



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

# Ứng dụng thuật toán phân cụm mờ trên ảnh chỉ số nước trong chiết tách thông tin nước mặt khu vực cửa sông

Cao Xuân Cường\*, Võ Ngọc Dũng

Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

### TÓM TẮT

#### Quá trình:

Nhận bài 10/8/2018  
Chấp nhận 25/9/2018  
Đăng online 31/10/2018

#### Từ khóa:

Nước mặt  
Viễn thám  
Chiết tách nước  
Chỉ số nước  
Landsat  
Fuzzy c-means

Nước tại khu vực cửa sông là một trong những môi trường có sự đa dạng sinh học bậc nhất trên bề mặt đất. Tuy nhiên, hiện nay, môi trường này thường xuyên bị đe dọa bởi các hoạt động của con người. Để tăng cường hiệu quả cho công tác quản lý và bảo vệ môi trường quan trọng này thì một giải pháp chiết tách thông tin nước bề mặt trên tư liệu ảnh viễn thám nhanh chóng và chính xác là rất cần thiết. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân cụm mờ fuzzy c-means (FCM) tích hợp với thông tin không gian của các điểm ảnh láng giềng (MFCM) áp dụng lên ảnh chỉ số nước (WIs) được sử dụng để chiết tách nước mặt trên ảnh viễn thám. Phương pháp này được áp dụng cho ảnh Landsat 8 OLI chụp khu vực cửa sông Bạch Đằng thuộc thành phố Hải Phòng và tỉnh Quảng Ninh. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng đánh giá sự ảnh hưởng tới hiệu quả chiết tách nước mặt của tham số mức độ mờ hóa (fuzzification) và số lượng các điểm ảnh láng giềng trong thuật toán FCM. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi hệ số mờ và số điểm ảnh láng giềng tăng, độ chính xác tách nước sẽ giảm, với  $m=2$  và số điểm ảnh láng giềng là 8 thì phương pháp đạt hiệu quả cao nhất về thời gian xử lý. Ngoài ra, khi so sánh với phương pháp phân ngưỡng, phương pháp được sử dụng cũng cho độ chính xác cao hơn với hệ số  $\kappa$  của hai phương pháp lần lượt là 0.84 và 0.87.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Cửa sông là nơi các dòng sông đổ ra biển, nơi nước ngọt giao hòa với nước mặn. Điều kiện đặc biệt này đã tạo ra một trong những môi trường có sự đa dạng sinh học bậc nhất trên bề mặt đất (Fujii, 2012; McKeon et al., 2015). Việt Nam là một quốc gia có đường bờ biển dài với nhiều khu vực cửa sông quan trọng. Đây là môi trường cho các hệ

sinh thái quan trọng như hệ sinh thái rừng ngập mặn phát triển (Pham & Yoshino, 2016). Tuy nhiên, các hoạt động của con người đã và đang đe dọa nghiêm trọng tới môi trường các cửa sông. Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu cũng góp phần làm thay đổi môi trường này (Fujii, 2012). Để quản lý và bảo vệ môi trường cửa sông một cách hiệu quả, một giải pháp chiết tách thông tin nước bề mặt ở khu vực này trên tư liệu ảnh viễn thám nhanh chóng và chính xác là rất cần thiết.

Viễn thám là một trong những công nghệ đã được sử dụng hiệu quả trong giám sát tài nguyên

\*Tác giả liên hệ

E-mail: caoxuancuong@humg.edu.vn

thiên nhiên nói chung và tài nguyên nước nói riêng (Alsdorf & Lettenmaier, 2003). Khi sử dụng tư liệu ảnh viễn thám thành lập bản đồ chuyên đề về tài nguyên nước mặt, bên cạnh các phương pháp thường được sử dụng như số hóa dựa trên giải đoán bằng mắt (digitizing), phương pháp phân ngưỡng (density slicing), phân loại có kiểm định và không kiểm định (supervised and unsupervised classifications), phương pháp phân cụm mờ (fuzzy c - means) áp dụng trên các chỉ số nước (water indices-WIs) còn tương đối mới mẻ. Trong nghiên cứu của Yang et al. (2015), các tác giả đã phân tích đánh giá chi tiết các phương pháp nêu trên và đưa ra các ưu nhược điểm của từng phương pháp. Cụ thể, phương pháp số hóa dựa trên giải đoán bằng mắt tuy cho độ chính xác cao nhưng lại tốn nhiều thời gian và sức lao động, do đó không thực tế trong các trường hợp nghiên cứu trên qui mô rộng. Phương pháp phân ngưỡng được đề xuất và sử dụng trong nhiều nghiên cứu của (Frazier et al., 2003; Ryu et al., 2002; White, 1999). Trong nghiên cứu về lũ lụt ở khu vực đất ngập nước của Frazier và đồng nghiệp (2003), các giá trị ngưỡng đã được sử dụng phân loại nước và không phải nước trên kênh 5 của ảnh Landsat TM (Frazier et al., 2003). Đây là phương pháp đơn giản và hiệu quả về mặt thời gian, tuy nhiên, độ chính xác bị ảnh hưởng nhiều bởi sự các yếu tố như bóng địa hình và mây (Verpoorter et al., 2014). Một phương pháp khác có thể được sử dụng để chiết tách nước là phân loại có kiểm định và không kiểm định. Phương pháp phân loại có kiểm định phụ thuộc nhiều vào ý kiến chủ quan của chuyên gia và chất lượng của việc lấy mẫu, trong khi phương pháp phân loại không kiểm định cho độ chính xác thấp khi khu vực phân loại lẫn nhiều đối tượng có sự tương phản về phổ thấp (Hao et al., 2014). Chiết tách nước sử dụng các chỉ số toán học (chỉ số nước-WIs) được tính từ các kênh ảnh là một trong các phương pháp được sử dụng khá phổ biến do tính hiệu quả và tiện lợi của nó. Các chỉ số nước như Normalized Difference Water Index (NDWI) (McFeeters, 1996), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) (Xu, 2006), và Automated Water Extraction Index (AWEI) (Feyisa et al., 2014) được xác định từ các kênh ảnh green (kênh 2), near-infrared (kênh 4), và SWIR1 (kênh 6) của Landsat. Các chỉ số này được thiết kế nhằm làm nổi bật các đối tượng nước bề mặt trên ảnh quang học thông qua việc

tăng cường sự khác biệt giữa các điểm ảnh mang thông tin nước và các điểm ảnh mang thông tin của các đối tượng khác liền kề, đồng thời loại bỏ các điểm ảnh nhiễu. Nghiên cứu của Hao và đồng nghiệp đã sử dụng hiệu quả phương pháp chỉ số nước để lập bản đồ các sông và hồ bằng ảnh Landsat (Hao et al., 2014). Tuy nhiên, các tác giả cũng chỉ ra các nhược điểm của phương pháp này như: (1) độ chính xác phân loại thấp với các điểm ảnh lẫn giữa nước và các đối tượng khác; (2) với mỗi khu vực khác nhau thì đặt một ngưỡng phân loại khác nhau; (3) không loại bỏ được các nhiễu. Mặc dù mỗi phương pháp có ưu nhược điểm riêng, nhưng sự đa dạng các phương pháp chiết tách nước bề mặt nêu trên đã chứng minh khả năng ưu việt của phương pháp viễn thám trong nghiên cứu tài nguyên nước mặt.

Thuật toán phân cụm mờ (fuzzy c-means - FCM) được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu của lĩnh vực viễn thám (Ghosh et al., 2011; Kersten et al., 2005). Ghosh và các đồng nghiệp (2011) đã sử dụng thuật toán phân cụm mờ nâng cao độ chính xác phân loại và phát hiện biến động. Một số nghiên cứu khác chỉ ra rằng thuật toán phân cụm mờ có tích hợp thông tin các điểm ảnh lân cận có thể xử lý được nhiễu và vấn đề về giá trị tương phản thấp (Ghaffarian & Ghaffarian, 2014; Stavrakoudis et al., 2011). Tính chất biến đổi liên tục từ 0 đến 1 của giá trị thành viên (membership) trong logic mờ (fuzzy) (Bezdek et al., 1984) có thể được sử dụng để biểu diễn sự biến đổi liên tục về giá trị độ ẩm của khu vực chuyển tiếp giữa nước và không phải nước. Trên thế giới, việc kết hợp giữa FCM và WIs trên ảnh viễn thám nhằm chiết tách thông tin nước mặt đã được Yang et al. (2015) thực hiện thành công cho một số các đối tượng nước mặt khác nhau trên phạm vi toàn cầu. Tuy nhiên, nước là môi trường khá đa dạng và phức tạp, mỗi khu vực sẽ có đặc điểm lý hóa và sinh học khác nhau. Với điều kiện môi trường đặc trưng riêng như cửa sông, việc tìm ra một giải pháp phù hợp là cần thiết. Bài báo giới thiệu kết quả ứng dụng phương pháp FCM trên ảnh chỉ số nước WIs trong chiết tách nước mặt của khu vực cửa sông Việt Nam.

## 2. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực được lựa chọn cho nghiên cứu nhằm

đánh giá giải pháp đề xuất là khu vực cửa sông Bạch Đằng, thuộc địa bàn thành phố Hải Phòng và tỉnh Quảng Ninh (Hình 1). Đây là khu vực có sự hiện diện chủ yếu của rừng ngập mặn. Những năm gần đây, nhờ chính sách bảo vệ, phục hồi và phát triển rừng ngập mặn của Chính phủ Việt Nam, đồng thời với các dự án hỗ trợ quốc tế như dự án của tổ chức Chữ thập đỏ Nhật Bản (JRC) (Pham & Yoshino, 2016), rừng ngập mặn ở khu vực này phát triển tương đối tốt.

## 2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu sử dụng cho nghiên cứu là ảnh Landsat 8 OLI ở mức xử lý L1 đã được nắn và hiệu chỉnh ảnh hưởng địa hình từ USGS EarthExplorer. Mô tả chi tiết về mức độ che phủ bởi mây, thời gian chụp, và các thông tin quan trọng khác được cung cấp trong bảng 1.

Ảnh được chọn sau khi đã khảo sát tất cả các ảnh nhằm tránh ảnh hưởng của mây. Ảnh có định dạng GeoTIFF, trong hệ qui chiếu UTM được nắn

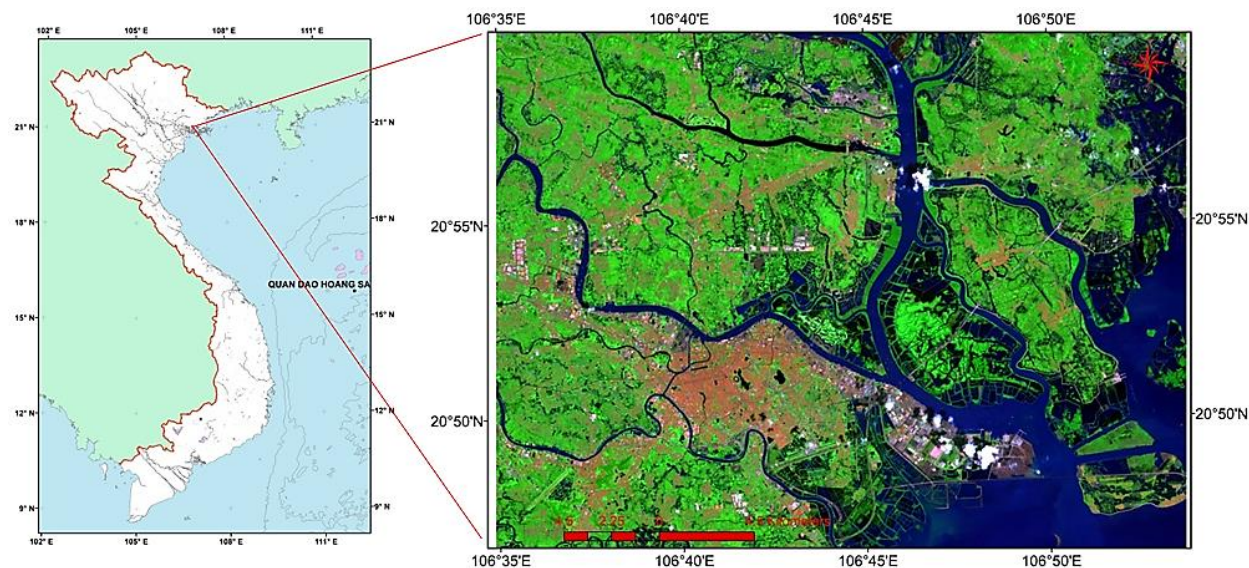
với độ chính xác cỡ 0.4 pixel và được xem là chấp nhận được về độ chính xác không gian.

Để đánh giá độ chính xác kết quả chiết tách nước, ảnh PlanetScope có độ phân giải 3 m chụp vào cùng thời gian với ảnh Landsat được dùng để số hóa các đối tượng nước. Yêu cầu về độ chính xác của đồng đăng ký ảnh được đảm bảo nhờ thực hiện thủ công. Cơ sở dữ liệu số hóa được coi là dữ liệu chuẩn phục vụ đánh giá độ chính xác phân loại.

## 3. Phương pháp nghiên cứu

### 3.1. Phương pháp chỉ số nước trên tư liệu ảnh viễn thám

Các chỉ số nước như Normalized Difference Water Index (NDWI) (McFeeters, 1996), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) (Xu, 2006), và Automated Water Extraction Index (AWEI) (Feyisa et al., 2014) được xác định từ các kênh ảnh green (kênh 2), near-infrared (kênh 4), và SWIR1 (kênh 6) của Landsat 5 TM.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu (ảnh Landsat 8 OLI tổ hợp RGB: 753).

Bảng 1. Dữ liệu ảnh vệ tinh nghiên cứu.

Ảnh	Path/row	Thời gian chụp	Mây che phủ (%)	Độ phân giải (m)
Landsat 8 OLI LC81260462017260LGN00	126/46	17/09/2017 03:17:45	9.79	30
PlanetScope 20170917_024558_of25 20170917_024559_of25 20170917_024600_of25	Strip_id 761211	17/09/2017 02:45:58 02:45:59 02:46:00	0	3

Các chỉ số này được thiết kế nhằm làm nổi bật các đối tượng nước bề mặt trên ảnh quang học thông qua việc tăng cường sự khác biệt giữa các điểm ảnh mang thông tin nước và các điểm ảnh mang thông tin của các đối tượng khác liền kề, đồng thời loại bỏ các điểm ảnh nhiễu (Yang et al., 2015).

Năm 1996, McFeeters và đồng nghiệp đưa ra công thức tính chỉ số nước sử dụng hai kênh Green và NIR:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

Việc lựa chọn các kênh ảnh này là nhằm: (1) Tối đa khả năng phản xạ ánh sáng có bước sóng trong dải xanh lá cây (green) của các đối tượng nước. (2) Giảm đến mức tối thiểu phản xạ của ánh sáng có bước sóng trong dải cận hồng ngoại (NIR) của các đối tượng nước. (3) Tận dụng tính phản xạ mạnh của tia NIR khi gặp thực vật và đất trống.

Trên ảnh NDWI, các đối tượng nước sẽ có giá trị NDWI lớn hơn không, trong khi đất và thực phủ trên cạn có giá trị NDWI âm hoặc bằng không. Giá trị NDWI biến thiên từ -1 đến 1.

Chỉ số MNDWI được đề xuất bởi Xu (2006), chỉ số nước MNDWI được phát triển từ chỉ số NDWI của McFeeters (1996). Tác giả chỉ ra nhược điểm của chỉ số NDWI là cho độ chính xác không cao đối với khu vực đất đô thị. Nước được chiết tách từ khu vực này thường bị lẫn với đất đô thị. Điều này có nghĩa là khu vực xây dựng cũng có giá trị NDWI lớn hơn không. Nguyên nhân là do giá trị phản xạ của cả đất xây dựng và nước hồ ở kênh Green mạnh hơn ở kênh NIR (Xu, 2006). Tuy nhiên, các khảo sát chi tiết về đặc điểm phản xạ phổ của đất đô thị ở kênh hồng ngoại trung (MIR) cho thấy giá trị phản xạ phổ ở kênh này lớn hơn kênh Green. Do đó, để phân biệt giữa đất xây dựng và nước, kênh MIR được sử dụng thay thế kênh NIR trong công thức tính NDWI. Sự thay đổi này cho ra chỉ số mới là MNDWI:

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (2)$$

Các thực thể nước bề mặt rất đa dạng về kích thước, hình dạng và địa mạo, ví dụ hồ trên núi khác với hồ ở khu đô thị về hình dạng, bao quanh bởi thực phủ khác nhau và đặc trưng phổ khác nhau. Dựa vào ý tưởng này, cộng với các khảo sát cẩn thận và chi tiết, Feyisa et al. (2014) sử dụng năm kênh ảnh Landsat TM để tạo ra một chỉ số

nước AWEI, chỉ số này gồm hai chỉ số là AWEI<sub>sh</sub> và AWEI<sub>nsh</sub>.

$$AWEI_{sh} = \rho_{band1} + 2.5 \times \rho_{band2} - 1.5 \times (\rho_{band4} + \rho_{band5}) - 0.25 \times \rho_{band7} \quad (3)$$

$$AWEI_{nsh} = 4 \times (\rho_{band2} - \rho_{band5}) - 0.25 \times (\rho_{band4} + 2.75 \times \rho_{band7}) \quad (4)$$

Trong đó,  $\rho$  là giá trị phản xạ phổ của 5 kênh ảnh Landsat TM sau:

Band 1: kênh blue; band 2: kênh Green; band 4: kênh NIR; band 5: kênh SWIR 1; band 7: kênh SWIR 2.

### 3.2. Cơ sở toán học của phương pháp phân cụm mờ (FCM)

Thuật toán FCM được đề xuất lần đầu tiên bởi Dunn (1973), sau đó được phát triển bởi Bezdek (1973). Đầu vào thuật toán là bộ dữ liệu  $X$ , thuật toán cho phép phân cụm không gian dữ liệu  $X$ . Với số lượng cụm cho trước là  $C$  ( $C \geq 2$ ),  $m$  là số thực ( $m > 1$ ), sử dụng quá trình lặp để đưa hàm mục tiêu ( $J$ ) đạt giá trị cực tiểu.

$$J = \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n u_{kj}^m \|x_k - v_j\|^2 \quad (5)$$

Trong đó:  $m$  là số mờ hóa;  $c$  là số cụm,  $n$  là số phần tử dữ liệu,  $r$  là số chiều của dữ liệu;  $U_{kj}$  là giá trị thành viên của phần tử dữ liệu  $X_k$  trong cụm  $j$ ;  $X_k \in R^r$  là phần tử thứ  $k$  của  $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ ;  $v_j$  là tâm của cụm  $j$ .

Để đưa hàm mục tiêu về cực tiểu, cần đảm bảo điều kiện  $\sum_{i=1}^C u_{ik} = 1$ , ta có  $\frac{\partial J}{\partial u} = 0$  và  $\frac{\partial J}{\partial v} = 0$ . Các điều kiện này cho ta các nghiệm sau:

$$u_{kj} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c \left( \frac{\|x_k - v_j\|}{\|x_k - v_i\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (6)$$

và

$$v_j = \frac{\sum_{k=1}^n u_{kj}^m x_k}{\sum_{k=1}^n u_{kj}^m} \quad (7)$$

Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng phân cụm là bài toán phân loại các phần tử thành các cụm cùng độ đồng nhất về thuộc tính nào đó (Adhikari et al.,

2015; Chuang et al., 2006). Thông thường các phần tử lân cận nhau (phần tử láng giềng) có sự tương quan lớn và phụ thuộc lẫn nhau. Trong khi thuật toán FCM truyền thống không tính tới sự tương quan giữa các phần tử láng giềng, dẫn tới độ chính xác phân cụm thấp. Để nâng cao độ chính xác phân cụm, mối quan hệ không gian giữa các phần tử láng giềng được sử dụng tính giá trị thành viên, phương pháp này được gọi là phân cụm mờ láng giềng thích nghi (MFCM). Các phần tử nào có càng nhiều các phần tử láng giềng có cùng thuộc tính với nó thì xác suất của các phần tử này thuộc về cùng cụm với các phần tử láng giềng càng cao. Việc đưa thông tin không gian sẽ giúp loại bỏ nhiễu. Công thức tính tới sự ảnh hưởng của các phần tử láng giềng được thể hiện như sau:

$$f_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{N_w} u_{ik}}{M} \quad (8)$$

Trong đó:  $f_{ij}$  giá trị trọng số được tính thông qua các phần tử láng giềng.  $N_w$  là cửa sổ hình vuông với phần tử xét ở tâm của nó.  $M$  số lượng các phần tử trong cửa sổ.

Lúc này, giá trị thành viên được tính như sau:

$$u'_{ij} = \frac{(u_{ij})^p (f_{ij})^q}{\sum_{k=1}^c (u_{kj})^p (f_{kj})^q} \quad (9)$$

Và giá trị tâm cụm được tính như sau:

$$v'_i = \frac{\sum_{j=1}^N u'_{ij} x_j}{\sum_{j=1}^N u'_{ij}} \quad (10)$$

Bảng 2. Thuật toán chương trình tự động chiết tách nước mặt MFCM.

Input	Ảnh chỉ số nước
Output	Ảnh gồm 2 lớp nước và không phải nước
	MFCM
1	Số cụm $C = 2$ , ngưỡng dừng $\mathcal{E} = 0.000006$ , số mờ hóa $m$ , chọn bước lặp $t = 1$ .
2	Xác định histogram của ảnh chỉ số nước và tính khởi tạo giá trị cho tâm cụm $v = [v_j]$ , $j = 1, 2$ .
3	Lựa chọn kích thước cửa sổ $N$ .
4	Repeat
5	$t = t + 1$
6	Tính khoảng cách Euclidean của từng pixel tới tâm cụm.
7	Tính giá trị thành viên theo công thức (6)
8	Tính giá trị trọng số $f_{ij}$ theo công thức (8), chọn $q = p = 2$ , tính lại giá trị thành viên và giá trị tâm cụm theo công thức (9) và (10).
9	Until $\ v^{(t+1)} - v^{(t)}\  < \mathcal{E}$
10	If $v_1 > v_2$ then Cụm 1 là nước; Cụm 2 là không phải nước Else Cụm 1 là không phải nước; Cụm 2 là nước

Trong đó  $p$  và  $q$  là các tham số khống chế tầm ảnh hưởng của các giá trị thành viên tính theo công thức (6) và (8).

### 3.3. Thuật toán tự động chiết tách nước mặt bằng thuật toán phân cụm mờ láng giềng thích nghi

Thuật toán của chương trình được mô tả như Bảng 2.

### 3.3. Phương pháp chiết tách nước mặt sử dụng kết hợp MFCM và chỉ số nước WIs

#### 3.3.1. Các giải pháp kết hợp MFCM và WIs

Giải pháp kết hợp giữa phân cụm mờ MFCM và chỉ số nước WIs có thể được thực hiện theo các quy trình <1>, <2>, <3>, <4>. (Yang et al., 2015):

<1> Áp dụng MFCM lên các kênh ảnh gốc, sau đó mới tạo các kênh chỉ số nước.

<2> Các chỉ số nước được tạo ra từ các kênh ảnh gốc, và áp dụng MFCM lên các kênh chỉ số nước này.

<3> Lựa chọn các kênh chỉ số nước phù hợp nhất để tạo ra một bộ dữ liệu gồm các kênh thành phần chính độc lập nhau (uncorrelated principal components), sau đó mới áp dụng MFCM.

<4> Áp dụng kỹ thuật trộn ảnh lên kết quả của quá trình xử lý các kênh chỉ số nước bằng MFCM.



Các quy trình <1>, <3> và <4> được đánh giá là tương đối phức tạp và có thể chỉ cho độ chính xác được nâng lên không đáng kể so với quy trình <2> (Yang et al., 2015). Tính phức tạp là do việc mỗi chỉ số nước cần sử dụng các tham số xử lý khác nhau, việc kết hợp sẽ cần bộ tham số xử lý phức tạp hơn. Điều này sẽ tạo ra khối lượng tính toán lớn.

Để tạo ra giải pháp chiết tách nước đơn giản, hiệu quả, chính xác và tự động, sự kết hợp giữa MFCM và WIs được thực hiện theo quy trình <2>. Sơ đồ quy trình được thể hiện chi tiết như Hình 2.

### 3.3.2. Khảo sát lựa chọn các tham số mờ hóa và số lượng điểm ảnh láng giềng

Để có một giải pháp tối ưu, tham số mờ hóa và kích thước cửa sổ sẽ lần lượt được khảo sát với các giá trị ghi trong Bảng 3.

Bảng 3. Các tham số lựa chọn khảo sát.

Giá trị mờ hóa (m)	Kích thước cửa sổ (N)
1.5	3x3
2	5x5
2.5	7x7
3	9x9
3.5	11x11
4	21x21

Nước mặt tại khu vực cửa sông sẽ được chiết tách trên ảnh Landsat sử dụng MFCM và WIs với lần lượt từng tham số mờ hóa và kích thước cửa sổ. Kết quả chiết tách sẽ được đánh giá độ chính xác và so sánh để rút ra tham số m và kích thước cửa sổ tối ưu.

### 3.3.3. Đánh giá độ chính xác của phương pháp đề xuất

Phương pháp đánh giá độ chính xác được sử dụng khá phổ biến là ma trận sai số (error matrices) và chỉ số kappa sẽ được sử dụng để đánh giá độ chính xác các chỉ số nước nêu trên. Bên cạnh đó, phương pháp phân loại đặt ngưỡng cũng sẽ được sử dụng vào phân loại khu vực thực nghiệm. Kết quả phân loại bằng phương pháp đặt ngưỡng được sử dụng để so sánh với phương pháp chỉ số nước kết hợp với phân cụm mờ.

Do tính chất đa dạng của lớp phủ nên đặc điểm phản xạ phổ của các đối tượng này trên từng kênh ảnh tương đối phức tạp. Các chỉ số nước nêu ở trên được tính dựa trên các kênh ảnh này nên có cả ưu điểm và hạn chế. Khi sử dụng phương pháp

phân ngưỡng cho các chỉ số nước, cần có các khảo sát toàn diện để xác định ngưỡng nào là tối ưu nhất cho từng chỉ số nước. Căn cứ vào biểu đồ histogram của các kênh ảnh chỉ số nước để lựa chọn các ngưỡng tham gia vào quá trình khảo sát xác định ngưỡng tối ưu. Các ngưỡng này được đưa vào phân loại, các điểm ảnh có giá trị nhỏ hơn ngưỡng khảo sát được đưa về lớp không phải nước, ngược lại nếu lớn hơn ngưỡng khảo sát thì sẽ thuộc về lớp nước. Các sai số lấy thừa và bỏ sót được tính nhằm tìm ra ngưỡng tối ưu. Việc quyết định ngưỡng nào là tối ưu đối với từng chỉ số nước, sẽ căn cứ vào sai số lấy thừa hoặc lẫn (commission) và sai số bỏ sót (omission). Thông thường khi sai số lấy thừa lớn thì sai số bỏ sót sẽ nhỏ và ngược lại. Do đó, ngưỡng tối ưu sẽ là ngưỡng mà cho kết quả phân loại có sai số lấy thừa bằng sai số bỏ sót.

Công thức tính các sai số như sau:

$$SL\ddot{a}n = A/B*100\%; \quad (12)$$

$$Sb\ddot{o} \text{ s\ddot{o}t} = C/D*100\%; \quad (13)$$

Trong đó: A - là số pixel bị phân loại nhầm từ không phải nước sang nước; B - là tổng số pixel được phân loại thành nước; C - là số pixel bị phân loại nhầm từ nước sang không phải nước; D - là tổng số pixel nước tham khảo.

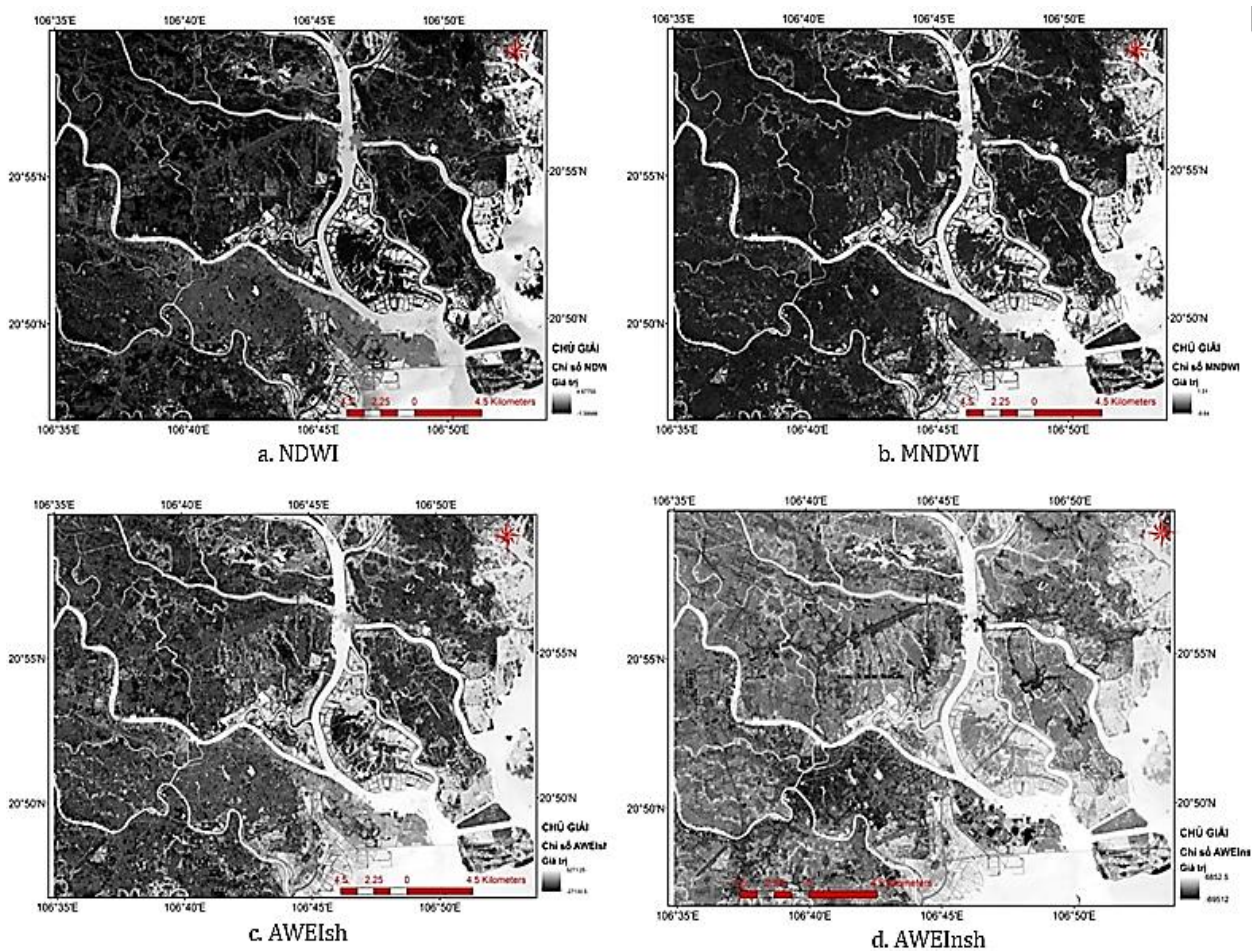
## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Xác định ngưỡng tối ưu cho các chỉ số nước

Các ảnh chỉ số nước được xác định và thể hiện như trong Hình 3. Với ảnh chỉ số NDWI, các ngưỡng có giá trị từ -0.426 đến 0.128 được lựa chọn đưa vào phân loại. Kết quả cho thấy ngưỡng -0.138 cho kết quả phân loại với sai số lấy thừa và bỏ sót gần như bằng nhau. Do đó, ngưỡng này được chọn là ngưỡng tối ưu cho ảnh NDWI. Làm tương tự với các ảnh chỉ số nước còn lại, kết quả được như sau: với MNDWI có ngưỡng tối ưu là 0.118, AWEIsh có ngưỡng tối ưu là -0.03, và AWEInsh có ngưỡng tối ưu là -0.028 (Bảng 4). Từ đây, kết quả phân loại của các ngưỡng này sẽ được so sánh với kết quả phân loại dùng phương pháp MFCM.

### 4.2. Kết quả khảo sát xác định các tham số cho MFCM

Quá trình khảo sát các tham số cho trong Bảng 3 cho kết quả như Bảng 5.



Hình 3. Các ảnh chỉ số nước khu vực nghiên cứu.

Bảng 4. Kết quả khảo sát xác định ngưỡng tối ưu cho các chỉ số nước.

Chỉ số nước NDWI			Chỉ số nước MNDWI		
Ngưỡng	Sai số		Ngưỡng	Sai số	
	Lấn	Bỏ sót		Lấn	Bỏ sót
0.128	0.4	25	-0.166	15.66	3.05
0.002	1.11	20.69	-0.078	11.03	5.47
-0.138	2.69	15.63	-0.006	8.49	7.68
-0.342	8.26	8.27	0.011	7.97	8.23
-0.355	8.8	7.8	0.021	7.71	8.5
-0.395	10.74	6.38	0.305	2.63	17.65
Chỉ số nước AWEIsh			Chỉ số nước AWEInsh		
-0.055	14.68	2.83	-0.064	16.62	3.64
-0.037	9.3	5.86	-0.052	16.31	4.99
-0.030	7.5	7.44	-0.028	8.19	8.76
0.013	1.01	22.01	-0.023	7.29	9.65
			-0.008	4.76	13.18
			0.046	0.3	36.41

Bảng 5. Kết quả khảo sát tham số MFCM.

m	OA %	T (")	N	OA %
1.5	92.912	815	3x3	92.910
2	92.910	555	5x5	92.909
2.5	92.909	995	7x7	92.908
3	92.907	997	9x9	92.908
3.5	92.905	1105	11x11	92.900
4	92.901	1127	21x21	92.861

(OA: sai số toàn cục; T: thời gian xử lý (giây).

Kết quả khảo sát các tham số mờ hóa (m) cho thấy mặc dù sự khác biệt về độ chính xác phân loại là không đáng kể (khác biệt lớn nhất là 0.011%), tuy nhiên, vẫn có thể thấy được qui luật là khi m tăng thì độ chính xác giảm. Bên cạnh đó, xét về tốc độ tính toán, với  $m = 2$  thì thời gian xử lý nhanh nhất  $T = 555$  giây (cho ảnh kích thước  $6290 \times 6460$  trên Matlab<sup>™</sup> 9.0 và máy tính Intel(R) Core(TM) i7 CPU 2.0 GHz).

Kết quả khảo sát các kích thước cửa sổ cũng cho kết quả tương tự với sự khác biệt không đáng kể về độ chính xác (lớn nhất là 0.049%) và một xu hướng giảm dần về độ chính xác chiết tách khi

kích thước cửa sổ tăng lên. Tuy nhiên, về thời gian xử lý thì gần như không có khác biệt. Kết quả khảo sát cho hai tham số tối ưu  $m = 2$  và  $N = 3$ .

#### 4.3 Kết quả phân loại bằng phương pháp phân cụm mờ láng giềng thích nghi

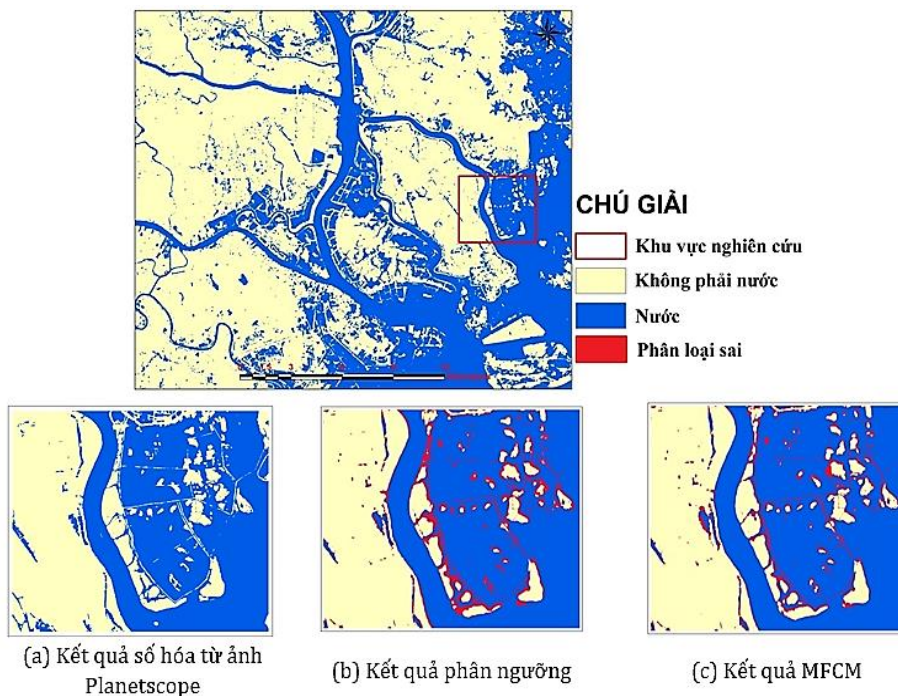
Đối với trường hợp chỉ sử dụng các chỉ số nước, kết quả đánh giá độ chính xác phân loại cho thấy các hệ số kappa (KC) từ 0.84 đến 0.86. Trong đó, chỉ số nước AWEIsh có độ chính xác cao nhất với  $KC = 0.86$  và độ chính xác toàn cục (OA) là 92.86%, chỉ số AWEInsh cho độ chính xác thấp nhất với  $KC = 0.84$  và  $OE = 91.96\%$  (Bảng 6).

Kết quả chiết tách nước sử dụng chương trình phân cụm mờ láng giềng thích nghi cho kết quả như trong Bảng 6. Có thể thấy rằng, phương pháp MFCM và WIs cho kết quả chính xác cao hơn so với phương pháp sử dụng ngưỡng.

Khảo sát bằng mắt, có thể thấy rằng phương pháp phân ngưỡng cho kết quả phân loại với nhiều điểm ảnh phân loại sai hơn so với phương pháp MFCM (Hình 4).

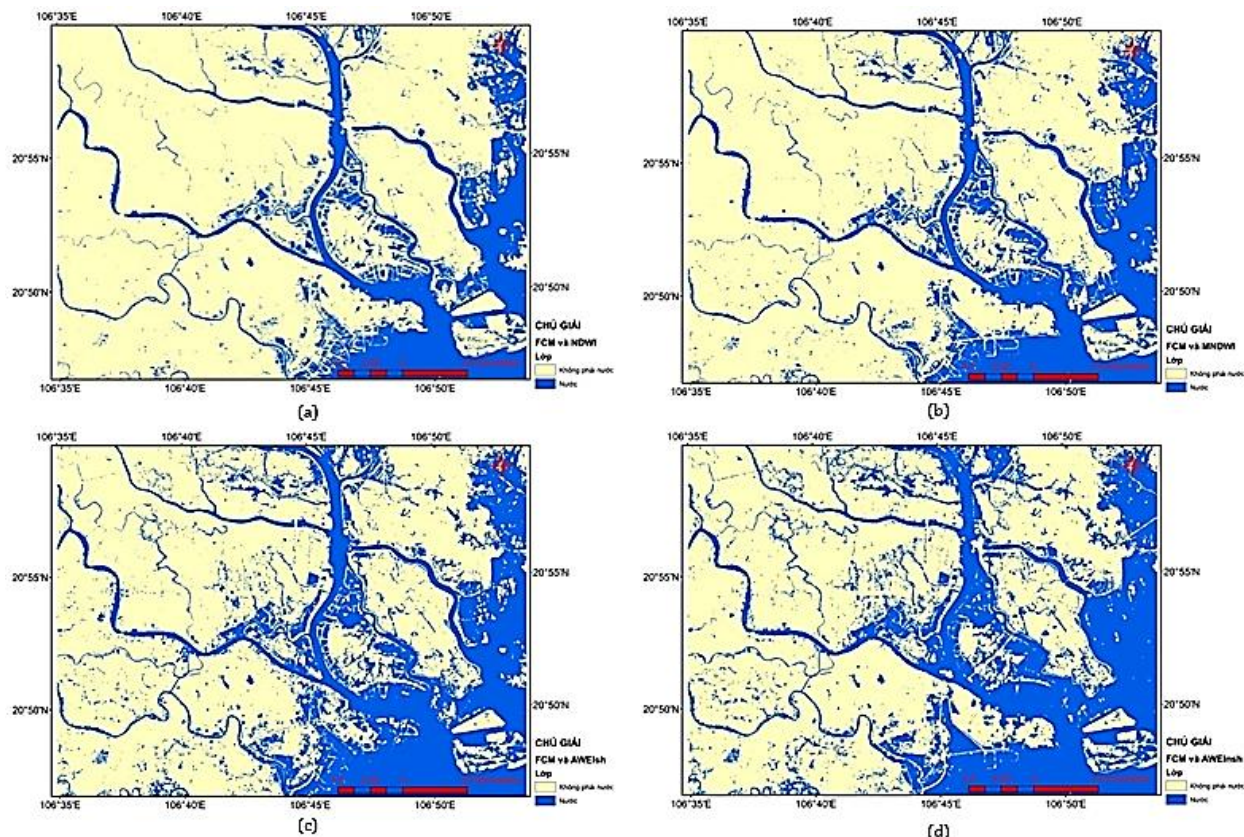
Bảng 6. So sánh độ chính xác phân loại của phương pháp WIs và phương pháp FCM.

Sai số	Phương pháp							
	NDWI	FCM - NDWI	MNDWI	FCM - MNDWI	AWEIsh	FCM - AWEIsh	AWEInsh	FCM - AWEInsh
KC	0.84	0.85	0.85	0.87	0.86	0.86	0.84	0.84
OA (%)	92.13	92.37	92.3	93.08	92.89	92.91	91.96	92.02



Hình 4. So sánh kết quả chiết tách nước mặt giữa phương pháp phân ngưỡng và MFCM.





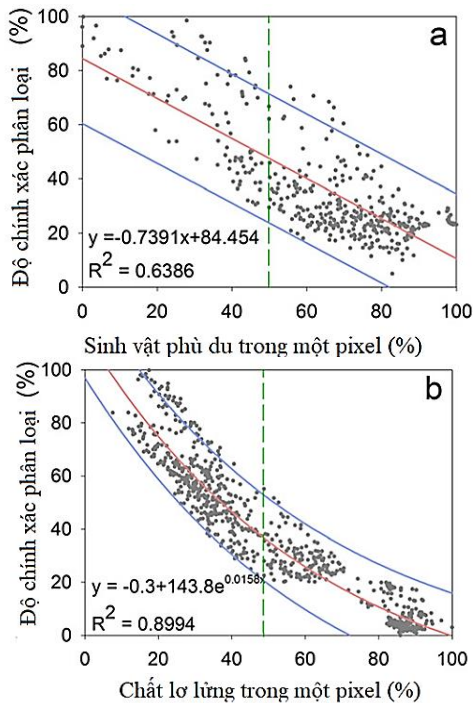
Hình 5. Kết quả chiết tách nước bằng MFCM kết hợp các ảnh chỉ số: a. NDWI; b. MNDWI; c. AWEIsh; d. AWEInsh.

### 4.3 Thảo luận

Trong thuật toán FCM láng giềng thích nghi, hai tham số quan trọng nhất có ảnh hưởng tới kết quả chiết tách thông tin nước mặt là tham số mờ hóa (fuzzification) và số lượng các điểm ảnh láng giềng được xác định thông qua kích thước cửa sổ trượt ( $N$ ). Giá trị mờ hóa  $m$  làm giảm ảnh hưởng của nhiễu trong quá trình tính giá trị đại diện của mỗi cụm. Bên cạnh đó, vai trò của giá trị thành viên  $u_{ik}$  cũng phụ thuộc vào tham số  $m$ . Giá trị  $m$  càng lớn sự phụ thuộc càng nhiều. (Lin et al., 1996). Kết quả thực nghiệm đã cho thấy khi giá trị mờ hóa tăng thì độ chính xác chiết tách thông tin sẽ giảm. Trong khi đó, kích thước cửa sổ trượt sử dụng tính trọng số không gian của các điểm ảnh xét sẽ quyết định số lượng các điểm ảnh láng giềng. Khi càng nhiều các điểm ảnh láng giềng tham gia quá trình tính  $\mu$  thì khả năng loại bỏ nhiễu càng cao, tuy nhiên, khả năng phân loại sai cũng tăng lên (Adhikari et al., 2015). Kết quả thực nghiệm đã cho thấy điều này.

Nước khu vực cửa sông là môi trường phức tạp chứa nhiều bùn, chất lơ lửng, phù du và thực vật (Fujii, 2012). Các thành phần này được xác định là nguồn sai số chính cho chiết tách nước bề mặt ở khu vực cửa sông. Mối liên hệ giữa độ chính xác kết quả phân loại và sinh vật phù du, hàm lượng chất lơ lửng trong nước được thể hiện rất rõ trong Hình 6 (Yang et al., 2015).

Điều này đã được chứng minh trong nghiên cứu này, khi phương pháp chiết tách nước sử dụng kết hợp phân cụm mờ láng giềng thích nghi và chỉ số nước MND-WI cho kết quả chính xác hơn các chỉ số nước khác. Đây một phần là do chỉ số MNDWI sử dụng kênh SWIR (kênh 5 với Landsat 5 TM, kênh 6 với Landsat 8 OLI), kênh này ít chịu ảnh hưởng của độ đục, các sinh vật phù du và chất lơ lửng trong quá trình thủy triều rút ở khu vực ven biển, trong khi đó, kênh NIR (kênh 4 với Landsat 5 TM, kênh 5 với Landsat 8 OLI) bị tác động mạnh bởi các điều kiện này (Ryu et al., 2002). Chỉ số NDWI sử dụng kênh NIR nên kết quả chiết tách nước sông đục và nông có độ chính xác không cao (Yang et al., 2015).



Hình 6. Ảnh hưởng của sinh vật phù du trong nước tới độ chính xác phân loại (Yang et al., 2015).

## 5. Kết luận

Môi trường nước cửa sông phức tạp và ảnh hưởng rõ ràng tới độ chính xác chiết tách nước bề mặt trên tư liệu viễn thám. Phương pháp phân cụm mờ FCM áp dụng trên ảnh chỉ số nước WIs là một giải pháp nhanh, chính xác, và hiệu quả. Các tham số mờ hóa và số điểm ảnh lảng giềng là hai trong số những tham số cơ bản của thuật toán MFCM. Hai tham số có ảnh hưởng tuy không lớn về độ chính xác nhưng rất rõ ràng về thời gian xử lý. Trong nghiên cứu này, mờ hóa  $m=2$  và kích thước cửa sổ  $N=3$  (số điểm ảnh lảng giềng là 8) được xác định là tối ưu. Phương pháp sử dụng cho độ chính xác cao hơn phương pháp đặt ngưỡng nhờ kết hợp ưu điểm của cả hai kỹ thuật tạo ảnh chỉ số nước và phân cụm mờ lảng giềng thích nghi. Bên cạnh đó, quá trình xử lý được tự động hoàn toàn, tiết kiệm được thời gian và công sức so với phương pháp đặt ngưỡng. Việc sử dụng kết hợp giữa cửa sổ trượt và histogram khởi tính giá trị tâm cụm hay giá trị đại diện của cụm đã giúp cải thiện đáng kể quá trình khởi tạo của thuật toán FCM. Với khu vực cửa sông chứa nhiều phù sa, chất lơ lửng, và sinh vật phù du, chỉ số nước MNDWI, AWEIsh cho độ chính xác chiết tách nước mặt cao hơn NDWI.

## Tài liệu tham khảo

- Adhikari, S. K., Sing, J. K., Basu, D. K., Nasipuri, M., 2015. Conditional spatial fuzzy C-means clustering algorithm for segmentation of MRI images. *Applied Soft Computing*, 34, 758-769. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.05.038>
- Als Dorf, D. E., Lettenmaier, D. P., 2003. Tracking Fresh Water from Space. *Science*, 301(5639), 1491-1494. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3835066>
- Bezdek, J. C., 1973. *Fuzzy Mathematics in Pattern Classification*. (Doctor of Philosophy), Cornell University, Ithaca, New York.
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., Full, W., 1984. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers and Geosciences*, 10(2), 191-203. doi:10.1016/0098-3004(84)90020-7
- Chuang, K. S., Tzeng, H. L., Chen, S., Wu, J., Chen, T. J., 2006. Fuzzy c-means clustering with spatial information for image segmentation. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 30(1), 9-15. doi:10.1016/j.compmedimag.2005.10.001
- Dunn, J. C., 1973. A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters. *Journal of Cybernetics*, 3(3), 32-57. doi:10.1080/01969727308546046
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S. R., 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- Frazier, P., Page, K., Louis, J., Briggs, S., Robertson, A. I., 2003. Relating wetland inundation to river flow using Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(19), 3755-3770. doi:10.1080/0143116021000023916
- Fujii, T., 2012. Climate Change, Sea-Level Rise and Implications for Coastal and Estuarine Shoreline Management with Particular Reference to the Ecology of Intertidal Benthic Macrofauna in NW Europe. *Biology*, 1(3), 597-616. doi:10.3390/biology1030597

- Ghaffarian, S., Ghaffarian, S., 2014. Automatic histogram-based fuzzy C-means clustering for remote sensing imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 97, 46-57. doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.08.006
- Ghosh, A., Mishra, N. S., Ghosh, S., 2011. Fuzzy clustering algorithms for unsupervised change detection in remote sensing images. *Information Sciences*, 181(4), 699-715. doi:10.1016/j.ins.2010.10.016
- Hao, J., Min, F., Yunqiang, Z., Ning, L., Jianxi, H., Tong, X., 2014. An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 6(6), 5067-5089. doi:10.3390/rs6065067
- Kersten, P. R., Jong-Sen, L., Ainsworth, T. L., 2005. Unsupervised classification of polarimetric synthetic aperture Radar images using fuzzy clustering and EM clustering. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 43(3), 519-527. doi:10.1109/TGRS.2004.842108
- Lin, J.-S., Cheng, K.-S., Mao, C.W., 1996. Segmentation of Multispectral Magnetic Resonance Image Using Penalized Fuzzy Competitive Learning Network. *Computers and Biomedical Research*, 29(4), 314-326. doi:https://doi.org/10.1006/cbmr.1996.0023
- McFeeters, S. K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425-1432. doi:10.1080/01431169608948714
- McKeon, C. S., Tunberg, B. G., Johnston, C. A., Barshis, D. J., 2015. Ecological drivers and habitat associations of estuarine bivalves. *PeerJ*, 3, e1348. doi:10.7717/peerj.1348
- Pham, T. D., Yoshino, K., 2016. Impacts of mangrove management systems on mangrove changes in the Northern Coast of Vietnam. *Tropics*, 24(4), 141-151. doi:10.3759/tropics.24.141
- Ryu, J.-H., Won, J.-S., Min, K. D., 2002. Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat: A case study in Gomso Bay, Korea. *Remote Sensing of Environment*, 83(3), 442-456. doi:10.1016/S0034-4257(02)00059-7
- Stavrakoudis, D. G., Theocharis, J. B., Zalidis, G. C., 2011. A Boosted Genetic Fuzzy Classifier for land cover classification of remote sensing imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(4), 529-544. doi:10.1016/j.isprsjprs.2011.01.010
- Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A., Tranvik, L. J., 2014. A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophysical Research Letters*, 41(18), 6396-6402. doi:10.1002/2014GL060641
- White, K., El Asmar, H. M., 1999. Monitoring changing position of coastlines using thematic mapper imagery, an example from the Nile delta. *Geomorphology*, 29, 93-105.
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. doi:10.1080/01431160600589179
- Yang, Y., Liu, Y., Zhou, M., Zhang, S., Zhan, W., Sun, C., Duan, Y., 2015. Landsat 8 OLI image based terrestrial water extraction from heterogeneous backgrounds using a reflectance homogenization approach. *Remote Sensing of Environment*, 171, 14-32. doi:10.1016/j.rse.2015.10.005

## ABSTRACT

### Modified fuzzy c - means based approach for water body extraction from water index images

Cuong Xuan Cao, Dung Ngoc Vo

*Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

While surface waters play a crucial role on terrestrial life, this resource is under threats due to both human and natural activities. Extracting water bodies is an important task for the management of water resource. Traditional remote sensing based methods have difficulties in the water body extraction because of the coarse spatial resolution and spectral reflectance heterogeneity of satellite images. This paper presents a new approach for detecting water bodies from water index images based on the modified fuzzy c-means (MFCM). The approach was designed to improve the water extraction accuracy. It was applied to Landsat 8 OLI images captured over the Bach Dang estuary situated in Hai Phong and Quang Ninh. Results showed the MFCM method improved the accuracy of water extraction in comparison to the density slicing method in term of kappa coefficients, with 0.87 and 0.84, respectively.