

MÔ HÌNH S-RVOG CẢI TIẾN CHO ƯỚC LƯỢNG THAM SỐ RỪNG TRÊN ĐỊA HÌNH ĐỐC SỬ DỤNG ẢNH POLINSAR

Thiều Hữu Cường, Phạm Minh Nghĩa*

Tóm tắt: Bài báo này đề xuất một mô hình S-RVoG cải tiến để nâng cao độ chính xác cho ước lượng tham số rừng trên địa hình đồi núi sử dụng dữ liệu ra đa tổng hợp mặt mở giao thoa phân cực băng L. Trong mô hình đề xuất, cấu trúc đứng của rừng được mô hình hóa như một khối các vật tán xạ ngẫu nhiên có phân bố không đồng nhất thông qua một hệ số hấp thụ sóng thay đổi tuyến tính trong lớp tán cây. Dựa trên mô hình đề xuất, một phương pháp mới được phát triển cho nâng cao độ chính xác trong ước lượng tham số rừng. Hiệu quả của mô hình đề xuất được đánh giá với dữ liệu từ phần mềm PolSARprosim. So với mô hình S-RVoG, mô hình đề xuất có độ chính xác cao hơn 6.198%.

Từ khóa: Ra đa tổng hợp mặt mở giao thoa phân cực; Mô hình tán xạ khối ngẫu nhiên trên địa hình dốc; Mô hình tán xạ khối ngẫu nhiên trên mặt đất; Hệ số hấp thụ sóng; Độ dốc địa hình.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay, diện tích rừng trên thế giới đang bị suy giảm nhanh chóng và đây có thể coi là một trong những nguyên nhân chính gây ra hiệu ứng nhà kính và biến đổi khí hậu toàn cầu. Do đó, các hoạt động quản lý, giám sát và bảo vệ rừng đang là vấn đề được quan tâm hàng đầu đối với mỗi quốc gia. Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học - kỹ thuật và công nghệ, đã có nhiều các biện pháp được ứng dụng để nâng cao hiệu quả của công tác quản lý, giám sát và bảo vệ rừng. Tuy nhiên, hệ thống ra-đa tổng hợp mặt mở giao thoa phân cực (PolInSAR: Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar) vẫn cho thấy những ưu thế vượt trội và đạt hiệu quả cao trong việc trích xuất các tham số rừng. Hơn hai thập kỷ qua, đã có nhiều phương pháp được đưa ra để ước lượng tham số rừng dựa trên tính toán độ lệch pha giữa các ảnh giao thoa của hệ thống [1-4]. Đa số các phương pháp này được sử dụng cho ước lượng chiều cao rừng trên địa hình bằng phẳng. Trong đó, phương pháp nghịch chuyển ba trạng thái mở rộng dựa trên mô hình tán xạ khối ngẫu nhiên trên mặt đất (RVoG: Random Volume over Ground) được đề xuất bởi Fu Wenxue vào năm 2016 [3] đạt hiệu quả tương đối ổn định và được áp dụng rộng rãi trên nhiều phương diện khác nhau. Mô hình RVoG giả định rằng khu vực rừng quan sát được đặt trên một địa hình tương đối bằng phẳng. Do vậy, khi áp dụng mô hình này cho ước lượng độ cao rừng trong môi trường thực tế, địa hình có độ mấp mô lớn hoặc địa hình dốc, thì thường gặp phải một số hạn chế làm mất đi tính hiệu quả và độ tin cậy của các tham số rừng được trích xuất. Do đó, mô hình RVoG thường không đạt được hiệu quả cao khi ước lượng các tham số rừng trên địa hình dốc.

Trong thời gian gần đây, đã có nhiều nghiên cứu về sự ảnh hưởng của độ dốc địa hình đến độ chính xác cho ước lượng các tham số rừng được đề xuất [5-8]. Tiêu biểu như mô hình tán xạ khối ngẫu nhiên trên địa hình dốc (S-RVoG: Slope - Random Volume over Ground) [5] được đề xuất bởi Hongxi Lu vào năm 2013. Mô hình này đã tính toán sự ảnh hưởng của độ dốc địa hình đối với kết quả ước lượng các tham số rừng và đã phần nào mang lại hiệu quả tích cực khi tính toán chiều cao rừng trên địa hình dốc. Tuy nhiên, các tác giả đã áp dụng phương pháp nghịch chuyển ba trạng thái cho mô hình S-RVoG để ước lượng các tham số rừng và giả định môi trường rừng là một khối đồng nhất với hệ số hấp thụ sóng trong môi trường rừng là hằng số. Ngoài ra, mô hình S-RVoG vẫn chọn kênh phân cực HV là kênh phân cực chỉ có duy nhất thành phần tán xạ từ tán cây. Giả định này hoàn toàn không phù hợp với môi trường rừng thực tế, dẫn đến kết quả ước lượng tham số rừng bởi mô hình S-RVoG thường gây ra sai số lớn, đặc biệt đối với môi trường rừng có độ dốc lớn.

Vì những lý do đó, bài báo này đề xuất mô hình S-RVoG cải tiến nhằm nâng cao hiệu quả trong ước lượng các tham số rừng trên địa hình dốc sử dụng dữ liệu PolInSAR. Trong mô hình đề xuất, pha bề mặt được xác định bằng phương pháp tìm đường thẳng phù hợp nhất [4]. Tiếp theo, bề mặt mấp mô được loại bỏ bằng cách nhân hệ số kết hợp phức $e^{-j\phi_0}$ với các hệ số kết hợp phức các kênh. Sau đó, sử dụng kí hiệu phân cực để xác định hệ số kết hợp khối tối ưu có điều kiện [6]. Đây là một bước rất quan trọng để giúp cải thiện độ chính xác của chiều cao rừng ước lượng. Cuối cùng, xây dựng một Bảng tra cứu ba chiều cho thành phần tán xạ trực tiếp từ tán cây $\tilde{\gamma}_v$ với ba thông số, độ cao rừng h_v , góc nghiêng địa hình η và tham số α của hệ số hấp thụ sóng σ . Các tham số rừng được trích xuất bằng cách so sánh hệ số kết hợp giao thoa phức tối ưu $\tilde{\gamma}_{opt}$ với giá trị trong Bảng tra cứu. Hiệu quả của mô hình đề xuất được đánh giá thông qua kết quả mô phỏng từ phần mềm PolSARProSim [9].

2. MÔ HÌNH S-RVoG CẢI TIẾN VỚI HỆ SỐ HẤP THỤ SÓNG THAY ĐỔI

2.1. Mô hình tán xạ khối ngẫu nhiên trên địa hình dốc S-RVoG

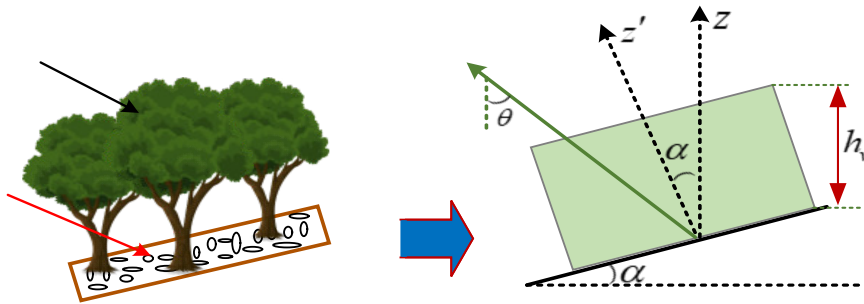
Trong nhiều năm qua, mô hình RVoG là một mô hình rừng điển hình và được ứng dụng rộng rãi trong ước lượng các tham số rừng. Mô hình này giả định tán cây là một khối các vật tán xạ có định hướng ngẫu nhiên và được đặc trưng bởi một hệ số hấp thụ sóng cố định. Khi đó, hệ số kết hợp giao thoa phức của mô hình RVoG được định nghĩa như sau:

$$\gamma(h_v, \sigma, \phi_0) = e^{j\phi_0} \frac{\gamma_v + \mu(\omega)}{1 + \mu(\omega)} \quad (1)$$

Trong đó: $\phi_0 = k_z z_0$ là pha bề mặt; $\mu(\omega)$ là tỉ số công suất của thành phần tán xạ khối trên tán xạ bề mặt; γ_v là hệ số kết hợp phức của thành phần tán xạ khối.

Từ công thức (1) ta có thể thấy hạn chế lớn nhất của mô hình RVoG đó là chỉ tính toán các tham số rừng trên địa hình bằng phẳng. Vì vậy, khi áp dụng mô hình này tính toán trên khu vực rừng dốc sẽ gây ra sai số lớn.

Để cải thiện nhược điểm của mô hình RVoG, Hongxi Lu đã đề xuất mô hình tán xạ khối ngẫu nhiên trên địa hình dốc (S-RVoG) là một dạng cải tiến của mô hình RVoG trong đó lớp bề mặt của địa hình dốc được hiệu chỉnh thành một mặt phẳng nghiêng theo hướng cự ly và được mô tả như trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ biểu diễn mô hình S-RVoG.

Từ hình 1 cho thấy rằng, trục z là véc-tơ pháp tuyến của địa hình bằng phẳng, trong khi z' là véc-tơ pháp tuyến của địa hình dốc. Khi đó, khối tán xạ ngẫu nhiên từ tán cây có thể

mô hình hóa bằng một hàm toán học như thể hiện trong công thức (2).

$$f(\sigma, z') = m'_V(\omega) \exp\left(\frac{2\sigma z'}{\cos(\theta - \alpha)}\right) + m'_G(\omega) \delta(z' - z'_0) \quad (2)$$

Trong đó, $z'_0 \leq z' \leq z'_0 + z'_0 h_v \cos \alpha$ là hệ số tán xạ mặt đất.

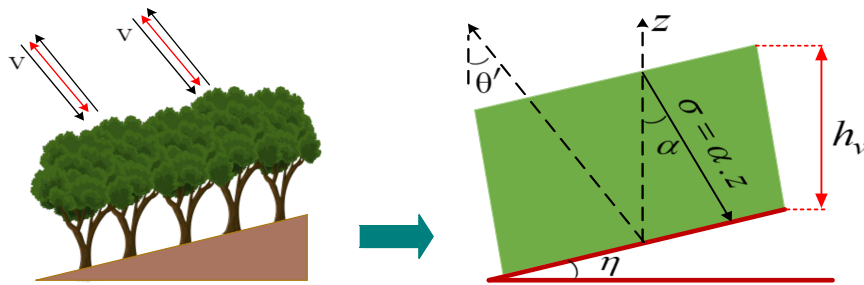
Kết hợp công thức (1) và (2) biểu thức tính hệ số kết hợp giao thoa phức của mô hình S-RVoG được định nghĩa như sau:

$$\gamma^{S-RVoG} = \frac{2\sigma}{2\sigma + jk'_z \cos \theta'} \cdot \frac{\exp((2\sigma h_v / \cos \theta' + jk'_z h_v) \cdot \cos \alpha) - 1}{\exp(2\sigma h_v / \cos \theta' \cdot \cos \alpha) - 1} \quad (3)$$

Trong đó $k'_z = 4\pi B_n / \lambda R \sin(\theta - \alpha)$ biểu thị hệ số sóng đứng dọc theo z' ; $\theta' = \theta - \alpha$ là góc phương vị. Trong trường hợp địa hình bằng phẳng không có độ dốc ($\alpha = 0$) thì mô hình S-RVoG trở thành mô hình RVoG.

2.2. Mô hình S-RVoG cải tiến với hệ số hấp thụ sóng thay đổi

Môi trường rừng thực tế là một vùng hỗn hợp của nhiều chủng loại cây, có mật độ phân bố khác nhau, có cấu trúc phức tạp và thường được phân bố trên các địa hình với độ dốc nhất định. Do vậy, khi sóng ra đa tương tác với môi trường rừng thì hầu như các kênh phân cực sóng (HH, VV, HV,...) luôn bị ảnh hưởng rất lớn bởi nhiều tham số như tần số tín hiệu, mật độ cây, chủng loại cây,... Ngoài ra, các thành phần tán xạ trực tiếp từ mặt đất và tán xạ trực tiếp từ tán cây, cũng như các hệ số tán xạ ngược cũng bị thay đổi rất lớn khi địa hình thay đổi độ dốc cũng như sự phân bố không đồng đều các vật thể tán xạ theo phương đứng. Từ đây, ta có thể thấy rằng độ dốc địa hình và cấu trúc đứng của rừng là những yếu tố có vai trò thiết yếu quyết định đến độ chính xác của việc khôi phục tham số rừng. Do đó, việc xác định mô hình tán xạ cho môi trường rừng và hệ số kết hợp tối ưu của thuật toán gần với giá trị thực tế là một trong những nhiệm vụ rất quan trọng trong việc trích xuất các tham số rừng của mô hình đề xuất. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một mô hình S-RVoG cải tiến với hệ số hấp thụ sóng trung bình thay đổi theo phương đứng trong lớp tán cây. Mô hình này không chỉ làm giảm sự ảnh hưởng của độ dốc địa hình mà còn làm giảm sự ảnh hưởng của độ hấp thụ sóng đến độ chính xác trong trích xuất tham số rừng. Mô hình đề xuất được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ biểu diễn sự tán xạ của mô hình S-RVoG cải tiến trên địa hình dốc.

Trong môi trường này hệ số hấp thụ sóng là độc lập với kênh phân cực và thay đổi tuyến tính với một hệ số góc α ngẫu nhiên. Nếu chỉ xét đến sự thay đổi của hệ số kết hợp giao thoa phức thì hệ số hấp thụ sóng trung bình σ được giả định là thay đổi tuyến tính theo phương z với một hệ số α như sau:

$$\sigma = \alpha \cdot z \quad (4)$$

Với $\alpha > 0$ và $0 < z < h_v$. Thay σ từ (4) vào (3) và áp dụng hàm sai số Gaussian để giải các tích phân ta nhận được hệ số kết hợp giao thoa phức cho thành phần tán xạ trực tiếp từ tán cây của mô hình đề xuất được biểu diễn trong (5).

$$\tilde{\gamma}_{0v} = e^{-\frac{\cos \theta' \cdot k_z'^2 z}{8\alpha} + j k_z' h_v \cos \eta} \cdot \left[\frac{\operatorname{erf}\left(4\alpha h_v \cos \eta + j k_z' \cos \theta'\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{j k_z'}{2} \sqrt{\frac{\cos \theta'}{2\alpha}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{2\alpha}{\cos \theta'}} \cdot h_v \cos \eta\right)} \right] \quad (5)$$

Trong đó: $\theta' = \theta - \eta$ là góc tới trên bề mặt nghiêng; η là góc nghiêng của địa hình;

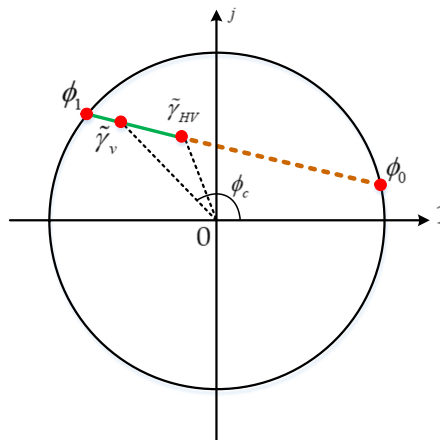
$K_z' = K_z \frac{\sin \theta}{\sin \theta'}$ là hệ số sóng đứng của địa hình dốc.

So sánh biểu thức (5) với biểu thức (3), trong mô hình đề xuất chúng tôi sử dụng hệ số hấp thụ sóng trung bình thay đổi theo độ cao rừng, và do đó ta nhận được một hệ số kết hợp giao thoa phức cho thành phần tán xạ từ tán cây là một hàm có dạng phân bố Gaussian. Giả định này không chỉ phản ánh quá trình tán xạ sóng trong môi trường rừng có cấu trúc phức tạp mà còn làm tăng tính ổn định và độ tin cậy cho trích xuất các tham số rừng của mô hình đề xuất. Đây cũng là sự bổ sung để khắc phục các nhược điểm của mô hình RVoG và mô hình S-RVoG.

3. ƯỚC LƯỢNG ĐỘ CAO RỪNG SỬ DỤNG ẢNH POLINSAR BẰNG MÔ HÌNH ĐỀ XUẤT

3.1. Ước lượng pha bề mặt

Trong giai đoạn này, pha mặt đất được ước tính bằng phương pháp tìm đường thẳng phù hợp nhất [4]. Ý tưởng của phương pháp này là sử dụng hai góc pha và giả định chạy trên đường tròn đơn vị để vẽ ra các đường thẳng giả định trong đường tròn. Sau đó, tính toán khoảng cách từ các điểm hệ số kết hợp phức đến từng đường thẳng giả định nhằm chọn ra một đường thẳng phù hợp nhất có tổng trung bình bình phương của các hệ số kết hợp phức khối đến đường thẳng đó là nhỏ nhất như hình 3. Một trong hai điểm đó được xác định là pha bề mặt ϕ_0 tương ứng với điểm có khoảng cách lớn hơn, điểm còn lại là pha ϕ_1 .



Hình 3. Biểu diễn hình học của các hệ số kết hợp giao thoa trên mặt phẳng phức.

3.2. Tối ưu hệ số kết hợp giao thoa phức

Các biểu đồ giao thoa phân cực trong hệ thống PolInSAR có thể được xây dựng từ các kênh phân cực tuyến tính hoặc từ sự kết hợp nào đó giữa các kênh phân cực ellip [6]. Tất cả các kênh phân cực ellip có thể được tạo ra bằng cách áp dụng sự thay đổi của cơ sở phân cực để biến đổi véc-tơ tán xạ. Sự biến đổi tương ứng của véc-tơ phân cực từ điểm tán xạ $\vec{k}_i$ trong cơ sở được biểu diễn trong công thức (6).

$$\vec{k}'_i = [U_3] \vec{k}_i \quad (6)$$

Khi đó ma trận chuyển đổi hệ tọa độ $[U_3]$ được xác định như sau:

$$[U_3] = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} a+b-jcd & \sqrt{2}(c+jad) & b-a+jcd \\ jd-cb & \sqrt{2}ab & d-a-jcb \\ jd+cb & \sqrt{2}(-c+jad) & b+a+jcd \end{bmatrix} \quad (7)$$

Trong đó: $a = \cos(2\psi)$; $b = \cos(2\chi)$; $c = \sin(2\psi)$; $d = \sin(2\chi)$. Hai tham số góc (χ, ψ) lần lượt là góc định hướng và góc ellip. Dựa trên lý thuyết tán xạ sóng điện từ trong ra đa SAR giao thoa phân cực, ta xây dựng một thuật toán tối ưu cho xác định pha trung tâm của thành phần tán xạ của tán cây. Với mỗi giá trị của (ψ) trong khoảng $(0 \div \pi)$ và mỗi giá trị của (χ) trong dải $\left(\frac{-\pi}{4} \div \frac{\pi}{4}\right)$, ta hoàn toàn xác định được ma trận hiệp phương sai và ma trận hiệp phương giao thoa phức cho hệ thống PolInSAR trong hệ tọa độ (χ, ψ) như trong các biểu thức (8)-(10).

Có thể thấy rằng thuật toán tối ưu toàn cục được thực hiện tìm kiếm trực tiếp trong không gian (χ, ψ) đối với giá trị cực đại của dấu hiệu phân cực. Trong thuật toán này, vị trí cực đại được xác định đối với từng điểm ảnh, góc định hướng và góc ellip (χ, ψ) tương ứng với các giá trị cực đại của dấu hiệu phân cực được trích xuất để tính toán ma trận giao thoa và pha giao thoa.

$$[C_{11}]_{(\chi, \psi)} = \langle [U_3][C_{11}][U_3]^H \rangle \quad (8)$$

$$[C_{22}]_{(\chi, \psi)} = \langle [U_3][C_{22}][U_3]^H \rangle \quad (9)$$

$$[\Omega_{12}]_{(\chi, \psi)} = \langle [U_3][\Omega_{12}][U_3]^H \rangle \quad (10)$$

Khi đó, hệ số kết hợp giao thoa phức $[\gamma]_{(\chi, \psi)}$ trong hệ tọa độ (χ, ψ) được xác định như sau:

$$\tilde{\gamma} = [\gamma]_{(\chi, \psi)} = [\Omega_{12}]_{(\chi, \psi)} \cdot \sqrt{[C_{11}]_{(\chi, \psi)} \cdot [C_{22}]_{(\chi, \psi)}} \quad (11)$$

Ứng với mỗi giá trị (χ, ψ) ta nhận được một hệ số kết hợp giao thoa phức như trong (11) và giá trị kết hợp giao thoa phức tối ưu $\tilde{\gamma}_{opt}$ phải thỏa mãn điều kiện (12)

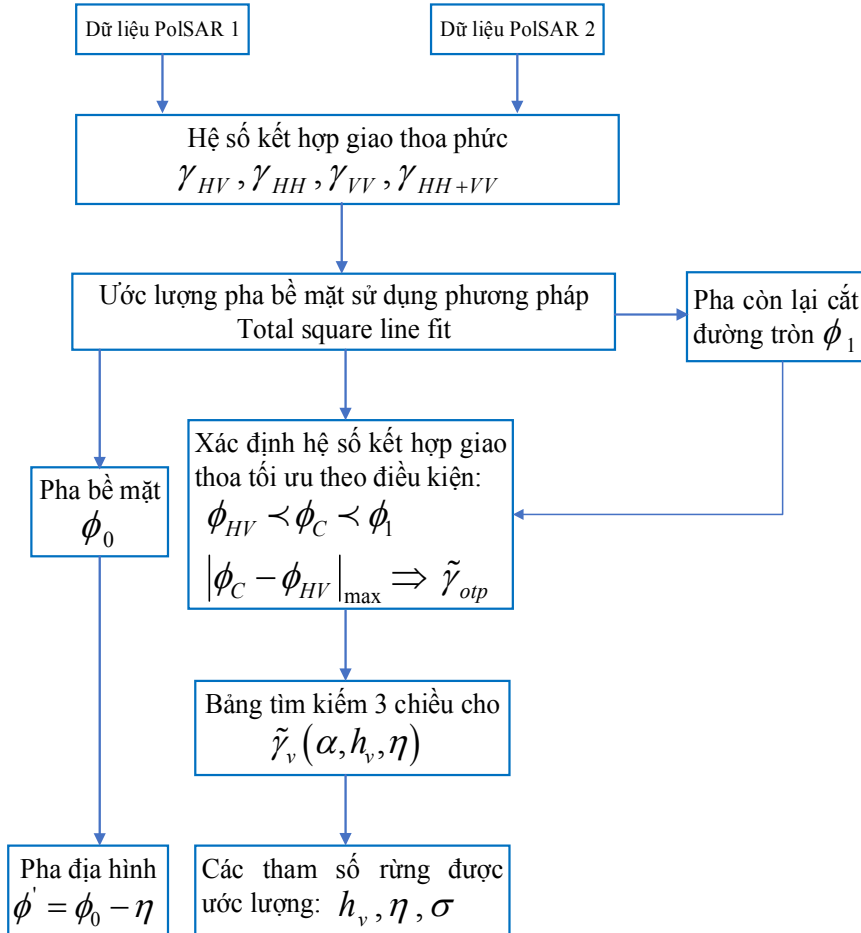
$$\begin{cases} \phi_{HV} \leq \phi_C \leq \phi_1 \\ |\phi_C - \phi_{HV}|_{\max} \end{cases} \quad (12)$$

Trong đó: $\phi_C = \arg(\tilde{\gamma}_{opt})$ là tương ứng với pha của thành phần tán xạ khối thuần túy; ϕ_{HV} là pha của thành phần tán xạ kênh HV; ϕ_1 là pha tương ứng với điểm pha cao nhất cắt đường tròn đơn vị được chỉ ra trên hình 3.

3.3. Ước lượng chiều cao rừng và hệ số hấp thụ sóng trên địa hình dốc

Trong giai đoạn này, chúng ta xây dựng một bảng tra cứu (LUT: Lookup table) ba chiều của hệ số kết hợp giao thoa phức cho thành phần tán xạ trực tiếp từ tán cây $\tilde{\gamma}_v$ với ba thông số, độ cao rừng h_v , góc nghiêng địa hình η và tham số α của hệ số hấp thụ sóng σ . Sau đó, để ước lượng độ cao rừng tại mỗi điểm ảnh, ta thực hiện so sánh hệ số kết hợp giao thoa phức tối ưu $\tilde{\gamma}_{opt}$ với giá trị $\tilde{\gamma}_v$ trong bảng LUT, sao cho $|\tilde{\gamma}_{opt} - \tilde{\gamma}_v|$ cực tiểu. Từ đó, ta sẽ xác định được độ cao rừng h_v , góc nghiêng địa hình η và hệ số hấp thụ sóng σ .

Thứ tự các bước thực hiện của thuật toán ước lượng tham số rừng dựa trên mô hình đề xuất được trình bày tóm tắt trên hình 4.



Hình 4. Lưu đồ thuật toán của mô hình đề xuất.

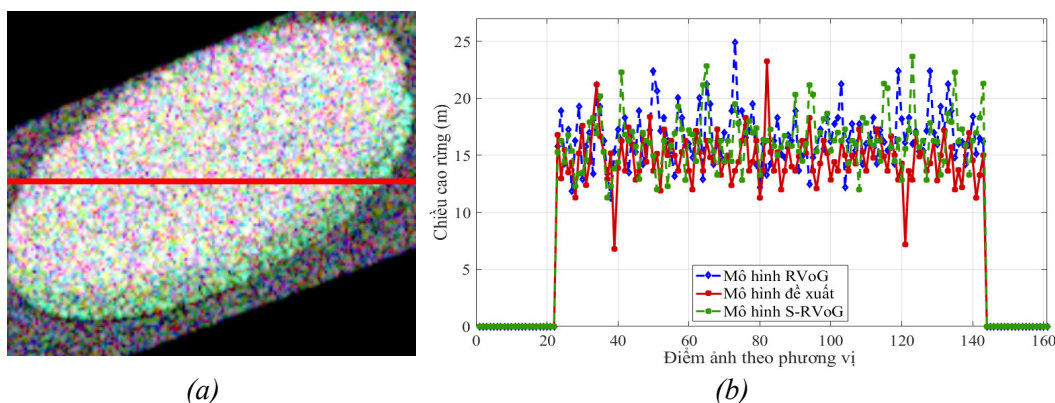
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Hiệu quả của mô hình đề xuất được đánh giá dựa trên kịch bản rừng mô phỏng được tạo ra bằng phần mềm PolSARProSim [9]. Kịch bản rừng mô phỏng và các tham số hệ thống được mô tả chi tiết trong bảng 1.

Bảng 1. Các tham số rừng của kịch bản mô phỏng.

Độ cao	Góc tới	Tần số trung tâm	Đường cơ sở ngang	Đường cơ sở đứng
3000m	30^0	1.3 GHz	15m	1.5 m
Độ dốc địa hình theo phương vị	Độ dốc địa hình theo cự ly	Loại cây	Chiều cao cây	Mật độ
16.7^0	16.7^0	Hedge	15 m	900 cây/Ha

Hình 5(a) cho thấy hình ảnh màu Pauli của khu vực khảo sát rừng với kích thước 171 x 207 pixel. Hiệu quả của mô hình đề xuất được đánh giá bằng cách so sánh kết quả của phương pháp được đề xuất với mô hình RVoG và mô hình S-RVoG.



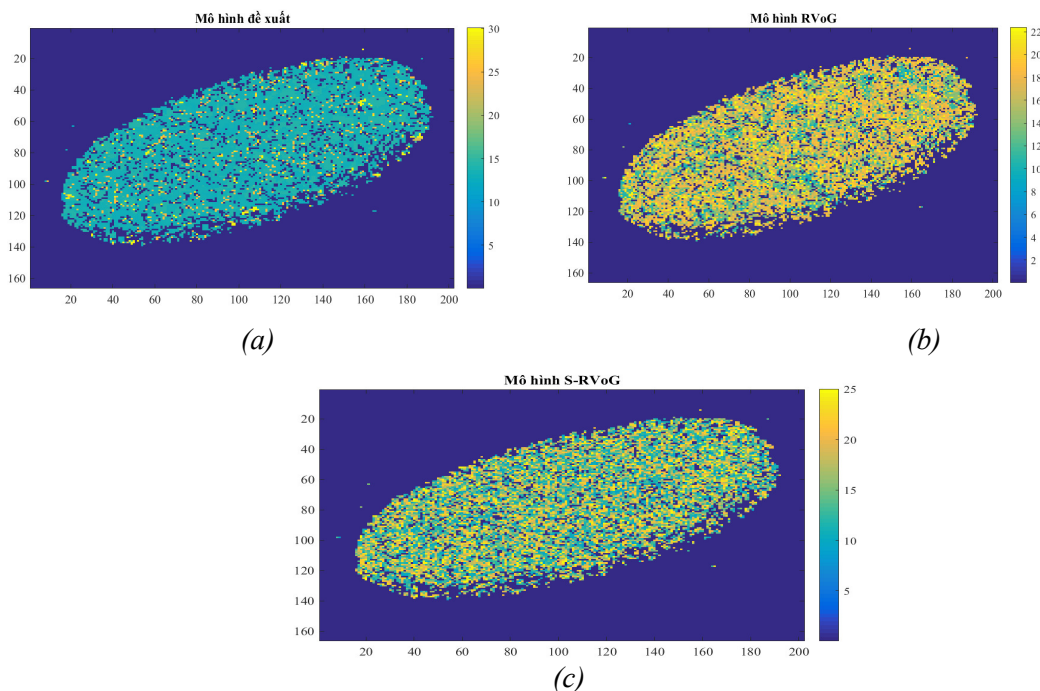
Hình 5. (a) Ảnh Pauli của khu vực rừng khảo sát,
(b) Biểu đồ so sánh chiều cao rừng ước lượng của ba mô hình.

Hình 5(b) mô tả chiều cao rừng ước lượng bởi mô hình đề xuất (đường màu đỏ), mô hình RVoG (đường màu xanh lam) và mô hình S-RVoG (đường màu xanh lá cây). Trong hình 5(b), giá trị trung bình của chiều cao rừng ước tính theo mô hình đề xuất là xấp xỉ 14.7 m và khá ổn định, thường dao động ở độ cao từ 14 m đến 16 m (ngoại trừ điểm ảnh số 36, 81 là cao hơn 21 m và điểm ảnh số 38, 121 là cao dưới 10 m). Trong khi đó, chiều cao rừng trung bình được ước lượng bởi mô hình RVoG và mô hình S-RVoG lần lượt là xấp xỉ 16.5 m và 16.2 m. Chúng dao động mạnh trong khoảng từ 12 m đến 21 m (đặc biệt có điểm ảnh cao tới 25m). Có thể thấy rằng mô hình RVoG và mô hình S-RVoG cho kết quả chiều cao rừng ước lượng lớn hơn nhiều so với chiều cao rừng thực tế. Bởi vì, trên địa hình đồi núi thì độ dốc của địa hình lại ảnh hưởng rất lớn đến các tín hiệu tán xạ ngược, do đó rất khó để có thể tìm được một hệ số kết hợp giao thoa phức tối ưu mà ở đó nó có rất ít sự đóng góp của thành phần tán xạ bề mặt như trong hai mô hình này giả định. Dẫn đến, độ chính xác của mô hình RVoG và mô hình S-RVoG khi ước lượng chiều cao rừng trên địa hình đồi núi là không đáng tin cậy và thường cao hơn so với chiều cao rừng thực tế. Từ kết quả được biểu diễn trong hình 5(b) cho thấy, chiều cao rừng ước lượng bởi phương pháp được đề xuất đã được cải thiện tốt hơn và gần với giá trị thực tế hơn so với hai mô hình còn lại.

Bảng 2. Các tham số rừng ước của ba mô hình.

Các tham số	Giá trị thực của hệ thống	Mô hình RVoG	Mô hình S-RVoG	Mô hình đề xuất
$h_v [m]$	15	16.4523	16.1972	14.7324
$\phi_0 [rad]$	0.0156	0.0322	0.0265	0.0117
$\sigma [dB / m]$	0.21	0.283	0.241	0.189
$\alpha [dB / m^2]$	-	-	-	0.0037
$\eta [độ]$	16.7	-	-	16.2
$RMSE (m)$	0	3.525	2.804	1.968
Độ chính xác (%)	100	90.318	92.018	98.216

Trong bảng 2, cho thấy kết quả chiều cao rừng ước lượng bởi mô hình RVoG và mô hình S-RVoG có giá trị trung bình là 16.4523 m và 16.1972 m. Có thể thấy rằng hai kết quả này đều cao hơn chiều cao rừng thực tế và có độ chính xác không cao. Trong khi đó, mô hình đề xuất cho chiều cao trung bình là 14.7324 m gần với chiều cao rừng thực tế là 15 m. Ngoài ra, khi xem xét giá trị sai số bình phương trung bình (RMSE) và độ chính xác của ba mô hình thì mô hình đề xuất vẫn cho kết quả đáng tin cậy nhất. Từ bảng 2, có thể thấy rằng chiều cao rừng ước lượng theo mô hình đề xuất cải thiện đáng kể và gần với giá trị thực tế hơn so với mô hình RVoG và mô hình S-RVoG. Bảng 2 cũng cho thấy pha bề mặt và hệ số hấp thụ sóng trung bình được ước tính bởi mô hình đề xuất là chính xác hơn so với hai mô hình trên. Đặc biệt, hệ số α tuyến tính được sử dụng để xác định hệ số hấp thụ sóng và độ dốc địa hình ước lượng η được trình bày trong bảng 2 đã làm tăng độ tin cậy và chính xác của mô hình đề xuất.

**Hình 6.** Chiều cao rừng ước lượng của toàn bộ khu vực rừng quan sát.

(a) Mô hình đề xuất, (b) Mô hình RVoG, (c) Mô hình S-RVoG.

Hình 6(b) và 6(c) là các biểu đồ 2D minh họa chiều cao rừng ước tính bằng mô hình RVoG và mô hình S-RVoG. Rõ ràng là chiều cao rừng ước tính của hai mô hình này đều cao hơn 16m và nó có sự dao động lớn (nhiều điểm ảnh ở chiều cao 20 m). Trong khi đó, toàn bộ khu rừng khảo sát được ước tính bởi mô hình đề xuất như trong hình 6(a) cho thấy chiều cao cây rừng hầu hết tập trung ở khoảng 15 m (các điểm ảnh màu xanh da trời), có một số điểm ảnh thể hiện chiều cao rừng cao hoặc thấp hơn chiều cao thực tế. Tuy nhiên, số lượng điểm ảnh này là không đáng kể. Như vậy, mô hình đề xuất cho kết quả tương đối chính xác với các lỗi nhỏ.

Bảng 3. Chiều cao rừng ước lượng của ba mô hình trên các độ dốc địa hình.

Độ dốc địa hình (Độ)	Chiều cao rừng thực tế (m)	Mô hình RVoG (m)	Mô hình S-RVoG (m)	Mô hình đề xuất (m)
11.3 ⁰	15	16.2362	16.0164	14.6985
16.7 ⁰	15	16.4523	16.1972	14.7324
24.2 ⁰	15	17.3568	16.6579	15.6935

Tiếp theo, để phân tích ảnh hưởng của độ dốc đến kết quả của các tham số rừng ước lượng một cách đầy đủ nhất, chúng tôi đã áp dụng ba mô hình trên với các địa hình độ dốc khác nhau bằng cách thay đổi độ dốc địa hình. Phần còn lại của các tham số được giữ nguyên như trong bảng 1. Các thí nghiệm được thực hiện với 3 độ dốc khác nhau gồm 11.3⁰ (20%), 16.7⁰ (30%) và 24.2⁰ (40%). Bảng 3 cho thấy chiều cao rừng ước tính theo mô hình đề xuất rất ổn định và ít sai số so với chiều cao rừng thực tế trên cả ba độ dốc địa hình khác nhau. Tuy nhiên, chiều cao rừng ước tính bởi mô hình RVoG và mô hình S-RVoG vẫn thường cao hơn 16 m và cho sai số lớn khi độ dốc tăng lên. Vì thế, khi ước lượng chiều cao rừng trên địa hình dốc sử dụng mô hình đề xuất cho kết quả chính xác và đáng tin cậy hơn.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng và đề xuất một mô hình mới nhằm nâng cao độ chính xác cho ước lượng tham số rừng trên địa hình độ dốc sử dụng ảnh PolInSAR băng L. Mô hình đề xuất không chỉ khắc phục những hạn chế của mô hình S-RVoG, mà còn cải thiện đáng kể độ chính xác của chiều cao rừng ước lượng và hệ số hấp thụ sóng trên địa hình phức tạp. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng các tham số rừng có thể được trích xuất trực tiếp và chính xác hơn bằng mô hình đề xuất. Trong tương lai, các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm tiếp theo sẽ được thực hiện để cải thiện hiệu suất của mô hình đề xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Cloude, S. R. and Papathanassiou, K. P, “Polarimetric optimisation in radar interferometry”, Electron. Letter, 33 (13), pp.1176 – 1178, 1997.
- [2]. Cloude, S. R, and Papathanassiou. K. P, “Polarimetric SAR interferometry” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GRS-36 (5), pp.1551–1565, 1998.
- [3]. Fu Wenxue, Guo Huadong, Li Xinwu, Tian Bangsen and Sun Zhongchang. “Extended three-stage polarimetric SAR interferometry method by dual-polarization data”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, pp.1-11, Nov. 2016.
- [4]. S.R. Cloude and K.P. Papathanassiou. “Three-stage inversion process for polarimetric SAR interferometric”, IEEE Proc. Inst. Elect. Eng.-Radar, Sonar and Navig, vol.150, no.3, pp.125-134, Jun. 2003.

- [5]. Hongxi Lu, Zhiyong Suo, Rui Guo and Zheng Bao. "S-RVoG model for forest parameters inversion over underlying topography", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol.49, no.9, April. 2013.
- [6]. Boularbah Souissi, Mounira Ouarzeddine, Aichouche Belhadj-Aissa. "Interferometric coherence optimization using the polarimetric signatures". Faculty of Electronics and Computing, USTHB university.
- [7]. Qi Zhang, Tiandong Liu, Zegang Ding, Tao Zeng and Teng Long. "A Modified Three-Stage Inversion Algorithm Based on R-RVoG Model for Pol-InSAR Data", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, vol.861, no.8, pp.1-17, 2016.
- [8]. Nghia Pham Minh. "Slope three-layer scattering model for forest height estimation over mountain forest areas from L-band single-baseline PolInSAR data". Journal of Applied Remote Sensing, vol.12, no.2, pp.1-20, 2018.
- [9]. M.L. Williams. "PolSARproSim: A coherent, Polarimetric SAR simulation of Forest for PolSARPro", <http://earth.eo.esa.int/polsarpro/SimulatedDataSources.html>, (2006).

ABSTRACT

MODIFIED S-RVOG MODEL FOR FOREST PARAMETERS ESTIMATION OVER SLOPE TERRAIN USING POLINSAR IMAGES

This paper proposes a modified S-RVoG model to exaggerate the accuracy for forest parameters estimation on hilly terrain using polarimetric synthesis aperture radar interferometry L-band data. In the proposed model, the vertical structure of the forest is modelled as a volume of random scattering objects with a heterogeneous distribution through a variable extinction coefficient in the canopy layer. Based on the proposed model a novel approach is developed to exaggerate the accuracy of forest parameter estimation. The effectiveness of the proposed method was assessed with data from PolSARprosim software. Compared with S-RVoG model, the proposed model has a higher accuracy of 6.198%.

Keyword: Polarimetric Interferometry Synthetic Aperture Radar (PolInSAR); Slope – Random Volume over ground (S-RVoG); Random Volume over Ground (RVoG); Wave extinction coefficient; Terrain slope.

Nhận bài ngày 08 tháng 01 năm 2020

Hoàn thiện ngày 25 tháng 02 năm 2020

Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 4 năm 2020

Địa chỉ: Khoa vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật quân sự.

**Email:* nghiapm2018@mta.edu.vn.