


TÌM HIỂU NHỮNG NGUYÊN LÝ CƠ BẢN VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CỦA KỸ THUẬT INSAR TRONG THEO DÕI CHUYÊN DỊCH MẶT ĐẤT

KS. NGUYỄN BÁ DUY
KS. TẠ THỊ THU HƯỜNG
Trường ĐH Mở - Địa chất

1. Giới thiệu

ự chuyển dịch của bề mặt đất là một trong những hiện tượng khá phổ biến gây ra bởi yếu tố địa chất bất thường, như trượt lở đất, hiện tượng trôi lún, sự phun trào của núi lửa và động đất. Một ví dụ điển hình là các trận động đất tại các khu vực ven biển, hoặc trong lòng đại dương là nguyên nhân gây ra sóng thần. Như vậy có thể thấy các hiện tượng bất thường của tự nhiên đe dọa rất xấu đối với cuộc sống và hoạt động của con người. Ví dụ động đất ở tỉnh Tứ Xuyên (12/5/2008), Trung Quốc đã làm 69.142 người chết, 374.065 người bị thương, 17.551 người mất tích và 46.249.048 người bị ảnh hưởng, thiệt hại hàng tỷ đô la, hay thảm họa sóng thần đã làm 5.000 người chết và gần 4.000 người mất tích ở Thái Lan (2005)... Có thể tránh được hoặc hạn chế đến mức tối đa nếu như có các cảnh báo kịp thời trước thời điểm xảy ra thảm họa. Để có một hệ thống đưa ra những thông tin cảnh báo thì việc xây dựng hệ thống các trạm theo dõi là rất cần thiết. Hệ thống này cần thiết phải có các thiết bị địa chất chuyên dụng, hệ thống trạm GPS mặt đất, các thiết bị kỹ thuật đo đạc hiện đại nhất hiện nay. Tuy nhiên để quan trắc trên một khu vực lớn sẽ rất tốn kém, hơn nữa chỉ cho phép đo đạc trên một khu vực cục bộ trên cơ sở các điểm mốc. Trong những năm gần đây, một kỹ thuật đầy triển vọng đã được nhắc tới đó là kỹ thuật Insar, kỹ thuật này đã được rất nhiều các nhà khoa học trên thế giới nghiên

cứu. Kỹ thuật này cho thấy có khả năng thu được số lượng điểm đo dày đặc trên một khu vực rộng lớn một cách chính xác, kinh tế, thuận lợi, và hiệu quả.

Insar là từ viết tắt của cụm từ Interferometric synthetic aperture Radar (SAR). Nó cho phép thu nhận thông tin qua các vân giao thoa, vân giao thoa này được tạo nên bởi sự lệch pha của hai ảnh SAR complex chụp cùng một khu vực, hai ảnh này có thể được thu bởi cùng một bộ cảm nhưng ở 2 vị trí khác nhau, hoặc 2 bộ cảm giống nhau. Kỹ thuật Insar có thể được sử dụng để thu nhận các thông tin về địa hình và sự chuyển dịch của bề mặt địa hình. Trong điều kiện thuận lợi thì độ chính xác đạt cỡ cm, có thể nghiên cứu để áp dụng vào theo dõi sự chuyển dịch của bề mặt, và với độ chính xác như vậy thì nó hoàn toàn đảm bảo yêu cầu trong các mục đích quan trắc. Tuy nhiên còn một số vấn đề liên quan đến quá trình xử lý cần phải được giải quyết để nó trở thành một giải pháp kỹ thuật khả thi trong quan trắc chuyển dịch.

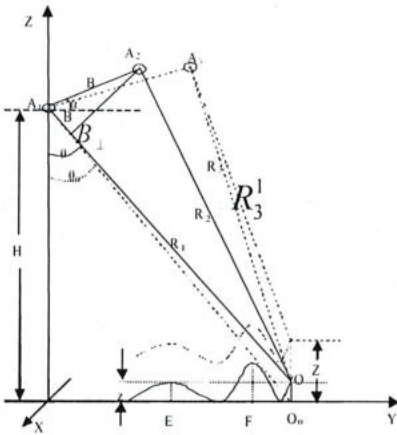
Bài báo này đề cập đến một vài vấn đề trong việc theo dõi sự chuyển dịch bề mặt bằng kỹ thuật Insar. Dưới đây là mô tả ngắn gọn về nguyên lý của kỹ thuật Insar trong quan trắc chuyển dịch.

2. Kỹ thuật InSAR trong quan trắc chuyển dịch

Kỹ thuật Insar dựa trên cơ sở của Radar

độ mở tổng hợp (Synthetic Aperture Radar) hay SAR. Chính xác hơn, nó thu nhận thông tin bởi việc sử dụng các vân giao thoa, các vân giao thoa này được tạo bởi sự lệch pha giữa hai ảnh SAR complex chụp cùng một khu vực nhưng ở vị trí khác nhau. SAR là ảnh thu được trong vùng sóng radio (sóng vi-ba) đã được phát triển trong những năm 60 của thế kỷ trước để nâng cao độ phân giải của công nghệ Radar truyền thống (Radar cửa mở thực) dựa trên nguyên lý của hiệu ứng Doppler.

2.1. Nguyên lý cơ bản của Radar giao thoa (InSAR)



Hình 1: Các yếu tố hình học của Insar

Trong công nghệ viễn thám ảnh SAR (ảnh biên độ) đã được sử dụng rộng rãi trong việc quan sát và theo dõi những biến động về môi trường. Trong những trường hợp, thành phần pha đã được ghi nhận cùng lúc bởi SAR đã bị bỏ qua trong suốt một thời gian dài. Vào năm 1974, báo cáo đầu tiên của Graham về một cặp ảnh SAR của cùng một vùng được thu từ 2 vị trí khác nhau có thể được sử dụng để tạo ra giao thoa và độ lệch pha (sự khác pha) đã được ghi lại trong các vân giao thoa hoàn toàn có thể được dùng để thành lập mô hình số độ cao [Graham 1974]. Kỹ thuật này được gọi là kỹ thuật Radar giao thoa Interferometric SAR (InSAR), hay SAR interferometry.

Kỹ thuật Insar ở thời điểm hiện tại được biết đến là một kỹ thuật xử lý tín. Nó cho phép thu nhận thông tin từ các vân giao thoa, $\phi(x, r)$, các vân giao thoa này được tạo nên do độ lệch pha giữa 2 ảnh Radar complex của cùng một đối tượng chụp được thu nhận bởi cùng một SAR ở hai vị trí khác nhau hay 2 SAR giống nhau như thể hiện trong hình 1.

Theo lý thuyết lan truyền sóng điện từ, thì sự trễ pha được đo bởi một ăng ten thì tỷ lệ thuận với khoảng cách nghiêng từ ăng ten đến điểm mục tiêu.

$$\Phi = \frac{2\pi R}{\lambda} \tag{1}$$

Trừ $\Phi_1(x, r)$ cho $\Phi_2(x, r)$ ta sẽ thu được độ lệch pha tạo ra giao thoa $\phi(x, r)$

$$\phi = \Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \frac{2\pi Q \delta R}{\lambda} \tag{2}$$

trong đó, $Q = 1$ khi 2 ăng ten được đặt trên cùng một thiết bị bay, cùng một sóng lan truyền nhưng chúng ta sẽ thu được cả 2 tín hiệu phản hồi cùng lúc để tạo ra giao thoa bậc 1 (one-pass interferometry) như TOP-SAR [Zebker et.al., 1992]; trong các trường hợp khác, $Q = 2$.

Để đo sự chuyển dịch của bề mặt địa hình của một khu vực nhất định theo một chu kỳ vấn đề cần thiết là phải thu nhận được các tấm ảnh SAR của cùng bộ cảm (hay từ 2 bộ cảm giống nhau) tại thời điểm bắt đầu chuyển dịch và thời điểm kết thúc chuyển dịch trong một khoảng cách thời gian để tạo ra giao thoa bậc 2 (repeat-pass InSAR), khi đó $Q = 2$.

Từ $\phi(x, r)$, sự sai khác về khoảng cách nghiêng (δR) giữa R_1 và R_2 có thể được tính toán theo công thức sau:

$$\delta R = \frac{\phi}{4\pi} \lambda \tag{3}$$

Trong đó λ là bước sóng (đơn vị là cm) do

đó khi tính toán thì đơn vị của δR cũng sẽ là cm. Nếu bề mặt không hề thay đổi trong khoảng thời gian từ A_1 đến A_2 , thì độ cao Z của điểm O sẽ được tính theo công thức sau:

$$\sin(\theta - \alpha) = \frac{R^2 + B^2 - (R + \delta R)^2}{2RB} \quad (4)$$

$$Z = H - R \cos \theta \quad (5)$$

Trong đó θ là góc nhìn, B là chiều dài cạnh đáy A_1-A_2 ; α là góc tạo bởi cạnh đáy với đường thẳng đứng.

Nếu điểm mục tiêu O xô dịch đến một vị trí mới là O_1 trước khi ăng ten di chuyển tới vị trí A_3 , khoảng cách nghiêng R_3 (được mô tả bởi đường nét đứt) sẽ là $R_1 = R_3 + \delta R_2$, độ lệch pha giữa ϕ_1 cho ϕ_3 (được đo ở vị trí A_3) sẽ là:

$$\begin{aligned} \phi_{13}^1 &= \phi_3 - \phi_1 = \frac{4\pi}{\lambda} (R_3 - R_1) = \frac{4\pi}{\lambda} [(R_3 - R_1) + \delta R_2] \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_1 + \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 = \phi_{13} + \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Thành phần thứ nhất ϕ_{13} , $\frac{4\pi}{\lambda} \delta R_1$ là do ảnh hưởng của yếu tố địa hình; thành phần thứ 2 ϕ_{13} , $\frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2$ là thành phần bao gồm sự chuyển dịch của bề mặt địa hình. Ảnh hưởng địa hình, độ lệch khoảng cách nghiêng gây ra do sự chuyển dịch của bề mặt địa hình

$$\delta R_2 = \frac{4\pi}{\lambda} (\phi_{13}^1 - \phi_{13}) = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta \phi_{13} \quad (7)$$

Công thức này cho thấy rằng $\Delta \phi_{13}$ là sự sai khác giữa hai pha giao thoa. Kết quả cho thấy, kỹ thuật này đôi khi được gọi là *Differential InSAR* (DinSAR).

Sau khi thành phần chuyển dịch trên hướng khoảng cách nghiêng (δR_2) được tính toán từ phương trình (7), thành phần chuyển dịch δZ có thể được tính toán dễ dàng theo công thức sau:

$$\delta Z = Z_1 - Z = -\delta R_2 \cos \theta \quad (8)$$

2.2. Giao thoa bậc 3 trong quan trắc chuyển dịch.

Có 2 phương pháp để loại bỏ sự ảnh hưởng của chênh cao địa hình từ công thức (9). Một là sử dụng mô hình số độ cao có sẵn của khu vực khảo sát để tính ra pha ảnh hưởng do yếu tố địa hình. Cách khác là sử dụng một giao thoa khác để tham chiếu mà được gọi là giao thoa bậc 3 (three-pass Interferometry).

Nguyên lý của giao thoa bậc 3 được mô tả trong hình 1. Trong hình này, A_1, A_2, A_3 là các vị trí liên tiếp của ăng ten. O là vị trí của đối tượng nghiên cứu, mà không có sự thay đổi trong suốt khoảng cách thời gian (từ A_1 đến A_2) nhưng lại thay đổi đến vị trí O_1 trong suốt khoảng cách thời gian từ A_2 đến A_3 . Bởi vì $R \gg B$; $\delta R \approx B \sin(\theta - \alpha)$, nên độ lệch pha thứ nhất được tính theo công thức:

$$\phi \approx \frac{4\pi R \sin(\theta - \alpha)}{\lambda} = \frac{4\pi}{\lambda} B \quad (9)$$

trong đó: $B // = B \sin(\theta - \alpha)$ là thành phần cạnh đáy song song theo hướng nhìn. ϕ ở đây chỉ phụ thuộc vào yếu tố địa hình bởi vì không có sự thay đổi trong chu kỳ từ A_1 đến A_2 . Công thức tính độ lệch pha trong giao thoa thứ 2 (A_1-A_3) có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned} \phi_{13}^1 &= \frac{4\pi}{\lambda} B_1 \sin(\theta - \alpha_1) + \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} B_1 + \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 \end{aligned} \quad (10)$$

Trong đó α_1 là góc tạo bởi cạnh đáy A_1-A_3 với đường nằm ngang, $B_{1//} = B_1 \sin(\theta - \alpha_1)$ là thành phần cạnh đáy song song với hướng nhìn. Kết hợp công thức (9) và (10) ta có:

$$\delta R_2 = \frac{\lambda}{4\pi} \left(\phi_{13}^1 - \frac{B_1}{B} \phi \right) \quad (11)$$

Công thức này cho thấy rằng sự sai khác khoảng cách nghiêng δR_2 được xác định hoàn toàn dựa vào độ lệch pha giữa hai giao

thoa, yếu tố quỹ đạo hình học và hướng nhìn. Điều này có nghĩa là sự thay đổi của bề mặt địa hình có thể được xác định bởi giao thoa bậc 3 mà không cần quan tâm đến sự thay đổi của bề mặt địa hình.

Tỷ số $B_{1,\perp} / B_{\parallel}$ trong công thức (11) là hàm của góc nhìn θ , Hàm toán học là:

$$\frac{B_{1,\perp}}{B} = \frac{B_1 \sin(\theta - \alpha_1)}{B \sin(\theta - \alpha)} \quad (12)$$

Thông thường, người ta rất khó xác định góc trực tiếp nếu không có dữ liệu về bề mặt địa hình của khu vực nghiên cứu. Do đó, việc tìm một cách giải quyết khác cho δR_2 nên được nghiên cứu. Nếu điểm O ở vị trí có độ cao $Z = 0$, như trong hình 1, góc tới bằng 0 thì ta có thể dễ dàng xác định được vị trí của O. Khi đó độ lệch pha của 2 giao thoa tại điểm O sẽ là:

$$\varphi_0 \approx \frac{4\pi}{\lambda} B \sin(\theta_0 - \alpha); \varphi_{0,13} \approx \frac{4\pi}{\lambda} B_1 \sin(\theta_0 - \alpha_1) \quad (13)$$

Cho $\theta = \theta_0 + \delta\theta$. Với độ lệch $\delta\theta$ của góc nhìn nhỏ, ta có:

$$\begin{aligned} \varphi_{0,12} = \varphi - \varphi_0 &\approx \frac{4\pi}{\lambda} B \sin(\theta - \alpha) - \frac{4\pi}{\lambda} B \sin(\theta_0 - \alpha) \\ &\approx \frac{4\pi \delta\theta}{\lambda} B \cos(\theta_0 - \alpha) = \frac{4\pi \delta\theta}{\lambda} B \end{aligned} \quad (14)$$

và

$$\begin{aligned} \varphi_{0,13} = \varphi_{13} - \varphi_{0,13} &\approx \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 + \frac{4B_1}{\lambda} \sin(\theta - \alpha_1) \\ - \frac{4B_1}{\lambda} \sin(\theta_0 - \alpha_1) &\frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 + \frac{4\pi \delta\theta B_1}{\lambda} \cos(\theta_0 - \alpha_1) \\ &= \frac{4\pi}{\lambda} B_{1,\perp} + \frac{4\pi}{\lambda} \delta R_2 \end{aligned} \quad (15)$$

Trong đó $B_{1,\perp}$ và $B_{1,\parallel}$ là các thành phần thẳng đứng của 2 cạnh đáy tới hướng nhìn và chúng được xác định tương ứng bởi công thức (16) và (17); $\varphi_{0,12}$ và $\varphi_{0,13}$ là các pha giao thoa đã được chính xác hóa sau khi đã loại trừ ảnh hưởng do địa hình.

$$B_{1,\perp} = B \cos(\theta_0 - \alpha) \approx B \cos(\theta - \alpha) \quad (16)$$

$$B_{1,\parallel} = B_1 \cos(\theta_0 - \alpha_1) \approx B_1 \cos(\theta - \alpha_1) \quad (17)$$

Chúng ta có thể rõ ràng nhận thấy rằng, thành phần pha ở trên có thể biến thiên từ $-\infty$ đến $+\infty$. Nhưng giá trị thực tế mà SAR đo được lại bị nén lại và nằm trong khoảng $(-\pi, \pi)$. Mối quan hệ giữa thành phần pha bị nén lại ϕ_w và giá trị gốc của nó, ϕ có thể được biểu diễn như sau:

$$\phi = \phi_w + 2k\pi.$$

Trong đó, $\phi_w \in (-\pi, \pi)$ k là số nguyên. Một giao thoa tạo bởi kỹ thuật InSAR, thực tế là hình ảnh bị nén lại của các pha và sự thay đổi giá trị của pha sẽ tạo ra các vân giao thoa. Để có thể sử dụng các công thức ở trên để thu nhận các thông tin về chuyển dịch bề mặt thì những pha bị nén cần được phải qua bước giải ngược (unwrapped), để biến đổi những pha bị nén về dạng ban đầu của nó, quá trình xử lý này được gọi là giải pha (phase unwrapping)

3. Kết luận

Như vậy trong bài báo này những nguyên lý cơ bản của kỹ thuật InSAR đã được giới thiệu. Có thể thấy đây là một kỹ thuật mới có khả năng áp dụng hiệu quả trong công tác quan trắc chuyển dịch bề mặt. Nó có ý nghĩa rất quan trọng trong việc đưa ra các dự đoán về khả năng chuyển dịch cũng như đánh giá mức chuyển dịch một cách chính xác. ○

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Kampes, B.M., R. Hanssen, and Z. Perski, Radar Interferometry with Public Domain Tools, in *Fringe 2003*, Frascati, Italy, 2003.
- [2]. Massonnet, D., and K.L. Feigl, Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface, *Reviews of Geophysics*, 36 (4), 441-500, 1998.
- [3]. Hồ Tổng Minh Định, *Ứng dụng kỹ thuật InSAR trong xây dựng mô hình độ cao số (DEM)*, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại Học Bách Khoa TP. HCM, 2005. ○