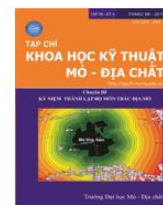




Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



Nâng cao độ chính xác phân loại đất ngập nước bằng kỹ thuật trộn ảnh quang học và ảnh SAR

Cao Xuân Cường*

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 15/3/2017
 Chấp nhận 16/6/2017
 Đăng online 31/8/2017

Từ khóa:

Trộn ảnh PCA
 IHS, Wavelet
 SAR, Landsat
 Đất ngập nước

Khi tiến hành phân loại khu vực đất ngập nước sử dụng ảnh viễn thám quang học, phương pháp phân loại dựa vào điểm ảnh cho độ chính xác phân loại thấp. Nguyên nhân là do mức độ khác biệt về giá trị phổ của các đối tượng thực vật ở khu vực đất ngập nước tương đối thấp. Một trong các phương pháp nâng cao độ chính xác khi sử dụng phương pháp phân loại dựa vào điểm ảnh là trộn ảnh quang học và ảnh radar độ mở tổng hợp (SAR). Bài báo khảo sát các phương pháp trộn ảnh như PCA, IHS, và wavelet nhằm lựa chọn phương pháp tốt nhất để trộn các cặp ảnh: Landsat 5 TM và ERS-2, Landsat 5 TM và ALOS PALSAR, Landsat 8 OLI và Sentinel 1. Các ảnh sau trộn được sử dụng để phân loại khu vực đất ngập nước bằng phương pháp phân loại dựa vào điểm ảnh. Kết quả cho thấy phương pháp tích hợp PCA và wavelet là phương pháp tốt nhất để trộn các cặp ảnh trên. Độ chính xác toàn cảnh sau phân loại sử dụng ảnh trộn tăng từ 2.88 đến 13.09 % và hệ số Kappa tăng từ 0.11 đến 0.14.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Phương pháp phân loại dựa vào điểm ảnh (Pixel based classification - PBC) được sử dụng phổ biến để thành lập bản đồ lớp phủ bằng công nghệ viễn thám (Moffett and Gorelick, 2013). Ưu điểm của PBC là tốc độ xử lý cao và có thể dễ dàng tự động hóa quá trình phân loại (Adam et al., 2009; Ozesmi and Bauer, 2002). Tuy nhiên, khi phân loại các khu vực mà ở đó có sự đa dạng về các loại thực vật như môi trường đất ngập nước (ĐNN), phương pháp PBC gặp nhiều khó khăn do kích thước nhỏ và độ tương phản phổ thấp của các

mảng thực vật (Moffett and Gorelick, 2013). Điều này dẫn đến độ chính xác phân loại thấp.

Ảnh radar độ mở tổng hợp (SAR) có nhiều ưu điểm như quá trình thu nhận ảnh không phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, ảnh có thể được chụp vào cả ban ngày và ban đêm. Bên cạnh đó, các ảnh SAR có độ phân giải cao, mang thông tin về độ ẩm (wetness), độ nhám (roughness), và kiến trúc (texture) được xem như một nguồn dữ liệu tin cậy và hữu dụng trong việc nghiên cứu ĐNN (Henry et al., 2006; Mallinis et al., 2013). Tuy nhiên, việc sử dụng ảnh SAR đơn để phân loại ĐNN thường cho độ chính xác thấp do ảnh SAR nhiễu và giới hạn về bước sóng và phân cực (Dao and Liou, 2015).

Cho đến nay, có nhiều nghiên cứu về các phương pháp trộn ảnh SAR và ảnh quang học. Mục

*Tác giả liên hệ

E-mail: caoxuancuongtd@gmail.com

tiêu của việc trộn hai loại dữ liệu này là nhằm tận dụng tối đa các ưu điểm của từng loại dữ liệu (Byun et al., 2013). Tuy nhiên, việc trộn ảnh thường gây ra biến dạng phổ, sự khác biệt về độ phân giải giữa hai ảnh trộn càng lớn thì biến dạng phổ càng cao (Amolins et al., 2007). Rất nhiều các nghiên cứu tập trung tìm ra phương pháp trộn tối ưu, tức là phương pháp trộn tạo ra kết quả với sự biến dạng phổ là thấp nhất (Zhang, 2010).

Các phương pháp trộn ảnh được sử dụng khá phổ biến như: IHS, PCA, và wavelet (Gonzalez-Audicana et al., 2004; Zhang, 2010). Trong khi mỗi phương pháp có ưu nhược điểm riêng, việc kết hợp IHS với wavelet, và PCA với wavelet đã được chứng minh là rất hiệu quả trong việc nâng cao chất lượng ảnh sau trộn (Gonzalez-Audicana et al., 2004).

Mục đích của bài báo này là khảo sát các phương pháp trộn ảnh quang học và ảnh SAR và xác định phương pháp trộn ảnh tốt nhất cho mục tiêu là nâng cao độ chính xác kết quả phân loại khu vực ĐNN.

2. Dữ liệu và khu vực nghiên cứu

2.1. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu ĐNN thuộc đồng bằng Hà

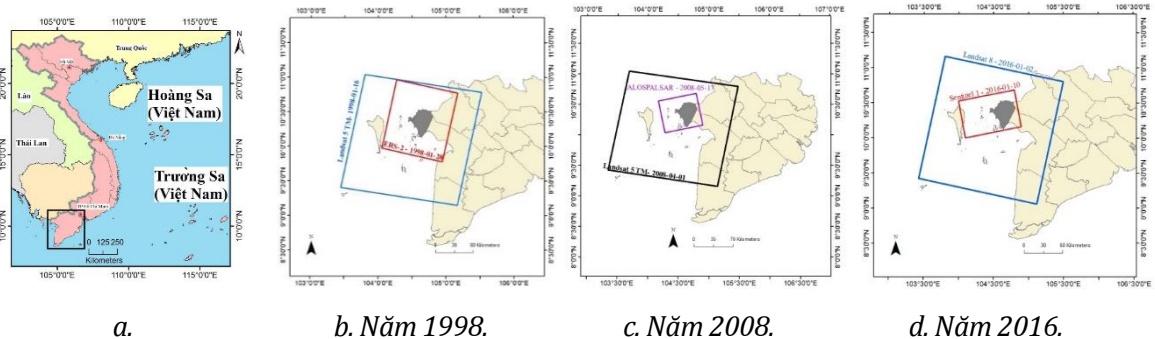
Tiên, nằm ở phía tây đồng bằng Sông Cửu Long, thuộc địa phận tỉnh Kiên Giang (Hình 1). Với diện tích xấp xỉ 1000 km², nơi đây được xem như là cánh đồng cỏ ngập nước cuối cùng của đồng bằng Sông Cửu Long (Buckton et al., 1999). Khu vực có đặc điểm địa hình là độ dốc thấp và hướng dốc về phía bờ biển, độ sâu trung bình của khu vực ĐNN là 2 m. Điều kiện khí hậu cận nhiệt đới với hai mùa: mùa khô (từ tháng 1 đến tháng 6) và mùa mưa (từ tháng 7 đến tháng 12). Thực vật đặc trưng trong vùng bao gồm: cỏ nước, dừa nước, rừng tràm, và rừng ngập mặn. Trong đó, cỏ ngập nước với hơn 90 loại khác nhau có ý nghĩa quan trọng nhất đối với hệ sinh thái trong khu vực (Buckton et al., 1999).

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Bảng 1 giới thiệu các thông tin chi tiết các ảnh vệ tinh sử dụng cho nghiên cứu.

Ảnh ERS-2 là kênh ảnh C với tần số 5.67 GHz, đơn phân cực VV, độ phân giải không gian là 25m, chụp ngày 28 tháng 1 năm 1998, và mức xử lý là level 1 (Hình 2a).

Ảnh ALOS PALSAR là ảnh kênh L với tần số 1270 MHz (23.6 cm), đơn phân cực HH, độ phân giải không gian là 12m, chụp ngày 17 tháng 5 năm 2008, và mức xử lý level 1.5 (Hình 2b).



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu và các cặp ảnh SAR và Landsat.

Bảng 1 Các ảnh vệ tinh được sử dụng trong nghiên cứu.

	Landsat 5 TM	ERS-2	Landsat 5 TM	ALOSPALSAR	Landsat 8	Sentinel 1
Ngày chụp	16/01/1998	28/01/1998	01/04/2008	17/05/2008	10/01/2016	02/01/2016
Bộ cảm	TM	ERS-2	TM	PALSAR/FBS	OLI	C-SAR
Độ phân giải	30 m	25 m	30 m	12 m	30 m	20
Phân cực		VV		HH		VV-VH
Dải quét	185 km	100 km	185 km	80 km	185 km	250 km
Góc chụp nghiêng	98.2°	23°	98.2°	41.5°		98.18°

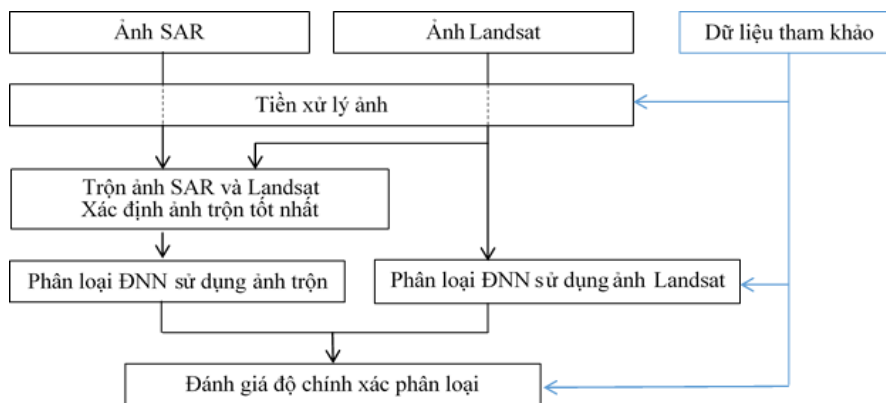


a. Ảnh ERS-2.

b. Ảnh ALOS PALSAR.

c. Ảnh Sentinel 1.

Hình 2. Các ảnh radar độ mở tổng hợp sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 3. Sơ đồ quy trình nghiên cứu.

Ảnh Sentinel 1 gồm 1 kênh ảnh C với tần số 5.405 GHz, chế độ chụp rộng, đơn phân cực VV, độ phân giải 20 m, chụp ngày 02 tháng 1 năm 2016, và mức xử lý là level 1 (Hình 2c).

Ảnh Landsat 5 TM gồm 7 kênh ảnh từ dải sóng nhìn thấy, cận hồng ngoại, và hồng ngoại gần độ phân giải 30 m, kênh viễn thám nhiệt độ phân giải 120 m.

Ảnh Landsat 8 OLI gồm 8 kênh ảnh, ngoài các kênh ảnh giống Landsat 5, còn thêm kênh ảnh toàn sắc độ phân giải 15m. Các ảnh Landsat đều được hiệu chỉnh khí quyển

3 Phương pháp nghiên cứu

3.1. Trộn ảnh SAR và Landsat

Nhằm nâng cao độ chính xác phân loại khu vực ĐNN, ảnh SAR được trộn với ảnh Landsat. Các ảnh ERS-2, ALOS PALSAR, và Sentinel 1 được chụp gần thời điểm chụp của các ảnh Landsat 5 và Landsat 8. Độ phân giải ảnh các ảnh SAR cao hơn ảnh Landsat và mang các thông tin về cấu trúc của bề mặt được chụp kết hợp với giá trị phản xạ phổ

của ảnh Landsat có thể được xem là yếu tố góp phần nâng cao độ chính xác phân loại.

Các nghiên cứu đã chứng minh rằng các phương pháp trộn tích hợp giữa wavelet với PCA và với IHS cho kết quả sau trộn tốt hơn so với sử dụng từng phương pháp riêng rẽ (Amolins et al., 2007; Chibani & Houacine, 2002). Vì vậy, trong nghiên cứu này, hai phương pháp trộn tích hợp IHS - wavelet và PCA - wavelet được sử dụng để trộn các cặp ảnh SAR-Landsat. Các bước trộn ảnh theo hai phương pháp tích hợp này được thể hiện trong hai sơ đồ như (Hình 4).

Đánh giá kết quả trộn ảnh được thực hiện thông qua đánh giá bằng mắt và sử dụng các tham số thống kê như: hệ số tương quan (correlation coefficient -CC), độ lệch trung bình (bias mean -BM), và độ lệch chuẩn (standard deviation -SD) (Abdikan et al., 2014).

3.2. Phân loại ảnh sau trộn

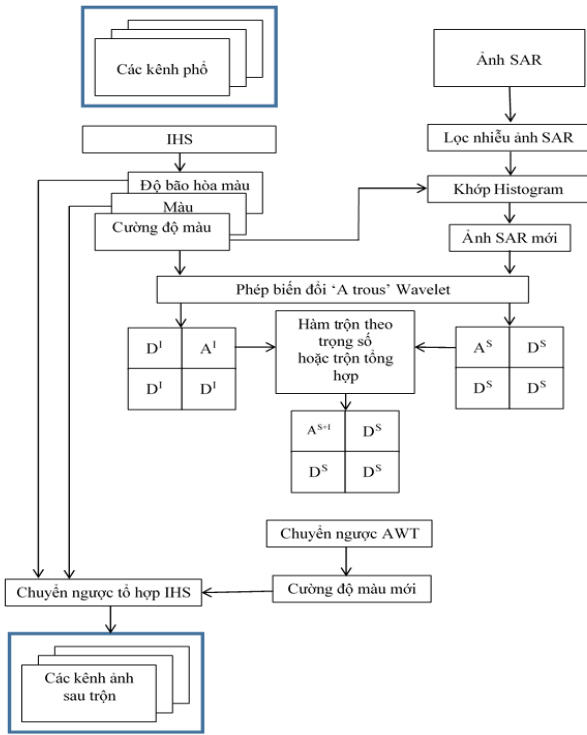
Trong nghiên cứu này, phương pháp Maximum Likelihood (ML) được sử dụng để phân loại ảnh trộn SAR và Landsat. ML là phương pháp

phân loại tự động có giám sát được sử dụng rộng rãi (Tso and Mather, 2009). Bảng 2 giới thiệu các lớp phân loại trên bản đồ ĐNN.

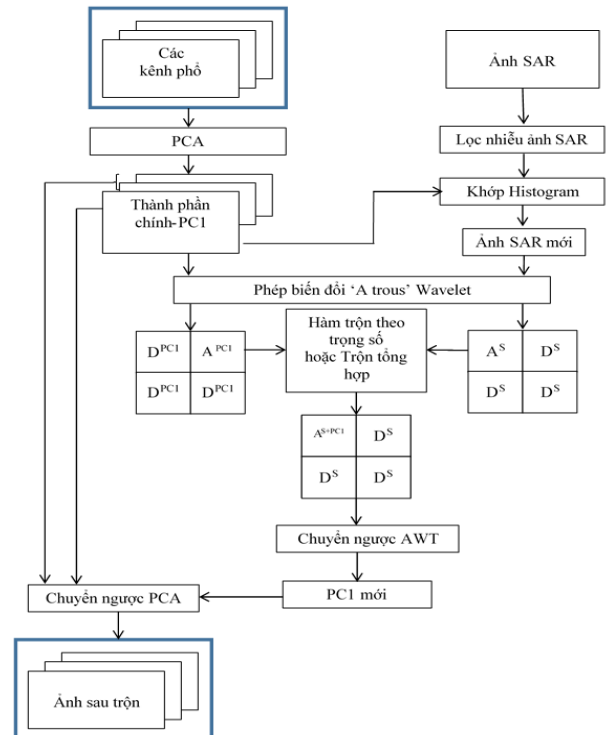
4. Kết quả và thảo luận

Những đánh giá bằng mắt cho thấy kết quả

trộn của cả ba cặp ảnh dùng PCA-wavelet đều rõ nét hơn so với các kết quả trộn dùng IHS-wavelet (Hình 5). Bên cạnh đó, kết quả đánh giá chất lượng phổ sử dụng các tham số thống kê kê như BM, CC, và SD cũng phản ánh rằng phương pháp PCA-wavelet cho kết quả trộn với chất lượng phổ tốt hơn kết quả trộn dùng IHS-wavelet (Hình 6).



Phương pháp IHS-wavelet (Hong et al., 2009)

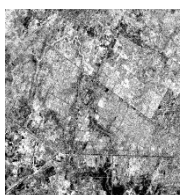


Phương pháp PCA-wavelet (Chỉnh sửa theo sơ đồ trong (Hong et al., 2009))

Hình 4. Sơ đồ qui trình trộn ảnh quang học và ảnh SAR.

Bảng 2 Các lớp phân loại (Funkenberg et al., 2014).

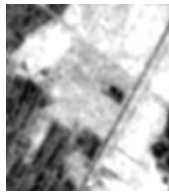
STT	Lớp	Mô tả lớp
1	Rừng	Rừng tràm, thực vật trên đồi và núi đá vôi, rừng ngập mặn, và cây ăn quả
2	Cỏ	Các loại cỏ
3	Bề mặt nhân tạo	Khu vực đô thị, khu xây dựng, mỏ đá đê điều, đường sá, và đất trống
4	Nông nghiệp	Đồng lúa, và các loại hoa màu.
5	Nước	Nước biển, nước sông, kênh mương, và ao hồ



ERS-2



Landsat 5



ALOS PALSAR



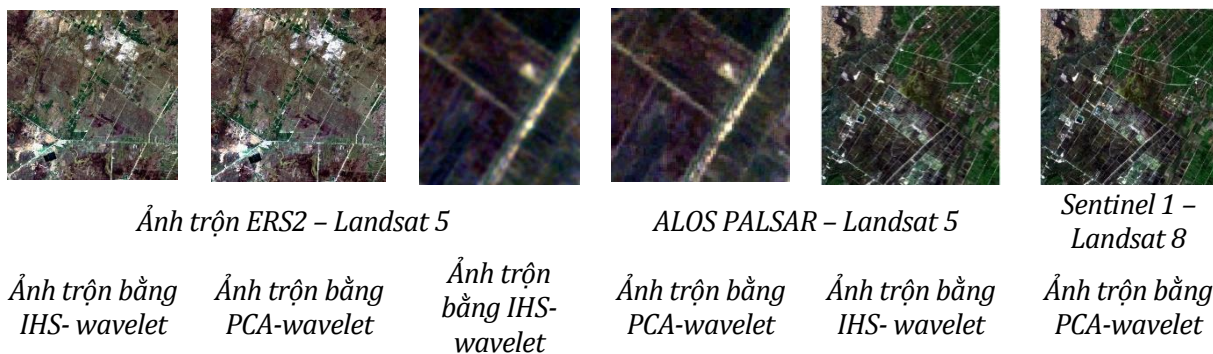
Landsat 5



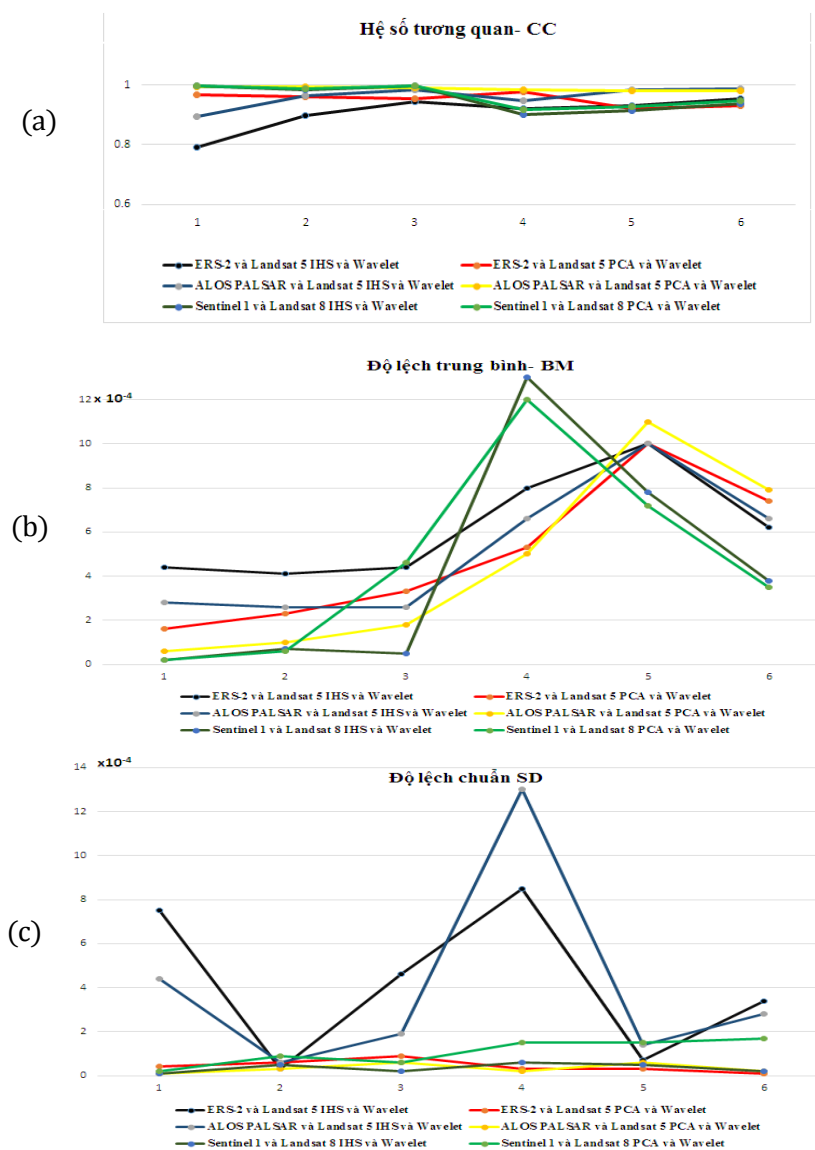
Sentinel 1



Landsat 8



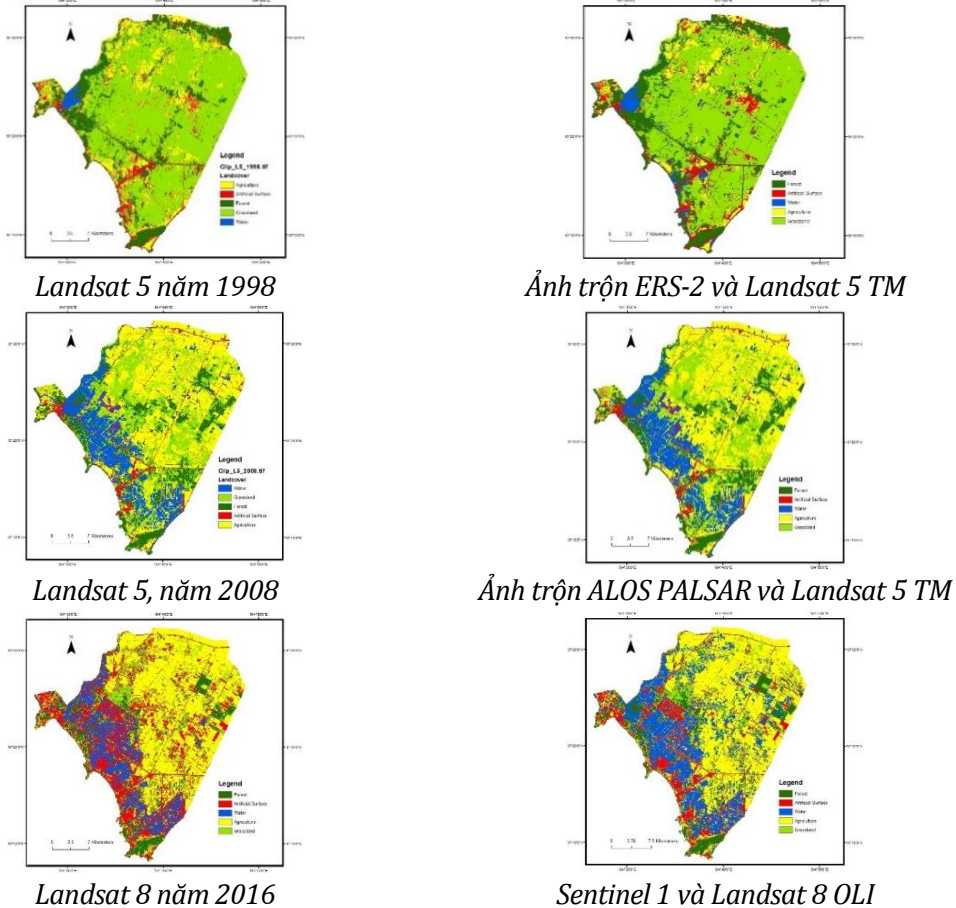
Hình 5. Kết quả trộn ảnh SAR và ảnh Landsat.



Hình 6. Đánh giá chất lượng phổ ảnh sau trộn bằng các tham số thống kê.
 (a) Giá trị hệ số tương quan tốt nhất là $CC = 1$; (b) Giá trị độ lệch trung bình tốt nhất là $BM = 0$;
 (c) Giá trị độ lệch tiêu chuẩn tốt nhất là $SD = 0$.

Để thấy ưu điểm của việc trộn ảnh đối với độ chính xác phân loại, kết quả đánh giá độ chính xác sau phân loại ảnh Landsat và ảnh trộn Landsat-SAR được so sánh với nhau. Phân loại được kiểm chứng dựa trên ảnh Google Earth độ phân giải cao, và bản đồ sử dụng đất tỷ lệ 1:10000 năm 2000 tỉnh Kiên Giang, sử dụng từ 263 tới 357 điểm chọn

ngẫu nhiên. Độ chính xác phân loại toàn cảnh (overall accuracy), và hệ số Kappa được tính từ ma trận sai số (error matrix). Kết quả phân loại cho ba năm 1998, 2008, và 2016 thể hiện trên Hình 7. Độ chính xác phân loại được nêu chi tiết trong các Bảng từ 3 đến 8.



Hình 7. Kết quả sau phân loại.

Bảng 3. Ma trận sai số năm 1998 – Phân loại cho ảnh Landsat 5 TM.

Landsat 5		Điểm ảnh tham chiếu					Tổng	UA*
Điểm ảnh được phân loại	Lớp	Rừng	Bề mặt nhân tạo	Nước	Nông nghiệp	Cỏ nước		
	Rừng	39	2	1	1	3	46	84.78
	Bề mặt nhân tạo	2	23	0	2	4	31	74.19
	Nước	0	2	26	1	0	29	89.66
	Nông nghiệp	0	7	0	27	3	37	72.97
	Cỏ nước	10	4	5	1	115	135	85.19
Tổng	51	38	32	32	125	278		
PA*	76.47	60.53	81.25	84.38	92.00			
Độ chính xác toàn cục	82.73%			Kappa		0.72		

* PA: độ chính xác thực hiện; UA: độ chính xác người sử dụng

Bảng 4. Ma trận sai số năm 1998 – Phân loại cho ảnh trộn ERS-2 và Landsat 5 TM.

Ảnh trộn		Điểm ảnh tham khảo						
Điểm ảnh được phân loại	Lớp	Rừng	Bề mặt nhân tạo	Nước	Nông nghiệp	Cỏ nước	Tổng	UA
	Rừng	40	0	1	0	4	45	88.9
	Bề mặt nhân tạo	0	30	1	5	2	38	78.9
	Nước	1	1	29	0	4	35	82.8
	Nông nghiệp	0	4	1	27	3	35	77.1
	Cỏ nước	10	3	0	0	112	125	89.6
Tổng		51	38	32	32	125	278	
PA		78.43	78.94	90.62	84.38	89.60		
Độ chính xác toàn cục		85.61 %		Kappa		0.83		

Bảng 5. Ma trận sai số năm 2008 – Phân loại cho ảnh Landsat 5 TM.

Landsat 5		Điểm ảnh tham khảo						
Điểm ảnh được phân loại	Lớp	Rừng	Bề mặt nhân tạo	Nước	Nông nghiệp	Cỏ nước	Tổng	UA
	Rừng	40	2	1	0	8	51	78.4
	Bề mặt nhân tạo	1	17	3	5	2	28	60.7
	Nước	3	5	71	2	0	81	87.7
	Nông nghiệp	1	4	2	107	8	122	87.7
	Cỏ nước	4	1	1	11	58	75	77.3
Tổng		49	29	78	125	76	357	
PA		81.63	58.62	91.03	85.60	76.32		
Độ chính xác toàn cục		82.07 %		Kappa		0.76		

Bảng 6. Ma trận sai số năm 1998 – Phân loại cho ảnh trộn ALOS PALSAR và Landsat 5 TM

Ảnh trộn		Điểm ảnh tham khảo						
Điểm ảnh được phân loại	Lớp	Rừng	Bề mặt nhân tạo	Nước	Nông nghiệp	Cỏ nước	Tổng	UA
	Rừng	44	0	2	1	3	50	88.0
	Bề mặt nhân tạo	1	27	3	6	1	38	71.1
	Nước	2	1	72	0	2	77	93.5
	Nông nghiệp	0	1	0	108	5	114	94.7
	Cỏ nước	2	0	1	9	65	77	84.4
Tổng		49	29	78	124	76	356	
PA		89.80	93.10	92.31	87.10	85.53		
Độ chính xác toàn cục		88.76 %		Kappa		0.85		

Bảng 7. Ma trận sai số năm 2016 - Phân loại cho ảnh trộn Sentinel 1 và Landsat 8 OLI.

Landsat 8		Điểm ảnh tham khảo						
Điểm ảnh được phân loại	Lớp	Rừng	Bề mặt nhân tạo	Nước	Nông nghiệp	Cỏ nước	Tổng	UA
	Rừng	28	0	6	2	2	38	73.7
	Bề mặt nhân tạo	3	38	11	6	5	63	60.3
	Nước	1	1	36	1	3	42	85.7
	Nông nghiệp	4	2	2	82	5	95	86.3
	Cỏ nước	0	3	2	5	15	25	60.0
Tổng		36	44	57	96	30	263	
PA		77.78	86.36	63.16	85.42	50.00		
Độ chính xác toàn cục		75.67 %		Kappa		0.68		

Bảng 8. Ma trận sai số năm 2016 - Phân loại cho ảnh trộn Landsat 8.

Ảnh trộn		Điểm ảnh tham khảo							
Điểm ảnh được phân loại	Lớp	Rừng	Bề mặt nhân tạo	Nước	Nông nghiệp	Cỏ nước	Tổng	UA	
		Rừng	32	0	4	1	1	38	84.2
		Bề mặt nhân tạo	1	40	3	3	0	47	85.1
		Nước	1	0	46	5	1	53	87.0
		Nông nghiệp	2	4	1	83	3	93	89.2
		Cỏ nước	0	0	3	4	25	32	80.6
Tổng		36	44	57	96	30	263		
PA		88.89	90.91	82.46	86.46	83.33			
Độ chính xác toàn cục		86.31 %			Kappa		0.82		

Khi sử dụng ảnh Landsat để phân loại, độ chính xác toàn cảnh là 82.73%, 82.07% và 75.67% cho lần lượt các năm tương ứng là 1998, 2008, và 2016. Kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy, ảnh trộn Landsat và SAR đã nâng cao độ chính xác phân loại toàn cảnh lên 85.61, 88.76 và 86.31% cho lần lượt các năm 1998, 2008, và 2016. Chỉ số Kappa cũng phản ánh điều tương tự, tăng từ 0.72 lên 0.76 cho năm 1998, từ 0.76 lên 0.85 cho năm 2008, và từ 0.68 lên 0.82 năm 2016.

4. Kết luận

Nghiên cứu này nhằm nâng cao độ chính xác kết quả phân loại ĐNN bằng cách sử dụng phương pháp phân loại PBC trên ảnh trộn quang học và SAR. Phương pháp phân loại PBC dựa trên giá trị phổ của từng pixel để chiết tách thông tin lớp phủ nên dễ bị lẫn (Moffett and Gorelick, 2013). Để làm giảm thiểu nhược điểm này, ảnh quang học được tích hợp cùng ảnh SAR theo phương pháp trộn phù hợp nhất. Qua việc sử dụng hai phương pháp IHS-wavelet và PCA-wavelet để trộn ba cặp ảnh Landsat 5-ERS 2, Landsat 5-ALOS PALSAR, và Landsat 8-Sentinel 1 chụp khu vực ĐNN Hà Tiên, nghiên cứu đã xác định được phương pháp PCA-wavelet là phương pháp tốt hơn. Nhờ tính ưu việt của phương pháp PCA trong việc giảm thiểu thông tin thừa, chỉ lựa chọn thông tin quan trọng, kết hợp với khả năng phân tích ảnh theo tần số (frequency domain) của wavelet, phương pháp trộn PCA-wavelet đã cho kết quả với độ biến dạng phổ thấp nhất. Ảnh sau trộn có độ phân giải không gian cao hơn, trong khi vẫn giữ được thông tin phổ góp phần nâng cao độ chính xác phân loại. Kết quả thực nghiệm cho thấy độ chính xác toàn cảnh sau phân loại sử dụng các ảnh trộn tăng từ 2.88 đến 13.09 % và hệ số Kappa tăng từ 0.11 đến 0.14.

Tài liệu tham khảo

- Abdikan S., Balik Sanli F., Sunar, F., & Ehlers M., 2014. A comparative data-fusion analysis of multi-sensor satellite images. *International Journal of Digital Earth* 7(8), 671-687. doi:10.1080/17538947.2012.748846.
- Adam E., Mutanga, O., & Rugege D., 2009. Multispectral and hyperspectral remote sensing for identification and mapping of wetland vegetation: a review. *Wetlands Ecology and Management*, 18(3), 281-296. doi:10.1007/s11273-009-9169-z.
- Amolins K., Zhang Y., & Dare P., 2007. Wavelet based image fusion techniques - An introduction, review and comparison. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(4), 249-263. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.05.009.
- Buckton S. T., N. Cu, H. Q. Quynh, & Tu, a. N. D., 1999. *The Conservation of Key Wetland Sites in the Mekong Delta* (12). Retrieved from Hanoi: https://data.opendevlopmentmekong.net/dataset/fd1e8de3-f284-4466-b72e-0232_a02b5728/resource/da53ec24-ee67-461a-a953-5b8754be6fef/download/report12.pdf.
- Byun Y., Choi, J., & Han, Y., 2013. An Area-Based Image Fusion Scheme for the Integration of SAR and Optical Satellite Imagery. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, 6(5), 2212-2220. doi:10.1109/JSTARS.2013.2272773.
- Y. Chibani & A. Houacine, 2002. The joint use of IHS transform and redundant wavelet decomposition for fusing multispectral and panchromatic images, *International Journal of*

- Remote Sensing*, 23:18, 3821-3833, DOI: 10.1080/01431160110107626.
- Dao, D. P., & Liou, Y.-A., 2015. Object-Based Flood Mapping and Affected Rice Field Estimation with Landsat 8 OLI and MODIS Data. *Remote Sensing*, 7(5). doi:10.3390/rs70505077.
- Funkenberg, T., Binh, T. T., Moder, F., & Dech, S., 2014. The Ha Tien Plain – wetland monitoring using remote-sensing techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 35(8), 2893-2909. doi: 10.1080/ 01431161. 2014. 890306.
- Gonzalez-Audicana, M., Saleta, J. L., Catalan, R. G., & Garcia, R., 2004. Fusion of multispectral and panchromatic images using improved IHS and PCA mergers based on wavelet decomposition. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(6), 1291-1299. doi: 10.1109/ TGRS.2004.825593
- Henry, J. B., Chastanet, P., Fellah, K., & Desnos, Y. L., 2006. Envisat multi-polarized ASAR data for flood mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10), 1921-1929. doi: 10.1080/ 01431160500486724.
- Hong, G., Zhang, Y., & Mercer, B., 2009. A Wavelet and IHS Integration Method to Fuse High Resolution SAR with Moderate Resolution Multispectral Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(10), 1213-1223. doi:10.14358/PERS.75.10.1213.
- Mallinis, G., Gitas, I. Z., Giannakopoulos, V., Maris, F., & Tsakiri-Strati, M., 2013. An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data. *International Journal of Digital Earth*, 6(sup2), 124-136. doi:10.1080/17538947.2011.641601.
- Moffett, K. B., & Gorelick, S. M., 2013. Distinguishing wetland vegetation and channel features with object-based image segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, 34(4), 1332-1354. doi:10.1080/01431161.2012.718463.
- Ozesmi, S. L., & Bauer, M. E., 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands Ecology and Management*, 10(5), pp 381-402. doi:10.1023/A:102090843248.
- Tso, B., & Mather, P. M., 2009. *Classification Methods for Remotely Sensed Data* (2nd ed.). 6000 Broken Sound Parkway NW: Taylor & Francis Group.
- Zhang, J., 2010. Multi-source remote sensing data fusion: status and trends. *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1), 5-24. doi:10.1080/19479830903561035.

ABSTRACT

Improving the accuracy of wetland classification based on optical and SAR imagery fusion

Cuong Xuan Cao

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

The pixel based spectral image analysis (PBIA) method is widely employed when mapping landscape features using information from remote-sensing imagery. However, the limitation of this method applied for mapping wetlands is low accuracy as low spectral contrast among plant species and the generally small size of vegetation zones. One of techniques can be used to improve the accuracy is multi-sensor fusion. This study is to investigate several fusion methods such as PCA, IHS, and wavelet to merge Landsat 5 TM and ERS-2, Landsat 5 TM and ALOS PALSAR, and Landsat 8 OLI and Sentinel 1. The best results are used to classify, and the hybrid fusion method of wavelet and PCA is the best one. The overall accuracy of classifying images fused increased from 2.88 to 13.09% and the Kappa coefficient increased from 0.11 to 0.14.

Keywords: Fusion, PCA, IHS, Wavelet, SAR, Landsat, Wetland.