

TÌM HIỂU VỀ CƠ SỞ TOÁN HỌC CỦA ẢNH RADAR

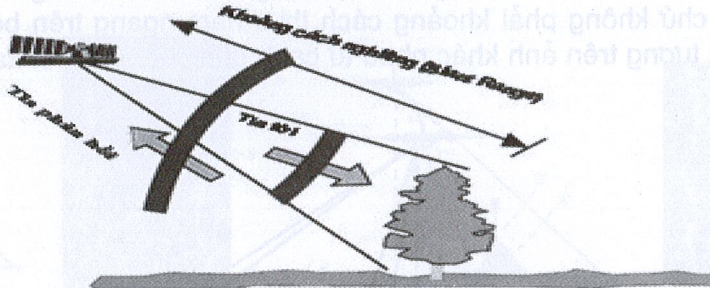
TS. TRẦN ĐÌNH TRÍ
ThS. TRẦN THANH HÀ
Trường ĐH Mở Địa chất
ThS. VŨ LONG
Cục công nghệ thông tin

Tóm tắt:

Nội dung bài báo là tìm hiểu về cơ sở toán học của ảnh Radar, về mối quan hệ tọa độ của điểm ảnh và điểm vật trong các bài toán thuận và nghịch, ảnh hưởng của chênh cao địa hình trên ảnh Radar.

1. Nguyên lý chụp ảnh Radar

Khác với các hệ thống chụp ảnh quang học và hồng ngoại sử dụng nguồn năng lượng từ mặt trời, hệ thống radar sử dụng nguồn năng lượng của chính nó để tiến hành chụp ảnh và do đó được gọi là hệ thống chụp ảnh chủ động. Do sử dụng nguồn năng lượng của chính mình nên hệ thống radar cho phép chụp ảnh cả ban ngày lẫn ban đêm.



Hình 1: Nguyên lý hoạt động của radar

Nguyên lý cơ bản của hệ thống chụp ảnh Radar là sử dụng ăng ten đặt trên máy bay hoặc vệ tinh phát ra các sóng điện từ có bước sóng từ 1mm tới 1m (hay có tần số từ 300 GHz tới 300 MHz) tới bề mặt trái đất, sau đó nhận lại năng lượng phản xạ của các sóng này sau khi đã tương tác với bề mặt của trái đất bằng ăng ten thu.

Hệ thống chụp ảnh radar được chia làm hai loại: *radar quét nghiêng* (Side looking Airborne Radar - SLAR) hay còn gọi là *radar độ mở thực* (Real Aperture Radar - RAR); loại thứ hai là *radar độ mở tổng hợp* (Synthetic Aperture Radar - SAR).

* *Hệ thống radar quét nghiêng* (Real Aperture Radar - RAR) trên máy bay sử dụng ăng ten hình chữ nhật có chiều dài đặt theo hướng chuyển động của máy bay với các chùm sóng được phát ra về một bên để ghi nhận hình ảnh trên thực địa.

* *Radars độ mở tổng hợp* (Synthetic Aperture Radar - SAR) tích hợp tất cả năng lượng

phản xạ từ điểm địa vật tới ăng ten khi ăng ten di chuyển trên quỹ đạo để tạo ra một ăng ten giả có độ dài tương đương với khoảng cách từ điểm đầu ăng ten thu được tín hiệu đến điểm kết thúc của việc thu tín hiệu.

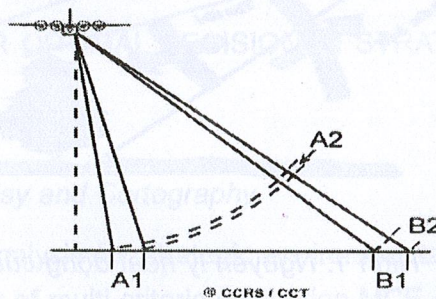
Ảnh radar được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực: lâm nghiệp, lập bản đồ sử dụng đất và xác định vụ mùa, địa chất, thủy văn, hải dương học, nghiên cứu đường đời bờ biển và kiểu phân cực khác nhau. Đầu thu ASAR có thể hoạt động như một đầu thu chụp radar thông thường (ASAR Stripmap Mode) hoặc ở chế độ quét ScanSAR (ASAR ScanSAR Mode).

2. Các đặc điểm của ảnh Radar

Ảnh radar được chụp bằng sóng micro, có độ dài bước sóng khác xa so với các sóng trong vùng phổ quang học và cận hồng ngoại, do đó cũng dẫn đến những khác biệt rất cơ bản về khả năng tương tác với bề mặt đất. Như vậy, những yếu tố ảnh hưởng đến đặc tính tương tác hay đặc tính tán xạ của chùm sóng radar đối với bề mặt, độ gồ ghề bề mặt, độ phân giải, góc chụp, phương thức chụp, hướng chụp. Từ đó dẫn đến các hiện tượng hình ảnh co ngắn phía trước, chông đè, bóng,...

Độ gồ ghề của bề mặt là yếu tố quyết định sự tương tác giữa sóng radar với bề mặt và do đó cũng đóng vai trò cơ bản ảnh hưởng đến độ sáng tối của đối tượng trên ảnh. Khi độ gồ ghề bề mặt tăng thì năng lượng bức xạ giảm, năng lượng tán xạ tăng, lúc đó hình ảnh thu được càng sáng.

Sự biến dạng hình ảnh xuất hiện do hệ thống radar đo khoảng cách đến đối tượng trên mặt nghiêng chứ không phải khoảng cách thực nằm ngang trên bề mặt đất. Do đó kích thước các đối tượng trên ảnh khác nhau từ cạnh gần cho tới cạnh xa của dải chụp.



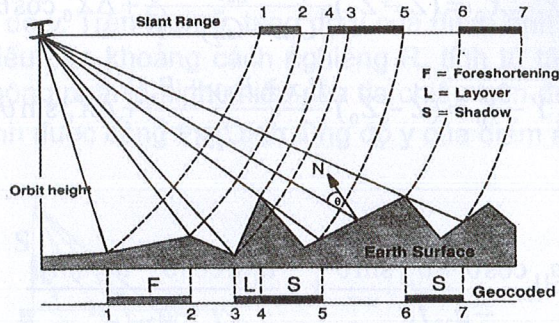
Hình 2: Sự khác biệt về kích thước giữa cạnh gần và cạnh xa trên ảnh radar

Trên hình 2, mặc dù hai đối tượng A_1 và B_1 có cùng kích thước trên mặt đất, nhưng trên mặt nghiêng chúng có kích thước khác nhau (A_2 và B_2). Do đó các đối tượng ở cạnh gần thường bị nén lại so với đối tượng ở cạnh xa. Trong đó, kích thước của đối tượng trên mặt đất là A_1 , sau khi chiếu lên mặt nghiêng sẽ co lại chỉ còn tương đương với độ dài A_2 .

Sự biến dạng hình học chính của ảnh radar là do ảnh hưởng của địa hình. Những biến dạng đó là các hiện tượng: co ngắn phía trước, chông đè và bóng.

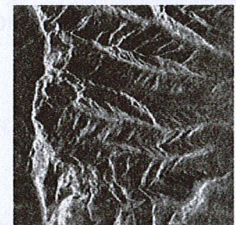
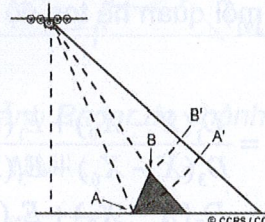
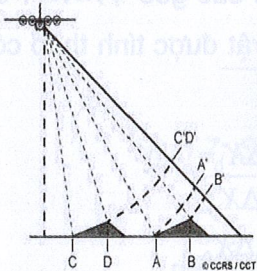
Hiện tượng co ngắn phía trước. Khi tia radar tới chân của đối tượng có chiều cao lớn (ví dụ: chân núi), mặt hướng về phía radar trước khi tới đỉnh của đối tượng thì hiện tượng co

ngắn phía trước xuất hiện. Vì radar đo khoảng cách trên mặt nghiêng, nên bề mặt dốc (từ A đến B) trên ảnh sẽ bị co lại và độ dài của mặt dốc sẽ được thể hiện một cách không chính xác trên ảnh (A' đến B').



Hình 3: Mô tả về hiện tượng co ngắn phía trước (Foreshortening), chồng đè (Layover) và bóng (Shadow)

Hiện tượng chồng đè. Hiện tượng chồng đè xuất hiện khi tia radar đi tới đỉnh (B) của đối tượng (có chiều cao lớn) trước so với chân đối tượng (A). Tín hiệu phản hồi từ đỉnh đối tượng sẽ được hệ thống nhận lại trước các tín hiệu phản hồi từ chân đối tượng. Do đó, đỉnh của đối tượng sẽ được thể hiện trên ảnh ở vị trí gần với ăng ten thu nhận hơn so với vị trí thực của nó, và chồng đè lên chân của đối tượng (B' và A').



Hình 4: Hiện tượng co ngắn phía trước

Hình 5: Hiện tượng chồng đè trên ảnh radar

Hiện tượng bóng. Cả hai hiện tượng co ngắn phía trước và chồng đè đều dẫn đến hiện tượng có bóng trên ảnh. Bóng của ảnh radar xuất hiện khi các chùm tia radar không rơi tới được bề mặt đất. Bóng thường xuất hiện ở mặt sau và thường có ở phía cạnh xa, đằng sau các đối tượng có chiều cao lớn hay các sườn có độ dốc lớn. Do các tia radar không thể rơi tới được bề mặt đất, vùng bị bóng sẽ có tông màu đen trên ảnh vì không có năng lượng tán xạ ngược.

3. Quan hệ tọa độ của điểm ảnh và điểm vật trên ảnh Radar.

Hình ảnh một phần bề mặt Trái đất trên ảnh Radar được hình thành sau từng khoảng thời gian ngắn từ các rẻo ảnh nhỏ. Do vậy ảnh có được một phần bề mặt Trái đất được xây dựng theo nguyên lý tương tự như ảnh chụp qua khe, ảnh quét theo dòng. Để xây dựng công thức tính tọa độ điểm vật (bài toán thuận), hay tọa độ điểm ảnh (bài toán nghịch), có thể sử dụng các công thức nền tảng đã chứng minh trong [1,2]. Mối quan hệ tọa độ của

điểm vật và điểm ảnh trong bài toán thuận đối với các ảnh chụp và quét theo dòng được tính theo công thức [1, 2]:

$$\begin{aligned} X - X_0 &= (Z - Z_0) \frac{A_1 x + A_2 y + A_3}{C_1 x + C_2 y + 1} + \Delta X_0 \cos \theta \\ Y - Y_0 &= (Z - Z_0) \frac{B_1 x + B_2 y + B_3}{C_1 x + C_2 y + 1} + \Delta X_0 \sin \theta \end{aligned} \quad (1)$$

Với các ký hiệu:

$$\begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ B_1 & B_2 & B_3 \\ C_1 & C_2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{a_{11} \cos \theta + a_{21} \sin \theta}{-a_{33} f_k} k & \frac{a_{12} c \cos \theta - a_{22} \sin \theta}{-a_{33} f_k} & \frac{a_{13} \cos \theta - a_{23} \sin \theta}{-a_{33}} \\ \frac{a_{11} \sin \theta + a_{21} \cos \theta}{-a_{33} f_k} k & \frac{a_{12} \sin \theta + a_{22} \cos \theta}{-a_{33} f_k} & \frac{a_{13} \sin \theta + a_{23} \cos \theta}{-a_{33} f_k} \\ \frac{a_{13}}{-a_{33} f_k} k & \frac{a_{32}}{-a_{33} f_k} & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Trong đó, hệ số $k = 1 - V \frac{f_k t}{H.D} \cos \varphi \cdot \cos \omega$; t - thời gian quét; D - độ rộng của khe quét; H chiều cao bay của vật mang; các góc φ, ω, θ - góc định hướng của ảnh; V - vận tốc chuyển động của vật mang, các hệ số a_{ij} - hệ số cosin hướng, là hàm của các góc φ, ω, θ . Còn trong bài toán nghịch, mối quan hệ tọa độ của điểm ảnh và điểm vật được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} x &= \frac{D_1(X - X_0) + E_1(Y - Y_0) + F_1(Z - Z_0) + Q_1 \Delta X_0}{D_3(X - X_0) + E_3(Y - Y_0) + F_3(Z - Z_0) + Q_3 \Delta X_0}; \\ y &= \frac{D_2(X - X_0) + E_2(Y - Y_0) + F_2(Z - Z_0) + Q_2 \Delta X_0}{D_3(X - X_0) + E_3(Y - Y_0) + F_3(Z - Z_0) + Q_3 \Delta X_0} \end{aligned} \quad (3)$$

Với các ký hiệu:

$$\begin{pmatrix} D_1 & D_2 & D_3 \\ E_1 & E_2 & E_3 \\ F_1 & F_2 & F_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -f_k \frac{a_{11} \cos \theta - a_{21} \sin \theta}{-a_{33} k} & -f_k \frac{a_{11} c \cos \theta + a_{21} \sin \theta}{-a_{33} k} & -f_k \frac{a_{31}}{-a_{33} k} \\ -f_k \frac{a_{12} \sin \theta - a_{22} \cos \theta}{-a_{33}} k & -f_k \frac{a_{12} \sin \theta + a_{22} \cos \theta}{-a_{33}} & -f_k \frac{a_{32}}{-a_{33}} \\ \frac{a_{13} c \cos \theta - a_{23} \sin \theta}{a_{33} f_k} & \frac{a_{13} \sin \theta + a_{23} \cos \theta}{-a_{33} f_k} & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$Q_1 = \frac{a_{11}}{a_{33} k}; Q_2 = \frac{a_{12}}{a_{33}}; Q_3 = \frac{-a_{12}}{a_{33}}; \quad (5)$$

ở trên, đối với ảnh Radar, thì: với trị y_d - đo được trên ảnh Radar, góc nghiêng ngang của ảnh φ theo (9) tính y_r ; với y_r có được, tính y_c theo công thức (8); thay y trong (1) và (3) bằng trị tính được y_c .

4. Ảnh hưởng của chênh cao địa hình đối với điểm ảnh trên ảnh Radar

Độ lớn của sự xô dịch vị trí điểm ảnh (hình 6) $\Delta y = m' \eta_0 = y_c - \Delta y_c - y_r$

Trong đó $\Delta y_c = y_c \cdot \frac{h}{H}$; hay là: $y_c - \Delta y_c = y_c \frac{H-h}{H}$; Thay các giá trị này vào công thức (10), nhận được:

$\Delta y_c = f_k \sqrt{\frac{y_r^2}{f_k^2} + \frac{2h}{H} - \frac{h^2}{H^2}} - y_r$; Nếu biết được góc nghiêng ngang φ của ảnh, thì có thể tính được $\Delta x = f_k \frac{h}{H} \operatorname{tg} \varphi$. Và như vậy, độ lớn của sự xô dịch vị trí điểm ảnh do chênh cao địa hình gây ra trên ảnh Radar sẽ là: $\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$. Vị trí điểm chính ảnh của từng dòng quét có hoành độ $x_n = f_k \operatorname{tg} \varphi$, được tính từ giao điểm của dòng quét tới đường đáy ảnh.

5. Kết luận

- Ảnh Radar so với ảnh chụp qua khe, ảnh quét theo từng dòng, có nguyên lý tạo ảnh tương tự nhau.

- Toạ độ của điểm ảnh trên ảnh Radar tương ứng với các khoảng cách nghiêng tính từ tâm chiếu tức thời tới điểm vật nên ảnh hưởng của chênh cao địa hình rất đáng kể. Chính vì vậy một trong những ứng dụng quan trọng của ảnh Radar là nghiên cứu độ lồi lõm của bề mặt địa hình.

- Các công thức về quan hệ toạ độ của điểm ảnh và điểm vật đã nêu, có thể được sử dụng để xác định vị trí mặt bằng của đối tượng - công thức (1), sử dụng để nắn ảnh Radar - công thức (3).○

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Đình Trí, Trần Thị Hòa (2011). Mô hình toán học của ảnh số chụp hoặc quét theo dòng. Tuyển tập BCKH, Trường Đại học Mở - Địa chất. Số chuyên kỷ niệm 45 năm thành lập Khoa trắc địa.

[2]. Agapop X.V. (1996). Đo ảnh quét (Photogrammetry of ScannImage) - Bản tiếng Nga. Moscow, 1996.○