

Loại bỏ hiệu ứng lóe mặt trời trên ảnh vệ tinh quang học khu vực nước nông ven các đảo thuộc quần đảo Trường Sa

Phan Quốc Yên^{1,2,*}, Nguyễn Hiệu²

¹Học viện Kỹ thuật Quân Sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 20 tháng 7 năm 2017

Chỉnh sửa ngày 02 tháng 8 năm 2017; Chấp nhận đăng ngày 22 tháng 9 năm 2017

Tóm tắt: Công nghệ viễn thám có vai trò quan trọng trong việc khảo sát, cập nhật thông tin thực địa để thành lập bản đồ sinh cảnh và bản đồ độ sâu địa hình đáy biển khu vực nước nông. Tuy nhiên, khu vực nước nông thường xuất hiện lóe mặt trời do sóng gây ra. Lóe mặt trời trên mặt nước làm thay đổi giá trị phổ phản xạ môi trường bên trong thân nước, từ đó làm sai lệch nghiêm trọng thuộc tính khối nước và sinh vật đáy biển. Nghiên cứu này nhằm mục đích loại bỏ lóe mặt trời từ ảnh vệ tinh đa phổ Sentinel-2A bằng hai phương pháp thông dụng Lyzenga và Hedley cho khu vực nước nông ven các đảo thuộc quần đảo Trường Sa. Kết quả thử nghiệm được đánh giá bằng so sánh trực diện phổ sau hiệu chỉnh theo hai phương pháp. Ngoài ra, hiệu quả hai phương pháp thể hiện rõ trong ứng dụng ước tính độ sâu sử dụng phương pháp Lyzenga cho dữ liệu ảnh tại 2 thời điểm. Kết quả tăng hệ số tương quan R^2 và giảm độ lệch chuẩn RMSE của mô hình ước tính độ sâu một lượng đáng kể sau khi hiệu chỉnh.

Từ khóa: Lóe mặt trời, độ sâu, ảnh vệ tinh quang học, Sentinel 2A, Trường Sa.

1. Mở đầu

Quần đảo Trường Sa có tầm quan trọng chiến lược đặc biệt đối với công cuộc xây dựng, phát triển và bảo vệ tổ quốc, là nơi có tiềm năng rất lớn về tài nguyên, khoáng sản và nguồn hải sản. Đồng thời, Trường Sa là các quần đảo tiền tiêu có giá trị phòng thủ, bảo vệ sườn phía đông của đất nước và có thể làm căn cứ đồn trú, án ngữ, giám sát chiến lược các tuyến đường trọng yếu đi qua khu vực biển đông. Khu vực nước nông ven các đảo thuộc quần đảo Trường Sa có

vai trò quan trọng, là khu vực neo đậu đợi cơ trú tránh bão, các hoạt động cứu trợ, đảm bảo an toàn hàng hải và tiếp nhiên liệu cho tàu thuyền. Các thông tin về vùng nước này phục vụ cho việc thiết kế và thi công xây dựng, giám sát các công trình cầu cảng, luồng lạch, kè bảo vệ bờ đảo [1], các công trình quân sự, cũng như giám sát các hệ sinh thái biển quan trọng như san hô, cỏ biển [2].

Ảnh viễn thám quang học khu vực ven biển có thể cung cấp thông tin có giá trị cho việc mô tả và giám sát các vùng nước nông. Các công nghệ vệ tinh gần đây và các thuật toán xử lý ảnh đã cung cấp các khả năng để phát triển các kỹ thuật định lượng có tiềm năng để cải thiện các nhược điểm của phương pháp xử lý ảnh

*Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-973435369.

Email: yenphanquochv@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4109>

truyền thống về mặt chi phí, sự trung thực về bản đồ, và tính khách quan [2]. Do đó, có nhiều ứng dụng sử dụng ảnh viễn thám cho các khu vực nước nông như: thành lập bản đồ độ sâu [3] [4, 5], thành lập bản đồ sinh cảnh đáy biển [6] [7], tính toán hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng nước [8] ...

Khu vực biển luôn có sóng và gió làm mặt biển không bằng phẳng gây ra hiện tượng lóe mặt trời. Lóe là một phản xạ phản chiếu xảy ra trên bề mặt nước gây ra bởi làn sóng do gió, là yếu tố làm sai lệch nghiêm trọng trong nhận dạng các đặc tính đáy biển và ước tính độ sâu bằng ảnh viễn thám trong môi trường nước nông [4]. Lóe mặt trời xuất hiện trên đỉnh sóng và tạo thành một vùng sáng tròn che khuất thông tin ở dưới nước, nó là một thành phần của bức xạ cảm biến thu được đại diện cho một yếu tố nhiễu trên đặc trưng phổ của các vùng nước [9] [10]. Hơn nữa, lóe mặt trời có thể ảnh hưởng lớn hơn khi góc nhìn cảm biến tương đối giống góc của phản xạ lóe mặt trời trên mặt nước. Mặc dù lóe mặt trời có thể có ích trong việc xác định hướng gió, trạng thái bề mặt nước, vết dầu, và nhiệt độ nước. Tuy nhiên, nó thực sự là một vấn đề phức tạp cho các hoạt động thành lập bản đồ dưới nước bằng ảnh vệ tinh quang học [7].

Lóe mặt trời thường xuất hiện khi bầu trời xanh và trong, tỷ lệ mây bao phủ là nhỏ nhất, trong các khu vực nước nông và trong, và thường xảy ra trên ảnh có độ phân giải không gian cao. Thông thường, cấu trúc lóe mặt trời là các dải trắng dọc theo cạnh sóng ở phía gió của môi trường gần bờ. Những dải trắng này làm sai nhận dạng thị giác các đặc tính đáy, và sẽ ảnh hưởng nhiều hơn trong phân loại ảnh [4, 7]. Như vậy, sự tồn tại lóe mặt trời là không mong muốn vì lóe mặt trời xuất hiện với điều kiện lý tưởng cho việc thu thập các thông tin về môi trường đáy biển bằng ảnh viễn thám.

Đã có nhiều nghiên cứu để loại bỏ lóe mặt trời cho khu vực nước nông trước khi thực hiện bước xử lý ảnh tiếp theo. Các nghiên cứu trên ảnh viễn thám đa phổ như Lyzenga và cộng sự (1985, 2006) [5, 11], Hochberg và cộng sự (2003) [6], Hedley và cộng sự (2005) [4].

Philpot (2007) [12], Goodman và cộng sự (2008) sử dụng sự khác nhau giữa phản xạ tại bước sóng 640 và 750 nm trên ảnh siêu phổ AVIRIS [3]. Kutser và cộng sự (2009) sử dụng kênh hấp thụ ô xy tại bước sóng 760 nm của ảnh siêu phổ AISA để chỉ ra lượng lóe [13].

Tất cả các phương pháp đều dựa trên nguyên lý sự hấp thụ cao của nước tại bước sóng cận hồng ngoại. Cách thức thực hiện là khác nhau, các phương pháp thực hiện trên ảnh siêu phổ cho kết quả tốt hơn, tuy nhiên thiết bị chụp ảnh siêu phổ gắn trên thiết bị vệ tinh rất hạn chế và chi phí đắt đỏ [10]. Với ảnh viễn thám đa phổ, phương pháp Hedley và Lyzenga là hai phương pháp thông dụng, dễ thực hiện, kết quả ảnh hưởng của hai phương pháp tương tự nhau [10]. Mục đích bài báo này là nghiên cứu ứng dụng phương pháp Hedley và Lyzenga để hiệu chỉnh lóe mặt trời từ ảnh vệ tinh đa phổ Sentinel-2A, từ đó so sánh và đánh giá kết quả của hai phương pháp bằng trắc diện phổ sau khi hiệu chỉnh cho một thời điểm chụp ảnh. Ngoài ra, hiệu quả của hai thuật toán được đánh giá qua ứng dụng ước tính độ sâu khu vực nước nông ven đảo An Bang bằng phương pháp Lyzenga và cộng sự tại hai thời điểm chụp ảnh khác nhau.

2. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Quần đảo Trường Sa là quần đảo san hô nằm về phía Đông Đông Nam bờ biển Việt Nam và phía nam Biển Đông trải dài từ vĩ tuyến $6^{\circ}45'N$ đến $12^{\circ}15'N$ và từ kinh tuyến $111^{\circ}30'E$ đến $117^{\circ}20'E$. Chiều dài từ Đông sang Tây khoảng 800km, từ Bắc xuống Nam khoảng 600km [14]. Các đảo và bãi ngầm thường có dạng hình vành khăn hoặc hình oval. Bao quanh đảo là thềm san hô nước nông, ra phía ngoài là mép trên của sườn núi lửa nên khi ra khỏi sườn dốc, biển có độ sâu thay đổi đột ngột từ vài trăm mét đến hơn 2000m. Các thềm này thường có những rãnh hẹp sâu từ 30-40m chạy dọc theo hướng từ đảo ra đến vùng nước sâu [15]. Nước biển ở quần đảo Trường Sa có độ trong tương

đồi cao, có thể nhìn thấy đáy với độ sâu từ 10-20m. Khí hậu có thể chia làm 2 mùa: mùa khô và mùa mưa. Mùa khô từ tháng 1 đến tháng 5, mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 1 năm sau, lượng mưa trung bình hàng năm rất lớn vào khoảng hơn 2500mm [14].

Khu vực thử nghiệm nằm xung quanh một đảo ở khu vực cụm đảo An Bang, ở tận cùng phía nam quần đảo Trường Sa, gồm các đảo An Bang, Thuyền Chài, Hoa Lát, Đá Én, Bãi Thám Hiểm, Kỳ Vân, Kiều Ngựa... Đây là khu vực có điều kiện thời tiết, thủy văn phức tạp, quanh năm có sóng lớn và là nơi mà tàu thuyền khó cập bến nhất trong số các thực thể địa lý thuộc Trường Sa của Việt Nam.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Vệ tinh Sentinel-2A phát triển bởi Cơ quan Không gian Châu Âu (ESA) được phóng lên quỹ đạo vào tháng 6 năm 2015 để giám sát môi trường biển. Vệ tinh có đường quét 290km, chu kỳ lặp lại 10 ngày, dải phổ 440-2300 nm, 13 kênh phổ trong đó có các kênh phổ trong dải sóng nhìn thấy (Xanh lam - Blue, Xanh lục - Green, Đỏ - Red) và hai kênh cận hồng ngoại [16]. Với khả năng xuyên thấu của các kênh trong dải sóng nhìn thấy trong môi trường nước nông và trong, ảnh Sentinel 2A là một dữ liệu phù hợp để nghiên cứu độ sâu mức nước.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và các vùng lấy mẫu trên ảnh.

Ảnh khu vực nghiên cứu được chụp thời gian 9h47' giờ Việt Nam ngày 16/6/2016 với tỷ lệ phần trăm của mây 1,21% và ngày 7/5/2016 với tỷ lệ mây 5,02%. Độ sâu thử nghiệm được thu thập từ đo đạc trực tiếp vào 5/2014 bằng máy đo sâu Hidrobox kết hợp với thiết bị định vị GPS Trimble 2008. Độ sâu đã được kiểm tra, cập nhật và hiệu chỉnh thủy triều về độ sâu mức nước tức thời tại hai thời điểm 16/6/2016 (73 điểm) và 7/5/2016 (41 điểm) trước khi đưa vào mô hình tính toán độ sâu.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Nguyên lý và phương pháp góc hiệu chỉnh lóe mặt trời

Các phương pháp hiệu chỉnh lóe khu vực nước nông đều dựa vào nguyên lý sự hấp thụ cao của nước tại bước sóng cận hồng ngoại (NIR) và kết quả là bức xạ nước thoát ra L_{water} cho kênh ảnh NIR có thể được xem là không đáng kể. Tất cả các bức xạ NIR tới bộ cảm biến phải đến từ sự tán xạ trong không khí của bức xạ mặt trời hoặc từ sự phản xạ bề mặt. Nếu hiệu chỉnh khí quyển đã được áp dụng thì tín hiệu trong kênh NIR còn lại phải hoàn toàn do lóe mặt trời. Các phản xạ mạnh của tín hiệu lóe tại các bước sóng nhìn thấy và NIR sẽ có cùng giá trị như nhau, vì vậy tín hiệu NIR có thể được sử dụng để chỉ ra lượng lóe tại bước sóng nhìn thấy [10].

Những phương pháp công bố ban đầu đã hiệu chỉnh dữ liệu điểm ảnh bằng điểm ảnh, bằng cách trừ đi một phần bù bước sóng độc lập từ mỗi kênh để đưa bức xạ kênh NIR về gần bằng không. Các phương pháp sau này đã cho phép một số bức xạ thoát khỏi nước trong kênh NIR khác 0. Điều này có thể xảy ra với các khu vực nước nông và trong nên đáy biển, trầm tích hoặc thảm thực vật đáy có thể tán xạ bức xạ NIR quay trở lại xuyên qua bề mặt nước [10]. Philpot (2007) cũng đã có một hướng tiếp cận tương tự trên dữ liệu ảnh siêu phổ [12]. Tuy nhiên, tiếp cận này sử dụng một vài cặp điểm ảnh sáng và tối ở các phần khác nhau của ảnh.

Dùng các điểm ảnh sáng nhất và tối nhất để thiết lập mối quan hệ giữa các bước sóng NIR và nhìn thấy làm cho phương pháp này dễ bị lỗi. Tự động trích xuất các điểm ảnh sáng nhất có thể nhầm lẫn với một đám mây, đất, sóng bạc đầu, hoặc đối tượng nhỏ trên bề mặt như tàu thuyền [10].

Cũng dựa trên nền hướng tiếp cận như trên, Hochberg et al. (2005) có một vài cách thực nghiệm để cải thiện thuật toán loại bỏ lóa mặt trời trên ảnh vệ tinh [4, 6]. Các tác giả dựa vào 2 giả thuyết:

Giả thiết 1: Độ sáng trong kênh NIR chỉ bao gồm lóa mặt trời và một hằng số không gian thành phần "xung quanh" NIR. Đặc biệt, không có sự biến đổi không gian đáng ảnh hưởng tới bức xạ NIR. Giả thiết này được chứng minh thực tế là nước có độ mờ tương đối cao với các bước sóng NIR (700-100nm), ngay cả khu vực nước nông (nhỏ hơn 2m) có một ít bức xạ rời khỏi nước trong NIR cũng không xem là do kiểu đáy. Mặc dù độ sáng NIR nhỏ nhất qua khu vực nước sâu mong muốn bằng 0, tuy nhiên trong thực tế là lớn hơn 0. Đặc biệt, nếu ảnh không được hiệu chỉnh khí quyển, thì độ sáng NIR "còn lại" hoặc "xung quanh" tương ứng này tán xạ ngược lại NIR trong khí quyển. Thành phần này được loại bỏ từ tất cả các điểm ảnh trong quá trình phân tích.

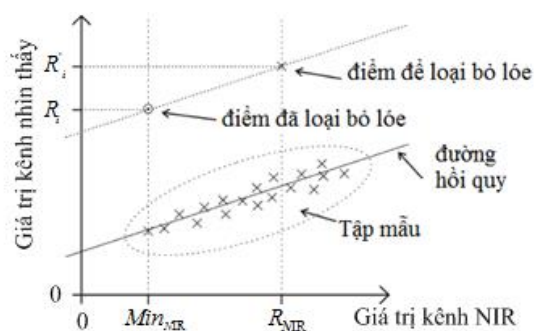
Giả thiết 2: Số lượng lóa mặt trời trong các kênh nhìn thấy có mối quan hệ tuyến tính với lóa trong kênh NIR, vì chỉ số khúc xạ thực gần như bằng nhau cho các bước sóng NIR và nhìn thấy. Do đó, lượng ánh sáng phản xạ lại từ mặt nước trong dải sóng NIR là thể hiện tốt với lượng ánh sáng phản xạ ở các bước sóng trong kênh nhìn thấy, và một mối quan hệ tuyến tính tồn tại giữa hai kênh đó.

Nhược điểm của phương pháp Hochberg et al là chỉ sử dụng hai điểm ảnh để thiết lập mối quan hệ tuyến tính giữa độ sáng NIR và lóa mặt trời trong bước sóng nhìn thấy. Thuật toán gợi ý những điểm đó có thể là điểm ảnh NIR "sáng nhất và tối nhất" trên toàn ảnh hoặc từ một tập con. Giả định ngầm rằng nếu lóa mặt trời là không có, hai điểm ảnh tham chiếu sẽ có cùng

tín hiệu quang phổ. Chính vì điểm ảnh NIR "sáng nhất" nên việc loại bỏ đất và đám mây trước khi phân tích là cần thiết, nếu không xác suất cao điểm ảnh NIR sáng nhất sẽ là đất hoặc mây, vì thế gây ra sai. Tuy nhiên, với một hình ảnh rộng việc tách mây và đất hoặc một đối tượng nhỏ như tàu thuyền làm tốn thời gian và khó. Hochberg đề nghị sử dụng một ảnh con, lý tưởng với bề mặt đồng nhất với độ sâu không đổi, để cải thiện các lỗi có thể xảy ra do không nhất quán giữa hai điểm ảnh. Tuy nhiên, phụ thuộc chỉ có hai điểm ảnh là điểm yếu chính của phương pháp [4].

3.2. Phương pháp Hedley hiệu chỉnh lóa mặt trời

Để tránh hạn chế của việc dựa vào hai điểm ảnh cô lập từ toàn bộ ảnh, Hedley et al. (2005) thiết lập mối quan hệ tuyến tính giữa các kênh nhìn thấy và kênh NIR sử dụng hồi quy tuyến tính dựa trên một mẫu các điểm ảnh thay vì chỉ có hai điểm ảnh. Các khu vực thể hiện rõ lóa mặt trời được lựa chọn cơ bản chỉ có lóa (những khu vực nước sâu là lý tưởng). Tất cả các điểm ảnh lựa chọn được chứa trong một hồi quy tuyến tính của độ sáng NIR (trục x) với độ sáng kênh nhìn thấy (trục y) như hình 2 [4].



Hình 2. Biểu đồ phân tích hồi quy giữa các giá trị điểm sáng trên kênh NIR và kênh nhìn thấy, những điểm ảnh không lóa là đồng nhất và gần đường hồi quy. Những điểm ảnh khác được hiệu chỉnh bằng cách ước tính độ dốc của đường hồi quy và giá trị điểm sáng nhỏ nhất của NIR trên tập mẫu [4].

Nếu độ dốc (hệ số góc) của đường hồi quy cho kênh i là (b_i) , thì tất cả các điểm trong ảnh trong kênh i có thể được loại bỏ lóa bằng cách áp dụng phương trình sau:

$$R'_i = R_i - b_i(R_{\text{NIR}} - \text{Min}_{\text{NIR}}) \quad (1)$$

Ý nghĩa phương trình (1) như sau: Giảm giá trị điểm ảnh trên kênh i (R'_i) bằng độ dốc của đường hồi quy (b_i) và sự khác nhau giữa giá trị điểm ảnh NIR (R_{NIR}) và mức độ không gian xung quanh NIR (Min_{NIR}). Min_{NIR} chủ yếu thể hiện độ sáng NIR của điểm ảnh không có lóa mặt trời và có thể được ước tính bằng giá trị nhỏ nhất NIR tìm thấy trong mẫu hồi quy hoặc thay bằng giá trị NIR nhỏ nhất tìm thấy trong toàn bộ ảnh. Nói chung, điểm nhỏ nhất NIR ít có xu hướng lỗi hơn giá trị điểm lớn nhất [4].

Phương pháp này dựa vào tập mẫu các điểm ảnh, không cần loại bỏ các điểm ảnh không ngập nước như mặt đất, đám mây, tàu thuyền trước khi loại bỏ lóa. Tuy nhiên cần thận trọng trong lựa chọn tập mẫu, tránh các điểm ảnh không ngập nước để xác định hệ số hồi quy (b_i) đạt giá trị chính xác nhất.

Các bước thực hiện:

1. Hiệu chỉnh bức xạ theo các bước thông thường, đối với một bài toán tổng hợp và hệ thống thì bước này là cần thiết vì cần loại bỏ các ảnh hưởng khí quyển.

2. Lựa chọn một hoặc nhiều khu vực mẫu của ảnh hiển thị một phạm vi của lóa mặt trời, lựa chọn một khu vực đồng nhất mà lóa mặt trời không có mặt. Xác định Min_{NIR} , độ sáng tối thiểu trên kênh NIR trong tập mẫu.

3. Thực hiện hồi quy tuyến tính độ sáng trong kênh NIR (trục x) với độ sáng kênh đơn (trục y) sử dụng các điểm ảnh đã lựa chọn. Độ dốc đường hồi quy là đầu ra cần quan tâm cho kênh i gọi là b_i .

4. Thực hiện phép tính công thức 1 để loại bỏ lóa cho tất cả các điểm ảnh.

3.3. Phương pháp Lyzenga hiệu chỉnh lóa mặt trời

Thay vì hồi quy, Lyzenga [5] sử dụng hiệp phương sai giữa kênh nhìn thấy và NIR để thiết lập mối quan hệ giữa chúng, các vùng mẫu như phương pháp Hedley.

Hiệp phương sai của hai biến ngẫu nhiên X,Y ký hiệu là $\text{Cov}(X,Y)$ là kỳ vọng toán của tích các sai lệch của các biến ngẫu nhiên đó với kỳ vọng toán của chúng. Được xác định theo công thức sau:

$$\text{Cov}(X, Y) = E(X - EX)(Y - EY) = EXY - EXEY \quad (2)$$

Hiệp phương sai giữa hai biến có thể âm, dương hoặc bằng không. Nếu hai biến vận động cùng chiều thì hiệp phương sai sẽ dương, nếu khác chiều thì hiệp phương sai sẽ âm, nếu bằng 0 thì có nghĩa là không có mối quan hệ tuyến tính nào giữa hai biến đó.

Áp dụng với hai kênh: kênh nhìn thấy (i) và kênh NIR (j), N là số điểm ảnh trong vùng mẫu, hiệp phương sai giữa hai kênh được tính như sau:

$$\text{Cov}(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{in} L_{jn} - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{in} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N L_{jn} \quad (3)$$

Theo Lyzenga, hệ số sử dụng để hiệu chỉnh lóa r_{ij} được tính như sau:

$r_{ij} = \text{Cov}(i, j) / \text{Cov}(j, j)$, trong đó $\text{Cov}(j, j)$ là hiệp phương sai của kênh cận hồng ngoại.

Hàm ước lượng lóa dR_{VIS} được tính:

$$dR_{\text{VIS}} = r_{ij}(R_{\text{NIR}} - \text{Mean}_{\text{NIR}}) \quad (4)$$

Trong đó VIS - là kênh nhìn thấy, R_{NIR} giá trị điểm ảnh trên kênh NIR, và Mean_{NIR} giá trị trung bình của các điểm ảnh mẫu khu vực nước sâu trên kênh NIR.

Hiệu chỉnh lóa sau đó được tính:

$$R'_{\text{VIS}} = R_{\text{VIS}} - dR_{\text{VIS}} \quad (5)$$

Kết hợp công thức 4 và 5 ta có:

$$R'_{\text{VIS}} = R_{\text{VIS}} - r_{ij}(R_{\text{NIR}} - \text{Mean}_{\text{NIR}}) \quad (6)$$

3.4. Phương pháp Lyzenga ước tính độ sâu đáy biển

Mô hình này dựa trên định luật Beer của sự suy giảm ánh sáng truyền qua một chất hấp thụ và các trạng thái phản xạ ngay dưới bề mặt đại dương tại bất kỳ bước sóng nào, r_{rs} là một hàm của suất phản chiếu đáy r_b , phản xạ của cột nước sâu r_w , tổng các hệ số suy giảm khuếch tán của ánh sáng xuống và lên α , và độ sâu h [5]:

$$r_{rs} \equiv \frac{\pi L^-}{E_i} = r_w + r_b^* e^{-\alpha h} = r_w + (r_b - r_w) e^{-\alpha h} \quad (7)$$

Bức xạ đi lên ở dưới mặt nước có thể được viết: $L(h) = L_s + L_b e^{-\alpha h}$ (8)

Với L_s gồm phản xạ bề mặt cũng như các ảnh hưởng tán xạ khối, và L_b bao gồm các tín hiệu truyền qua mặt nước - không khí bị mất cũng như các ảnh hưởng phản xạ đáy và tán xạ khối trong r_b^* .

Chuyển vế và biến đổi logarit hai vế của (8) ta được độ sâu ước tính là:

$$h = \frac{1}{\alpha} \ln(L_b) - \frac{1}{\alpha} \ln(L_h - L_s) \quad (10)$$

Trong đó L_h là bức xạ trên bề mặt, và L_s là tín hiệu trung bình nước sâu.

Lyzenga 1978 tính toán biến đổi kiểu đáy sử dụng các kênh đa phổ và một ma trận xoay. Đầu tiên, định nghĩa một biến X_j , cho mỗi kênh từ 1 đến N như sau:

$$X_j = \ln(L_{hj} - L_{sj}) \quad (11)$$

Với L_{hj} là bức xạ trên bề mặt kênh j và L_{sj} là bức xạ trung bình nước sâu. Các bức xạ được biến đổi logarit để tạo một hàm tuyến tính giữa đầu vào là bức xạ và độ sâu. Bức xạ khu nước sâu được sử dụng để tính toán phản xạ do ảnh hưởng bề mặt và sự tán xạ thể tích cột nước và được giả thiết là kết quả chính từ phản xạ bên ngoài của nước, bao gồm các ảnh hưởng lóe mặt trời, và tán xạ khí quyển. Lyzenga đã sử dụng một ma trận xoay, tương tự như phân tích các thành phần chính để tính toán biến độ sâu độc lập trong các giá trị bức xạ giữa các kênh, định nghĩa biến N là:

$$Y_i = \sum_{j=1}^N A_{ij} X_j \quad (12)$$

Với A_{ij} là biến thứ i trong ma trận xoay cho kênh j (phần tử ma trận xoay), biến Y_N có quan hệ tuyến tính với độ sâu và được sử dụng để xác định độ sâu đáy biển. Mặc dù thuật toán đã tính toán cho phép biến đổi kiểu đáy và không yêu cầu tồn tại độ sâu đo đạc nào, nhưng nó không thể hiện được tính đồng nhất trong các thuộc tính cột nước của ảnh. Thuật toán này đã cập nhật bởi Lyzenga 1985 [11] và 2006 [5] để tính toán cho sự đồng nhất chất lượng nước, mô hình độ sâu cuối cùng là:

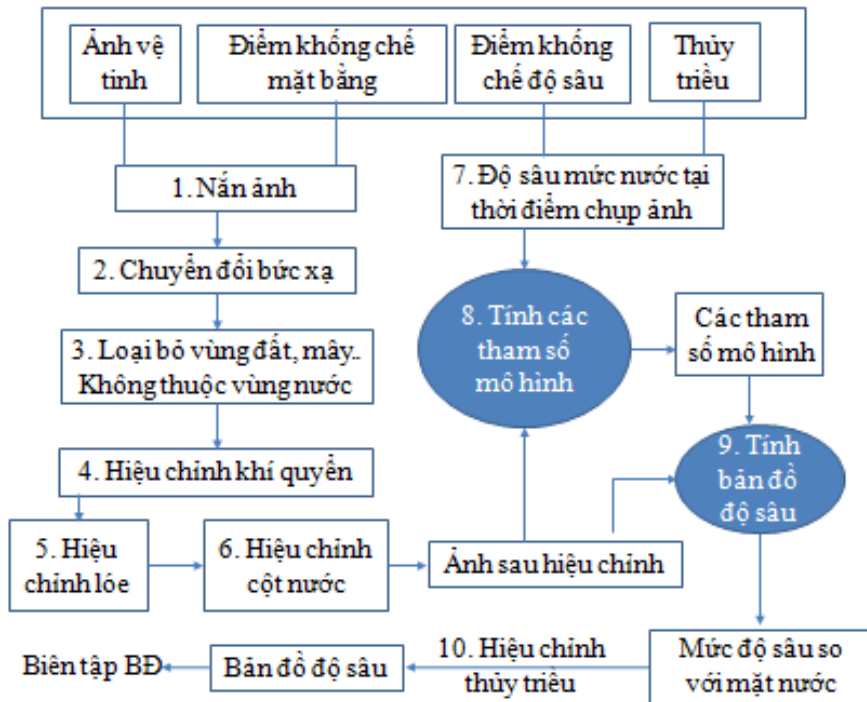
$$\hat{h} = h_o - \sum_{j=1}^N h_j X_j \quad (13)$$

Với h_o và h_j là các hằng số được xác định qua hồi quy đa tuyến tính giữa giá trị độ sâu đã biết và X_j được định nghĩa như công thức (11) nhưng lúc này L_{hj} là bức xạ đã hiệu chỉnh lóe mặt trời và các biến đổi khí quyển, và L_{sj} là tín hiệu trung bình nước sâu sau khi thực hiện các hiệu chỉnh này.

4. Kết quả và thảo luận

Quy trình đầy đủ thành lập bản đồ độ sâu từ ảnh vệ tinh quang học như hình vẽ 3, các bước được thực hiện tuần tự theo 10 bước. Tùy vào điều kiện cụ thể của đầu vào dữ liệu, quy mô ứng dụng từng bài toán để ta lựa chọn các bước cho phù hợp.

Trong bài báo này không trình bày về các bước 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 10. Tuy nhiên các bước này vẫn được thực hiện theo trình tự của quy trình. Trọng tâm của bài báo giới thiệu phương pháp hiệu chỉnh lóe mặt trời ở bước 5, từ đó đánh giá hiệu quả hiệu chỉnh lóe cho ứng dụng ước tính độ sâu từ ảnh vệ tinh đa phổ bước 8. Để khẳng định hiệu quả của hai phương pháp, ứng dụng ước tính độ sâu được thực hiện cùng một khu vực nghiên cứu cho dữ liệu ảnh đa phổ Sentinel-2A tại hai thời điểm khác nhau (16/6/2016 và 7/5/2016).

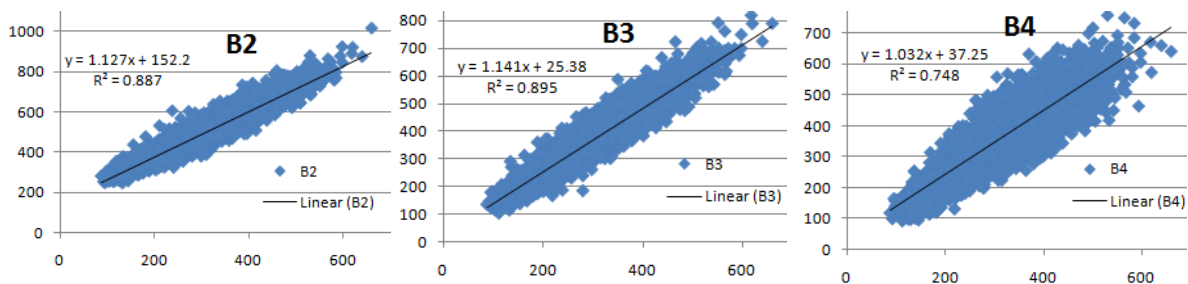


Hình 3. Mô hình thành lập bản đồ độ sâu từ ảnh vệ tinh quang học.

4.1. Hiệu chỉnh lóe

Hiệu chỉnh lóe giới thiệu trong phần này là dữ liệu ảnh tại thời điểm 16/6/2016. Đầu tiên, các khu vực lấy mẫu được lựa chọn như hình 1. Với hai khu vực lấy mẫu có số điểm ảnh là 8978 và có giá trị nhỏ nhất trong tập mẫu NIR (b8) là 88, giá trị trung bình trong tập mẫu NIR là 317.74. Độ dốc cho hiệu chỉnh lóe b_i công thức (1) được tính theo phương pháp Hedley, sử

dụng hồi quy giữa các giá trị kênh nhìn thấy và kênh NIR trong tập mẫu đã lựa chọn, kết quả như hình vẽ 5. Giá trị r_{ij} công thức (6) được tính theo theo các bước của phương pháp Lyzenga, giá trị đầu vào giống với giá trị đầu vào của phương pháp Hedley. Kết quả các hệ số đạt được b_i và r_{ij} của hai phương pháp gần như giống nhau hoàn toàn (bảng 1).



Hình 5. Hồi quy các kênh nhìn thấy và kênh NIR.

Bảng 1. Công thức hiệu chỉnh lóe cho hai phương pháp

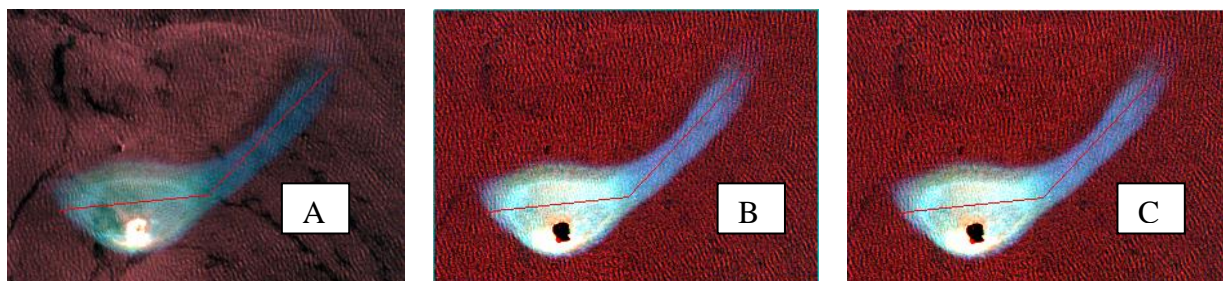
Kênh	Phương pháp Lyzenga	Phương pháp Hedley
B2	$B2_{\text{correct}} = B2 - 1.1271(B8 - 317.741)$	$B2_{\text{correct}} = B2 - 1.127(b8 - 88)$
B3	$B3_{\text{correct}} = B3 - 1.1415(B8 - 317.741)$	$B3_{\text{correct}} = B3 - 1.141(b8 - 88)$
B4	$B4_{\text{correct}} = B4 - 1.0321(B8 - 317.741)$	$B4_{\text{correct}} = B4 - 1.032(b8 - 88)$

Sau khi các ảnh được tính theo công thức hiệu chỉnh lóe trong bảng 1, kết quả hiệu chỉnh lóe được thể hiện trên hình 6. Hình A là ảnh sau khi hiệu chỉnh khí quyển, hình B là ảnh đã được hiệu chỉnh lóe bởi phương pháp Lyzenga, hình C là ảnh hiệu chỉnh lóe bởi phương pháp Hedley. Một cách đơn giản và thuận lợi hơn để đánh giá loại bỏ lóe dựa vào quan sát quang học của ảnh đã hiệu chỉnh cũng như trên trắc diện của các kênh nhìn thấy dọc theo các đường được lựa chọn cẩn thận trên các khu vực thích hợp của ảnh. Quan sát trắc diện phổ của các điểm ảnh có lóe và tính trung bình giá trị thay đổi giá trị điểm ảnh của tập mẫu sau hiệu chỉnh.

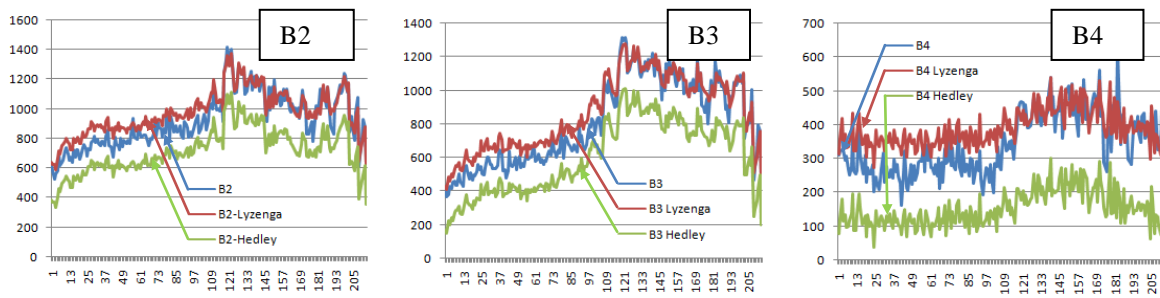
Quan sát bằng mắt thường trên ảnh ta thấy ảnh sau khi hiệu chỉnh sáng hơn và các đối tượng ở dưới nước được thể hiện rõ ràng hơn, tất cả các điểm ảnh đều được cải thiện ngay cả khi các điểm ảnh trong ảnh gốc đã rất sáng. Ta lựa chọn một đường polyline qua khu vực nước nông để thể hiện trắc diện phổ của các điểm ảnh trước khi hiệu chỉnh và sau hiệu chỉnh (hình 6). Trắc diện phổ ảnh Sentinel 2 được thể hiện như hình 7, số điểm ảnh trên trắc diện là 214 điểm ảnh, với giá trị hiệu chỉnh trung bình của các kênh B2-Lyzenga là -49.74, B2-Hedley là

209.18; B3-Lyzenga là -50.39, B3-Hedley là 211.78; B4-Lyzenga là -45.55, B4-Hedley là 191.55. Để giải thích rõ điều này, do nhiều điều kiện khác nhau mà giá trị phản xạ phổ trên kênh NIR thu được ở khu vực nước sâu lớn hơn khu vực nước nông, do đó $(R_{\text{NIR}} - \text{Mean}_{\text{NIR}}) < 0$, dẫn tới kết quả công thức (6) theo phương pháp Lyzenga sẽ cho giá trị lớn hơn và trắc diện phổ theo phương pháp Lyzenga sau hiệu chỉnh cơ bản cao hơn ảnh trước khi hiệu chỉnh ở khu vực nước nông như đường màu đỏ trên hình 7. Tuy nhiên cơ bản là $(R_{\text{NIR}} - \text{Min}_{\text{NIR}}) > 0$, loại trừ một số điểm lỗi do nhiều nguyên nhân như đới sóng vỗ bờ, đặc tính vật chất đáy... Do vậy, công thức (1) của phương pháp Hedley phân lớn cho kết quả dương. Nhìn vào số liệu thay đổi trung bình và trên trắc diện phổ ta thấy kết quả phương pháp hiệu chỉnh Hedley rất rõ ràng và thay đổi đáng kể so với ảnh gốc.

Biên độ dao động được thu hẹp và đường trắc diện biểu đồ của kênh đã hiệu chỉnh trơn mượt hơn. Đặc biệt thuật toán Hedley và Lyzenga vẫn giữ được mối quan hệ góc giữa các kênh ảnh.



Hình 6. Ảnh Sentinel-2 ngày 16/6/2016 (trộn màu tự nhiên 321) trước hiệu chỉnh lóe (A), sau hiệu chỉnh lóe Lyzenga (B) và sau hiệu chỉnh lóe Hedley (C).



Hình 7. Biểu đồ trắc diện so sánh giá trị điểm ảnh theo tuyến đã lựa chọn như hình 6 của các kênh phố trước hiệu chỉnh lóe và sau hiệu chỉnh theo phương pháp Lyzenga và Hedley các kênh B2, B3, B4.

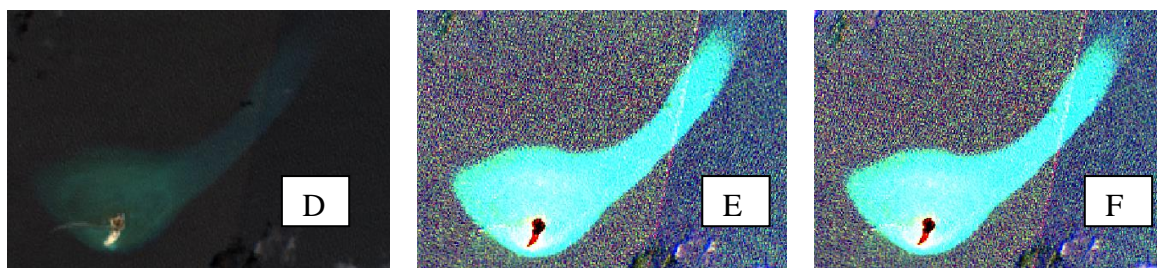
4.2. Tính các tham số mô hình ước tính độ sâu

Một cách chắc chắn để đánh giá các kết quả của phương pháp hiệu chỉnh lóe là theo dõi hiệu suất của các ảnh đã hiệu chỉnh trong ứng dụng đo sâu hoặc phân loại kiểu đáy của khu vực hiệu chuẩn. Các kết quả chấp nhận được khi độ chính xác của mô hình đo sâu sau hiệu chuẩn cao hơn chưa hiệu chuẩn.

Các bước thực hiện hiệu chỉnh lóe cho dữ liệu ảnh tại thời điểm ngày 7/5/2016 được thực hiện như mục 4.1, kết quả được thể hiện như hình 8. Sử dụng phương pháp thống kê tập mẫu cho tất cả hai cảnh ảnh bằng phần mềm QGIS, ta được các giá trị thống kê làm đầu vào cho ước tính độ sâu bằng phương pháp Lyzenga như bảng 2.

Tiếp theo là các bước xây dựng mô hình ước tính độ sâu theo phương pháp Lyzenga như

mục 3.4. Đối với thực nghiệm này, ba mô hình được xây dựng để đánh giá hiệu suất với nhau. Đầu tiên (i), chưa hiệu chỉnh lóe với đầu vào để thống kê tập mẫu và tính toán là ảnh sau khi được hiệu chỉnh khí quyển bằng phần mềm Sen2Cor. Các giá trị này được thực hiện tính toán X_j như công thức (11) với L_{hj} là giá trị điểm ảnh sau hiệu chỉnh khí quyển, L_{sj} là giá trị trung bình tập mẫu đã thống kê trong bảng 2. (ii) sau hiệu chỉnh lóe với phương pháp Lyzenga với L_{hj} là giá trị điểm ảnh sau hiệu chỉnh lóe bằng phương pháp Lyzenga và (iii) sau hiệu chỉnh lóe với phương pháp Hedley với L_{hj} là giá trị điểm ảnh sau hiệu chỉnh lóe bằng phương pháp Hedley. Với số điểm đo sâu thực hiện 73 điểm (16/6/2016) và 41 điểm (7/5/2016), kết quả các tham số của ba mô hình tính toán được thể hiện trong bảng 3.



Hình 8. Ảnh Sentinel-2 ngày 7/5/2016 (trộn màu tự nhiên 321) trước hiệu chỉnh lóe (D), sau hiệu chỉnh lóe Lyzenga (E) và sau hiệu chỉnh lóe bằng phương pháp Hedley (F).

Bảng 2. Giá trị thống kê trung bình của tập mẫu điểm ảnh trước và sau hiệu chỉnh (HC)

Ngày	16/6/2016			7/5/2016		
Kênh	Chưa HC lóe	Sau HC Lyzenga	Sau HC Hedley	Chưa HC lóe	Sau HC Lyzenga	Sau HC Hedley
B2	510.41	510.41	251.49	953.837	937.141	712.463
B3	388.097	388.096	125.96	837.088	807.585	550.144
B4	365.185	365.18	128.091	816.152	778.010	558.693

Bảng 3. Các tham số mô hình ước tính độ sâu theo phương pháp Lyzenga trước và sau hiệu chỉnh (HC) lóe

Ngày	16/6/2016			7/5/2016		
Các tham số	Trước HC lóe	Sau HC Lyzenga	Sau HC Hedley	Trước HC lóe	Sau HC Lyzenga	Sau HC Hedley
Multiple R	0.854	0.941	0.941	0.895	0.927	0.927
R Square	0.730	0.885	0.885	0.801	0.860	0.860
RMSE	1.560	1.019	1.019	1.256	1.056	1.055
Intercept	-22.361	-26.579	-26.577	-21.883	-24.758	-24.756
B2	-5.956	-9.720	-9.717	-4.457	-3.410	-3.410
B3	8.512	12.820	12.817	6.847	6.319	6.319
B4	-0.00002	0.00006	0.00006	-0.00004	0.00012	0.00012

Kết quả cho thấy, hai mô hình hiệu chỉnh lóe theo phương pháp Lyzenga và Hedley cho kết quả tương tự nhau, chỉ khác nhau về phương pháp tính toán nên sai lệch là không đáng kể. Đặc biệt hai phương pháp đã cho thấy hiệu quả rõ rệt sau khi hiệu chỉnh lóe. Tất cả các tham số liên quan đến độ chính xác của mô hình ước tính đều tăng một số lượng đáng kể. Dữ liệu ảnh ngày 16/6/2016 có hệ số tương quan R^2 tăng từ 0.73 lên 0.885 và độ lệch chuẩn RMSE giảm 1.560 m xuống 1.019 m. Dữ liệu ảnh ngày 7/5/2016 có R^2 tăng từ 0.801 lên 0.860 và RMSE giảm 1.256 m xuống 1.056 m.

Như vậy, hai phương pháp hiệu chỉnh lóe đã được khẳng định là có hiệu quả rất đáng kể trong bài toán xác định các đặc tính dưới nước đối với khu vực quần đảo Trường Sa. Tuy nhiên, cơ bản hai thuật toán là giống nhau về bản chất, khác nhau về cách tính toán. Quan sát

trắc diện phổ của phương pháp Hedley ta thấy điểm ảnh được điều chỉnh rõ nét và theo quy luật, phương pháp này cũng dễ thực hiện hơn bằng một phương pháp hồi quy tuyến tính thông dụng.

5. Kết luận

Phương pháp hiệu chỉnh Hedley và Lyzenga được thực hiện cho ảnh Sentinel-2A độ phân giải 10m cho hiệu quả rõ rệt. Tất cả các tham số liên quan đến độ chính xác của mô hình ước tính độ sâu theo phương pháp Lyzenga đều tăng một số lượng đáng kể so với khi chưa hiệu chỉnh. Đặc biệt, sau khi hiệu chỉnh vẫn giữ được mối quan hệ giữa các kênh ảnh, các điểm ảnh sau khi được hiệu chỉnh sáng và rõ ràng hơn, thuận lợi cho việc nhận dạng các đối tượng dưới nước cũng như các bài toán

xác định độ sâu đáy biển. Kết quả nghiên cứu là một phần quan trọng để nâng cao độ chính xác cho mô hình thành lập bản đồ độ sâu đáy biển khu vực nước nông ven các đảo thuộc quần đảo Trường Sa bằng ảnh vệ tinh đa phổ.

Tài liệu tham khảo

- [1] Lê Xuân Hồng, L.T.K.T., Địa mạo bờ biển Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 2007.
- [2] Eugenio, F., J. Marcello, and J. Martin, High-resolution maps of bathymetry and benthic habitats in shallow-water environments using multispectral remote sensing imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015. 53(7): p. 3539-3549.
- [3] Goodman, J.A., Z. Lee, and S.L. Ustin, Influence of atmospheric and sea-surface corrections on retrieval of bottom depth and reflectance using a semi-analytical model: a case study in Kaneohe Bay, Hawaii. *Applied Optics*, 2008. 47(28): p. F1-F11.
- [4] Hedley, J., A. Harborne, and P. Mumby, Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *International Journal of Remote Sensing*, 2005. 26(10): p. 2107-2112.
- [5] Lyzenga, D.R., N.P. Malinas, and F.J. Tanis, Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006. 44(8): p. 2251-2259.
- [6] Hochberg, E.J., S. Andrefouet, and M.R. Tyler, Sea surface correction of high spatial resolution Ikonos images to improve bottom mapping in near-shore environments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003. 41(7): p. 1724-1729.
- [7] Wicaksono, P., The effect of sunglint on satellite-based benthic habitat identification. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2012. 1(6): p. 364-370.
- [8] Nguyễn Thị Thu Hà, et al., Thử nghiệm mô hình hóa sự phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng nước Hồ Tây sử dụng ảnh Sentinel-2A. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, 2016. Tập 32, Số 2S p. 121-130.
- [9] Streher, A.S., et al., Sun glint removal in high spatial resolution hyperspectral images under different viewing geometries. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, 2013.
- [10] Kay, S., J.D. Hedley, and S. Lavender, Sun glint correction of high and low spatial resolution images of aquatic scenes: a review of methods for visible and near-infrared wavelengths. *Remote Sensing*, 2009. 1(4): p. 697-730.
- [11] Lyzenga, D.R., Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *International Journal of Remote Sensing*, 1985. 6(1): p. 115-125.
- [12] Philpot, W., Estimating atmospheric transmission and surface reflectance from a glint-contaminated spectral image. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2007. 45(2): p. 448-457.
- [13] Kutser, T., E. Vahtmäe, and J. Praks, A sun glint correction method for hyperspectral imagery containing areas with non-negligible water leaving NIR signal. *Remote Sensing of Environment*, 2009. 113(10): p. 2267-2274.
- [14] Nguyễn Thế Tiệp, et al., Các loại hình tại biển vùng quần đảo Trường Sa. Nhà xuất bản khoa học tự nhiên và công nghệ, 2012.
- [15] Đặng Văn Bào, et al., Báo cáo đặc điểm địa mạo quần đảo Trường Sa. Khoa Địa lý - trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN, 2011.
- [16] Fletcher, K., Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services 2012: European: European Spatial Agency SP-1322/2

Removing Sun Glint from Optical Satellite Images of the Shallow Water Areas around Islands in the Spratly Islands Archipelago

Phan Quoc Yen^{1,2}, Nguyen Hieu²

¹*Military Technical Academy, 236 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam*

²*Vietnam National University, 144 Xuan Thuy, Hanoi, Vietnam*

Abstract: Remote sensing technology has an important role to provide information for the establishment of habitat and bathymetry maps in shallow water areas. However, sun glint on the water surface has changed spectral reflectance in body water recorded by the sensor, thus seriously distorting water column and benthic properties. So, the sun glint should be removed prior to image analysis to improve the accuracy. This study aims to remove the sun glint from Sentinel-2 multi-spectral satellite images by two common methods of Lyzenga and Hedley for shallow waters in the surrounding areas of the Spratly islands archipelago. The experimental results were evaluated by spectrographic comparison after calibration by the two methods. In addition, the efficiency of the two methods was clearly shown in the application of depth estimation using the Lyzenga method for image data at two points. The result increases the R^2 correlation coefficient and decreases the root-mean-square RMSE of the model estimate of the significant amount of depth after calibration.

Keywords: Bathymetry, Sentinel-2, Landsat-8, Sun glint, Spratly islands archipelago