Một phương pháp tăng cường độ tương phản ảnh viễn thám dựa trên tiếp cận cục bộ

A Method to Enhance Contrast of The Remote Sensing Images based on The Local Approach

Nguyễn Tu Trung, Vũ Văn Thỏa, Đặng Văn Đức

Abstract: *The image enhancement methods are divided into 3 categories including histogram, fuzzy logic and optimal methods. Histogram based contrast enhancing methods focus on modifying histogram of images. Histogram specification and histogram equalization are commonly used as conventional contrast enhancement mothods. Patently, the fuzzy logic based image enhancement methods make image which quality is clearer than the traditional methods. However, these methods still use the global approach, therefore, it is difficult to enhance all land covered in remote sensing images. This paper proposes a local approach based new algorithm of image enhancement for the remote sensing images and the large size remote sensing images, calculating auto thresholds and combination the grey adjust operators.*

Keywords: *Image Enhancement, Multispectral remote sensing images, fuzzy logic, Image enhancement operator, local approach, Wavelet.*

I. GIỚI THIỆU

Ảnh viễn thám thường có kích thước lớn và độ phân giải không gian đa dạng. Độ phân giải không gian càng cao thì ảnh càng chi tiết. Nó cũng có thể chứa nhiễu. Để khử nhiễu và tăng cường ảnh chúng ta cần sử dụng các phương pháp nâng cao chất lượng ảnh. Nâng cao chất lượng là bước cần thiết trong xử lý ảnh nhằm hoàn thiện một số đặc tính của ảnh như lọc nhiễu, làm trơn, tăng cường độ tương phản, điều chỉnh mức xám, nổi biên ảnh. Nâng cao chất lượng ảnh gồm hai công đoạn khác nhau: tăng cường ảnh và khôi phục ảnh. Nhiễu trong ảnh viễn thám bao gồm nhiễu thông thường giống ảnh màu và các nhiễu mang tính đặc trưng như sương mù, đám mây... Với các nhiễu đặc thù cần có phương pháp khử nhiễu đặc thù như phương pháp loại bỏ sương mù, đám mây sử dụng thuật toán Mallat [4]. Đối với nhiễu thông thường, chúng ta có thể dùng các phương pháp khử nhiễu thông thường như Lọc nhiễu, hay làm trơn ảnh; Tăng độ tương phản, điều chỉnh mức xám của ảnh; Làm nổi biên ảnh.

Theo [18], các kĩ thuật tăng cường ảnh chia làm ba loại. Một là, họ các kĩ thuật histogram mà tiêu biểu là cân bằng histogram và đặc tả histogram. Hai là, họ các kĩ thuật dựa trên tiếp cận logic mờ với một số kĩ thuật được trình bày trong phần III của bài báo này. Ba là, các kĩ thuật tăng cường dựa trên tối ưu. Trong [19], Aman Tusia và cộng sự đã thực hiện một phân tích hiệu năng của hệ thống mờ loại 2 cho việc tăng cường ảnh sử dụng thuật toán tối ưu cuckoo.

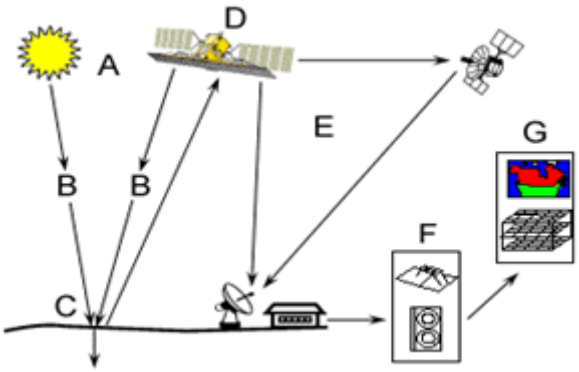
Nhiều phương pháp tăng độ tương phản truyền thống áp dụng tiếp cận toàn cục để tăng cường tất cả mức độ sáng của ảnh. Tuy nhiên, thường khó để tăng cường tất cả các đối tượng xuất hiện trong ảnh vệ tinh, bởi vì thông tin tương phản cục bộ và chi tiết có thể bị mất trong các vùng sáng và tối. Trong [2,8], các tác giả đã kết hợp giữa logic mờ [1] và các công thức hiệu chỉnh mức xám để tăng cường độ tương phản của ảnh y tế. Phương pháp tăng cường ảnh mờ đã xem xét ma trận thành viên và các biểu thức điều chỉnh mức xám để tăng cường độ tương phản. Mặc dù vậy, phương pháp này vẫn sử dụng tiếp cận toàn cục nên vẫn chưa

giải quyết được vấn đề của các phương pháp truyền thống. Ngoài ra, phương pháp tăng cường ảnh mờ [2] vẫn chọn thủ công các giá trị cho các ngưỡng cận dưới, trung bình và cận trên nên không phải lúc nào cũng chọn được giá trị tốt làm ảnh hưởng đến kết quả tăng cường ảnh.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một thuật toán tăng cường ảnh viễn thám dựa trên tiếp cận cục bộ kết hợp tính ngưỡng tự động theo từng cụm với các toán tử tăng cường trong cùng một mô hình hiệu chỉnh mức xám.

II. GIỚI THIỆU VỀ ẢNH VIỄN THÁM

Theo [17] thì *viễn thám* là ngành khoa học thu thập từ xa các thông tin trên bề mặt Trái đất, nó bao gồm cảm nhận và ghi lại năng lượng phát ra, xử lý, phân tích dữ liệu và ứng dụng các thông tin sau phân tích. Cũng theo [17] thì phần lớn các hệ thống thu nhận và xử lý ảnh viễn thám có quy trình 7 bước như trên Hình 1.



***Hình 1**. Tiến trình thu thập và xử lý ảnh viễn thám [17].*

Trong Hình 1, A là Nguồn năng lượng hay nguồn sáng, B là Bức xạ và khí quyển, C là Tương tác với đối tượng đích, D là Thu nhận năng lượng bằng đầu cảm biến, E là Truyền, nhận và xử lý năng lượng, F là Diễn giải và phân tích, G là Ứng dụng.

Ảnh viễn thám có các đặc trưng: kênh ảnh, độ phân giải không gian, độ phân giải phổ, độ phân giải bức xạ, độ phân giải thời gian.

Có nhiều loại ảnh/vệ tinh viễn thám khác nhau như vệ tinh cảm biến thời tiết (GOES, *NOAA AVHRR*...), vệ tinh quan trắc mặt đất (*LANDSAT, SPOT*...) …

III. TĂNG CƯỜNG ẢNH DỰA TRÊN LOGIC MỜ

III.1. Tổng quan về tăng cường ảnh dựa trên logic mờ

Tăng cường ảnh mờ dựa trên việc ánh xạ mức xám vào mặt phẳng mờ, sử dụng hàm biến đổi thành viên [7,8]. Mục tiêu là để sinh một ảnh có độ tương phản cao hơn ảnh gốc bằng việc đưa trọng số lớn hơn cho các mức xám mà gần hơn với mức xám trung bình của ảnh hơn là để chúng xa hơn trung bình [2]. Trong vài năm gần đây, nhiều nhà nghiên cứu đã áp dụng lý thuyết tập mờ để phát triển các kĩ thuật mới cho việc cải thiện độ tương phản [2]. Một ảnh *I* có kích thước *M* x *N* và *L* mức xám có thể được xem như một mảng đơn mờ, mỗi phần tử là một giá trị thành viên biểu thị mức độ sáng của nó liên quan tới vài mức độ sáng. Với ảnh *I*, chúng ta có thể viết trong ký hiệu tập mờ [2][8] như sau:

$$I = \cup_{mn} \mu_{mn}/g_{mn} \text{m} = 1,2,\ldots,\text{M và n} = 1,2,\ldots,\text{N} \quad (1)$$

Trong đó g_{mn} là cường độ của điểm ảnh (m, n) và giá trị thành viên của nó μ_{mn}. Hàm thành viên đặc trưng cho thuộc tính thích nghi của ảnh (ví dụ thuộc tính biên, tối, kết cấu). Trong những năm gần đây, một số nhà nghiên cứu đã áp dụng khái niệm mờ để phát triển các thuật toán mới cho việc tăng cường ảnh. Nguyên tắc của lược đồ tăng cường mờ được minh họa trong Hình 2.

***Hình 2:** Nguyên tắc chính của tăng cường ảnh mờ [2].*

III.2. Tăng cường ảnh mờ với toán tử tăng cường

Phương pháp này sử dụng toán tử tăng cường [9] để giảm tính mờ của ảnh mà đưa ra trong một sự tăng cường độ tương phản ảnh [10,11]. Thuật toán có thể được phát biểu như sau:

Bước 1: Đặt các tham số Fe (Exponential fuzzifiers), Fd (Denomination fuzzifiers), g_{max} (Maximum gray level) của hàm thành viên

$$F_e = 2 \text{ và } F_d = \frac{g_{max} - g_{mn}}{0.5^{-1/F_e} - 1} \quad (2)$$

Bước 2: Định nghĩa hàm thành viên

$$\mu_{mn} = G(g_{mn}) = \left[1 + \frac{g_{max} - g_{mn}}{F_d}\right]^{-F_e} \quad (3)$$

Bước 3: Thay đổi giá trị thành viên

$$\mu'_{mn} = \begin{cases} 2[\mu_{mn}]^2 & 0 \le \mu_{mn} \le 0.5 \\ 1 - 2[1 - \mu_{mn}]^2 & 0.5 \le \mu_{mn} \le 1 \end{cases} \quad (4)$$

Bước 4: Sinh mức xám mới

$$g'_{mn} = G^{-1}(\mu'_{mn}) = g_{max} - F_d\left(\left((\mu'_{mn})^{\frac{-1}{F_e}} - 1\right)\right) \quad (5)$$

III.3. Tăng cường ảnh mờ với toán tử Hyperbol

Ý tưởng của hyperbolization histogram, và hyperbolization histogram mờ được mô tả tương ứng trong [12] và [13]. Do nhận thức độ sáng của con người không tuyến tính, thuật toán này thay đổi giá trị thành viên của các mức xám bởi hàm logarit. Thuật toán có thể được phát biểu như sau:

Bước 1: Thiết lập dạng hàm thành viên.

Bước 2: Đặt giá trị của tham số mờ β.

Bước 3: Tính các giá trị thành viên μ_{mn}.

Bước 4: Thay đổi các giá trị thành viên bởi β.

Bước 5: Sinh mức xám mới, như mô tả ở dưới.

Trong thuật toán này, dạng của hàm thành viên được thiết lập như tam giác để đặc trưng cho ranh giới, và giá trị của tham số mờ β như một ranh giới: β = -0.75 + 1.5μ. Sau đó, bằng việc tính giá trị thành viên μ_{mn} và thay đổi giá trị thành viên bởi β, sinh giá trị mức xám mới g'_{mn} bởi đẳng thức sau:

$$g'_{mn} = \left(\frac{L-1}{e^{-1}-1}\right)\left[e^{-\mu_{mn} g_{mn}{}^{\beta} - 1}\right] \quad (6)$$

III.4. Hạn chế của các thuật toán tăng cường mờ

Qua phân tích về phương pháp tăng cường ảnh mờ đã có như được trình bày trong các mục III của bài báo này, chúng tôi có một số nhận xét sau:

- Một là, các thuật toán tăng cường mờ trên vẫn sử dụng tiếp cận toàn cục như các phương pháp truyền thống, điểm ưu việt hơn chỉ là có thêm ma trận thành viên cho ảnh. Vì vậy, vẫn khó để tăng cường độ tương phản giữa các lớp phủ đất (các đối tượng che phủ mặt đất) xuất hiện trong ảnh vệ tinh, bởi vì thông tin tương phản cục bộ và chi tiết vẫn có thể bị mất trong các vùng sáng và tối.

- Hai là, khi cài đặt thuật toán, cụ thể trong [2], các ngưỡng cận trên max, dưới min, trung bình mid vẫn phải chọn thủ công. Như vậy, với mỗi ảnh khác nhau thì sẽ phải dò tìm thủ công, thiếu hiệu quả và việc chọn ngưỡng có thể không tốt.

- Ba là, giống như phương pháp truyền thống, phương pháp tăng cường ảnh mờ chỉ thực hiện trên một kênh phổ. Với ảnh đa phổ như ảnh màu RGB hay ảnh viễn thám đa phổ, thuật toán sẽ được thực hiện trên từng kênh ảnh. Giả sử ta có một điểm ảnh *P* với các mức xám tương ứng với các kênh là (g_1^P, g_2^P, g_3^P…). Như vậy, các giá trị xám g_1^P, g_2^P, g_3^P… có quan hệ cùng một điểm ảnh. Khi thực hiện thuật toán tăng cường ảnh mờ theo từng kênh, mối quan hệ này không được bao hàm. Khi đó, mỗi giá trị xám trong bộ (g_1^P, g_2^P, g_3^P…) sẽ được tăng cường một cách độc lập nên khó đảm bảo quan hệ phổ nêu trên giữa các giá trị xám mới sau tăng cường. Do đó, mầu của các đối tượng trong ảnh sau đầu ra có thể không được bảo tồn.

IV. ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TĂNG CƯỜNG ẢNH VIỄN THÁM DỰA TRÊN TIẾP CẬN CỤC BỘ

Để khắc phục những hạn chế được nêu trong mục III.4 của bài báo này, chúng tôi đề xuất phương pháp tăng cường độ tương phản ảnh viễn thám mới dựa trên tiếp cận cục bộ theo cụm. Theo đó, các mức xám sẽ được tăng cường độ tương phản theo từng cụm trước khi tổng hợp lại. Ngoài ra, chúng tôi cũng đề xuất thêm thuật toán tăng cường ảnh viễn thám kích lớn dựa trên thuật toán tăng cường độ tượng phản cục bộ nói trên.

IV.1. Tăng cường ảnh viễn thám dựa trên tiếp cận cục bộ LoRSIE

Các bước chính của thuật toán tăng cường ảnh viễn thám dựa trên tiếp cận cục bộ (Local based Remote Sensing Image Enhancement-LoRSIE) được liệt kê trong Bảng 1.

***Bảng 1**: Quy trình thuật toán tăng cường ảnh viễn thám dựa trên tiếp cận cục bộ.*

Giai đoạn	Nhiệm vụ
1	Cục bộ hóa ảnh viễn thám dựa trên thuật toán phân cụm
2	Xây dựng mô hình hiệu chỉnh mức xám theo cụm
3	Tính ngưỡng tự động theo cụm
4	Sinh ảnh tăng cường dựa trên việc tổng hợp các mức xám hiệu chỉnh theo từng cụm

IV.1.1. Cục bộ hóa ảnh viễn thám dựa trên thuật toán phân cụm

Phân cụm c-Means mờ [1] là thuật toán được dùng rộng rãi của phân lớp mờ. Trong khi xem xét logic tập mờ, thuật toán được phát triển dựa trên phân cụm k-Means. Trong thuật toán này, mỗi điểm ảnh không về duy nhất cụm nào và được biểu diễn bởi nhiều thành viên của mỗi cụm. Thuật toán phân cụm được thực hiện với sự tối ưu lặp của việc cực tiểu hàm mục tiêu mờ (J_m) được định nghĩa như đẳng thức 7 ([5],[6]).

$$J_m = \sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n}(\mu_{ik})^m d^2(x_k, V_i) \quad (7)$$

Trong đó:

c: số cụm

n: số pixel của ảnh

μ_{ik}: giá trị thành viên của pixel thứ k và trung tâm cụm thứ i

m: trọng số mũ, tham số mờ

x_k: vector thứ k

V_i: Vector trung tâm của cụm thứ i

$d^2(x_k,V_i)$ = Khoảng cách giữa x_k và V_i

Thành viên (μ_{ik}) được ước lượng với khoảng cách giữa điểm ảnh thứ *k* và tâm cụm thứ i, và bị ràng buộc như sau:

$$\begin{cases} 0 \le \mu_{ik} \le 1 \\ \sum_{k=1}^{n}\mu_{ik} = 1 \\ 0 \le \sum_{k=1}^{n}\mu_{ik} \le 1 \end{cases} \quad (8)$$

Trung tâm cụm V_i và giá trị μ_{ik} có thể được tính theo công thức sau:

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^{n}(\mu_{ik})^m x_k}{\sum_{k=1}^{n}(\mu_{ik})^m}, \quad 1 \le i \le c \quad (9)$$

$$\mu_k = \left[\!\left[\sum_{j=1}^{c}\left(\frac{d(x_k,V_i)}{d(x_k,V_j)}\right)^{\frac{2}{m-1}}\right]\!\right]^{-1}, \quad 1 \le i \le c,\ 1 \le k \le n \quad (10)$$

Do đó, J_m có thể được cực tiểu bởi việc lặp thông qua đẳng thức (9) và (10). Bước đầu tiên của việc lặp là khởi tạo số cụm *c* cố định, tham số mờ *m*, một ngưỡng hội tụ *ε*, sau đó tính toán μ_{ik} và V_i sử dụng đẳng thức (9) và (10) tương ứng. Việc lặp kết thúc khi sự thay đổi trong V_i giữa hai lần lặp nhỏ hơn *ε*. Cuối cùng, mỗi điểm ảnh được phân lớp vào một sự kết hợp các thành viên của các cụm.

IV.1.2. Xây dựng mô hình biến đổi mức xám theo cụm

Trong phần này, chúng ta sẽ xây dựng hàm biến đổi mức xám để tăng cường theo mỗi cụm. Hàm này được tạo từ công thức giãn mức xám sau đây:

$$g' = 255 * \frac{g-min}{max-min} \quad (11)$$

Hàm biến đổi mức xám theo cụm được phát biểu như sau:

$$T_i(g, lower_{V_i}, lower_{V_i}) = 255 * \frac{g-lower_{V_i}}{upper_{V_i}-lower_{V_i}} \quad (12)$$

Trong đó:

min là giá trị cực tiểu

max là giá trị cực đại

$lower_{V_i}$ là cận dưới

$upper_{V_i}$ là cận trên

g là giá trị mức xám cũ

g' là giá trị mức xám mới

Theo cách trên, ta đã xây dựng được hàm biến đổi mức xám theo toán tử giãn mức xám. Bằng cách tương tự, chúng ta có thể xây dựng được hàm biến đổi mức xám cho toán tử Hyperbol, tăng cường... Trong nghiên cứu này, chúng tôi xây dựng hàm biến đổi cho toán tử Giãn mức xám và Hyperbol, và được phát biểu theo từng cụm trong Bảng 2.

***Bảng 2**: Các hàm biến đổi mức xám theo từng cụm.*

Ý nghĩa	Công thức biến đổi $T_i(g)$
Giãn mức xám	$255 * \frac{g - lower_{V_i}}{upper_{V_i} - lower_{V_i}}$
Biến đổi Hyperbol	$\left(\frac{255}{e^{-1} - 1}\right)\left[e^{-\mu^2(g)} - 1\right]$ Trong đó: $\mu = \begin{cases} 0, & g < lower_{V_i} \\ \frac{g - lower_{V_i}}{upper_{V_i} - lower_{V_i}}, & lower_{V_i} \le g \le upper_{V_i} \\ 1, & upper_{V_i} \le g \le 255 \end{cases}$

Trong đó:

g = giá trị xám gốc.

$upper_{V_i}$ = cận trên của việc giãn cụm i.

$lower_{V_i}$ = cận dưới của việc giãn cụm i.

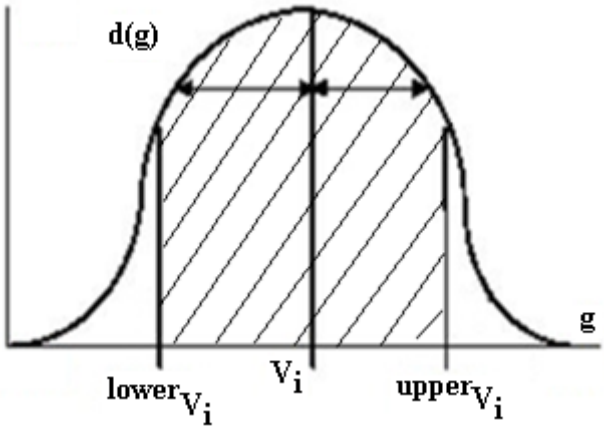
V_i = tâm cụm i.

Giá trị của các ngưỡng $lower_{V_i}$ và $upper_{V_i}$ được tính tự động theo từng cụm V_i như trong mục IV.1.3.

IV.1.3. Tính ngưỡng tự động theo cụm

Giả sử, $d(g)$ là hàm phân bố của mức xám g theo một cụm cho trước. $d(g)$ và các tham số: V_i, $upper_{V_i}$, $lower_{V_i}$ được thể hiện trong Hình 3.

Các ngưỡng $upper_{V_i}$, $lower_{V_i}$ được xác định bằng cách chọn sao cho vùng gạch chéo (Hình 3) có diện tích bằng 95% tổng diện tích được bao các đường y = 0 và y = $d(g)$.



***Hình 3**: Hàm phân bố và các ngưỡng theo từng cụm.*

IV.1.4. Sinh ảnh tăng cường dựa trên việc tổng hợp mức xám hiệu chỉnh theo từng cụm

Dựa trên mô hình biến đổi mức xám theo mỗi cụm đã xây dựng trong phần IV.1.3, mỗi giá trị xám đầu vào sẽ được chuyển các thành giá trị mới tương ứng với các cụm. Nhiệm vụ còn lại là tổng hợp các giá trị này để sinh ra giá trị xám duy nhất. Hàm tổng hợp này có dạng tổng quát như sau: g |→ g' = T(g). Trong đó,

$$T(g) = \sum_{i=1}^{c} \mu_i T_i(g, lower_{V_i}, lower_{V_i}) \qquad (13)$$

$$0 \le T(g) \le 255$$

Trong đó:

g = giá trị xám gốc.

$upper_{V_i}$ = cận trên của việc giãn cụm i.

$lower_{V_i}$ = g cận dưới của việc giãn cụm i.

V_i = tâm cụm i.

μ_i = giá trị độ thuộc của mức xám g theo cụm i.

IV.2. Phát triển thuật toán cho ảnh đa phổ

Bản chất FCM là thuật toán phân cụm các đối tượng là các vector có nhiều thành phần. Và do vậy, FCM đã thực hiện rất tốt cho ảnh đa kênh như ảnh màu RGB. Như vậy, thuật toán trên áp dụng cho ảnh viễn thám đa phổ như sau:

- Bước 1: *Cục bộ hóa ảnh đầu vào.* Sau khi thực hiện thủ tục phân cụm, mỗi điểm ảnh $P(g_1^P, g_2^P, g_3^P \ldots)$

sẽ được đặc trưng thêm bởi một bộ các giá trị độ thuộc ứng với các cụm khác nhau. Như vậy, quan hệ cùng một điểm ảnh của một bộ (g_1^P, g_2^P, g_3^P…) được đặc trưng bởi bộ các giá trị độ thuộc trên. Do đó, giải quyết được hạn chế thứ 3 trong mục III.4.

- Bước 2: *Xây dựng mô hình hiệu chỉnh mức xám*. Vẫn thực hiện việc này như được trình bày trong mục IV.1.2.
- Bước 3: *Tính ngưỡng tự động*. Các ngưỡng $lower_{V_i}^k$ và $upper_{V_i}^k$ được tính tự động theo từng cụm V_i và từng kênh *k*.
- Bước 4: *Sinh ảnh tăng cường*. Với mỗi điểm ảnh P, ta có:

$$T(g_k^P) = \sum_{i=1}^{c} \mu_i T_i(g_k^P, lower_{V_i^k}^k, upper_{V_i^k}^k) \quad (14)$$

$$0 \le T(g_k^P) \le 255$$

Trong đó:

g_k^P = giá trị xám gốc của điểm ảnh *P* thuộc kênh thứ *k*.

$upper_{V_i}^k$ = cận trên của việc giãn cụm *i* thuộc kênh thứ *k*.

$lower_{V_i}$ = cận dưới của việc giãn cụm *i* thuộc kênh thứ *k*.

V_i^k = tâm cụm i thuộc kênh thứ *k*. Mỗi tâm V_i gồm môt bộ (V_i^1, V_i^2, V_i^3…)

μ_i = giá trị độ thuộc của mức xám *g* theo cụm *i*.

IV.3. Tăng cường ảnh viễn thám kích thước lớn LaSRSIE

IV.3.1. Nhược điểm của FCM với ảnh viễn thám kích thước lớn

Thuật toán phân cụm mờ [1] nảy sinh vấn đề khi gặp ảnh có kích thước rất lớn mà cụ thể ở đây là *ảnh viễn thám độ phân giải không gian cao*. Vấn đề nảy sinh từ ma trận độ thuộc μ. Theo công thức (10), kích thước của μ được tính như sau:

$$Size_\mu = c.n.8 \quad \text{(Byte)} \quad (15)$$

Trong đó, *c* là số cụm, *n* là số pixel (kích thước) của ảnh. Giả sử ta có một ảnh kích thước 2048 x 2048. Ta muốn phân thành 20 cụm. Khi đó, $Size_\mu$ là 2048 x 2048 x 20 x 8 (B) = 4 x 20 x 8 (MB) = 640 (MB). Ma trận độ thuộc được lưu trong RAM. Như vậy, chỉ cần có RAM 1GB thì có thể lưu ma trận độ thuộc trong trường hợp này. Tuy nhiên, nếu chúng ta muốn phân thành 40 cụm thì $Size_\mu$ là 1280 (MB) > 1024 (MB) = 1GB. Điều này nghĩa là nếu chỉ có RAM 1GB thì không đủ để chứa các phần tử của ma trận độ thuộc. Và để thuật toán FCM có thể thực hiện ta buộc phải tăng RAM.

Nếu ảnh có kích thước 16000 x 16000, số lớp c = 20, $Size_\mu$ là 16000 x 16000 x 20 x 8 (B) = 39062.5 (MB) ≈ 39 (GB). Chúng ta thấy, với ảnh kích thước và số lớp như trên thì kể cả bộ nhớ RAM lớn nhất hiện nay cho máy tính cá nhân cũng không thể chứa dẫn tới FCM không thể thực thi nếu ma trận độ thuộc được lưu trên RAM. Chúng ta có thể nghĩ đến việc dùng đĩa cứng để lưu ma trận này thay vì dùng RAM. Tuy nhiên, khi đó ngay cả với ảnh màu thông thường thì thời gian thực hiện của FCM là rất chậm. Với ảnh viễn thám, thời gian này có thể lên tới đơn vị ngày. Như vậy là không hiệu quả. Tất cả điều này đã giải thích nguyên nhân vì sao FCM [1] gặp vấn đề với ảnh kích thước rất lớn mà cụ thể là ảnh viễn thám.

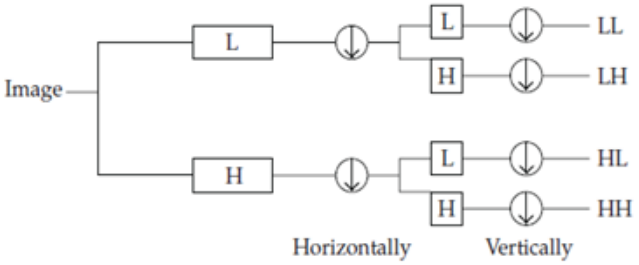
Chúng ta có thể áp dụng kĩ thuật wavelet để khắc phục hạn chế này.

IV.3.2. Biến đổi wavelet

Biến đổi sóng nhỏ *(Wavelet)* là công cụ toán học hay được sử dụng vào việc biểu diễn ảnh đa độ phân giải. Sau khi thực hiện phép biến đổi ta thu được tập hệ số *Wavelet*, là hàm co dãn và vị trí của sóng nhỏ.

Với tín hiệu số như ảnh viễn thám, thì tập hệ số *Wavelet* có thể thu được nhờ phép biến đổi sóng nhỏ rời rạc (*Discrete Wavelet Transform - DWT*). Với phần lớn ảnh số thì nội dung tần số thấp là quan trọng nhất, giữ được hầu như các đặc tính của ảnh đầu vào của phép biến đầu với kích thước giảm bốn lần. Sau khi áp dụng bộ lọc thông thấp theo hai hướng (LL) ta thu

được ảnh xấp xỉ (cA_1) của ảnh gốc. Nếu áp dụng bộ lọc thông thấp cho chiều ngang và bộ lọc thông cao cho chiều dọc ảnh (LH) ta có tập hệ số ngang (cH_1) của ảnh gốc. Tương tự ta có tập hệ số dọc (cV_1) và tập hệ số chéo (cD_1). Lặp tiến trình trên băng con (LL) để sinh ra các hệ số ở mức 2 tiếp theo. Hình 4 mô tả DWT ảnh theo thuật toán hình kim tự tháp của Mallat [6].



***Hình 4**. Biến đổi ảnh với Wavelet.*

Vậy, ảnh gốc S được biểu diễn trên cơ sở các hệ số biến đổi sóng con của nó như sau:

$$S = cA_1 + \{cH_1 + cV_1 + cD_1\} \quad (16)$$

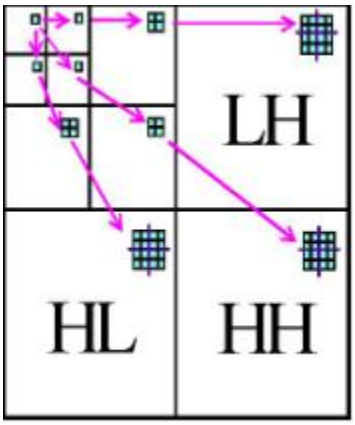
Thực hiện lặp tiến trình cho đến khi mức độ chi tiết là mẫu hay pixel. Tại mức J, ảnh gốc được biểu diễn bởi:

$$S = cA_J + {}_{j=1}^{J}\{cH_i + cV_i + cD_i\} \quad (17)$$

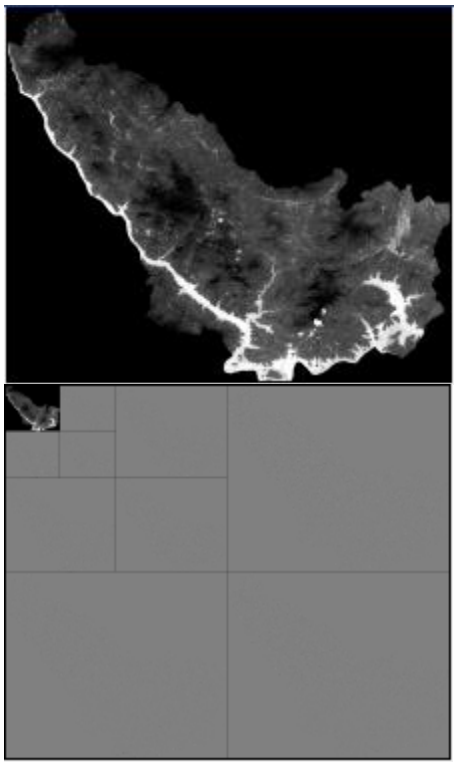
Các hệ số xấp xỉ được tính toán như sau:

$$cA_{J-1} = cA_J + (cH_J + cV_J + cD_J) \quad (18)$$

Mỗi lần thực hiện phân rã wavelet, kích thước của ảnh xếp xỉ cAj giảm đi bốn lần so với lần thực hiện trước đó (mỗi chiều giảm xuống một nửa). Như vậy, giả sử chúng ta phân rã 3 mức cho ảnh đầu vào, ta thu được ảnh xấp xỉ có kích thước giảm xuống 64 lần. Hình 5 minh họa cây phân cấp cho phân ra wavelet nhiều mức. Hình 6 minh họa về ảnh đầu vào và kết quả phân rã.



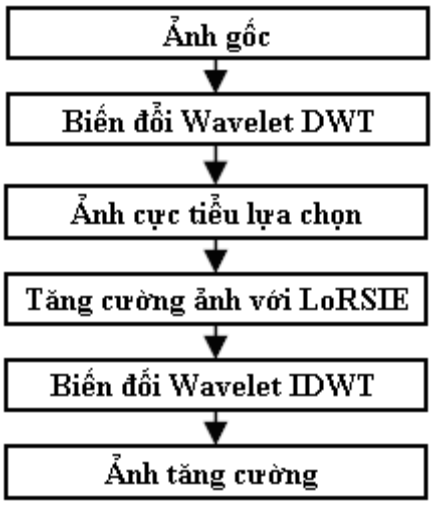
***Hình 5**: Cây phân cấp cho phân rã nhiều mức.*



***Hình 6**: Ảnh đầu vào kết quả phân rã.*

IV.3.3. Thuật toán tăng cường ảnh viễn thám kích thước lớn

Trong phần này, chúng tôi đề xuất thuật toán tăn cường ảnh viễn thám kích thước lớn mà chúng tôi tạm gọi là Large Size Remote Sensing Image Enhancement (LaSRSIE). Sơ đồ thuật toán được minh hoạ trong Hình 7.



***Hình** 7. Lưu đồ thuật toán LaSRSIE.*

Theo như sơ đồ trên, thuật toán được thực hiện như sau. Đầu tiên, ảnh đầu vào được giảm kích thước sử dụng biến đổi Wavelet thuận đến kích thước đủ nhỏ được ảnh xấp xỉ cực tiểu lựa chọn. Thực hiện tăng cường ảnh xấp xỉ cực tiểu lựa chọn này sử dụng thuật toán LoRSIE. Tiếp đó, thay ảnh xấp xỉ cực tiểu bằng ảnh xấp xỉ đã tăng cường và thực hiện biến đổi ngược sử dụng biến đổi Wavelet nghịch để thu được ảnh tăng cường ứng với ảnh gốc.

V. THỬ NGHIỆM

Chúng tôi tiến hành thử nghiệm thuật toán tăng cường ảnh đề xuất và so sánh với kết quả của phương pháp tăng cường mờ. Giả sử ảnh đầu vào có kích thước *M* x *N* điểm ảnh. Nhóm tác giả thực hiện phân rã Wavelet trên ảnh xấp xỉ cho đến khi ảnh xấp xỉ có kích thước không lớn hơn 512 x 512.

Tập dữ liệu phục vụ cho thử nghiệm gồm ba loại. Một là, loại ảnh LANDSAT ETM+ chụp khu vực Hòa Bình *ngày 15/02/2001*, bao gồm 11 ảnh ranh giới từng huyện và một ảnh theo ranh giới tỉnh của tỉnh Hòa Bình. Ảnh LANDSAT ETM+ gồm 7 kênh [9]: Chàm, Lục, Đỏ, Cận hồng ngoại, Hồng ngoại trung, Hồng ngoại nhiệt, Hồng ngoại trung. Hai là, loại ảnh SPOT 5, gồm 4 kênh phổ: Lục (độ phân giải 10m), Đỏ (độ phân giải 10m), Cận hồng ngoại (độ phân giải 10m), Hồng ngoại trung (độ phân giải 20m), chụp khu vực Hòa Bình và Sơn La với 21 ảnh chụp ngày 22/12/2003 và 14 ảnh chụp năm 2008. Hai loại ảnh này, nhóm tác giả có được khi tham gia thực hiện đề tài "Phát triển phần mềm xử lý ảnh viễn thám trên nền phần mềm GRASS'. Đây là đề tài cấp nhà nước, thuộc Chương trình KHCN Vũ Trụ. Ba là, loại ảnh Quickbird, gồm 4 kênh: Lam, Lục, Đỏ, và cận hồng ngoại, được tải từ dữ liệu mẫu trên trang http://opticks.org. Do khuôn khổ bài báo có hạn, nhóm tác giả trình việc thử nghiệm với ba mẫu ảnh đầu vào khác nhau. Ảnh hiển thị minh họa trong thử nghiệm với SPOT lấy tổ hợp màu: Lục, Đỏ, Cận hồng ngoại. Ảnh hiển thị minh họa trong thử nghiệm với QuickBird lấy tổ hợp màu tự nhiên, gồm các kênh Blue, Green, Red.

Để đo chất lượng của ảnh gốc và các ảnh tăng cường chúng ta sử dụng chỉ số tuyến tính của tham số mờ γ [2][8]. Trong đó:

$$\gamma = \frac{2}{MN}\sum_M \sum_N \min(\mu_{mn}, 1-\mu_{mn}) \quad (19)$$

Chỉ số mờ được định nghĩa bởi Kaufmann [14]. Chỉ số mờ, ví dụ, phản ánh sự không rõ ràng trong ảnh bởi việc đo khoảng cách giữa mặt phẳng thuộc tính mờ và mặt phẳng thông thường gần nhất. Chỉ số này có thể được lưu ý như một độ khó trong việc quyết định liệu một điểm ảnh nên được xem như đen (tối) hoặc trắng (sáng) [16].

V.1. Thử nghiệm 1

Trong thử nghiệm 1, ảnh gốc là ảnh vệ tinh LANDSAT khu vực huyện Kim Bôi có kích thước 1581 x 1527 (điểm ảnh).

Bảng 3 bao gồm ảnh đầu vào và ảnh kết quả khi tăng cường sử dụng phương pháp mờ với các toán tử tăng cường, hyperbol và phương pháp cải tiến của chúng tôi với hai toán tử giãn và hyperbol. Về mặt trực quan, ta có thể thấy ảnh sau tăng cường sử dụng phương pháp mờ tương quan màu giữa các các điểm ảnh không được bảo tồn, đặc biệt là với toán tử Hyperbol. Trong khi đó, kết quả của phương pháp cải tiến chỉ mang tính làm nổi bật hơn so với ảnh gốc.

***Bảng 3**. Tăng cường ảnh với phương pháp mờ và cải tiến.*

Tên	Ảnh
Đầu vào	
Hyperbol mờ	
Tăng cường mờ	
Giãn FCM	
Hyperbol FCM	

***Bảng 4**. So sánh chỉ số mờ của ảnh tăng cường theo phương pháp mờ và cải tiến.*

Kênh	Hyperbol mờ	Tăng cường mờ	Giãn FCM	Hyperbol FCM
1	0.38	0.43	0.27	0.30
2	0.31	0.45	0.24	0.26
3	0.38	0.39	0.34	0.36

Trong Bảng 4, qua việc so sánh chỉ số mờ, ta thấy γ của ảnh sinh ra bởi phương pháp cải tiến là thấp hơn khẳng định chất lượng ảnh tăng cường bởi phương pháp cải tiến cao hơn so với ảnh sinh ra bởi phương pháp mờ.

Bảng 5 thống kê thời gian thực thi của các thuật toán tăng cường. Chúng ta thấy, thời gian thực thi của các thuật toán LoRSIE là chậm hơn rất nhiều so với các thuật toán dựa trên logic mờ. Điều nay là dễ hiểu vì các thuật toán LoRSIE trước khi thực hiện việc tăng cường đều phải thực hiện thuật toán phân cụm mờ. Thuật toán phân cụm mờ có tốc độ khá chậm đặc biệt với ảnh kích thước lớn như viễn thám. Tuy nhiên, với hai mức biến đổi Wavelet, tốc độ thực thi của thuật toán LaSRSIE đã thay đổi đáng kể so với LoRSIE.

***Bảng 5**: Thời gian thực thi.*

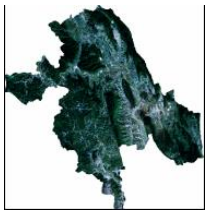
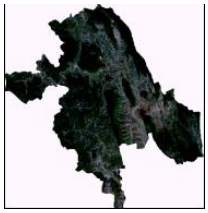
Thuật toán		Thời gian
Hyperbol mờ		2485
Tăng cường mờ		2281
Giãn FCM	LoRSIE	1028756
	LaSRSIE - 2 Level	57764
Hyperbol FCM	LoRSIE	1027408
	LaSRSIE - 2 Level	57724

V.2. Thử nghiệm 2

Trong thử nghiệm 2, ảnh gốc là ảnh vệ tinh LANDSAT khu vực huyện Lạc Thủy thuộc tỉnh Hoà Bình có kích thước 1733 x 1747.

Bảng 6 bao gồm ảnh đầu vào và ảnh kết quả khi tăng cường sử dụng phương pháp mờ với các toán tử tăng cường, hyperbol và phương pháp cải tiến của chúng tôi với hai toán tử giãn và hyperbol. Về mặt trực quan, ta có thể thấy ảnh sau tăng cường sử dụng phương pháp mờ tương quan màu giữa các các điểm ảnh không được bảo tồn, đặc biệt là với toán tử Hyperbol. Trong khi đó, kết quả của phương pháp cải tiến chỉ mang tính làm nổi bật hơn so với ảnh gốc.

***Bảng 6**. Tăng cường ảnh với phương pháp mờ và cải tiến.*

Tên	Ảnh
Đầu vào	
Hyperbol mờ	
Tăng cường mờ	
Giãn FCM	
Hyperbol FCM	

***Bảng 7.** So sánh chỉ số mờ của ảnh tăng cường theo phương pháp mờ và cải tiến.*

Kênh	Hyperbol mờ	Tăng cường mờ	Giãn FCM	Hyperbol FCM
1	0.28	0.28	0.12	0.15
2	0.27	0.30	0.07	0.09
3	0.27	0.28	0.19	0.23

Trong Bảng 7, qua việc so sánh chỉ số mờ, ta thấy γ của ảnh sinh ra bởi phương pháp cải tiến là thấp hơn khẳng định chất lượng ảnh tăng cường bởi phương pháp cải tiến cao hơn so với ảnh sinh ra bởi phương pháp mờ.

V.3. Thử nghiệm 3

Trong thử nghiệm 3, ảnh gốc là ảnh vệ tinh LANDSAT khu vực thị xã Hòa Bình thuộc tỉnh Hoà Bình có kích thước 1512 x 2592.

Bảng 8 bao gồm ảnh đầu vào và ảnh kết quả khi tăng cường sử dụng phương pháp mờ với các toán tử tăng cường, hyperbol và phương pháp cải tiến của chúng tôi với hai toán tử giãn và hyperbol. Về mặt trực quan, ta có thể thấy ảnh sau tăng cường sử dụng phương pháp mờ tương quan màu giữa các các điểm ảnh không được bảo tồn, đặc biệt là với toán tử Hyperbol. Trong khi đó, kết quả của phương pháp cải tiến chỉ mang tính làm nổi bật hơn so với ảnh gốc.

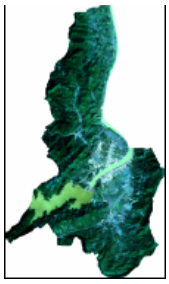
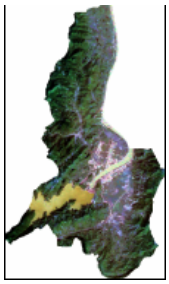
Trong Bảng 9, qua việc so sánh chỉ số mờ, ta thấy γ của ảnh sinh ra bởi phương pháp cải tiến là thấp hơn khẳng định chất lượng ảnh tăng cường bởi phương pháp cải tiến cao hơn so với ảnh sinh ra bởi phương pháp mờ. Tuy nhiên, độ tương phản về mặt chỉ số không cao hơn nhiều so với phương pháp mờ. Điều này cho thấy phương pháp mờ cho kết quả tốt với mẫu thử nghiệm này.

V.4. Thử nghiệm 4

Trong thử nghiệm 4, ảnh gốc là ảnh vệ tinh SPOT có kích thước 1951 x 1951.

Bảng 10 bao gồm ảnh đầu vào và ảnh kết quả khi tăng cường sử dụng phương pháp mờ với các toán tử tăng cường, hyperbol và phương pháp cải tiến của chúng tôi với hai toán tử giãn và hyperbol. Về mặt trực quan, ta có thể thấy ảnh sau tăng cường sử dụng toán tử tăng cường mờ chỉ cải thiện một phần độ tương phản. Trong khi đó, kết quả của toán tử Hyp mờ và các toán tử của phương pháp cải tiến cho ảnh tương phản rõ rệt và sáng hơn rất nhiều.

***Bảng 8**. Tăng cường ảnh với phương pháp mờ và cải tiến.*

Tên	Ảnh
Đầu vào	
Hyperbol mờ	
Tăng cường mờ	
Giãn FCM	
Hyperbol FCM	

***Bảng 9**. So sánh chỉ số mờ của ảnh tăng cường theo phương pháp mờ và cải tiến.*

Kênh	Hyperbol mờ	Tăng cường mờ	Giãn FCM	Hyperbol FCM
1	0.28	0.29	0.25	0.28
2	0.29	0.35	0.21	0.22
3	0.30	0.32	0.29	0.30

Trong Bảng 11, qua việc so sánh chỉ số mờ, ta thấy γ của ảnh sinh ra bởi phương pháp cải tiến là thấp hơn khẳng định chất lượng ảnh tăng cường bởi phương pháp cải tiến cao hơn so với ảnh sinh ra bởi phương pháp mờ.

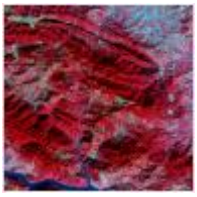
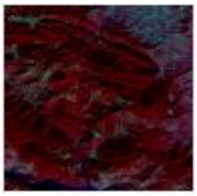
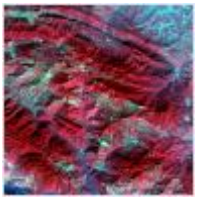
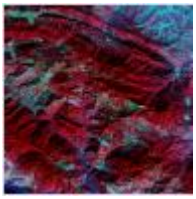
Bảng 12 thống kê thời gian thực thi của các thuật toán tăng cường. Chúng ta thấy, thời gian thực thi của các thuật toán LoRSIE là chậm hơn rất nhiều so với các thuật toán dựa trên logic mờ. Điều nay là dễ hiểu vì các thuật toán LoRSIE trước khi thực hiện việc tăng cường đều phải thực hiện thuật toán phân cụm mờ. Thuật toán phân cụm mờ có tốc độ khá chậm đặc biệt với ảnh kích thước lớn như viễn thám. Tuy nhiên, với hai mức biến đổi Wavelet, tốc độ thực thi của thuật toán LaSRSIE đã thay đổi đáng kể so với LoRSIE.

V.5. Thử nghiệm 5

Trong thử nghiệm 5, ảnh gốc là ảnh vệ tinh Quickbird có kích thước 1904 x 1922.

Bảng 13 bao gồm ảnh đầu vào và ảnh kết quả khi tăng cường sử dụng phương pháp mờ với các toán tử tăng cường, hyperbol và phương pháp cải tiến của chúng tôi với hai toán tử giãn và hyperbol. Về mặt trực quan, ta có thể thấy ảnh sau tăng cường sử dụng các toán tử theo phương pháp mờ chỉ cải thiện một phần độ tương phản. Trong khi đó, kết quả của toán tử Hyp mờ và các toán tử của phương pháp cải tiến cho ảnh tương phản và sáng hơn rất nhiều.

***Bảng 10**. Tăng cường ảnh với phương pháp mờ và cải tiến.*

Tên	Ảnh
Đầu vào	
Hyperbol mờ	
Tăng cường mờ	
Giãn FCM	
Hyperbol FCM	

***Bảng 11.** So sánh chỉ số mờ của ảnh tăng cường theo phương pháp mờ và cải tiến.*

Kênh	Hyperbol mờ	Tăng cường mờ	Giãn FCM	Hyperbol FCM
1	0.72	0.60	0.20	0.33
2	0.87	0.84	0.33	0.51
3	0.85	0.81	0.22	0.41

***Bảng 12**: Thời gian thực thi.*

Thuật toán		Thời gian
Hyperbol mờ		25188
Tăng cường mờ		25414
Giãn FCM	LoRSIE	2005436
	LaSRSIE-2 Level	152671
Hyperbol FCM	LoRSIE	2005443
	LaSRSIE-2 Level	152484

Trong bảng 14, qua việc so sánh chỉ số mờ, ta thấy γ của ảnh sinh ra bởi phương pháp cải tiến là thấp hơn khẳng định chất lượng ảnh tăng cường bởi phương pháp cải tiến cao hơn so với ảnh sinh ra bởi phương pháp mờ.

Bảng 15 thống kê thời gian thực thi của các thuật toán tăng cường. Chúng ta thấy, thời gian thực thi của các thuật toán LoRSIE là chậm hơn rất nhiều so với các thuật toán dựa trên logic mờ. Điều nay là dễ hiểu vì các thuật toán LoRSIE trước khi thực hiện việc tăng cường đều phải thực hiện thuật toán phân cụm mờ. Thuật toán phân cụm mờ có tốc độ khá chậm đặc biệt với ảnh kích thước lớn như viễn thám. Tuy nhiên, với hai mức biến đổi Wavelet, tốc độ thực thi của thuật toán LaSRSIE đã thay đổi đáng kể so với LoRSIE.

***Bảng 13**. Tăng cường ảnh với phương pháp mờ và cải tiến.*

Tên	Ảnh
Đầu vào	
Hyperbol mờ	
Tăng cường mờ	
Giãn FCM	
Hyperbol FCM	

***Bảng 14.** So sánh chỉ số mờ của ảnh tăng cường theo phương pháp mờ và cải tiến.*

Kênh	Hyperbol mờ	Tăng cường mờ	Giãn FCM	Hyperbol FCM
1	0.72	0.60	0.20	0.33
2	0.87	0.84	0.33	0.51
3	0.85	0.81	0.22	0.41

***Bảng 15.** Thời gian thực thi.*

Thuật toán		Thời gian
Hyperbol mờ		22406
Tăng cường mờ		22922
Giãn FCM	LoRSIE	2595006
	LaSRSIE-2 Level	184158
Hyperbol FCM	LoRSIE	2592406
	LaSRSIE-2 Level	184127

V. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã đề xuất cá thuật toán mới cho tăng cường ảnh viễn thám LoRSIE và viễn thám kích thước lớn LaSRSIE dựa trên tiếp cận cục bộ. LoRSIE được chia thành bốn giai đoạn. Thứ nhất, ảnh được cục bộ hóa bởi thuật toán phân cụm mờ. Thứ hai, tính tự động các ngưỡng theo mỗi cụm. Thứ ba, hiệu chỉnh các công thức biến đổi mức xám để phù hợp cho việc biến đổi theo cụm. Giai đoạn cuối cùng là sinh ảnh tăng cường qua việc tổng hợp mức xám mới từ các cụm theo công thức biến đổi mức xám đã hiệu chỉnh. Với LaRSIE, ảnh viễn thám kích thước lớn trước tiên được giảm kích thước sử dụng biến đổi Wavelet thuận. Ảnh xấp xỉ cự tiểu lựa chọn được tăng cường sử dụng LoRSIE. Ảnh tăng cường cuối cùng được sinh thông qua biến đổi Wavelet nghịch. Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp cải tiến cho chất lượng ảnh tăng cường cao hơn so với phương pháp tăng cường dựa trên logic đã có và thực hiện tốt trên ảnh viễn thám kích thước lớn. Ngoài ra, với những ảnh viễn thám kích thước trung bình, thuật toán LaRSIE giúp cải thiện tốc độ thực thi so với thuật toán LoRSIE.

Tuy nhiên, tốc độ thực thi của các thuật toán dựa trên tiếp cận cục bộ còn chậm. Ngay cả các thuật toán LaRSIE, dù đã cải thiện tốc độ so với LoRSIE nhưng vẫn còn chậm so với các thuật toán dựa trên logic mờ. Trong nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi dự kiến sẽ nghiên cứu giải pháp tăng tốc độ thuật toán phân cụm mờ để tăng tốc độ thực thi cho thuật toán LoRSIE.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J.C. BEZDEK, R. EHRLICH, W.FULL, *FCM: The fuzzy c-Means clustering algorithm*, Computers & Geosciences Vol. 10, No. 2-3, (1984), pp. 191-203.

[2] A.E. HASANIEN, A, BADR, *A Comparative Study on Digital Mamography Enhancement Algorithms Based on Fuzzy Theory*, Studies in Informatics and Control, Vol.12, No.1, March 2003.

[3] ZHU XIFANG, WU FENG, *An Improved Approach to Remove Cloud and Mist from Remote Sensing Images Based on Mallat Algorithm*, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2007, Beijing 2007.

[4] BEZDEK, J. C, *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithm*. New York: Plenum Press, 1981.

[5] ROSS, T. J, *Fuzzy logic with engineering applications, Fuzzy classifying*, Hoboken, NJ: John Wiley, pp. 379 - 387, 2004.

[6] ERIKSEN J P, PIZER S M, AUSTIN J D, *A multiprocessor engine for fastcontrast limited adaptive histogram equalisation SPIE Conference Medical Imaging* IV- Image Processing SPIE Vol. 1233,1994.

[7] GORDON R, RANGAYAN R M, *Feature enhancement of film mammograms using fixed and adaptive neighbourhoods Applied Optics* 23 560-564, 1984.

[8] G. SUDHAVANI, M. SRILAKSHMI, P. VENKATESWARA RAO, *Comparison of Fuzzy Contrast Enhancement Techniques, International Journal of Computer Applications*, Volume 95– No.22, June 2014, pp. 0975 – 8887.

[9] ZADEH, L. A., *A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges*, J. Cybern., vol. 2, pp. 4-34, 1972.

[10] PAL, S. K., KING, R. A., *Image Enhancement Using Smoothing with Fuzzy Sets*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. SMC-11, no. 7, pp. 494-501, July 1981.

[11] PAL S. K., KING R. A., *On edge detection of X-ray images using fuzzy sets*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-5, No. 1, pp. 69-77, 1983.

[12] BANKS, S., *Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, Prentice Hall International, 1990.

[13] TIZHOOSH H. R., FOCHEM M., *Image Enhancement with Fuzzy Histogram Hyperbolization*, Proceedings of EUFIT'95, vol. 3, pp. 1695-1698, 1995.

[14] KAUFMANN A., *Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets-Fundamental Theoretical Elements*, vol. 1, Academic Press, New York, 1975.

[15] DE LUCA A., TERMINI S., *A definition of no probabilistic entropy in the setting of fuzzy set theory*, Information and Control, vol. 20, pp. 301-312, 1972.

[16] PAL S.K., KUNDU M.K., *Automatic selection of object enhancement operator with quantitative justification based on fuzzy set theoretic measures*, Pattern Recognition Letters, vol. 11, pp. 811-829, 1990.

[17] Canada Center for Remote Sensing, *Fundamentals of Remote Sensing*, http://www.ccrs.nrcan.gc.ca, 2008.

[18] ADLIN SHARO T, KUMUDHA RAIMOND, *A Survey on Color Image Enhancement Techniques*, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Vol. 3, Issue 2 (Feb. 2013).

[19] AMAN TUSIA, DR. NARESH KUMAR, *Performance Analysis of Type-2 Fuzzy System for Image Enhancement using Optimization*, International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, Vol. 3 Issue 7, July-2014, pp: (108-116).

Ngày nhận bài: 02/06/2015

SƠ LƯỢC VỀ TÁC GIẢ

NGUYỄN TU TRUNG

Sinh năm 1985 tại Hà Nội.

Tốt nghiệp trường ĐH Sư phạm Hà Nội 2 năm 2007 và thạc sỹ tại trường ĐH Công Nghệ, ĐH Quốc gia Hà Nội năm 2011, nghiên cứu sinh khóa 2013, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông.

Hiện công tác tại Viện CNTT, Viện Hàn lâm KHCNVN.

Lĩnh vực nghiên cứu: Xử lý ảnh, xử lý tiếng nói, hệ thống thông tin, hệ thống nhúng.

Điện thoại: 0936 114 331

E-mail: nttrung@ioit.ac.vn

VŨ VĂN THỎA

Sinh năm 1955 tại Ninh Binh.

Tốt nghiệp Đại học Sư phạm Vinh năm 1975, Tiến Sĩ Viện Điều khiển tại Liên Xô cũ năm 1990.

Hiện công tác tại Khoa Quốc tế và Đào tạo Sau Đại học, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Lĩnh vực nghiên cứu: Lý thuyết thuật toán, tối ưu hóa, hệ thông tin địa lý, mạng viễn thông.

Điện thoại: 0913 321 674

E-mail: thoa236@gmail.com

ĐẶNG VĂN ĐỨC

Sinh năm 1951.

Nhận học vị Tiến sĩ năm 1996. Nhận chức danh Phó Giáo sư năm 2002.

Hiện công tác tại Viện CNTT, Viện Hàn lâm KHCNVN

Lĩnh vực nghiên cứu: GIS và Viễn thám, Đa phương tiện, Công nghệ phần mềm.

Điện thoại: 0912 223 163

E-mail: dvduc@ioit.ac.vn