| **ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  **TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**    **Nhóm 04**  **BỘ LỌC MEDIAN-RATIONAL HYBRID FILTER**  **BÁO CÁO BÀI TẬP LỚN**  **MÔN: XỬ LÝ ẢNH**  **Lớp: INT3404E\_40**  **Giảng viên: PGS.TS Lê Thanh Hà**  **HÀ NỘI - 2022** |
| --- |

**Giới thiệu thành viên và phân công công việc**

| **STT** | **MSSV** | **Họ và tên** | **Đóng góp** |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 20021410 | Nguyễn Văn Phong | * Tìm hiểu và cài đặt bộ lọc FIR cho bộ lọc chính. * Tổng hợp và viết báo cáo |
| 2 | 20021416 | Nguyễn Đức Anh Quân | * Tìm hiểu và cài đặt bộ lọc thành phần weighted median filter cho bộ lọc chính. * Tổng hợp và viết báo cáo. |
| 3 | 20021418 | Nguyễn Minh Quy | * Tìm hiểu và cài đặt phương thức đánh giá bộ lọc đã xây dựng. * Tổng hợp và viết báo cáo. |

**MỤC LỤC**

**MỞ ĐẦU**

Bài báo cáo được tổng hợp và thuật toán được cài đặt dựa trên bài báo cáo gốc Median-Rational hybrid filter[1]. Bộ lọc Median-Rational Hybrid (MRH) là một bộ lọc phi tuyến tính (nonlinear). Đầu ra của bộ lọc này là sự kết hợp hợp lý của các đầu ra của 3 bộ lọc thành phần của bộ lọc chính. 3 bộ lọc thành phần có thể bao gồm 2 bộ lọc FIR 1 bộ lọc Center Weighted Median (CWM). Các bộ lọc Median-Rational hybrid kế thừa các tính chất của bộ lọc Weighted Median (WM) là giảm hiệu ứng nhiễu tốt trên vùng ảnh mịn (ví dụ như vùng nền)trong khi đó ở vùng ảnh có nhiều sự thay đổi ( ví dụ như vùng cạnh), việc phản ứng tốt với thay đổi được ưu tiên hơn so với việc giảm nhiễu. Bộ lọc MRH sau khi được xây dựng sẽ được so sánh với các bộ lọc phi tuyến khác về hiệu quả trong việc khôi phục ảnh.

Hiệu quả trong việc khôi phục chất lượng ảnh của bộ lọc là rất tốt về mặt cảm quan cũng như hiệu quả trong việc giảm các lỗi MAE( lỗi kỳ vọng tuyệt đối - Mean absolute error) và lỗi MSE( lỗi kỳ vọng bình phương - Mean square error) cũng rất ổn định.

**GIỚI THIỆU**

Bộ lọc rational là một trong những bộ lọc phi tuyến phổ biến hiện nay và có đầu ra là thương của 2 đa thức. Bộ lọc này rất hiệu quả khi được sử dụng để giải quyết các bài toán xử lý tín hiệu khác nhau nhờ những đặc tính của nó, ví dụ như tính ước lượng phổ quát, tính ngoại suy tốt,... Ngoài ra, bộ lọc này có thể được huấn luyện với 1 thuật toán tuyến tính cũng như yêu cầu ít tham số hơn so với khai triển Volterra.

Bộ lọc rational đã được sử dụng trong nhiều nghiên cứu trước đó. Leung và Haykin[6] đã sử dụng bộ lọc này dựa trên nghiên cứu của Walsh[12] cho bài toán phát hiện và đánh giá tín hiệu. Nghiên cứu này sau đó được áp dụng bởi Ramponi[7], [8] cho bài toán lọc và nâng cao chất lượng ảnh. Ngoài ra, nó còn được sử dụng cho dữ liệu nhiều chiều cho bài toán nội suy ảnh màu[4].

Đối với bài toán khôi phục ảnh, bộ lọc rational[7] có hiệu quả rất tốt khi xử lý các ảnh có chứa nhiễu Gaussian đã được biến đổi với mức signal-to-noise ratio (SNR) cao. Bộ lọc Median-Rational Hybrid (MRH) được xây dựng dựa trên bộ lọc rational nhằm đối phó với các loại nhiễu khác nhau như nhiễu Gaussian, nhiễu xung và nhiễu kết hợp Gaussian và xung,.... Bộ lọc MRH bao gồm 3 bộ lọc con, trong đó thành phần trung tâm là 1 bộ lọc Center Weighted Median (CWM).

**MEDIAN-RATIONAL HYBRID FILTER**

Như đã nói ở phần giới thiệu, bộ lọc MRH được phát triển dựa trên bộ lọc rational, bao gồm 3 bộ lọc thành phần với thành phần chính là bộ lọc CWM. Vì vậy, trước khi tìm hiểu về cấu trúc và cách thức hoạt động của bộ lọc MRH, ta cần tìm hiểu về bộ lọc CWM và bộ lọc rational. Ngoài ra, ta cũng cần tìm hiểu về bộ lọc FIR khi mà bộ lọc này được sử dụng trong 1 trong các cấu trúc của bộ lọc MRH.

1. **Bộ lọc Center Weighted Median (CWM):**
2. **Bộ lọc trung vị (Median filter):**

Bộ lọc trung vị là một bộ lọc phi tuyến (non-linear), nó khá hiệu quả đối với hai loại nhiễu: nhiễu đốm (speckle noise) và nhiễu muối tiêu (salt-pepper noise). Bộ lọc này được sử dụng rất phổ biến trong xử lý ảnh.

Ý tưởng chính của bộ lọc này như sau: ta sử dụng một cửa sổ lọc (ma trận 3×3) quét qua lần lượt từng điểm ảnh của ảnh đầu vào. Tại vị trí mỗi điểm ảnh lấy giá trị của các điểm ảnh tương ứng trong vùng 3×3 của ảnh gốc “lấp” vào ma trận lọc. Sau đó sắp xếp các điểm ảnh trong cửa sổ này theo thứ tự (tăng dần hoặc giảm dần tùy ý). Cuối cùng, gán điểm ảnh nằm chính giữa (trung vị) của dãy giá trị điểm ảnh đã được sắp xếp ở trên cho giá trị điểm ảnh đang xét của ảnh đầu ra.

1. **Bộ lọc Center Weighted Median (CWM):**

Bộ lọc Weighted Median (WM) là sự tổng quát hóa của bộ lọc trung vị, trong đó mỗi vị trí cửa sổ được gán một trọng số. Số lần lấy giá trị mẫu của ảnh tại 1 ô ở cửa sổ bộ lọc bằng trọng số tại ở ô tương ứng của cửa số bộ lọc. Giá trị trung vị của danh sách mẫu đã được sắp xếp tăng dần là đầu ra của bộ lọc WM.

Trong bộ lọc CWM, trọng số tại vị trí tâm của cửa sổ bộ lọc có giá trị lớn nhất và bằng 2K + 1 với K là số không âm. Các trong số còn lại đều bằng 1. Trong quá trình xây dựng bộ lọc MRH, trọng số tại một số ô của cửa sổ bộ lọc, cụ thể là 4 góc của cửa số bộ lọc, được đặt bằng 0.

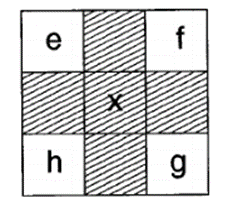
Bộ lọc CWM có tính bảo toàn chi tiết cao hơn so với bộ lọc trung vị cơ bản vì bộ lọc trung vị cơ bản có xu hướng loại bỏ các chi tiết hình ảnh như các đường mảnh khi giảm nhiễu. Hoạt động của bộ lọc CWM có thể dễ dàng điều chỉnh bằng cách thay đổi trọng số trung tâm (tham số K) khi bộ lọc có kích thước cửa sổ cố định. CWM filter có thể khác nhau giữa bộ lọc trung vị (K = 0) và identity filter (K ≥ M - 12, với M là kích thước của cửa sổ bộ lọc) trong trường hợp đó thì đầu ra giống với đầu vào. Khi

K=(M- 12)- 1, CWM filter trở nên bình thường, tức là nó tạo ra tín hiệu gốc sau một lần lọc qua.

1. **Bộ lọc rational:**

Bộ lọc rational bao gồm tỷ lệ của 2 đa thức. Trên thực tế, bộ lọc này có nhiều đặc tính giúp nó hoạt động hiệu quả trong nhiều bài toán xử lý tín hiệu khác nhau, ví dụ như: tính ước lượng phổ quát, tính ngoại suy tốt,... Ngoài ra, bộ lọc này có thể được huấn luyện với 1 thuật toán tuyến tính cũng như yêu cầu ít tham số hơn so với khai triển Volterra.

**Hàm rational:**



*Hình 1. Mask 3x3 để nội suy mẫu x bằng cách sử dụng dữ liệu đã biết e, f, g và h.*

Các kỹ thuật xấp xỉ phi tuyến hiện nay thường được sử dụng do khả năng nắm bắt các đặc điểm phức tạp và nổi bật trong các tín hiệu được xử lý. Các hàm xấp xỉ thực tế là các hàm đơn giản, có độ phức tạp tính toán thấp và có thể biểu diễn một tín hiệu đã cho với độ chính xác cần thiết. Hàm rational là một trong những hàm như vậy. Ví dụ, các hàm lượng giác được tính toán bằng cách sử dụng các hàm xấp xỉ theo tỷ lệ trên máy tính. Tổng quát hơn, một số vấn đề kỹ thuật như biến đổi quang học, nội suy chuỗi hình ảnh TV, điện trở đầu vào của mạng điện trở xếp tầng và truyền ảnh cho hai gương parabol hướng vào trong đã được biểu diễn tốt bằng hàm rational . Các ứng dụng này khẳng định tầm quan trọng của hàm rational , và do đó phù hợp với việc kết hợp chúng trong thiết kế các bộ lọc phi tuyến.

Gần đây, hàm rational được đề xuất như một loại kỹ thuật xử lý tín hiệu phi tuyến mới. Mối quan hệ đầu vào/đầu ra cho một hàm rational được mô tả bằng phương trình sau:

y = (1)

Trong đó x1, x2, ... , xm là đầu vào vô hướng cho bộ lọc; y là đầu ra của bộ lọc; a0, b0, aij và bij là các tham số bộ lọc.

Các đại diện được mô tả trong phương trình (1) là duy nhất cho đến các thừa số không đổi trong các đa thức ở tử số và mẫu số. Hàm rational rõ ràng phải có thứ tự hữu hạn để hữu ích trong việc giải các bài toán thực tế. Giống như các hàm đa thức, hàm rational là một hàm gần đúng phổ quát. Hơn nữa, nó có thể đạt độ chính xác cao hơn đáng kể với độ phức tạp thấp hơn và có khả năng ngoại suy tốt hơn các hàm đa thức.

Ramponi[7], [8] đã đề xuất một bộ lọc hợp lý và sử dụng nó trong các tác vụ xử lý ảnh khác nhau, chẳng hạn như tăng cường và lọc ảnh. Sau đó, ông đề xuất một bộ lọc hợp lý cho phép nội suy ảnh có thể tái tạo lại các cạnh sắc nét một cách chính xác mà không có hiệu ứng ringing. Giá trị của pixel x được nội suy theo hình 1 được tính như sau:

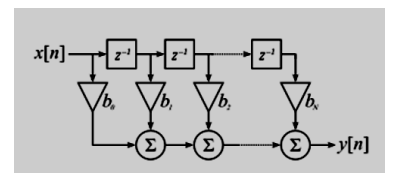
x =

= ( + + + ) (2)

Trong đó W = wef + wfg + wgh + whe. Các bộ lọc được cho bởi w = , {e, f, g, h} và k là một hằng số dương cố định. Tham số k kiểm soát tính phi tuyến của phân bố trọng số.

1. **Bộ lọc Finite Impulse Response (FIR):**

Trong xử lý tín hiệu số, bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn (FIR) là bộ lọc có đáp ứng xung (hoặc đáp ứng với bất kỳ đầu vào có độ dài hữu hạn nào) có khoảng thời gian hữu hạn, bởi vì nó ổn định về 0 trong thời gian hữu hạn. Điều này trái ngược với các bộ lọc đáp ứng xung vô hạn (IIR), có thể có phản hồi bên trong và có thể tiếp tục đáp ứng vô thời hạn (thường là phân rã).Đáp ứng xung của bộ lọc FIR thời gian rời rạc bậc N (nghĩa là với đầu vào xung delta Kronecker) kéo dài trong N + 1 mẫu, sau đó ổn định về 0.Bộ lọc FIR có thể là thời gian rời rạc hoặc thời gian liên tục và kỹ thuật số hoặc tương tự.



*Hình 2. Sơ đồ khối của FIR filter*

Bộ lọc FIR thời gian rời rạc bậc N. Phần trên cùng là đường trễ bậc N với N + 1 điểm nhấn. Mỗi độ trễ đơn vị là một toán tử z-1 trong ký hiệu biến đổi Z. Đầu ra y của hệ thống bất biến thời gian tuyến tính được xác định bằng cách kết hợp tín hiệu đầu vào x với đáp ứng xung b của nó. Đối với bộ lọc FIR thời gian rời rạc, đầu ra là tổng trọng số của dòng điện và một số hữu hạn các giá trị trước đó của đầu vào. Hoạt động này được mô tả bằng phương trình sau, phương trình này xác định trình tự đầu ra y[n] theo trình tự đầu vào x[n] của nó:

y[n] = b0x[n] + b1x[n - 1] + … + bNx[n - N] = bix[n - i] (3)

Trong đó:

* x[n] là tín hiệu đầu vào
* y[n] là tín hiệu đầu ra
* bi là là các hệ số bộ lọc, còn được gọi là trọng số vòi, tạo nên đáp ứng xung
* N là thứ tự bộ lọc; bộ lọc thứ N có (N + 1) số hạng ở vế phải. X[n-i] trong các thuật ngữ này thường được gọi là điểm nhấn, dựa trên cấu trúc của đường trễ điểm nhấn mà trong nhiều triển khai hoặc sơ đồ khối cung cấp đầu vào bị trễ cho phép toán nhân. Chẳng hạn, người ta có thể nói về bộ lọc bậc 5/6 vòi.

Tính chất của bộ lọc FIR

* Không yêu cầu thông tin phản hồi. Điều này có nghĩa là bất kỳ lỗi làm tròn nào không được cộng gộp bởi các phép lặp tổng hợp. Lỗi tương đối giống nhau xảy ra trong mỗi phép tính. Điều này cũng làm cho việc thực hiện đơn giản hơn.
* Sự ổn định vốn có. Điều này là do thực tế là do không có phản hồi cần thiết, nên tất cả các cực đều nằm ở gốc tọa độ và do đó nằm trong vòng tròn đơn vị (điều kiện cần thiết cho sự ổn định trong hệ thống biến đổi Z).
* Vấn đề pha: có thể dễ dàng được thiết kế thành pha tuyến tính bằng cách làm cho chuỗi hệ số đối xứng; pha tuyến tính, hay pha thay đổi tỷ lệ với tần số, tương ứng với độ trễ bằng nhau ở mọi tần số. Thuộc tính này đôi khi được mong muốn cho các ứng dụng nhạy cảm với pha, ví dụ như truyền dữ liệu, bộ lọc chéo và làm chủ.

Trong bài báo gốc, bộ lọc MRH sử dụng hai bộ lọc con FIR vì nó có một vài ưu điểm:

* FIR filter có thể dễ dàng được thiết kế để trở thành “linear phase” (pha tuyến tính). Nói một cách đơn giản, các bộ lọc pha tuyến tính làm trễ tín hiệu đầu vào nhưng không làm biến dạng pha của nó.
* FIR filter rất đơn giản để thực hiện
* FIR filter phù hợp với các ứng dụng đa tỷ lệ. Theo đa tỷ lệ, chúng có nghĩa là "số thập phân" (giảm tốc độ lấy mẫu), "nội suy" (tăng tốc độ lấy mẫu) hoặc cả hai. Dù là thập phân hay nội suy, việc sử dụng bộ lọc FIR cho phép bỏ qua một số tính toán, do đó mang lại hiệu quả tính toán quan trọng.

1. **Cấu trúc và cách thức hoạt động của bộ lọc MRH:**

Cách thức hoạt động và cấu trúc của bộ lọc MRH sẽ được trình bày ở cả 2 trường hợp tín hiệu 1 chiều và tín hiệu 2 chiều. Ở trường hợp tín hiệu 1 chiều, ta sẽ hiểu được cách thức hoạt động chung của bộ lọc và vai trò của từng thành phần trong bộ lọc. Trong khi đó trường hợp tín hiệu 2 chiều sẽ chủ yếu trình bày các cấu trúc khác nhau trong việc kết hợp các thành phần để tạo thành ma trận MRH hoàn chỉnh.

1. **Tín hiệu 1 chiều:**

Xét vector đầu vào X(n) = [x(n - N), x(n - N + 1), …, x(n), x(n + 1), …, x(n + N - 1), x(n + N)] chứa 2N +1 mẫu xung quanh chỉ số n. Đầu ra y(n) của bộ lọc MRH là kết quả của 1 hàm rational có 3 thành phần Φ1 , Φ2 , Φ3 với thành phần trung tâm Φ2 là 1 bộ lọc Center weighted Median. Đầu ra y(n) của bộ lọc MRH là như sau:

y(n) = Φ2(n) + (4)

Trong đó, ⍺ = [⍺1, ⍺2, ⍺3]T là vector chứa các hệ số gắn với các bộ lọc thành phần và thỏa mãn điều kiện: = 0. Trong bài báo gốc và trong code mà nhóm cài đặt, ⍺ = [1, -2, 1]T. *h* và *k*  là các hằng số dương, trong đó *k* được sử dụng để kiểm soát tác động của các bộ lọc phi tuyến tính (ở đây là bộ lọc Φ2. Còn 2 ma trận thành phần Φ1 và Φ3 được lựa chọn sao cho có thể dung hòa tốt cả 2 tính chất là khống chế nhiễu và bảo toàn các cạnh và chi tiết của ảnh gốc ở một mức độ nhất định cho bộ lọc MRH. Ta có thể dễ dàng nhận thấy rằng sự khác nhau chính giữa bộ lọc MRH và bộ lọc tuyến tính low-pass nằm ở việc đánh trọng số được áp dụng ở 2 bộ lọc Φ1 và Φ3. Cụ thể, phương trình bao gồm tổng của các tích giữa đầu ra của 3 bộ lọc Φ1, Φ2, Φ3 và 3 hệ số ⍺1, ⍺2, ⍺3 sẽ được chia với 1 hệ số có tỉ lệ thuận với phương trình giúp phát hiện cạnh (cụ thể là phương trình (Φ1(n) - Φ3(n))2). Đầu ra khi đi qua ma trận Φ2 được cập nhật bằng cách công với thương của 2 phương trình trên. Sơ đồ ở hình 1 thể hiện cấu trúc của bộ lọc MRH 1 chiều với Φ1 và Φ3 là các bộ lọc FIR.Với mỗi hằng số dương k khác nhau, bộ lọc MRH sẽ cho ra các đầu ra có tính chất như sau:

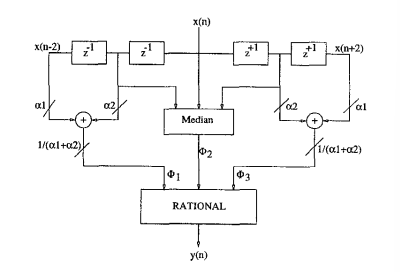
* k ≅ 0: ta có được đầu ra là quan hệ tuyến tính giữa 3 bộ lọc thành phần. Cụ thể như sau:

y(n) = Φ2(n) + (5)

* k → ∞: ta có được đầu ra giống với đầu ra của bộ lọc median và hàm rational không có tác dụng:

y(n) = Φ2(n) (6)

* Với các giá trị khác của k, phương trình ( - )2 sẽ có tác động lên đầu ra của bộ lọc, cụ thể là hạn chế hiệu ứng làm mịn của bộ lọc.

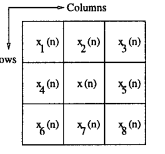


*Hình 3: Cấu trúc của bộ lọc MRH trong xử lý tín hiệu 1 chiều*

Tóm lại, bộ lọc MRH gồm 3 thành phần chính là các bộ lọc con Φ1, Φ2, Φ3 và các hệ số ⍺1, ⍺2, ⍺3, *h* và *k*. Trong đó, bộ lọc Φ2 là bộ lọc centered weighted median filter, có vai trò làm mịn và hạn chế nhiễu, còn 2 bộ lọc Φ1 và Φ3 có vai trò quyết định tính phát hiện các cạnh của bộ lọc chính thông qua phương trình (Φ1(n) - Φ3(n))2. Các hệ số ⍺1, ⍺2, ⍺3 có vai trò kết hợp các bộ lọc thành phần với nhau, tạo ra 1 bộ lọc có thể dung hòa 2 tính chất làm mịn và bảo toàn chi tiết, trong khi *k* sẽ có vai trò ưu tiên tính làm mịn/hạn chế nhiễu hay tính phát hiện cạnh/bảo toàn chi tiết tùy theo yêu cầu của bài toán cần giải quyết.

1. **Tín hiệu 2 chiều:**

Xét 1 chuỗi tín hiệu 2 chiều giá trị thực {x(n)} và 1 cửa sổ bộ lọc kích thước 3x3 có tâm là vị trí của phần tử x(n) được minh họa ở hình 2.



*Hình 4: Cửa sổ bộ lọc kích thước 3x3 có tâm tại vị trí của x(n)*

Để có thể tính toán giá trị của x(n) sau khi đi qua bộ lọc MRH, ta có thể xây dựng bộ lọc MRH theo 3 cấu trúc sau:

* MRHF1: bộ lọc MRH sử dụng bộ lọc FIR:

Trong cấu trúc này, 2 bộ lọc Φ1 và Φ3 là bộ lọc FIR. Đầu ra của 2 bộ lọc này được tính toán như sau:

Φ1(n) = *h*0*(i) xi(*n*)* (7)

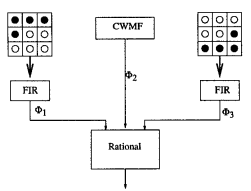
Φ3(n) = *h*1*(i) xi(*n*)* (8)

Trong đó các hệ số *h*0 và *h*1 có giá trị như sau:

*h*0 =

*h*1 =

Cấu trúc của bộ lọc MRHF1 được mô tả ở hình 4 như sau:



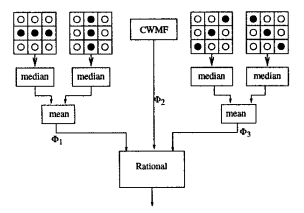
*Hình 5: Cấu trúc của bộ lọc MRHF1*

Trước hết, đầu vào sẽ được đồng thời đưa vào 3 bộ lọc Φ1, Φ2 và Φ3. Đầu ra của 3 bộ lọc sau đó được tính theo công thức (4) đã nêu của bộ lọc MRH.

* MRHF2: bộ lọc MRH sử dụng bộ lọc trung vị 1 chiều

(unidirectional median filter):

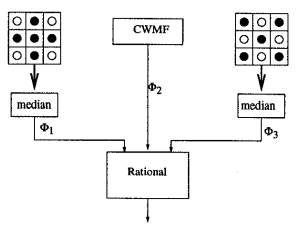
Trong cấu trúc này, đầu ra của bộ lọc Φ1  là trung bình của 2 giá trị ⍺ và ꞵ lần lượt là trung vị của 3 giá trị thuộc hàng ngang chính giữa của cửa sổ bộ lọc, gồm x4(n), x(n), x5(n) và 3 giá trị thuộc hàng dọc chính giữa cửa sổ bộ lọc, gồm x2(n), x(n), x7(n). Ta tính đầu ra của bộ lọc Φ3 theo cách tương tự, chỉ khác ở chỗ ⍺ và ꞵ lần lượt là trung vị của 3 giá trị thuộc đường chéo chính của cửa sổ bộ lọc, gồm x1(n), x(n), x8(n) và 3 giá trị thuộc đường chéo phụ giữa cửa sổ bộ lọc, gồm x3(n), x(n), x6(n). Sau khi tính đầu ra của 3 bộ lọc thành phần, ta sẽ tính được đầu ra của bộ lọc MRH theo công thức (4) Cấu trúc của bộ lọc MRHF2 được mô tả ở hình 5 như sau:



*Hình 6: Bộ lọc MRHF2 sử dụng bộ lọc trung vị 1 chiều(unidirectional median filter)*

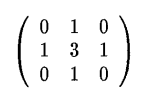
* MRHF3: bộ lọc MRH sử dụng bộ lọc trung vị 2 chiều (bidirectional median filter):

Trong cấu trúc này, đầu ra của bộ lọc Φ1  là trung vị của 5 giá trị thuộc hàng ngang và hàng dọc chính giữa của cửa sổ bộ lọc, gồm x2(n), x4(n), x(n), x5(n) và x7(n). Trong khi đó đầu ra của bộ lọc Φ3 là trung vị của 5 giá trị thuộc đường chéo chính và đường chéo phụ cửa sổ bộ lọc, gồm x1(n) ,x3(n), x(n), x6(n), x8(n). Sau khi tính đầu ra của 3 bộ lọc thành phần, ta sẽ tính được đầu ra của bộ lọc MRH theo công thức (1) Cấu trúc của bộ lọc MRHF3 được mô tả ở hình 6 như sau:



*Hình 7: Bộ lọc MRHF3 sử dụng bộ lọc trung vị 2 chiều(bidirectional median filter)*

Lưu ý rằng cả 3 cấu trúc của bộ lọc MRH đều sử dụng bộ lọc Φ2 là một bộ lọc CWMF có kích thước 3x3. Trọng số của cửa sổ bộ lọc này như sau:



**KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM**

Sau khi được xây dựng, bộ lọc MRH sẽ được kiểm tra trên nhiều ảnh khác nhau chủ yếu được lấy trên tập dữ liệu ảnh TUT[2]. Trong thử nghiệm, 6 ảnh nhiễu sẽ được xây dựng từ 1 ảnh gốc (hình 7a) trong bộ dữ liệu đã nêu trên. Ảnh nhiễu được tạo ra bằng cách thêm vào ảnh gốc các nhiễu độc lập ngẫu nhiên theo phân bố Gaussian đã được biến đổi như sau:

v ~ λ*N*(0, σn) + λ*N*(0, ) (9)

Phân bố trên có kỳ vọng E(v) được đặt bằng 0 và phương sai như sau:

σv2 = σn2 (1 - λ + ) (10)

Thử nghiệm sẽ chọn 3 giá trị của λ tương ứng với 3 trường hợp nhiễu sau:

* λ = 0.1: nhiễu chủ yếu là nhiễu xung (impulse noise).
* λ = 0.2: nhiễu kết hợp nhiễu xung và nhiễu Gaussian.
* λ = 1: nhiễu Gaussian thuần túy.

Trong thử nghiệm, 2 tập ảnh riêng biệt sẽ được xây dựng dựa trên 2 giá trị signal-to-noise ratio (SNR) khác nhau là 9dB và 3dB, ví dụ như hình 7b là ảnh nhiễu được xây dựng từ ảnh gốc (hình 7a) với λ = 0.2 và SNR = 9dB. Hình 7c và 7d lần lượt là 2 ảnh được lọc bởi bộ lọc rational thông thường và bộ lọc MRH. Các tham số *h* và *k* và số lần áp dụng bộ lọc lên ảnh *p* sẽ được xác định thông qua thực nghiệm dựa trên việc tối thiểu hóa lỗi MSE khi so sánh ảnh đã đi qua bộ lọc và ảnh gốc.

Ngoài ra, các ảnh nhiễu còn được lọc với một số các bộ lọc phi tuyến khác để có thể so sánh hiệu quả của bộ lọc MRH so với các bộ lọc này. Bài báo đã chọn ra 4 bộ lọc bao gồm: bộ lọc trung vị thích nghi với tín hiệu hình thái (Morphological signal adaptive median filter (MSAMF)), bộ lọc xếp tầng (Stack filter), bộ lọc xếp hạng theo hình thái (Rank-order morphological filters (ROMF)), và bộ lọc rational đơn giản

Hai chỉ số MSE và MAE giữa ảnh đã được lọc và ảnh gốc sẽ được sử dụng để đánh giá hiệu quả của các bộ lọc này. Hai chỉ số này có công thức tính như sau:

MAE = (11)

MSE = (12)

Trong đó M,N lần lượt là chiều dài và chiều rộng của ảnh, *yij*là giá trị điểm ảnh trên ảnh đã được lọc tại vị trí *ij*, *dij* là giá trị điểm ảnh trên ảnh gốc tại vị trí *ij*.

Các bảng 1, 2, 3, 4 cho thấy các kết quả MAE và MSE tốt nhất của từng bộ lọc. Qua những kết quả này, có thể kết luận rằng bộ lọc MRH có hiệu quả tốt hơn so với các bộ lọc phi tuyến khác trên nhiều loại nhiễu khác nhau.

| *Hình 8: (a) Ảnh gốc, (b) Ảnh được làm nhiễu (λ = 0.2, SNR = 9dB), (c): Ảnh nhiễu đã được đi qua bộ lọc rational, (d): Ảnh nhiễu đã được đi qua bộ lọc MRH (cụ thể là MRHF3).* | Bảng 1: Chỉ số MAE của từng bộ lọc với tập ảnh nhiễu có SNR = 3dB    Bảng 2: Chỉ số MAE của từng bộ lọc với tập ảnh nhiễu có SNR = 9dB    Bảng 3: Chỉ số MSE của từng bộ lọc với tập ảnh nhiễu có SNR = 3dB    Bảng 4: Chỉ số MSE của từng bộ lọc với tập ảnh nhiễu có SNR = 9dB |
| --- | --- |

**KẾT LUẬN**

Bộ lọc median-rational hybrid filter (MRH) là 1 bộ lọc bao gồm 3 bộ lọc con với thành phần trung tâm là bộ lọc center weighted median filter (CWM). Các kết quả thử nghiệm đã cho thấy bộ lọc MRH có thể loại bỏ được nhiều loại nhiễu có phân bố độc lập ngẫu nhiên khác nhau( ví dụ như nhiễu xung, nhiễu Gaussian,...) trên ảnh một cách hiệu quả.

Ngoài ra, bộ lọc MRH còn được kiểm tra và so sánh với các bộ lọc phi tuyến khác. Kết quả trong bài báo cho thấy bộ lọc MRH tốt hơn các bộ lọc còn lại về cả 2 chỉ số MAE và MSE.

**KẾT QUẢ CÀI ĐẶT CỦA NHÓM**

Ta có thể thấy rằng, để có thể cài đặt được các nội dung của bài báo một cách hoàn chỉnh, ta cần cài đặt được 4 phần chính bao gồm: (1): Cài đặt bộ lọc MRH với 3 cấu trúc MRHF1, MRHF2 và MRHF3; (2): Cài đặt hàm tạo ảnh nhiễu dựa trên 2 tham số SNR và λ; (3): Cài đặt hàm tính toán các chỉ số MAE và MSE; (4): Cài đặt các bộ lọc khác để có thể so sánh với bộ lọc MRH đã cài đặt ở phần (1).

Nhóm đã cài đặt được 3 phần đầu, tuy nhiên kết quả chạy thử của mỗi phần lại có sự khác nhau. Với phần (1), nhóm đã cài đặt được cả 3 cấu trúc của bộ lọc MRH nhưng khi áp dụng bộ lọc đã được cài đặt với ảnh nhiễu mà nhóm tự xây dựng bằng hàm ở phần (2) lại có kết quả không được tốt giống như trong bài báo gốc. Lý do có thể là bởi ảnh gốc (chưa gây nhiễu) mà nhóm sử dụng không thuộc tập ảnh TUT[2] giống như trong bài báo gốc. Ngoài ra, nhóm cũng không thể tìm được các tham số *h* và *k* tối ưu thông qua thực nghiệm do hạn chế về thời gian và phương pháp, dẫn đến kết quả kém.

Ở phần (2), nhóm đã cài đặt được hàm tạo ảnh nhiễu với 2 tham số SNR và λ và cho ra ảnh nhiễu khá tốt. Để tạo được ảnh nhiễu từ 2 tham số trên, ta cần xác định được phương sai σn2 . Trước hết ta có:

SNR = 10 (13)

Trong đó, *M, N* lần lượt là chiều dài và chiều rộng của ảnh; *I(M,N)* là giá trị của điểm ảnh có tọa độ (M,N) trên ảnh gốc (chưa nhiễu) và là giá trị của điểm ảnh có tọa độ (M,N) trên ảnh nhiễu. Từ công thức trên, ta có được phương trình sau:

SNR = 10 = 10

= 10 (14)

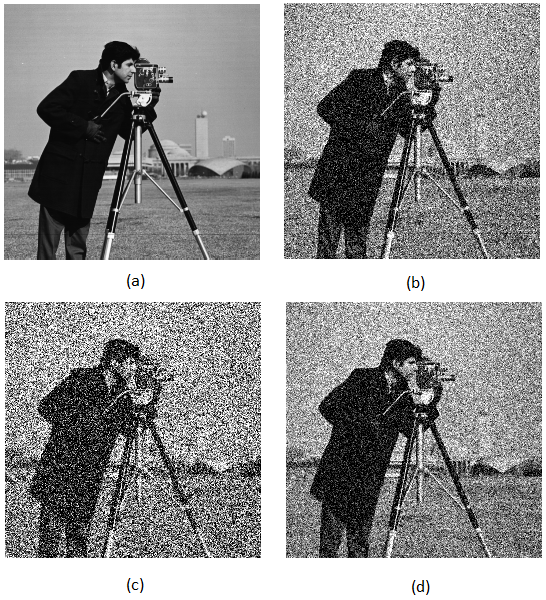
Trong đó, với là giá trị của nhiễu được cộng thêm vào điểm ảnh tại vị trí (M, N) ở ảnh gốc. Từ công thức trên ta có thể tính được như sau:

= (15)

Có được giá trị của , ta có thể tính được dựa trên công thức (10):

(16)

Dưới đây là ảnh gốc và một số ảnh nhiễu mà nhóm tạo được:



*Hình 9: (a) Ảnh gốc, (b) Ảnh được làm nhiễu (λ = 0.1, SNR = 3dB), (c): Ảnh được làm nhiễu (λ = 0.2, SNR = 3dB), (d): Ảnh được làm nhiễu (λ = 0.2, SNR = 3dB).*

Link code của nhóm :

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1] L. Khriji and M. Gabbouj, "Median-rational hybrid filters," *Proceedings 1998 International Conference on Image Processing. ICIP98 (Cat. No.98CB36269)*, 1998, pp. 853-857 vol.2, doi: 10.1109/ICIP.1998.723691

[2] M. Gabbouj and I. Tabus, “TUT noisy image database”, Technical Report, no. 13, Tampere University of Technology, Dec. 1994.

[3] N. R. Harvey and S. Marshal1,“Using genetic algorithms in the design of morphological filters”, In Mathematical Morphology and Its Applications to Image Processing, Eds. Serra, J., Soille, P., Kluwer Academic Publishers, 1994. [4] L. Khriji, F. A. Cheikh, and M. Gabbouj, “Multistage Vector Rational Interpolation for Color Images” , Second International Multicon ferences IMACS-IEEE: CESA ’98, Hammamet, Tunisia, April 1-4, 1998.

[5] P. Kraft, S. Marshall, J. J. Soroghan, and N. R. Harvey, “Parallel genetic algorithms for optimizing morphological filters”, In Proc. Fifth Int. Conf. Image Processing and Its Applications, Edinburgh, UK, 1995.

[6] H. Leung, S. Haykin, “Detection and Estimation Using an Adaptive Rational Function Filters”, IEEE Trans. on Signal Processing, vo1.42, no. 12, pp. 3365-3376, Dec. 1994.

[7] G. Ramponi, “The Rational Filter for Image Smoothing”, IEEE Signal Processing Letters, vo1.3, no. 3, pp. 63-65, March 1996.

[8] G. Ramponi, (( Image Processing Using Rational Functions”, Proceedings of the Cost 254 Workshop, Budapest, Hungary, Feb. 6-7, 1997.

[9] T. Sun, M. Gabbouj, and Y. Neuvo, “Center weighted median filters: some properties and applications in image processing”, Signal Processing, 35:213-229, Feb. 1994.

[l0] I. Tabus, D. Petrescu and M. Gabbouj, “A training framework for stack and boolean filtering-fast optimal design procedures and robustness case study”, IEEE Trans. on Image Processing, ~01.5, no. 6, pp. 809-826, June. 1996.

[11] S. Tsekeridou, C. Kotropoulos and I. Pitas, “Morphological Signal Adaptive Median Filter for noise removal ” , 1996 Int. Conf. on Electronics, Circuits and Systems (ICECS’96), Rodos, Greece, vol.1, pp.191-194, October 13-16, 1996.

[12] J.L. Walsh, “The Existance of Rational Functions of Best Approximation”, Trans. Amer. Math. Soc., vol. 33, pp. 668-689, 1931.

[13] B. Zeng, M. Gabbouj and Y. Neuvo, “A unified design method for rank order, stack and generalized stack filters based on classical bayes decision”, IEEE Trans. on Circuits and Systems, CAS-38, pp. 236-239, Sept. 1991.