

Sử dụng kênh coastal aerosol và cirrus để khử haze cho ảnh Landsat 8 OLI

Phạm Bách Việt¹, Nguyễn Duy Khang², Hoàng Phi Phụng^{3*}

¹Trường Đại học Khoa học Xã hội và Nhân văn, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh

²Trung tâm Viễn thám và Hệ thống tin Địa lý, Viện Địa lý Tài nguyên TP Hồ Chí Minh

³Trung tâm Ứng dụng Công nghệ Vệ tinh miền Nam, Trung tâm Vệ tinh Quốc gia

Ngày nhận bài 28.1.2015, ngày gửi phản biện 2.2.2015, ngày nhận phản biện 15.3.2015, ngày chấp nhận đăng 31.3.2015

Dữ liệu ảnh quang học thường bị ảnh hưởng bởi hiện tượng mây mỏng và sương mù làm giảm đáng kể chất lượng ảnh. Do đó, việc hiệu chỉnh khí quyển để làm giảm ảnh hưởng hiện tượng sương mù, mây mỏng và bóng mây trở thành một nhu cầu cần thiết. Đặc biệt, Việt Nam nằm ở khu vực nhiệt đới gió mùa, thường xuyên bị ảnh hưởng của mây vào mùa mưa, dẫn đến làm giảm chất lượng ảnh thu nhận được. Bài báo này đề nghị phương pháp bán thực nghiệm để loại bỏ ảnh hưởng của sương mù (haze) cho dữ liệu đa phổ Landsat 8 OLI. Thuật toán này sẽ sử dụng kênh Cirrus và kênh Coastal Aerosol để hiệu chỉnh loại bỏ ảnh hưởng của haze trong ảnh đã được định chuẩn. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp hồi quy đa biến để tính toán giá trị phản xạ hiệu chỉnh do ảnh hưởng của haze; đồng thời sử dụng dữ liệu ảnh không haze so sánh với dữ liệu ảnh sau hiệu chỉnh haze để đánh giá kết quả.

Từ khóa: kênh Cirrus, kênh Coastal Aerosol, khử haze, Landsat 8 OLI, thuật toán.

Chỉ số phân loại 1.5

USING COASTAL AEROSOL AND CIRRUS TO DEHAZE FOR LANDSAT 8 OLI IMAGERY

Summary

Optical image data are often affected by the phenomena of haze and cloud which significantly reduce the quality of images, particularly in remote sensing imagery to identify objects on the ground. Therefore, atmospheric correction to reduce the effects of haze, cloud and shadow is a necessary requirement. Vietnam is located in the tropical monsoon region where is frequently affected by clouds during the rainy season and even in the dry season, thereby the quality of acquired images is reduced. This paper proposes a algorithm to remove the effects of haze for multispectral images of Landsat 8 OLI. This algorithm uses Coastal Aerosol and Cirrus bands to remove the effects of haze on images. Multivariable linear regression analysis is used to compute reflectance values due to the effects of haze. This study also makes comparisons of non-haze and dehazed images to assess the proposed algorithm.

Keywords: algorithm, Cirrus band, Coastal Aerosol, dehaze, Landsat 8 OLI.

Classification number 1.5

Mở đầu

Trong những năm gần đây ảnh viễn thám, đặc biệt là ảnh viễn thám quang học được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng. Các ảnh viễn thám quang học có chu kỳ lặp lại khoảng vài ngày đến vài chục ngày thu nhận một ảnh ở cùng một khu vực, tuy nhiên chất lượng của dữ liệu ảnh thu nhận lại thường phụ thuộc vào các điều kiện khí quyển. Năng lượng bức xạ của sóng điện từ mà vệ tinh thu nhận được phải truyền qua bầu khí quyển, trong quá trình này sóng điện từ có các tương tác với các thành phần có trong bầu khí quyển tạo ra các hiệu ứng khí quyển. Một trong những hiệu ứng cần chú ý nhất là việc xuất hiện sương mù (haze) trên ảnh vệ tinh. Haze hình thành từ các loại bụi, khói và các phần tử chất rắn khác lơ lửng trong bầu khí quyển với kích thước xấp xỉ 0,1 μm hoặc khi độ ẩm trong bầu khí quyển tăng, có ngưng tụ hơi nước thì bao gồm luôn cả các giọt hơi nước và kích thước hạt không vượt quá 10 μm (Michael and Klaus-Peter, 2010). Các hạt với kích thước rất nhỏ này gây ra hiệu ứng

*Tác giả chính: hoangphiphung@gmail.com

tán xạ ánh sáng, trong đó có tán xạ Rayleigh, làm giảm độ trong của bầu khí quyển, giảm độ rõ trong khoảng bước sóng nhìn thấy, mà các bước sóng xanh, tím bị ảnh hưởng của hiệu ứng này rất mạnh, làm suy giảm chất lượng của ảnh vệ tinh (Lew, 2001; Makarau et al, 2013) và cần phải được hiệu chỉnh về mặt khí quyển nhằm khôi phục chất lượng ảnh (Du and Gower, 2000; Teillet, 1997).

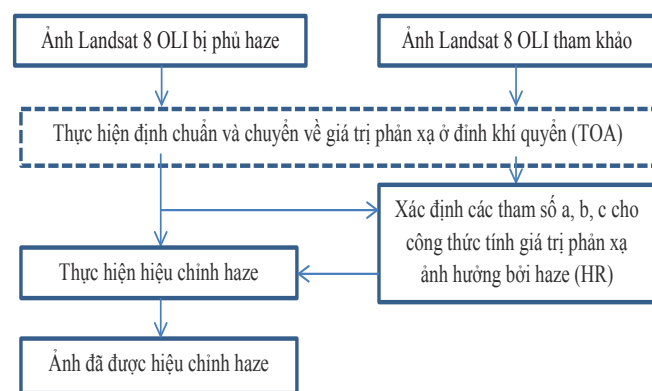
Có nhiều phương pháp và cách tiếp cận để loại bỏ haze ra khỏi ảnh vệ tinh. Cách đơn giản nhất là giả sử rằng haze là đồng nhất về mặt cấu trúc trên toàn khu vực quan sát, độ dày là mỏng, như vậy có thể sử dụng những mô hình và kỹ thuật hiệu chỉnh khí quyển đã từng tồn tại, như sử dụng các dữ liệu khí tượng đại diện cho cả ảnh và các hiệu chỉnh khí quyển dựa trên ảnh và giả sử điều kiện khí quyển là như nhau (Teillet, 1997; Chavez, 1988; Kaufman and Sendra, 1988; Kaufman et al, 1997). Các kỹ thuật xử lý cho thấy đây là phương pháp tốt cho trường hợp haze mỏng phân bố đồng nhất. Tuy nhiên, trong thực tế sự phân bố về mặt không gian và cấu trúc của haze là không đồng nhất. Do đó, các kỹ thuật này không thể áp dụng để khử haze cho ảnh vệ tinh bị ảnh hưởng do điều kiện khí quyển không đồng nhất, mà phải sử dụng các cách tiếp cận khác và phải phát triển những kỹ thuật có khả năng xác định và hiệu chỉnh được sự phân bố không đồng đều của haze xuất hiện trong ảnh (Aliaksei et al, 2014; Liang et al, 2001; Liang et al, 2002).

Những kỹ thuật để xác định phân bố của haze theo không gian bằng cách sử dụng các kênh ảnh ở bước sóng nhìn thấy đã được phát triển. Chẳng hạn các kỹ thuật được đưa ra cho ảnh Landsat như chuyển đổi Tasselled Cap (TC) (Richter, 1996; Crist and Cicone, 1984), mô hình Haze Optimized Transformation (HOT) (Zhang et al, 2002; Moro and Halounova, 2007), trích xuất đối tượng tối - Dark Object Subtraction (DOS) (Aliaksei et al, 2014) và sau này được cải tiến bởi Chavez (1986 and 1988), sử dụng phương pháp Dark Channel Prior (He et al, 2009) và sau này được cải tiến bằng cách kết hợp với phép lọc Gaussian (Sandeep, 2014). Trong đó, kỹ thuật DOS có thể áp dụng cho các ảnh có độ phân giải không gian trung bình đến cao (Aliaksei et al, 2014), ngoài ra đối với ảnh viễn thám độ phân giải cao còn sử dụng Semi-physical Haze Model để khử haze (Changmiao and Ping, 2014). Đối với ảnh Landsat 8 OLI hiện nay có thêm hai kênh phổ là các kênh 1 (0,433-0,453 μm) hay còn được gọi là kênh xanh tím (deep blue) hoặc Coastal/Aerosol chuyên quan trắc vùng nước cận ven biển và các chất khí, bụi trong bầu

khí quyển và kênh 9 (1,360-1,390 μm) chuyên thu ảnh mây Cirrus (Charlie, Landsat Science; USGS, 2013), mà các dữ liệu Landsat 7 trở về trước không có 2 kênh này. Đặc biệt là dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 8 được sử dụng phổ biến và là dữ liệu miễn phí hoàn toàn, phù hợp với các điều kiện nghiên cứu. Điều này làm cơ sở cho nhóm nghiên cứu mong muốn sử dụng thêm thông tin của các kênh phổ kênh 1 và kênh 9 trong thuật toán hiệu chỉnh haze. Haze trong bài báo này được xác định là những đối tượng sương mù che phủ trên ảnh nhưng vẫn có thể nhìn xuyên thấu và thấy được đối tượng dưới bề mặt đất nếu tăng cường chất lượng ảnh; đối với các loại mây khác (cloud) ngăn ánh sáng xuyên qua hoàn toàn thì không áp dụng cho trường hợp nghiên cứu này.

Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này quy trình khử haze được thực hiện như hình 1.



Hình 1: quy trình thực hiện khử haze trong ảnh Landsat 8 OLI

Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng (bảng 1) cho nghiên cứu này là ảnh Landsat 8 đã được xử lý ở mức L1T tiêu chuẩn, hiệu chỉnh hệ thống về bức xạ và hình học (Landsat 8 <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>), số hiệu path-row là 125-052, phủ một phần khu vực Đông Nam Bộ. Phạm vi ảnh khảo sát trong nghiên cứu này được cắt ra là 59 km x 29 km, có phạm vi từ 106°14'52" - 106°47'44" Đông và 11°4'33" - 11°20'52" Bắc. Ảnh được thu thập để xử lý có haze ở các mức độ khác nhau, ảnh được sử dụng để đối chiếu không có haze. Cơ sở chọn hai ảnh này dựa trên chu kỳ lặp lại của vệ tinh Landsat 8 là 16 ngày, hai ảnh không lệch nhau quá một chu kỳ lặp lại nhằm hạn chế các thay đổi về điều kiện khí quyển, các thay đổi của các đối tượng thảm phủ trên bề mặt dẫn đến thay đổi cường độ bức xạ phản

xạ tới bộ cảm. Khu vực chọn để tiến hành xử lý là một phần của tỉnh Bình Dương, hạ lưu hồ Dầu Tiếng, có một đoạn sông Sài Gòn. Thực phủ khu vực này chủ yếu là cây công nghiệp lâu năm (cao su), một phần ven sông Sài Gòn là các loại cây trồng ngắn ngày và các loại đất xây dựng khác. Một cách tổng quát, cả khu vực chọn nghiên cứu là ổn định về loại thực phủ.

Bảng 1: danh sách các ngày ảnh Landsat 8 OLI đã sử dụng

STT	Ngày và thời gian thu nhận (GMT)	Số hiệu	Góc azimuth mặt trời (độ)	Góc độ cao mặt trời (độ)	Ghi chú
1	18/11/2013- 03:15:30	125052	146,954	49,762	Ảnh có haze
2	04/12/2013- 03:15:28	125052	145,716	52,900	Ảnh tham khảo

Mô hình hiệu chỉnh

Nghiên cứu này sử dụng và điều chỉnh mô hình đã được Chavez phát triển (1988). Theo nghiên cứu này, áp dụng cho ảnh có độ phân giải không gian trung bình tới cao, đã giả định rằng khoảng cách từ tất cả các điểm trên bề mặt đất đến bộ cảm là hằng số, cường độ phản xạ mà bộ cảm thu nhận được cho cùng một loại thảm phủ, ở cùng điều kiện khí quyển là có giá trị như nhau. Khi đó bức xạ của bộ cảm nhận được miêu tả như công thức sau:

$$L^{\text{sensor}} = L_0 + HR \quad (1)$$

Trong đó L^{sensor} là bức xạ bộ cảm nhận được; L_0 là tổng bức xạ phản xạ từ bề mặt đất; HR là bức xạ bị ảnh hưởng bởi haze.

Các nghiên cứu của Chavez (1988), Aliaksei và cộng sự (2014) đã tính toán giá trị HR cho haze phụ thuộc vào độ dày của haze (Haze Thickness Map) được gọi là HTM. HTM này được tính toán bằng thuật toán tìm kiếm các phần tử ảnh tối (searching dark pixels). Thường thì thuật toán này sẽ được thực hiện ở kênh mà phản xạ bề mặt đất nhỏ và lớn nhất cho haze, kênh phổ phù hợp là kênh có bước sóng xanh (blue). Do ảnh Landsat 8, bộ cảm OLI có thêm hai kênh thu nhận thông tin bụi, hơi nước trong bầu khí quyển (kênh 1) và mây Cirrus (kênh 9) nên có thể được sử dụng để hiệu chỉnh khí quyển, đặc biệt trong phần ảnh hưởng của haze đối với khí quyển. Do vậy, trong nghiên cứu của chúng tôi sẽ xác định lại HR cho phù hợp với trường hợp này. HR là bức xạ bị ảnh hưởng của haze, giá trị của HR sẽ được xác định thông qua phân tích hồi quy đa biến giữa giá trị bức xạ bị ảnh hưởng của khí quyển với kênh 1 và kênh 9. Như vậy công thức (1) sẽ được điều chỉnh lại theo giá trị phản xạ sau khi đã được định

chuẩn của dữ liệu ảnh Landsat 8 OLI như sau:

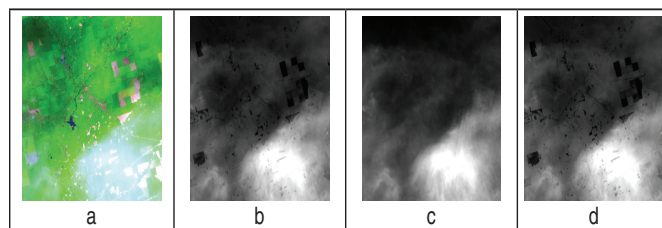
$$R_i^{\text{sensor}}(x,y) = R_i(x,y) + HR_i(x,y) \quad (2)$$

Trong đó $R_i^{\text{sensor}}(x,y)$ là giá trị phản xạ của bộ cảm nhận được, $R_i(x,y)$ là tổng giá trị phản xạ từ bề mặt đất; $HR_i(x,y)$ là giá trị phản xạ do ảnh hưởng haze; x, y là biến số vị trí số hàng và cột của từng phần tử ảnh trong ảnh khi tính toán.

HR

Trong phần này sẽ tính toán giá trị phản xạ (HR) do ảnh hưởng của khí quyển thông qua việc sử dụng kênh 1 và kênh 9. Để xác định giá trị bức xạ do ảnh hưởng của khí quyển HR, một cặp ảnh Landsat 8 có ngày thu nhận lệch nhau một chu kỳ đã được sử dụng. Trong đó, một ảnh có haze, ảnh còn lại là ảnh sạch không có haze. Giả sử rằng có thể tính giá trị phản xạ do ảnh hưởng khí quyển HR' qua công thức (3) để tham khảo. Thực hiện việc lựa chọn các mẫu (khu vực khảo sát ở hình 2) sao cho thỏa mãn các yêu cầu sau để đảm bảo tính giá trị phản xạ do khí quyển gần đúng nhất, gồm: (i) Chọn khu vực mà ảnh sạch không bị mây che dùng để tham khảo, có giá trị phản xạ ở kênh 1 nhỏ hơn 0,12 và nhỏ hơn 0,02 ở kênh 9, dưới hai ngưỡng này được coi như là ảnh sạch không bị mây che; (ii) Chọn những lớp phủ ít bị thay đổi theo thời gian như cây lâu năm, đô thị. Không lấy mẫu ở những khu vực trồng cây ngắn ngày (đất trồng lúa, đồng ruộng ngập nước) hoặc có sự thay đổi sử dụng đất.

$$HR'_i(x,y) = R_i(x,y)[\text{phủ haze}] - R_i(x,y)[\text{không bị phủ haze}] \quad (3)$$

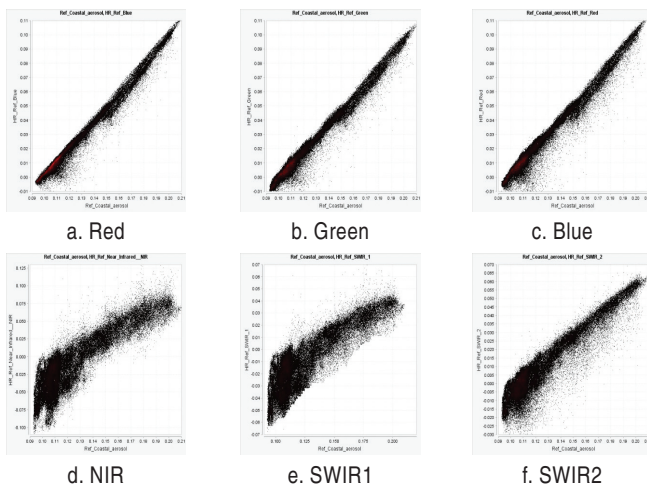


Hình 2: ước lượng giá trị HR trong ảnh Landsat 8 OLI: a) Tổ hợp RGB ảnh có mây ngày 18.11.2013 của các kênh SWIR1, NIR, Red; b) Kênh 1 (Coastal Aerosol); c) Kênh 9 (Cirrus); d) Ảnh HR ở kênh Blue

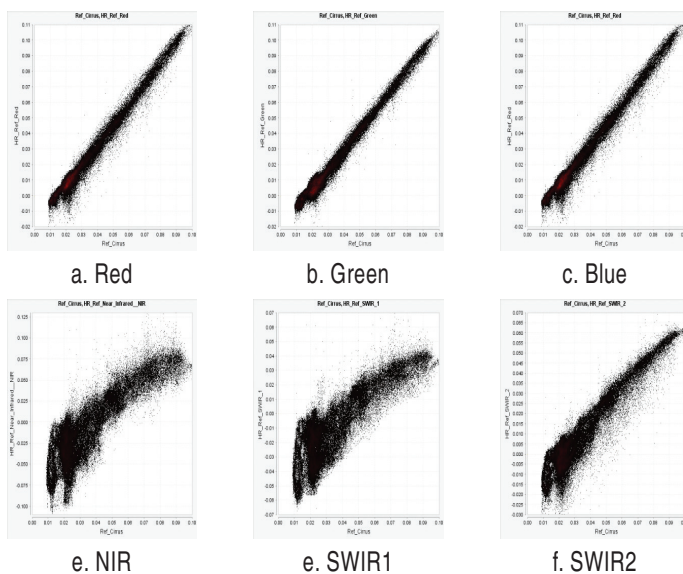
Sau đó tính toán thống kê và vẽ được biểu đồ tán xạ giữa giá trị phản xạ do khí quyển HR'_i với giá trị phản xạ trên kênh 1 và kênh 9 của ảnh có haze. Hình 3 và 4 cho thấy các biểu đồ tán xạ của kênh 1 và kênh 9 với các kênh phản xạ do khí quyển HR'_i . Kết quả phân tích tương quan cho thấy sự tán xạ ở tất cả các kênh đều tuân theo quy luật gần như tuyến tính, do vậy phương trình 4 được sử dụng để tính toán giá trị phản xạ HR

do ảnh hưởng của khí quyển (hình 2). Cuối cùng sử dụng phân tích hồi quy đa biến để xác định các tham số ở phương trình 4 cho từng kênh với dữ liệu đầu vào là các kênh ảnh HR_i, kênh 1 (R₁) và kênh 9 (R₂). Bảng 2 trình bày kết quả hồi quy đa biến với các thông số tương ứng với từng kênh ảnh. Kết quả phân tích cho thấy hệ số xác định giữa giá trị phản xạ của khí quyển HR_i với kênh 1 và kênh 9 khá là cao (trên 0,7). Trong đó, giá trị thống kê p-value nhỏ hơn 0,05 ở tất cả các tham số cho thấy độ ổn định cao của các tham số với khoảng tin cậy trên 95%. Kết quả phân tích cũng cho thấy hệ số xác định thấp hơn ở các kênh hồng ngoại gần và hồng ngoại sóng ngắn.

$$HR_i = a_i + b_i * R_1 + c_i * R_9 \quad (4)$$



Hình 3: biểu đồ tán xạ giữa giá trị phản xạ do khí quyển ở các kênh so với giá trị phản xạ của kênh 1



Hình 4: biểu đồ tán xạ giữa giá trị phản xạ do khí quyển ở các kênh so với giá trị phản xạ của kênh 9

Bảng 2: các thông số xác định phương trình hồi quy ở từng kênh với kênh 1 và kênh 9

	Các tham số			Sai số chuẩn của các tham số			p-value			R ²	Sai số chuẩn của HR	Số phản tử ảnh
	a	b	c	a	b	c	a	b	c			
Blue	-0,05523	0,45994	0,65158	0,00022	0,00283	0,00385	0	0	0	0,978	0,00388	141981
Green	-0,04027	0,23765	0,95127	0,00023	0,00290	0,00395	0	0	0	0,977	0,00398	141981
Red	-0,02659	0,09054	1,16873	0,00028	0,00356	0,00484	0	3,1E-142	0	0,967	0,00488	141981
NIR	-0,22750	1,98999	-0,92848	0,00110	0,01391	0,01890	0	0	0	0,786	0,01903	141981
SWIR1	-0,10486	0,75139	-0,00121	0,00071	0,00902	0,00011	0	0	0,044	0,735	0,01235	141981
SWIR2	-0,02630	0,05616	0,80897	0,00042	0,00528	0,00718	0	2,27E-26	0	0,861	0,00723	141981

Hiệu chỉnh haze

Sau khi tính toán được giá trị hiệu chỉnh haze HR_i(x, y) từ kênh 1 và kênh 9 của ảnh gốc thì giá trị ảnh sau khi hiệu chỉnh haze được tính theo công thức sau:

$$R_i(x, y) = R_{i \text{ sensor}}(x, y) - HR_i(x, y) \quad (5)$$

Trong đó HR_i(x, y) là giá trị phản xạ do ảnh hưởng của haze, R_{i sensor}(x, y) là giá trị phản xạ mà bộ cảm nhận được và R_i(x, y) là giá trị phản xạ của bề mặt đất. Giá trị R_i(x, y) sau khi được hiệu chỉnh với haze thì nên cộng thêm một giá trị phản xạ của các hạt aerosol trong ảnh sạch. Bởi vì ảnh sạch cũng tồn tại một lượng các hạt aerosol. Do đó, các phần tử ảnh nằm ngoài vùng có haze mỏng che phủ của ảnh HR cũng tồn tại một giá trị đại diện cho giá trị phản xạ của các hạt aerosol trong ảnh sạch không có haze. Việc cộng thêm giá trị phản xạ của aerosol của vùng không bị haze được thực hiện theo công thức (6) do Aliaksei và cộng sự (2014) phát triển như sau:

$$R'_i = R_i + \text{abs}(\text{mean}(R_{i \text{ sensor}}[\text{vùng không haze}]) - \text{mean}(R_i[\text{vùng không haze}])) \quad (6)$$

Trong đó: R'_i là giá trị phản xạ sau khi được hiệu chỉnh haze cuối cùng ở kênh i; R_i được tính từ công thức (4); mean(R_{i sensor}[vùng không haze]) là giá trị trung bình phản xạ của ảnh gốc R_{i sensor} ở kênh ảnh thứ i; mean(R_i[vùng không haze]) là giá trị trung bình phản xạ của ảnh R_i được tính từ công thức (4) ở kênh ảnh thứ i; abs là giá trị tuyệt đối.

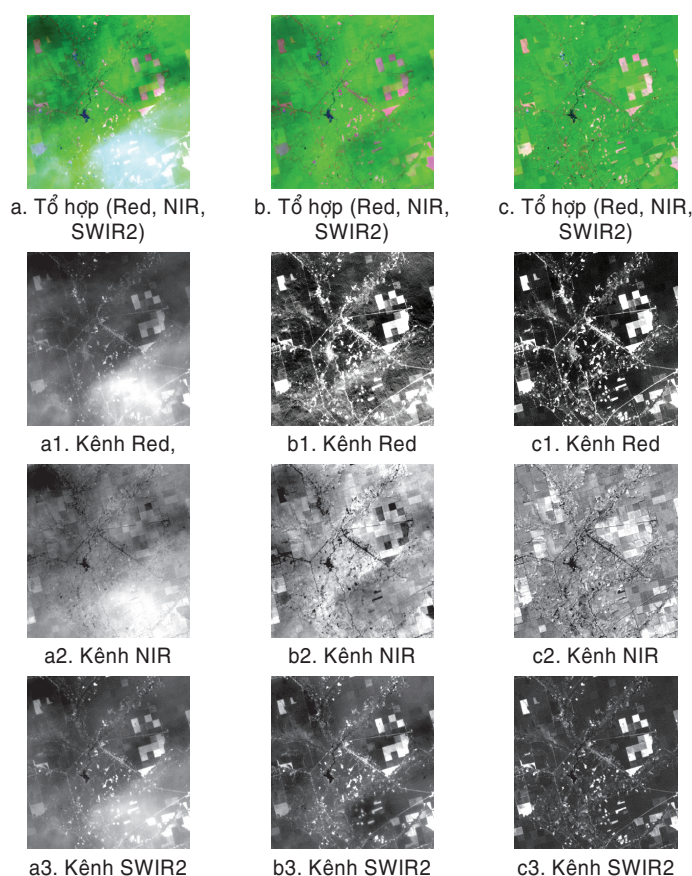
Kết quả và thảo luận

Kết quả ảnh Landsat 8 OLI sau khi hiệu chỉnh haze

Ảnh Landsat 8 OLI thu nhận ngày 18.11.2013 có số hiệu ảnh là 125/052, được phân chia làm hai khu vực thuộc tỉnh Bình Dương. Khu vực 1 (hình 2 và 5) được

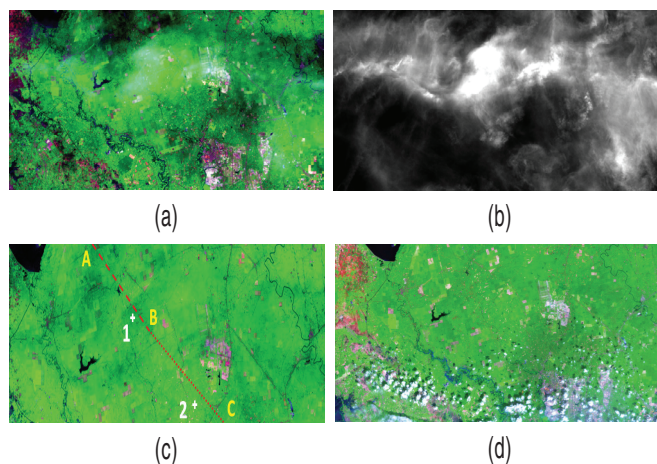
sử dụng để tính toán các giá trị tham số của phương trình hồi quy xác định giá trị hiệu chỉnh do khí quyển ảnh hưởng như được trình bày ở phần trên. Khu vực 2 (hình 6) là khu vực áp dụng các công thức (4), (5) và (6) để đánh giá kết quả xử lý khử haze.

Kết quả hiệu chỉnh ảnh mây ngày 18.11.2013 cho khu vực 1 được trình bày ở hình 5. Dễ nhận thấy các ảnh kết quả ở từng kênh phổ và cả ảnh tổ hợp sau khi hiệu chỉnh haze đã loại bỏ đáng kể ảnh hưởng của haze. So sánh trực quan kết quả sau khi hiệu chỉnh tốt hơn ảnh gốc chưa hiệu chỉnh. Chất lượng của ảnh sau khi hiệu chỉnh cho thấy gần với ảnh tham khảo ngày 4.12.2013.



Hình 5: ảnh dữ liệu Landsat 8 OLI ngày 18.11.2013 path/row 125/052 chưa hiệu chỉnh haze (a, a1, a2, a3), ảnh đã hiệu chỉnh (b, b1, b2, b3), và ảnh tham khảo ngày 4.12.2013 (c, c1, c2, c3)

Trong khu vực 2 (hình 6) có một phần bị che phủ bởi haze mỏng và có cả bóng mây. Hình 6b cho thấy phân bố của mây Cirrus trong khung ảnh, sẽ được sử dụng để hiệu chỉnh mây. Hình 6c cho thấy kết quả sau khi hiệu chỉnh haze tốt hơn là trước khi hiệu chỉnh, các khu vực có haze được loại bỏ và những khu vực bị bóng mây che cũng được cải thiện đáng kể, giúp dễ nhận biết các đối tượng hơn.

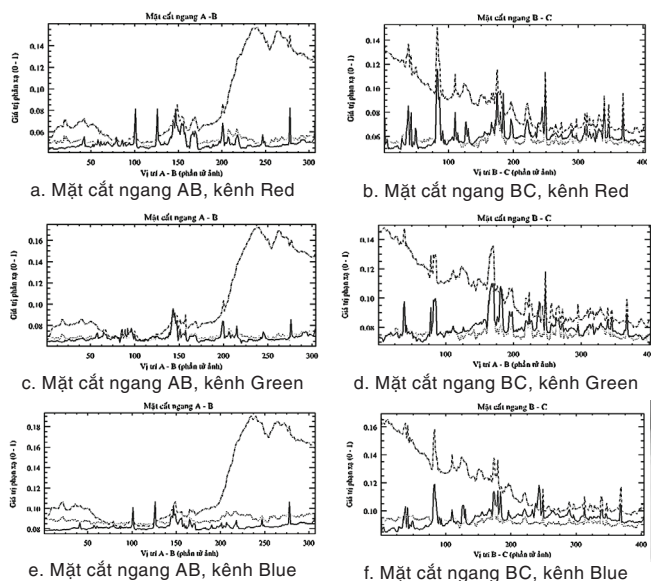


Hình 6: ảnh dữ liệu Landsat 8 OLI ngày 18.11.2013 path/row 125/052 đã hiệu chỉnh haze (c), ảnh chưa hiệu chỉnh haze (a), ảnh mây của kênh 9 (b), ảnh tham khảo (d); mặt cắt ngang AB (đường gạch gạch) và mặt cắt ngang BC (đường chấm chấm)

Đánh giá kết quả khử haze với ảnh tham khảo

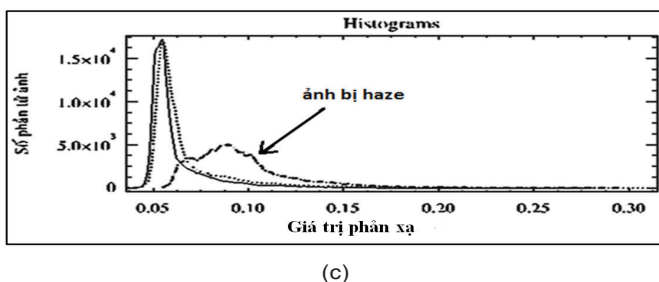
Việc đánh giá chất lượng của ảnh sau khi được hiệu chỉnh haze có khó khăn. Đó là do dữ liệu phản xạ của haze và dữ liệu đo phản xạ thực tế mặt đất không thể đo đồng thời với thời gian thu nhận ảnh. Do vậy, việc đánh giá sẽ chỉ thực hiện so sánh với ảnh tham khảo như các nghiên cứu trước đây đã thực hiện (Aliaksei et al, 2014). Cả hai ảnh này sẽ được thu nhận vào cùng một khu vực cố định và có cùng các thông số về kênh phổ thu nhận do cùng bộ cảm. Đồng thời hai ảnh này sẽ được lấy vào cùng một mùa khô để đảm bảo các đối tượng trên mặt đất ít bị ảnh hưởng nhiều khí quyển do thời tiết vào mùa mưa.

Kết quả trích xuất giá trị phản xạ theo mặt cắt ngang AB và BC của các kênh Red, Green và Blue được trình bày ở hình 7. Hình 7 cho thấy giá trị phản xạ của kênh Red, Green và Blue cho ảnh có haze che phủ (đường chấm gạch), ảnh đã hiệu chỉnh haze (đường chấm chấm) và ảnh tham khảo ngày 4.12.2013 (đường nét liền). Hai mặt cắt này được thiết kế đi qua vùng có haze và không có haze. Trong vùng ít bị ảnh hưởng của mây (phần bên phải của mặt cắt BC), phân bố các giá trị phản xạ theo mặt cắt giữa ảnh gốc chưa hiệu chỉnh haze và ảnh đã hiệu chỉnh có cùng một hình dạng; ảnh đã hiệu chỉnh cũng có cùng hình dạng với mặt cắt ở ảnh tham khảo và giá trị là gần nhau. Trong vùng bị haze, mặt cắt AB và bên trái của đoạn BC, tương tự như bên phải của đoạn BC như đã phân tích ở trên, cho thấy haze đã được khử, nhiều khí quyển sau khi xử lý đã giảm đáng kể so với trước khi xử lý.



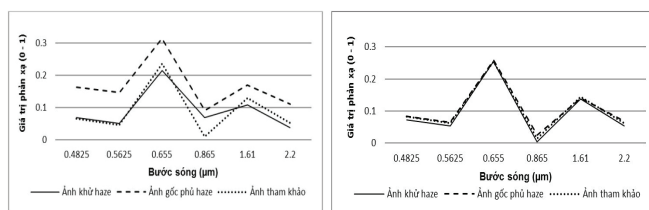
Hình 7: mặt cắt ngang của AB và BC (hình 6c) cho giá trị phản xạ của kênh Red, Green và Blue, trong đó: ảnh bị haze che 18.11.2013 (nét chấm - gạch); ảnh đã được hiệu chỉnh haze (nét chấm); ảnh tham khảo 04.12.2013 (nét liền)

Kết quả so sánh histogram của ảnh gốc có haze, ảnh đã hiệu chỉnh haze và ảnh tham khảo được trình bày ở hình 8. Hình 8a và 8b là khu vực được cắt ra để tính toán histogram của ảnh ngày 18.11.2013, hai ảnh này được tổ hợp màu tự nhiên (tổ hợp RGB: kênh Red, Green và Blue theo thứ tự). Hình 8c (kết quả tính histogram) cho thấy ảnh đã hiệu chỉnh haze tương tự như ảnh tham khảo. Ảnh gốc chưa hiệu chỉnh, do bị ảnh hưởng của haze làm cho giá trị phản xạ các phần tử ảnh lớn hơn so với ảnh tham khảo không haze.



Hình 8: ảnh Landsat 8 OLI ngày 18.11.2013 được cắt để hiệu chỉnh haze: a) ảnh gốc phủ haze (tổ hợp màu tự nhiên), b) ảnh đã hiệu chỉnh haze (tổ hợp màu tự nhiên), c) histogram của ảnh gốc bị haze (nét chấm-gạch), ảnh đã hiệu chỉnh haze (nét liền) và ảnh tham khảo (nét chấm) ở kênh Red

Để đánh giá sự thay đổi phổ cho vùng bị haze che phủ và vùng không bị haze che của ảnh sau khi được hiệu chỉnh, các giá trị phản xạ ở hai điểm tương ứng được trích xuất với các kênh phổ ở trên ảnh có haze, trước và sau khi hiệu chỉnh, và ảnh tham khảo. Kết quả được thể hiện ở hình 9. Tại điểm 1 có vị trí như hình 6c tương ứng với vùng bị haze che phủ và điểm 2 tương ứng với vùng không bị haze che. Tại điểm 1 cho thấy giá trị phản xạ của các kênh phổ của ảnh sau khi hiệu chỉnh haze có giá trị gần bằng với ảnh tham khảo. Tại điểm 2 ta nhận thấy giá trị phản xạ của các kênh phổ trên cả ảnh phủ haze, ảnh hiệu chỉnh haze và ảnh tham khảo điều có giá trị gần như nhau. Từ kết quả phân tích cho thấy phương pháp hiệu chỉnh haze này có thể áp dụng được với các vùng mây mỏng, mà độ khác biệt về mặt giá trị ở các kênh phổ là gần với dữ liệu ảnh tham khảo.



Hình 9: biểu đồ phổ phản xạ tương ứng với điểm 1 (điểm ở vùng có haze - hình trái) và điểm 2 (điểm ở vùng không có haze - hình phải), đơn vị bước sóng là μm

Kết luận

Nghiên cứu của chúng tôi đã thực hiện việc hiệu chỉnh haze thông qua kênh Coastal Aerosol và Cirrus của dữ liệu ảnh Landsat 8 OLI, và đây cũng được xem như là một phương pháp để hiệu chỉnh khí quyển với sự thay đổi mức độ dày của haze thông qua hai kênh này. Kết quả cho thấy, có thể áp dụng thuật toán trên để giảm ảnh hưởng của haze và một phần mây mỏng, và có thể đối với cả bóng của mây mỏng. Kết quả này giúp tăng thêm hiệu quả sử dụng của ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI trong các nghiên cứu và ứng dụng. Tuy nhiên, hạn chế của thuật toán là chưa thể áp dụng cho các khu vực mây dày, chỉ có thể áp dụng tốt cho khu vực mây mỏng che phủ mà có khả năng xuyên qua.

Tài liệu tham khảo

1. Aliaksei M, Rudolf R, Rupert M and Peter R (2014), "Haze detection and removal in remotely sensed multispectral Imagery", *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, ISSN: 0196-2892; DOI: 10.1109/TGRS.2013.2293662.
2. Changmiao H and Ping T (2014), "Rapid dehazing algorithm

based on large-scale median filtering for high-resolution visible near-infrared remote sensing images”, *Int. J. Wavelets Multiresolut Inf. Process.*, **12**; DOI: 10.1142/S0219691314610104.

3. Charlie L, *Landsat 8 Bands, Landsat Science* (http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=5377 truy cập ngày 19.3.2015).

4. Chavez P (1986), “Image-based atmospheric corrections-Revisited and improved”, *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, **62**(9), pp.1025-1036.

5. Chavez P (1988), “An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data”, *Remote Sens. Environ.*, **24**(3), pp.459-479.

6. Crist E.P and R.C Cicone (1984), “A physically-based transformation of Thematic Mapper data: The TM tasseled cap”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **GE-22**(3), pp.256-263.

7. Du Y and Gower J.F.R (2000), “Cloud detection and thin cloud calibration in NOAA AVHRR images with fuzzy logic”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, **26**(1), pp.54-63.

8. He K, J Sun and X Tang (2009), “Single image haze removal using dark channel prior”. in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vision Pattern Recognit. Jun. 2009*, pp.1956-1963.

9. Kaufman Y.J and C Sendra (1988), “Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery”, *International Journal of Remote Sensing*, **9**(8), pp.1357.

10. Kaufman Y.J, A.E Wald, L.A Remer, B.C Gao, R.R Li and L Flynn (1997), “The MODIS 2.1- μ m channel-correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **35**(5), pp.286-298.

11. Lew S.C (2001), *Principle of Remote sensing, 1997, 2001 CRISP* (<http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm>, truy cập 12.11.2014).

12. Liang S.L, H.L Fang and M.Z Chen (2001), “Atmospheric correction of landsat ETM+ land surface imagery - Part I: Methods”,

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **39**(11), pp.2490-2498.

13. Liang S.L, H.L Fang, J.T Morisette, M.Z Chen, C.J Shuey, C.L Walthall and C.S.T Daughtry (2002), “Atmospheric correction of landsat ETM plus land surface imagery - Part II: Validation and applications”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **40**(12), pp.2736-2746.

14. Makarau A, Richter R, Müller R and Reinartz P (2013), “Haze Detection and Removal in Remotely Sensed Multispectral Imagery”, *IEEE Transactiono on Geoscience and remote sensing*, pp.1-11 (<http://ieeexplore.ieee.org>).

15. Michael V and M Klaus-Peter (2010), *Infrared thermal imaging: Fundamentals, Research and applications*, p. 569, Wiley-VCH; 1st Ed. pp.612.

16. Moro G.D and L Halounova (2007), “Haze removal for high-resolution satellite data: A case study”, *Int. J. Remote Sens.*, **28**(10), pp.2187-2205.

17. Richter R (1996), “A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm”, *International Journal of Remote Sensing*, **17**(6), pp.1201-1214.

18. Sandeep M.S (2014), “Remote sensing Image Dehazing using Guided Filter”, *International Journal of Research Studies in Computer Science and Engineering (IJRSCSE)*, ISSN 2349-4840 (Print) & ISSN 2349-4859 (Online), **1**(3), pp.44-49.

19. Teillet P.M (1997), “A status overview of earth observation calibration/validation for terrestrial applications”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, **23**(4) pp.291-298.

20. USGS (2013), *Landsat 8 Fact sheet* (<http://pubs.usgs.gov/fs/2013/3060/pdf/fs2013-3060.pdf>, truy cập ngày 19.3.2015).

21. Zhang Y, B Guindon and J Cihlar (2002), “An image transform to characterize and compensate for spatial variations in thin cloud contamination of Landsat images”, *Remote Sensing of Environment*, **82**(2-3), pp.173-187.