

# NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH THEO THỜI GIAN THỰC

PHẠM CÔNG KHẢI - Trường Đại học Mỏ-Địa chất  
TRẦN TRỌNG XUÂN - Công ty CP Thế giới Kỹ thuật Miền Bắc  
Email: khaingochuy2002@yahoo.com

Nhà nghiên cứu phát triển của hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (GNSS), việc quan trắc dịch chuyển biến dạng công trình sẽ được thực hiện theo thời gian thực bằng các trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS). Nghiên cứu phát triển một hệ thống quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình theo thời gian thực cả về phần cứng và phần mềm đã được thực hiện. Kết quả quan trắc thử nghiệm ở công trình cầu Thăng Long cho thấy hệ thống được phát triển hoạt động tốt, liên tục, ổn định và xác định được các đại lượng dịch chuyển biến dạng công trình một cách tức thời.

## 1. Tổng quan

Quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình là nhiệm vụ quan trọng trong thực tiễn bởi hầu như tất cả các công trình xây dựng trên mặt đất đều bị thay đổi theo thời gian dưới tác động của nhiều yếu tố khác nhau. Dưới tác động của biến đổi địa chất nền móng, các công trình xây dựng sẽ bị dịch chuyển, biến dạng. Việc xác định kịp thời sự dịch chuyển biến dạng của các công trình theo thời gian thực có thể làm giảm nguy cơ tai nạn có thể xảy ra với con người và tránh được thiệt hại về tài chính. Cho đến nay, ở nước ta, phần lớn nội dung quan trắc biến dạng công trình chủ yếu thực hiện theo từng chu kỳ bằng các thiết bị đo đạc truyền thống. Với công nghệ đo đạc truyền thống không thể quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng theo thời gian thực.

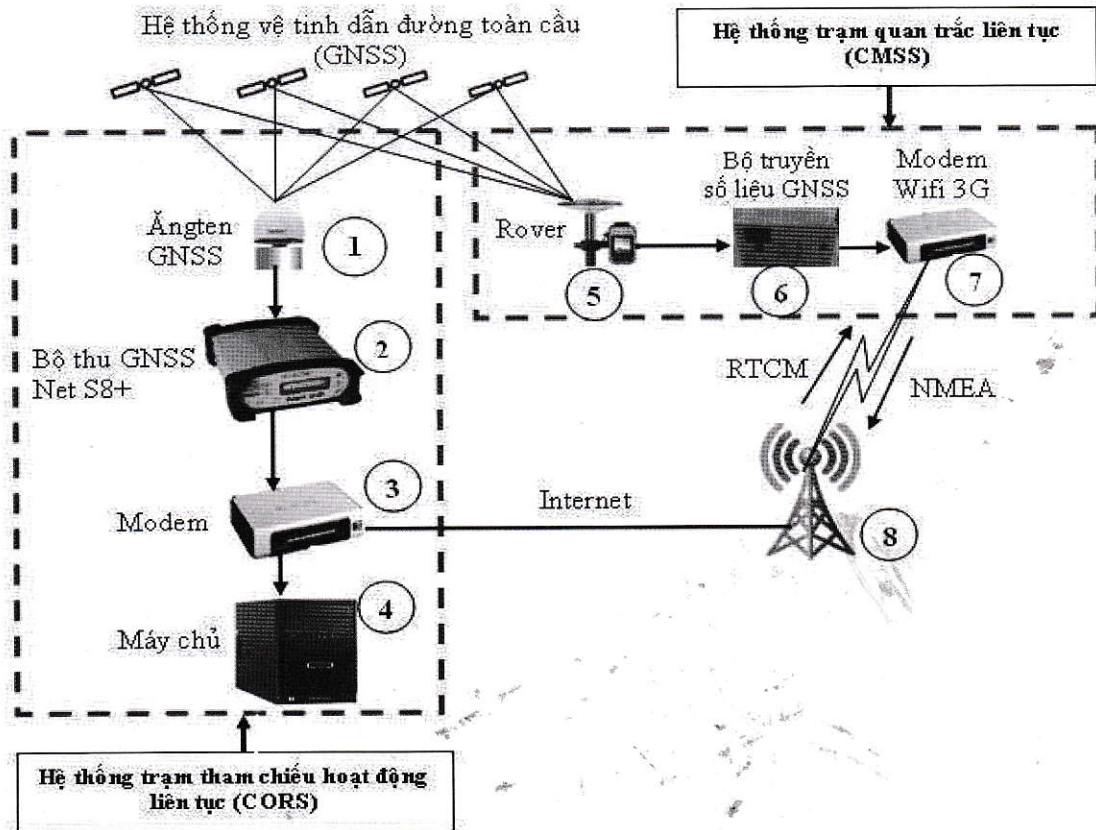
Với sự phát triển nhanh chóng về công nghệ mới, việc quan trắc dịch chuyển biến dạng công trình được thực hiện theo hướng tự động, liên tục theo thời gian thực. Việc quan trắc biến dạng công trình nhà cao tầng đã được nghiên cứu bằng công nghệ GPS rất có hiệu quả [1], [2]. Với công nghệ GPS có thể xác định được độ võng cũng như dịch chuyển ngang của cầu [5]. Hiện nay, hệ thống GNSS cho phép thu tín hiệu vệ tinh liên tục nên sử dụng được kỹ thuật đo động

thời gian thực RTK với độ chính xác cao [4]. Công nghệ GNSS có ưu điểm là cung cấp số liệu 3D trong thời gian thực, hoạt động liên tục trong mọi điều kiện thời tiết, định vị với độ chính xác cao nên đã được ứng dụng để quan trắc dịch chuyển biến dạng cầu rất hữu hiệu [3]. Hệ thống quan trắc bằng công nghệ GNSS đã được ứng dụng rộng rãi và rất hiệu quả ở các nước trên thế giới [6], [7]. Tuy nhiên, các hệ thống này đều có phần cứng và phần mềm riêng và giá thành thường rất cao. Vì vậy ý tưởng phát triển một hệ thống quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình đã được đề xuất. Nghiên cứu này giới thiệu về một hệ thống quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình theo thời gian thực bao gồm các thiết bị phần cứng và phần mềm đã được thiết kế, phát triển.

## 2. Thiết lập hệ thống quan trắc liên tục

Hệ thống quan trắc liên tục theo thời gian thực được đề xuất bao gồm một hệ thống trạm tham chiếu hoạt động liên tục (Continuously Operating Reference Station - CORS) và hệ thống trạm quan trắc (Continuously Monitoring Station System - CMSS) (hình H.1). Hệ thống trạm CORS được thiết lập bao gồm hai phần cơ bản đó là phần cứng và phần mềm. Phần cứng bao gồm có: ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS (1), bộ thu dữ liệu GNSS (2), modem và đường truyền internet (3), máy tính chủ (4). Bộ phần mềm điều khiển 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 CMSS gồm có phần cứng và phần mềm. Phần cứng gồm có Trạm động (Rover) thu tín hiệu vệ tinh GNSS (5), bộ truyền dữ liệu GNSS (6), Modem Wifi 3G (7) và đường truyền Internet (8). Phần mềm gồm có phần mềm điều khiển truyền số liệu GNSS từ trạm quan trắc về máy chủ của trạm CORS và phần mềm xử lý số liệu quan trắc dịch chuyển biến dạng.



H.1. Sơ đồ hệ thống trạm quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình

### 3. Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc liên tục

Nguyên lý hoạt động của hệ thống trạm quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình được xây dựng dựa trên nguyên lý hoạt động của hệ thống GNSS/CORS. Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăngten (1) thu nhận, được truyền về bộ thu GNSSNetS8+ 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). Thông qua máy tính chủ được kết nối với một đường truyền Internet với một địa chỉ IP tĩnh cố định, có thể phân cấp quản lý, tùy theo từng đối tượng người sử dụng bằng hai phần mềm đi kèm: NRS-Station (phục vụ tính toán số liệu, phân bổ số liệu trạm thu tĩnh) và NRS-Server cung cấp thông tin sai 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). Các số liệu ở trạm CORS được thu liên tục với tần suất 1 giây, 15 giây hoặc 30 giây tùy vào yêu cầu của người sử dụng và được thiết đặt trong phần mềm NRS-Station. Số liệu được lưu trữ trong một thư mục nhất định trong máy chủ theo chuẩn định dạng của tệp RINEX.

Việc đo đạc theo công nghệ trạm CORS thường được thực hiện theo phương thức đo động thời gian thực (Real Time Kinematic - RTK). Sử dụng máy thu GNSS hai tần số, kết nối được với mạng viễn thông để truyền số liệu thông qua phần mềm chuyên dụng cài đặt trong sổ đo điện tử (Fieldbook). Tọa độ của trạm động được gửi về máy chủ theo định dạng chuẩn dữ liệu NMEA (National Marine Electronics Association) của hiệp hội điện tử hàng hải quốc gia (Mỹ) [8]. Tại máy chủ phần mềm NRS-Server sẽ tính toán và xác định số cải chính cho trạm động và xác định được tọa độ chính xác cho trạm động và gửi trở lại cho trạm động Rover theo định dạng dữ liệu RTCM [9] và được lưu giữ trong sổ tay của trạm động Rover.

Tọa độ của trạm động Rover được tính theo công thức:

$$X_{Rover} = X_{Rover}(t) + \delta x(t); \tag{1}$$

$$Y_{Rover} = Y_{Rover}(t) + \delta y(t); \tag{2}$$

$$Z_{Rover} = Z_{Rover}(t) + \delta z(t). \tag{3}$$

Trong đó:  $X_{Rover}$ ,  $Y_{Rover}$ ,  $Z_{Rover}$  - Các thành phần tọa độ của trạm động cần xác định trong hệ tọa độ của trạm CORS;  $X_{Rover}(t)$ ,  $Y_{Rover}(t)$ ,  $Z_{Rover}(t)$  - Các thành phần phân tọa độ định vị tuyệt đối của trạm Rover ở thời điểm t;  $\delta x(t)$ ,  $\delta y(t)$ ,  $\delta z(t)$  là số hiệu chỉnh được xác định theo công thức:

$$\delta x(t) = X_{\text{CORS}} - X_{\text{CORS}}(t); \quad (4)$$

$$\delta y(t) = Y_{\text{CORS}} - Y_{\text{CORS}}(t); \quad (5)$$

$$\delta z(t) = Z_{\text{CORS}} - Z_{\text{CORS}}(t). \quad (6)$$

Trong đó:  $X_{\text{CORS}}, Y_{\text{CORS}}, Z_{\text{CORS}}$  - Các thành phần tọa độ đã biết của trạm CORS;  $X_{\text{CORS}}(t), Y_{\text{CORS}}(t), Z_{\text{CORS}}(t)$  - Các thành phần tọa độ định vị tuyệt đối của trạm CORS ở thời điểm  $t$ .

Tọa độ của trạm động Rover sẽ được truyền về máy chủ bằng thiết bị đã được phát triển cùng với máy thu GNSS.

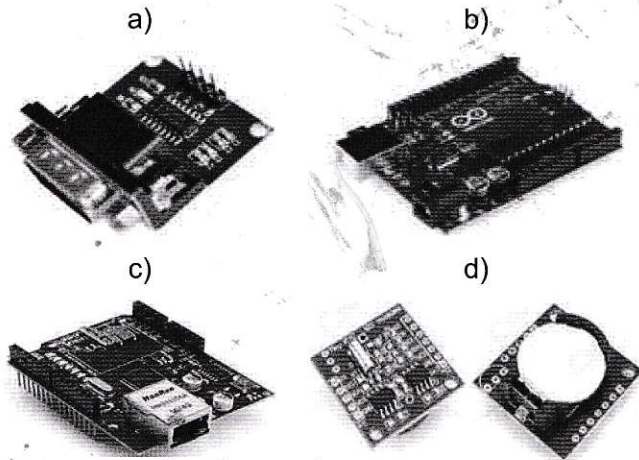
#### 4. Thiết kế phát triển hệ thống truyền dẫn số liệu GNSS

Thu nhận và truyền dẫn số liệu từ trạm quan trắc về trạm CORS được thực hiện liên tục nhằm cung cấp vị trí không gian của điểm quan trắc theo thời gian thực. Hệ thống truyền dẫn số liệu GNSS được thiết kế phát triển gồm có các thành phần chính như sau:

##### 4.1. Thiết bị phần cứng

###### 4.1.1. Module thu nhận tín hiệu max232

Module thu nhận tín hiệu max232 (hình H.2.a) là một thiết bị chuyển tín hiệu RS232 (Recommended Standard 232) thành tín hiệu logic TTL (Transistor-Transistor Logic) để có thể tạo sự giao tiếp giữa các thiết bị dùng chuẩn RS232 và thiết bị dùng chuẩn TTL. Đặc điểm của module là cố độ chính xác cao, độ tin cậy về bảo toàn dữ liệu, tốc độ xử lý cao, dòng điện tiêu thụ và độ trễ tín hiệu nhỏ.



H.2. Một số thiết bị phần cứng cho bộ thu nhận số liệu GNSS: a - Module thu nhận tín hiệu max232; b - Module Arduino UNO R3; c - Module Ethernet Shield W5100; d - Module thời gian thực

###### 4.1.2. Module xử lý dữ liệu Arduino UNO R3

Đây là module điều khiển trung tâm có nhiệm vụ điều khiển các module khác hoạt động, mọi mã code được nạp trực tiếp lên vi xử lý ATmega 328. Trong các giao thức truyền dẫn tín hiệu, ATmega328

có nhiệm vụ nhận dữ liệu tính toán và trả về các module kết nối các lệnh, các dữ liệu từ đây tạo thành các vòng kết nối liên tục và phụ thuộc vào nhau (hình H.2.b).

Module được thiết kế với 7 chân analog, 13 chân digital, 6/13 chân digital tích hợp. Bo mạch chạy trong vùng điện áp trực tiếp DC từ 7V đến 20V, chip ATmega 328 hoạt động ở mức điện áp ổn định 5V, chip có cường độ 0,2 mA, toàn bộ Board có mức tiêu thụ điện năng là 2,5 W. Chip ATmega 328 là dòng chip r.ới, họ AVR hoạt động trên nền 8bit 4/8/16/32K Bytes của hệ thống bộ nhớ tự động làm việc. 256/512/512/1K Bytes bộ nhớ ROM, 512/1K/1K/2K Bytes bộ nhớ SRAM.

###### 4.1.3. Module lưu trữ và truyền dẫn dữ liệu về máy chủ Ethernet W5100

Đây là hệ thống truyền dẫn cũng là hệ thống lưu trữ dữ liệu. Module tích hợp chip xử lý Ethernet W5100 cho tốc độ truyền mạng LAN lên tới 100 Mbps. Tích hợp thêm tính năng gắn thẻ nhớ Micro SD lên tới 4Gb (hình H.2.c). Trên Module còn tích hợp các đèn báo trạng thái bao gồm đèn báo mạng LAN, Full, RX, TX, ... giúp cho việc kiểm soát lỗi trở nên dễ dàng linh hoạt hơn.

###### 4.1.4. Module thời gian thực

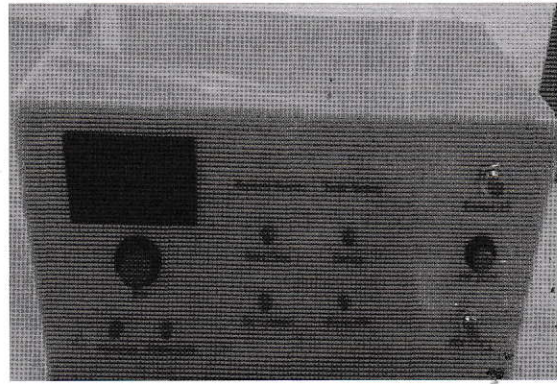
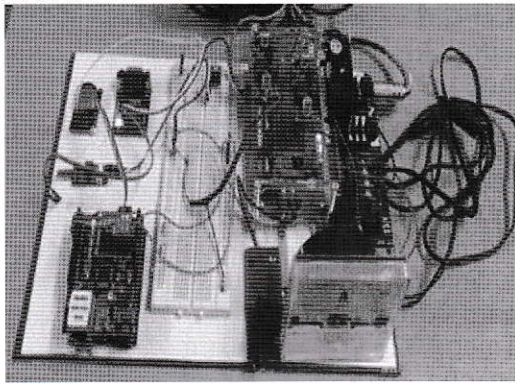
Module thời gian thực (Real Time Module) có tác dụng cấp thời gian thực cho Arduino để xác định được thời điểm truyền dữ liệu từ trạm Rover về trạm CORS. Module thời gian thực (hình H.2.d) được hiệu chỉnh định kỳ từ thời gian vệ tinh nên luôn đảm bảo độ chính xác cần thiết cho mọi hoạt động trên hệ thống Rover. Module thời gian thực giao tiếp trực tiếp với Arduino bằng chuẩn IC2s chân analog 5 và analog 6. Module được cấp nguồn 5V trực tiếp từ Board Arduino. Tất cả các Module trên được tích hợp với nhau tạo nên một bộ truyền số liệu GNSS từ trạm quan trắc về trung tâm quản lý trạm CORS (hình H.3).

###### 4.1.5. Hệ thống truyền dẫn tín hiệu Modem internet

Đây là một công cụ truyền tín hiệu từ Rover về trạm CORS và truyền tín hiệu ngược lại. Ở trạm CORS modem được tích hợp và hỗ trợ thêm cổng kết nối ra để tạo đường dẫn tín hiệu thông qua mạng internet. Cổng này được đặt cố định với một địa chỉ IP tĩnh (Internet Protocol) được nhà mạng cung cấp.

#### 4.2. Xây dựng phần mềm điều khiển hệ thống truyền dẫn số liệu GNSS

Bộ truyền dữ liệu GNSS sau khi được thiết kế lắp đặt, một phần mềm điều khiển đã được thành lập. Phần mềm được viết theo định dạng chuẩn dữ liệu NMEA [8], sử dụng công cụ Arduino và ngôn ngữ lập trình C#. Mã nguồn của chương trình được thể hiện như (hình H.4).



H.3. Bộ truyền số liệu GNSS: a - Trước khi hoàn thiện; b - Sau khi hoàn thiện

```

File Edit Sketch Tools Help
max232
byte rx = 6;
byte SWval;

void setup() {
  pinMode(rx, INPUT);
  delay(2);
  digitalWrite(13, HIGH); //turn on debugging LED
  SWprint('h'); //debugging hello
  SWprint('i');
  SWprint(10); //carriage return
}

int SWread()
{
  byte val = 0;
  while (digitalRead(rx));
  //wait for start bit
  if (digitalRead(rx) == LOW) {
    delayMicroseconds(halfBit9600Delay);
  }
}
    
```

H.4. Mã nguồn phần mềm xử lý dữ liệu trả về từ bộ thu tín hiệu Max232

Mã nguồn phần mềm sau khi được viết và kiểm tra lỗi, được nạp vào bộ truyền số liệu GNSS thông qua cổng kết nối USB với máy tính nhờ công cụ lập trình của Arduino. Nguyên lý hoạt động của hệ thống truyền dẫn số liệu GNSS được thực hiện như sau:

- Tín hiệu vệ tinh được thu đồng thời bằng máy thu Rover và CORS;
- Tín hiệu vệ tinh thu từ Rover theo định dạng chuẩn NMEA được truyền trực tiếp về Arduino theo cổng RS232;
- Tín hiệu Arduino nhận được chia làm 2 loại tín hiệu là \$GPGGA, \$GNGGA và các tín hiệu định dạng NMEA khác;
- Các tín hiệu \$GPGGA được truyền về Server theo giao thức TCP/IP đồng thời các tín hiệu NMEA khác được truyền về Ethernet và được lưu trữ trong thẻ nhớ SD card được tích hợp trong Ethernet dưới định dạng tệp văn bản (text file);
- Các tín hiệu \$GPGGA được phần mềm chuyên dụng xử lý gửi kết quả vào phần mềm trong máy chủ để đưa ra được vị trí tức thời;
- Sau khi các số liệu NMEA được lưu trữ trong thẻ SD tới một thời điểm được định sẵn dựa vào module Real Time sẽ chuyển về máy chủ theo giao thức mạng truyền thông data TCP;
- Các dữ liệu này được bình sai tự động nhờ phần

mềm chuyên dụng, đưa được ra kết quả chính xác về độ dịch chuyển.

### 5. Xây dựng phần mềm phân tích, xử lý số liệu quan trắc liên tục chuyển dịch biến dạng công trình

Số liệu quan trắc dịch chuyển biến dạng công trình được truyền liên tục từ trạm quan trắc về máy tính chủ (Server) thông qua bộ truyền dữ liệu. Một phần mềm được thiết kế và thành lập cài đặt trong máy chủ sẽ đảm nhận chức năng phân tích, xử lý số liệu GNSS từ các trạm quan trắc gửi về để xác định và hiển thị các đại lượng dịch chuyển biến dạng công trình. Phần mềm phân tích, xử lý số liệu quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình được viết bằng ngôn ngữ lập trình VB.Net nhờ công cụ lập trình Visual Studio 2017. Giao diện của phần mềm được thiết kế thành lập thể hiện như (hình H.5). Các module chính của phần mềm gồm có:

- Module xử lý dữ liệu GNSS theo thời gian thực;
- Module xử lý dữ liệu timeline;
- Modul tổng hợp xác định dịch chuyển đứng và dịch chuyển ngang;
- Modul cập nhật tên các công trình quan trắc;
- Modul điều khiển thời gian thực;
- Modul cảnh báo dịch chuyển biến dạng công trình vượt giới hạn cho phép.

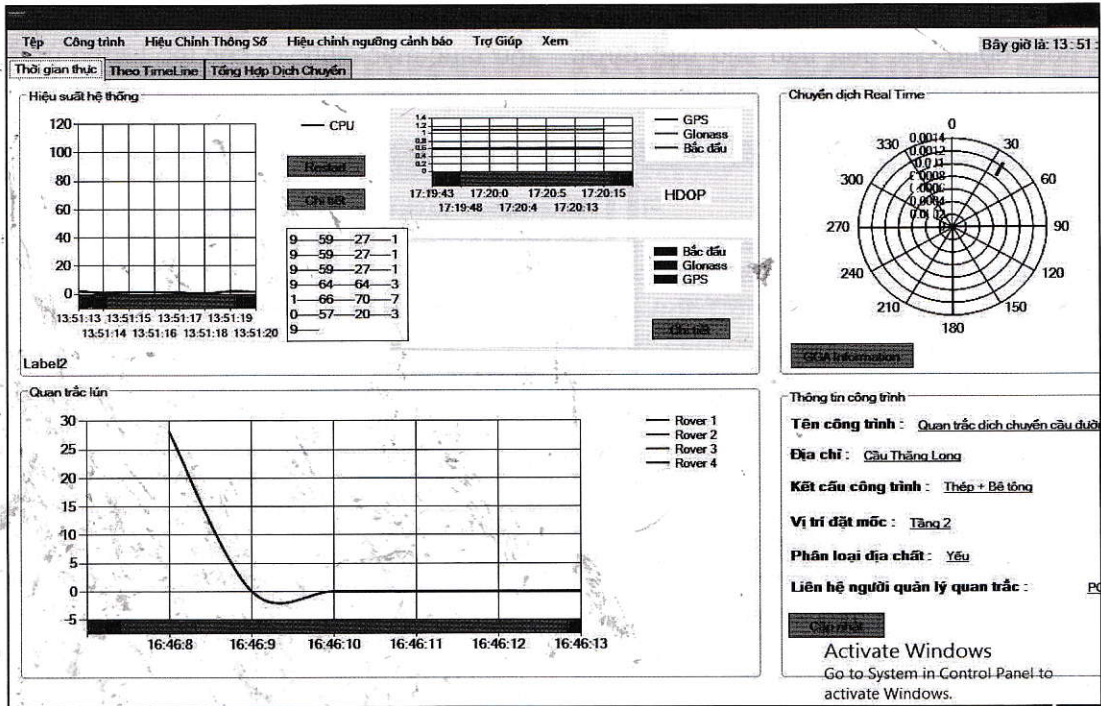
Các thiết bị phần cứng và phần mềm được thiết kế, xây dựng tạo thành một hệ thống đồng bộ để quan trắc tự động, liên tục sự dịch chuyển và biến dạng công trình theo thời gian thực.

### 6. Thực nghiệm quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình

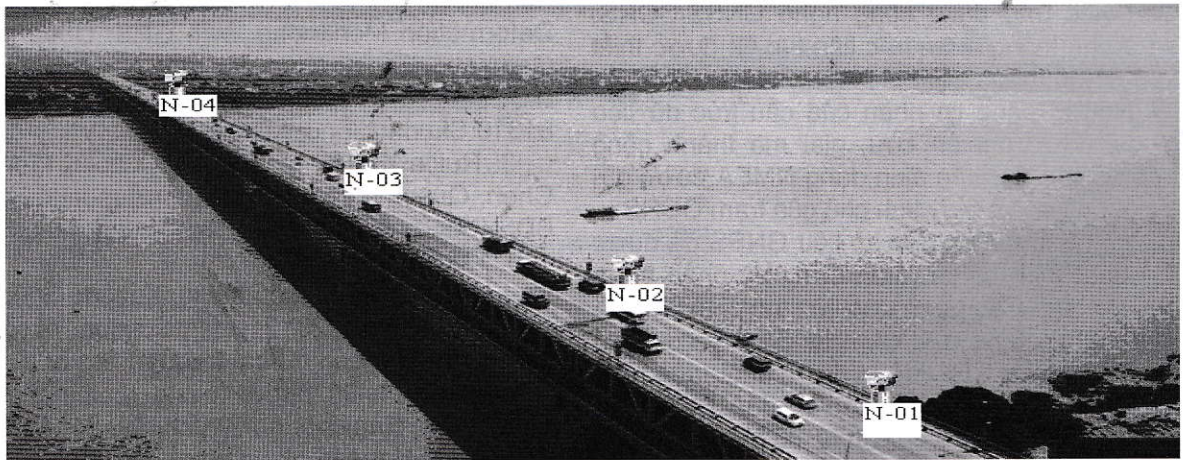
Công trình thực nghiệm quan trắc là cầu Thăng Long bắc qua sông Hồng. Cầu có hai tầng, tầng dưới ở giữa là tuyến đường sắt, hai bên là đường xe thô sơ, tầng trên là đường ô tô. Chiều dài toàn cầu tính theo đường sắt (tầng dưới) là 5.503 mét, tính theo đường ô tô (tầng trên) là 3.115 mét. Phần

cầu chính (vượt sông) gồm 15 nhịp dầm thép, khẩu độ mỗi nhịp 112 m.  
 Để quan tiến hành quan trắc, 4 mốc cố định với

định tâm bắt buộc được xây dựng ở tầng trên của cầu có số hiệu là N-01, N-02, N-03 và N-04. Sơ đồ bố trí các trạm quan trắc thể hiện như (hình H.6).



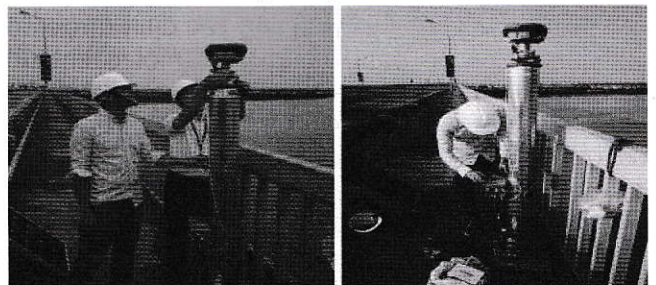
H.5. Phần mềm xử lý số liệu quan trắc dịch chuyển biến dạng công trình



H.6. Sơ đồ bố trí trạm quan trắc trên cầu Thăng Long

Thiết bị quan trắc được sử dụng để quan trắc là máy thu hai tần số S82 GNSS của hãng South. Máy thu được 220 kênh, có khả năng thu vệ tinh GPS, Glonass, Beidou, SBAS. Độ chính xác về mặt bằng là  $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  khi đo động và  $\pm 2 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  khi đo tĩnh.

Máy thu GNSS South S82 được lắp vào bộ mốc quan trắc bằng ốc nối định tâm bắt buộc, và được kết nối với hệ thống truyền dẫn số liệu đã được thiết kế phát triển. Toàn bộ hệ thống trạm quan trắc sạu khi lắp đặt như ở (hình H.7).



H.7. Lắp đặt thiết bị quan trắc dịch chuyển biến dạng cầu



$$q_k = \frac{\alpha_{yc} Q_{ca} - \sum_i^{n_b} q \alpha_i}{\alpha_k} = \frac{40,1 \cdot 4.569 - 177.578}{39,67} = 142, \text{ T/ca.}$$

Như vậy, để tạo ra quặng nguyên khai có hàm lượng  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tại kho trung hòa có hàm lượng 40,1 % với sản lượng yêu cầu 4.569 T/ca, cần phải xây dựng kho dự trữ quặng đáp ứng 142 T/ca (chiếm 3,1 % tổng sản lượng mỏ) từ khối quặng 1-121.

### 3. Kết luận

Chất lượng quặng nguyên khai phụ thuộc vào điều kiện địa chất, công nghệ khai thác và ảnh hưởng trực tiếp tới năng suất, giá thành các nhà máy tuyển. Để ổn định chất lượng quặng nguyên khai và hạ giá thành sản xuất cần phải hiện đại hóa ngành khai thác bauxit trên cơ sở thực hiện đồng bộ các giải pháp kỹ thuật công nghệ trong đó có các giải pháp nhằm ổn định chất lượng quặng. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Quang Hà và nnk (2017), Nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật công nghệ nâng cao hiệu quả sản xuất nhà máy tuyển quặng bauxit Tân Rai-Lâm Đồng, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ, Hà Nội.

2. Hồ Sỹ Giao, Bùi Xuân Nam, Nguyễn Anh Tuấn (2009), Khai thác khoáng sản rắn bằng phương pháp lộ thiên. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

## NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN...

(Tiếp theo trang 38)

Xu, 2018. Dynamic displacement monitoring of long-span bridges with a microwave radar interferometer. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 138, 252-264.

8. <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>.

9. [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com).

**Ngày nhận bài:** 16/02/2018

**Ngày gửi phản biện:** 18/03/2018

**Ngày nhận phản biện:** 24/06/2018

**Ngày chấp nhận đăng bài:** 10/08/2018

**Từ khóa:** hệ thống; quan trắc liên tục; dịch chuyển; biến dạng; công trình; thời gian thực

### SUMMARY

This paper presents the results of research on the development of a continuous monitoring system for deformation of buildings for real time.

## NGHIÊN CỨU HOÀN THIỆN...

(Tiếp theo trang 23)

11. Методические указания к расчетам параметров и составлению паспортов БВР при сооружении подземных горных выработок. ДГТУ. Составители: Н.Р. Шевцов, С.В. Боршевский, В.Ф. Формос, К.Н. Лабинский. Донецк. 2000. 31 с.

**Ngày nhận bài:** 24/01/2018

**Ngày gửi phản biện:** 19/03/2018

**Ngày nhận phản biện:** 12/06/2018

**Ngày chấp nhận đăng bài:** 10/08/2018

**Từ khóa:** nghiên cứu hoàn thiện; "lượng thuốc nổ đơn vị"; mô hình hồi quy; công thức thực nghiệm

### SUMMARY

The article presents the study results of method determining "unit dynamite" "q" based on the proposed two regression models depending on a number of key variables.