

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT  
KHOA TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI  
BỘ MÔN TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH



ENGINEERING SURVEYING  
FOR SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT - ESSD 2023

# HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH VÌ SỰ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ESSD 2023)

Engineering Surveying for Sustainable Development - ESSD 2023



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ



## MỤC LỤC

Đánh giá thuật toán BeamForming và MUSIC trong ước lượng vận tốc xuyên tâm của dòng chảy bề mặt biển trích xuất từ dữ liệu radar mảng tần số cao	1
<i>Đào Duy Toàn, Hwa Chien, Cheng-Da Lee, Trần Đình Trọng, Hà Thị Hằng, Nguyễn Đình Huy, Khúc Thành Đông</i>	
Nghiên cứu ứng dụng công nghệ Georadar để thành lập bản đồ công trình ngầm tỷ lệ 1:500 tại khu vực Hà Nội	12
<i>Diêm Công Huy</i>	
Nghiên cứu mô hình dự báo nguy cơ cháy rừng bằng công nghệ Địa không gian, thử nghiệm cho khu vực phía Tây tỉnh Nghệ An	19
<i>Đoàn Thị Nam Phương, Nguyễn Văn Trung, Trần Xuân Trường, Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Tiến Hơn, Đỗ Ngọc Sang</i>	
Thử nghiệm quan trắc tự động các cột thu phát sóng bằng công nghệ GNSS RTK	30
<i>Dương Thành Trung, Lại Đức Trường, Nguyễn Đỗ Quang Duy, Diêm Công Trang</i>	
Nghiên cứu đánh giá sự tương quan số liệu đo mặt giữa các trạm quan trắc bằng phương pháp hệ số tương quan r	41
<i>Bùi Duy Quỳnh, Hà Thị Hằng, Lưu Thị Diệu Chinh, Trần Xuân Trường</i>	
Nghiên cứu ứng dụng GIS trong quản lý thông tin quy hoạch xây dựng đô thị tại xã Hải Tiến, thành phố Móng Cái, tỉnh Quảng Ninh	51
<i>Hà Thị Hằng, Đào Duy Toàn, Hà Trung Khiên</i>	
Nghiên cứu bình sai và phân tích chuyển dịch ngang công trình xây dựng ứng dụng công nghệ GNSS	59
<i>Hoàng Ngọc Hà</i>	
Xây dựng mô hình nhạy cảm nguy cơ trượt lở đất bằng hàm niềm tin bằng chứng (EBF) tại khu vực huyện Văn Yên, tỉnh Yên Bái	65
<i>Khúc Thành Đông, Hà Thị Hằng, Trần Văn Anh, Bùi Đức Phong, Trương Xuân Quang, Nguyễn Chí Công, Trần Thị Hồng Minh, Trương Mạnh Đạt</i>	
Nghiên cứu khảo sát độ chính xác ứng dụng trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) trong xây dựng công trình giao thông	76
<i>Lê Minh Ngọc, Lê Văn Hiến, Trần Đức Công</i>	
Nghiên cứu xây dựng và quản lý dữ liệu địa không gian công trình xây dựng	86
<i>Lương Ngọc Dũng, Vũ Đình Chiêu, Dương Công Hiếu</i>	
Ứng dụng thuật toán truy hồi để thiết kế tối ưu lưới thi công theo độ chính xác	96
<i>Nguyễn Hà, Lê Anh Cường</i>	
Xây dựng lưới ô vuông dị thường mực nước biển từ số liệu đo cao vệ tinh SENTINEL-3A bằng phương pháp Collocation	102
<i>Nguyễn Văn Sáng, Đỗ Văn Mong</i>	

Nghiên cứu khả năng sử dụng Lidar phân khúc thấp AA450 trong khảo sát công trình giao thông hiện hữu	110
<i>Nguyễn Việt Hà, Vũ Ngọc Quang, Đồng Văn Huyền</i>	
Ứng dụng đồng bộ công nghệ UAV, xử lý ảnh trong kiểm soát chất lượng và an toàn nổ mìn tại mỏ đá vôi Hồng Sơn, tỉnh Hà Nam	120
<i>Phạm Văn Việt, Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Hòa, Trần Đình Bão, Lê Thị Thu Hoa</i>	
Nghiên cứu kết hợp công nghệ GNSS và 3D Laser Scan quan trắc chuyển vị đê chắn sóng	130
<i>Trần Ngọc Đông, Nguyễn Văn Nghĩa, Nguyễn Văn Hùng</i>	
Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp phân tích độ ổn định lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình	141
<i>Trần Thùy Linh</i>	
Xây dựng lưới tam giác thủy công trên cơ sở kết hợp tính chuyển tọa độ công trình và bình sai tự do	147
<i>Trần Trung Anh, Nguyễn Quang Hà</i>	
Quy trình khảo sát địa hình mô lộ thiên bằng công nghệ UAV phục vụ đánh giá ổn định bờ mỏ: Thực nghiệm tại cụm mỏ đá thuộc Công ty cổ phần xi măng VICEM Hà Tiên	155
<i>Trần Trung Anh, Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Quốc Khánh, Phạm Văn Việt</i>	
Giải pháp Lidar di động cho khảo sát bề mặt đường: Nghiên cứu với Lidar tích hợp Au20 vận hành trên xe ô tô	166
<i>Vũ Ngọc Quang, Nguyễn Việt Hà, Phạm Thị Thanh Hòa</i>	
Ứng dụng GIS trong công tác giải phóng mặt bằng dự án tuyến đường cao tốc Vân Đồn - Móng Cái	176
<i>Vũ Thái Hà, Phạm Chinh Thảo, Khắc Thành Đông</i>	
Trắc địa công trình trong cách mạng số và cơ sở dữ liệu thông tin xây dựng	185
<i>Vũ Văn Thặng, Vũ Thái Hà</i>	
Nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo biến động bề mặt không thấm khu vực Thành phố Hồ Chí Minh từ dữ liệu viễn thám và GIS	193
<i>Phạm Văn Tùng, Nguyễn Văn Trung, Vũ Xuân Cường, Lê Văn Phú</i>	
Đánh giá độ chính xác xử lý số liệu trạm CORS Việt Nam theo phương pháp PPP online sử dụng dịch vụ CSRS-PPP	203
<i>Nguyễn Đình Huy, Trần Đình Trọng, Lương Ngọc Dũng</i>	
Ứng dụng GNSS - RTK trong quan trắc chuyển dịch cầu dây văng ở Việt Nam và một số vấn đề trong xử lý số liệu quan trắc	213
<i>Nguyễn Thùy Linh, Lê Văn Hiến, Lê Minh Ngọc, Cù Văn Lĩnh</i>	
Thực trạng và giải pháp hoàn thiện pháp luật về giá đất, cơ chế vận hành, khai thác cơ sở dữ liệu giá đất	223
<i>Nguyễn Thị Dung, Nguyễn Thế Công, Trần Xuân Miên</i>	



Kinh doanh bất động sản và phương pháp đánh giá hiệu quả đầu tư dự án	233
<i>Phạm Thị Kim Thoa, Trần Xuân Miên, Nguyễn Thế Công, Nguyễn Thị Kim Yến, Trần Thị Bích Hạnh</i>	
Nghiên cứu thiết kế xây dựng hệ thống quan trắc liên tục công trình cầu lớn dựa trên công nghệ GNSS/CORS	243
<i>Phạm Công Khải</i>	
Nghiên cứu xây dựng một số module chương trình xử lý số liệu trong khảo sát địa hình dưới nước	254
<i>Lê Đức Tình, Tạ Thị Thu Hương, Nguyễn Thị Kim Thanh, Hoàng Ngọc Thế</i>	
Ứng dụng máy quét lazer mặt đất đánh giá độ phẳng bề mặt công trình	269
<i>Phạm Trung Dũng, Nguyễn Như Tuấn Anh</i>	
Khảo sát sự sụt lún tuyến đê, kè biên Cửa Đại bằng phương pháp trắc địa và công nghệ Georadar	279
<i>Lê Văn Hùng, Vũ Duy Tân</i>	



## Nghiên cứu thiết kế xây dựng hệ thống quan trắc liên tục công trình cầu lớn dựa trên công nghệ GNSS/CORS

Phạm Công Khải\*  
Trường Đại học Mở - Địa chất

### TÓM TẮT

Quan trắc liên tục công trình cầu theo thời gian thực có một ý nghĩa quan trọng trong quá trình vận hành, nó cung cấp các thông tin tức thời về tình trạng của cây cầu tại thời điểm quan sát, giúp cho con người và phương tiện vận tải hoạt động được an toàn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi chủ yếu tập trung vào ứng dụng công nghệ GNSS/CORS để thiết kế, xây dựng một hệ thống quan trắc liên tục công trình cầu theo thời gian thực. Hệ thống quan trắc đảm bảo từ việc thu nhận, truyền dẫn, xử lý số liệu diễn ra liên tục và đưa ra cảnh báo một cách tức thời khi có sự cố. Hệ thống quan trắc được thiết kế gồm hai phần chính là hệ thống trạm CORS và hệ thống trạm quan trắc. Sử dụng hệ thống trạm CORS đã được thiết lập dựa trên công nghệ và thiết bị của hãng Leica. Hệ thống trạm quan trắc do chúng tôi tự thiết kế, phát triển dựa trên nền tảng công nghệ và thiết bị của Trimble. Phần mềm điều khiển mọi hoạt động của hệ thống quan trắc cũng đã được nghiên cứu xây dựng. Một thực nghiệm mô phỏng đã được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác và khả năng hoạt động của hệ thống quan trắc. Thực nghiệm quan trắc cầu Thăng Long đã được thực hiện cho thấy hệ thống quan trắc hoạt động liên tục, ổn định, tần suất thu tín hiệu của trạm quan trắc lên đến 20 Hz. Số liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183 được truyền về trung tâm xử lý số liệu theo thời gian thực và được xử lý tức thời nhờ phần mềm tự xây dựng cài đặt tại máy tính chủ của trạm CORS.

*Từ khóa:* Công nghệ GNSS/CORS, hệ thống quan trắc liên tục, thời gian thực, công trình cầu lớn.

### 1. Đặt vấn đề

Trong hệ thống giao thông đường bộ, cầu là một loại công trình quan trọng trong mạng lưới cơ sở hạ tầng của mỗi quốc gia, nó phục vụ cho sự phát triển của xã hội. Tuy nhiên, do tải trọng và lưu lượng giao thông ngày càng tăng, việc sử dụng trong thời gian lâu dài là những yếu tố ảnh hưởng đến khả năng khai thác của cầu. Việc phát hiện tức thời về phản ứng của cầu dưới tác động của tải trọng động do phương tiện giao thông gây ra là rất quan trọng, có thể làm giảm nguy cơ tai nạn có thể xảy ra với con người và tránh được thiệt hại về tài chính khi có sự cố xảy ra. Kết quả thu thập được là một bức tranh tổng thể về tình trạng của cầu trong giai đoạn vận hành, là cơ sở quan trọng cho việc đưa ra các đánh giá về khả năng khai thác phục vụ của cầu. Quá trình thực hiện giám sát chuyên dịch của cầu và xác định thiệt hại của nó khi có sự cố xảy ra được gọi là giám sát sức khỏe cầu trúc (Structural Health Monitoring - SHM).

Cho đến nay, biến dạng của cầu theo chuỗi thời gian có thể thu được từ các hệ thống SHM sử dụng gia tốc kế (Moschas et al., 2011; Hwang et al., 2012), máy đo độ nghiêng (Ruijie et al., 2018), máy đo biến dạng (Chen et al., 2019), thiết bị đo đặc quang học. Tuy nhiên, hệ thống quan trắc bằng gia tốc kế, máy đo độ nghiêng, máy đo biến dạng chỉ có khả năng đo phản ứng của cầu. Các phương pháp quan trắc bằng đo độ nghiêng, máy đo biến dạng chỉ có khả năng đo phản ứng của cầu. Các phương pháp quan trắc bằng thiết bị đo đặc quang học chỉ được sử dụng để quan trắc biến dạng công trình có tải trọng tĩnh. Có một số phương pháp mới được phát triển để quan trắc biến dạng cầu như sử dụng máy toàn đạc điện tử tự động (Stiros et al., 2012), phương pháp chụp ảnh kết hợp với cảm biến chuyên dịch (Handavani et al., 2012; Zhang et al., 2018). Các phương pháp này có thể bị ảnh hưởng bởi thời tiết, vận hành phức tạp và đặc biệt là không cung cấp dữ liệu theo thời gian thực.

Trong những năm qua, có một số bài báo xác định chuyển dịch động, sử dụng công nghệ GPS/RTK đã được xuất bản, đã xác nhận khả năng ứng dụng của công nghệ GPS để quan trắc chuyển dịch động của cầu với tần số lấy mẫu lên đến 10 Hz và độ dịch chuyển khoảng 10-20 mm (Ruijie Xi et al., 2108). Việc ứng dụng công nghệ định vị điểm chính xác (Precise Point Positioning - PPP) dựa trên hệ thống định vị toàn cầu GPS để quan trắc sức khỏe và phát hiện kịp thời những hư hỏng của cầu đã được công bố và xác định được độ chuyển dịch đứng của cầu do tải trọng động của xe với độ chính xác (cm) (Pssimoulis et al., 2008).

\* Tác giả liên hệ

Email: phamconghai@humg.edu.vn



Hiện nay, công nghệ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS được sử dụng trong quan trắc biến dạng cầu được đánh giá là một trong những phương pháp tiên tiến. Công nghệ GNSS có nhiều ưu điểm so với các phương pháp truyền thống khác như cung cấp chuyển dịch tuyệt đối trong không gian 3 chiều (3D) theo thời gian thực, hoạt động liên tục dưới mọi điều kiện thời tiết, không cần sự thông hướng giữa các trạm (Yu et al., 2014). Công nghệ GNSS có thể khắc phục một số nhược điểm của phương pháp gia tốc kế, vốn gây khó khăn trong việc quan trắc liên tục các cấu trúc kỹ thuật và theo dõi rung động cấu trúc chậm với tần số nhỏ hơn 0,2 Hz (Ju et al., 2011). Với nhu cầu thực tế hiện nay và với sự phát triển nhanh chóng về công nghệ định vị vệ tinh, ở hầu hết các nước trên thế giới đã xây dựng mạng lưới các trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) làm cơ sở hạ tầng không gian quốc gia. Nó sẽ cung cấp được nhiều ứng dụng hơn cho các lĩnh vực trắc địa bản đồ với độ chính xác cao, theo thời gian thực. Việc ứng dụng công nghệ CORS để quan trắc biến dạng công trình nói chung và công trình cầu nói riêng là một hướng nghiên cứu mới. Tuy nhiên để thực hiện quan trắc dựa trên công nghệ CORS theo hướng tự động, liên tục và theo thời gian thực cần phải xây dựng một hệ thống trạm quan trắc phù hợp. Xu hướng tự phát triển các thiết bị định vị vệ tinh GNSS có giá thành thấp sử dụng trong đo đạc thành lập bản đồ đã được công bố trong nhiều bài báo đã được xuất bản (Benedetti et al., 2017). Tuy nhiên việc phát triển thiết bị định vị vệ tinh GNSS phục vụ cho quan trắc cầu chưa có nhiều công bố. Trong bài báo đã được xuất bản (Benedetti et al., 2017) chủ yếu là thực nghiệm, phân tích đánh giá tính khả thi của máy thu GNSS giá rẻ trong quan trắc biến dạng cầu. Các máy thu GNSS chủ yếu được phát triển dựa trên công nghệ của bo mạch chủ của u-blox ZED-F9P kết hợp với ăng ten giá thành thấp u-blox ANN-MB-00, cho nên độ chính xác của máy thu khá thấp, chỉ đạt ở mức sai số  $\pm 2$  cm, vì vậy những máy thu này không đủ điều kiện để quan trắc biến dạng cầu.

Quan trắc biến dạng cầu sử dụng công nghệ GNSS có xu hướng trở thành lựa chọn tốt nhất và đã được sử dụng rộng rãi trong quan trắc sức khỏe kết cấu của cầu. Nội dung chính của bài báo này là thiết kế phát triển một hệ thống quan trắc liên tục chuyển dịch cầu theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS.

## 2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Nguyên lý chung của quan trắc chuyển dịch công trình

Nguyên lý quan trắc chuyển dịch biến dạng cầu theo thời gian thực là xác định sự thay đổi vị trí của điểm quan trắc có gắn hệ thống máy thu GNSS trong một khoảng thời gian nào đó. Phương trình tính toán chuyển dịch của công trình xây dựng được biểu diễn theo công thức sau (Handavani et al., 2015).

$$Q_p = R'p - R_p = Q_p(X_p, Y_p, H_p, t) \quad (1)$$

trong đó:

$R_p$  - Vị trí của điểm P ở thời điểm  $t = 0$  (trước khi chuyển dịch);

$R'p$  - Vị trí của điểm P ở thời điểm  $t > 0$  (sau khi chuyển dịch).

Đại lượng chuyển dịch biến dạng trong công thức (1) được xác định trong không gian 4 chiều, gồm 3 chiều theo thành phần tọa độ X, Y, H và chiều thứ tư là thời gian t.

Chuyển dịch theo các trục tọa độ được xác định theo công thức sau:

$$- \text{Chuyển dịch theo trục X: } Q_x = X_i(t+1) - X_i(t) \quad (2)$$

$$- \text{Chuyển dịch theo trục Y: } Q_y = Y_i(t+1) - Y_i(t) \quad (3)$$

$$- \text{Dịch chuyển toàn phần: } Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} \quad (4)$$

$$- \text{Chuyển dịch đứng (độ lún): } S_i = H_i(t+1) - H_i(t) \quad (5)$$

trong đó:  $X_i(t)$ ,  $Y_i(t)$ ,  $H_i(t)$  là tọa độ của điểm i ở thời điểm t (trước khi chuyển dịch).

$X_i(t+1)$ ,  $Y_i(t+1)$ ,  $H_i(t+1)$  là tọa độ của điểm i ở thời điểm (t+1) (sau khi chuyển dịch).

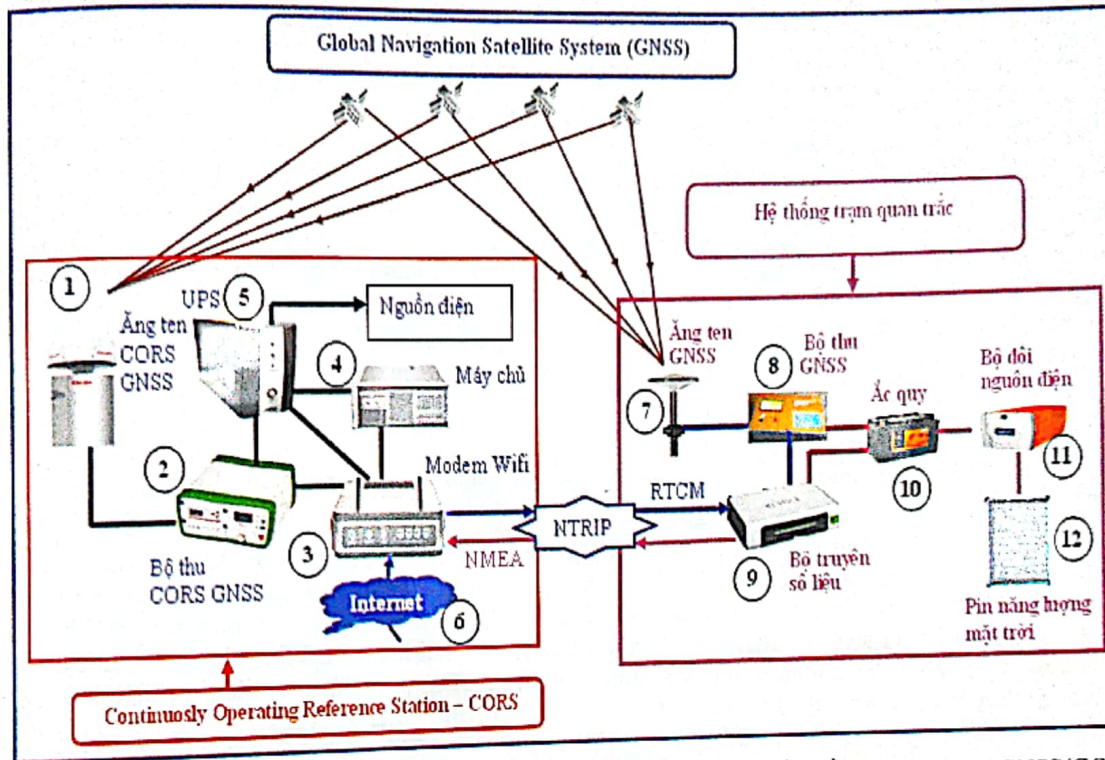
Như vậy, bản chất của việc quan trắc liên tục chuyển dịch công trình nói chung và công trình cầu nói riêng dựa trên công nghệ GNSS là thông qua việc xác định tọa độ tức thời của các điểm quan trắc gắn với công trình ở những thời điểm khác nhau. Tọa độ của các điểm này được xác định, theo phương thức đo động xử lý tức thời RTK dựa trên công nghệ GNSS/CORS.

### 2.2. Thiết kế hệ thống quan trắc chuyển dịch cầu theo thời gian thực

Hệ thống quan trắc biến dạng cầu theo thời gian thực sử dụng công nghệ GNSS/CORS được thiết kế sao cho nó hoạt động được liên tục, ổn định, thu nhận và truyền dẫn số liệu từ trạm quan trắc về máy chủ



của trạm tham chiếu một cách tức thời. Hệ thống quan trắc có thể ứng dụng công nghệ trạm tham chiếu đơn hoặc sử dụng công nghệ mạng lưới các trạm tham chiếu. Trong nghiên cứu này một hệ thống quan trắc cầu sử dụng công nghệ GNSS với trạm tham chiếu đơn đã được thiết kế, xây dựng. Hệ thống quan trắc này gồm có hai phần chính. Phần thứ nhất là hệ thống trạm tham chiếu hoạt động liên tục CORS và phần thứ hai là hệ thống trạm quan trắc. Sơ đồ hệ thống quan trắc cầu được thiết kế, xây dựng thể hiện như ở Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống quan trắc liên tục chuyển dịch công trình cầu bằng công nghệ GNSS/CORS

Hệ thống trạm CORS được thiết lập bao gồm hai phần cơ bản đó là phần cứng và phần mềm. Phần cứng gồm có ăng ten CORS GNSS (1), bộ thu CORS GNSS (2), modem wifi (3) kết nối đường truyền internet (6) và máy tính chủ (4) được cấp nguồn điện ổn định với bộ lưu điện UPS (5). Bộ phần mềm xử lý dữ liệu trạm CORS gồm có phần mềm quản lý trạm (NRS-Station) và phần mềm quản lý người sử dụng (NRS-Server).

Hệ thống trạm quan trắc đặt ở công trình được thiết kế bao gồm, một ăng ten GNSS (7), một bộ thu GNSS (8), một bộ truyền dữ liệu trực tuyến (9), ắc quy (10), tấm panel năng lượng mặt trời (12). Trong hệ thống máy thu GNSS có bộ thu GNSS và bộ truyền dữ liệu trực tuyến là hai bộ phận chính được thiết kế phát triển trong nghiên cứu này.

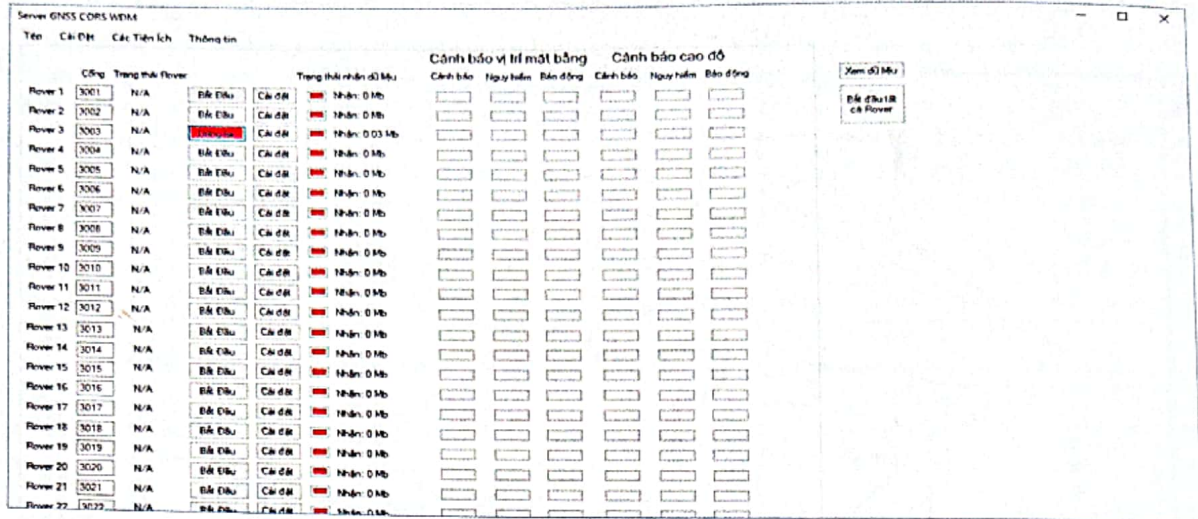
Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc biến dạng cầu theo thời gian thực được xây dựa trên nguyên lý định vị GNSS/CORS/RTK. Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăng ten (1) ở trạm CORS thu nhận và truyền về bộ thu CORS GNSS thông qua một dây cáp chuyên dụng, tại đây tín hiệu vệ tinh được giải mã và đi qua modem (3) về máy tính chủ (4). Ở máy tính chủ được cài đặt một phần mềm chuyên dụng, có thể phân cấp quản lý tùy theo từng đối tượng người sử dụng, cung cấp thông tin định vị vi phân cho điểm đo di động, xử lý số liệu của mạng lưới đo động RTK, đồng thời hiệu chỉnh các số nguyên đa trị của toàn mạng, thiết lập mô hình cải chính (gồm cải chính sai số tầng đối lưu, tầng điện ly, quỹ đạo vệ tinh).

Số hiệu chỉnh của trạm CORS cho các trạm quan trắc theo chuẩn định dạng của RTCM được truyền trên nền mạng IP qua giao thức NTRIP. Giao thức NTRIP được thiết kế để hỗ trợ truy cập internet không dây thông qua mạng lưới truyền thông 4G hoặc 5G. Việc truyền trực tuyến dữ liệu từ các trạm quan trắc tới máy tính chủ được thực hiện bởi bộ truyền số liệu do chúng tôi tự nhiên cứu, phát triển.

Cơ chế truyền dẫn số liệu cải chính theo định dạng RTCM và dữ liệu quan trắc theo định dạng NMEA được thực hiện trên nền mạng IP qua giao thức NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet



Protocol). Để quản lý và điều khiển hoạt động cho hệ thống quan trắc liên tục chuyển dịch công trình theo thời gian thực, một phần mềm đã được nghiên cứu phát triển có tên gọi là Server GNSS CORS WDM như Hình 2.



Tên	Cài đặt	Cài Tiên lịch	Thông tin	Cảnh báo vị trí mặt bằng			Cảnh báo cao độ		
				Cảnh báo	Ngay liền	Báo động	Cảnh báo	Ngay liền	Báo động
Rowser 1	3001	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 2	3002	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 3	3003	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 4	3004	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 5	3005	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 6	3006	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 7	3007	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 8	3008	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 9	3009	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 10	3010	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 11	3011	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 12	3012	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 13	3013	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 14	3014	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 15	3015	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 16	3016	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 17	3017	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 18	3018	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 19	3019	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 20	3020	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 21	3021	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền
Rowser 22	3022	N/A	Bắt đầu	Cài đặt	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền	Ngay liền

Hình 2. Giao diện của phần mềm quản lý, điều khiển hoạt động hệ thống trạm quan trắc

Phần mềm được xây dựng dựa trên phần mềm lập trình Visual Studio 2019 và được cài đặt trên máy tính chủ của trạm CORS. Phần mềm được thiết kế hỗ trợ quản lý hoạt động được 50 trạm quan trắc cùng một lúc, hỗ trợ truyền số liệu quan trắc qua giao thức NTRIP, hỗ trợ thiết lập hệ thống kết nối với trạm CORS, cài đặt chu kỳ 0 cho trạm quan trắc, hiển thị thông tin quan trắc như vị trí tức thời kinh độ, vĩ độ, cao độ, khoảng chuyển dịch, phương chuyển dịch, sai số vị trí trạm quan trắc, hiển thị biểu đồ chuyển dịch ngang, chuyển dịch đứng theo thời gian thực.

### 3. Dữ liệu quan trắc và phương pháp xử lý

#### 3.1. Định dạng cấu trúc dữ liệu quan trắc

Có nhiều định dạng dữ liệu được phát triển trong định vị vệ tinh cho các mục đích khác nhau, chẳng hạn như để truyền vị trí định vị GPS giữa các thiết bị điện tử hoặc giữa các máy thu GNSS, truyền số hiệu chỉnh vị trí từ trạm tham chiếu đến các máy thu Rover. Hiện nay, Hiệp hội Điện tử Hàng hải Quốc gia của Mỹ (National Marine Electronics Association - NMEA) có đề xuất một tiêu chuẩn lấy tên là NMEA để định dạng thông tin hệ thống định vị toàn cầu GPS (Global Positioning System) hoặc hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System). Tiêu chuẩn NMEA có nhiều phiên bản khác nhau nhưng tiêu chuẩn NMEA-0183 được sử dụng rộng rãi nhất. NMEA sử dụng mã tiêu chuẩn ASCII, mỗi đoạn mã theo chuẩn định dạng NMEA bắt đầu với một ký tự "\$" trên một hàng nối tiếp và không thể lớn hơn 80 ký tự. Dữ liệu được chứa đựng bên trên một hàng với những kiểu khác nhau và được cách nhau bởi dấu phẩy (,), sau dấu phẩy có ký tự khoảng trống, sau đó đến thông tin về thời gian, tọa độ, trạng thái, độ cao. Tiêu chuẩn NMEA gồm có nhiều tin nhắn, chẳng hạn như GNGGA, GPGST, GNGLL, GNGSA, GNGSV, GNRMC, GNVTG, GNZDA,... Một số tin nhắn NMEA có thể chứa các trường dữ liệu giống nhau hoặc có thể chứa dữ liệu thông báo khác nhưng có kích thước nhỏ hơn. Trong các loại tin nhắn theo tiêu chuẩn NMEA, có hai tin nhắn quan trọng nhất khi định vị đó là GGA và GST.

Tin nhắn GGA là tin nhắn được sử dụng phổ biến nhất, nó bao gồm các thông tin về thời gian UTC (1), vĩ độ (2), bắc hoặc nam (3), kinh độ (4), đông hoặc tây (5), chỉ số chất lượng định vị (6), số lượng vệ tinh được sử dụng (7), độ suy giảm độ chính xác mặt bằng (8), cao độ ăng ten so với mặt Geoid (9), đơn vị khoảng cách (12), tổng kiểm tra (13). Cấu trúc của tin nhắn GGA và các thông tin chi tiết của nó được thể hiện như ở Bảng 1.



Bảng 1. Cấu trúc của tin nhắn trị đo GGA và các thông tin chi tiết của nó

GGA-Global Positioning System Fix Data. Time, Position and fix related data for a GPS receiver												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
\$GNGGA,	hhmmss.ss,	llll.ll,	a,	YYYYY.yy,	a,	x,	xx,	x.x,	x.x,	M,	x.x,	M*hh
\$GNGGA,	094616.00,	2103.33415041,	N,	10547.84535284,	E,	4,	10,	1.0,	9.009,	M,	-28.235,	M*40
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Tin nhắn GST chứa các thông tin về thời gian hiệu chỉnh vị trí (1), phần dư của khoảng cách giả (2), giá trị bán trục lớn của ellip sai số (3), giá trị bán trục nhỏ của ellip sai số (4), góc định hướng của bán trục lớn của ellip sai số (5), giá trị sai số theo trục Y (6), giá trị sai số theo trục X (7), sai số độ cao (8), tổng kiểm tra (9). Cấu trúc của tin nhắn GST và các thông tin chi tiết của nó được thể hiện như ở Bảng 2.

Bảng 2. Cấu trúc của tin nhắn trị đo GST và các thông tin chi tiết của nó

GST - Position error statistics								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
\$GNGST,	hhmmss.ss,	a.a,	b.b,	c.c,	d.d,	e.e,	f.f,	g.g*hh
\$GNGST,	094614.00,	0.084,	0.010,	0.009,	56.9,	0.010,	0.010,	0.026*7D
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Chỉ số chất lượng định vị RTK theo công nghệ CORS có 6 mức độ khác nhau từ mức 0 đến mức 5. Khi định vị theo phương thức CORS/RTK nếu chỉ số này là 4 thì có nghĩa là trị đo này đã được hiệu chỉnh từ trạm CORS và người đo sẽ lấy giá trị tọa độ này trong chuỗi trị đo GGA. Kết hợp với sai số định vị thể hiện trong chuỗi tin nhắn GST, sẽ chọn được những tọa độ định vị tốt nhất.

### 3.2. Phương pháp xử lý dữ liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183

Tất cả các thông tin trị đo theo định dạng tiêu chuẩn NMEA, cần được xử lý để nhận được những trị đo có chất lượng tốt nhất nhằm nâng cao độ chính xác của kết quả quan trắc. Đặc biệt chú ý đến hai loại tin nhắn GGA và GST. Dòng tin nhắn GGA cho biết những trị đo nào đã được cải chỉnh vị trí từ trạm CORS và đạt yêu cầu độ chính xác (trị đo Fixed), còn dòng tin nhắn GST cho biết sai số vị trí điểm đo đã được cải chỉnh nhưng có giá trị nhỏ nhất. Tất cả những trị đo đạt yêu cầu độ chính xác được lưu trữ trong một tệp theo từng ngày và tên tệp số liệu tạo thành bởi tên thiết bị quan trắc kết hợp với ngày tháng năm (ví dụ: Data-Rover04-09122021.txt).

Quá trình xử lý dữ liệu quan trắc chuyển dịch theo chuẩn định dạng NMEA được tiến hành qua các bước sau:

**Bước 1:** Kiểm tra tính toàn vẹn (tính đầy đủ) của các thông tin trong chuỗi tin nhắn trị đo

Sử dụng Checksum trong chuỗi tin nhắn trị đo đã gửi kèm để so sánh với Checksum tính toán được, nếu trong chuỗi tin nhắn trị đo có một thay đổi nhỏ cũng sẽ tạo ra tổng Checksum khác nhau rất lớn. Nếu dòng tin nhắn trị đo không thay đổi tức là Checksum gửi đến và Checksum tính toán được giống nhau, có nghĩa là dòng tin nhắn gửi đi được bảo toàn, không bị thay đổi và nó được người sử dụng chấp nhận.

**Bước 2:** Lọc ra những tin nhắn có tọa độ đã được hiệu chỉnh vị trí (Fixed).  
Trong chuỗi tin nhắn GGA có chỉ số báo chất lượng phép đo GPS (GNSS), các chỉ số báo chất lượng này có 6 mức khác nhau đánh số từ 0 đến 5, khi chỉ số báo chất lượng là 4 thì trị đo này đã được cải chỉnh vị trí và cho chất lượng tốt nhất và giá trị này được chọn.

**Bước 3:** Lọc những tin nhắn có tọa độ đã được hiệu chỉnh vị trí nhưng có sai số vị trí nhỏ nhất.  
Việc lọc ra tọa độ có sai số nhỏ được thực hiện bằng cách phân tích chuỗi tin nhắn GST dựa trên sai số vị trí định vị mà tin nhắn này nhận được.

**Bước 4:** Tính đổi tọa độ  
1. Tính đổi giữa hệ tọa độ trắc địa và hệ tọa độ vuông góc không gian



Công thức tính đổi từ  $(B, L, H)$  sang  $(X, Y, Z)$  (Hoàng Ngọc Nhà, 2020)

$$\left. \begin{aligned} X &= (N+H)\cos B.\cos L \\ Y &= (N+H)\cos B.\sin L \\ Z &= [N(1-e^2)+H].\sin B \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

trong đó: B là vĩ độ trắc địa; L là kinh độ trắc địa; H là độ cao trắc địa. N là bán kính vòng thẳng đứng đứng thứ nhất tại điểm xét. e là tâm sai thứ nhất của ellipsoid.

2. Thuật toán chuyển đổi giữa các hệ tọa độ

a). *Tình chuyển đổi hệ tọa độ WGS- 84 sang VN2000*

Tọa độ của các trạm quan trắc được xác định trong hệ tọa độ WGS-84, sau đó được tính chuyển sang hệ tọa độ VN-2000 theo công thức (7).

$$\left. \begin{aligned} X &= \Delta X_o + k.(X' + \epsilon_o.Y' - \psi_o.Z') \\ Y &= \Delta Y_o + k.(-\epsilon_o.X' + Y' + \omega_o.Z') \\ Z &= \Delta Z_o + k.(\psi_o.X' - \omega_o.Y' + Z') \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Trong đó: X, Y, Z là tọa độ vuông góc không gian trong hệ tọa độ VN-2000, (m).

X', Y', Z' là tọa độ vuông góc không gian trong hệ tọa độ WGS-84, (m).

$\Delta X_o, \Delta Y_o, \Delta Z_o$  là các tham số dịch chuyển gốc tọa độ (m).

$\omega_o, \psi_o, \epsilon_o$  là 3 góc xoay trục tọa độ tương ứng với các trục X, Y, Z, (radian).

k là hệ số tỷ lệ chiều dài giữa 2 hệ.

Các tham số tính chuyển tọa độ từ hệ WGS-84 sang hệ tọa độ VN-2000 do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố.

**Bước 5:** Đánh giá độ chính xác kết quả đo

Dựa vào tọa độ mặt bằng và độ cao xác định được, đánh giá độ chính xác của các thành phần tọa độ theo các công thức sau:

$$m_x = \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n-1}}; m_y = \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n-1}}; m_h = \sqrt{\frac{[v_h v_h]}{n-1}};$$

trong đó:

$$v_{xi} = \bar{X} - X_i; \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_1^n X_i; v_{yi} = \bar{Y} - Y_i; \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_1^n Y_i; v_{hi} = \bar{H} - H_i; \bar{H} = \frac{1}{n} \sum_1^n H_i$$

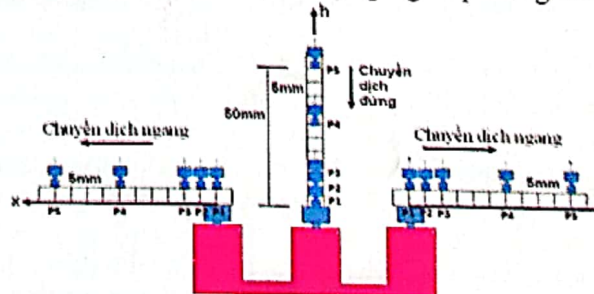
**Bước 6:** Xác định các đại lượng chuyển dịch

Dựa vào các thành phần tọa độ của điểm quan trắc, khi đó đại lượng chuyển dịch theo các trục tọa độ được xác định theo các công thức (2), (3), (4) và (5) như đã trình bày ở phần trên.

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Kết quả thực nghiệm mô phỏng

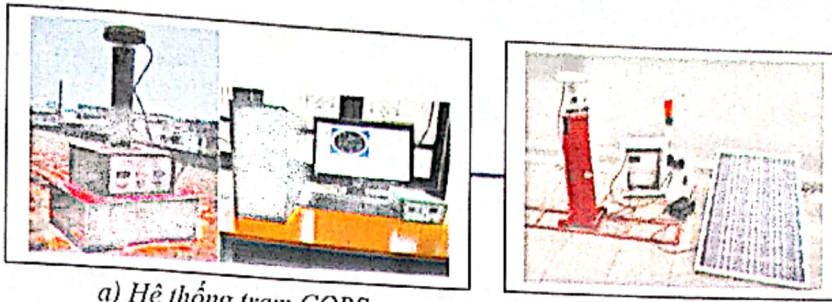
Để kiểm chứng, đánh giá độ chính xác của phương pháp quan trắc chuyển dịch công trình bằng công nghệ GNSS/CORS, một thực nghiệm mô phỏng đã được tiến hành. Nguyên lý của thực nghiệm mô phỏng dựa trên sự thay đổi vị trí của ăng ten GNSS theo phương ngang và phương thẳng đứng (Hình 3).



Hình 3. Nguyên lý thực nghiệm mô phỏng xác định chuyển dịch công trình bằng công nghệ GNSS/CORS

Để tiến hành thực nghiệm mô phỏng một hệ thống thiết bị đã được thiết kế chế tạo gồm một đường ray nằm ngang có gắn một thước thép để xác định chuyển dịch ngang và một thước thép gắn vào mốc hình trụ thẳng đứng để xác định dịch chuyển đứng. Phía dưới của mốc quan trắc có gắn 4 bánh xe, có thể chuyển dịch trên đường ray. Thiết bị quan trắc gồm một ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS, một bộ thu GNSS, bộ truyền số liệu, ắc quy, tấm pin năng lượng mặt trời và các phụ kiện kèm theo. Hệ thống quan trắc thực nghiệm mô phỏng thể hiện như Hình 4.





a) Hệ thống trạm CORS

b) Hệ thống trạm quan trắc

Hình 4. Hệ thống quan trắc thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch công trình

Hệ thống trạm quan trắc được kết nối đến trạm CORS thông qua địa chỉ IP và cổng kết nối (118.70.171.179:5005). Ở trạm quan trắc, thiết lập đầu ra để nhận các tin nhắn trị đo NMEA bằng cách đăng nhập vào bộ thu GNSS của trạm quan trắc. Kết nối wifi máy tính với bộ truyền số liệu ở trạm quan trắc, rồi vào trình duyệt web sau đó nhập vào địa chỉ 192.168.0.100 để đăng nhập vào trình quản lý bộ thu GNSS rồi chọn loại tin nhắn NMEA mà người sử dụng cần đến.

Sau khi thiết lập các thông số cho trạm CORS và trạm quan trắc, số liệu quan trắc được tự động truyền về máy tính chủ của trạm CORS theo từng chu kỳ. Việc quan trắc thực nghiệm mô phỏng thực hiện với 5 chu kỳ, mỗi chu kỳ với thời gian thu tín hiệu vệ tinh khoảng từ 45 phút đến 60 phút. Ở Bảng 3 là một đoạn số liệu số quan trắc thực nghiệm mô phỏng theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183.

Bảng 3. Một đoạn số liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183

```

SGNGGA,072022.00,2103.33309003,N,10547.84433528,E,4,22,0.6,11.288,M,-28.235,M,1.0,0000*43
SGNGST,072022.00,0.054,0.006,0.005,100.9,0.005,0.006,0.015*41
SGPGSV,10,1,35,32,44,105,48,16,49,215,47,3,28,306,41,22,40,281,43*78
SGPGSV,10,2,35,31,42,022,46,29,11,059,37,27,10,182,30,26,84,342,49*45
SGPGSV,10,3,35,40,29,254,36,42,40,114,,41,54,229,48*73
SGLGSV,10,4,35,79,12,239,36,77,38,009,36,66,43,146,49,78,50,283,52*5C
SGLGSV,10,5,35,68,25,334,47,67,78,354,51*51
SGBGSV,10,6,35,104,25,105,40,103,63,168,44,102,55,228,42,101,40,115,42*5A
SGBGSV,10,7,35,116,56,036,47,113,15,203,34,110,55,198,45,109,53,357,45*56
SGBGSV,10,8,35,107,68,182,47,106,57,017,45,129,14,143,37,126,11,253,39*50
SGBGSV,10,9,35,122,78,257,51,121,30,319,46,119,37,156,46*5A
SGQGSV,10,10,35,193,47,131,44,194,54,051,46,195,21,130,35*74
$GNGSA,A,3,104,103,102,101,116,113,110,109,106,107,,,1.1,0.6,0.9*2B
    
```

Việc xử lý số liệu quan trắc được thực hiện qua sáu bước như đã nêu ở trên và bằng một module của phần mềm Server GNSS CORS WDM. Kết quả xử lý số liệu xác định được chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng như ở Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch công trình

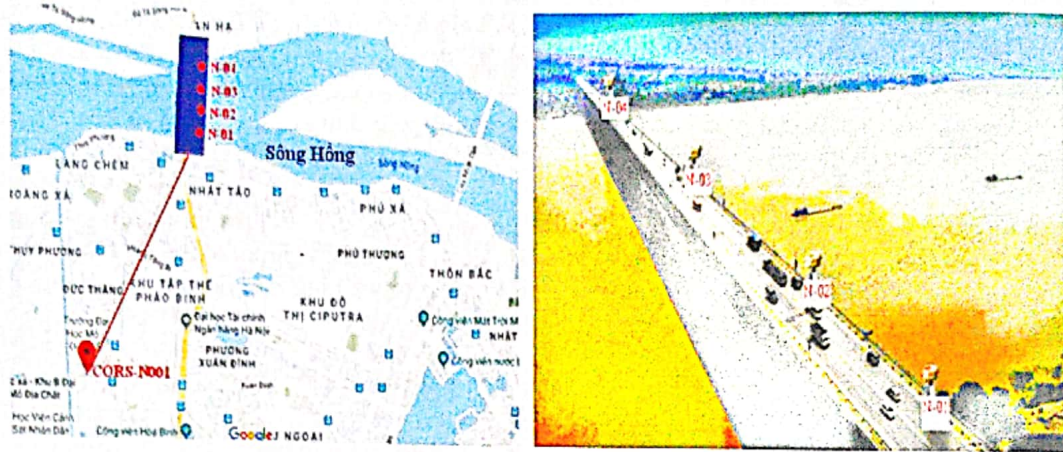
Chu kỳ quan trắc	Tọa độ mặt bằng (m)			Chuyển dịch ngang quan trắc (mm)	Chuyển dịch ngang đo trực tiếp (mm)	Chuyển dịch đứng quan trắc (mm)	Chuyển dịch đứng đo trực tiếp (mm)	Chênh lệch chuyển dịch ngang (mm)	Chênh lệch chuyển dịch đứng (mm)
	X	Y	H						
1	2330395.293	580217.848	6.883	7	5	-10	-7	2	3
2	2330395.287	580217.845	6.873	13	15	-13	-10	2	3
3	2330395.275	580217.841	6.860	34	37	-24	-20	3	4
4	2330395.245	580217.824	6.836	48	51	-26	-30	3	4
5	2330395.202	580217.803	6.810						



#### 4.2. Kết quả quan trắc với số liệu thực tế

Vit quả quan trắc với số liệu thực tế mô phỏng chuyển dịch công trình trên và bằng một mô hình Sông Hồng và quan Hà Nội. Đây là màn hình số liệu thực tế mô phỏng chuyển dịch công trình trên và bằng một module của phần mềm Server GNSS CORS WDM. Kết quả xử lý số liệu xác định được chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng như ở quan tr

Trên mặt cầu tầng 2 ở làn dành cho người đi bộ phía Đông của cầu bố trí 4 trạm có số hiệu là N-01, N-02, N-03, N-04 (Hình 5). Sử dụng trạm CORS được thiết lập ở Trường Đại học Mỏ - Địa chất có số hiệu CORS-N001 cách trung tâm của cầu khoảng 2,5 km.



Hình 5. Sơ đồ bố trí các trạm quan trắc trên cầu Thăng Long

Hệ thống thiết bị ở mỗi trạm quan trắc gồm có ăng ten GNSS, bộ thu, bộ truyền số liệu GNSS, ắc quy, tấm pin năng lượng mặt trời. Ăng ten GNSS được lắp vào phần trên của mốc quan trắc và kết nối với bộ thu GNSS. Hệ thống trạm quan trắc sau khi được lắp đặt, được kết nối với trạm CORS đặt ở Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Dữ liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183 được truyền về máy chủ trung tâm trạm CORS theo thời gian thực. Số liệu được tự động lưu vào file có tên mặc định là "Data"+ "Rover"+ "dd-mm-yy".txt. Mỗi ngày sẽ có một file số liệu. Ví dụ file số liệu quan trắc ở ngày 18 tháng 10 năm 2022 có tên "Data-Rover-18102022.txt". Ở Bảng 5 là một đoạn số liệu số quan trắc thực nghiệm cầu Thăng Long.

Bảng 5. Một đoạn số liệu quan trắc chuyển dịch công trình cầu Thăng Long

SGNGGA,072013.00,2103.33471115,N,10547.84479478,E,1,29,0.6,7.321,M,-28.235,M,,*51
SGNGST,072013.00,1.452,0.594,0.487,70.4,0.500,0.583,1.189*76
SGPGSV,10,1,33,32,44,105,47,16,49,215,46,3,28,306,40,22,40,281,41*73
SGPGSV,10,2,33,31,42,022,46,29,11,059,36,27,10,182,36,26,84,342,49*44
SGPGSV,10,3,33,40,29,254,34,42,40,114,,41,54,229,48*77
SGLGSV,10,4,33,79,12,239,39,77,39,009,36,66,43,146,51,78,50,283,52*5D
SGLGSV,10,5,33,68,25,334,48,67,78,354,52*5B
SGBGSV,10,6,33,104,25,105,39,103,63,168,44,102,55,228,42,101,40,115,43*53
SGBGSV,10,7,33,116,56,036,47,110,55,198,45,109,53,357,45,107,68,182,46*50
SGBGSV,10,8,33,106,57,017,45,129,14,143,40,122,78,258,51,121,30,319,45*53
SGBGSV,10,9,33,119,37,156,46*5E
\$GQGSV,10,10,33,193,47,131,43,194,54,051,45,195,21,130,36*75
\$GNGSA,A,3,32,16,3,31,29,27,26,,,,,1.0,0.6,0.8*1E
\$GNGSA,A,3,79,77,66,78,68,67,,,,,1.0,0.6,0.8*2D
\$GNGSA,A,3,104,103,102,101,116,110,109,107,106,129,122,121,1.0,0.6,0.8*21
\$GNGSA,A,3,119,,,,,,1.0,0.6,0.8*1A
\$GNGSA,A,3,193,194,195,,,,,,1.0,0.6,0.8*19

Việc xử lý dữ liệu quan trắc được thực hiện qua sáu bước như đã trình bày Mục 3.2 bằng phần mềm chuyên dụng đã được xây dựng. Kết quả xử lý một đoạn số liệu được thể hiện như ở Bảng 6.



Bảng 6. Kết quả xử lý số liệu quan trắc cầu Thăng Long

No	B ° ' "	L ° ' "	h (m)	X (m)	Y (m)	H (m)
1	21 04 18.32372	105 46 24.51197	0.7284	2330983.5709	580373.8585	23.7284
2	21 04 18.32398	105 46 24.51175	0.7276	2330983.5772	580373.8520	23.7276
3	21 04 18.32383	105 46 24.51241	0.7237	2330983.5758	580373.8525	23.7237
4	21 04 18.32376	105 46 24.51263	0.7212	2330983.5780	580373.8520	23.7212
5	21 04 18.3243	105 46 24.51217	0.7263	2330983.5779	580373.8578	23.7263
6	21 04 18.32332	105 46 24.51256	0.7214	2330983.5745	580373.8566	23.7214
7	21 04 18.32376	105 46 24.51193	0.7208	2330983.5691	580373.8512	23.7208
8	21 04 18.3238	105 46 24.51171	0.7248	2330983.5718	580373.8587	23.7248
9	21 04 18.32403	105 46 24.51203	0.722	2330983.5689	580373.8529	23.722
10	21 04 18.32358	105 46 24.51265	0.7247	2330983.5694	580373.8507	23.7247
11	21 04 18.32422	105 46 24.51177	0.7224	2330983.5768	580373.8536	23.7224
12	21 04 18.3237	105 46 24.51245	0.7219	2330983.5753	580373.8566	23.7219
13	21 04 18.32343	105 46 24.51176	0.7247	2330983.5695	580373.8580	23.7247
14	21 04 18.32431	105 46 24.51197	0.7222	2330983.5781	580373.8532	23.7222
15	21 04 18.3241	105 46 24.51247	0.7228	2330983.5739	580373.8505	23.7228
...	.....	.....	.....	.....	.....	.....

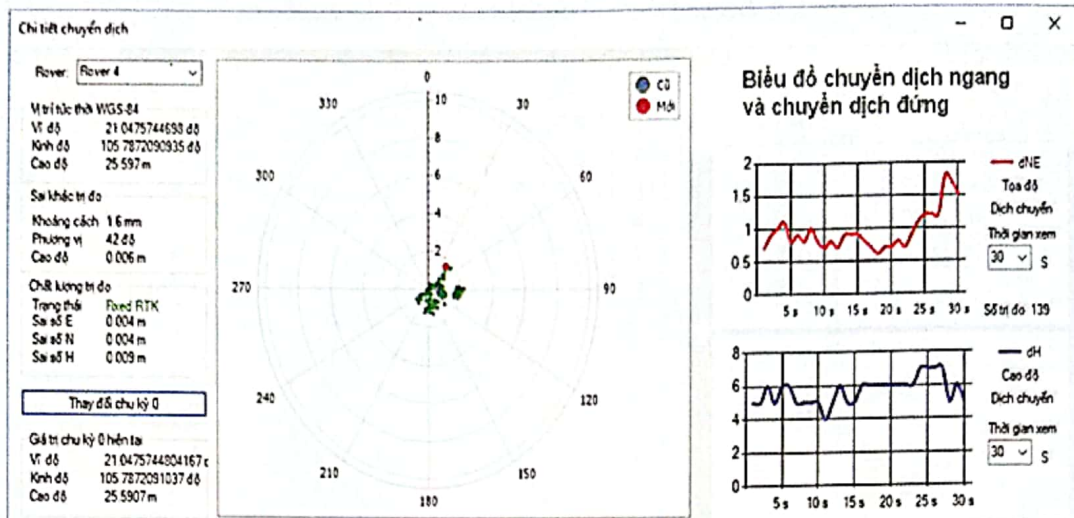
Từ kết quả xử lý dữ liệu quan trắc như ở Bảng 6 sẽ xác định được độ chuyển dịch cầu theo thời gian thực như ở Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả tính chuyển dịch cầu Thăng Long

Thời gian quan trắc	X (m)	Y (m)	H (m)	Q <sub>x</sub> (mm)	Q <sub>y</sub> (mm)	Q (mm)	S (mm)
03g51p00s	2330873.189	580572.484	23.445				
				-2,0	3,0	3,6	40
03g52p00s	2330873.191	580572.487	23.485				
				4,0	2,0	-4,5	-44
03g53p00s	2330873.195	580572.489	23.441				
				-2,0	-4,0	4,5	41
03g54p00s	2330873.193	580572.485	23.482				
				4,0	3,0	5,0	-42
03g55p00s	2330873.189	580572.488	23.440				
				-1,0	-4,0	4,1	45
03g56p00s	2330873.190	580572.484	23.485				
				5,0	-4,0	6,4	-43
03g57p00s	2330873.185	580572.480	23.442				
				3,0	4,0	5,0	48
03g58p00s	2330873.187	580572.484	23.490				
				1,0	-3,0	3,2	-42
03g59p00s	2330873.186	580572.481	23.448				
				-5,0	4,0	6,4	44
04g00p00s	2330873.191	580572.488	23.492				
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Kết quả chuyển dịch cầu Thăng Long được hiển thị trên màn hình máy chủ nhờ một module phần mềm tự thiết kế xây dựng như Hình 6.





Hình 6. Thông tin chi tiết chuyển dịch công trình cầu Thăng Long theo thời gian thực

## 5. Kết luận

Nghiên cứu này dựa trên công nghệ GNSS/CORS để xây dựng hệ thống quan trắc liên tục công trình cầu lớn. Từ các kết quả nghiên cứu, thực nghiệm, có thể rút ra một số kết luận sau:

Hệ thống quan trắc liên tục công trình cầu lớn được thiết kế xây dựng dựa trên công nghệ GNSS/CORS với hai thành phần chính là bộ thu GNSS và bộ truyền số liệu qua giao thức NTRIP được thiết kế phát triển đáp ứng được yêu cầu về kỹ thuật trong công tác quan trắc liên tục chuyển dịch công trình cầu với tần suất thu dữ liệu lên tới 20 Hz.

Với phần mềm chuyên dụng đã được thiết kế phát triển có thể quản lý hoạt động được 50 trạm quan trắc cùng một lúc, hỗ trợ truyền số liệu quan trắc qua giao thức NTRIP, hỗ trợ thiết lập hệ thống kết nối với trạm CORS, cài đặt chu kỳ 0 cho trạm quan trắc, hiển thị thông tin quan trắc như vị trí tức thời kinh độ, vĩ độ, cao độ, khoảng chuyển dịch, phương chuyển dịch, sai số vị trí trạm quan trắc, hiển thị biểu đồ chuyển dịch ngang, chuyển dịch đứng theo thời gian thực.

Qua thực nghiệm mô phỏng cho thấy hệ thống quan trắc có thể xác định được chuyển dịch ngang đến 3 mm và chuyển dịch đứng đến 5 mm. Hệ thống quan trắc đã được áp dụng để quan trắc thực nghiệm cho công trình cầu Thăng Long sử dụng trạm CORS đơn lắp đặt ở Trường Đại học Mỏ - Địa chất, cho thấy hệ thống quan trắc hoạt động ổn định, dữ liệu được thu nhận liên tục và truyền dẫn tức thời về máy chủ của trạm CORS và được xử lý tức thời để cung cấp cho người sử dụng biết tình trạng tức thời của công trình cầu.

## Tài liệu tham khảo

Moschas F, Stiros S, 2011. Measurement of the dynamic displacements and of the modal frequencies of a short-span pedestrian bridge using GPS and an accelerometer. Eng Struct 2011, 33:10-7.

Hwang J., Yun H., Park S.K., Lee D., Hong S., 2012. Optimal methods of RTK-GPS/Accelerometer integration to monitor the displacement of structures. Sensors 2012, 12, 1014-1034.

Ruijie Xi, Qiyi He, Xiaolin Meng, 2021. Bridge monitoring using multi-GNSS observations with high cutoff elevations: A case study. Measurement Volume 168, 15 January 2021, 108303.

Shi-Zhi Chen, Gang Wu, De-Cheng Feng, 2019. Damage detection of highway bridges based on long-gauge strain response under stochastic traffic flow. Mechanical Systems and Signal Processing Volume 127, 15 July 2019, pages 551-572.

Stiros SC, Psimoulis PA, 2012. Response of a historical short-span railway bridge to passing trains: 3D deflections and dominant frequencies derived from Robotic Total Station (RTS) measurements. Eng Struct 2012, 45:362-71.

Hepi Hapsari Handayani, Yuwono, Taufik M, 2015. Preliminary study of bridge deformation monitoring using GPS and CRP (case study: Suramadu Bridge).



- Bochen Zhang, Xiaoli Ding, Charles Werner, Kai Tan, Bin Zhang, Mi Jiang, Jingwen Zhao Youlin Xu, 2018. Dynamic displacement monitoring of long-span bridges with a microwave radar interferometer. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Ruijie Xi, Weiping Jiang, Xiaolin Meng, Hua Chen, Qusen Chen, 2018. Bridge monitoring using BDS-RTK and GPS-RTK techniques. *Measurement* 120 (2018) 128-139.
- P.A. Psimoulis, S.C. Stiros, 2008. Experimental assessment of the accuracy of GPS and RTK for the determination of the parameters of oscillation of major structures. *Comput. -Aided Civ. Infrastruct. Eng.* 23 (5) (2008) 389-403.
- Jiayong Yu, Xiaolin Meng, Xudong Shao, Banfu Yan, Lei Yang, 2012. Identification of dynamic displacements and modal frequencies of a medium-span suspension bridge using multimode GNSS processing. *Engineering Structures* 81 (2014) 432-443.
- Boxiao Ju, Weiping Jiang, Jun Tao, Junliang Hu, Ruijie Xi, Jun Ma, Jingnan Liu. Performance evaluation of GNSS kinematic PPP and PPP-IAR in structural health monitoring of bridge: Case studies. *Measurement Vol 203*, 15 November 2022, 112011.
- Elisa Benedetti, Athanasios Dermanis, Mattia Crespi, 2017. On the feasibility to integrate low-cost MEMS accelerometers and GNSS receivers.
- Elisa Benedetti, Athanasios Dermanis, Mattia Crespi. On the feasibility to integrate low-cost MEMS accelerometers and GNSS receivers. *Advances in Space Research Volume 59*, Issue 11, 1 June 2017, pages 2764-2778. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2017.02.005>
- Hepi Hapsari Handayani, Yuwono, Taufik M, 2015. Preliminary study of bridge deformation monitoring using GPS and CRP (case study: Suramadu Bridge). *Procedia Environmental Sciences* 24 (2015) 266-276.
- Hoàng Ngọc Nhà (2020). Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS/GNSS. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

## ABSTRACT

### Investigation on designing and build of continuous monitoring system for large bridges based on GNSS/CORS technology

Pham Cong Khai\*

*Hanoi University of Mining and Geology*

Continuously monitoring of the bridge in real time has an important meaning in the operation process, it provides instant information about the condition of the bridge at the time of observation, helping people and vehicles in safety transportation. In this study, we mainly focus on applying GNSS/CORS technology to design and build a real-time continuous monitoring system for bridge works. The monitoring system ensured the data collection, transmission and data processing takes place continuously and gives immediate warnings when incident. The monitoring designed system consist of main parts: CORS station system and monitoring station system. CORS station system based established on Leica technology and equipments. The monitoring station system is designed by ourselves and developed based on Trimble's technology and equipment. The software to control all activities of the monitoring system has also been investigated and built. A simulation experiment was performed to evaluate the accuracy and operability of the monitoring system. Experimental monitoring of Thang Long bridge has been carried out, showing that the monitoring system can continuously and stably operate, the signal reception frequency of the monitoring station is up to 20 Hz. Monitoring data in standard format NMEA-0183 is transmitted to the data processing center in real time and processed immediately by self-built software installed at the server computer of CORS station.

*Keywords:* GNSS/CORS technology, continuous monitoring system, real-time, large bridges.