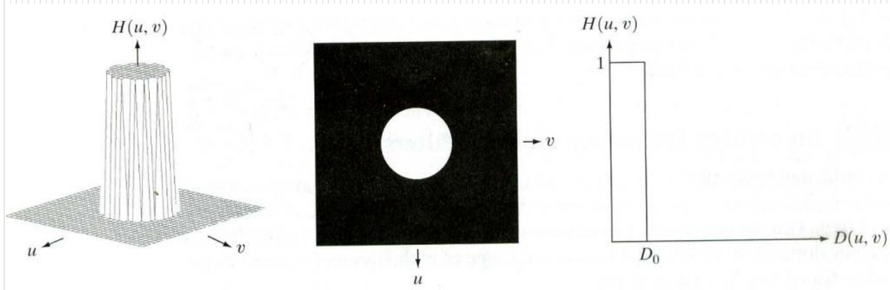
- Cắt bỏ các thành phần tần số cao của biến đổi Fourier mà khoảng cách tới tâm là D(u, v) lớn hơn ngưỡng cắt D_0

$$D(u,v) = \left[(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2\right]^{1/2}.$$

40

Bộ lọc thông thấp lý tưởng (tiếp)

- D_0: tần số cắt, xác định % năng lượng bị loại bỏ



41

Bộ lọc thông thấp lý tưởng (tiếp)

- Xác định tần số cắt D_0
  - Tổng năng lượng toàn ảnh

$$P_T = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} P(u, v)$$

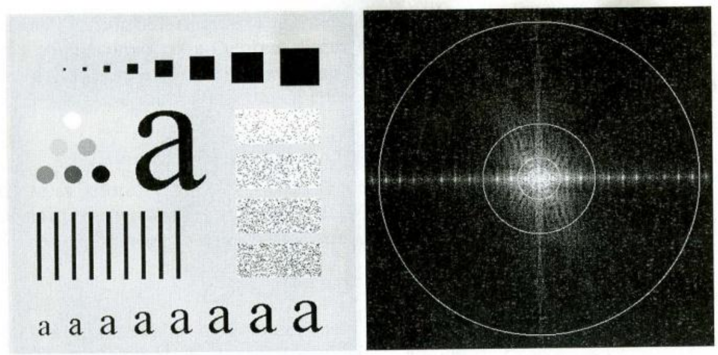
  - Phần trăm năng lượng trong bán kính r

$$\alpha = 100\left[\sum_u \sum_v P(u, v)/P_T \right]$$

  - Chọn giá trị α → r = D_0

42

Bộ lọc thông thấp lý tưởng (tiếp)

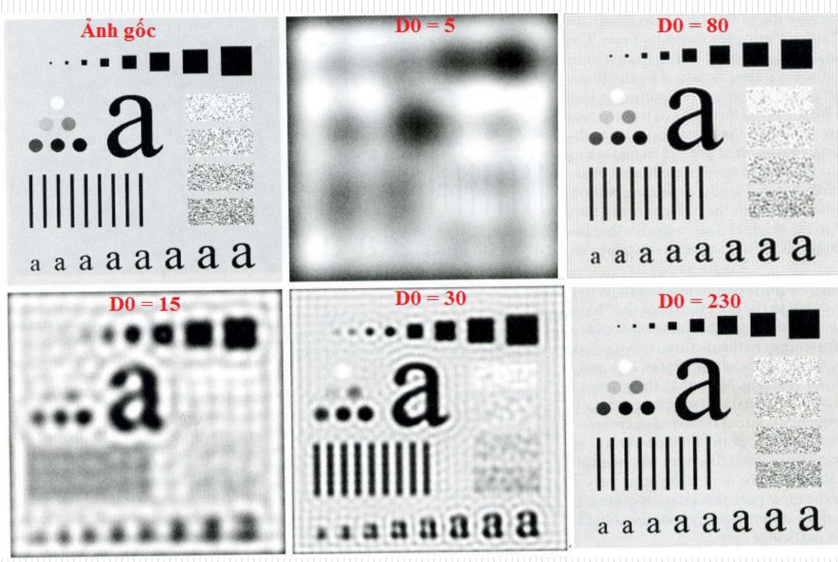


a b

FIGURE 4.11 (a) An image of size 500 × 500 pixels and (b) its Fourier spectrum. The superimposed circles have radii values of 5, 15, 30, 80, and 230, which enclose 92.0, 94.6, 96.4, 98.0, and 99.5% of the image power, respectively.

43

Bộ lọc thông thấp lý tưởng (tiếp)



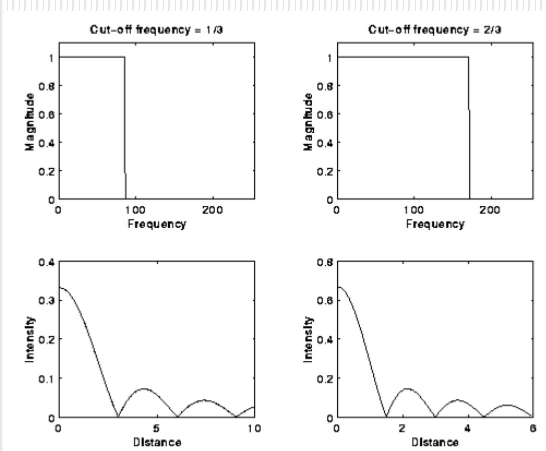
44

Bộ lọc thông thấp lý tưởng (tiếp)

- Do không có tính trơn tại điểm cắt → hiệu ứng run ảnh (hiệu ứng ringing)

45

Hiệu ứng ringing



46

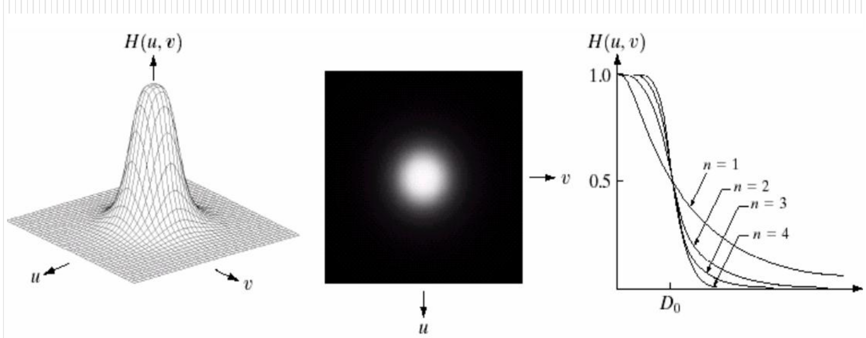
Bộ lọc thông thấp Butterworth

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D(u,v)/D_0]^{2n}}$$

- Loại bỏ các thành phần tần số cắt cao hơn D_0, trong đó D_0 xác định % năng lượng được loại bỏ
- Bậc của n xác định độ nét của bộ lọc, n càng lớn hiệu ứng loại bỏ các tần số cao càng lớn

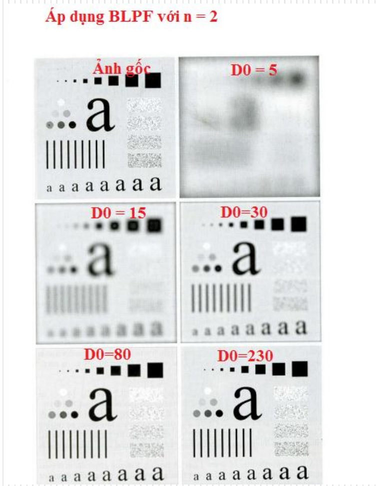
47

Bộ lọc thông thấp Butterworth (tiếp)



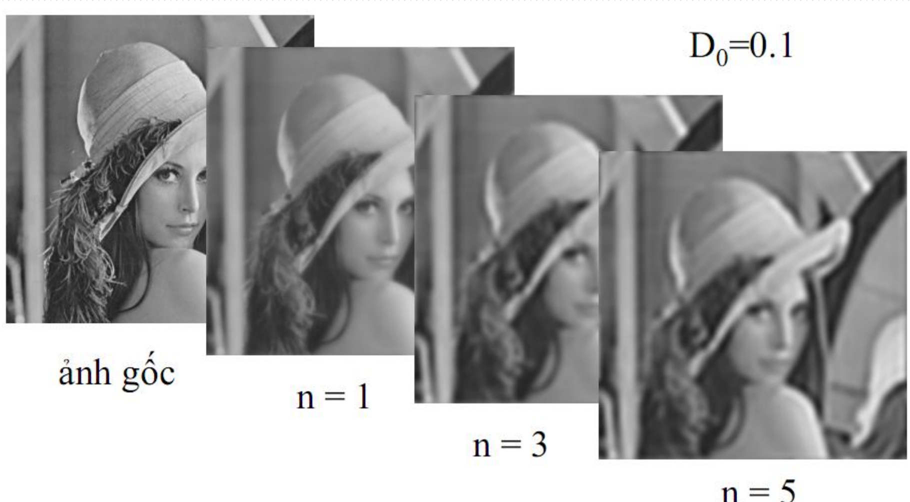
48

Bộ lọc thông thấp Butterworth (tiếp)



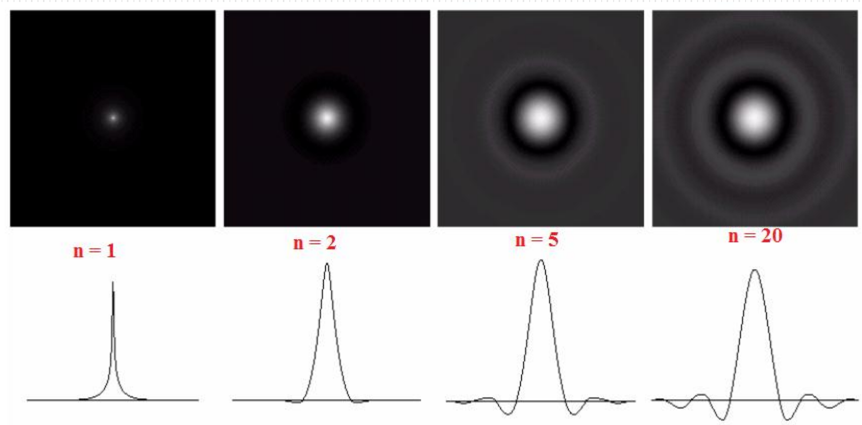
49

Bộ lọc thông thấp Butterworth (tiếp)



50

Hiệu ứng ringing của bộ lọc butterworth



51

Bộ lọc thông thấp Butterworth (tiếp)

- Đặc điểm
  - Do loại bỏ các thành phần tần cao
  - Hàm có tính trơn tại mọi điểm nên làm suy giảm hiện tượng run ảnh
  - Dễ dàng điều khiển với các tham số n và D_0
    - Chú ý: n = 1 không có hiện tượng run ảnh
    - n = 2: bắt đầu có hiện tượng run ảnh
    - n ≈ 20: giống như bộ lọc thông thấp lý tưởng

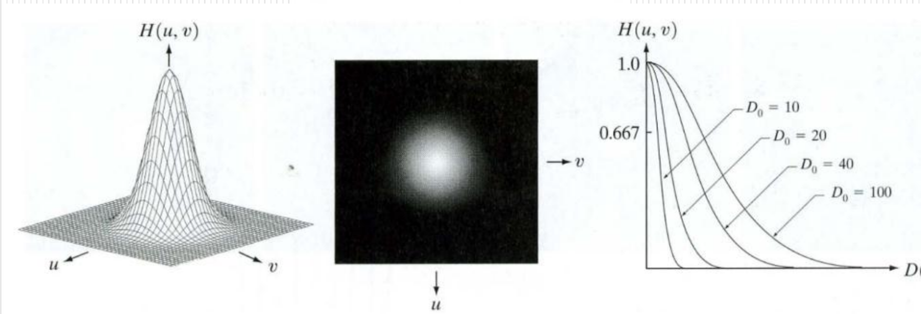
52

Bộ lọc thông thấp Gaussian

$$H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2\sigma^2}$$

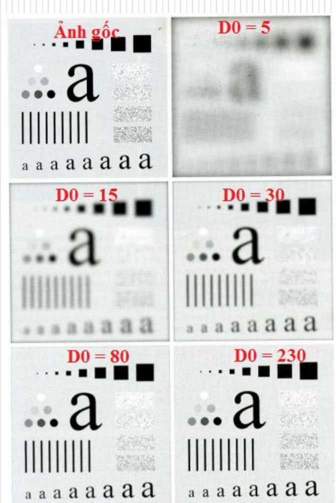
❑Nếu chọn $\sigma = D_0$, với D_0 là tần số cắt

$$H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$$



53

Bộ lọc thông thấp Gaussian (tiếp)



54

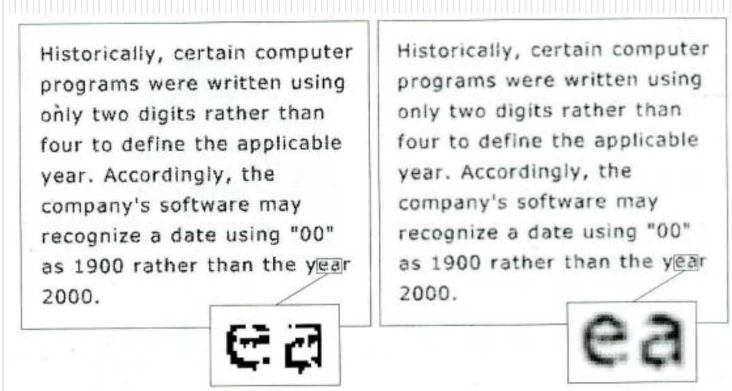
Bộ lọc thông thấp Gaussian (tiếp)

❑Nhận xét

- Bộ lọc thông thấp gaussian không trơn bằng Butterworth với cùng tần số cắt
- Tuy nhiên không có hiện tượng run ảnh
- Biến đổi xuôi ngược Fourier của Gaussian vẫn là hàm Gaussian

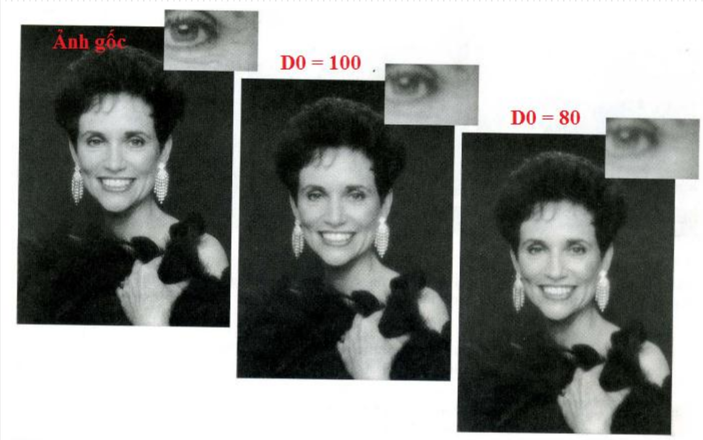
55

Một số ứng dụng của bộ lọc thông thấp



56

Một số ứng dụng của bộ lọc thông thấp



57

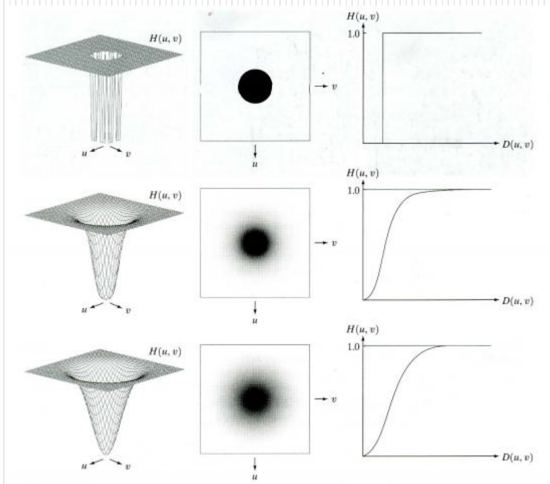
Các phép lọc tăng cường độ nét và cải thiện biên

- Lọc thông cao lý tưởng
- Lọc thông cao butterworth
- Lọc thông cao Gaussian

58

Các bộ lọc thông cao

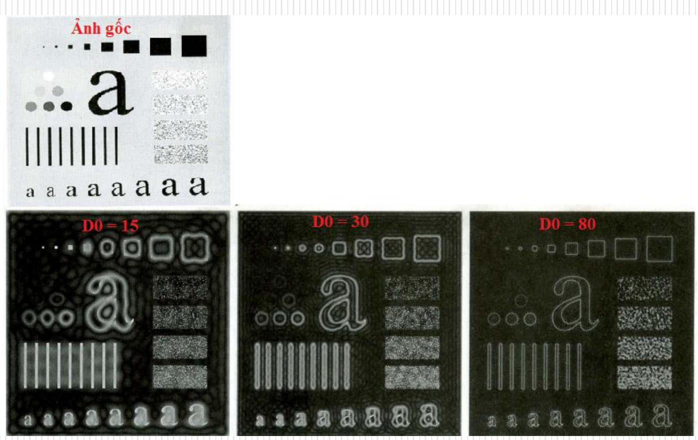
- Ý tưởng: $H_{hp}(u,v) = 1 - H_{lp}(u,v)$



59

Lọc thông cao lý tưởng

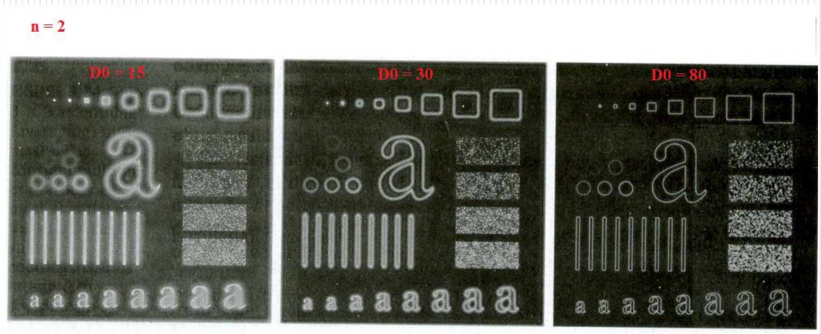
$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \text{if } D(u,v) \le D_0 \\ 1 & \text{if } D(u,v) > D_0 \end{cases}$$



60

Bộ lọc thông cao Butterworth

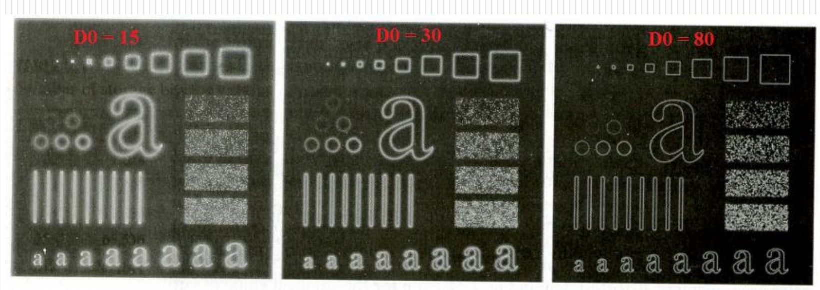
$$H(u,v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u,v)]^{2n}}$$



61

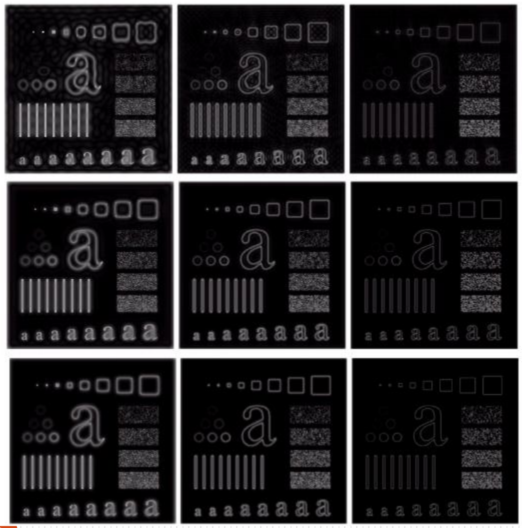
Bộ lọc thông cao Gaussian

$$H(u,v) = 1 - e^{-D^2(u,v)/2D_0^2}$$



62

Lọc thông cao



- Ideal HPF
  - D_o = 15, 30, 80
- Butterworth HPF
  - n = 2,
  - D_o = 15, 30, 80
- Gaussian HPF
  - D_o = 15, 30, 80

63

Lọc thông cao Laplacian

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$$

❑Chú ý: $\Im\left[\frac{d^n f(x)}{dx^n}\right] = (ju)^n F(u)$

❑Suy ra:

$$\Im\left[\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}\right] = (ju)^2 F(u,v) + (jv)^2 F(u,v)$$
$$= -(u^2 + v^2)F(u,v).$$

$$\Im[\nabla^2 f(x,y)] = -(u^2 + v^2)F(u,v),$$

❑ $H(u,v) = -(u^2 + v^2).$

64

Lọc thông cao Laplacian (tiếp)

$$H(u,v) = -\left[(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2\right]$$

- Từ đó suy ra laplacian trên miền không gian có thể tìm bằng cách

$$\nabla^2 f(x,y) = \Im^{-1}\left\{-\left[(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2\right]F(u,v)\right\}$$

65

Lọ ếp)

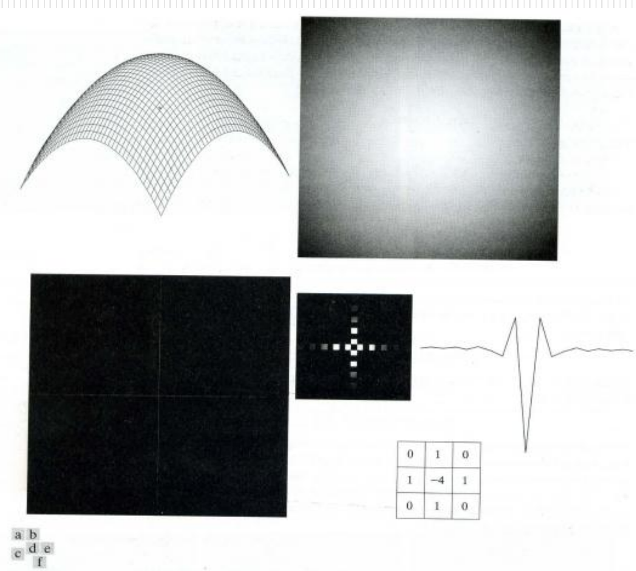


FIGURE 4.27 (a) 3-D plot of Laplacian in the frequency domain. (b) Image representation of (a). (c) Laplacian in the spatial domain obtained from the inverse DFT of (b). (d) Zoomed section of the origin of (c). (e) Gray-level profile through the center of (d). (f) Laplacian mask used in Section 3.7.

66

Lọc đồng hình

❑Một ảnh trên miền không gian f(x, y) có thể biểu diễn:

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y).$$

- Trong đó:
  - i(x, y) biểu diễn độ chiếu sáng (illumination): thể hiện những vùng thay đổi ít trong không gian
  - r(x, y) biểu diễn độ phản xạ (reflectant): thể hiện những vùng thay đổi lớn trong không gian như những vùng thuộc biên của các đối tượng

$$\Im\{f(x, y)\} \neq \Im\{i(x, y)\}\Im\{r(x, y)\}.$$

67

Lọc đồng hình (tiếp)

❑Lấy ln hai vế (lograrit 2 vế)

$$\begin{aligned} z(x, y) &= \ln f(x, y) \\ &= \ln i(x, y) + \ln r(x, y) \end{aligned}$$

❑Do đó:

$$\begin{aligned} \Im\{z(x, y)\} &= \Im\{\ln f(x, y)\} \\ &= \Im\{\ln i(x, y)\} + \Im\{\ln r(x, y)\} \end{aligned}$$

$$Z(u, v) = F_i(u, v) + F_r(u, v)$$

68

Lọc đồng hình (tiếp)

- Biến đổi Z(u, v) trên miền tần số:

$$S(u,v) = H(u,v)Z(u,v) = H(u,v)F_i(u,v) + H(u,v)F_r(u,v)$$

- Chuyển sang miền không gian

$$s(x,y) = \Im^{-1}\{S(u,v)\} = \Im^{-1}\{H(u,v)F_i(u,v)\} + \Im^{-1}\{H(u,v)F_r(u,v)\}$$

$$i'(x,y) = \Im^{-1}\{H(u,v)F_i(u,v)\}$$

$$s(x,y) = i'(x,y) + r'(x,y).$$

$$r'(x,y) = \Im^{-1}\{H(u,v)F_r(u,v)\}$$

69

Lọc đồng hình (tiếp)

$$g(x,y) = e^{s(x,y)} = e^{i'(x,y)} \cdot e^{r'(x,y)} = i_0(x,y)r_0(x,y)$$

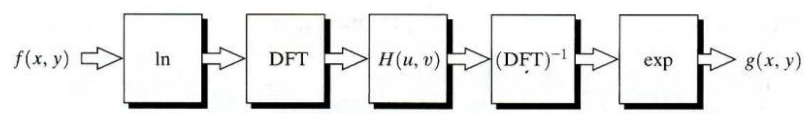
$$i_0(x,y) = e^{i'(x,y)}$$

$$r_0(x,y) = e^{r'(x,y)}$$

70

Lọc đồng hình (tiếp)

- Ý tưởng

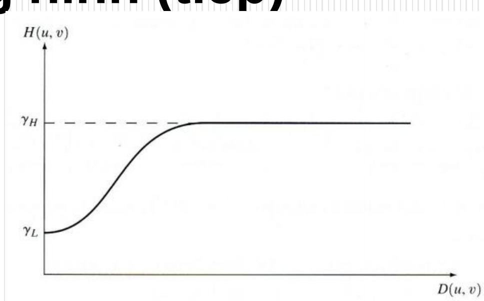


- Chọn H(u, v) sao cho tác động vào các thành phần tần số thấp và cao theo các cách khác nhau

71

Lọc đồng hình (tiếp)

- H(u, v)

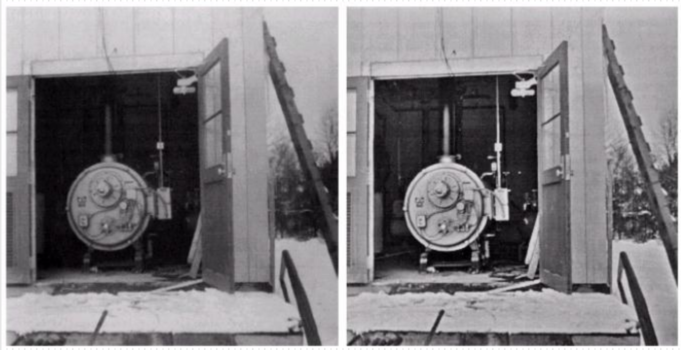


- Chọn $\gamma_L < 1$ và $\gamma_H > 1$
- Hàm có xu hướng làm giảm các thành phần tần thấp và tăng các thành phần tần số cao
- Kết quả là tăng cường chi tiết trong vùng tối và cân bằng độ tương phản trong vùng sáng

72

Lọc đồng hình (tiếp)

- Ví dụ: $\gamma_L = 0.5$; $\gamma_H = 2$



73

Lọc đồng hình (tiếp)

- Ứng dụng trong việc loại bỏ các nhiễu nhân

74