

THÔNG TIN KHOA HỌC (trang 90-98)

NHẬN DẠNG HỆ THỐNG VÀ PHÂN TÍCH BIẾN DẠNG

ĐINH XUÂN VINH, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt: Quan trắc biến dạng theo truyền thống thường sử dụng máy trắc địa và tổng hợp kết quả đo đạc, sau đó lập biểu đồ biến dạng qua từng thời kỳ quan trắc. Phân xử lý số liệu thường coi trọng thành quả bình sai. Các công cụ tính toán tập trung làm rõ chất lượng phép đo và xử lý các nguồn sai số. Biến dạng trong thực tế chịu ảnh hưởng của nhiều nguồn lực khác nhau. Việc phân tích và so sánh kết quả đo của máy trắc địa với các nguyên nhân gây biến dạng còn chưa được quan tâm. Các thuật toán ước lượng tối ưu và thống kê vững đã được thế giới nghiên cứu ứng dụng rộng rãi. Mô hình biến dạng được thành lập nhằm phân tích rõ môi trường gây ra biến dạng, đồng thời dự báo xu hướng biến dạng trong tương lai là hướng phát triển của nghiên cứu biến dạng ngày nay. Bài báo đề cập phương pháp nhận dạng hệ thống và phân tích biến dạng sau khi nghiên cứu ứng dụng các mô hình Hồi quy, Chuỗi thời gian, Lọc Kalman, đồng thời tham khảo các thành quả nghiên cứu gần đây của các nhà khoa học Chrzanowski (Canada), Kuhlmann (Đức), Proszynski (Ba Lan), Welsch (Đức).

1. Đặt vấn đề

Các nghiên cứu về biến dạng công trình, chuyển dịch vùng và điểm lưới không chế trắc địa hoặc dịch động vỏ trái đất đã có nhiều tiến bộ khi thế giới bước sang thế kỉ 21. Tuy nhiên, tại Việt Nam vẫn dùng phổ biến các lý thuyết ra đời từ giữa thế kỉ 20. Đặc biệt, hiện tượng biến đổi khí hậu dẫn tới trượt lở đất đá, nước biển dâng cao khiến nhiều vùng đất bị ngập lụt và chuyển dịch, đòi hỏi hình thành và phát triển một hệ thống lý thuyết về phân tích biến dạng, tiến tới dự báo thảm họa thiên nhiên của Việt Nam là cấp bách.

Từ những năm 70 của thế kỉ 20, Hà nội đã tiến hành quan trắc mực nước ngầm và quan trắc mức độ sụt lún mặt đất dựa vào các mốc được xây dựng gần khu vực các nhà máy nước. Các kết quả quan trắc được thống kê cẩn thận và đã có những báo cáo khoa học về đề tài này. Một số quan trắc cạnh đáy dài có sự kết hợp với bản đồ quốc tế đã thực hiện. Tuy nhiên, việc sử dụng công cụ phân tích hữu hiệu, để có những đánh giá khoa học về tình trạng sụt lún mặt đất vùng khai thác nước ngầm, tình trạng chuyển dịch địa động dưới tác động môi trường, lại chưa được quan tâm đúng mức.

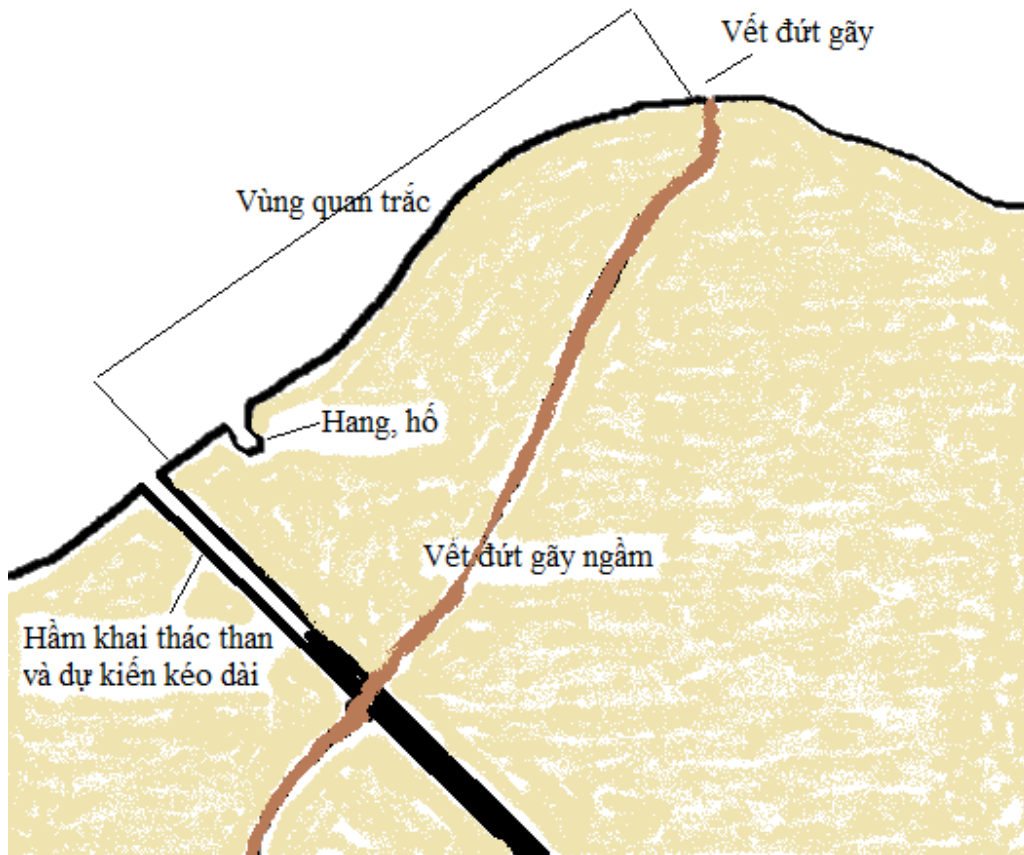
2. Phân tích biến dạng theo truyền thống

Việc quan trắc đối tượng biến dạng trong một quá trình đòi hỏi phải xây dựng được mô hình của đối tượng đó. Trắc địa đã mô hình hoá đối tượng bằng cách chia nhỏ liên tục đối tượng thành các điểm rời rạc. Các điểm rời rạc này là các điểm đặc trưng của đối tượng đại diện cho các biến động. Điều đó có nghĩa là đối tượng được mô hình hoá theo hình dạng hình học mà chưa quan tâm tới vận tốc, gia tốc vận động của đối tượng. Việc mô hình hoá này cũng biểu diễn đối tượng trong một không gian với đặc trưng thời gian biến động. Đó chính là các phương pháp quan trắc biến dạng truyền thống. Biểu thức toán học tổng quát của mô hình biến dạng được quan trắc liên tục như sau:

$$y(t) = \int_0^{\infty} g(\tau) \cdot x(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

trong đó, $y(t)$ là lượng biến dạng tại thời điểm t ; $x(t - \tau)$ là độ lớn của lực tác động gây biến dạng tại thời điểm $(t - \tau)$; $g(\tau)$ là hàm trọng số mô tả tương quan giữa $x(t - \tau)$ và $y(t)$; τ là khoảng thời gian phản hồi hay còn gọi là độ trễ. Đối với mỗi dạng vật liệu khác nhau, cấu tạo địa chất khác nhau, đều cho ta độ trễ khác nhau. Tuy nhiên, có thể dựa vào tham số thời gian để ước tính.

Đối với trường hợp mô hình phi tuyến tính, Wernstedt (1989) đã phát triển thành

$$y(t) = \int_0^\infty g_1(\tau_1) \cdot x(t - \tau_1) d\tau_1 + \iint_0^\infty g_2(\tau_1 \tau_2) \cdot x(t - \tau_1)(t - \tau_2) d\tau_1 d\tau_2$$


Hình 1. Vết đứt gãy ngầm tại một vỉa than và vùng quan trắc biến dạng

Hình 1 mô tả một vỉa than được quan trắc biến dạng. Ngoại lực tác động tới biến dạng bao gồm: hoạt động tại hầm than có chu vi 12 m, ảnh hưởng của thiên nhiên và mưa lũ sồi mòn các hang, hốc trên sườn núi tạo thành vết đứt gãy ngầm. Các yếu tố ngoại lực tác động tổng hợp gây lên biến dạng và độ trễ theo thời gian có thể là một thành phần đại diện của ngoại lực gây biến dạng.

Việc quan trắc biến dạng theo chu kỳ chỉ mô hình hoá biến dạng về mặt không gian. Do các

chu kỳ có những khác biệt trong điều kiện quan trắc, dữ liệu thống kê đưa vào trong các phương pháp phân tích và phương trình toán học sẽ bị ảnh hưởng bởi yếu tố con người.

Liên quan đến nguyên nhân gây biến dạng, mô hình biến dạng của đối tượng được phân tích trong một hệ thống lý thuyết toán học và cơ học vật lý, theo Welsch (2001); Heiner Kuhlmann và Pelzer (1997), mô hình biến dạng được phân chia như bảng 1.

Bảng 1. Phân loại mô hình biến dạng

		Biến dạng là hàm số của lực tác động	
		Không	Có
Biến dạng là hàm số của thời gian	Không	Mô hình đồng nhất	Mô hình biến dạng tĩnh
	Có	Mô hình biến dạng động (Kinematic)	Mô hình biến dạng động lực (Dynamic)
		Mô hình hình học	Mô hình nhân quả

Mô hình đồng nhất

Phân tích biến dạng truyền thống quan tâm tới việc so sánh trạng thái hình học của đối tượng, bằng cách so sánh hai chu kỳ quan trắc tại cùng một điểm trên đối tượng. Đây là sự phân tích những thay đổi trong một khoảng thời gian nội bộ giữa hai chu kỳ.

Đầu vào là các trị quan trắc l và đầu ra là các điểm toạ độ x theo thời gian, chúng ta có mô hình hàm số của bình sai gián tiếp:

$$E\{l\} = Ax, \quad (2)$$

Thực hiện một thủ tục kiểm định thống kê theo quy trình Gauss-Markov (các cơ sở sản xuất thường bỏ qua thủ tục này), ta có giả thiết gốc:

$$H_0: Hx = 0,$$

Ta có mô hình ngẫu nhiên của bình sai:

$$\text{Cov}\{l\} = \sigma_0^2 Q = \sigma_0^2 P^{-1}.$$

Theo quy trình kiểm định thống kê, phải tiến hành thủ tục kiểm định tổng thể. Khi thủ tục này được thông qua mới tiến hành kiểm định thống kê điểm biến dạng. Hiện có nhiều phương pháp, có thể như: Phương pháp Hannover do Pelzer và Niemeir đề xuất hoặc Phương pháp Chênh lệch trung bình do Pelzer đề xuất.

Phương pháp chênh lệch trung bình do Pelzer đề xuất như sau: Đầu tiên, kiểm định F về tính đồng nhất của phương sai trọng số đơn vị hai chu kỳ $\hat{\sigma}_{01}^2, \hat{\sigma}_{02}^2$. Sau đó kiểm định điểm kiểm tra biến dạng:

$$F = \frac{\hat{\sigma}_{0s}^2}{\hat{\sigma}_0^2} < F_{\alpha, fs, f}, \quad (3)$$

trong đó: α là mức ý nghĩa thống kê; fs là số lượng các chênh cao d độc lập trong lưới độ cao: $(\dim(d) - 1)$; $f = f_1 + f_2$ với f_1 và f_2 là bậc tự do của chu kỳ 1 và chu kỳ 2. Lưới thủy chuẩn ta có: $f_i = n_i - (u - 1)$, trong đó n_i là số lượng trị đo chu kỳ thứ i và u là số lượng điểm thủy chuẩn trong lưới; và

$$\hat{\sigma}_{0s}^2 = \frac{d^T P_d d}{f_s}, \quad f_s = \dim(d) - 1.$$

Ký hiệu: d là hiệu toạ độ giữa hai chu kỳ, hay là lượng chuyển dịch toạ độ; $P_d^{-1} = Q^+$ với Q^+ là ma trận nghịch đảo Moore-Penrose.

Mô hình biến dạng trên được phân tích theo từng chu kỳ quan trắc và mô hình này chỉ quan tâm tới biến dạng hình học của đối tượng, nó không quan tâm tới nguyên nhân gây biến dạng cũng như vận tốc và gia tốc của biến dạng.

3. Phân tích biến dạng hiện đại

3.1. Mô hình biến dạng động

Hiện nay, kỹ thuật quan trắc đã phát triển rất cao, tới mức có thể tự động quan trắc trong thời gian dài. Điển hình có các máy toàn đạc điện tử tự động như Robotic Total Station của Leica. Một trường hợp khác, công nghệ GPS đã trở nên phổ biến đối với trắc địa Việt Nam. Việc quan trắc liên tục bằng công nghệ GPS thế giới đã thực hiện từ lâu, nhưng tại Việt Nam mới đang trong giai đoạn thử nghiệm. Khi trị đo được liên tục cập nhật theo thời gian, chúng ta có một chuỗi các số liệu mô tả vị trí của đối tượng trong không gian, theo thời gian. Lúc này, việc xây dựng mô hình biến dạng động là đòi hỏi của công tác trắc địa.

Mối tương quan của toạ độ không gian x_1 của điểm quan trắc tại thời điểm t_1 với toạ độ không gian x_2 tại thời điểm t_2 được mô tả trong mối quan hệ với thời gian

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + \frac{dx}{dt}(t_2 - t_1) + \frac{1}{2} \frac{d^2x}{dt^2}(t_2 - t_1)^2 + \dots \\ &= x_1 + \dot{x}\Delta t + \frac{1}{2} \ddot{x}\Delta t^2 + \dots, \end{aligned} \quad (4)$$

với \dot{x} và \ddot{x} là vận tốc và gia tốc của điểm quan trắc trong thời gian nội bộ Δt . Chúng ta liên quan tới việc ước lượng các tham số là ẩn số, các ẩn số này có liên quan tới quá trình chuyển dịch của điểm quan trắc. Mối tương quan tuyến tính của phương trình trị đo được viết lại

$$l + v = \begin{bmatrix} a^T & a^T \Delta t & \frac{1}{2} a^T \Delta t^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \dot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Hệ thống (5) là một phương trình đại diện cho mô hình biến dạng động của điểm quan trắc. Mở rộng các thuật toán này, ta sẽ đề cập đến Lọc Kalman, một kỹ thuật rất phù hợp với các quan trắc liên tục bởi một hệ thống tự động. Lọc Kalman có thể dự báo được quá trình biến dạng, đồng thời mô tả chính xác hệ thống vận động theo thời gian thực. Không như các phương pháp ước lượng khác hoặc như Phương pháp Bình phương nhỏ nhất truyền thống, lọc Kalman hiệu chỉnh được các trị đo tiềm ẩn sai số thô và sai số hệ thống, đem lại bức tranh sáng sủa về sự vận động của đối tượng quan trắc.

Phương trình hệ thống lọc Kalman dạng rời rạc là một ước lượng trạng thái $x \in R^n$ theo một

quy trình bị chi phối bởi phương trình vi phân tuyến tính ngẫu nhiên sau

$$x_k = Fx_{k-1} + Gu_{k-1} + w_{k-1} . \quad (6)$$

với trị đo $z \in R^m$ tuân theo phương trình sau

$$z_k = Hx_k + v_k ,$$

trong đó: x_k là vector chỉ trạng thái hệ thống;

Ma trận F kích thước $(n \times n)$ trong phương trình vi phân và là ma trận hệ số của ẩn tại trạng thái trước đó $(k-1)$ so với trạng thái hiện thời k ;

Ma trận G là ma trận hệ số đầu vào điều chỉnh tùy ý của ẩn $u \in R^l$ liên hệ với trạng thái của ẩn x , trong trắc địa thì nó biểu thị các nguyên nhân gây nên biến đổi hệ thống, ảnh hưởng tới quy trình ngẫu nhiên của hệ thống;

Ma trận H kích thước $(m \times n)$ trong phương trình trị đo là ma trận hệ số của trị đo z_k ;

w_{k-1} là nhiễu trắng hệ thống và nó được biểu diễn như một vector;

v_k là nhiễu trắng trị đo được biểu diễn dưới dạng vector;

Chỉ số k chỉ thời điểm của hệ thống và $k-1$ là thời điểm trước đó.

Phương trình (6) phù hợp với mô hình động lực (Dynamic) và không thể tìm thấy trong mô hình động (Kinematic) thành phần Gu_{k-1} vì không có nguyên nhân gây biến dạng nào được tính đến trong mô hình. Cũng không thể tìm thấy trong mô hình tĩnh thành phần Fx_{k-1} vì vật thể phản ứng ngay tức thì với những thay đổi đầu vào. Trong mô hình đồng nhất không có nguyên nhân gây biến dạng, nên ma trận hệ thống được xác định là ma trận đơn vị. Vector trạng thái tự nhiên của x_k lẽ dĩ nhiên là biến không đo được, còn z_k là giá trị đo được. Biến ngẫu nhiên w_{k-1} và v_k biểu diễn nhiễu hệ thống và nhiễu trị đo, chúng được giả thiết là độc lập với nhau, là nhiễu trắng và tuân theo phân phối chuẩn, nghĩa là

$$p(w) \sim N(0, Q) ,$$

$$p(v) \sim N(0, R) .$$

Định nghĩa $\hat{x}_{k-} \in R^n$ là ước lượng trạng thái tiên nghiệm tại bước k nhận được từ quy trình lọc trước đó trong phương trình hệ thống, $\hat{x}_k \in R^n$ là ước lượng trạng thái hậu nghiệm tại bước k nhận được từ trị đo z_k trong phương trình trị đo cập nhật. Chúng ta định nghĩa sai số ước lượng tiên nghiệm và hậu nghiệm như sau

$$e_{k-} = x_{k-} - \hat{x}_{k-} ,$$

$$\text{và } e_k = x_k - \hat{x}_k .$$

Hiệp phương sai của trạng thái ước lượng tiên nghiệm là

$$M_k = E[e_{k-}e_{k-}^T] , \quad (8)$$

Và hiệp phương sai của trạng thái ước lượng hậu nghiệm là

$$P_k = E[e_k e_k^T] . \quad (9)$$

Ma trận nhiễu trị đo R có liên hệ với vector nhiễu trị đo v theo

$$R = E[vv^T] , \quad (10)$$

Mối liên hệ đó cần phải được làm rời rạc hóa trước khi đưa vào lọc Kalman rời rạc. Nếu chúng ta mang những trị đo với chu kỳ T_s để đưa vào phép lọc, thì việc đầu tiên là ta phải tìm được ma trận cơ sở Φ . Ma trận cơ sở của hệ thời gian bất biến có thể tìm được từ ma trận hệ thống động như sau:

$$\Phi(t) = \mathcal{L}^{-1}[(sI - F)^{-1}] , \quad (11)$$

ở đây, I là ma trận đơn vị, \mathcal{L}^{-1} là biến đổi Laplace nghịch đảo, F là ma trận hệ thống động. Thông thường, biến đổi Laplace nghịch đảo có thể tìm bằng cách tra bảng. Có thể tìm ma trận cơ sở bằng cách khai triển chuỗi Taylor như sau

$$\Phi(t) = e^{Ft} = I + Ft + \frac{(Ft)^2}{2!} + \dots + \frac{(Ft)^n}{n!} + \dots$$

Ma trận cơ sở dạng rời rạc hoặc ma trận biến đổi có thể tìm được bằng cách xác định ma trận cơ sở tại thời điểm T_s

$$\Phi_k = \Phi(T_s) .$$

Phương trình trị đo của phép lọc Kalman rời rạc là

$$z_k = Hx_k + v_k , \quad (12)$$

$$\text{và } R_k = E(v_k v_k^T) ,$$

ở đây, R_k là ma trận bao gồm phương sai của các nguồn nhiễu trị đo. Trong trường hợp lọc Kalman đa thức, R_k là ma trận đường chéo. Vậy phương trình của lọc Kalman là

$$\hat{x}_k = \Phi_k \hat{x}_{k-1} + G_k u_{k-1} + K_k (z_k - H \Phi_k \hat{x}_{k-1} - H G_k u_{k-1}) , \quad (13)$$

ở đây, K_k đại diện cho ma trận hiệu ích Kalman còn G_k nhận được từ

$$G_k = \int_0^{T_s} \Phi(\tau) G d\tau . \quad (14)$$

Nếu u_{k-1} giả định là hằng số giữa các trị đo đưa vào, thì hiệu ích Kalman tính được trong quá trình lọc từ phương trình Riccati dạng ma trận. Phương trình Riccati là tập hợp của những phương trình ma trận đệ quy sau

$$M_k = \Phi_k P_{k-1} \Phi_k^T + Q_k, \quad (15)$$

$$K_k = M_k H^T (H M_k H^T + R_k)^{-1}, \quad (16)$$

$$P_k = (I - K_k H) M_k, \quad (17)$$

ở đây, P_k là ma trận hiệp phương sai mô tả sai số trong ước lượng trạng thái sau khi cập nhật; M_k là ma trận hiệp phương sai mô tả sai số trong ước lượng trạng thái trước khi cập nhật. Ma trận nhiễu rời rạc Q_k có thể tìm được từ ma trận nhiễu liên tục Q và ma trận cơ sở theo

$$Q_k = \int_0^{T_s} \Phi(\tau) Q \Phi^T(\tau) d\tau. \quad (18)$$

Để bắt đầu phương trình Riccati, ta cần ma trận hiệp phương sai ban đầu P_0 .

3.2. Hệ thống động lực và phân tích biến dạng – Hệ thống hoá mô hình biến dạng

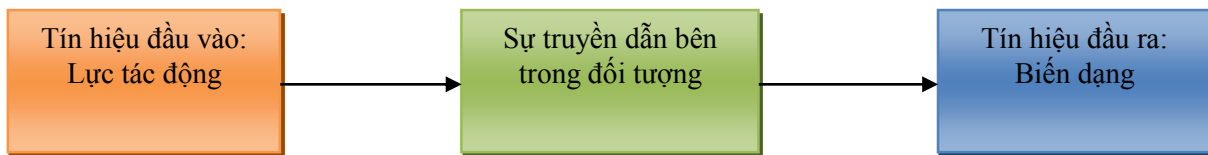
Mô hình tiên tiến để phân tích biến dạng không chỉ xem xét những thay đổi hình học của đối tượng trong không gian theo thời gian. Chúng còn điều tra các yếu tố gây ảnh hưởng tới biến dạng như: ngoại lực tác động, tải trọng, mức nước ngầm thay đổi, ... Các yếu tố vật lý của đối tượng như: hằng số vật liệu, hệ số nở rộng, ... với các tính chất và đặc tính liên quan tới lực tác dụng. Có 3 yếu tố cần quan tâm:

1/Lực tác động: là tín hiệu đầu vào;

2/Sự truyền dẫn trong đối tượng: là quá trình chuyển giao;

3/Sự phản ứng của đối tượng: là tín hiệu đầu ra của đối tượng.

Đó là một chuỗi quan hệ nhân quả, nói theo lý thuyết hệ thống thì đó là Hệ thống động lực.



Hình 2. Quá trình biến dạng của hệ thống động lực

Hệ thống động lực được phân chia theo các tính chất như sau:

- Hệ thống động lực mà sự thay đổi của tín hiệu đầu vào được đáp ứng bởi tín hiệu đầu ra sau một độ trễ nhất định: Hệ thống động lực có bộ nhớ. Hệ thống này có thể phân chia thành 2 loại sau:

a/ Tín hiệu đầu ra: sự biến dạng là hàm số của thời gian và tải trọng. Do vậy, bộ nhớ của hệ thống là cơ sở để dự đoán biến dạng.

b/ Hệ thống tĩnh có thể xem là một trường hợp đặc biệt của hệ thống động lực. Đối tượng phản ứng ngay lập tức (không có bộ nhớ) với sự thay đổi của ngoại lực tác động. Trạng thái mới của hệ thống là một trạng thái cân bằng. Trường hợp này, biến dạng chỉ là hàm số của tải trọng thay đổi.

- Hệ thống động lực không chịu tác động của ngoại lực. Tuy nhiên, hệ thống này có thể dịch chuyển. Có hai loại hệ thống dạng này:

c/ Hệ thống động trong dịch chuyển, chuyển động được mô tả như một hàm số của thời gian.

d/Hệ thống chuyển động ngẫu nhiên, trong đó, hàm số của thời gian không thể thiết lập được.

Sự biến dạng của một đối tượng được đặc trưng bởi nội lực, ngoại lực hoặc tải trọng tác động (gió, áp suất thay đổi, nhiệt độ, tăng tải trọng,...). Đầu vào được xác định qua các phép đo. Phản ứng của hệ thống là biến dạng. Mô hình tính toán phản ứng hệ thống này là đầu ra. Trong mô hình đó, cần phải biết đến các tham số để xây dựng mô hình hình học (có thể áp dụng phương pháp Phần tử hữu hạn-FEM hoặc công cụ tính toán khác). Đây là mô hình động lực, hay là mô hình xác định trước theo Chrzanowski, 1990. Việc xử lý dữ liệu đo dẫn đến phát hiện một số nguồn sai số (nhiều). Kỹ thuật lọc Kalman được ứng dụng thích hợp để hiệu chỉnh trị đo có nhiễu, trong trường hợp xác định được thành phần

ngoại lực tác động vào đối tượng, đó chính là thành phần Gu_{k-1} trong phương trình (6). Bằng cách này, mô hình của vật thể biến dạng có thể được hiệu chuẩn và quy trình động lực đó được xác định. Nhiều trung tâm nghiên cứu trên thế giới đã hoạt động và áp dụng kỹ thuật lọc Kalman cho nhiều ngành khác nhau, nhằm thích ứng với quy luật biến đổi không ngừng của tự nhiên.

Với xu thế mạnh mẽ của kỹ thuật ngày nay, việc xem xét biến dạng không chỉ trong không gian mà còn trong thời gian. Toàn bộ quá trình biến dạng với các nguyên nhân tác động lên đối tượng và các thuộc tính về hình học và vật lý, có khả năng đo đạc và ghi lại. Việc sử dụng các kỹ thuật đo đạc, áp dụng các thuật toán cần thiết, là điều đã sẵn sàng. Chỉ còn phải áp dụng một chương trình phần mềm phù hợp để xử lý các dữ liệu mà thôi.

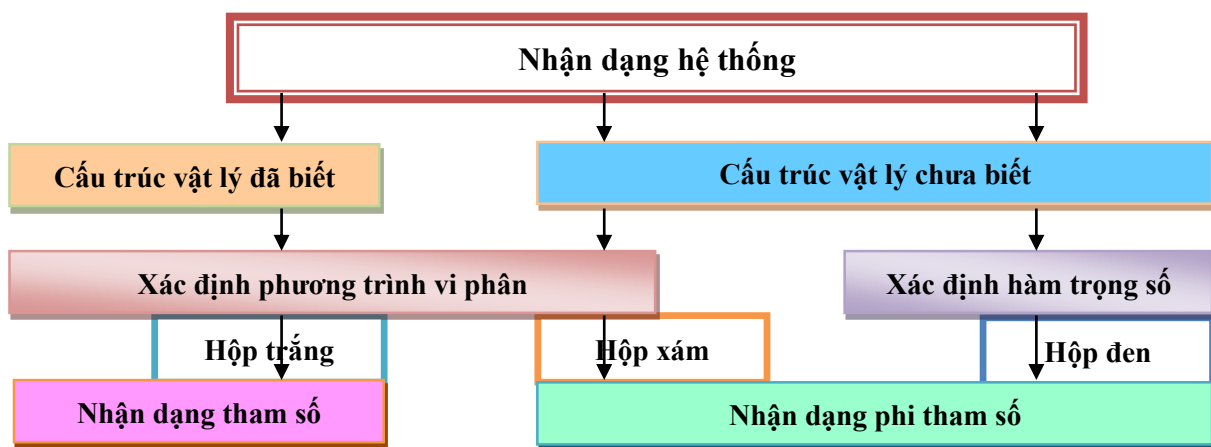
Mô hình biến dạng tĩnh mô tả mối quan hệ giữa những sức căng của vật thể và biểu hiện biến dạng của nó. Sự chuyển dịch và biến dạng của vật thể dưới sức căng được biểu diễn ở dạng hàm số phụ thuộc tải trọng chứ không phụ thuộc thời gian. Cấu trúc vật lý và hình học, các tham số của vật liệu và các đặc trưng khác của đối tượng được xây dựng trong phương trình vi phân. Phương trình vi phân này thể hiện mối quan hệ ứng suất biến dạng của đối tượng. Do vậy, mô hình biến dạng tĩnh là mô hình tham số, mô hình của kết cấu hoặc mô hình có tính xác

định trước. Phân tích hay đánh giá mô hình được gọi là ứng dụng mô hình. Mô hình biến dạng tĩnh được sử dụng thường xuyên, như cầu khi có tải trọng, móng nhà cao tầng khi có tải trọng lần lượt của các tầng phía trên, ...

Mô hình biến dạng động lực (*Dynamic*) là mô hình tổng quát và toàn diện nhất, bởi nó mô tả thực tế của hệ thống theo thời gian. Chúng ta đã biết, trong vũ trụ thì không có vật nào đứng yên. Việc dịch chuyển và biến dạng của đối tượng được biểu diễn dưới dạng hàm số của lực tác động và thời gian. Đối nghịch với mô hình biến dạng tĩnh, ở mô hình này vật thể thường xuyên biến dạng. Nghĩa là, những lực tác động khác nhau về thời gian, những biến dạng hay dịch chuyển cũng khác nhau về thời gian. Việc giám sát biến dạng động lực đòi hỏi phải có các phương tiện thường xuyên và tự động. Mô hình động lực có thể có tham số và không có tham số. Phân tích hay đánh giá mô hình còn gọi là vận hành mô hình. Cho đến nay, chưa có mô hình tham số nào được sử dụng đối với biến dạng động lực. Hầu như chỉ sử dụng mô hình phi tham số để phân tích biến dạng động lực.

3.3. Nhận dạng hệ thống: Mô hình tham số và mô hình phi tham số

Trong lý thuyết hệ thống, việc thiết lập một quan hệ toán – lý để mô tả một hàm số của hệ thống động lực được gọi là “nhận dạng hệ thống”. Nhận dạng hệ thống được kích hoạt khi đầu vào và đầu ra của hệ thống là những trị đo thoả mãn phân phối chuẩn.



Hình 3. Phương pháp nhận dạng hệ thống (Heunecke, Welsch)

3.3.1. Mô hình tham số

Nếu có một mối tương quan giữa những tín hiệu đầu vào (như tải trọng, áp suất, nhiệt độ, ...) với những tín hiệu đầu ra (giá trị biên dạng đo được). Ta sẽ biểu diễn được mối quan hệ đó trong một phương trình vi phân. Đó là mô hình tham số. Việc xác định hệ thống được thực hiện trong hộp trắng.

Phương trình cơ bản của mô hình hệ thống động lực là phương trình vi phân tuyến tính động

$$[K \ D \ M] \begin{vmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \\ \ddot{x}(t) \end{vmatrix} = y(t). \quad (19)$$

với $y(t)$ là đầu vào của hệ thống, bao gồm các lực tác động có thể cả nhiều; $x(t)$ và các đạo hàm của nó là đầu ra của hệ thống (là các dữ liệu trắc địa); Các ma trận $K \ D \ M$ đại diện cho các tính chất cơ học hoặc các tham số của vật liệu, kết cấu. Trên thực tế, các phép đo hoặc tham số có thể không phù hợp. Ví dụ, biên dạng của một cấu trúc đặt trên bộ giảm chấn lò xo.

Mô hình biên dạng tĩnh là trường hợp đặc biệt của mô hình biên dạng động lực

$$K \cdot x(t) = y(t), \quad (20)$$

Hệ thống tĩnh được đặc trưng bởi, trạng thái cân bằng mới được xác định thông qua một tải trọng cố định, $y(t) = const$.

Khi $x(t) = const$, chúng ta quay về mô hình đồng nhất hoặc mô hình động (Kinematic).

Trạng thái của đối tượng được mô tả thông qua tọa độ không gian của chúng với thời gian liên tục. Việc phân tích đối tượng chính là phân tích trạng thái không gian theo dòng thời gian.

Mô hình có tham số nhận dạng hệ thống chỉ qua thời gian, do đó hệ thống được xác định qua việc tổng hợp các tham số. Một phương trình vi phân là đủ trong trường hợp này.

Nếu hệ thống nhận dạng phụ thuộc vào thời gian và biến cục bộ (*local variation*), hệ thống được xác định bởi các tham số được phân phối (*distributed parameters*). Điều này dẫn đến các phương trình vi phân riêng phần. Nếu các phương trình vi phân này chỉ đại diện cho một khu vực hạn chế, các phương trình vi phân riêng phần có thể được thay thế bởi các phương trình vi phân thông thường, tuy nhiên, chỉ trong lĩnh vực hạn chế đó.

Lọc Kalman là công cụ ước lượng phổ quát nhất để xác định hệ thống. Ý tưởng cơ bản của lọc Kalman là: Một bên là lý thuyết mô hình hoá đối tượng dựa vào phương trình vi phân, dẫn tới hình thành phương trình hệ thống. Bên kia là các phép đo theo dõi hành vi của đối tượng, dẫn tới phương trình trị đo. Lọc Kalman kết hợp hai phương trình này theo phương pháp Bình phương nhỏ nhất, để từng bước điều chỉnh và cải thiện việc xác nhận hệ thống.

3.3.2. Mô hình phi tham số

Nếu không có cách nào có thể mô hình hoá được kết cấu hình học và cấu trúc vật lý của hệ thống, mối quan hệ giữa đầu vào và đầu ra có thể được xây dựng dựa trên phương pháp Hồi quy (*regression*), Phân tích tương quan (*correlation analysis*), Chuỗi thời gian (*time series*). Việc nhận dạng hệ thống có nghĩa là ước lượng các tham số của mô hình Hồi quy. Các tham số này có thể không có ý nghĩa vật lý. Do vậy, mô hình không có tham số được gọi là hộp đen. Có nghĩa là, hệ thống được nhận dạng chỉ dựa trên các phép đo, chứ không phải là một mô hình cơ học. Đó chỉ là dấu hiệu chứ không phải là một mô hình định hướng (*model orientated*).

Mô tả chung cho mô hình phi tham số là tập hợp các phương trình vi phân riêng phần. Nếu mô hình chỉ có một đầu vào duy nhất thì cũng chỉ có một đầu ra duy nhất, được biểu diễn bằng một phương trình vi phân thông thường thông qua phương pháp

$$a_q \frac{d^q x}{dt^q} + a_{q-1} \frac{d^{q-1} x}{dt^{q-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = b_p \frac{d^p y}{dt^p} + b_{p-1} \frac{d^{p-1} y}{dt^{p-1}} + \dots + b_1 \frac{dy}{dt} + b_0 y. \quad (21)$$

Dẫn tới mô hình ARMA (*auto regressive moving average*), đại diện cho phương pháp Chuỗi thời gian như sau:

$$x_k = a_1 x_{k-1} + a_2 x_{k-2} + \dots + a_q x_{k-q} + b_0 x_k + b_1 x_{k-1} + \dots + b_p x_{k-p}. \quad (22)$$

Các hệ số chưa biết (ẩn số) a_i và b_j là các tham số được ước tính trong một thủ tục xác định. Cận biên của các giá trị p và q đại diện cho bộ nhớ của hệ thống, tức là tại thời điểm t^q , hệ thống nhớ lại các sự kiện đã diễn ra trong quá khứ, có thể nhớ lại sự kiện mở đầu tại cận biên của nó.

Đặc trưng của mô hình phi tham số đó là, các phần tử của mô hình là một trạng thái của thực tại. Tùy thuộc vào các giá trị của p và q , mà các quá trình tự hồi quy và trung bình trượt có tạo ra được một cấu trúc vật lý có ý nghĩa hay không. Do vậy, phương pháp Chuỗi thời gian được cho vào hộp xám. Sự khác biệt giữa các hộp màu xám, màu đen hay hộp trắng phụ thuộc vào các tham số hoặc các cấu trúc vật lý mà mô hình xây dựng.

Mô hình ARMA bao gồm phần đệ quy và không đệ quy:

$$x_k = \sum_{i=1}^q a_i x_{k-i} + \sum_{j=0}^p b_j y_{k-j} \\ = R_k(x) + N_k(y) \quad (23)$$

khi $p = 0$ là mô hình tự hồi quy: Trị quan trắc x_k được coi là sự kết hợp tuyến tính giữa trị quan trắc trong quá khứ với hệ thống hiện thời y_k của đầu vào. Khi $q = 0$, mô hình trở nên không đệ quy. Hệ thống lúc đó là tổ hợp tuyến tính của quá khứ với đầu vào hiện tại. Hệ số b_j được coi là thành phần của phân tích hồi quy.

Đối với các trị quan trắc liên tục, chúng ta có phương trình (1). Trong trường hợp rời rạc, các mô hình này có thể được viết dưới dạng tổng của nhiều phương trình. Mô hình phi tham số có thể được ứng dụng cho nhiều hệ thống và quy trình.

Phân tích Chuỗi thời gian là một phương pháp nhận dạng hệ thống khá phổ biến trong mô hình phi tham số. Các thông tin quan trọng được tính toán trong miền thời gian, đó chính là các giá trị mong đợi (ước lượng) và hàm tự hiệp phương sai, thể hiện phương sai của trị quan trắc trong chuỗi dữ liệu có được. So sánh đầu vào và đầu ra của Chuỗi thời gian bằng việc tính toán hàm hiệp phương sai trị đo, ta nhận được thông tin về mối tương quan của chuỗi thời gian trước và sau khi thực hiện ARMA, xem xét việc hệ thống phản ứng thế nào khi thời gian bị trì hoãn.

Có thể ứng dụng biến đổi Fourier để chuyển đổi thời gian về miền tần số, biểu hiện qua phổ tần số, từ đó phát hiện các đặc trưng của một quá trình biến dạng. Ngày nay, các ứng dụng biến đổi sóng nhỏ (*Wavelets*) cũng được ứng dụng trong phân tích biến dạng hay chuyển dịch địa động. Các kỹ thuật phân tích mới như: Mạng Neural

nhân tạo, Fuzzy logic được thế giới ứng dụng cho một số mô hình phi tham số.

4. Kết luận

Nhận dạng hệ thống nhằm xác định tình trạng vật lý của một đối tượng biến dạng, trạng thái ứng suất hay mối quan hệ giữa ngoại lực với biến dạng. Khi mối quan hệ được thiết lập, các phương trình được sử dụng để phát triển cho mô hình dự đoán. Từ đó, chúng ta có được hiểu biết tốt hơn về cơ chế của biến dạng.

Mô hình dự báo biến dạng trong nhiều trường hợp, được phát triển bởi các chuyên gia bên ngoài ngành trắc địa. Lý do là sự hiểu biết về quá trình biến dạng liên quan tới các ngành khoa học toán, vật lý, cơ học, địa kỹ thuật.

Sự phát triển mô hình dự báo biến dạng cần phải được hỗ trợ và tăng cường, nhằm ứng phó với các biến đổi của thiên nhiên, dự báo trước các thảm họa, phát triển công nghệ giám sát môi trường liên tục, thời gian thực, giảm thiểu các rủi ro của thiên nhiên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Deformation Measurements Workshop hosted by the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 31 October - November 1, 1986.
- [2]. 5th Symposium hosted by the University of New Brunswick, Fredericton, N.B., CANADA, June 6-9, 1988.
- [3]. 6th Int. Symposium hosted by the University of Hannover, Hannover, GERMANY, February 24-28, 1992.
- [4]. Perelmuter Workshop on Dynamic Deformation Models hosted by the Technion Israel Inst. of Technology, Haifa, ISRAEL, August 29 - September 1, 1994.
- [5]. 12th Symposium hosted by the Technical University of Vienna, Baden, AUSTRIA, May 22-24, 2006.
- [6]. Mohinder S. Grewal and Angus P. Andrews, 2008, Kalman filtering Theory and Practice Using MATLAB, Third Edition, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada.

SUMMARY

Identification systems and deformation analysis

Dinh Xuan Vinh, *Hanoi University for Natural Resources and Environment*

Deformation monitoring traditional usual using machines geodetic and synthesis of measurement results, then charting deformation over time Observation. Data processing is viewed as an important adjustments. The calculation tool focuses on clarifying quality measurement and the handling errors. Deformation in the actual is influenced by many different effects. To analyze and compare the measurements with the deformation causes were not interested. The algorithms 'optimal estimation' and 'robust statistics' has been widely applied in the world. The model of deformation was established to analyze the environmental cause deformation, simultaneous trend forecasting of deformation in future, is the development direction of deformation research today. Articles mentioned system identification method and analysis of deformation, after researching application of Regression, Time Series, Kalman Filter models, simultaneously refer to the recent research achievements of scientists Chrzanowski (Canada), Kuhlmann (Germany), Proszynski (Poland), Welsch (Germany).

SO SÁNH KẾT QUẢ NỘI SUY TỌA ĐỘ VỆ TINH...

(*tiếp theo trang 89*)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đặng Nam Chinh, Đỗ Ngọc Đường, 2012. Định vị vệ tinh. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.
[2]. Đặng Nam Chinh, Nguyễn Gia Trọng, 2006. So sánh quỹ đạo vệ tinh GPS xác định theo lịch quảng bá và lịch chính xác. Báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 17, Đại học Mỏ - Địa chất.
[3]. Đặng Nam Chinh, Nguyễn Gia Trọng, 2010. Ảnh hưởng khúc xạ tầng đối lưu đến kết quả định vị bằng khoảng cách giả. Tạp chí Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, Hà Nội

[4]. Nguyễn Duy Đô, Nguyễn Gia Trọng, 2007. Xác định tọa độ tuyệt đối điểm định vị theo trị đo khoảng cách giả từ tệp RINEX. Tạp chí Địa chính, Hà Nội.

[5]. Nguyễn Gia Trọng, Nguyễn Thị Mai Anh, 2008. Nội suy tọa độ vệ tinh từ lịch vệ tinh chính xác sử dụng hàm Lagrange với số bậc khác nhau. Báo cáo Hội nghị khoa học lần thứ 18, Đại học Mỏ - Địa chất.

[6]. Sandra Verhagen, 2005. The GNSS integer ambiguities: estimation and validation. Delf.

SUMMARY

Compare the interpolation result of satellite coordinate from some of precise ephemeris and the influence to absolute positioning resolution.

Duong Van Phong, Nguyen Gia Trong, Pham Ngoc Quang

Hanoi University of Mining and Geology

The essence of satellite geodesy is the resolving baseline intersection in space at observable time with role as control data. To calculate satellite coordinate, we can use the broadcast ephemeris or precise ephemeris. We have three kinds of precise ephemeris: Ultra-rapid (IGU), Rapid (IGR) and Final (IGS) which depend on what time you receive them. This article show the result of comparing satellite coordinate and satellite's clock bias from the precise ephemeris which we presented above. Using Lagrange function to interpolate satellites coordinate at observable time, compare the interpolation results and the results of single point positioning after we used the precise ephemeris which was mentioned afore.

