

# Xử lý ảnh

## Chương 3: Xử lý nâng cao chất lượng ảnh số

Biên soạn: Phạm Văn Sự

Bộ môn Xử lý tín hiệu và Truyền thông  
Khoa Kỹ thuật Điện tử I  
Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

ver.19a



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Xử lý nâng cao chất lượng ảnh số

### Tổng quan chung

- Thế nào là tăng cường chất lượng ảnh số?
  - ▶ Là quá trình thao tác trên một ảnh số sao cho ảnh kết quả phù hợp hơn với mục đích/yêu cầu cụ thể so với ảnh gốc.
    - ★ Mục đích/yêu cầu cụ thể: quyết định đầu ra mà các kỹ thuật tăng cường chất lượng ảnh hướng đến
  - ▶ Là quá trình có tính chủ quan
    - ★ Khai thác khía cạnh sinh lý của hệ thống thị giác
- Thế nào là khôi phục ảnh số?
  - ▶ Là quá trình thao tác trên ảnh số làm thay đổi diện mạo của bức ảnh
    - ★ Có phần bao trùm với tăng cường
  - ▶ Là quá trình có tính khách quan
    - ★ Công thức hóa các tiêu chuẩn về chất lượng để đạt được kết quả mong muốn một cách tối ưu
- Mục tiêu:
  - ▶ Làm nổi bật những chi tiết, khía cạnh cần quan tâm trong bức ảnh
  - ▶ Loại bỏ nhiễu
  - ▶ Làm cho bức ảnh trở nên hấp dẫn hơn về mặt trực giác



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Tăng cường chất lượng ảnh

Tổng quan về tăng cường ảnh

- Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian (spatial domain)
  - ▶ Sử dụng các phương pháp xử lý trực tiếp trên các điểm ảnh
  - ▶ Gồm hai nhóm chính: Chuyển đổi mức cường độ sáng (mức xám), Lọc trong miền không gian
- Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền chuyển đổi (transform domain)



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

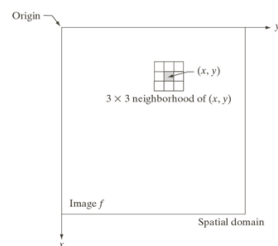
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Cơ sở xử lý ảnh trong miền không gian

- Phép toán xử lý ảnh được biểu diễn:  $g(x, y) = T[f(x, y)]$ 
  - ▶  $f(x, y)$ : ảnh đầu vào
  - ▶  $g(x, y)$ : ảnh đầu ra
  - ▶  $T$ : toán tử tác động lên  $f$ , được xác định trên một vùng lân cận của điểm  $(x, y)$ 
    - ★ Tác động trên một ảnh (ảnh tĩnh) hoặc một dãy các ảnh (video)



- Kích thước vùng lân cận  $(x, y)$  là  $1 \times 1$ :  $T \equiv$  toán tử điểm ảnh hay hàm biến đổi mức xám
  - ▶  $\Rightarrow s = T(r)$  ( $s, r$ : mức xám tương ứng của  $g, f$  tại  $(x, y)$ )



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh

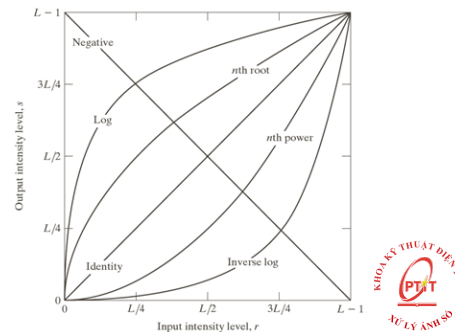
Ảnh xạ (biến đổi) giá trị mức xám  $r$  của điểm ảnh vào thành giá trị mức xám  $s$  của điểm ảnh ra theo luật  $T$ :

$$s = T(r)$$

với  $s, r \in [0, L - 1]$

Ba loại hàm biến đổi mức xám cơ bản thường sử dụng để tăng cường ảnh:

- Tuyến tính (biến đổi âm bản, biến đổi identity)
- Lô-ga-rít (biến đổi lô-ga-rít và lô-ga-rít ngược)
- Luật mũ (biến đổi hàm số mũ, biến đổi căn)



Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

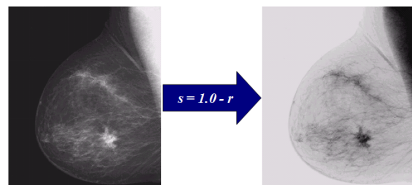
ver.19a 5 / 61

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh: Ảnh âm bản

$$s = \text{intensity}_{\max} - r$$



- Đặc biệt thích hợp với việc tăng cường chi tiết trắng hoặc xám trong một nền chủ yếu tối.



Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

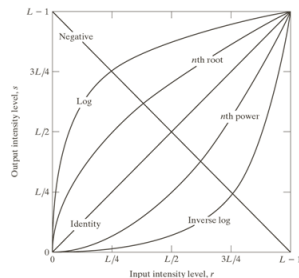
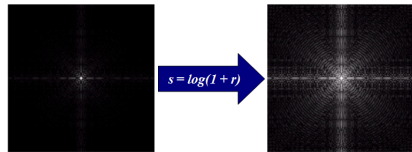
ver.19a 6 / 61

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh: Biến đổi lô-ga-rít

$$s = c \times \log(1 + r) \text{ trong đó } c: \text{hằng số}; r \geq 0$$



- Dải mức xám thấp hẹp  $\rightarrow$  rộng hơn
  - $\triangleright \equiv \uparrow$  độ tương phản ở vùng tối
- Dải mức xám cao rộng  $\rightarrow$  hẹp
  - $\triangleright \equiv \downarrow$  độ tương phản ở vùng sáng
- Biến đổi lô-ga-rít ngược thực hiện điều ngược lại



- **Chú ý:** Mọi hàm có dạng tương tự hàm lô-ga-rít đều có hiệu ứng tương tự

Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 7 / 61

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

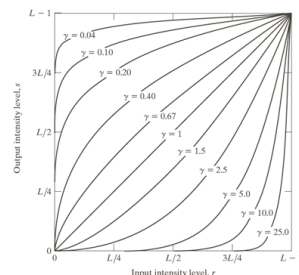
---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh: Biến đổi hàm mũ (Biến đổi Gamma)

$$s = cr^\gamma \text{ hoặc có kể đến độ lệch (offset) } s = c(r + \epsilon)^\gamma$$

- $c, \gamma$ : hằng số dương;  $\epsilon$ : độ lệch (do vấn đề cân chỉnh hiển thị)



- $\gamma < 1$ :
  - $\triangleright$  Tăng dải động cho vùng mức xám thấp, giảm dải động cho vùng xám mức cao
- $\gamma > 1$ 
  - $\triangleright$  Hiệu ứng ngược lại với trường hợp  $\gamma < 1$
- $\gamma$  thay đổi để có các dạng đặc tuyến mong muốn khác nhau
- $c = \gamma = 1$ : Không có sự thay đổi giữa ảnh vào - ra (identity transformation)



Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 8 / 61

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

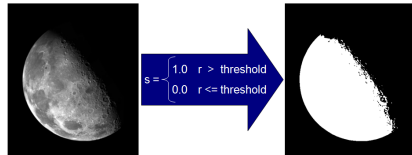
---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh: Phân ngưỡng

$$s = \begin{cases} intensity_{max} & \text{nếu } r \geq T \\ intensity_{min} & \text{nếu } r < T \end{cases} \quad \text{hoặc} \quad s = \{r \geq T ? intensity_{max} : intensity_{min}\}$$

với  $T$  là ngưỡng.



- Nếu  $T = const$ ,  $intensity_{min} = 0$ ,  $intensity_{max} = 1(255)$ : Ảnh thu được là ảnh nhị phân
- Rất hữu ích trong phân vùng ảnh



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh: Tăng giảm độ sáng

$$s = r + c$$

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

$$s = c \times r$$

- Hệ số  $c > 0$
- $c > 1$ : ảnh sáng lên;  $c < 1$ : ảnh tối đi



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

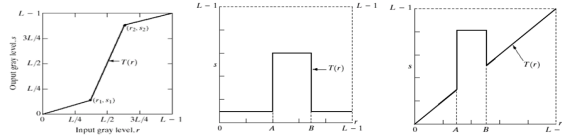
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Toán tử điểm ảnh: Sử dụng hàm biến đổi phân đoạn tuyến tính

- Có thể sử dụng hàm bất kỳ tự định nghĩa làm hàm biến đổi
  - ▶ Có thể sử dụng các hàm toán học khác nhau trên các phân đoạn khác nhau để đạt được mong muốn



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

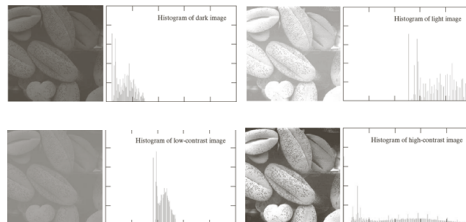
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Lược đồ xám?

- Coi các giá trị mức xám của một bức ảnh là một đại lượng ngẫu nhiên  $r_k$ 
  - ▶  $r_k \in \{0, \dots, L-1\}$ ; với ảnh  $M \times N$ : có  $MN$  giá trị  $r_k$ ; số điểm ảnh có giá trị  $r_k$ :  $n_k$
  - ⇒ Xác suất  $p(r_k)$  của giá trị mức xám  $r_k$ :  $p(r_k) = \frac{n_k}{MN}$
  - ▶  $h(r_k) = n_k$ : lược đồ xám (histogram), hay biểu đồ tần xuất mức xám
  - ▶  $p(r_k) = \frac{n_k}{MN}$ : lược đồ xám chuẩn hóa



- Lược đồ xám mô tả tổng thể phân bố mức xám trong ảnh
  - ▶ Là cơ sở của nhiều kỹ thuật xử lý ảnh trong miền không gian



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

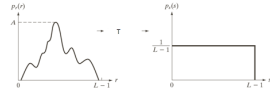
---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Cân bằng lược đồ xám

Mục tiêu là cần tìm hàm biến đổi  $T()$ :  $s = T(r)$  sao cho:

$$p_r(r_k) \xrightarrow{T()} p_s(s_k) \quad \text{phân bố đều (uniform)}$$



$$\hat{s}_k = T(r_k) = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \frac{L-1}{MN} \sum_{j=0}^k n_j$$

$$s_k = \text{round}(\hat{s}_k) \quad \text{với } k = 0, 1, 2, \dots, L-1$$

- Ảnh cân bằng lý tưởng là ảnh có  $p_s(s_k) = p_s(s_m) \forall s_k, s_m \Rightarrow n_k = n_m \forall k \neq m$
- Ảnh sau cân bằng chưa chắc đã là ảnh lý tưởng

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Cân bằng lược đồ xám (2) - Số mức xám ra xác định

**Input:** Ảnh  $I$  ( $M \times N$ ),  $n$ : số mức xám mới của ảnh sau cân bằng (thường bằng số mức xám của ảnh gốc)

**Output:** Ảnh cân bằng  $I'$

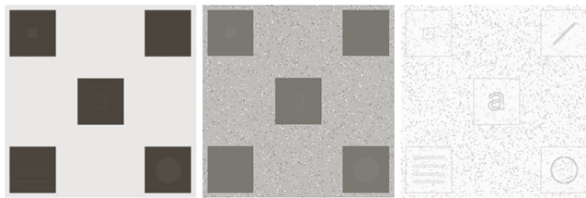
- 1 Tính số điểm ảnh trung bình của mỗi mức xám sau khi cân bằng:  $TB = \frac{MN}{n}$
- 2 Lặp cho đến hết các giá trị mức xám có trong ảnh gốc:
  - 1  $P_k = \sum_{j=0}^k h(r_j)$  (tổng tần xuất các giá trị mức xám  $\leq r_k$ )
  - 2  $s_k = \max\left(0, \text{round}\left(\frac{P_k}{TB}\right) - 1\right)$

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Xử lý lược đồ xám cục bộ

- Xử lý lược đồ xám toàn cục:
  - ▶ Hàm biến đổi  $T()$  dựa trên phân bố mức xám trên toàn bộ ảnh
  - ▶ Các phương pháp đã nghiên cứu trong các phần trước thuộc lớp này
- Xử lý lược đồ xám cục bộ:
  - ▶ Xác định hàm biến đổi  $T()$  dựa trên phân bố mức xám trong một vùng nhỏ lân cận điểm ảnh



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Sử dụng đặc trưng thống kê lược đồ xám tăng cường ảnh

- Đặc trưng thống kê toàn cục:
  - ▶ Giá trị trung bình mức xám (mean, average intensity) của ảnh:  
$$m = \sum_{j=0}^{L-1} r_j p(r_j) \text{ hoặc tính trực tiếp từ ảnh } m = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)$$
  - ▶ Moment bậc  $n$  quanh giá trị trung bình:  $\mu_n(r) = \sum_{j=0}^{L-1} (r_j - m)^n p(r_j)$ 
    - ★ Moment bậc 2 hay phương sai:  $\mu_2(r) = \sigma^2 = \sum_{j=0}^{L-1} (r_j - m)^2 p(r_j)$  hoặc tính trực tiếp từ ảnh  $\sigma^2 = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - m]^2$
- Đặc trưng thống kê cục bộ:
  - ▶ Giá trị trung bình mức xám trong một vùng lân cận  $S_{xy}$  của điểm  $(x, y)$ :  
$$m_{S_{xy}} = \sum_{j=0}^{L-1} r_j p_{S_{xy}}(r_j) \text{ hoặc tính trực tiếp từ vùng ảnh: } m_{S_{xy}} = \frac{1}{|S_{xy}|} \sum_{x \in S_{xy}} \sum_{y \in S_{xy}} f(x, y)$$
    - ★  $p_{S_{xy}}$ : lược đồ xám của vùng  $S_{xy}$
  - ▶ Phương sai mức xám trong vùng lân cận  $S_{xy}$  của điểm  $(x, y)$ :  
$$\sigma_{S_{xy}}^2 = \sum_{j=0}^{L-1} (r_j - m_{S_{xy}})^2 p_{S_{xy}}(r_j) \text{ hoặc tính trực tiếp từ vùng ảnh } \sigma_{S_{xy}}^2 = \frac{1}{|S_{xy}|} \sum_{x \in S_{xy}} \sum_{y \in S_{xy}} [f(x, y) - m]^2$$

- Kỳ vọng (giá trị trung bình): đo lường giá trị trung bình mức xám của ảnh (vùng ảnh)
- Phương sai (độ lệch chuẩn): đo lường độ tương phản của ảnh (vùng ảnh)

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

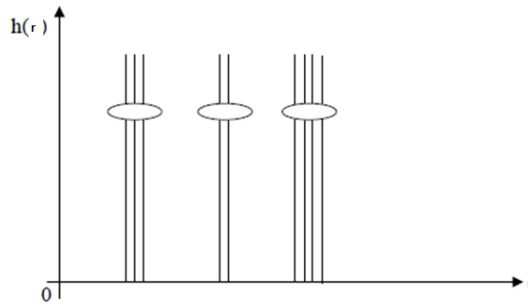
---



## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Xử lý bó cụm

- Thực hiện giảm số mức xám của ảnh : nhóm các mức xám có giá trị gần nhau thành một nhóm (một cụm)
  - Thường có nhiều nhóm, kích thước mỗi nhóm là khác nhau
    - Nếu có 2 nhóm  $\Rightarrow$  Tách ngưỡng
  - Để đơn giản: kích thước các nhóm được lấy bằng nhau  $= Bsize$ 
    - $g(x, y) = \lfloor \frac{f(x, y)}{Bsize} \rfloor \times Bsize$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Biến đổi mức xám tổng thể

- Cho: ảnh  $I$ , hàm biến đổi  $T()$   $\Rightarrow$  ảnh  $I'$   $\Rightarrow$  lược đồ xám của ảnh biến đổi
- Thực tế, cho: lược đồ xám của ảnh  $I$  và hàm biến đổi  $T()$   $\Rightarrow$  ?? lược đồ xám của ảnh biến đổi

**Input:** Lược đồ xám của ảnh  $I$ :  $h(r)$ ; Hàm biến đổi  $T()$

**Output:** Lược đồ xám ảnh kết quả  $I'$

- Các mức xám của ảnh kết quả  $I'$ :  $s_j = T(r_j)$
- Lược đồ xám của ảnh kết quả:  $h(s_j) = \sum_{r_j \in T^{-1}(s_j)} h(r_j)$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Xử lý lược đồ xám: Áp dụng tìm tách ngưỡng tự động

- Xử lý lược đồ xám có thể cho phép áp dụng vào tìm tách ngưỡng tự động
  - ▶ Theo nguyên lý trong vật lý: Một vật thể có thể tách làm 2 phần nếu tổng độ lệch trong từng phần là tối thiểu
- Còn gọi là thuật toán Otsu

**Input:** Ảnh  $I$  kích thước  $M \times N$ ; số mức xám (kể cả mức khuyết thiếu):  $L$ ;  $P_j$ : số điểm ảnh có giá trị mức xám  $\leq r_j$

**Output:** Mức ngưỡng của ảnh

- 1 Tính moment trung bình các mức xám có giá trị  $\leq r_j$ :  $m_j = \frac{1}{P_j} \sum_{k=0}^j r_k h(r_k)$
- 2 Tính giá trị hàm  $f: r_j \mapsto f(r_j)$ :  $f(r_j) = \frac{P_j}{MN - P_j} [m_j - m_{L-1}]^2$
- 3 Ngưỡng  $\theta$  được xác định sao cho  $f(\theta) = \max_{0 \leq r_j < L-1} \{f(r_j)\}$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

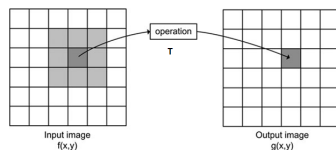
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Toán tử vùng lân cận

- Phép toán xử lý ảnh được biểu diễn:  $g(x, y) = T[f(x, y)]$ 
  - ▶  $f(x, y)$ : ảnh đầu vào
  - ▶  $g(x, y)$ : ảnh đầu ra
  - ▶  $T$ : toán tử tác động lên  $f$ , được xác định trên một vùng lân cận của điểm  $(x, y)$ 
    - ★ Tác động trên một vùng các điểm ảnh xung quanh điểm  $(x, y)$
- $\Rightarrow$  giá trị mức xám tại  $(x, y)$  của ảnh đầu ra phụ thuộc vào toán tử  $T()$  và vùng lân cận bao gồm cả điểm  $(x, y)$  của ảnh gốc



- Vùng lân cận thường là vùng hình chữ nhật xung quanh tâm là điểm  $(x, y)$ 
  - ▶ Kích thước vùng có thể bất kỳ,  $\ll$  kích thước ảnh
- Hoặc có thể có bất kỳ hình dạng nào đó

- Toán tử vùng lân cận (còn gọi là toán tử không gian) ứng dụng:

- ▶ Biến đổi kích thước ảnh, Nắn không gian ảnh, Các phép lọc tăng cường ảnh

...



Notes

---

---

---

---

---

---

---

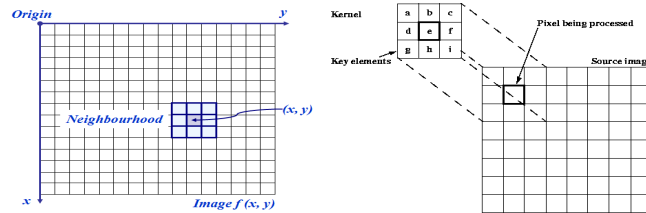
---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Toán tử vùng lân cận - Cửa sổ di chuyển



- Vùng lân cận có tâm  $(x, y)$  xác định một "cửa sổ" trong miền không gian
- Quá trình thực hiện: các điểm tâm  $(x, y)$  di chuyển khắp các điểm ảnh gốc; toán tử  $T()$  tác động trên các điểm ảnh trong vùng xác định bởi "cửa sổ" để tạo điểm ảnh đầu ra.
  - ▶  $\equiv$  "Cửa sổ" di chuyển khắp ảnh  $\Rightarrow$  Phép cửa sổ di chuyển, phép biến đổi cuộn



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

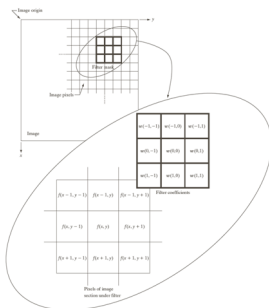
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Cửa sổ của phép lọc trong miền không gian

- Toán tử vùng lân cận (còn gọi là toán tử không gian) tương tự như toán tử lọc
  - ▶ Nếu  $T()$  là một hàm tuyến tính  $\Rightarrow$  phép lọc không gian tuyến tính; ngược lại  $\Rightarrow$  phép lọc không gian phi tuyến
  - ▶ "Cửa sổ" với các hệ số xác định: bộ lọc không gian, mặt nạ, nhân, mẫu



- Tại mỗi điểm  $(x, y)$ :
$$g(x, y) = w(-1, -1)f(x - 1, y - 1) + w(-1, 0)f(x - 1, y) + \dots + w(0, 0)f(x, y) + \dots + w(1, 1)f(x + 1, y + 1)$$
  - ▶ Hệ số tâm bộ lọc  $w(0, 0)$  được xếp trùng khít điểm  $(x, y)$
- $\Rightarrow g(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j)f(x + i, y + j)$ 
  - ▶ Kích thước cửa sổ  $m = 2a + 1$  và  $n = 2b + 1$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Phép nhân tương quan, nhân chập trong không gian

- Phép nhân tương quan: Thực hiện dịch "cửa sổ" trên khắp ảnh, kết quả tại mỗi bước là tổng của các tích các giá trị các điểm tương ứng bao trùm nhau
  - ▶  $w(x, y) \star f(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j) f(x + i, y + j)$
- Phép nhân chập: Cơ chế tương tự phép tương quan, tuy nhiên trước khi thực hiện phép nhân chập, "bộ lọc" phải được lật (quay)  $180^\circ$ 
  - ▶  $w(x, y) * f(x, y) = \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j) f(x - i, y - j)$ 
    - ★ Dấu "-":  $f(x, y)$  được quay (lật)  $180^\circ$
- Nếu "bộ lọc" đối xứng  $\Rightarrow$  kết quả phép nhân tương quan  $\equiv$  phép nhân chập
- Mặc định các phép lọc ảnh trong không gian sử dụng công thức nhân tương quan
- Biểu diễn véc-tơ của phép lọc không gian:
  - ▶  $R = w_1 z_{j1} + w_2 z_{j2} + \dots + w_{mn} z_{jmn} = \sum_{k=1}^{mn} w_k z_{jk} = \mathbf{w}^T \mathbf{z}_j$ 
    - ★  $w_k$  ( $k = 1, 2, \dots, mn$ ): các hệ số của bộ lọc không gian;  $z_{jk}$ : các giá trị mức xám các điểm ảnh nằm trong vùng tác động bởi bộ lọc



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

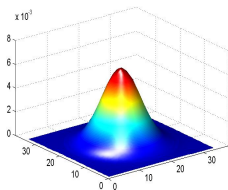
---

---

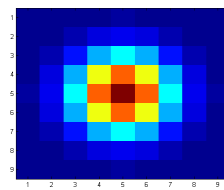
## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Xây dựng bộ lọc không gian

- Xây dựng bộ lọc không gian tuyến tính kích thước  $m \times n$ :
  - ▶  $\Rightarrow$  Xác định cụ thể  $m \times n$  hệ số của bộ lọc
    - ★ Các hệ số bộ lọc được lựa chọn dựa trên công việc (ứng dụng, tác vụ) cụ thể mà bộ lọc cần hướng đến để giải quyết
    - ★ Ví dụ: Rời rạc hóa từ bộ lọc tương tự có cùng mục đích mong muốn



(a) 2D Gaussian Filter



(b) Rời rạc hóa

$\frac{1}{273}$

1	4	7	4	1
4	16	26	16	4
7	26	41	26	7
4	16	26	16	4
1	4	7	4	1

(c) 5x5 GF



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

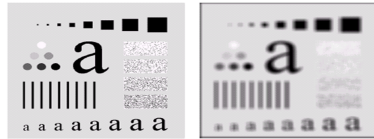
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Bộ lọc tuyến tính làm trơn ảnh - Bộ lọc trung bình

- Giá trị mức xám điểm ảnh ra là trung bình giá trị mức xám của một vùng lân cận ảnh trong vùng "cửa sổ" lọc
  - ▶  $\equiv$  Bộ lọc trung bình,  $\equiv$  Bộ lọc thông thấp
- Tác dụng:
  - ▶ Độ sắc nét vùng chuyển giữa các mức xám bị giảm (bị làm mờ đi)
    - ★ Giảm nhiều
  - ▶ **Làm mờ các biên ảnh**



(a) Ảnh gốc (b) Lọc TB 15x15

- Ứng dụng chủ yếu trong việc loại bỏ các chi tiết không thích hợp trong ảnh
  - ▶ Loại bỏ (làm mờ) các chi tiết (vùng ảnh) có kích thước nhỏ hơn kích thước cửa sổ lọc
- Tương tự phép tích phân không gian

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Bộ lọc tuyến tính làm trơn ảnh - Bộ lọc trung bình - "Hệ số bộ lọc"

- Sử dụng giá trị trung bình thông thường

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- Các hệ số khác nhau có trọng số
  - ▶ Bộ lọc làm trơn ảnh hiệu quả hơn
  - ▶  $\Rightarrow$  Bộ lọc trung bình có trọng số

Ảnh  $I (M \times N)$  được lọc với bộ lọc trung bình có trọng số  $\mathbf{w} (m \times n)$  ( $m, n$  lẻ):

$$g(x, y) = \frac{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j) f(x + i, y + j)}{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j)}$$

với  $x = 0, 2, \dots, M-1, y = 0, 2, \dots, N-1, m = 2a+1, n = 2b+1$

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Kỹ thuật lọc trung bình (với ngưỡng  $\theta$ )

**Input:** Ảnh  $I$  kích thước  $M \times N$ , cửa sổ lọc  $\mathbf{w}$  kích thước  $m \times n$  ( $m = 2a + 1$ ,  $n = 2b + 1$ : lẻ), ngưỡng  $\theta$

**Output:** Ảnh kết quả  $I'$

- Với mỗi điểm ảnh  $(x, y) \in I$  có giá trị mức xám  $f(x, y)$ , giá trị trung bình với cửa sổ  $\mathbf{w}$ :  
$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j) f(x+i, y+j)}{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b w(i, j)}$$
- Điểm tương ứng  $\in I'$  có giá trị mức xám  $g(x, y)$ :  
Nếu  $|f(x, y) - \hat{f}(x, y)| \leq \theta \Rightarrow g(x, y) = f(x, y)$ ; ngược lại  $g(x, y) = \hat{f}(x, y)$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Kỹ thuật lọc trung bình theo  $k$  giá trị gần nhất (với ngưỡng  $\theta$ )

**Input:** Ảnh  $I(M \times N)$ , cửa sổ lọc  $\mathbf{w}(m \times n)$  ( $m = 2a + 1$ ,  $n = 2b + 1$ : lẻ), ngưỡng  $\theta$ , số giá trị  $k$

**Output:** Ảnh kết quả  $I'$

- Với mỗi điểm ảnh  $(x, y) \in I$  có giá trị mức xám  $f(x, y)$ , điểm tương ứng  $\in I'$  có giá trị mức xám  $g(x, y)$ :  
Xác định  $k$  giá trị mức xám gần  $f(x, y)$  nhất:  $S_{xy}$   
$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{i \in S_{xy}} \sum_{j \in S_{xy}} w(i, j) f(x+i, y+j)}{\sum_{i \in S_{xy}} \sum_{j \in S_{xy}} w(i, j)}$$
- Nếu  $|f(x, y) - \hat{f}(x, y)| \leq \theta \Rightarrow g(x, y) = f(x, y)$ ; ngược lại  $g(x, y) = \hat{f}(x, y)$

- $k > |\mathbf{w}| \Rightarrow$  Kỹ thuật lọc trung bình (với ngưỡng  $\theta$ )
- $k = 1 \Rightarrow$  Ảnh ra không thay đổi so với ảnh gốc
- $\Rightarrow$  Chất lượng ảnh lọc phụ thuộc vào giá trị của  $k$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Bộ lọc bậc thống kê

- Bộ lọc bậc thống kê (Order-statistic filter)  $\equiv$  bộ lọc không tuyến tính
  - ▶ Đáp ứng phụ thuộc vào bậc (thứ hạng) của các điểm ảnh nằm trong vùng bao trùm bởi bộ lọc
  - ▶ Các bộ lọc trung vị, max, min, ...
- Bộ lọc trung vị (median filter) là một bộ lọc điển hình thuộc lớp bộ lọc này
  - ▶ Là bộ lọc phổ biến
  - ▶ Trong một số trường hợp, bộ lọc trung vị cho kết quả tốt hơn bộ lọc trung bình:
    - ★ Khả năng giảm nhiễu tốt với một số loại nhiễu nhất định (nhiễu xung - impulse noise còn gọi là nhiễu muối-tiêu - salt-and-pepper noise)
    - ★ Việc làm mờ ảnh ít hơn so với sử dụng mạch lọc tuyến tính làm trơn ảnh



Notes

---

---

---

---

---

---

---

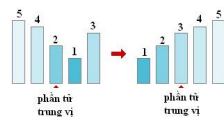
---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Bộ lọc bậc thống kê - Bộ lọc trung vị

Giá trị trung vị  $\xi$  của một tập các giá trị là giá trị mà một nửa các giá trị trong tập nhỏ hơn hoặc bằng  $\xi$  và một nửa các giá trị trong tập lớn hơn hoặc bằng  $\xi$ .

- Tập giá trị  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  đơn điệu tăng (hoặc giảm).
  - ▶  $\xi = x_{(n+1)/2}$  nếu  $n$  lẻ;  $\xi = x_{n/2}$  hoặc  $x_{n/2+1}$  nếu  $n$  chẵn



**Input:** Ảnh  $I$  ( $M \times N$ ); bộ lọc  $w$  ( $m \times n$ ) ( $m = 2a + 1$ ,  $n = 2b + 1$ : lẻ)

**Output:** Ảnh kết quả  $I'$

- Với mỗi điểm ảnh  $(x, y) \in I$  có mức xám  $f(x, y)$ :
  - ▶  $g(x, y)$  = giá trị trung vị của các điểm ảnh lân cận  $(x, y)$  (kể cả điểm  $(x, y)$ ) bị bao trùm bởi bộ lọc

- Các điểm có giá trị mức xám rất khác biệt sẽ bị kéo về các giá trị gần giống

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Bộ lọc bậc thống kê - Bộ lọc trung vị (với ngưỡng  $\theta$ )

**Input:** Ảnh  $I(M \times N)$ ; bộ lọc  $w(m \times n)$  ( $m = 2a + 1$ ,  $n = 2b + 1$ : lẻ), ngưỡng  $\theta$

**Output:** Ảnh kết quả  $I'$

- Với mỗi điểm ảnh  $(x, y) \in I$  có mức xám  $f(x, y)$ :
  - ▶  $\xi$  = giá trị trung vị của các điểm ảnh lân cận  $(x, y)$  (kể cả điểm  $(x, y)$ ) bị bao trùm bởi bộ lọc
  - ▶ Nếu  $|f(x, y) - \xi| \leq \theta$  thì  $g(x, y) = f(x, y)$ ; ngược lại  $g(x, y) = \xi$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Bộ lọc bậc thống kê - Bộ lọc max, min

- Bộ lọc trung vị lấy giá trị trung vị ứng với biểu diễn 50% của một tập có thứ hạng các số
- $\Rightarrow$  Nếu giá trị ứng với biểu diễn 100% của tập có thứ hạng các số  $\Rightarrow$  Bộ lọc max
  - ▶ Đáp ứng:  $R = \max\{z_j k | k = 1, 2, \dots, mn\}$
  - ▶ Điểm ảnh ra:  $g(x, y) = \max_{(i,j) \in S_{xy}} f(i, j)$  (với  $S_{xy}$  là vùng ảnh bao trùm bởi bộ lọc)
- $\Rightarrow$  Nếu giá trị ứng với biểu diễn 0% của tập có thứ hạng các số  $\Rightarrow$  Bộ lọc min
  - ▶ Đáp ứng:  $R = \min\{z_j k | k = 1, 2, \dots, mn\}$
  - ▶ Điểm ảnh ra:  $g(x, y) = \min_{(i,j) \in S_{xy}} f(i, j)$  (với  $S_{xy}$  là vùng ảnh bao trùm bởi bộ lọc)



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh

- Mục tiêu chính của việc tăng tính sắc nét của ảnh là làm nổi bật những chuyển đổi trong mức xám
  - Loại bỏ phần mờ trong ảnh
  - Làm nổi các biên (cạnh) trong ảnh
  - Tăng cường độ tương phản cục bộ
- Ứng dụng rộng rãi: in ấn điện tử, xử lý ảnh y tế, kiểm tra công nghiệp, tự động dẫn đường trong các hệ thống quân sự
- Dựa trên phép đạo hàm không gian
- Tương tự bộ lọc thông cao (highpass filter)



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

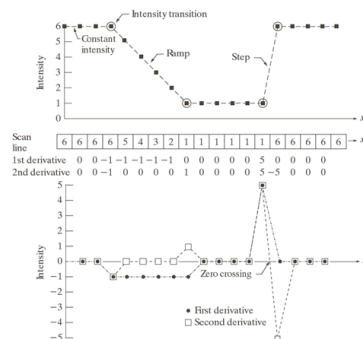
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Cơ sở

- Đạo hàm của một hàm cho biết tốc độ thay đổi của hàm đó
- Các đạo hàm của hàm dữ liệu số (hàm rời rạc) được định nghĩa theo vi sai
- Đạo hàm bậc một:  $\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$
- Đạo hàm bậc hai:  $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Bộ lọc đẳng hướng Laplace

- Toán tử Laplace với hàm ảnh  $f(x, y)$ :  $\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2}$ 
  - ▶ Đẳng hướng (isotropic operator)
  - ▶ Tuyến tính
- Theo trục x:  $\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$
- Theo trục y:  $\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$
- $\Rightarrow \nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

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

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

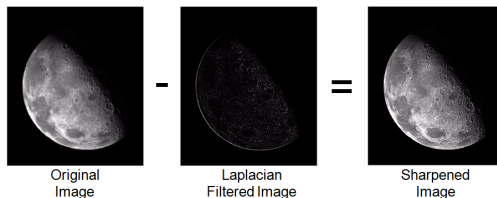
---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Bộ lọc đẳng hướng Laplace - Tăng cường ảnh

- Khôi phục các đặc trưng ảnh nền trong khi vẫn giữ hiệu ứng sắc nét của ảnh thu được bởi bộ lọc Laplace:
  - ▶  $g(x, y) = f(x, y) + c\nabla^2 f(x, y)$ 
    - ★  $c = -1$  nếu sử dụng định nghĩa đạo hàm dương ( $f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$ );  $c = 1$  nếu định nghĩa đạo hàm ngược lại



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

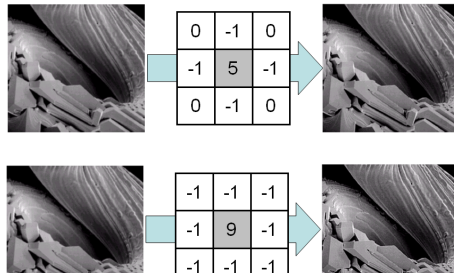
Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Bộ lọc đẳng hướng Laplace - Tăng cường ảnh - Hệ số bộ lọc

- Tổng hợp lại toàn bộ quá trình lọc tăng cường ảnh bằng bộ lọc Laplace:

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

$$\Rightarrow g(x, y) = 5f(x, y) - f(x+1, y) - f(x-1, y) - f(x, y+1) - f(x, y-1)$$

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



Biên soạn: Phạm Văn Sư (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 37 / 61

Notes

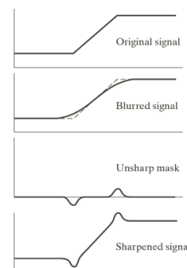
## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Tạo mặt nạ mờ và lọc tăng cường

- Một quá trình đã được sử dụng rất lâu trong ngành công nghiệp in và xuất bản nhằm tăng tính sắc nét của hình ảnh:
  - Lấy ảnh gốc trừ đi một phiên bản mờ (làm trơn) của chính ảnh đó
  - $\triangleq$  Tạo mặt nạ mờ (unsharp masking)

- Quá trình tạo mặt nạ mờ:

- Làm mờ ảnh gốc
- Lấy ảnh gốc trừ đi phiên bản ảnh đã làm mờ: Kết quả là sự khác biệt được gọi là mặt nạ (mask)
- Cộng mặt nạ vào ảnh gốc



- Gọi  $\tilde{f}(x, y)$  là phiên bản ảnh được làm mờ (làm trơn)
  - Mặt nạ:  $g_{mask}(x, y) = f(x, y) - \tilde{f}(x, y)$
- Ảnh cuối:  $g(x, y) = f(x, y) + k \times g_{mask}(x, y)$ 
  - $k$ : trọng số (thường  $> 0$ );  $k = 1$ : quá trình tạo mặt nạ mờ;  $k > 1$ : quá trình lọc tăng cường (highboost filtering)



Biên soạn: Phạm Văn Sư (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 38 / 61

Notes

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Bộ lọc Gradient

- Gradient của một hàm  $f(x, y)$  tại điểm  $(x, y)$ :

$$\nabla f(x, y) \equiv \text{grad}(f) \equiv \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

- Véc-tơ Gradient hướng theo chiều có sự biến thiên lớn nhất của hàm  $f(x, y)$  tại điểm  $(x, y)$
- Độ lớn (còn gọi là độ dài) của véc-tơ Gradient  $\nabla f$  tại  $(x, y)$ :
$$M(x, y) = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$
  - Là giá trị độ lớn của tốc độ biến đổi theo hướng véc-tơ Gradient tại điểm  $(x, y)$
  - Có cùng kích thước với ảnh gốc  $\Rightarrow$  Ảnh Gradient (hoặc Gradient)
  - Đơn giản hóa tính toán:  $M(x, y) \approx |G_x| + |G_y|$
- Góc pha của véc-tơ Gradient  $\nabla f$  tại  $(x, y)$ :  $\Phi(x, y) = \arg(\nabla f) = \text{atan}\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các bộ lọc tăng tính sắc nét của ảnh - Bộ lọc Gradient - Xây dựng bộ lọc

$\equiv$

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

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

- Xấp xỉ  $G_x$  và  $G_y$  cho vùng  $3 \times 3$  lân cận xung quanh  $z_5$  (tức  $(x, y)$ ):

- $G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$
- $G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$

$G_x =$

$G_y =$

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

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

- $\triangleq$  Toán tử Sobel (Sobel operator)

$$G_x = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} * f$$

$$G_y = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * f$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Các kỹ thuật tăng cường ảnh trong miền không gian

Lọc trong miền không gian: Các phương pháp tăng cường sử dụng kết hợp các kỹ thuật

- Việc tăng cường tốt ảnh không thể chỉ bằng cách sử dụng một kỹ thuật đơn lẻ
- Thường với một tác vụ, cần phải kết hợp nhiều phương pháp khác nhau nhằm hỗ trợ cho nhau để đạt được một kết quả mong muốn



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Cơ sở xử lý trong miền tần số: 2-D DFT

Ảnh số  $f(x, y)$  ( $M \times N$ ) có biến đổi Fourier rời rạc (DFT):

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

với  $u = 0, 1, \dots, M-1$  và  $v = 0, 1, \dots, N-1$

Hàm chuyển đổi  $F(u, v)$  của một ảnh số  $f(x, y)$  ( $M \times N$ ),  $f(x, y)$  có thể khôi phục được bằng cách sử dụng biến đổi Fourier rời rạc ngược (IDFT):

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

với  $x = 0, 1, \dots, M-1$  và  $y = 0, 1, \dots, N-1$

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Cơ sở xử lý trong miền tần số: Tích chập 2-D

### Tích chập vòng 2-D

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

với  $x = 0, 1, \dots, M - 1$  và  $y = 0, 1, \dots, N - 1$

- $f(x, y) * h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v)H(u, v)$ 
  - ▶ Nếu thực hiện tích chập ảnh bằng phép nhân trong miền tần số: phải chú ý đến tính tuần hoàn của các IDFT
  - ▶ Cần thực hiện thêm 0 (zero padding) để tránh kết quả sai
    - ★ Với  $f(x, y)$  ( $A \times B$ ) và  $h(x, y)$  ( $C \times D$ )

$$f_p(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & 0 \leq x \leq A - 1 \text{ và } 0 \leq y \leq B - 1 \\ 0 & A \leq x \leq P \text{ hoặc } B \leq y \leq Q \end{cases} \quad h_p(x, y) = \begin{cases} h(x, y) & 0 \leq x \leq C - 1 \text{ và } 0 \leq y \leq D - 1 \\ 0 & C \leq x \leq P \text{ hoặc } D \leq y \leq Q \end{cases}$$

- ★  $P \geq A + C - 1, Q \geq B + D - 1$
- ★ Nếu cả hai ảnh vào cùng kích thước  $M \times N \Rightarrow P \geq 2M - 1, Q \geq 2N - 1$
- ★ Các ảnh sau khi thêm 0 có cùng kích thước  $P \times Q$
- ★  $P, Q$  thường là số chẵn nhỏ nhất thỏa mãn điều kiện trên.

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



Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

Xử lý ảnh

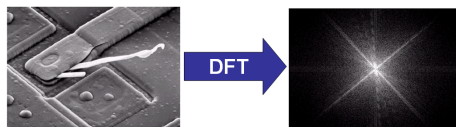
ver.19a 43 / 61

Notes

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Cơ sở xử lý trong miền tần số: Đặc trưng của ảnh trong miền tần số

- Phổ biên độ của ảnh:
  - ▶ Thành phần tại gốc ( $u = v = 0$ ): thành phần một chiều,  $\propto$  giá trị trung bình các mức xám của ảnh
  - ▶ Vùng gần xung quanh gốc: vùng tần số thấp  $\Leftrightarrow$  những thành phần mức xám thay đổi nhỏ
  - ▶ Vùng xa hơn quanh gốc: vùng tần số thấp  $\Leftrightarrow$  những thành phần mức xám thay đổi nhanh hơn (biên ảnh, những thành phần có mức xám thay đổi đột ngột)



- Những tương ứng có thể cho phép các phép xử lý mong muốn dễ dàng hơn



Biên soạn: Phạm Văn Sự (PTIT)

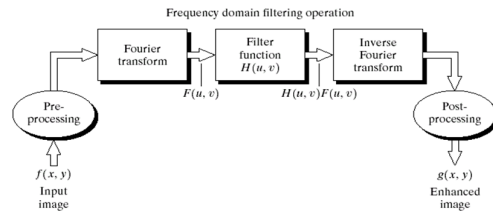
Xử lý ảnh

ver.19a 44 / 61

Notes

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Cơ sở xử lý trong miền tần số: Xử lý ảnh trong miền tần số



- Tính DFT của ảnh:  $F(u, v) = FT\{f(x, y)\}$
- Nhân  $F(u, v)$  với hàm lọc mong muốn  $H(u, v)$ :  $G(u, v) = F(u, v)H(u, v)$ 
  - ▶  $H(u, v)$ : hàm lọc, bộ lọc, hàm truyền đạt bộ lọc
  - ▶ **Phép nhân là nhân mảng (. \* trong Matlab)**
- Tính IDFT của kết quả lọc:  $g(x, y) = IFT\{G(u, v)\}$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Cơ sở xử lý trong miền tần số: Xử lý ảnh trong miền tần số - Tóm tắt các bước

**Input:** Ảnh  $f(x, y)$  ( $M \times N$ ), đặc tính bộ lọc mong muốn

**Output:** Ảnh mong muốn  $g(x, y)$

- 1 Mở rộng ảnh bằng cách thêm 0  $\rightarrow$  ảnh có kích thước  $P = 2M$ ,  $Q = 2N \Rightarrow f_p(x, y)$
- 2 Dịch gốc tọa độ ảnh:  $\hat{f}(x, y) = (-1)^{(x+y)} f_p(x, y)$
- 3 Tính  $F(u, v) = FT\{\hat{f}(x, y)\}$
- 4 Xây dựng hàm lọc thực, đối xứng  $H(u, v)$  ( $P \times Q$ ) có tâm ( $P/2, Q/2$ )
- 5 Tính  $G(u, v) = F(u, v)H(u, v)$
- 6 Tái tạo ảnh kết quả  $g_p(x, y) = \left( \Re\{IFT\{G(u, v)\}\} \right) (-1)^{(x+y)}$
- 7 Tách ảnh kết quả  $g(x, y)$  ( $M \times N$ )



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

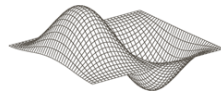
---

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Cơ sở xử lý trong miền tần số: Sự tương ứng lọc trong miền không gian và miền tần số

- Nếu  $f(x, y) = \delta(x, y) \Rightarrow F(u, v) = FT\{f(x, y)\} = 1$ 
  - ▶  $g(x, y) = IFT\{H(u, v)\}$
- $\Rightarrow h(x, y) \Leftrightarrow H(u, v)$ 
  - ▶  $h(x, y)$ : bộ lọc không gian, đáp ứng xung
    - ★ Số phần tử thường hữu hạn  $\Rightarrow$  FIR
- Thực hiện nhân chập không gian thuận lợi hơn
- Khái niệm lọc trực quan khi xem xét trong miền tần số
  - ▶  $\Rightarrow$  Xác định bộ lọc mong muốn trong miền tần số  $\rightarrow$  IDFT  $\rightarrow$  Kết quả như là hình mẫu để xây dựng các mặt nạ bộ lọc không gian.

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



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Làm trơn ảnh bằng các bộ lọc trong miền tần số: Bộ lọc thông thấp lý tưởng

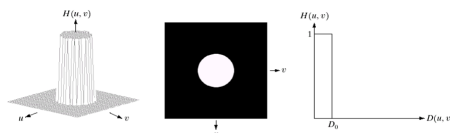
Trong miền tần số, làm trơn (làm mờ) ảnh có thể thực hiện bằng cách làm suy giảm/loại bỏ các thành phần phổ tần số cao

- $\Rightarrow$  Sử dụng các bộ lọc thông thấp

- Bộ lọc thông thấp lý tưởng:

$$H_{LP}(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{nếu } D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

- ▶  $D(u, v) = \sqrt{(u - P/2)^2 + (v - Q/2)^2}$
- ▶  $D_0$ : hằng số dương;  $P, Q$ : kích thước ảnh



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---



## Tăng cường chất lượng ảnh trong miền tần số

Làm sắc nét ảnh bằng các bộ lọc trong miền tần số: Bộ lọc thông cao lý tưởng

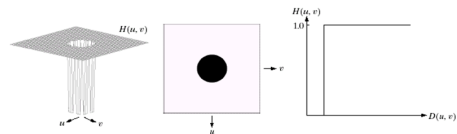
Trong miền tần số, việc làm tăng độ sắc nét của ảnh có thể thực hiện bằng cách làm suy giảm/loại bỏ các thành phần tần thấp

- ⇒ Sử dụng các bộ lọc thông cao

- Bộ lọc thông cao lý tưởng:

$$H_{HP}(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{nếu } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{nếu } D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

- ▶  $D(u, v) = \sqrt{(u - P/2)^2 + (v - Q/2)^2}$
- ▶  $D_0$ : hằng số dương;  $P, Q$ : kích thước ảnh
- ▶  $H_{HP}(u, v) = 1 - H_{LP}(u, v)$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

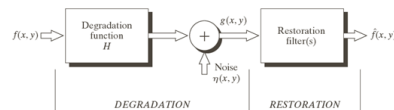
---

---

---

## Khôi phục ảnh

Mô hình quá trình suy giảm ảnh, khôi phục ảnh



- $f(x, y)$ : ảnh gốc;  $g(x, y)$ : ảnh bị suy giảm;  $\eta(x, y)$ : nhiễu cộng;  $\hat{f}(x, y)$ : ảnh khôi phục;  $H$  (hay  $h(x, y)$ ) hàm suy giảm ảnh
  - ▶ Trong miền không gian  $g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y)$ 
    - ★ Nếu chỉ có nhiễu tác động:  $g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$
  - ▶ Trong miền tần số:  $G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$ 
    - ★ Nếu chỉ có nhiễu tác động:  $G(u, v) = F(u, v) + N(u, v)$

Cho ảnh bị suy giảm  $g(x, y)$ , thông tin (một chút, hoặc hoàn toàn, hoặc không một chút nào) về hàm suy giảm  $H$  và nhiễu cộng  $\eta(x, y)$ . Mục đích của việc khôi phục ảnh là có được ảnh ước lượng  $\hat{f}(x, y)$  của ảnh gốc sao cho gần (giống) với ảnh gốc nhất có thể

- Càng nhiều thông tin về  $H$  và  $\eta \rightarrow$  khả năng khôi phục  $\hat{f}(x, y)$  càng gần (giống) với  $f(x, y)$

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

### Nhiều

- Nhiều trong ảnh số được coi là sự thay đổi (dịch chuyển) đột ngột của tín hiệu ảnh trên một khoảng rất nhỏ.
- Các nguồn nhiễu chính trong ảnh số phát sinh trong quá trình thu nhận và/hoặc truyền nhận ảnh
- Các loại nhiễu:
  - Nhiều do thiết bị thu nhận ảnh
  - Nhiều ngẫu nhiên độc lập
  - Nhiều do vật quan sát
- Các tính chất không gian và tần số của nhiễu:
  - Nhiều có chu kỳ không gian; nhiễu độc lập với tọa độ không gian (không tương quan với ảnh)
  - Nhiều trắng; nhiễu màu
- Có nhiều mô hình cho nhiễu trong ảnh số:
  - Nhiều Gausse, nhiễu Rayleigh, nhiễu xung (nhiều muối-tiêu), nhiễu Erlang (nhiều gamma), nhiễu hàm mũ, nhiễu phân bố đều.



### Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

### Ước lượng tham số của nhiễu

- Nhiều có chu kỳ  $\Rightarrow$  ước lượng tham số thông qua phân tích phổ
- Nếu hệ thống thu nhận ảnh có thể tái xây dựng được  $\Rightarrow$  nhiễu hệ thống có thể ước lượng được bằng cách chụp ảnh các mẫu
- Nếu chỉ có ảnh  $\Rightarrow$  khảo sát lược đồ xám vùng ảnh đồng nhất (vùng ảnh nền)
  - Hình dạng lược đồ xám thường khá gần với hình dạng hàm mật độ phân bố xác suất
  - Một dải ảnh (phần ảnh)  $S$  có lược đồ xám chuẩn hóa  $p_S(z_i)$  ( $i = 0, 1, \dots, L - 1$ )
    - $\star \bar{z} = \sum_{i=0}^{L-1} z_i p_S(z_i)$
    - $\star \sigma^2 = \sum_{i=0}^{L-1} (z_i - \bar{z})^2 p_S(z_i)$



### Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh chỉ bị suy giảm bởi nhiễu: Các bộ lọc không gian

- Ảnh chỉ bị suy giảm bởi nhiễu:
  - $g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$  hay  $G(u, v) = F(u, v) + N(u, v)$
- Nếu biết nhiễu  $\Rightarrow$  khôi phục ảnh  $\hat{f}(x, y) = g(x, y) - \eta(x, y)$
- Nhiều trường hợp là không biết  $\Rightarrow$  loại nhiễu khỏi (bằng phép trừ) không khả thi
  - Ước lượng nhiễu  $\Rightarrow$  giảm nhỏ được nhiễu



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh chỉ bị suy giảm bởi nhiễu: Các bộ lọc không gian - Các bộ lọc trung bình

**Trung bình số học:**

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(i, j) \in S_{xy}} g(i, j)$$

**Trung bình hài:**

$$\hat{f}(x, y) = \frac{mn}{\sum_{(i, j) \in S_{xy}} \frac{1}{g(i, j)}}$$

**Trung bình hình học:**

$$\hat{f}(x, y) = \sqrt[mn]{\prod_{(i, j) \in S_{xy}} g(i, j)}$$

**Trung bình phản hài:**

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(i, j) \in S_{xy}} g(i, j)^{Q+1}}{\sum_{(i, j) \in S_{xy}} g(i, j)^Q}$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh chỉ bị suy giảm bởi nhiễu: Các bộ lọc không gian - Các bộ lọc bậc thống kê

Trung vị:

$$\hat{f}(x, y) = \text{median}\{g(i, j)\}_{(i, j) \in S_{xy}}$$

Max, min:

$$\hat{f}(x, y) = \max_{(i, j) \in S_{xy}} \{g(i, j)\}$$

$$\hat{f}(x, y) = \min_{(i, j) \in S_{xy}} \{g(i, j)\}$$

Điểm giữa:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{2} \left( \max_{(i, j) \in S_{xy}} \{g(i, j)\} + \min_{(i, j) \in S_{xy}} \{g(i, j)\} \right)$$

Trung bình cắt alpha:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn - d} \sum_{(i, j) \in S_{xy}} g_r(i, j)$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh suy giảm

- Ảnh bị suy giảm bởi hàm suy giảm  $h(x, y)$  (hay  $H(u, v)$ ) và nhiễu  $\eta(x, y)$ :
  - $g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y)$  hay  $G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$
- Chỉ xem xét hàm suy giảm tuyến tính bất biến với vị trí và nhiễu cộng
- Mong muốn tìm ra các bộ lọc có tác động ngược lại với hàm suy giảm  $\Rightarrow$  ảnh khôi phục
  - Ước lượng hàm suy giảm
  - Áp dụng quá trình tác động ngược



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

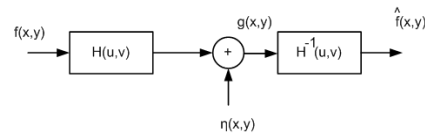
---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh suy giảm: Lọc đảo

- Cách đơn giản nhất để khôi phục ảnh khi biết/ước lượng được hàm suy giảm  $H(u, v)$  là thực hiện lọc đảo trực tiếp.
  - ▶  $\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$
  - ▶  $\Leftrightarrow \hat{F}(u, v) = H^{-1}(u, v)G(u, v)$  với  $H^{-1}(u, v)$  là bộ lọc đảo (hàm ngược của  $H(u, v)$ )
    - ★ Dù biết hoặc có thể ước lượng chính xác  $H(u, v)$ , ảnh khôi phục  $\hat{F}(u, v)$  cũng không chính xác bằng ảnh gốc  $F(u, v)$
    - ★ Nếu  $H(u, v)$  có giá trị bằng 0 hoặc rất nhỏ  $\Rightarrow \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$  sẽ trở thành thành phần chính trong ảnh khôi phục
    - ★  $\Rightarrow$  Cần hạn chế các tần số bộ lọc xung quanh vùng gần gốc
- Thích hợp với ảnh suy giảm (chỉ) bởi đặc tuyến của hệ thống thu nhận ảnh



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh suy giảm: Lọc giả đảo

- Khắc phục trường hợp  $H(u, v)$  có giá trị nhỏ sẽ tăng cường nhiễu trong ảnh của phương pháp lọc đảo

$$H^{-1}(u, v) = \begin{cases} \frac{1}{H(u, v)} & \text{nếu } |H(u, v)| \geq \epsilon \\ 0 & \text{trường hợp còn lại} \end{cases}$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh suy giảm: Bộ lọc Wiener (1/2)

- Kết hợp cả thông tin về hàm suy giảm và đặc trưng thống kê của nhiễu vào quá trình khôi phục ảnh.
- Tìm kiếm một ước lượng  $\hat{f}$  của ảnh  $f$  sao cho trung bình bình phương lỗi (MSE: mean square error) giữa chúng là nhỏ nhất
  - ▶  $\hat{f} = \arg \min \{E\{(f - \hat{f})^2\}\}$

$$\begin{aligned}\hat{F}(u, v) &= \left[ \frac{H^*(u, v) S_f(u, v)}{S_f(u, v) |H(u, v)|^2 + S_\eta(u, v)} \right] G(u, v) \\ &= \left[ \frac{H^*(u, v) S_f(u, v)}{|H(u, v)|^2 + S_\eta(u, v) / S_f(u, v)} \right] G(u, v) \\ &= \left[ \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + S_\eta(u, v) / S_f(u, v)} \right] G(u, v)\end{aligned}$$



▶  $H^*(u, v)$ : liên hợp phức của  $H(u, v)$ ;  $|H(u, v)|^2 = H^*(u, v) H(u, v)$ ;

Biên soạn: Phạm Văn Sư (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 59 / 61

công suất của ảnh gốc

## Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh suy giảm: Bộ lọc Wiener (2/2)

- $\hat{f} \triangleq$  Bộ lọc Wiener, bộ lọc tối thiểu hóa lỗi trung bình bình phương (MMSE), bộ lọc lỗi trung bình bình phương ít nhất (LSE)
  - ▶ Nếu không có nhiễu  $\rightarrow$  Bộ lọc đảo
- Phổ công suất của ảnh gốc thường hiếm khi biết hoặc không thể ước lượng chính xác
  - ▶

$$\hat{F}(u, v) = \left[ \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + K} \right] G(u, v)$$

★  $K$ : hằng số xác định



Biên soạn: Phạm Văn Sư (PTIT)

Xử lý ảnh

ver.19a 60 / 61

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# Khôi phục ảnh

Khôi phục ảnh suy giảm: Đánh giá chất lượng ảnh khôi phục

- Tỷ số công suất trung bình tín hiệu trên nhiễu (SNR):



$$SNR = \frac{\sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F(u, v)|^2}{\sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |N(u, v)|^2}$$

★ Là một đơn vị đo quan trọng đánh giá chất lượng các thuật toán khôi phục ảnh

- Trung bình bình phương sai số (MSE):



$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left( f(x, y) - \hat{f}(x, y) \right)^2$$

- Nếu coi ảnh khôi phục  $\hat{f}(x, y)$  là tín hiệu, sự khác biệt giữa ảnh gốc và ảnh khôi phục là nhiễu,



$$SNR = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \hat{f}^2(x, y)}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \left( f(x, y) - \hat{f}(x, y) \right)^2}$$



Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Notes

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---