

1. Tại sao cần phải xử lý ảnh số. Ứng dụng của xử lý ảnh. Cho ví dụ.....	3
a. Tại sao cần phải xử lý ảnh số.....	3
b. Ứng dụng của xử lý ảnh và cho ví dụ.....	3
2. Nêu cách biểu diễn ảnh số trên máy tính.....	3
3. Vẽ mô hình các bước cơ bản trong xử lý ảnh số	4
a. Thu nhận ảnh	4
b. Tiền xử lý ảnh	4
c. Phân đoạn ảnh.....	4
d. Biểu diễn và mô tả.....	4
e. Nhận dạng và nội suy	4
g. Cơ sở tri thức.....	4
4. Các thành phần của hệ thống xử lý ảnh số.....	4
a. Bộ phận thu nhận ảnh	5
b. Phần cứng xử lý ảnh chuyên dụng.....	5
c. Máy tính: Thiết bị thông thường hoặc chuyên dụng.....	5
d. Bộ phận lưu trữ.....	5
e. Bộ phận hiển thị: màn hình.....	5
g. In ấn: Ghi lại ảnh: máy in lazer, máy chiếu.....	5
5. Số hóa ảnh là gì? Tại sao cần phải số hóa ảnh?	5
a. Số hóa ảnh là gì ?.....	5
b. Tại sao cần phải số hóa ảnh ?.....	5
6. Định nghĩa lấy mẫu (sampling) và lượng tử (Quantization) trong xử lý ảnh?	5
a. Lấy mẫu	5
b. Lượng tử.....	6
7. Nêu khái niệm về điểm ảnh (Pixel), mức xám (Gray – level), độ phân giải (Resolution).	6
a. Điểm ảnh	6
b. Mức xám	6
c. Độ phân giải	6
8. Trình bày về bộ lọc trong miền không gian (spatial filtering), lọc tuyến tính (linear Filtering) và cách xử lý bộ lọc trong miền không gian (Spatial Filtering Process).	6
a. Bộ lọc trong miền không gian	6
b. Lọc tuyến tính.....	6
c. Cách xử lý bộ lọc trong miền không gian.....	6
9. Khái niệm biểu đồ Histogram? Xử lý cân bằng Histogram?	6
a. Khái niệm biểu đồ Histogram.....	6
b. Xử lý cân bằng Histogram.....	7
10. Xử lý Matching Histogram?	8
11. Các kỹ thuật, thuật toán nén ảnh?	8
a. Mã hóa loạt dài	8
b. Mã hóa theo thuật toán Shannon - Fano	8

c. Mã hóa theo thuật toán Huffman	9
12. Mô tả mô hình 1 hệ thống xử lý ảnh cụ thể (Lấy ví dụ)	9
13. Khái niệm về mặt nạ? Cách sử dụng mặt nạ trong xử lý ảnh?	9
a. Khái niệm về mặt nạ	9
b. Cách sử dụng mặt nạ trong xử lý ảnh	10
14. Làm sắc nét một vùng ảnh?	10
a. Giới thiệu	10
b. Bộ lọc sắc nét	10
c. Thực hiện làm sắc nét ảnh	10
15. Làm mờ một vùng ảnh?	10
a. Giới thiệu	10
b. Bộ lọc trung vị	11
c. Bộ lọc thông thấp	11
16. Trình bày về bộ lọc trung vị (Median Filters)?	11
a. Giới thiệu	11
b. Các bước thực hiện	11
17. Trình bày phép giãn ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?	11
a. Mục đích	11
b. Các bước thực hiện	12
c. Ví dụ	12
18. Trình bày phép co ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?	12
a. Mục đích	12
b. Các bước thực hiện	12
c. Ví dụ	12
19. Trình bày phép mở ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?	13
a. Mục đích	13
b. Các bước thực hiện	13
c. Ví dụ	13
20. Trình bày phép đóng ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?	14
a. Mục đích	14
b. Các bước thực hiện	14
c. Ví dụ	14
BÀI TẬP	14
1. Cân bằng Histogram	14
2. Xử lý Matching Histogram	15
3. Làm mờ vùng ảnh	18
4. Lọc nhiễu sử dụng bộ lọc trung vị Median Filter	19
5. Làm sắc nét vùng ảnh	20
6. Giãn ảnh	Error! Bookmark not defined.
7. Co ảnh	Error! Bookmark not defined.

8. **Đóng ảnh** Error! Bookmark not defined.

9. **Mở ảnh**..... Error! Bookmark not defined.

1. Tại sao cần phải xử lý ảnh số. Ứng dụng của xử lý ảnh. Cho ví dụ

a. Tại sao cần phải xử lý ảnh số

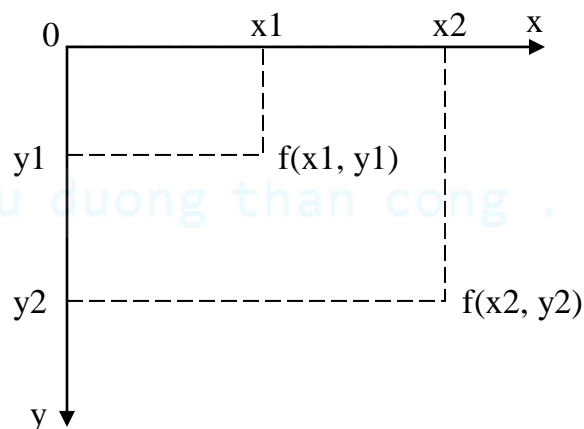
- Trong các dạng truyền thông cơ bản: lời nói, văn bản, hình ảnh, âm thanh thì hình ảnh là dạng truyền thông truyền tải thông tin mạnh mẽ nhất.
- Những hình ảnh được thu nhận lại bởi các bộ cảm biến hình ảnh thường có những sai lệch và mất mát thông tin nhất định. Do đó chúng ta mong muốn đưa những hình ảnh đó vào máy tính để thực hiện các mục đích khác nhau như: phân tích ảnh, phục hồi ảnh...
- Để máy tính có thể hiểu và phân tích ảnh thì ảnh cần được mã hóa và biểu diễn dưới dạng số gọi là ảnh số. Việc xử lý ảnh số trên máy tính nhằm mục đích phân tích ảnh và phục hồi các thông tin bị sai lệch trong quá trình thu nhận ảnh.

b. Ứng dụng của xử lý ảnh và cho ví dụ

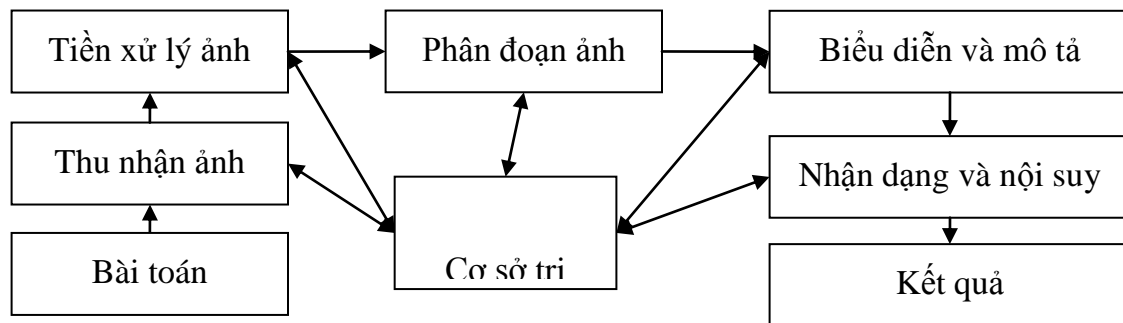
- Lưu trữ dữ liệu, tra cứu thông tin: nén ảnh dưới dạng *.jpg, *.tif... để giảm dung lượng lưu trữ.
- Nhận dạng: khuôn mặt, dấu vân tay, chữ số, ký tự...
- Xác thực: xác thực đăng nhập windows 8 bằng hình ảnh...
- Xây dựng trong các hệ thống máy nhìn công nghiệp để điều khiển và kiểm tra sản phẩm: hệ thống phân tích ảnh để phát hiện bọt khí bên trong vật thể đúc bằng nhựa, phát hiện các linh kiện không đạt tiêu chuẩn (bị biến dạng, thiếu) trong quá trình sản xuất, hệ thống đếm sản phẩm thông qua hình ảnh nhận được từ camera quan sát.

2. Nêu cách biểu diễn ảnh số trên máy tính

- Ảnh được biểu diễn bởi một hàm cường độ sáng 2 chiều $f(x, y)$ trong đó x, y là tọa độ của điểm ảnh, giá trị f tại tọa độ (x, y) gọi là cường độ sáng hay mức xám của điểm ảnh.
- Mỗi một điểm có tọa độ (x, y) tương ứng với một pixel.
- Chất lượng ảnh số phụ thuộc vào số điểm ảnh biểu diễn bức ảnh đó.
- Khi biểu diễn ảnh trên máy tính ta có thể xem bức ảnh đó như là một ma trận với chiều cao = số hàng x với chiều rộng = số cột.



3. Vẽ mô hình các bước cơ bản trong xử lý ảnh số



a. Thu nhận ảnh

- Qua camera chụp ảnh
- Qua máy scan
- Từ video

b. Tiền xử lý ảnh

- Lọc nhiễu
- Nâng cao độ tương phản

c. Phân đoạn ảnh

- Chia đoạn nhỏ
- Tìm kiếm thông tin thích hợp trên từng vùng

d. Biểu diễn và mô tả

- Tìm các vùng đặc trưng điểm ảnh
- Biểu diễn lại thông qua các điểm ảnh đặc trưng

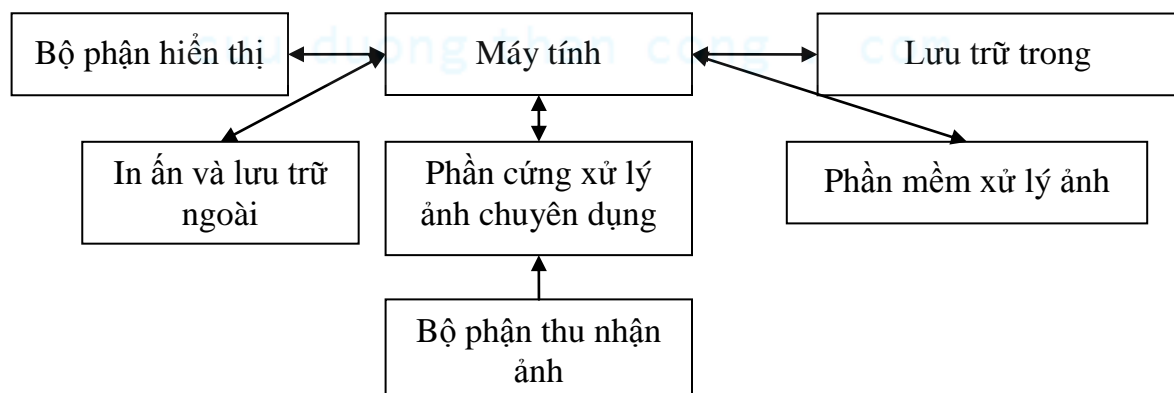
e. Nhận dạng và nội suy

- Theo mẫu
- Theo máy học

g. Cơ sở tri thức

- Tiếp nhận và xử lý theo phương pháp trí tuệ con người

4. Các thành phần của hệ thống xử lý ảnh số



a. Bộ phận thu nhận ảnh

- Cảm biến: nhạy cảm với năng lượng phát ra của đối tượng (màu sắc, kích thước...)
- Số hóa: chuyển đổi kết quả của bộ phận cảm biến thành dữ liệu số

b. Phần cứng xử lý ảnh chuyên dụng

- Bộ số hóa
- Phần cứng thực hiện các thao tác cơ bản nhằm nâng cao tốc độ xử lý

c. Máy tính: Thiết bị thông thường hoặc chuyên dụng

d. Bộ phận lưu trữ

- Bắt buộc phải có
- Lưu trữ tạm thời: phục vụ và sử dụng trong quá trình xử lý hiện tại
- Lưu trữ trực tuyến: tăng tốc gọi lại các dữ liệu thường dùng
- Lưu trữ vĩnh viễn: lưu trữ dữ liệu, truy cập không thường xuyên

e. Bộ phận hiển thị: màn hình

g. In ấn: Ghi lại ảnh: máy in laser, máy chiếu...

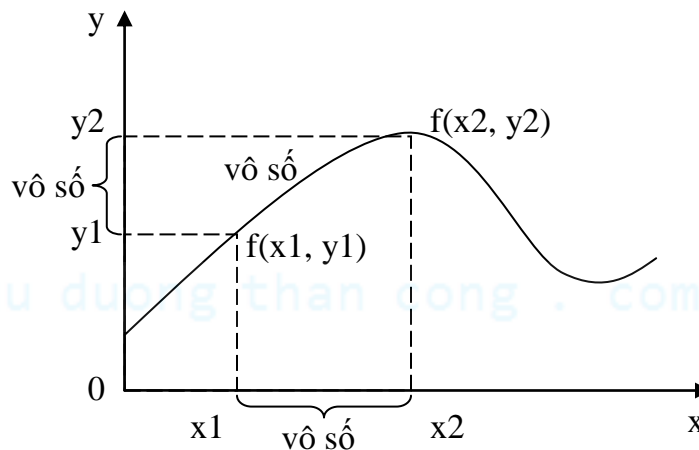
5. Số hóa ảnh là gì? Tại sao cần phải số hóa ảnh?

a. Số hóa ảnh là gì ?

- Là việc chuyển đổi dữ liệu ảnh truyền thống bên ngoài (có tính chất liên tục) thành dạng dữ liệu ảnh số mà máy tính có thể hiểu được.

b. Tại sao cần phải số hóa ảnh ?

- Theo nguyên lý về số thực giữa hai điểm có vô số điểm nên việc hiển thị ảnh thông thường trên thiết bị như máy tính là không thể được.
- Phải số hóa ảnh để lấy những dữ liệu ảnh quan trọng và biểu diễn dưới dạng dữ liệu số mà máy tính có thể hiểu được.



6. Định nghĩa lấy mẫu (sampling) và lượng tử (Quantization) trong xử lý ảnh?

a. Lấy mẫu

Lấy mẫu là một quá trình, qua đó ảnh được tạo nên trên một vùng có tính liên tục được chuyển thành các giá trị rời rạc theo tọa độ nguyên (số hóa tọa độ không gian (x, y)). Quá trình này gồm 2 lựa chọn:

- Khoảng lấy mẫu
- Cách thể hiện dạng mẫu

b. Lượng tử

Lượng tử hoá là ánh xạ từ các số thực mô tả giá trị lấy mẫu thành một dải hữu hạn các số thực (số hóa các giá trị $f(x, y)$)).

7. Nêu khái niệm về điểm ảnh (Pixel), mức xám (Gray – level), độ phân giải (Resolution).

a. Điểm ảnh

- Là một phần tử nhỏ nhất trong ảnh số tại tọa độ $f(x, y)$, mỗi điểm ảnh tương ứng với một phần tử trong ma trận tại hàng x và cột y .
- Giá trị của phần tử trong ma trận biểu thị cường độ sáng hay mức xám của điểm ảnh.

b. Mức xám

- Mức xám của điểm ảnh là cường độ sáng được gán bằng giá trị nguyên tương ứng với thang đo độ xám.
- Thang đo độ xám phụ thuộc vào số bit để biểu diễn màu của điểm ảnh. Đối với ảnh nhị phân dùng 1 bit để biểu diễn màu $\Rightarrow [0, 1]$ là thang đo độ xám (0 : đen, 1 : trắng), ảnh xám thang đo độ xám là $[0, 255]$ (0 : đen, 255 : trắng)...

c. Độ phân giải

Là mật độ điểm ảnh được sử dụng để biểu diễn ảnh

8. Trình bày về bộ lọc trong miền không gian (spatial filtering), lọc tuyến tính (linear Filtering) và cách xử lý bộ lọc trong miền không gian (Spatial Filtering Process).

a. Bộ lọc trong miền không gian

- Bộ lọc không gian thông thường được thực hiện để khử nhiễu hoặc thực hiện một số kiểu nâng cao ảnh.
- Bộ lọc thường có kích thước $(2N-1, 2M-1)$, ví dụ 3×3 , 5×5 ...
- Các giá trị của bộ lọc được gọi là các hệ số.

b. Lọc tuyến tính

- Kết quả ra được tính bằng tổng tất cả các phép nhân hệ số của bộ lọc với giá trị điểm ảnh tương ứng trong vùng tác động bởi bộ lọc: $g(x, y) = \sum (w_i * f(x_i, y_i))$ với $i=1..Size$, $Size = m \times n$ là kích thước của bộ lọc.

c. Cách xử lý bộ lọc trong miền không gian

- Đặt tâm của bộ lọc lên trên điểm ảnh cần xử lý.
- Thông qua bộ lọc, trích rút ra các điểm lân cận với điểm ảnh cần xử lý.
- Áp dụng hàm của bộ lọc lên giá trị của các điểm ảnh trong vùng lân cận.
- Đặt giá trị điểm ảnh tương ứng trên ảnh đầu ra bằng giá trị trả được về bởi hàm của bộ lọc.
- Dịch chuyển mặt nạ từ trái qua phải, trên xuống dưới, lặp lại các bước trên lần lượt cho hết các điểm ảnh.
- Đối với những điểm nằm trên biên không áp dụng.

9. Khái niệm biểu đồ Histogram? Xử lý cân bằng Histogram?

a. Khái niệm biểu đồ Histogram

- Là một dạng biểu đồ mô tả sự phân bố của các giá trị mức xám của các điểm ảnh trong vùng ảnh số.

- Histogram của một ảnh số với mức xám thuộc dải xám $[0, L - 1]$ là $h(r_k) = n_k$ với r_k là mức xám thứ k , n_k là số điểm ảnh có cùng mức xám thứ k .
- Biểu đồ Histogram có trục tung Oy biểu diễn số điểm ảnh của mức xám r_k và trục hoành Ox biểu diễn mức xám r_k .
- Xác suất của mức xám: $p(r_k) = n_k/n$ với n là tổng số điểm ảnh.

b. Xử lý cân bằng Histogram

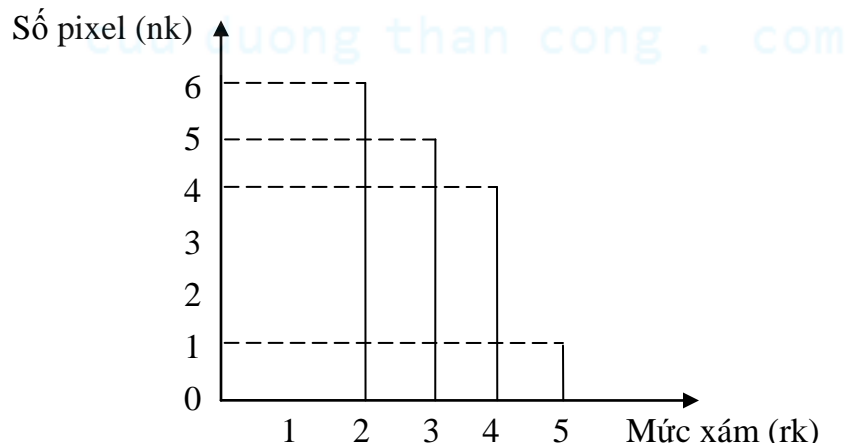
* Lý do cần xử lý cân bằng Histogram

- ⇒ Đối với những ảnh tối màu thì biểu đồ tập trung ở vùng xám thấp (gần gốc tọa độ).
- ⇒ Đối với những ảnh sáng thì biểu đồ tập trung ở vùng xám cao.
- ⇒ Đối với những ảnh có độ tương phản thấp thì biểu đồ tập trung ở vùng xám giữa.
- ⇒ Xử lý cân bằng Histogram giúp phân bố đều các mức xám.

* Các bước xử lý cân bằng Histogram

- ⇒ **Bước 1.** Vẽ biểu đồ Histogram của vùng ảnh.

2	3	3	2
4	2	4	3
3	2	3	5
2	4	2	4



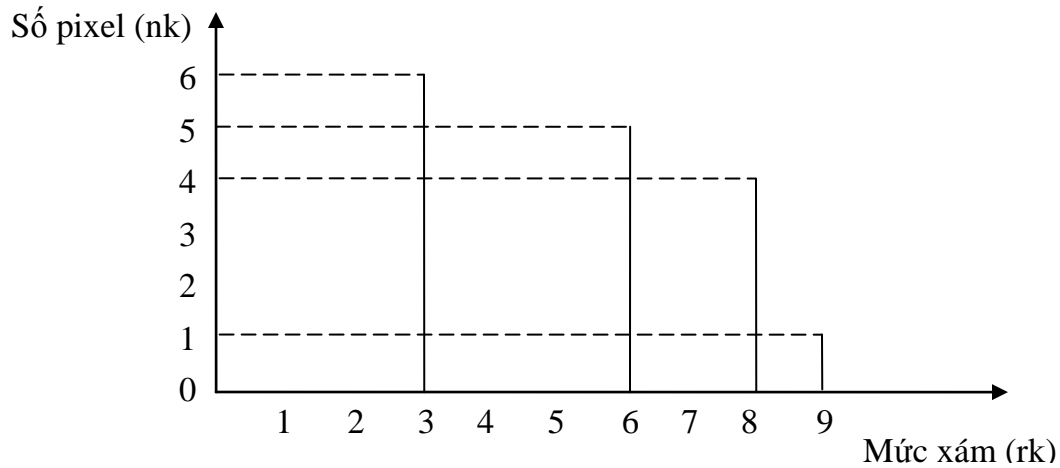
- ⇒ **Bước 2.** Lập bảng sau với $L = 10$ là số mức xám mới, $n = 16$ là tổng số pixel của vùng ảnh.

sMức xám r_k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Số pixel n_k	0	0	6	5	4	1	0	0	0	0
$\Sigma(n_j)$ với $j=0..k$	0	0	6	11	15	16	16	16	16	16
$s_k = \Sigma(n_j)/n$ với $j=0..k$	0	0	6/16	11/16	15/16	1	1	1	1	1
Kết quả $s_k = \text{Round}(s_k * (L - 1))$	0	0	3	6	8	9	9	9	9	9

- ⇒ **Bước 3.** Thay thế mức xám r_k trong vùng ảnh ban đầu thành mức xám s_k tương ứng và vẽ biểu đồ Histogram thu được.

3	6	6	3
8	3	8	6

6	3	6	9
3	8	3	8



10. Xử lý Matching Histogram?

Với xử lý cân bằng Histogram (Equalization Histogram) kết quả thu được chỉ là duy nhất còn với xử lý Matching Histogram (Specifiation Histogram) có thể cho nhiều kết quả tùy theo biểu đồ Histogram lựa chọn.

*Các bước thực hiện

Bài toán: Cho vùng ảnh X, biến đổi thành vùng ảnh Z mà có Histogram cho trước ($X \rightarrow Z$).

- ⇒ **Bước 1:** Dựa vào vùng ảnh X chúng ta tính Histogram cho mỗi mức xám có trong dải xám: $p_x(i)$. Sau đó tính Equalization Histogram cho các mức xám: $P_x(i) = \sum (p_x(j))$ với $j = 0..i$
- ⇒ **Bước 2:** Dựa vào biểu đồ Histogram của vùng ảnh tính $p_z(i)$, sau đó tính: $P_z(i) = \sum (p_z(j))$ với $j = 0..i$
- ⇒ **Bước 3:** Ứng với mỗi giá trị mức xám i trong vùng ảnh X tìm mức xám j trong vùng ảnh Z sao cho $|P_x(i) - P_z(j)| = \min$.
- ⇒ **Bước 4:** Sau khi xác định được j lập bảng $\text{Lookup}[i] = j$.
- ⇒ **Bước 5:** Thay thế i thành j và vẽ biểu đồ Histogram thu được.

11. Các kỹ thuật, thuật toán nén ảnh?

a. Mã hóa loạt dài

- Loạt dài là một dãy các ký tự lặp lại liên tục, liên tiếp không ngắt quãng.
- Mục đích của việc mã hóa loạt dài là xác định các loạt dài, kích thước của loạt dài, các ký hiệu trong loạt dài.
- Mỗi một loạt dài sẽ được thay thế bởi một từ mã gồm 3 phần tử (r, l, s) (repeat, length, symbols).
- Đối với các ký hiệu không phải là loạt dài thì được thay thế bởi từ mã (n, l, s) (non repeat, length, symbols).
- Ví dụ: Mã hóa dữ liệu sau: AAABBBBBBCECDDDDDD thu được r3Ar5Bn3CECr4D

b. Mã hóa theo thuật toán Shannon - Fano

- ⇒ **Bước 1:** Tính toán tần suất xuất hiện của các ký hiệu.
- ⇒ **Bước 2:** Sắp xếp các ký hiệu theo thứ tự giảm dần của tần suất xuất hiện.
- ⇒ **Bước 3:** Chia đôi danh sách sao cho độ chênh lệch tổng tần suất của 2 phần là thấp nhất.
- ⇒ **Bước 4:** Trên ghi mã 0, dưới ghi mã 1.

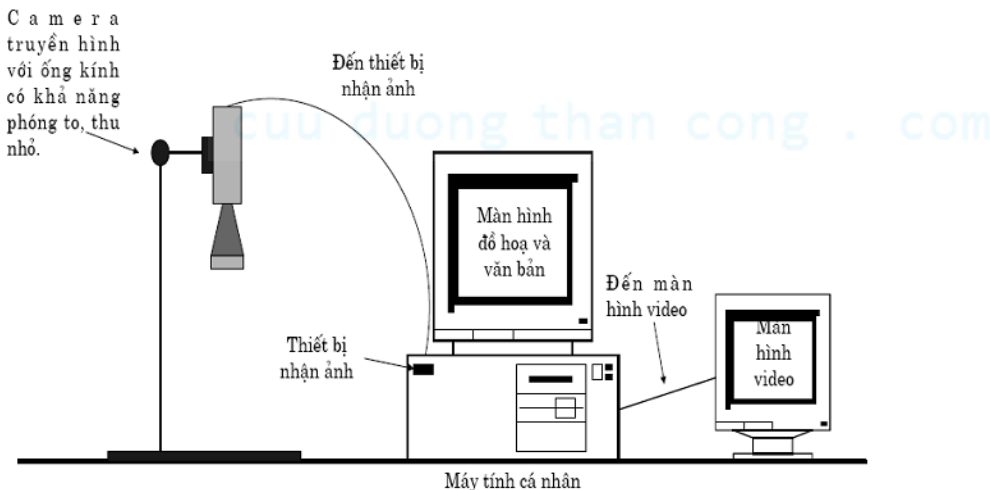
⇒ **Bước 5:** Lặp lại bước 3 và 4 cho đến khi không chia được nữa.

⇒ **Bước 6:** Xây dựng bảng mã.

c. Mã hóa theo thuật toán Huffman

- Thuật toán Huffman tạo ra các mã khác nhau cho các ký hiệu khác nhau.
- Ký hiệu nào có tần suất xuất hiện lớn hơn thì độ dài từ mã tương ứng sẽ nhỏ hơn.
- Để xây dựng được bộ mã Huffman cần làm những bước sau:
 - ⇒ **Bước 1:** Tính tần suất xuất hiện của các ký hiệu trong dữ liệu.
 - ⇒ **Bước 2:** Sắp xếp theo thứ tự giảm dần tần suất theo hàng ngang.
 - ⇒ **Bước 3:** Mỗi nút được gán trọng số bằng số lần xuất hiện của ký hiệu.
 - ⇒ **Bước 4:** Hai nút có trọng số nhỏ nhất sẽ được gán vào 1 nút mới có trọng số bằng tổng trọng số của 2 nút đó.
 - ⇒ **Bước 5:** Nút mới sẽ được thêm vào danh sách còn 2 nút vừa xét sẽ bị loại bỏ khỏi danh sách.
 - ⇒ **Bước 6:** Một trong 2 nút vừa loại bỏ gán nhãn 0, còn lại gán nhãn 1.
 - ⇒ **Bước 7:** Lặp lại từ bước 4 đến bước 6 cho đến khi còn lại nút gốc.
 - ⇒ **Bước 8:** Xây dựng bảng mã.

12. Mô tả mô hình 1 hệ thống xử lý ảnh cụ thể (Lấy ví dụ)



- Hình trên mô tả một hệ thống xử lý ảnh cụ thể. Trong đó bao gồm máy tính PC kèm theo thiết bị xử lý ảnh. Nối với cổng vào của thiết bị thu nhận ảnh là một video camera, và cổng ra nối với một thiết bị hiển thị là màn hình video.

13. Khái niệm về mặt nạ? Cách sử dụng mặt nạ trong xử lý ảnh?

a. Khái niệm về mặt nạ

- Một vài toán tử dùng trong xử lý ảnh thực hiện trên giá trị của điểm ảnh và các điểm trong vùng lân cận của nó, cùng với một vùng ảnh con cùng kích thước với vùng lân cận.
- Vùng ảnh con này được gọi là mặt nạ, hay bộ lọc. Các giá trị của mặt nạ được gọi là hệ số.
- Kích thước của mặt nạ ($2N-1, 2M-1$), ví dụ $3 \times 3, 5 \times 5 \dots$

b. Cách sử dụng mặt nạ trong xử lý ảnh

- Đặt tâm của mặt nạ lên trên điểm ảnh cần xử lý.
- Thông qua bộ lọc, trích rút ra các điểm lân cận với điểm ảnh cần xử lý.
- Áp dụng hàm của mặt nạ lên giá trị của các điểm ảnh trong vùng lân cận.
- Đặt giá trị điểm ảnh tương ứng trên ảnh đầu ra bằng giá trị trả được về bởi hàm của mặt nạ.
- Đối với lọc tuyến tính, kết quả ra được tính bằng tổng tất cả các phép nhân hệ số của mặt nạ với giá trị điểm ảnh tương ứng trong vùng tác động bởi mặt nạ: $g(x, y) = \sum(w_i * f(x_i, y_i))$ với $i=1..Size$, $Size = m \times n$ là kích thước của mặt nạ.
- Dịch chuyển mặt nạ từ trái qua phải, trên xuống dưới, lặp lại các bước trên lần lượt cho hết các điểm ảnh.
- Đối với những điểm nằm trên biên không áp dụng.

14. Làm sắc nét một vùng ảnh?

a. Giới thiệu

- Trong 1 số trường hợp ở bước tiền xử lý ảnh chúng ta phải làm nổi bật những thông tin cần thiết (bị mờ).
- Làm sắc nét một vùng ảnh là loại bỏ những điểm ảnh có giá trị mức xám thấp và chuyển vào đó giá trị mức xám cao phụ thuộc vào điểm ảnh lân cận đối với điểm ảnh bị loại bỏ.
- Dùng bộ lọc trích rút ra những điểm ảnh lân cận của điểm ảnh cần loại bỏ với các hệ số được sử dụng cho bộ lọc sắc nét

b. Bộ lọc sắc nét

- Tổng các hệ số bằng 0
- Các giá trị đối xứng qua tâm của bộ lọc
- Một số bộ lọc thường dùng:

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

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

c. Thực hiện làm sắc nét ảnh

- Đặt tâm của bộ lọc vào điểm cần xét và trích rút ra được các điểm lân cận của điểm đang xét.
- Tính toán đáp ứng đầu ra của bộ lọc theo công thức sau:

⇒ Nếu hệ số ở tâm của mặt nạ > 0

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

⇒ Nếu hệ số ở tâm của mặt nạ < 0

$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y)$$

Với $\nabla^2 f(x, y) = \sum(w_i, f(x_i, y_i))$ với $i=1..Size$, $Size = m \times n$ là kích thước của bộ lọc.

15. Làm mờ một vùng ảnh?

a. Giới thiệu

- Các bộ lọc làm mờ được sử dụng để làm mờ và giảm nhiễu
- Làm mờ được sử dụng trong một số bước tiền xử lý, như là xoá bỏ một số chi tiết nhỏ trong ảnh hoặc làm liền các khoảng trống nhỏ giữa các đường nét

- Giảm nhiễu có thể được thực hiện bằng cách làm mờ với bộ lọc tuyến tính hoặc phi tuyến tính

b. Bộ lọc trung vị

- Thay thế giá trị điểm ảnh đang xét bằng giá trị của điểm chính giữa trong dãy giá trị các điểm ảnh thu được thông qua bộ lọc sau khi sắp xếp tăng dần các giá trị điểm ảnh.

c. Bộ lọc thông thấp

- Loại bỏ những điểm ảnh có giá trị mức xám cao
- Sử dụng bộ lọc với các hệ số đối xứng nhau qua tâm của bộ lọc, các hệ số ở vị trí có khoảng cách gần tâm có giá trị \geq các hệ số ở vị trí có khoảng cách xa tâm.
- Một số bộ lọc thường dùng:

1	1	1
1	8	1
1	1	1

1	2	1
2	4	2
1	2	1

- Kích thước của bộ lọc ($2N-1, 2M-1$), ví dụ $3 \times 3, 5 \times 5 \dots$
- Đặt tâm của bộ lọc lên điểm ảnh cần xét, không xét những điểm nằm trên biên vùng ảnh.
- Tính toán đáp ứng đầu ra của bộ lọc theo công thức sau:

$$g(x, y) = \sum(w_i * f(x_i, y_i)) / \sum(w_i) \text{ với } i=1..Size, Size = m \times n \text{ là kích thước của bộ lọc.}$$

16. Trình bày về bộ lọc trung vị (Median Filters)?

a. Giới thiệu

- Bộ lọc trung vị là bộ lọc làm mượt phi tuyến trong miền không gian.
- Bộ lọc trung vị là một trong những bộ lọc theo thống kê thứ tự.
- Nó thay thế giá trị của điểm ảnh bằng trung vị của các mức xám của các điểm lân cận.
- Bộ lọc trung vị được dùng phổ biến, bởi vì với một số loại nhiễu nhất định, nó có thể lọc nhiễu rất tốt với độ mờ thấp hơn so với bộ lọc làm mượt tuyến tính (xét cùng kích thước).

b. Các bước thực hiện

- Trung vị E của một tập hợp là giá trị mà một nửa các giá trị trong tập hợp nhỏ hơn hoặc bằng E , một nửa các giá trị trong tập hợp lớn hơn hoặc bằng E
- Áp dụng bộ lọc trung vị lên điểm đang xét, ta sắp xếp các điểm ảnh và lân cận của nó theo thứ tự giá trị tăng dần và tìm giá trị trung vị, gán giá trị này cho giá trị điểm ảnh đang xét.
- Chức năng cơ bản của bộ lọc trung vị là thiết lập giá trị của các điểm với các mức xám khác nhau thành giá trị có vẻ như gần giống với các điểm lân cận.
- Khi áp dụng bộ lọc trung vị có kích thước $m \times n$, các điểm ảnh mà có số lượng các điểm lân cận cùng mức xám với nó nhỏ hơn $m*n/2$ sẽ bị thay thế bởi trung vị của tập đó, các điểm ảnh mà có số lượng các điểm lân cận có cùng mức xám lớn hơn hoặc bằng $m*n/2$ sẽ không bị ảnh hưởng, điều này khắc phục được nhược điểm làm mờ ảnh khi áp dụng bộ lọc trung bình.

17. Trình bày phép giãn ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?

a. Mục đích

- Mở rộng vùng ảnh.
- Lấp đầy khoảng trống.

b. Các bước thực hiện

- Xác định phần tử cấu trúc và tâm
- Đặt tâm vào điểm ảnh cần xử lý, không xét các điểm có giá trị 0.
- Thực hiện phép OR phần tử cấu trúc với ảnh để được kết quả tại điểm tương ứng.
- Dịch chuyển tâm của phần tử cấu trúc lần lượt qua từng điểm ảnh trên ảnh và lặp lại các bước trên.

c. Ví dụ

- Thực hiện phép giãn ảnh trên vùng ảnh sau:

<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0																																																																														
0	0	0	0	1	0																																																																														
0	1	1	0	1	0																																																																														
0	1	0	0	1	0																																																																														
0	1	1	1	1	0																																																																														
0	0	0	0	0	0																																																																														
1	1	1																																																																																	
1	1	1																																																																																	
1	1	1																																																																																	
0	0	0	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
Ma trận điểm ảnh	Phần tử cấu trúc	<u>Giải</u>																																																																																	

- **Nhận xét:**
 - ⇒ Vùng ảnh gốc đã được mở rộng.
 - ⇒ Khoảng trống ở giữa vùng ảnh cũng đã được lấp đầy.

18. Trình bày phép co ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?

a. Mục đích

- Thu nhỏ ảnh.
- Loại bỏ cầu nối, loại bỏ phần nhỏ, phần thừa ra.

b. Các bước thực hiện

- Xác định phần tử cấu trúc và tâm
- Đặt tâm vào điểm ảnh cần xử lý, không xét các điểm có giá trị 0.
- Nếu tất cả các điểm ảnh của phần tử cấu trúc nằm hoàn toàn trong các điểm ảnh của ảnh nhị phân thì điểm tương ứng trên ảnh kết quả sẽ là điểm ảnh (giá trị bằng 1). Ngược lại, điểm tương ứng trên ảnh kết quả sẽ là điểm nền (giá trị bằng 0)
- Dịch chuyển tâm của phần tử cấu trúc lần lượt qua từng điểm ảnh trên ảnh và lặp lại các bước trên.

c. Ví dụ

- Thực hiện phép co ảnh trên vùng ảnh sau:

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	0

1	1	1
1	1	1
1	1	1

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	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		
Ma trận điểm ảnh					Phần tử cấu trúc					<u>Giải</u>

- **Nhận xét:**

- ⇒ Vùng ảnh gốc đã được thu nhỏ.
- ⇒ 3 phần nhỏ nhô ra đã bị loại bỏ.

19. Trình bày phép mở ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?

a. Mục đích

- Loại bỏ cầu nối, loại bỏ phần nhô, phần thừa ra.
- Giữ nguyên cấu trúc, kích thước vùng ảnh

b. Các bước thực hiện

- Thực hiện liên tiếp 2 phép co ảnh và giãn ảnh:

$$X \circ S = (X \ominus S) \oplus S$$

c. Ví dụ

- Thực hiện phép mở ảnh trên vùng ảnh sau:

<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	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	1	1	1	1	1	1	0																																																																																																																																				
0	0	0	1	1	1	1	0																																																																																																																																				
0	0	0	1	1	1	1	0																																																																																																																																				
0	0	1	1	1	1	1	0																																																																																																																																				
0	0	0	1	1	1	1	0																																																																																																																																				
0	1	1	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
1	1	1																																																																																																																																									
1	1	1																																																																																																																																									
1	1	1																																																																																																																																									
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	0	0	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	1	1	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	1	1	0	0																																																																																																																																				
0	0	0	0	1	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																																																																																																																																				
Ma trận điểm ảnh	Phần tử cấu trúc	<u>Giải</u>																																																																																																																																									

- **Bước 1.** Co ảnh
- **Bước 2.** Giãn ảnh

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

- **Nhận xét:**

- ⇒ 3 phần nhỏ nhô ra đã bị loại bỏ.
- ⇒ Cấu trúc và kích thước vùng ảnh được giữ nguyên

20. Trình bày phép đóng ảnh? Cho ví dụ? Nhận xét kết quả?

a. Mục đích

- Lấp đầy khoảng trống, nối liền khoảng cách.
- Giữ nguyên cấu trúc, kích thước vùng ảnh

b. Các bước thực hiện

- Thực hiện liên tiếp 2 phép giãn ảnh và co ảnh:

$$X \bullet S = (X \oplus S) \ominus S$$

c. Ví dụ

- Thực hiện phép đóng ảnh trên vùng ảnh sau:

<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	<table><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<table><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0																																																																														
0	0	0	0	1	0																																																																														
0	1	1	0	1	0																																																																														
0	1	0	0	1	0																																																																														
0	1	1	1	1	0																																																																														
0	0	0	0	0	0																																																																														
1	1	1																																																																																	
1	1	1																																																																																	
1	1	1																																																																																	
0	0	0	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
1	1	1	1	1	1																																																																														
Ma trận điểm ảnh	Phần tử cấu trúc	Giải																																																																																	

- **Bước 1.** Giãn ảnh
- **Bước 2.** Co ảnh

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0

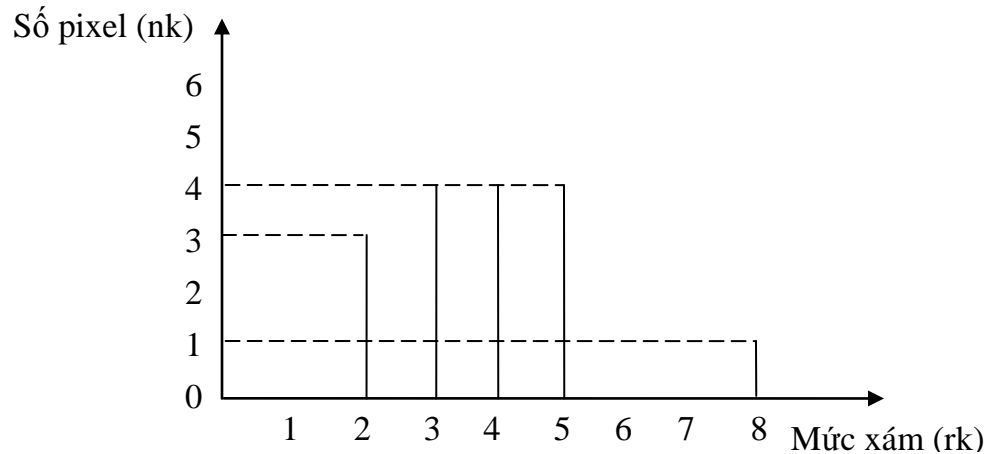
- **Nhận xét:**
 - ⇒ Khoảng trống ở giữa vùng ảnh cũng đã được lấp đầy.
 - ⇒ Cấu trúc và kích thước vùng ảnh được giữ nguyên.

^BÀI TẬP

1. Cân bằng Histogram

- ⇒ **Bước 1.** Vẽ biểu đồ Histogram của vùng ảnh.

5	3	3	2
4	2	4	3
5	3	5	8
2	4	5	4

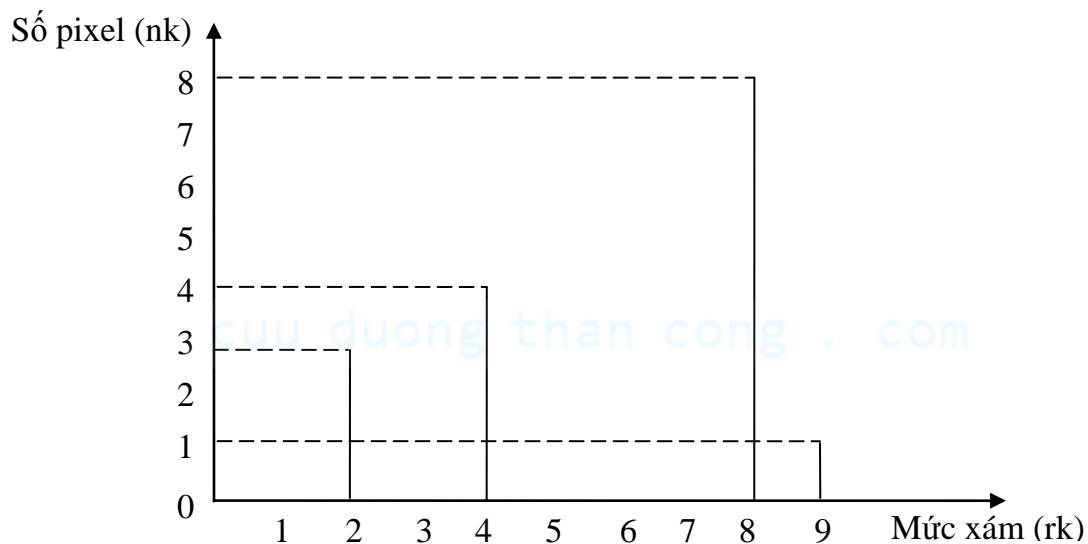


⇒ **Bước 2.** Lập bảng sau với $L = 10$ là số mức xám mới, $n = 16$ là tổng số pixel của vùng ảnh.

Mức xám rk	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Số pixel nk	0	0	3	4	4	4	0	0	1	0
$\Sigma(n_j)$, $j=0..k$	0	0	3	7	11	15	15	15	16	16
$s_k = \Sigma(n_j)/n$, $j=0..k$	0	0	3/16	7/16	11/16	15/16	15/16	15/16	1	1
$s_k = \text{Round}(s_k * (L - 1))$	0	0	2	4	6	8	8	8	9	9

⇒ **Bước 3.** Thay thế mức xám rk trong vùng ảnh ban đầu thành mức xám sk tương ứng và vẽ biểu đồ Histogram thu được.

8	4	4	2
8	2	8	4
8	4	8	9
2	8	8	8

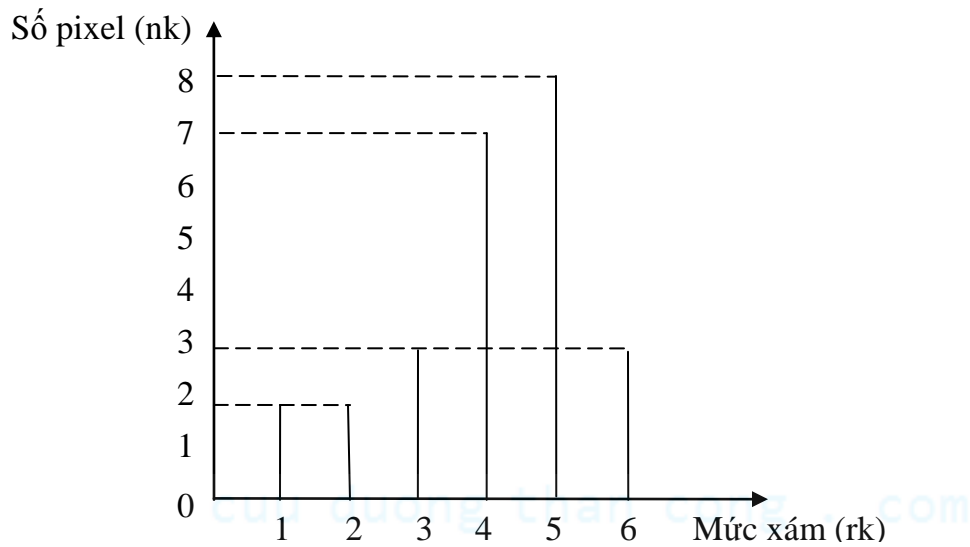


2. Xử lý Matching Histogram

Vùng ảnh X

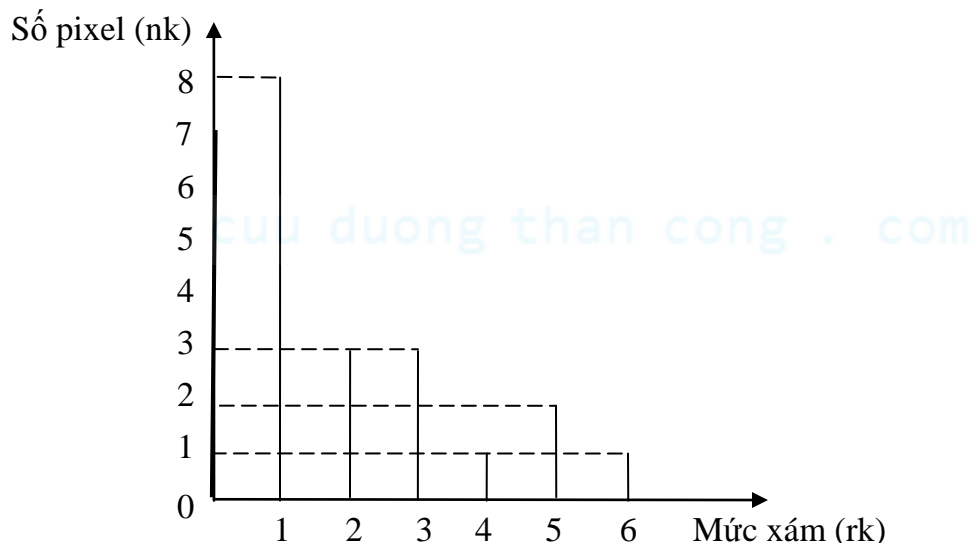
0	1	0	1	1
1	3	1	2	1
3	2	4	5	6
1	2	3	5	1
0	0	0	0	0

Histogram Z



⇒ **Bước 1:** Tính Equalization Histogram của vùng ảnh nguồn và vẽ biểu đồ histogram của vùng ảnh nguồn.

Mức xám r_k	0	1	2	3	4	5	6
Số pixel n_k	7	8	3	3	1	2	1
$p_x(i)$	0.28	0.32	0.12	0.12	0.04	0.08	0.24
$\Sigma(n_j), j=0..k$	7	15	18	21	22	24	25
$P_x(i)$	0.28	0.6	0.72	0.84	0.88	0.96	1



⇒ **Bước 2:** Tính $p_z(i)$ và $P_z(i)$

Mức xám rk	0	1	2	3	4	5	6
Số pixel nk	0	2	2	3	7	8	3
pz(i)	0	0.08	0.08	0.12	0.28	0.32	0.12
$\Sigma(n_j)$, j=0..k	0	2	4	7	14	22	25
Pz(i)	0	0.08	0.16	0.28	0.56	0.88	1

⇒ **Bước 3:** Với mỗi i, tìm j sao cho $|Px(i) - Pz(j)|$ min

i \ j	0	1	2	3	4	5	6	Min
0	0.28	0.2	0.12	0	0.28	0.6	0.72	3
1	0.6	0.52	0.44	0.32	0.04	0.28	0.4	4
2	0.72	0.67	0.56	0.44	0.16	0.16	0.28	4
3	0.84	0.76	0.68	0.56	0.28	0.04	0.16	5
4	0.88	0.04	0.72	0.6	0.32	0	0.12	5
5	0.96	0.88	0.8	0.68	0.4	0.08	0.04	6
6	1	0.92	0.84	0.72	0.44	0.12	0	6

⇒ **Bước 4:** Lập bảng Lookup[i] = j

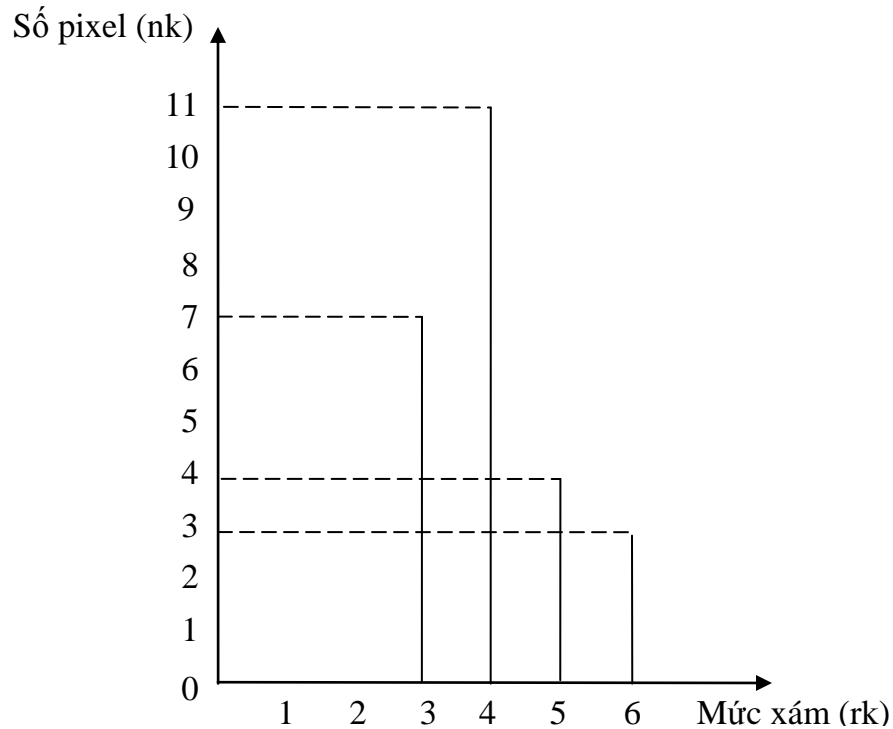
I	0	1	2	3	4	5	6
j	3	4	4	5	5	6	6

⇒ **Bước 5:** Thay thế các điểm ảnh có mức xám i trong vùng ảnh nguồn thành mức xám j tương ứng như trong bảng Lookup và vẽ biểu đồ Histogram thu được.

3	4	3	4	4
4	5	4	4	4
5	4	5	6	6
4	4	5	6	4
3	3	3	3	3

- Histogram của vùng ảnh thu được

Mức xám rk	0	1	2	3	4	5	6
Số pixel nk	0	0	0	7	11	4	3



3. Làm mượt vùng ảnh

Vùng ảnh

0	2	6	4
3	5	1	7
1	7	3	6
2	6	5	4

Mặt nạ kích thước (3x3)

1	1	1
1	8	1
1	1	1

Giải

x \ y	0	1	2	3
0	0	2	6	4
1	3	5	1	7
2	1	7	3	6
3	2	6	5	4

x \ y	0	1	2
0	1	1	1
1	1	8	1
2	1	1	1

- Tính đáp ứng $g(x, y) = \sum (w(x_i, y_i) * f(x_i, y_i)) / \sum w(x_i, y_i)$

- Tính đáp ứng $g(1, 1)$ cho $f(1, 1) = 5$

$$g(1, 1) = [w(0, 0)*f(0, 0) + w(0, 1)*f(0, 1) + w(0, 2)*f(0, 2) + w(1, 0)*f(1, 0) + w(1, 1)*f(1, 1) + w(1, 2)*f(1, 2) + w(2, 0)*f(2, 0) + w(2, 1)*f(2, 1) + w(2, 2)*f(2, 2)] / [w(0, 0) + w(0, 1) + w(0, 2) + w(1, 0) + w(1, 1) + w(1, 2) + w(2, 0) + w(2, 1) + w(2, 2)]$$

$$= (0*1 + 2*1 + 6*1 + 3*1 + 5*8 + 1*1 + 1*1 + 7*1 + 3*1) / (1 + 1 + 1 + 1 + 8 + 1 + 1 + 1 + 1)$$

$$= 63/16 \sim 4$$

$$g(1, 1) = 4$$

Tương tự:

- $g(1, 2) = (2 + 6 + 4 + 5 + 1 \cdot 8 + 7 + 7 + 3 + 6) / 16 = 48/16 = 3$

$$g(1, 2) = 3$$

$$g(2, 1) = (3 + 5 + 1 + 1 + 7 \cdot 8 + 3 + 2 + 6 + 5) / 16 = 82/16 \sim 5$$

Kết quả:

$$g(2, 1) = 5$$

- $g(2, 2) = (5 + 1 + 7 + 7 + 3 \cdot 8 + 6 + 6 + 5 + 4) / 16 = 65/16 \sim 4$

$$g(2, 2) = 4$$

0	2	6	4
3	4	3	7
1	5	4	6
2	6	5	4

4. Lựa chọn sử dụng bộ lọc trung vị Median Filter

Vùng ảnh

Mặt nạ kích thước (3x3)

0	2	6	4
3	5	1	7
1	7	3	6
2	6	5	4

x \ y	0	1	2	3
0	0	2	6	4
1	3	5	1	7
2	1	7	3	6
3	2	6	5	4

Giải

- Tính đáp ứng $g(1, 1)$ cho $f(1, 1) = 5$

Xét các điểm ảnh trong vùng láng giềng 3x3 với $f(1, 1)$ làm tâm ta có mảng giá trị các mức xám như sau:

$$A = \{ 0, 2, 6, 3, 5, 1, 1, 7, 3 \}$$

Sắp xếp mảng A được mảng S:

$$S = \{ 0, 1, 1, 2, 3, 3, 5, 6, 7 \}$$

Giá trị trung tâm của mảng S là $S[4] = 3$ nên $g(1, 1) = 3$.

- Tính đáp ứng $g(1, 2)$ cho $f(1, 2) = 1$

Xét các điểm ảnh trong vùng láng giềng 3x3 với $f(1, 2)$ làm tâm ta có mảng giá trị các mức xám như sau:

$$A = \{ 2, 6, 4, 5, 1, 7, 7, 3, 6 \}$$

Sắp xếp mảng A được mảng S:

$$S = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6, 7, 7 \}$$

Giá trị trung tâm của mảng S là $S[4] = 5$ nên $g(1, 2) = 5$.

- Tính đáp ứng $g(2, 1)$ cho $f(2, 1) = 7$

Xét các điểm ảnh trong vùng láng giềng 3x3 với $f(2, 1)$ làm tâm ta có mảng giá trị các mức xám như sau:

$$A = \{ 3, 5, 1, 1, 7, 3, 2, 6, 5 \}$$

Sắp xếp mảng A được mảng S:

$$S = \{ 1, 1, 2, 3, 3, 5, 5, 6, 7 \}$$

Giá trị trung tâm của mảng S là $S[4] = 3$ nên $g(2, 1) = 3$.

- Tính đáp ứng $g(2, 2)$ cho $f(2, 2) = 5$

Xét các điểm ảnh trong vùng láng giềng 3x3 với $f(2, 2)$ làm tâm ta có mảng giá trị các mức xám như sau:

0	2	6	4
3	3	5	7

$A = \{ 5, 1, 7, 7, 3, 6, 6, 5, 4 \}$

Sắp xếp mảng A được mảng S:

$S = \{ 1, 3, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7 \}$

Giá trị trung tâm của mảng S là $S[4] = 5$ nên $g(2, 2) = 5$.

1	3	5	6
2	6	5	4

- Kết quả:

5. Làm sắc nét vùng ảnh

Vùng ảnh

Mặt nạ kích thước (3x3)

2	3	5	5
5	5	3	8
9	3	2	5
3	6	3	9

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

x \ y	0	1	2	3
0	2	3	5	5
1	5	5	3	8
2	9	3	2	5
3	3	6	3	9

x \ y	0	1	2
0	1	1	1
1	1	-8	1
2	1	1	1

Giải

- Tâm mặt nạ là $-8 < 0$ nên đáp ứng được tính theo công thức:
 $g(x_i, y_i) = f(x_i, y_i) - \nabla^2 f(x_i, y_i)$
- $g(1, 1) = f(1, 1) - \nabla^2 f(1, 1)$
 $= f(1, 1) - [w(0,0) * f(0, 0) + w(0, 1)*f(0, 1) + w(0, 2) *f(0, 2) + w(1, 0) *f(1, 0) + w(1, 1) *f(1, 1) + w(1, 2) *f(1, 2) + w(2, 0) *f(2, 0) + w(2, 1)*f(2, 1) + w(2, 2) *f(2, 2)]$
 $= 5 - (2*1 + 3*1 + 5*1 + 5*1 + 5*(-8) + 3*1 + 9*1 + 3*1 + 2*1) = 13$

Tương tự:

- $g(1, 2) = 3 - (5*1 + 5*1 + 3*1 + 9*1 + 3*(-8) + 2*1 + 3*1 + 6*1 + 3*1) = -9$
 $g(1, 2) = g(1, 2) + 255 = -9 + 255 = 246$
- $g(2, 1) = 3 - (3*1 + 5*1 + 5*1 + 5*1 + 3*(-8) + 8*1 + 3*1 + 2*1 + 5*1) = -9$
 $g(2, 1) = g(2, 1) + 255 = -9 + 255 = 246$
- $g(2, 2) = 2 - (5*1 + 3*1 + 8*1 + 3*1 + 2*(-8) + 5*1 + 6*1 + 3*1 + 9*1) = -24$
 $g(2, 2) = g(2, 2) + 255 = -24 + 255 = 231$

2	3	5	5
5	13	246	8
9	246	231	5
3	6	3	9

Kết quả: