

4.3. CÁC BỘ LỌC KHÔNG GIAN LÀM MỊN TUYẾN TÍNH

Các bộ lọc không gian làm mịn được sử dụng để giảm sự biến đổi mạnh về cường độ sáng có trong ảnh. Một ứng dụng quan trọng của bộ lọc làm mịn là nó được sử dụng trong việc khử nhiễu bởi vì nhiễu ngẫu nhiên thường bao gồm các biến đổi mạnh về cường độ sáng. Các bộ lọc làm mịn thường được sử dụng kết hợp với các kỹ thuật khác để cải thiện chất lượng hình ảnh, chẳng hạn như kỹ thuật xử lý biểu đồ Histogram.

4.3.1. Bộ lọc trung bình số học

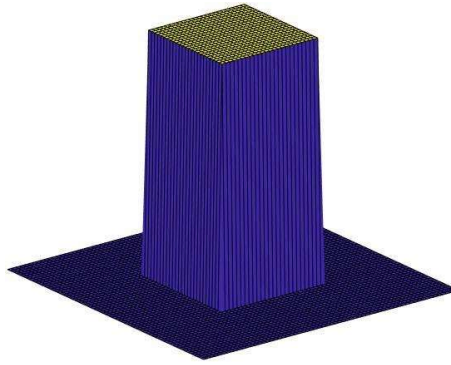
Bộ lọc trung bình (Arithmetic Mean Filter) hay còn được gọi với tên khác bộ lọc hình hộp (Box Filter). Bộ lọc này thực hiện thay thế giá trị của tâm mặt nạ bởi trung bình cộng các phần tử trong mặt nạ giao với ảnh. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc trung bình số học được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{amf} = \frac{1}{m * n} \sum_{s,t \in S_{mn}} g(s, t) \quad 4.34$$

Nói cách khác, hình ảnh đầu ra có thể thu được bởi việc nhân chập giữa hình ảnh đầu vào và mặt nạ lọc trung bình kích thước $m \times n$ như sau:

$$K = \frac{1}{m * n} \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Hình 4.14 minh họa cho mặt nạ lọc trung bình trong không gian 3 chiều.



Hình 4.14 Minh họa bộ lọc trung bình

Ví dụ 4.13:

Cho một ảnh đa cấp xám I 8 bit, kích thước 4×4 và một ma trận mặt nạ trung bình K kích thước 3×3 như sau:

200	210	205	200
205	208	204	210
200	10	200	201
210	203	206	5

Ma trận ảnh I

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

Ma trận mặt nạ

Thực hiện việc lọc nhiễu cho ảnh I .

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 200 & 210 \\ 0 & 205 & 208 \end{bmatrix}$$

Bước 2: Xác định giá trị trung bình của các giá trị trong cửa sổ $S_{mn}(0,0)$.

$$I_{tb}(0,0) = \frac{1}{9}(200 + 210 + 205 + 208)$$

$$I_{tb}(0,0) = 91.4444$$

$$I_{tb}(0,0) \approx 91$$

Như vậy, giá trị của ảnh tại vị trí $(0,0)$ sau khi lọc là 91. Thực hiện việc tính tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại, ta thu được kết quả sau:

91	137	137	91
115	182	183	136
115	183	161	114
69	114	92	68

Hình 4.15 minh họa cho ảnh bị nhiễu muối tiêu và ảnh sau khi lọc trung bình với mặt nạ lọc kích thước 7×7 .



(a) (b)
Hình 4.15 Minh họa lọc nhiễu trung bình cho ảnh

4.3.2. Bộ lọc nhị thức

Bộ lọc nhị thức (Binomial Filter) một chiều đơn giản nhất có thể làm mịn ảnh được xây dựng bằng cách lấy trung bình của 2 hàng xóm lân cận:

$$K = \frac{1}{2} * [1 \quad 1] \quad 4.35$$

Chúng ta có thể áp dụng bộ lọc này n lần theo hàng:

$$K_n = \frac{1}{2^n} * [1 \quad 1] * [1 \quad 1] * \dots * [1 \quad 1] \quad 4.36$$

Một số mặt nạ nhị thức trong trường hợp cụ thể:

Với $n = 2$:

$$K_2 = \frac{1}{4} * [1 \quad 2 \quad 1] \quad 4.37$$

Với $n = 3$:

$$K_3 = \frac{1}{8} * [1 \quad 3 \quad 3 \quad 1] \quad 4.38$$

Bộ lọc nhị thức 2 chiều có kích thước 3×3 được xây dựng như sau:

$$B = \frac{1}{4} [1 \quad 2 \quad 1] * \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \quad 4.39$$

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

Ví dụ 4.14:

Cho một ảnh đa cấp xám I 8 bit, kích thước 4×4 và một ma trận mặt nạ nhị thức K_B kích thước 3×3 như sau:

200	210	205	200
205	208	204	210
200	10	200	201
210	203	206	5

Ma trận ảnh I

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

Ma trận mặt nạ

Thực hiện việc lọc nhiễu cho ảnh I .

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 200 & 210 \\ 0 & 205 & 208 \end{bmatrix}$$

Bước 2: Xác định giá trị nhân chập giữa các phần tử của cửa sổ giao với ảnh.

$$I_B(0,0) = \frac{1}{16} (200 * 4 + 210 * 2 + 205 * 2 + 208 * 1)$$

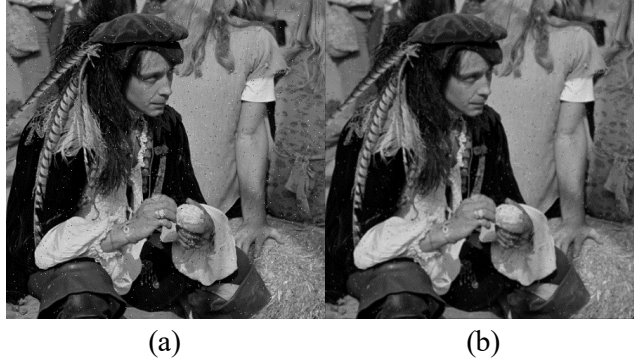
$$I_B(0,0) = 114.8750$$

$$I_B(0,0) \approx 115$$

Như vậy, giá trị của ảnh tại vị trí $(0,0)$ sau khi lọc là 115. Thực hiện việc tính tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại, ta thu được kết quả sau:

115	155	154	115
141	181	193	153
129	155	167	128
104	129	116	65

Hình 4.16 (a) là ảnh bị nhiễu và hình 4.16 (b) là ảnh sau khi lọc bởi bộ lọc nhị thức kích thước 3×3 .



Hình 4.16 Minh họa ảnh được lọc bởi bộ lọc nhị thức kích thước 3×3

4.3.3. Bộ lọc Gaussian

Hàm Gaussian 1 chiều có công thức sau:

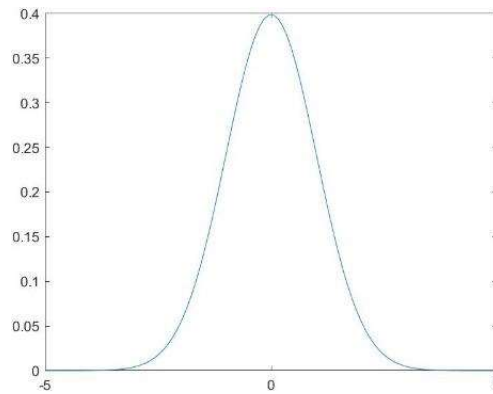
$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad 4.40$$

Trong đó:

μ là giá trị trung bình.

σ là độ lệch chuẩn (σ^2 phương sai)

Hình 4.17 minh họa đồ thị của hàm Gaussian với $\mu = 0$ và $\sigma = 1$



Hình 4.17 Đồ thị hàm Gaussian

Hàm Gaussian 2 chiều có công thức sau:

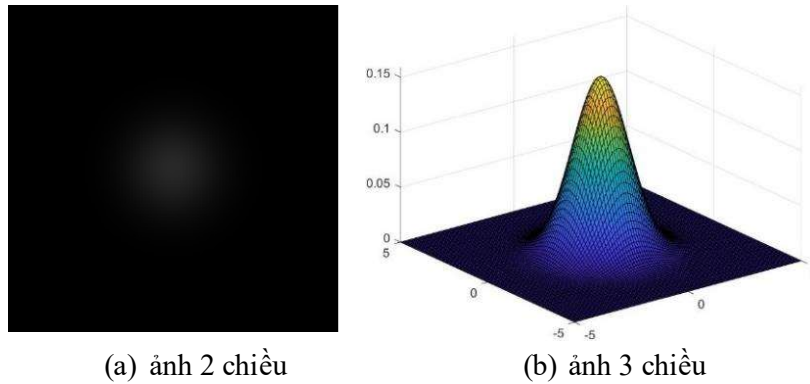
$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{\frac{-(x-\mu_1)^2}{2\sigma^2} + \frac{-(y-\mu_2)^2}{2\sigma^2}} \quad 4.41$$

Trong đó:

μ_1, μ_2 là các giá trị trung bình.

σ là độ lệch chuẩn (σ^2 phương sai)

Hình 4.18 minh họa đồ thị của hàm Gaussian được vẽ trong không gian 2 chiều và 3 chiều với $(\mu_1, \mu_2) = (0,0)$ và $\sigma = 1$



Hình 4.18 Minh họa bộ lọc Gaussian 2 chiều và 3 chiều

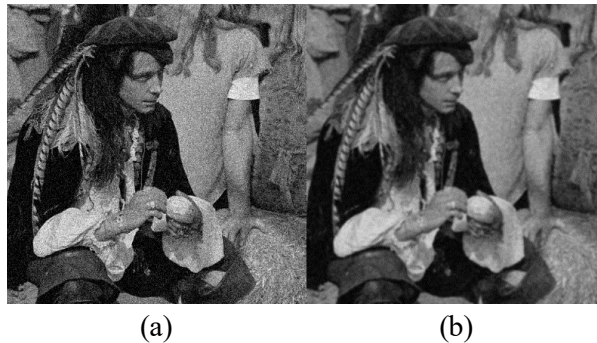
Giả sử ta cần tính mặt nạ Gaussian kích thước 5×5 . Áp dụng công thức tính Gaussian với các giá trị rời rạc của x, y nằm trong đoạn $[-2, 2]$, $(\mu_1, \mu_2) = (0, 0)$ và $\sigma = 1$

0.0029	0.0131	0.0215	0.0131	0.0029
0.0131	0.0585	0.0965	0.0585	0.0131
0.0215	0.0965	0.1592	0.0965	0.0215
0.0131	0.0585	0.0965	0.0585	0.0131
0.0029	0.0131	0.0215	0.0131	0.0029

Thực hiện việc chuẩn hóa ma trận Gaussian bằng cách chia cho tổng các phần tử ta thu được ma trận mặt nạ kích thước 5×5 như sau:

0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030
0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
0.0219	0.0983	0.1621	0.0983	0.0219
0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030

Hình 4.19 (a) là ảnh bị nhiễu Gaussian và hình 4.19 (b) là ảnh sau khi lọc bởi bộ lọc Gaussian.



Hình 4.19 Minh họa ảnh được lọc bởi bộ lọc Gaussian

4.4. CÁC BỘ LỌC PHI TUYẾN LÀM MỊN

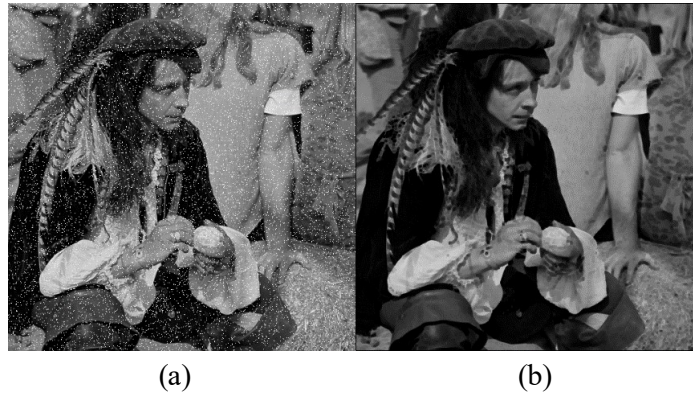
4.4.1. Bộ lọc Min – max

Bộ lọc nhiều Min:

Bộ lọc nhiều Min là một bộ lọc phi tuyến được sử dụng để giảm bớt nhiễu hạt muối trên ảnh (trên ảnh bị các chấm trắng, có thể quan sát nhiễu muối trong hình 4.20 (a)). Bộ lọc này thực hiện thay thế giá trị tại tâm của cửa sổ bằng giá trị nhỏ nhất của các phần tử trong cửa sổ mặt nạ giao với vùng ảnh. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc nhiều Min được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{min} = \min_{(s,t) \in S_{mn}} \{g(s, t)\} \quad 4.42$$

Hình 4.20 minh họa cho việc sử dụng bộ lọc nhiều Min. Hình 4.20 (a) là một hình ảnh bị nhiễu hạt muối và hình ảnh 4.20 (b) là hình ảnh sau khi áp dụng bộ lọc Min.



Hình 4.20 Minh họa bộ lọc nhiều Min

Ví dụ 4.15:

Cho một ma trận ảnh xám I 8 bit, kích thước 4×4 . Hãy lọc ảnh I bằng bộ lọc Min có kích thước 3×3 .

208	161	245	255
231	24	247	124
32	255	40	0
233	0	248	36

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao giữa mặt nạ và ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh là $S_{mn}(0,0)$ như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 208 & 161 \\ \hline 0 & 231 & 24 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị min trong vùng ảnh giao với cửa sổ mặt nạ.

Từ ma trận $S_{mn}(0,0)$, chúng ta xác định được giá trị min là 0. Như vậy, giá trị điểm ảnh ảnh sau khi lọc tại vị trí (0,0) là 0.

Thực hiện tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại. Ta thu được, ma trận ảnh sau khi lọc nhiễu như sau:

0	0	0	0
0	24	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

Bộ lọc nhiễu Max:

Bộ lọc Max là một bộ lọc phi tuyến được sử dụng để giảm bớt nhiễu hạt tiêu trên ảnh (trên ảnh bị các chấm đen, có thể quan sát nhiễu này trong hình 4.21 (a)). Bộ lọc này thực hiện thay thế giá trị tại tâm của cửa sổ bằng giá trị lớn nhất của các phần tử trong vùng ảnh giao với ma trận mặt nạ. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc nhiễu Max được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{max} = \max_{(s,t) \in S_{mn}} \{g(s, t)\} \quad 4.43$$

Hình 4.21 minh họa cho việc sử dụng bộ lọc nhiễu Max. Hình 4.21 (a) là một hình ảnh bị nhiễu hạt tiêu và hình ảnh 4.21 (b) là hình ảnh sau khi áp dụng bộ lọc Max.



(a) (b)

Hình 4.21 Minh họa bộ lọc nhiễu Max

Ví dụ 4.16:

Cho một ma trận ảnh xám I 8 bit, kích thước 4×4 . Hãy lọc ảnh I bằng bộ lọc Max có kích thước 3×3 .

208	161	245	255
231	24	247	124
32	255	40	0
233	0	248	36

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao giữa mặt nạ và ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh là $S_{mn}(0,0)$ như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 208 & 161 \\ \hline 0 & 231 & 24 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị max trong vùng ảnh giao với của sổ mặt nạ.

Từ ma trận $S_{mn}(0,0)$, chúng ta xác định được giá trị max là 231. Như vậy giá trị ảnh sau khi lọc tại vị trí $(0,0)$ là 231.

Thực hiện tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại. Ta thu được, ma trận ảnh sau khi lọc nhiễu như sau:

231	247	255	255
255	255	255	255
255	255	255	248
255	255	255	248

4.4.2. Bộ lọc trung điểm

Bộ lọc trung điểm (Midpoint filter) là một bộ lọc phi tuyến để khử nhiễu Gaussian và nhiễu đồng nhất (Uniform). Bộ lọc này thực hiện thay thế giá trị điểm ảnh bởi trung bình cộng của điểm ảnh có giá trị lớn nhất và giá trị nhỏ nhất trong của sổ giao với mặt nạ. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc nhiễu trung điểm được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{mf} = \frac{1}{2} \left(\min_{(s,t) \in S_{mn}} \{g(s, t)\} + \max_{(s,t) \in S_{mn}} \{g(s, t)\} \right) \quad 4.44$$

Hình 4.21 minh họa cho việc lọc nhiễu sử dụng bộ lọc trung điểm. Hình 4.21 (a) là một hình ảnh bị nhiễu Gaussian và hình 4.21 (b) là ảnh thu được sau khi sử dụng bộ lọc trung điểm.



(a)

(b)

Hình 4.22 Minh họa ảnh được lọc nhiễu bởi bộ lọc trung điểm

Ví dụ 4.17:

Cho một ma trận ảnh đa cấp xám I 8 bit, kích thước 4×4 . Hãy lọc ảnh I bằng bộ lọc trung điểm có kích thước 3×3 .

208	161	245	255
231	24	247	124
32	255	40	0
233	0	248	36

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao giữa mặt nạ và ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 208 & 161 \\ \hline 0 & 231 & 24 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị trung điểm trong vùng ảnh giao với của sổ mặt nạ.

Từ ma trận $S_{mn}(0,0)$, xác định được giá trị min trong cửa sổ là 0 và giá trị max trong cửa sổ là 231. Như vậy giá trị ảnh sau khi lọc tại vị trí $(0,0)$ là:

$$I_{mf}(0,0) = \frac{(0+231)}{2} \approx 116$$

Thực hiện tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại. Ta thu được, ma trận ảnh sau khi lọc nhiễu như sau:

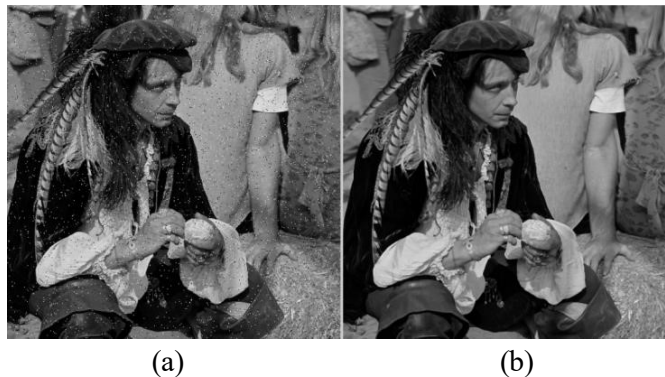
116	124	128	128
128	140	128	128
128	128	128	124
128	128	128	124

4.4.3. Bộ lọc trung vị

Bộ lọc thứ tự thống kê là bộ lọc không gian phi tuyến mà nó hoạt động dựa trên thứ tự (xếp hạng) các điểm ảnh có trong vùng được bộ lọc bao quanh. Việc làm mịn đạt được bằng cách thay thế giá trị của điểm ảnh trung tâm bằng giá trị được xác định bởi kết quả xếp hạng. Bộ lọc được biết đến nhiều nhất trong danh mục này là bộ lọc trung vị, như tên gọi của nó, bộ lọc này sẽ thay thế giá trị của điểm ảnh trung tâm bằng trung vị của các giá trị cường độ sáng trong vùng lân cận của điểm ảnh đó (bao gồm giá trị của điểm ảnh trung tâm trong tính toán trung vị). Bộ lọc trung vị cung cấp khả năng giảm nhiễu tốt cho một số loại nhiễu ngẫu nhiên nhất định, với độ mờ ít hơn đáng kể so với các bộ lọc làm mịn tuyến tính có kích thước tương tự. Bộ lọc trung vị đặc biệt hiệu quả khi có mặt của nhiễu xung (đôi khi được gọi là nhiễu muối tiêu, khi ảnh xuất hiện đồng thời các chấm trắng và đen trên một hình ảnh).

Trung vị m của một tập hợp là giá trị sao cho một nửa các giá trị trong tập hợp nhỏ hơn hoặc bằng m và một nửa lớn hơn hoặc bằng m . Để thực hiện bộ lọc trung vị tại một điểm trong ảnh, chúng ta sẽ sắp xếp các giá trị của các điểm ảnh trong vùng lân cận, xác định trung vị của chúng và gán giá trị đó cho điểm ảnh trong ảnh được lọc tương ứng với tâm của vùng lân cận. Ví dụ: trong một vùng lân cận có kích thước 3×3 , trung vị là giá trị lớn thứ 5, trong vùng lân cận có kích thước 5×5 , trung vị là giá trị lớn thứ 13. Khi một vài giá trị trong một vùng lân cận giống nhau, tất cả các giá trị bằng nhau được nhóm lại. Ví dụ: giả sử rằng một vùng lân cận 3×3 có các giá trị (10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25, 100). Các giá trị này được sắp xếp theo thứ tự tăng dần (10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100), dẫn đến trung vị là 20.

Hình 4.23 (a) cho thấy hình ảnh có nhiễu muối tiêu. Hình 4.23 (b) là kết quả của việc lọc ảnh nhiễu với bộ lọc trung vị. Nhận thấy rằng bộ lọc trung vị lọc nhiễu muối tiêu rất hiệu quả và không làm mờ các chi tiết của ảnh.



Hình 4.23 Minh họa việc lọc nhiễu bằng bộ lọc trung vị

Ví dụ 4.18:

Cho một ma trận ảnh xám I 8 bit, kích thước 4×4 . Hãy lọc ảnh I bằng bộ lọc trung vị có kích thước 3×3 .

208	161	245	245
231	24	247	124
32	71	40	204
233	140	248	36

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 208 & 161 \\ \hline 0 & 231 & 24 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định trung vị

Sắp xếp các giá trị trong ma trận $S_{mn}(0,0)$ theo thứ tự tăng dần như sau:

0	0	0	0	0	24	161	208	231
---	---	---	---	---	----	-----	-----	-----

Chọn được giá trị trung vị nằm ở vị trí thứ 5 là 0. Như vậy giá trị ảnh sau khi lọc tại vị trí $(0,0)$ là 0.

Thực hiện tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại. Ta thu được, ma trận ảnh sau khi lọc nhiễu bằng phương pháp trung vị như sau:

0	161	124	0
32	161	161	124
32	140	124	40
0	40	40	0

4.4.4. Bộ lọc trung bình hình học

Bộ lọc trung bình hình học (Geometric Mean Filter) là một bộ lọc phi tuyến làm mịn được sử dụng để khử nhiễu cho ảnh. Bộ lọc này thực hiện thay thế phần tử ảnh ở tâm mặt nạ bởi trung bình nhân của các phần tử trong một vùng ảnh giao với cửa sổ mặt nạ. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc trung bình hình học được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{gmf}(x, y) = \left(\prod_{(s,t) \in S_{mn}} g(s, t) \right)^{\frac{1}{m*n}} \quad 4.45$$

Bộ lọc này có những đặc điểm sau:

- Phù hợp với khử nhiễu Gaussian.
- Bảo tồn được các chi tiết của ảnh tốt hơn so với bộ lọc trung bình.

- Bộ lọc này không hiệu quả đối với nhiễu muối tiêu.

Ví dụ 4.19:

Cho một ảnh đa cấp xám I 8 bit, kích thước 4×4 và một ma trận mặt nạ K kích thước 3×3 . Hãy lọc ảnh I bởi bộ lọc trung bình hình học.

10	20	205	200
25	5	204	210
200	10	200	201
210	203	206	5

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0,0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 10 & 20 \\ \hline 0 & 25 & 5 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị trung bình hình học của các giá trị trong cửa sổ giao với ảnh.

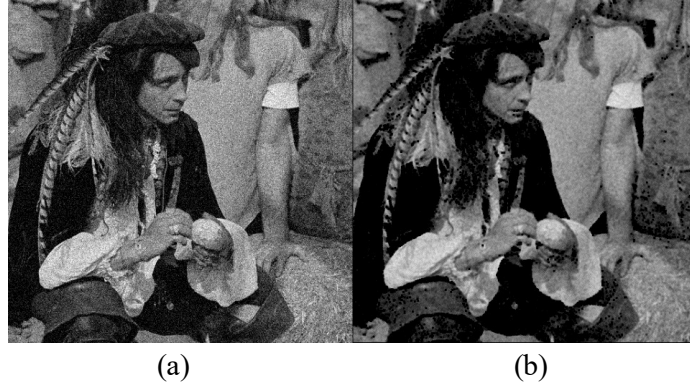
$$I_{gmf}(0,0) = (0 * 0 * 0 * 0 * 0 * 10 * 20 * 25 * 5)^{\frac{1}{9}}$$

$$I_{gmf}(0,0) = 0$$

Như vậy, giá trị của ảnh tại vị trí $(0,0)$ sau khi lọc là 0. Thực hiện việc tính tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại, ta thu được kết quả sau:

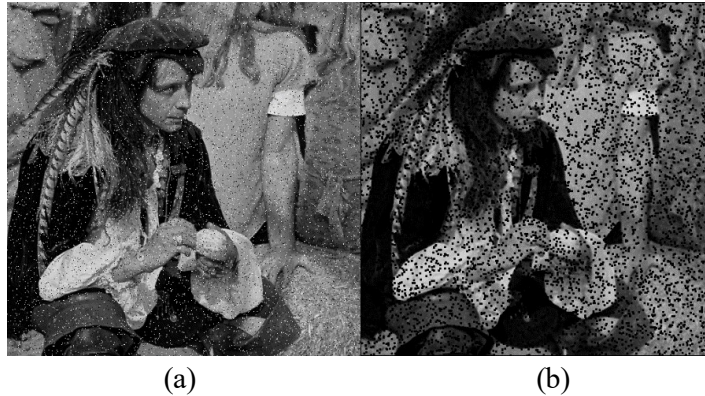
0	0	0	0
0	42	74	0
0	76	64	0
0	0	0	0

Hình 4.24 minh họa cho việc lọc ảnh bằng bộ lọc trung bình hình học. Hình 4.24 (a) là một ảnh bị nhiễu Gaussian, hình 4.24 (b) là hình ảnh thu được sau khi áp dụng bộ lọc trung bình hình học.



Hình 4.24 Minh họa lọc nhiễu Gaussian bằng bộ lọc trung bình hình học

Hình 4.25 minh họa cho việc không hiệu quả của bộ lọc trung bình hình học cho việc khử nhiễu muối tiêu. Hình 4.25 (a) là một hình ảnh bị nhiễu muối tiêu và hình ảnh 4.25 (b) thu được sau khi áp dụng bộ lọc nhiễu trung bình hình học. Dễ dàng nhận thấy hình ảnh thu được sau khi lọc có chất lượng thấp khi bị nhiễu hạt tiêu.



Hình 4.25 Minh họa việc thiếu hiệu quả của bộ lọc trung bình hình học

4.4.5. Bộ lọc trung bình điều hòa

Bộ lọc trung bình điều hòa (Harmonic Mean Filter) là một bộ lọc phi tuyến để loại bỏ nhiễu. Bộ lọc này có thể sử dụng để khử nhiễu hạt muối. Tuy nhiên, nó không hiệu quả để khử nhiễu hạt tiêu. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc trung bình điều hòa được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{hmf}(x, y) = (m * n) / \sum_{(s,t) \in S_{mn}} \frac{1}{g(s, t)} \quad 4.46$$

Hình 4.26 minh họa cho việc lọc ảnh bằng bộ lọc trung bình điều hòa. Hình 4.26 (a) là một ảnh bị nhiễu hạt muối, hình 4.26 (b) là hình ảnh thu được sau khi áp dụng bộ lọc trung bình điều hòa.



(a)

(b)

Hình 4.26 Minh họa lọc nhiễu hạt muối bằng bộ lọc trung bình điều hòa

Hình 4.27 minh họa cho việc không hiệu quả khi sử dụng bộ lọc trung bình điều hòa để lọc nhiễu hạt tiêu. Hình 4.27 (a) là một ảnh bị nhiễu hạt muối, hình 4.27 (b) là hình ảnh thu được sau khi áp dụng bộ lọc trung bình điều hòa.



(a)

(b)

Hình 4.27 Minh họa lọc nhiễu hạt tiêu bằng bộ lọc trung bình điều hòa

4.4.6. Bộ lọc trung bình bù điều hòa

Bộ lọc trung bình bù điều hòa (contra-harmonic mean filter) là một bộ lọc phi tuyến được sử dụng để khử một trong hai loại nhiễu: nhiễu muối hoặc nhiễu tiêu tùy thuộc vào giá trị của tham số trong bộ lọc. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} . Lọc trung bình bù điều hòa được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{chmf}(x, y) = \sum_{(s,t) \in S_{mn}} g^{Q+1}(s, t) / \sum_{(s,t) \in S_{mn}} g^Q(s, t) \quad 4.47$$

Trong đó: Q được gọi là bậc của bộ lọc.

Đối với các giá trị Q dương, bộ lọc loại bỏ nhiễu hạt tiêu. Đối với các giá trị Q âm, bộ lọc loại bỏ nhiễu hạt muối. Chú ý rằng, bộ lọc này không thể đồng thời khử nhiễu hạt muối và nhiễu hạt tiêu cùng một lúc.

Một số trường hợp đặc biệt:

- Nếu giá trị $Q = 0$, ta thu được bộ lọc trung bình số học.

- Nếu giá trị $Q = -1$, ta thu được bộ lọc trung bình điều hòa.

Ví dụ 4.20:

Cho một ảnh đa cấp xám I 8 bit, kích thước 4×4 và một ma trận mặt nạ K kích thước 3×3 . Hãy lọc ảnh I bởi bộ lọc trung bình bù điều hòa với $Q = 1$.

10	20	205	200
25	5	204	210
200	10	200	201
210	203	206	5

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Xét tại vị trí $(0, 0)$:

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí $(0, 0)$ của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,0) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 10 & 20 \\ \hline 0 & 25 & 5 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị của các điểm ảnh sau khi lọc trung bình bù điều hòa.

$$I_{chmf}(x, y) = \frac{\sum_{(s,t) \in S_{mn}} g^2(s, t)}{\sum_{(s,t) \in S_{mn}} g(s, t)}$$

Thành phần tử số của $I_{chmf}(x, y)$:

$$\begin{aligned} \sum_{(s,t) \in S_{mn}} g^2(s, t) &= 10^2 + 20^2 + 25^2 + 5^2 \\ \sum_{(s,t) \in S_{mn}} g(s, t) &= 1150 \end{aligned}$$

Thành phần mẫu số của $I_{chmf}(x, y)$:

$$\begin{aligned} \sum_{(s,t) \in S_{mn}} g(s, t) &= 10 + 20 + 25 + 5 \\ \sum_{(s,t) \in S_{mn}} g(s, t) &= 60 \end{aligned}$$

Xác định giá trị của $I_{chmf}(x, y)$ tại vị trí $(0, 0)$:

$$I_{chmf}(0,0) = \frac{1150}{60}$$

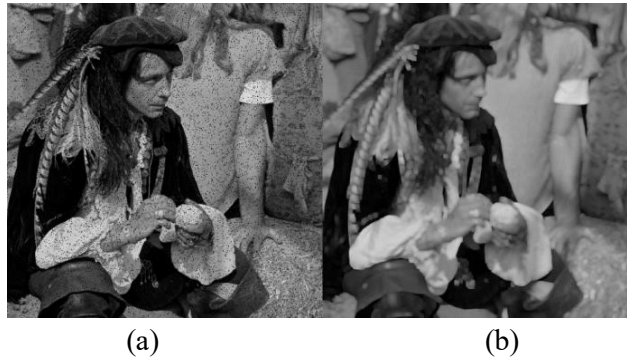
$$I_{chmf}(0,0) = 19.1667$$

$$I_{chmf}(0,0) \approx 19$$

Thực hiện tính toán tương tự cho tất cả các vị trí còn lại, ta thu được ma trận ảnh sau khi lọc bằng phương pháp bù điều hòa như sau:

19	162	196	203
18	184	197	202
185	197	200	202
197	200	197	198

Hình 4.28 minh họa cho việc lọc nhiễu hạt tiêu bằng bộ lọc trung bình bù điều hòa với tham số $Q = 2$. Hình 4.28 (a) là một hình ảnh bị nhiễu hạt tiêu, hình ảnh 4.28 (b) là hình ảnh thu được sau khi lọc nhiễu.



Hình 4.28 Minh họa lọc nhiễu hạt tiêu với tham số $Q = 2$

Hình 4.29 minh họa cho việc lọc nhiễu hạt muối bằng bộ lọc trung bình bù điều hòa với tham số $Q = -2$. Hình 4.29 (a) là một hình ảnh bị nhiễu hạt muối, hình ảnh 4.29 (b) là hình ảnh thu được sau khi lọc nhiễu.



Hình 4.29 Minh họa lọc nhiễu hạt muối với tham số $Q = -2$

4.4.7. Bộ lọc trung bình cắt alpha

Bộ lọc trung bình cắt alpha (Alpha-Trimmed Mean Filter) là một bộ lọc phi tuyến. Nó có thể được sử dụng để khử cả nhiễu muối tiêu và nhiễu Gaussian. Bộ lọc này loại bỏ

$d/2$ điểm ảnh có mức xám thấp nhất và $d/2$ điểm ảnh có mức xám cao nhất. Cho một ảnh I , gọi m, n là kích thước của ma trận mặt nạ, S_{mn} là vùng ảnh giao với mặt nạ, $g_r(s, t)$ là phần tử nằm trong vùng ảnh S_{mn} sau khi đã loại bỏ đi $d/2$ điểm ảnh có mức xám thấp nhất và $d/2$ điểm ảnh có mức xám cao nhất. Lọc trung bình cắt alpha được thực hiện theo công thức sau:

$$I_{atmf}(x, y) = \frac{1}{m * n - d} \sum_{(s,t) \in S_{xy}} g_r(s, t) \quad 4.48$$

Một số trường hợp đặc biệt của tham số d :

- Nếu $d = 0$, bộ lọc trở thành bộ lọc trung bình.
- Nếu $d = m * n - 1$, bộ lọc trở thành bộ lọc trung vị.

Ví dụ 4.21:

Cho một ảnh I 8 bit, kích thước 4×4 và một ma trận mặt nạ K kích thước 3×3 . Hãy lọc ảnh I bởi bộ lọc trung bình cắt alpha với $d = 2$.

10	20	205	200
25	5	204	210
200	10	200	201
210	203	206	5

Duyệt từng phần tử của ma trận ảnh. Tại mỗi vị trí thực hiện những bước sau:

Xét tại vị trí (0, 0):

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí (0,0) của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,0) =$$

0	0	0
0	10	20
0	25	5

Bước 2: Xác định giá trị của các điểm ảnh sau khi lọc trung bình cắt alpha.

Sắp xếp các giá trị trong ma trận $S_{mn}(0,0)$ theo thứ tự tăng dần như sau:

0	0	0	0	0	5	10	20	25
---	---	---	---	---	---	----	----	----

Vì $d = 2$ nên ta cắt đi 1 điểm ảnh có mức xám cao nhất và 1 điểm ảnh có mức xám thấp nhất ta thu được dãy điểm ảnh còn lại như sau:

0	0	0	0	5	10	20
---	---	---	---	---	----	----

Tính giá trị ảnh sau khi lọc tại vị trí (0,0):

$$I_{atmf}(0,0) = \frac{1}{3 * 3 - 2} (5 + 10 + 20)$$

$$I_{atmf}(0,0) = 5$$

Như vậy, giá trị của ảnh tại vị trí (0,0) sau khi lọc là 5.

Xét tại vị trí (0, 1):

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí (0,0) của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,1) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 10 & 20 & 205 \\ \hline 25 & 5 & 204 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị của các điểm ảnh sau khi lọc trung bình cắt alpha.

Sắp xếp các giá trị trong ma trận $S_{mn}(0,1)$ theo thứ tự tăng dần như sau:

0	0	0	5	10	20	25	204	205
---	---	---	---	----	----	----	-----	-----

Vì $d = 2$ nên ta cắt đi 1 điểm ảnh có mức xám cao nhất và 1 điểm ảnh có mức xám thấp nhất ta thu được dãy điểm ảnh còn lại như sau:

0	0	5	10	20	25	204
---	---	---	----	----	----	-----

Tính giá trị ảnh sau khi lọc tại vị trí (0,1):

$$I_{atmf}(0,1) = \frac{1}{3 * 3 - 2} (5 + 10 + 20 + 25 + 204)$$

$$I_{atmf}(0,1) = 37.7143$$

$$I_{atmf}(0,1) \approx 38$$

Như vậy, giá trị của ảnh tại vị trí (0,1) sau khi lọc là 38.

Xét tại vị trí (0, 2):

Bước 1: Xác định vùng giao với ảnh.

Đặt tâm mặt nạ kích thước 3×3 tại vị trí (0,2) của ảnh I , khi đó ta được vùng giao với ảnh có kích thước 3×3 như sau:

$$S_{mn}(0,2) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline 20 & 205 & 200 \\ \hline 5 & 204 & 210 \\ \hline \end{array}$$

Bước 2: Xác định giá trị của các điểm ảnh sau khi lọc trung bình cắt alpha.

Sắp xếp các giá trị trong ma trận $S_{mn}(0,2)$ theo thứ tự tăng dần như sau:

0	0	0	5	20	200	204	205	210
---	---	---	---	----	-----	-----	-----	-----

Vì $d = 2$ nên ta cắt đi 1 điểm ảnh có mức xám cao nhất và 1 điểm ảnh có mức xám thấp nhất ta thu được dãy điểm ảnh còn lại như sau:

0	0	5	20	200	204	205
---	---	---	----	-----	-----	-----

Tính giá trị ảnh sau khi lọc tại vị trí $(0,2)$:

$$I_{atmf}(0,2) = \frac{1}{3 * 3 - 2} (5 + 20 + 200 + 204 + 205)$$

$$I_{atmf}(0,2) = 90.5714$$

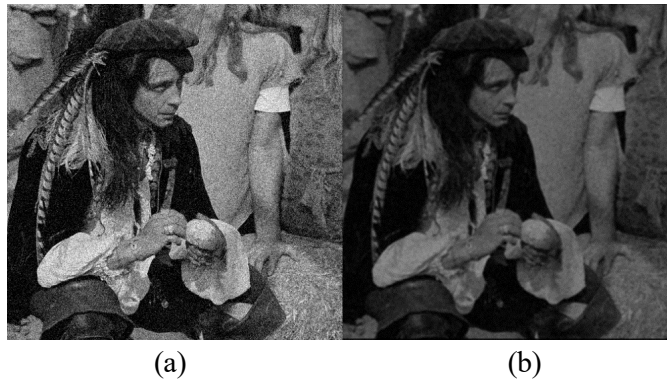
$$I_{atmf}(0,2) \approx 91$$

Như vậy, giá trị của ảnh tại vị trí $(0,2)$ sau khi lọc là 91.

Thực hiện việc tính tương tự cho tất cả các điểm ảnh còn lại, ta thu được kết quả sau:

5	38	91	87
10	96	149	144
63	150	147	117
59	117	88	58

Hình 4.30 minh họa cho việc lọc nhiễu Gaussian bởi bộ lọc trung bình cắt alpha. Hình 4.30 (a) là một hình ảnh bị nhiễu Gaussian, hình 4.30 (b) là một hình ảnh thu được sau khi áp dụng bộ lọc khử nhiễu trung bình cắt alpha.



Hình 4.30 Minh họa cho việc lọc nhiễu Gaussian bởi bộ lọc trung bình cắt alpha

Hình 4.31 minh họa cho việc lọc nhiễu muối tiêu bởi bộ lọc trung bình cắt alpha. Hình 4.31 (a) là một hình ảnh bị nhiễu muối tiêu, hình 4.31 (b) là một hình ảnh thu được sau khi áp dụng bộ lọc khử nhiễu trung bình cắt alpha.



(a)

(b)

Hình 4.31 Minh họa cho việc lọc nhiễu muối tiêu bởi bộ lọc trung bình cắt alpha