



Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội:  
Các Khoa học Trái đất và Môi trường

Website: <https://js.vnu.edu.vn/EES>



## Xác định biến dạng của công trình xây dựng theo mô hình tham số ứng dụng lọc Kalman và mô hình phi tham số ứng dụng chuỗi thời gian

Đình Xuân Vinh\*, Lê Thị Nhung, Nguyễn Văn Quang

*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội,  
41A Phú Diễn, Cầu Diễn, Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 27 tháng 7 năm 2018

Chỉnh sửa ngày 23 tháng 8 năm 2018; Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 8 năm 2018

**Tóm tắt:** Biến dạng là một quá trình được hình thành từ nhiều nguyên nhân khác nhau, có những nguyên nhân chủ quan và cả những nguyên nhân khách quan do môi trường và biến đổi khí hậu. Tác động liên tục và bất thường của môi trường cùng với ứng suất nội bộ phát sinh trong bản thân công trình dẫn tới biến dạng phá hủy. Phân tích biến dạng vì thế cần một mô hình hệ thống để nhận dạng và dự báo ảnh hưởng tới an toàn của công trình. Bài báo đã ứng dụng lý thuyết nhận dạng hệ thống của Heuncke và Welsch để phân tích dữ liệu đo biến dạng của tòa nhà CT3B (mô hình tham số - lọc Kalman - cho kết cấu đã thiết kế), phân tích dữ liệu đo biến dạng của khu nhà thấp tầng (mô hình phi tham số - chuỗi thời gian - cho công trình trên nền đất yếu không thể khảo sát toàn diện) tại khu đô thị Văn Quán, Hà Nội. Kết quả phân tích đã cung cấp cho đơn vị tư vấn thiết kế giải pháp xử lý biến dạng công trình xây dựng.

**Từ khóa:** Biến dạng, mô hình tham số và phi tham số, lọc Kalman, chuỗi thời gian.

### 1. Đặt vấn đề

Quan trắc biến dạng có tầm quan trọng lớn trong nhiều hoạt động liên quan đến kỹ thuật khảo sát. Các công trình xây dựng cần được theo dõi trong suốt thời gian xây dựng và sử dụng của chúng; các hoạt động của con người cũng là nguyên nhân gây ra chuyển dịch trên bề mặt đất, ví dụ như lún do khai thác mỏ, khai thác dầu hoặc nước ngầm, xây dựng các hồ

chứa lớn. Cùng với tác động của môi trường và hiện tượng biến đổi khí hậu, mối quan tâm nghiên cứu về chuyển dịch và biến dạng ngày càng tăng.

Lý thuyết thống kê rất phát triển trong Thế kỷ 20, hầu hết chúng được ứng dụng trong kinh tế học và các khoa học cơ bản. Biến dạng công trình và xử lý số liệu quan trắc có vận dụng được lý thuyết thống kê hay không? Trong khi ngành Trắc địa hầu như chỉ sử dụng phương pháp số bình phương nhỏ nhất với bài toán bình sai để đưa ra lời giải. Như vậy có đáp ứng được yêu cầu của xã hội trước các nguy cơ và rủi ro?

\* Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-904569982.

Email: [dxvinh@hnmre.edu.vn](mailto:dxvinh@hnmre.edu.vn)

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4274>

Giới hạn của lý thuyết thống kê đối với ngành Trắc địa là gì?

Mô hình hệ thống là sự kết hợp giữa kiến thức toán và cơ học vật lý nhằm nhận dạng đối tượng để biểu diễn chúng dưới dạng phương trình vi phân hoặc hàm số toán học. Mặt khác, hiện tượng biến dạng theo thời gian được phân loại căn cứ trên chuyển động của đối tượng và lực tác động. Bài báo thảo luận hai thực nghiệm mà biến dạng là hàm số của lực tác động. Đó là mô hình biến dạng tĩnh và mô hình biến dạng động lực, hay còn gọi chung là mô hình nhân quả: “nhân” ở đây là bức xạ mặt trời đối với công trình CT3B và nền đất yếu đối với khu nhà thấp tầng Văn Quán, “quả” là hiện tượng biến dạng đã quan trắc được theo thời gian, bằng các kỹ thuật đo khác nhau.

Lọc Kalman đã được chứng minh là phương pháp ước lượng tối ưu [1], được áp dụng để phân tích mô hình biến dạng có tham số. Hệ thống kết cấu hình học và cấu trúc vật lý của tòa nhà CT3B đã xác định theo thiết kế xây dựng. Bức xạ nhiệt mặt trời tại vùng nhiệt đới được đánh giá có tác động lớn tới cấu trúc công trình xây dựng. Trong phạm vi hẹp có thể ảnh hưởng tới an toàn vận hành của công trình, do nhiệt độ biến động ngày – đêm gây co giãn không đều các thành phần tổ hợp lên công trình xây dựng. Kết quả phân tích biến dạng tòa nhà

CT3B bằng lọc Kalman được cung cấp cho Tư vấn thiết kế để đánh giá mức an toàn vận hành công trình xây dựng.

Chuỗi thời gian là mô hình phi tham số tiêu biểu [2] tập hợp các phương trình vi phân riêng phần đại diện cho quá trình tự hồi quy và trung bình trượt tích hợp, nhằm mô tả quá trình biến dạng của một đối tượng khi chịu tác động của ngoại lực, mà ngoại lực ấy không thể xác định được cấu trúc vật lý hay kết cấu hình học. Nền đất yếu ở Văn Quán mặc dù được khoan khảo sát địa chất, nhưng điểm khảo sát rất thưa và không thể đại diện cho toàn bộ nền đất khu vực, ngoài ra còn phải tính đến khả năng đánh giá sai địa chất nền đất yếu khi thiết kế công trình xây dựng. Kết quả phân tích theo chuỗi thời gian khu nhà thấp tầng đưa ra cảnh báo về mức lún gia tăng liên tục, gây biến dạng trên diện rộng, yêu cầu Chủ đầu tư phải gia cố nền đất yếu để đảm bảo an toàn cho công trình xây dựng.

## 2. Tổng quan

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, Heunecke [3], các mô hình biến dạng được phân loại như trong bảng 1.

Bảng 1. Phân loại các mô hình biến dạng

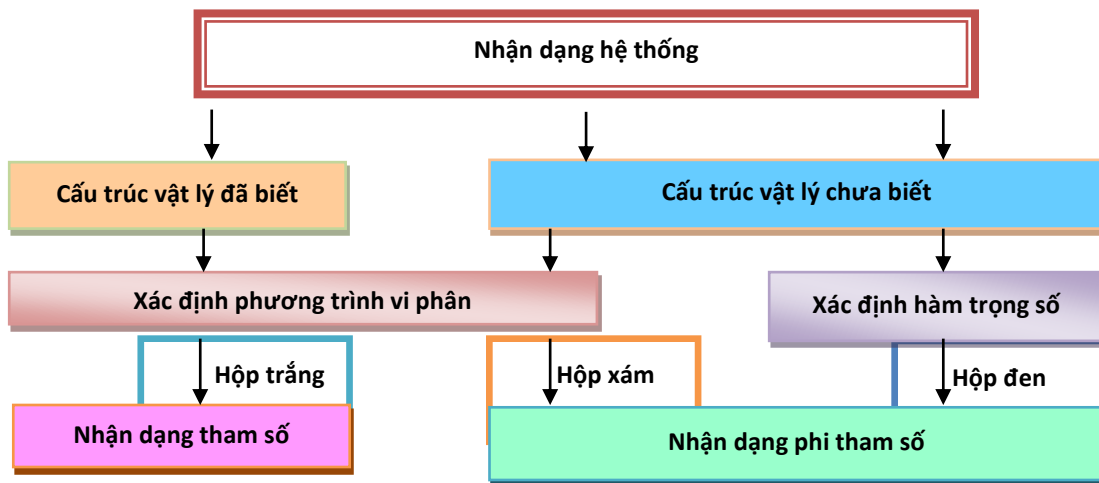
|                                   |       | Biến dạng là hàm số của lực tác động |                                      |
|-----------------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                                   |       | Không                                | 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) |
|                                   |       | <b>Mô hình hình học</b>              | <b>Mô hình nhân quả</b>              |

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 [4]. Nhận dạng tham số cho ta mô hình tham số. Nhận dạng phi tham số cho ta mô hình phi tham số.

### 2.1. Mô hình tham số

Phương trình cơ bản của mô hình hệ thống động lực là phương trình vi phân tuyến tính động [3]:

$$[K \ D \ M] \begin{bmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \\ \ddot{x}(t) \end{bmatrix} = y(t). \quad (1)$$



Hình 1. Phương pháp nhận dạng hệ thống [3].

với  $y(t)$  là đầu vào của hệ thống, bao gồm các lực tác động có thể cả nhiễu;  $x(t)$  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 như, biến dạng của một cấu trúc đặt trên bộ giảm chấn lò xo.

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

$$K \cdot x(t) = y(t), \quad (2)$$

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).

Phương pháp ước lượng tối ưu là quá trình sáng tạo qua nhiều thế kỷ bởi các nhà khoa học như Galileo, Fermat, Pascal, Legendre, Gauss, Markov, Fisher, Wiener, Kolmogorov, Kalman, Bucy, Carlson [1]. Phương pháp lọc Kalman được thế giới đánh giá khả dụng trong nhiều lĩnh vực, trong đó có quan trắc biến dạng. Cankut và Muhammed Sahin (2000) đã đề xuất quan trắc biến dạng tức thời bằng công nghệ GPS và sử dụng lọc Kalman [5]. Antti Lange (2003) đã sử dụng lọc Kalman để ước lượng tối

ưu trị đo GPS với đề xuất Lọc Kalman Nhanh (FKF) trong quan trắc vị trí điểm trên công trình [6]. Lihua Li và Heiner Kuhlmann (2008) với đề xuất lọc Kalman kết hợp lọc định dạng [7] nhằm nâng cao độ chính xác khi quan trắc biến dạng các vùng đất. Yam Khoon Tor (2003) đã đề xuất ứng dụng lọc Kalman nhằm quan trắc biến dạng thời gian thực sử dụng thiết bị tự động hóa [8]. Tại Việt Nam, các ứng dụng lọc Kalman trong quan trắc biến dạng mới chỉ ở bước đầu, bằng ứng dụng lọc Kalman mở rộng các tham số để nâng cao độ chính xác ước lượng biến dạng công trình [9].

## 2.2. Mô hình phi tham số

Nếu không có cách nào để 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, 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

$$a_q \frac{d^q x}{dt^q} + a_{q-1} \frac{d^{q-1} x}{dt^{q-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = b_p \frac{d^p y}{dt^p} + b_{p-1} \frac{d^{p-1} y}{dt^{p-1}} + \dots + b_1 \frac{dy}{dt} + b_0 y \quad (3)$$

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

$$x_k = a_1 x_{k-1} + a_2 x_{k-2} + \dots + a_q x_{k-q} + b_0 x_k + b_1 x_{k-1} + \dots + b_p x_{k-p} \quad (4)$$

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, 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 [3]:

$$x_k = \sum_{i=1}^q a_i x_{k-i} + \sum_{j=0}^p b_j y_{k-j} \\ = R_k(x) + N_k(y), \quad (5)$$

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:

$$y(t) = \int_0^{\infty} g(\tau) \cdot x(t - \tau) d\tau, \quad (6)$$

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:

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  $y(t)$ ;  $\tau$  là khoảng thời gian phản hồi hay còn gọi là độ trễ. Mỗi dạng vật liệu khác nhau hay 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 độ trễ.

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 của 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 trí tuệ nhân tạo, logic mờ được ứng dụng cho một số mô hình phi tham số.

Như đã phân tích trên đây, nhận dạng hệ thống cần kết hợp phân loại mô hình biến dạng để xác định phương pháp phân tích cho đúng. Đối với công trình xây dựng có kết cấu hình học và cấu trúc vật lý đã biết (ví dụ như nhà cao tầng có móng cọc đóng tới tầng đá gốc). Dữ liệu biến dạng theo thời gian có thể xác định được phương trình vi phân, đó là một hộp trắng nhận dạng có tham số. Phương pháp lọc Kalman là thích hợp để ước lượng tối ưu giá trị biến dạng. Đối với công trình thấp tầng xây dựng trên nền đất yếu, bản thân kết cấu công trình không tạo ra ứng suất cục bộ xấu. Nền đất yếu không được khoan khảo sát toàn diện kết hợp hệ số an toàn kết cấu và giải pháp kết cấu móng đã làm cho toàn bộ công trình (hệ thống) bị ảnh hưởng nghiêm trọng. Hệ thống này được nhận diện bằng các phép đo phản ánh nhiều nguyên nhân tác động tới nền đất như hệ số rỗng, mực nước ngầm, độ sâu của móng nhà, kết cấu móng và tải trọng tập trung. Một hệ thống như vậy được gọi là hộp đen, trường hợp có thể xác định được phương trình vi phân thì đó là hộp xám. Phương pháp chuỗi thời gian được đề xuất vào những năm 70 của thế kỷ 20 thích hợp để ước lượng tối ưu và dự báo xu

hướng biến dạng loại công trình này. Lún là một trường hợp cá biệt của biến dạng nói chung.

### 3. Phương pháp

#### 3.1. Phương pháp lọc Kalman phân tích biến dạng do bức xạ nhiệt mặt trời

Phép lọc Kalman là một công cụ quan trọng để phân tích biến dạng từ những thông tin tổ hợp trên sự vận động của vật thể và chất lượng phép đo. Phương trình trị đo và phương trình hệ thống được tổng hợp trong các thuật toán đối với ước lượng và tối ưu hoá vector trạng thái  $x$ , chứa đựng những tham số mô tả động thái biến dạng. Phương trình hệ thống của lọc Kalman đã được giới thiệu trong [9] và thuật toán được ứng dụng để xác định phản ứng của công trình đối với bức xạ nhiệt mặt trời tại vùng nhiệt đới. Cụ thể tại khu đô thị Văn Quán, Hà Đông, Hà Nội.

Thực hiện lọc Kalman bậc 1, phương trình ma trận cơ sở ban đầu [9, 10]:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_k \\ \hat{y}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_k^x \\ \Phi_k^y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{k-1} \\ \hat{y}_{k-1} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Phương trình trị đo cập nhật của lọc Kalman bậc 1:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_k \\ \hat{v}_{xk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{k-1} \\ \hat{v}_{x(k-1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{x1k} \\ K_{x2k} \end{bmatrix} \left[ z_{xk} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{k-1} \\ \hat{v}_{x(k-1)} \end{bmatrix} \right], \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{y}_k \\ \hat{v}_{yk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{k-1} \\ \hat{v}_{y(k-1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{y1k} \\ K_{y2k} \end{bmatrix} \left[ z_{yk} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{y}_{k-1} \\ \hat{v}_{y(k-1)} \end{bmatrix} \right]. \quad (9)$$

Ký hiệu:  $\hat{x}_k, \hat{y}_k$  là ước lượng Kalman trị đo hướng  $x$  và trị đo hướng  $y$ ;  $K_{xk}, K_{yk}$  là hiệu ích của phương trình Kalman đối với hướng  $x$  và hướng  $y$ ;  $z_{xk}, z_{yk}$  là trị đo GPS của hướng  $x$  và hướng  $y$ ;  $\hat{v}_{xk}, \hat{v}_{yk}$  là ước lượng vận tốc trên hướng  $x$  và hướng  $y$ ;  $T_s = 30$  giây.

Hiệu ích  $K_{xk}, K_{yk}$  của phương trình Kalman được tính theo thứ tự trị đo (thời điểm đo) và hiệp phương sai tiên nghiệm  $P$ , hiệp phương sai hậu nghiệm  $M$  ([2], [3]) tại thời điểm tính.

Các tác giả đã thực nghiệm quan trắc biến dạng do bức xạ nhiệt mặt trời bằng GPS đối với

nhà cao tầng tại khu đô thị mới Văn Quán, Hà Nội. Thời gian thu tín hiệu là gần 24 giờ liên tục, bắt đầu từ 7 giờ 15 phút sáng đến 6 giờ 45 phút sáng hôm sau. Thiết bị thu tín hiệu GPS gồm 3 máy TRIMBLE 4000 SSI, anten TRM 39105.00 Compact L1/L2 WGP. Đặt góc ngưỡng  $10^0$ , tần suất lấy mẫu 30 giây. Điểm kiểm tra đặt trên nóc nhà 21 tầng (khoảng 68 m so với nền đường nhựa xung quanh) CT3B. Hai điểm thu GPS còn lại (VAN1 và VAN2) đặt ở mặt đất, tạo thành tam giác có các cạnh gần bằng nhau, cách nhau khoảng 400 m. Tiến hành đo nhiệt độ không khí tại điểm máy thu trong quá trình thực nghiệm.



Hình 2. Vị trí đặt máy thu tại CT3B cao 21 tầng đô thị Văn Quán, Hà Nội

Sau khi trút dữ liệu đo vào máy tính, tiến hành phân tích số liệu 2853 chu kỳ đo (trị đo).

Theo thống kê, tỷ số Ratio cao nhất tại mẫu 941 là 743.9, và tỷ số Ratio nhỏ nhất tại mẫu 1025 là 1.7; Phương sai chuẩn lớn nhất tại mẫu 1025 là 119.018, các mẫu 1026, 1894, 1895 cũng có phương sai chuẩn lớn; Phương sai chuẩn nhỏ nhất tại mẫu 960 là 0.01. Tỷ số Ratio càng cao và phương sai chuẩn càng nhỏ thì độ tin cậy của kết quả đo càng cao. Tỷ số Ratio tại mẫu 1025 và phương sai chuẩn tại mẫu 1025, 1026, 1894, 1895 cho thấy cấu hình vệ tinh GPS trên bầu trời vào thời điểm đó rất xấu.

Theo thống kê dữ liệu quan trắc, có 2827 trị đo có số liệu trên tổng số 2853 trị đo, tức là có 26 trị đo không có tín hiệu vệ tinh (102, 298, 508, 526, 670, 788, 912, 942, 1107, 1336, 1442, 1602, 1603, 1604, 1605, 1740, 1741, 1743, 1802, 2028, 2152, 2395, 2460, 2494, 2779, 2850).

Như đã phân tích trước đây trong [9]. Lọc Kalman phân tích trạng thái không gian của đối tượng theo thời gian. Đó là sự kết hợp giữa mô hình hóa đối tượng dựa vào phương trình vi phân và các trị đo theo dõi hành vi đối tượng. Một ưu điểm của lọc Kalman là có thể xác nhận trị đo chứa sai số thô, sai số hệ thống và hiệu chỉnh hành vi của đối tượng theo quỹ đạo trước

đó [10]. Tổng hợp 2853 trị đo trong gần 24 giờ được mô tả trong hình 5 và 6.

### 3.2. Phương pháp chuỗi thời gian phân tích lún khu nhà thấp tầng

Phương pháp thống kê toán học theo chuỗi thời gian do George E.P. Box và Gwilym M. Jenkins đề xuất vào đầu những năm 1970 nhằm phân tích, dự báo và kiểm soát chuỗi dữ liệu quan sát theo thời gian, trên cơ sở bao quát các tình huống tự hồi quy (AR), sai phân và trung bình trượt (MA) [2].

Tại Hội nghị Quốc tế IAGChuyên đề về Quan trắc biến dạng lần thứ 13, năm 2005, tại Tây Ban Nha, phương pháp chuỗi thời gian được đề xuất nghiên cứu và ứng dụng trong phân tích biến dạng [11]. Tuy nhiên, từ ý tưởng ban đầu cho một mô hình dự báo kinh tế nếu áp dụng cho lĩnh vực trắc địa thì còn nhiều vấn đề phải giải quyết. Vấn đề thuật ngữ khi chuyển sang tiếng Việt cũng đã được nhiều tác giả thống nhất [12-14] bởi vì đây là một quá trình. Thuật ngữ “AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA)” được hiểu là “Tự hồi quy tích hợp Trung bình trượt”, bao gồm 3 quá trình: Tự hồi quy, sai phân và trung bình trượt.

Lún công trình xây dựng trong khu đô thị nhận được sự quan tâm của toàn xã hội và các nhà khoa học. Các nhà cao tầng (từ 10 tầng) thường được thiết kế móng cọc khoan nhồi

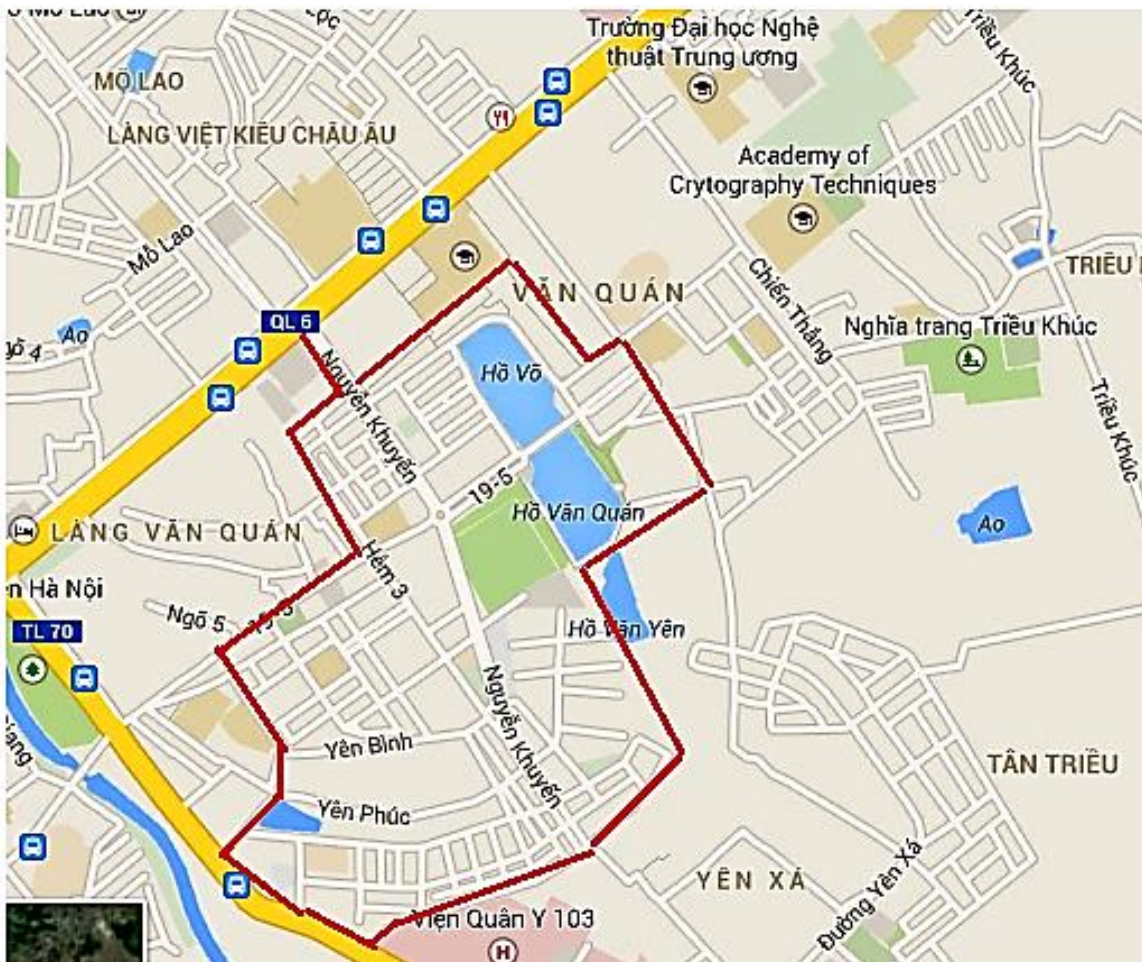
hoặc cọc ép, cọc đóng tới tầng đá gốc. Các nhà thấp tầng thường được xây dựng theo khu phố, theo cụm dân cư, có móng băng hoặc móng bè, thường gia cố móng bằng cọc tre sau khi nạo vét hết tầng đất san lấp phía trên mặt. Đặc điểm chung của khu vực thấp tầng là chịu ảnh hưởng bởi tầng đất yếu gần mặt đất do tác động của lượng mưa, khai thác nước ngầm, hoạt động giao thông và xây dựng, hiện tượng lún xảy ra trên diện rộng. Các tác giả đã quan trắc và thu thập dữ liệu trong 03 năm liên tục (2005 - 2008). Dữ liệu quan trắc là bí mật thương mại

và sau 10 năm có thể công bố, khi các hoạt động thương mại không bị ảnh hưởng.

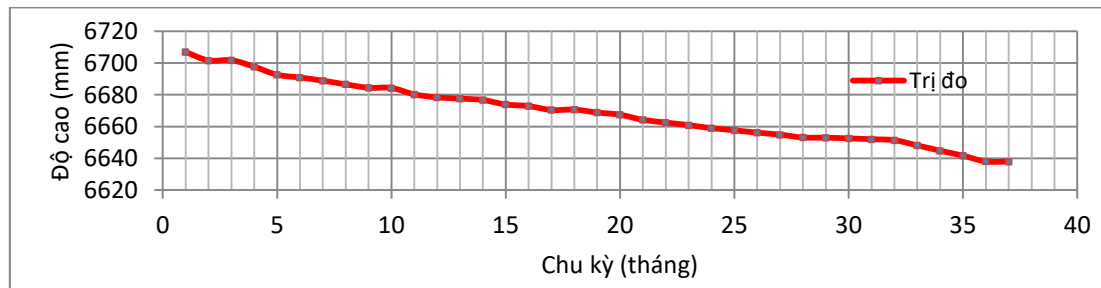
Quá trình thực hiện phân tích chuỗi thời gian được chia làm bốn bước.

*Bước 1. Thu thập dữ liệu.* Dữ liệu đo gồm 36 chu kỳ, mỗi chu kỳ cách nhau một tháng. Quá trình đo lún được tiến hành đều đặn vào ngày đầu tháng, có vài chu kỳ đo lệch nhưng không quá 5 ngày. Quy trình kỹ thuật theo quy định TCXDVN 271:2002.

Độ lún của một số điểm đặc trưng được thống kê trong hình 4.



Hình 3. Khu đô thị Văn Quán, Hà Đông, Hà Nội được theo dõi lún



Hình 4. Đồ thị độ lún thực tế trong 36 tháng.

Độ cao trung bình ban đầu là 6706,89 mm, độ cao trung bình quan trắc được ở chu kỳ cuối là 6638,05 mm. Tổng độ lún quan trắc được là 68,84 mm.

*Bước 2.* Phân tích tự tương quan (ACF) và tự tương quan riêng phần (PACF) của chuỗi dữ liệu với độ trễ 20 theo [15]. Hệ số chặn được tính theo công thức:

$$-1,96 \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \leq r_k \leq 1,96 \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

Bên cạnh đó, ta thực hiện kiểm định mức độ tương quan trong chuỗi theo phân phối  $\chi^2$  (**Q-Stat**) để xem chuỗi có hoàn toàn ngẫu nhiên hay không; thực hiện kiểm định xác suất (**Prob**) xem có tham số nào vô nghĩa hay không. Ta có kết quả ở bảng 2.

Thuộc tính tĩnh của chuỗi thời gian được hiểu là không có sự thay đổi trong chuỗi, mà quá trình của chuỗi chỉ là những giá trị của

quán tính. Các dao động của chuỗi là thay đổi xung quanh một giá trị trung bình theo thời gian. Như vậy, thuộc tính tĩnh của chuỗi bao gồm hai khái niệm, tĩnh theo trung bình và tĩnh theo phương sai.

Nhận xét, chuỗi thời gian có 8 hệ số ACF đầu tiên vượt quá ngưỡng giới hạn (theo công thức 10), từ hệ số thứ 14 trở đi, ACF chuyển đổi dấu. Nhìn chung, đồ thị có tính tĩnh rất chậm. Cột PACF cho thấy chỉ có hệ số đầu tiên (trễ 1) là có ý nghĩa, các hệ số khác xấp xỉ 0, chuỗi thời gian có tính tĩnh khá tốt.

Tiếp theo, tính chuỗi với sai phân bậc một với kết quả thể hiện trong bảng 3. Theo đó, có thể thấy các hệ số của chuỗi gần 0. Nói chung đây là một chuỗi tĩnh và có thể dùng chuỗi sai phân bậc một này để dự báo xu hướng của chuỗi trong tương lai [12].

Bảng 2. Thống kê ACF và PACF chuỗi dữ liệu với độ trễ 20

| No | ACF    | PACF    | Q-Stat   | Prob  | No | ACF     | PACF    | Q-Stat   | Prob  |
|----|--------|---------|----------|-------|----|---------|---------|----------|-------|
| 1  | 0.8903 | 0.8903  | 30.9809  | 0.000 | 11 | 0.1407  | -0.0194 | 137.4831 | 0.000 |
| 2  | 0.7967 | 0.0198  | 56.5224  | 0.000 | 12 | 0.0815  | -0.0348 | 137.8618 | 0.000 |
| 3  | 0.7005 | -0.0602 | 76.8615  | 0.000 | 13 | 0.0214  | -0.0612 | 137.8891 | 0.000 |
| 4  | 0.6159 | -0.0013 | 93.0767  | 0.000 | 14 | -0.0381 | -0.0583 | 137.9796 | 0.000 |
| 5  | 0.5475 | 0.0332  | 106.3062 | 0.000 | 15 | -0.0903 | -0.0205 | 138.5106 | 0.000 |
| 6  | 0.4793 | -0.0354 | 116.7832 | 0.000 | 16 | -0.1414 | -0.0499 | 139.8774 | 0.000 |
| 7  | 0.4103 | -0.0497 | 124.7254 | 0.000 | 17 | -0.1815 | -0.0122 | 142.2487 | 0.000 |
| 8  | 0.3419 | -0.0399 | 130.4355 | 0.000 | 18 | -0.2245 | -0.0647 | 146.0807 | 0.000 |
| 9  | 0.2737 | -0.0429 | 134.2319 | 0.000 | 19 | -0.2617 | -0.0324 | 151.5915 | 0.000 |
| 10 | 0.2030 | -0.0660 | 136.3999 | 0.000 | 20 | -0.3012 | -0.0675 | 159.3495 | 0.000 |



Bảng 3. Thống kê ACF và PACF chuỗi dữ liệu với sai phân bậc một, độ trễ 20.

| No | ACF     | PACF    | Q-Stat | Prob  | No | ACF     | PACF    | Q-Stat  | Prob  |
|----|---------|---------|--------|-------|----|---------|---------|---------|-------|
| 1  | -0.0065 | -0.0065 | 0.0016 | 0.968 | 11 | -0.0530 | 0.0403  | 6.2130  | 0.859 |
| 2  | 0.1132  | 0.1131  | 0.5042 | 0.777 | 12 | -0.0082 | 0.0022  | 6.2168  | 0.905 |
| 3  | 0.1584  | 0.1618  | 1.5194 | 0.678 | 13 | 0.0824  | -0.0240 | 6.6169  | 0.921 |
| 4  | 0.0356  | 0.0287  | 1.5724 | 0.814 | 14 | -0.1031 | -0.1002 | 7.2730  | 0.924 |
| 5  | -0.2016 | -0.2461 | 3.3274 | 0.650 | 15 | 0.0571  | 0.1061  | 7.4838  | 0.943 |
| 6  | 0.0630  | 0.0212  | 3.5046 | 0.743 | 16 | -0.0672 | -0.1078 | 7.7919  | 0.955 |
| 7  | 0.0230  | 0.0806  | 3.5290 | 0.832 | 17 | 0.0330  | 0.0215  | 7.8704  | 0.969 |
| 8  | -0.2220 | -0.1746 | 5.8921 | 0.659 | 18 | -0.1470 | -0.1159 | 9.5168  | 0.947 |
| 9  | -0.0065 | -0.0340 | 5.8942 | 0.750 | 19 | 0.0748  | 0.0614  | 9.9697  | 0.954 |
| 10 | 0.0569  | 0.0598  | 6.0617 | 0.810 | 20 | -0.0922 | -0.0323 | 10.7036 | 0.954 |

Bước 3. Phân tích dữ liệu trên chuỗi nguyên sơ. Các tham số của phương trình tự hồi quy và phương trình trung bình trượt được ước lượng theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất, áp dụng kỹ thuật tìm kiếm lặp dựa vào hàm tổng các bình phương để thu được tham số cuối cùng, trên cơ sở cực tiểu hóa tổng bình phương độ lệch (số hiệu chỉnh) [10, 12]. Tương ứng với kết quả của mô hình là các sai số của mô hình, sai số trung bình từng trị quan trắc và giới hạn trên, giới hạn dưới của khoảng dự báo.

Phương trình tự hồi quy (AR-1) cho chuỗi nguyên sơ như sau [16]:

$$(Y_t)^{AR(1)} = -82,1994 + 0,9747Y_{t-1} \quad (11)$$

Trong đó, trị số (-82,1994) được hiểu là hệ số chặn; trị số (0,9747) được hiểu là độ dốc hay

hệ số góc; biến  $Y_{t-1}$  được ước lượng qua mối quan hệ với các biên trễ 01 thời đoạn.

Quá trình trung bình trượt là sử dụng các sai số trong quá khứ để dự báo sai số tương lai. Phương trình MA-1 cho chuỗi nguyên sơ như sau:

$$(Y_t)^{MA(1)} = 77,8244 + 1,0580U_t + 0,9147U_{t-1} \quad (12)$$

Trong đó, trị số (77,8244) được hiểu là hệ số chặn; trị số (1,0580) và (0,914) là các tham số trung bình trượt; biến  $U_t$  và  $U_{t-1}$  là thành phần sai số ở chuỗi nguyên sơ và trễ 01 thời đoạn. Phương trình tổng hợp tự hồi quy và trung bình trượt (ARMA-1,1):

$$(Y_t)^{ARMA(1,1)} = 6670,087 + 77,8244 - 82,1994 + 1,0580U_t + 0,9747Y_{t-1} + 0,9147U_{t-1} \quad (13)$$

Bước 4. Phân tích dữ liệu trên chuỗi sai phân bậc một. Mô hình ARMA được xây dựng là mô hình bất tĩnh, được biết thông qua phân tích tự tương quan ACF và tự tương quan riêng phần PACF. Mô hình như vậy chưa thể sử dụng để ước lượng tương lai. Do vậy, cần phải lấy sai

phân các phương trình trên. Phương trình AR (1,1) cho chuỗi sai phân bậc một như sau:

$$(Y'_t)^{AR(1,1)} = -82,8354 - 0,8868Y'_{t-1} \quad (14)$$

Phương trình MA (1,1) cho chuỗi sai phân bậc một như sau:

$$(Y'_t)^{MA(1,1)} = 76,6013 + 0,9054U'_t + 0,1089U'_{t-1} \quad (15)$$

Phương trình tổng hợp ARIMA (1,1,1) như sau:

$$(Y'_t)^{ARIMA(1,1,1)} = 6670,087 + 76,6013 - 82,8354 + 0,9054U'_t - 0,8868Y'_{t-1} + 0,1089U'_{t-1} \quad (16)$$

Các thông số đánh giá độ chính xác của trị quan trắc và độ tin cậy của mô hình là: sai số chuẩn của mô hình, độ lệch chuẩn của dữ liệu đầu vào so với mô hình, giá trị kiểm định chuỗi dữ liệu theo phân phối T và phân phối F, trị ước lượng xác suất nhất đối với từng trị quan trắc theo mô hình, bao gồm cả sai số trung phương các giá trị ước lượng [10].

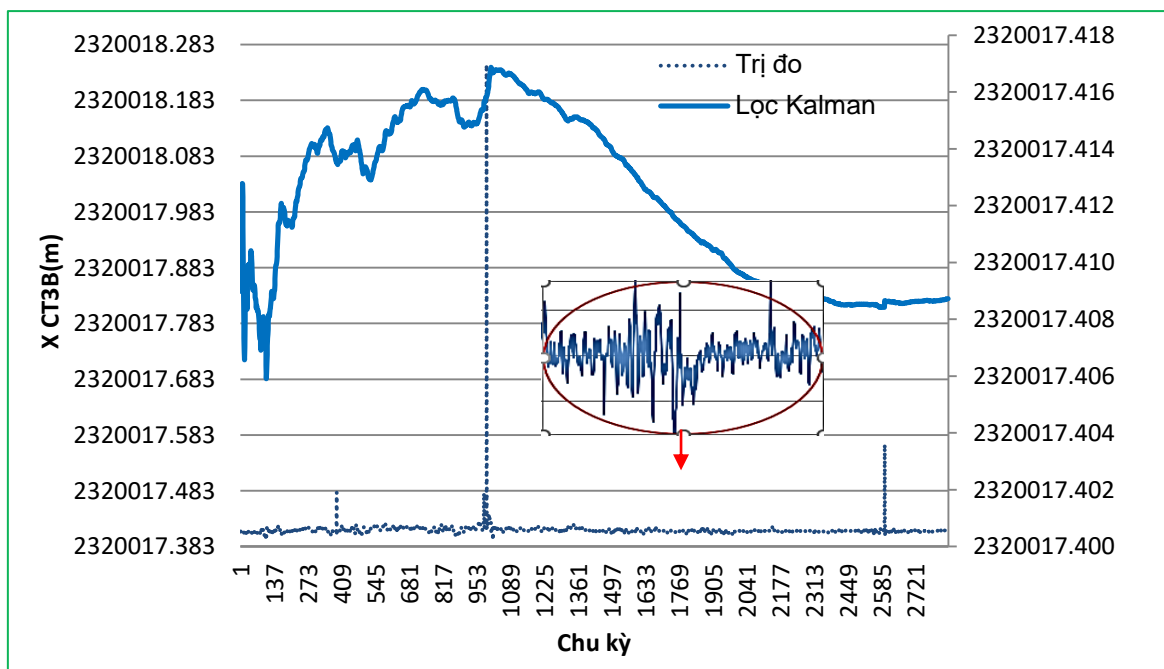
Các tác giả đã tính toán tất cả các phương án với các giá trị tự hồi quy, trung bình trượt đối với chuỗi chưa lấy sai phân và đối với chuỗi

đã lấy sai phân, theo các mô hình sau ARMA (1,2); ARMA (2,1); ARIMA (1,1,2); ARIMA (2,1,1); ARIMA (1,2,1); ARIMA (2,2,1); ARIMA (1,2,2). Các mô hình thử nghiệm được kiểm tra theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, mô hình ARIMA(1,1,1) là phù hợp nhất với đường trị đo khisai số trung phương tổng hợp của mô hình là  $\sum_{1}^{36}(Y'_t - \hat{Y}_t)^2 = \min = 0,7025\text{mm}$ .

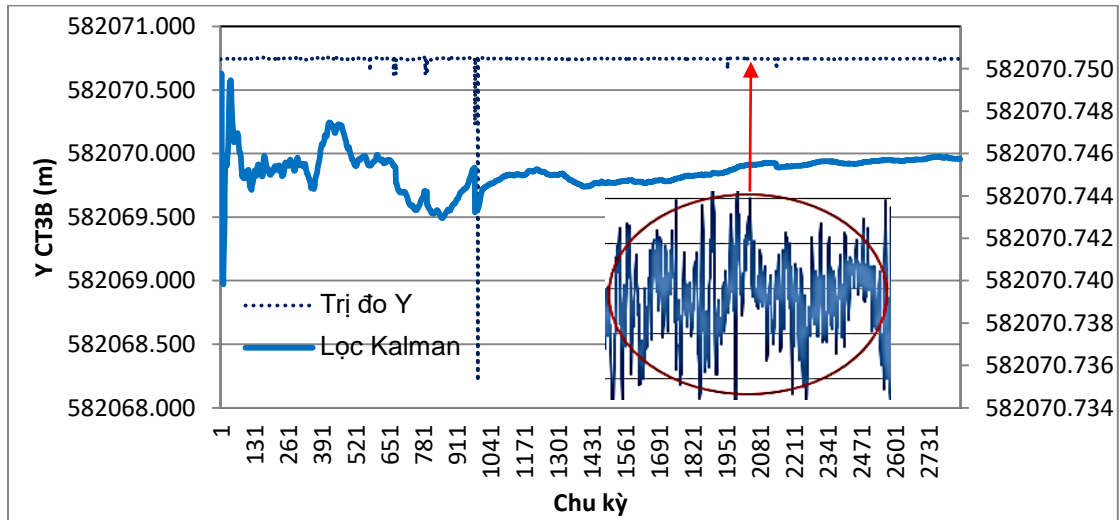
#### 4. Kết quả thực nghiệm

##### 4.1. Phân tích chuyển động của công trình theo bức xạ nhiệt mặt trời

Chuyển động của công trình theo bức xạ nhiệt mặt trời (hình 5 và 6) được tích hợp cả trị đo và trị lọc Kalman. Đường cong lọc Kalman được tách riêng với độ phóng đại 11 lần và trục tọa độ đặt bên phải để dễ nhận biết.



Hình 5. Thành phần tọa độ X tại CT3B, trị đo và lọc Kalman.



Hình 6. Thành phần tọa độ Y tại CT3B, trị đo và lọc Kalman.

Có tổng cộng 2853 tín hiệu GPS được phân tích. Trong đó có những trị đo kỳ dị với phương sai rất lớn (388, 993). Lý do gồm sai số do khúc xạ tầng điện ly và trễ tín hiệu tầng đối lưu, sai số do phân bố cấu hình vệ tinh tại điểm quan trắc (DOP), trượt chu kỳ,...

Lọc Kalman đã hiệu chỉnh thành công các trị đo kỳ dị và phản ánh trung thực quỹ đạo chuyển động của công trình dưới bức xạ mặt trời.

Sai số trung phương của mô hình ước lượng được trình bày trong bảng 4 cho thấy 11 trị ước lượng ban đầu có sai số 2,9763 mm, 25 trị ước lượng sau có sai số 0,7025 mm [16].

Mô hình ARIMA đã đánh giá quá trình biến dạng của khu nhà thấp tầng do ảnh hưởng của nền đất yếu. Nhân tố đất nền đóng vai trò quan trọng không ngờ đối với công trình xây dựng, bởi vì ít người muốn đầu tư cho phần không thấy được của một công trình.

#### 4.2. Phân tích dữ liệu chuỗi thời gian quan trắc lún khu nhà thấp tầng

Bảng 4. Sai số trung phương 36 trị ước lượng

| STT | SSTP (mm) | STT | SSTP (mm) | STT | SSTP (mm) |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| 1   | 8.270224  | 13  | 0.747626  | 25  | 0.486098  |
| 2   | 5.106284  | 14  | 0.96833   | 26  | 0.551769  |
| 3   | 0.493488  | 15  | 1.688828  | 27  | 0.457622  |
| 4   | 3.946755  | 16  | 0.573541  | 28  | 0.588142  |
| 5   | 2.86295   | 17  | 1.351591  | 29  | 0.160877  |
| 6   | 0.868233  | 18  | 0.275011  | 30  | 0.373138  |
| 7   | 1.612044  | 19  | 1.312059  | 31  | 0.352314  |
| 8   | 1.670971  | 20  | 0.712057  | 32  | 0.353019  |
| 9   | 1.371373  | 21  | 1.423505  | 33  | 1.083419  |
| 10  | 0.665095  | 22  | 0.483848  | 34  | 0.578699  |
| 11  | 2.895999  | 23  | 0.669969  | 35  | 0.445821  |
| 12  | 0.776263  | 24  | 0.688166  | 36  | 0.534996  |

## 5. Thảo luận

### 5.1. Mô hình tham số, lọc Kalman

Phân tích 2853 chu kỳ quan trắc biến dạng công trình bởi bức xạ nhiệt mặt trời, ta có nhận xét sau: Đối với hướng Y (hướng đông), 35 chu kỳ đầu, công trình có biến dạng 10 mm với phương sai  $3.10^{-9}$  m. Từ chu kỳ 982 (lúc 15 giờ 20 phút múi giờ GMT+7), công trình biến dạng với dao động từ 2 đến 4 mm. Sau đó, công trình tương đối ổn định. Hình 7 là biến dạng tổng hợp của điểm quan trắc trên nóc nhà CT3B Văn Quán.

Đối với hướng X (hướng bắc), 104 chu kỳ đầu biến dạng dao động với biên độ khoảng 7 mm, sau đó biến dạng tăng dần. Biến dạng đạt giá trị cao nhất tại chu kỳ 1009 (lúc 15 giờ 34 phút múi giờ GMT+7), giá trị tuyệt đối theo hệ tọa độ VN2000 là 2320017,4169 m, giá trị phương sai  $3.10^{-10}$  m. Thời điểm 2590 (lúc 4 giờ 44 phút sáng GMT+7), giá trị tuyệt đối hướng X đạt thấp nhất là 2320017,4084 với phương sai  $6.10^{-15}$  m. Giá trị biến dạng lớn nhất

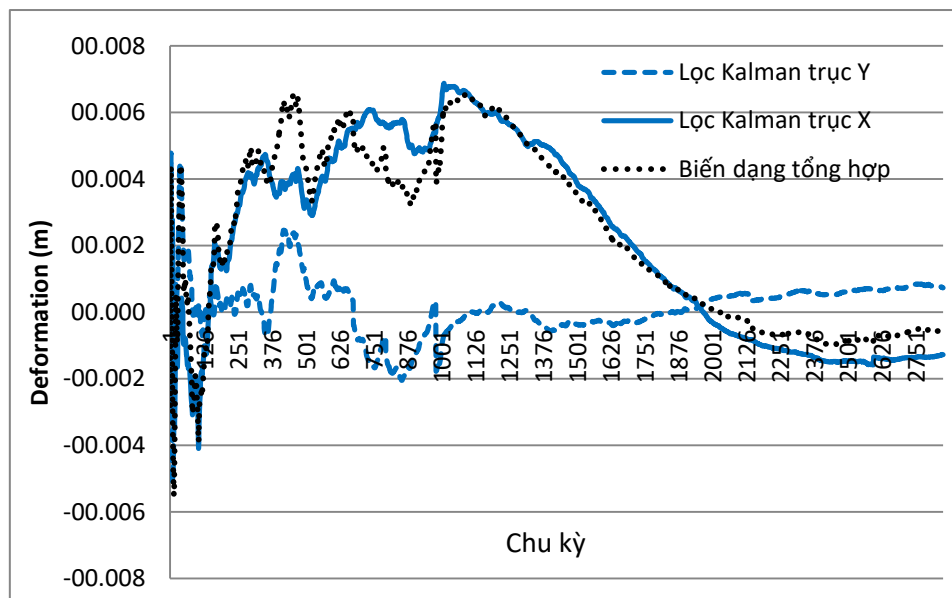
theo ngày đêm của công trình do bức xạ nhiệt là 8,5 mm với phương sai xấp xỉ 0.

Nhiệt độ không khí thay đổi ngày đêm từ  $33^{\circ}\text{C}$  tới  $24^{\circ}\text{C}$  và thời gian biến dạng của thân tòa nhà CT3B, cho thấy biến dạng theo bức xạ nhiệt mặt trời của công trình có độ trễ khoảng 3 đến 4 giờ. Ứng suất nội bộ của công trình phản ứng trễ 3 đến 4 giờ so với tham số đầu vào là bức xạ nhiệt mặt trời.

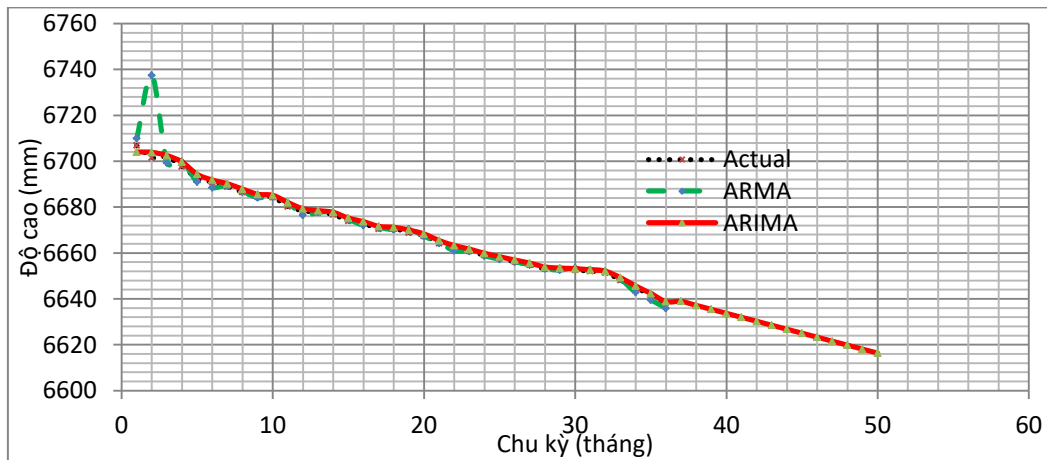
### 5.2. Mô hình phi tham số, chuỗi thời gian

Sử dụng mô hình ARIMA dự báo xu hướng biến dạng trong tương lai là vấn đề được quan tâm nhiều. Hình 8 biểu diễn xu hướng biến dạng trong 14 tháng tiếp theo.

Sau khi phân tích mô hình biến dạng phi tham số tại khu thấp tầng đô thị Văn Quán được thực hiện. Chủ đầu tư đã kiến nghị Tư vấn thiết kế điều chỉnh lại các tính toán kết cấu và tiến hành sửa chữa. Các quan trắc sau giai đoạn sửa chữa đã khẳng định tính hiệu quả của các điều chỉnh này. Công trình đã dần ổn định trong quá trình lún cố kết của nền đất.



Hình 7. Biến dạng tổng hợp tại nóc nhà CT3B Văn Quán.



Hình 8. Dự báo xu hướng biến dạng sau 14 tháng của khu vực thấp tầng.

Nhận dạng hệ thống và phân loại mô hình biến dạng là nội dung rất quan trọng trước khi đánh giá biến dạng một đối tượng hoặc công trình xây dựng. Sử dụng các kiến thức lý thuyết thống kê, các phương pháp vốn được dùng trong kinh tế hoặc xã hội như chuỗi thời gian, có thể kiểm tra tính xác thực của dữ liệu đo đạc, dự báo và phân tích các điều kiện trong tương lai có thể ảnh hưởng tới an toàn biến dạng. Phương pháp lọc Kalman đã xác định phạm vi biến dạng rất nhỏ của công trình xây dựng dưới bức xạ mặt trời, vì quá trình lọc đã nhận dạng chuỗi dữ liệu đo GPS, hiệu chỉnh và phản ánh trung thực quỹ đạo chuyển động của vị trí máy thu theo thời gian.

## 6. Kết luận

Bài báo đã trình bày một quy trình phân tích biến dạng theo mô hình hiệu quả hiện nay là lọc Kalman và chuỗi thời gian.

Mô hình lọc Kalman đã xác định được biến dạng công trình do bức xạ nhiệt mặt trời là 8,5 mm, khi nhiệt độ không khí quanh công trình thay đổi 9<sup>0</sup> C. Sai số trung phương của phép lọc Kalman trường hợp này được xác định là 0,35 mm.

Mô hình chuỗi thời gian đã xác định được xu hướng biến dạng công trình trong tương lai,

dựa vào phân tích dữ liệu theo mô hình ARIMA.

## Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn Công ty cổ phần Tư vấn Đầu tư và Xây dựng HUDCIC, Tổng công ty Đầu tư Phát triển Nhà và Đô thị (HUD) thuộc Bộ Xây dựng đã cung cấp số liệu. Bài viết này là kết quả thực hiện đề tài đề tài NCKH cấp cơ sở, mã số 13.01.14.O.02, năm 2013 – 2014 của trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Grewal, Mohinder S, Angus P. Andrews. Kalman filtering : theory and practice using MATLAB. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
- [2] George E.P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel. 4th ed. Time series analysis: forecasting and control. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada, 2008.
- [3] Walter M.Welsch, Otto Heunecke, Models and Terminology for the Analysis of Geodetic Monitoring Observations, Official Report of the Ad-Hoc Committee of FIG Working Group 6.1, 2001.
- [4] Phan Văn Hiến (Chủ biên), Đinh Xuân Vinh, Phạm Quốc Khánh, Tạ Thanh Loan, Lư Anh

- Tuấn, Lý thuyết sai số và Bình sai trắc địa. Nhà xuất bản Xây dựng, 2017.
- [5] Cankut D. Ince and Muhammed Sahin, Real-time deformation monitoring with GPS and Kalman Filter, Istanbul Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Geodesy and Photogrammetry, 80620 Maslak, Istanbul, Turkey, 2000.
- [6] Antti Lange, Optimal Kalman Filtering for ultra-reliable Tracking, Proceedings of the Symposium "Atmospheric Remote Sensing using Satellite Navigation Systems" Matera, Italy, 13-15 October 2003.
- [7] Lihua Li, Heiner Kuhlmann, Detection of deformations and outliers in real-time GPS measurements by Kalman filter model with shaping filter, 13<sup>th</sup> FIG, 4<sup>th</sup> IAC, 2008.
- [8] Yam Khoon Tor. Application of Kalman Filter in Real-Time Deformation Monitoring using Surveying Robot. Surveying - Civil Engineering Research, 2003.
- [9] Phan Văn Hiến, Đinh Xuân Vinh, Ứng dụng lọc Kalman trong phân tích biến dạng. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 31 (7-2010).
- [10] Đinh Xuân Vinh (Chủ biên), Phan Văn Hiến, Nguyễn Bá Dũng, Lý thuyết và phương pháp phân tích biến dạng. Nhà xuất bản Tài nguyên-Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2016.
- [11] Fernando Sansò and Antonio J. Gil, Geodetic Deformation Monitoring: From Geophysical to Engineering Roles. IAG Symposium, Vol. 131, Jaén, Spain. Springer, 2005.
- [12] Hoàng Trọng, Chu Nguyễn Mộng Ngọc. Thống kê ứng dụng trong kinh tế xã hội. Nhà xuất bản Thống kê, Hà Nội, 2008.
- [13] Nguyễn Cao Văn, Trần Thái Ninh, Giáo trình lý thuyết xác suất thống kê toán. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 1996.
- [14] Lê Khánh Luận, Nguyễn Thanh Sơn, Lý thuyết xác suất thống kê. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 2013.
- [15] Søren Bisgaard, Murat Kulahci, Time series analysis and forecasting by example. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada, 2011.
- [16] Đinh Xuân Vinh (Chủ nhiệm), Lê Thị Nhung, Nguyễn Văn Quang. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp Chuỗi thời gian (Time Series) xây dựng Mô hình toán học dự báo chuyển dịch của các điểm không chế trắc địa, Báo cáo đề tài Nghiên cứu khoa học cấp cơ sở Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, mã số 13.01.14.O.02, 2014.

## Determination of Deformation of Construction Using Parametric Modeling-kalman Filter Application and Non Parametric Modeling-time Series Application

Dinh Xuan Vinh, Nguyen Thi Nhung, Nguyen Van Quang

*Hanoi University of Natural Resources and Environment,  
41A Phu Dien, Cau Dien, Tu Liem, Hanoi, Vietnam*

**Abstract:** Deformation is a process that is formed from numerous subjective and objective reasons, caused by both environment and climate change. The continuous and abnormal behavior of the environment along with the internal stress generated in the building itself leads to destructive deformation. Deformation analysis, therefore, requires a systematic model for identifying and predicting impact on the safety of the building. This paper discusses the deformation models, estimation methods and evaluate the deformation of the buildings by two different reasons in Van Quan urban area, Hanoi City. Both parameter modeling (Kalman filter application for known structures), and non-parametric modeling (application of time series for unknown soft ground) are applied with the theory of system identification of Heunecke and Welsch.

**Keywords:** Deformation, parametric and non-parametric modeling, Kalman filter, time series.