

Fig: Degraded image



Fig: Restored image

# Xử lý ảnh – Image processing

## Chương 5: Khôi phục ảnh (Image restoration)

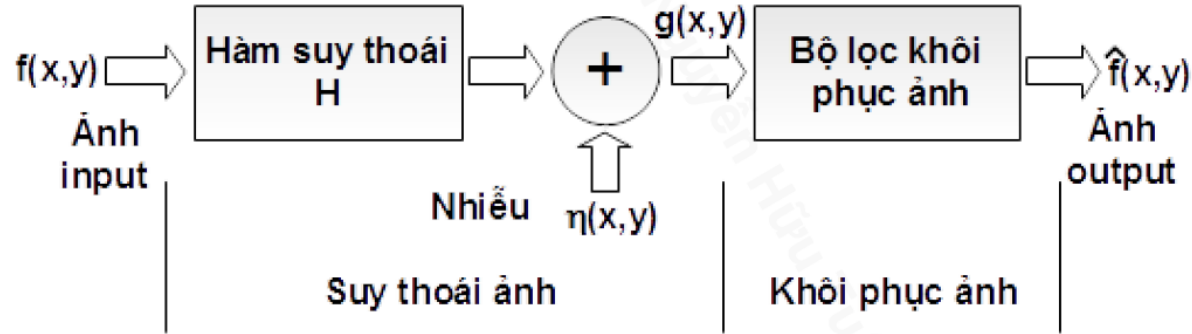
# Nội dung

- ▶ Tổng quan
- ▶ Mô hình suy thoái chất lượng ảnh
- ▶ Đánh giá hiệu năng của khôi phục ảnh
- ▶ Khôi phục ảnh bằng loại bỏ nhiễu
  - ▶ Các mô hình nhiễu
  - ▶ Một số bộ lọc khôi phục ảnh dựa vào lọc nhiễu
- ▶ Khôi phục ảnh dựa vào mô hình độ mờ
  - ▶ Lọc ngược Inverse filter
  - ▶ Bộ lọc Wiener

# Tổng quan

- ▶ Khôi phục ảnh khác với tăng cường chất lượng ảnh (image enhancement – bằng cách kỹ thuật lọc ảnh). Khôi phục ảnh bao gồm các kỹ thuật nhằm mục đích khôi phục một ảnh bị suy thoái (degraded) hay méo mó (distored) về nội dung và chất lượng ban đầu của nó (giả sử là tốt). Sự khác biệt giữa khôi phục và tăng cường chất lượng ảnh:
  - ▶ + Khôi phục ảnh dựa trên một mô hình suy thoái chất lượng ảnh đã biết rõ hoặc có thể ước lượng được.
  - ▶ + Nội dung và chất lượng ban đầu không đồng nghĩa với việc có một hình ảnh đẹp.
  - ▶ + Tăng cường chất lượng ảnh nhằm mục đích tạo ra 1 bức ảnh phù hợp hơn cho 1 tác vụ cụ thể trong khi khôi phục ảnh nhằm đưa ảnh về trạng thái ban đầu (mạnh hơn).

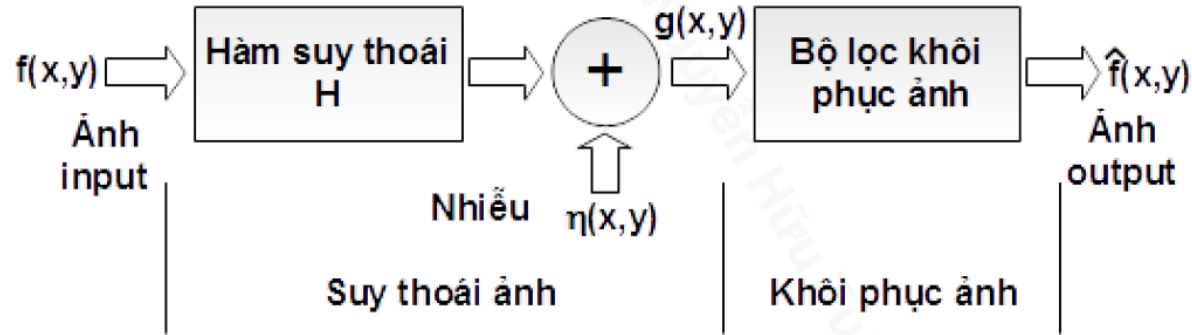
# Mô hình suy thoái chất lượng ảnh (degradation model)



Hình 5.1: Mô hình suy thoái ảnh

- ▶ Theo mô hình trên, biểu diễn hàm tương ứng trong miền không gian và tần số sẽ là:
- ▶  $g(x, y) = h[f(x, y)] + \eta(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y)$
- ▶  $G(x, y) = H[F(x, y)] + N(x, y) = H(x, y) \bullet F(x, y) + N(x, y)$ .

## Mô hình suy thoái chất lượng ảnh (degradation model)



Hình 5.1: Mô hình suy thoái ảnh

- ▶ Có 2 cách tiếp cận phổ biến để khôi phục ảnh là cách tiếp cận dựa vào các mô hình nhiễu và cách tiếp cận dựa trên độ mờ của ảnh. Đối với hướng thứ nhất, ảnh sẽ được khôi phục dựa trên các bộ lọc nhiễu tương ứng. Ở cách tiếp cận thứ 2, một ước lượng về độ suy thoái sẽ được thực hiện trước khi áp dụng 1 bộ lọc ngược để khôi phục ảnh.

# Đánh giá hiệu năng của khôi phục ảnh

- ▶ Để đánh giá mức độ hiệu quả của một kỹ thuật khôi phục ảnh, cần có 1 công cụ để ước lượng (measure) ảnh thu được (output) so với ảnh gốc ( $f(x, y)$ ). Hai giá trị thường được sử dụng là Mean Square Error (MSE) và Signal to Noise Ratio (SNR) cho bởi các công thức:

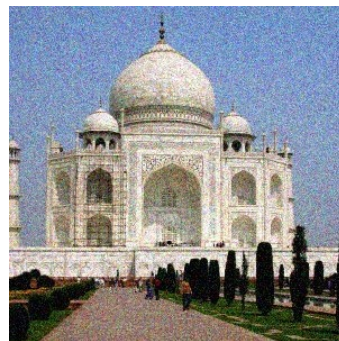
$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2$$

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

- ▶ Đại lượng MSE cho biết lỗi bình phương trung bình nhận được khi khôi phục ảnh nên giá trị MSE càng nhỏ càng tốt. Ngược lại giá trị SNR càng lớn càng tốt.

# Khôi phục ảnh bằng loại bỏ nhiễu – các mô hình nhiễu

- ▶ Nhiễu (noise) có trong ảnh phát sinh trong quá trình thu nhận ảnh có thể được gây ra bởi các yếu tố như sự tác động của môi trường xung quanh tới các thiết bị cảm biến thu nhận ảnh hoặc các nhân tố can thiệp vào nội dung ảnh trong quá trình truyền ảnh. Giả sử ảnh bị suy thoái chỉ do tác động của nhiễu thì theo mô hình suy thoái, nhiễu tác động lên ảnh gốc theo công thức:
- ▶  $g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y)$



## Các mô hình nhiễu

- ▶ Để đơn giản quá trình lọc nhiễu, các giả thiết sau được coi là đúng:
  - ▶ + Nhiễu là độc lập với các tọa độ không gian
  - ▶ + Không sự tương quan nào giữa các giá trị điểm ảnh và nhiễu.
  - ▶ Các giả thiết trên không đúng với nhiễu định kỳ (periodic noise).



# Mô hình nhiễu Gaussian

- ▶ Nhiễu Gaussian phát sinh do các mạch điện tử hoặc do nhiễu của các bộ cảm biến tác động bởi nguồn sáng yếu hoặc nhiệt độ cao. Hàm mật độ xác suất của nhiễu Gaussian là:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\bar{z})^2/2\sigma^2}$$

# Mô hình nhiễu xung

- ▶ Mô hình nhiễu xung (Impulse): các nhiễu gây ra do các chuyển đổi nhanh, đột ngột diễn ra trong quá trình thu nhận ảnh. Hàm mật độ xác suất của nhiễu xung là:

$$p(z) = \begin{cases} P_a & \text{nếu } z = a \\ P_b & \text{nếu } z = b \\ 0 & \text{trong các trường hợp khác} \end{cases}$$

- ▶ Các giá trị của nhiễu xung thường lớn hơn nhiều so với các giá trị điểm ảnh nên nhiễu xung hay gây ra các nhiễu thuộc loại salt and pepper.

# Mô hình nhiễu

- ▶ Làm thế nào để xác định đúng nhiễu tác động lên ảnh? Dựa vào kinh nghiệm bằng cách quan sát histogram của ảnh: các ảnh bị nhiễu khác nhau tác động sẽ có phân bố histogram khác nhau.
- ▶ Sau khi xác định nhiễu tác động lên ảnh cần áp dụng các kỹ thuật lọc ảnh để khôi phục ảnh.

## Biến thể của bộ lọc trung bình khôi phục ảnh

- ▶ Bộ lọc trung bình hình học (Geometric mean filter):

$$\hat{f} = \left[ \prod_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t) \right]^{\frac{1}{mn}}$$

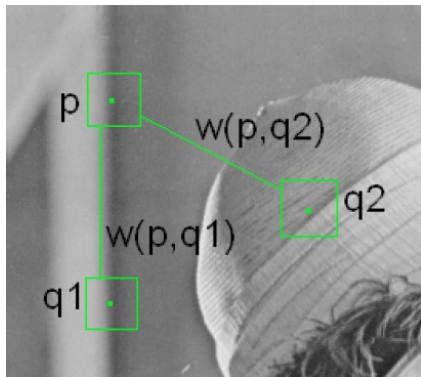
- ▶ Bộ lọc trung bình hình học có tác dụng lọc nhiễu nhưng tốt hơn bộ lọc trung bình ở chỗ giữ lại được nhiều chi tiết của ảnh hơn.
- ▶ Bộ lọc trung bình điều hòa (Harmonic mean filter):

$$\hat{f} = \frac{mn}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} \frac{1}{g(s,t)}}$$

- ▶ Bộ lọc trung bình điều hòa tốt với các nhiễu salt (giá trị nhiễu thấp) và Gaussian nhưng không tốt với các nhiễu pepper.

# Lọc nhiễu bằng bộ lọc Non-LocalMeans (NLM)

- ▶ Bộ lọc NLM là một bộ lọc nhiễu hiệu quả và giữ lại được nhiều các chi tiết của ảnh gốc (edge reserve filter). Bộ lọc NLM dựa trên giả thiết là bất cứ một bức ảnh nào cũng chứa một lượng lớn các đặc điểm gọi là self-similarity. Các đặc điểm tương đồng này có thể các vùng con (sub-region, patch) của ảnh giống nhau:



# Lọc nhiễu bằng bộ lọc Non-LocalMeans (NLM)

- ▶ Bộ lọc NLM thực hiện tính các giá trị điểm ảnh output dựa trên các trọng số được tính từ độ tương đồng của vị trí đang xét với các lân cận của nó (biến thể của bộ lọc Gaussian – vị trí và tương quan về độ tương đồng giữa điểm đang xét và các lân cận của nó). Công thức cụ thể trong tài liệu.



## Bộ lọc trung vị linh hoạt (Adaptive median filter - ATM)

- ▶ Bộ lọc ATM có tác dụng lọc nhiễu salt and pepper giống như bộ lọc trung vị nhưng tác dụng làm mịn ảnh tốt hơn so với bộ lọc trung vị nguyên gốc vì kích thước của lân cận thay đổi một cách linh hoạt dựa vào đặc điểm của vùng ảnh sẽ được áp dụng.
- ▶ Các ký hiệu:
  - ▶ +  $z_{\min}$ ,  $z_{\max}$ ,  $z_{\text{med}}$  là mức xám nhỏ nhất, lớn nhất và trung vị trong 1 lân cận  $S_{xy}$ .
  - ▶ +  $z_{xy}$  là mức xám tại điểm ảnh  $(x, y)$ .
  - ▶ +  $S_{\max}$  là kích thước lớn nhất của  $S_{xy}$ .

# Bộ lọc trung vị linh hoạt (Adaptive median filter - ATM)

- ▶ Giá trị của điểm ảnh output tại 1 vị trí  $(x, y)$  sẽ được tính như sau:
- ▶ Mức A:
  - ▶ + Tính  $A1 = z_{\text{med}} - z_{\text{min}}$ ,  $A2 = z_{\text{med}} - z_{\text{max}}$
  - ▶ + Nếu  $A1 > 0$  và  $A2 < 0$  thì chuyển sang mức B, ngược lại tăng kích thước lân cận (nhân) đang xét lên 2 đơn vị.
  - ▶ + Nếu kích thước của nhân (sau khi mở rộng)  $\leq S_{\text{max}}$  thì lặp lại mức A, ngược lại trả về  $z_{\text{med}}$ .
- ▶ Mức B:
  - ▶ + Tính  $B1 = z_{xy} - z_{\text{min}}$ ,  $B2 = z_{xy} - z_{\text{max}}$
  - ▶ + Nếu  $B1 > 0$  và  $B2 < 0$  thì trả về  $z_{xy}$ , ngược lại trả về  $z_{\text{med}}$ .
- ▶ Kết quả của bộ lọc trung vị linh hoạt vẫn lọc được nhiễu nhưng ảnh ít bị biến dạng và các chi tiết sắc nét vẫn giữ lại được.



# Khôi phục ảnh dựa vào mô hình độ mờ

- ▶ Một bức ảnh bị mờ là do các tác động của yếu tố môi trường – thường do chuyển động hoặc do hiện tượng out-of-focus của ống kính chụp.
- ▶ Có 2 cách tiếp cận: có thông tin (non blind) và không có thông tin (blind). Mục tiêu của khôi phục ảnh là đi tìm 1 bộ lọc thích hợp nhất để thu được ảnh ít bị biến dạng nhất so với ảnh gốc. Hai bộ lọc phổ biến là bộ lọc ngược và Wiener.

# Bộ lọc ngược Inverse filter

- ▶ Nếu xem ảnh bị suy thoái là một quá trình biến đổi do hàm suy thoái là chủ yếu thì việc khôi phục ảnh sẽ đơn giản nếu ta có thể xây dựng hàm ngược của hàm suy thoái  $H$  và ảnh khôi phục sẽ được sinh theo công thức sau:

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)}$$

- ▶ Theo công thức chung về mô hình suy thoái ảnh, ta sẽ có:

$$\hat{F}(u, v) = \frac{H(u, v)F(u, v) + N(u, v)}{H(u, v)} = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$$

- ▶ Bộ lọc ngược có hạn chế là khó có thể khôi phục được ảnh gốc  $F(u, v)$  một cách thực sự vì nhiễu  $N(u, v)$  là không biết rõ và với các giá trị  $H(u, v)$  nhỏ nhiễu sẽ bị khuếch đại. Bộ lọc ngược thường ít được sử dụng vì không hiệu quả.

# Bộ lọc ngược Wiener

- ▶ Bộ lọc Wiener nhằm tới mục đích cực tiểu hóa giá trị MSE giữa ảnh khôi phục và ảnh gốc dựa trên các giả thiết sau:
- ▶ + Nhiễu và ảnh không sự tương quan
- ▶ + Một trong hai đối tượng (ảnh hoặc nhiễu) có trung bình bằng 0.
- ▶ + Các giá trị cường độ trong khôi phục ảnh là một hàm tuyến tính của các mức xám trong ảnh bị suy thoái.
- ▶ Ảnh khôi phục sẽ được tính theo công thức sau:

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

# Bộ lọc ngược Wiener

- ▶  $H(u, v)$  là biểu diễn trong miền tần số của hàm suy thoái,  $H^*(u, v)$  là số phức liên hợp (conjugate) của  $H(u, v)$ ,  $S_N(u, v) = N^2(u, v)$  là giá trị phổ của nhiễu,  $S_f(u, v)$  là giá trị phổ của ảnh gốc. Trên thực tế giá trị  $S_n(u, v)/S_f(u, v)$  rất khó xác định nên có thể giả định đây là một hằng số  $K$ , khi đó công thức để khôi phục ảnh sẽ thành:

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

- ▶ Áp dụng thực tế: dựa vào kinh nghiệm để lựa chọn bộ lọc  $H(u, v)$  phù hợp – tương ứng với giá trị MSE nhỏ nhất nhận được. Trên thực tế bộ lọc Wiener khá tốt với các ảnh bị mờ do chuyển động.
- ▶ Ngoài 2 cách tiếp cận ở trên còn có các cách tiếp cận hiệu quả khác là siêu phân giải (super resolution – sử dụng rất nhiều ảnh chụp cùng 1 cảnh để tạo ra 1 bức nét nhất, không bị mờ) và kỹ thuật học sâu để dự đoán về các vùng ảnh cần khôi phục.

# Bài tập

- ▶ Bài 1: Viết chương trình đọc 1 ảnh, thực hiện thêm nhiễu Gaussian cho ảnh, sau đó khôi phục ảnh bằng các bộ lọc trung bình.
- ▶ Bài 2: Viết chương trình đọc 1 ảnh, thực hiện thêm nhiễu muối tiêu cho ảnh, sau đó khôi phục ảnh bằng các bộ lọc trung vị.
- ▶ Bài 3:Viết chương trình đọc 1 ảnh, thêm nhiễu Gaussian cho ảnh, sau đó khôi phục ảnh bằng bộ lọc NLM.
- ▶ Bài 4: Viết chương trình thực hiện 1 tính các giá trị MSE và SNR giữa ảnh khôi phục và ảnh gốc. Áp dụng so sánh kết quả của các phương pháp khôi phục ảnh trên.

# Question?