

# KẾT HỢP GNSS, CẢM BIẾN GIA TỐC VÀ GIẢI PHÁP IOT TRONG QUAN TRẮC CẦU THỜI GIAN THỰC

Vũ Ngọc Quang<sup>a,\*</sup>, Nguyễn Việt Hà<sup>b</sup>, Trần Đình Trọng<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải,  
54 Triều Khúc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

<sup>b</sup>Khoa Trắc địa bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ-Địa chất,  
18 Phố Viên, Đức Thắng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

<sup>c</sup>Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 10/7/2023, Sửa xong 30/8/2023, Chấp nhận đăng 10/11/2023

## Tóm tắt

GNSS và cảm biến là hai thành phần quan trọng trong các hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu công trình nói chung và công trình cầu nói riêng. Số liệu thu thập từ các đầu đo cảm biến và thiết bị quan trắc GNSS hiện đang được kết nối, truyền tải về thiết bị xử lý trung tâm bằng hệ thống dây dẫn kết nối khá phức tạp và tốn kém. Bài báo nghiên cứu, xây dựng module quan trắc thời gian thực dành cho công trình cầu dưới sự kết hợp của thiết bị quan trắc GNSS, cảm biến gia tốc, giải pháp IoT để kết nối, truyền tải và lưu trữ dữ liệu trên hệ thống máy chủ. Mục đích của nghiên cứu là xây dựng một module kết hợp để thực hiện nhiệm vụ thu thập số liệu quan trắc, kiểm định trong thời gian ngắn và dài hạn. Nghiên cứu sử dụng thiết bị GNSS Comnav N3, tần suất lấy mẫu 1 Hz, cảm biến gia tốc MPU 6050 với tần suất lấy mẫu 250 Hz và thiết bị wifi ESP8266 để kết nối và truyền tải số liệu từ các thiết bị về thiết bị máy chủ. Kết quả nghiên cứu cho thấy tính khả thi của giải pháp kết hợp các thiết bị GNSS, cảm biến gia tốc kết hợp với IoT trong hệ thống quan trắc không dây đối với công trình cầu và bước đầu xử lý số liệu thời gian thực với tần số cao.

*Từ khóa:* quan trắc cầu; GNSS; cảm biến gia tốc; IoT trong quan trắc; MPU.

COMBINATION OF GNSS, ACCELEROMETER SENSOR, AND IOT SOLUTION IN BRIDGE REAL-TIME MONITORING

## Abstract

GNSS and sensors are two important elements of structural health monitoring systems in general and engineering in particular. The data collected from sensors and GNSS monitoring devices are connected, and transmitted to the processing centre using a complicated and costly cable system. The paper studies and builds a real-time monitoring module for bridge monitoring under the combination of GNSS monitoring devices, accelerometer sensors, and IoT solutions to connect, and store data on a server. The research aims to build a combined module for collecting monitoring data either in the short or long term. The study uses a GNSS Comnav N3, a 1 Hz sample interval, an MPU 6050 accelerometer sensor with a 250 Hz sample interval, and an ESP8266 wifi module to connect and transmit data from devices to a server. The results show the feasibility of the solution when combining GNSS, accelerometer sensor, and IoT in a wireless monitoring system for bridge works and initially processing real-time data with high frequency.

*Keywords:* bridge monitoring; GNSS; accelerometer sensor; IoT in monitoring; MPU.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17\(4V\)-12](https://doi.org/10.31814/stce.huce2023-17(4V)-12) © 2023 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Giới thiệu

Trong quan trắc công trình cầu, GNSS (Global Navigation Satellite System) và cảm biến là hai hợp phần quan trọng của mỗi hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu. Với riêng công nghệ GNSS, sự

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [quangvn@utt.edu.vn](mailto:quangvn@utt.edu.vn) (Quang, V. N.)

phát triển của các hệ thống bo mạch, các nền tảng firmware mới cho phép các máy thu nhận và xử lý đồng thời được tín hiệu từ nhiều hệ thống vệ tinh và có độ chính xác cao hơn [1, 2]. Giải pháp GNSS đã được sử dụng trong nhiều công trình cầu lớn để xác định các lượng chuyển dịch trong thời gian ngắn hạn và dài hạn [3, 4] và sử dụng với các kỹ thuật định vị khác nhau [1]. Các thiết bị GNSS trong các hệ thống quan trắc này được kết nối, truyền tải dữ liệu bằng hệ thống dây cáp, dây điện làm cho hệ thống trở nên phức tạp hơn và có chi phí cao hơn. Trong nghiên cứu số [5], kỹ thuật GNSS-RTK (Real Time Kinematic) đã được áp dụng với máy thu GNSS phổ thông và có kết hợp với giải pháp kết nối và truyền dữ liệu không dây thời gian thực trên môi trường Internet. Tuy nhiên, nghiên cứu cũng mới dừng lại ở dữ liệu GNSS mà chưa có dữ liệu cảm biến.

Với các kết cấu, cấu trúc mà có tần số dao động nhỏ hơn 0.1 Hz và biên độ dao động rất nhỏ, cảm biến gia tốc có thể thu nhận kịp thời và phản ánh đúng bản chất của dao động đó [6]. Khả năng thu nhận dữ liệu với tần suất cao hàng trăm, hàng nghìn Hz, cảm biến gia tốc đáp ứng yêu cầu quan trắc, kiểm định dưới ảnh hưởng của các yếu tố như gió, hoạt tải của các phương tiện giao thông. Nghiên cứu số [7] đã khẳng định rằng cảm biến gia tốc cùng với cảm biến khác có vai trò quan trọng trong hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu. Các số liệu dày đặc được ghi nhận từ các đầu đo gia tốc, sử dụng các kỹ thuật, thuật toán phù hợp để chuyển đổi giữa các giá trị gia tốc, vận tốc và sau cùng là xác định được dịch chuyển, tần số hoặc chu kỳ dao động của đối tượng quan trắc [8, 9]. Tuy nhiên, một điểm giống như với giải pháp GNSS, các đầu đo cảm biến đang được kết nối và truyền tải dữ liệu bằng hệ thống dây dẫn lớn, làm cho công tác lắp đặt khó khăn và phức tạp hơn.

Sự phát triển của các giải pháp Internet kết nối vạn vật (IoT) cho phép vận hành các thiết bị từ xa, truyền tải số liệu thời gian thực một cách nhanh chóng hiệu quả. IoT xuất hiện trong hầu hết các sản phẩm, các hệ thống được sử dụng trong các ngành, lĩnh vực trong cuộc sống [10] và là khởi đầu cho một loạt cải tiến mới về công nghệ. IoT cho phép kết nối nhiều thiết bị với phương thức không dây, có thể thực hiện các lệnh và truyền tải dữ liệu đi mọi nơi [11], thay đổi nhiều hình thức quản lý công việc trong xu hướng cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 [12]. Cấu trúc của hệ thống IoT được chia thành 4 lớp thiết yếu [13], bao gồm: lớp nhận thức, lớp mạng, lớp ứng dụng và lớp nghiệp vụ. Theo xu hướng phát triển, yêu cầu sở hữu các phần cứng để lưu trữ hay vận hành sẽ không còn là yêu cầu bắt buộc với các đơn vị vận hành mà có thể thay thế bằng các nền tảng điện toán đám mây [14] và đã mang lại rất nhiều lợi thế trong kinh tế cũng như trong lĩnh vực quản lý. Vấn đề lớn nhất của IoT hay công nghệ điện toán đám mây đó là tính bảo mật và lựa chọn phương thức truyền tải phù hợp cho khối lượng dữ liệu lớn do mọi thứ được vận hành trên môi trường mạng. Do đó, một loạt các yếu tố đã được đề cập để cải thiện tốt hơn tính an toàn của giải pháp này trong nghiên cứu của tác giả Ahmed và cs. [15].

Công tác quan trắc cầu không nằm ngoài xu thế tất yếu trong sự phát triển của các giải pháp IoT khi nhu cầu về an ninh, an toàn của các kết cấu quan trọng được quan tâm nhiều hơn. Tác giả Mohamed và các cs. trong nghiên cứu năm 2019 đã kết luận mạng cảm biến không dây sẽ nhanh chóng thay đổi bộ mặt của các hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu trong tương lai [16]. Cũng trong nghiên cứu này, tác giả cũng đã đề cập tới một số loại cảm biến không dây, một số mạch kết nối đã được triển khai từ phòng thí nghiệm ra thực tế các công trường xây dựng như cầu, đường. Một trong những hạn chế quan trọng đã được đề cập đến đó là môi trường hoạt động, tần suất lấy mẫu cao, dung lượng số liệu lớn và thời gian quan trắc dài. Một nhận định có ý nghĩa tương tự được khẳng định trong nghiên cứu năm 2021 của tác giả Rizzo và cs. [17], theo đó, cảm biến không dây với sự tích hợp của kết nối không dây, giá thành thấp, kích thước nhỏ, thiết kế trên cùng một bảng mạch sẽ thay thế cảm biến có dây truyền thống trong hệ thống quan trắc. Tuy nhiên các nghiên cứu chưa đề cập đến truyền thời thực với tần số lấy mẫu cao, xử lý và hiển thị dữ liệu thời gian thực. Trong nghiên cứu [18–20], các tác giả

cũng cho rằng hệ thống quan trắc được kết nối và truyền tải sử dụng hệ thống dây dẫn là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự khó khăn trong cài đặt, bảo trì và sửa chữa. Do đó, trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu xây dựng module quan trắc cầu với sự kết hợp của thiết bị GNSS, cảm biến gia tốc sử dụng giải pháp IoT nhằm loại bỏ các hạn chế trong quan trắc với hệ thống dây dẫn kết nối là có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, bắt kịp xu hướng phát triển các ứng dụng của IoT và công nghệ điện toán đám mây trong lĩnh vực quan trắc.

## 2. Cơ sở lý thuyết, thiết bị và phương pháp kết nối

### 2.1. Cơ sở lý thuyết

Phương thức truyền tải định dạng RTCM qua giao thức Internet NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) cho phép truyền tải dữ liệu hệ thống định vị GNSS. NTRIP được thiết kế để truyền phát số hiệu chỉnh hoặc các định dạng dữ liệu GNSS khác cho người dùng cố định hoặc di động, cho phép máy tính, máy thu kết nối đồng thời với máy chủ phát sóng và hỗ trợ truy cập không dây qua mạng di động như GSM, GPRS, EDGE [21]. Định dạng RTCM cũng rất đa dạng và tùy thuộc vào các hãng sản xuất máy thu [22]. Đây là cơ sở quan trọng để các máy thu có tích hợp tính năng thu nhận dữ liệu hiệu chỉnh từ các trạm base qua phương thức 4G có thể thực hiện các cài đặt để truyền dữ liệu. Các máy thu rover có tính năng wifi có thể được kết nối và cài đặt qua giao diện web như minh họa trong Hình 1.

Hình 1. Cài đặt máy thu rover qua giao diện web

Trên Hình 1, NTRIP client là một trong ba hệ thống của NTRIP, số lượng của NTRIP client có thể lên tới hàng trăm tài khoản người dùng.

Module wifi là hệ thống liên lạc cho phép truyền dữ liệu và tín hiệu khác từ điểm này sang điểm khác qua sóng vô tuyến hoạt động ở dải tần UHF.

### 2.2. Thiết bị

Nghiên cứu sử dụng máy thu GNSS-RTK N3 của hãng Comnav, máy thu có tính năng kết nối wifi để cài đặt các chức năng của thiết bị với vai trò rover (Hình 2). Các tham số kỹ thuật quan trọng của thiết bị được trình bày trong Bảng 1.

Cảm biến MPU6050 và thiết bị GNSS được kết nối và lắp đặt minh họa trong Hình 3. Thiết bị GNSS comnav N3 được lắp đặt và cố định trên trục vít me bằng bu lông, đai ốc qua một thiết bị eto cơ khí. MPU6050 và ESP8266 được kết nối qua bảng mạch chuyên dụng.

Cảm biến sử dụng trong thực nghiệm là cảm biến gia tốc MPU 6050, thiết bị cảm biến tích hợp 6 trục với kích thước nhỏ, độ nhạy cao. MPU kết hợp con quay hồi chuyển 3 trục và gia tốc kế 3 trục

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của Comnav [23]

Tín hiệu	Đa hệ vệ tinh
Độ chính xác	8 mm+1 ppm cho mặt bằng
RTK	15mm+1 ppm cho phương đứng
Kết nối	Wifi, Bluetooth
Dữ liệu hiệu chỉnh	RTCM 2.X, 3.X...
Dữ liệu vị trí	GGA, GSA...
Tần suất ghi lớn nhất	20 Hz

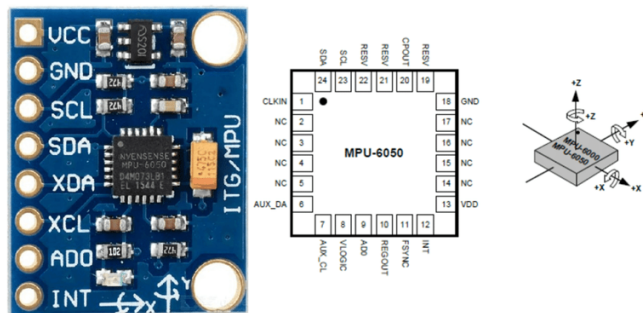


Hình 2. Máy thu Comnav N3



Hình 3. Kết hợp GNSS và cảm biến

trên cùng một bảng mạch [24], có dải đo rộng từ  $\pm 2g$  đến  $\pm 16g$ , thu nhận được các gia tốc của các kết cấu có tần số dao động từ thấp đến cao (Hình 4).

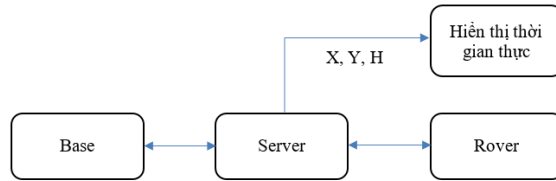


Hình 4. Cảm biến gia tốc MPU 6050

ESP8266 là dòng chip tích hợp module wifi độc lập, cho phép lưu trữ các ứng dụng và kết nối với các thiết bị cảm biến khác [25]. ESP8266 có kích thước nhỏ gọn, bộ vi xử lý mạnh và được dùng nhiều trong các ứng dụng IoT (Hình 5). Nghiên cứu sử dụng phiên bản ESP8266 V12, đóng gói trong mạch nodeMCU 1.0 và được lập trình trên nền tảng Arduino IDE phiên bản 2.1.0.

### 2.3. Phương pháp kết nối

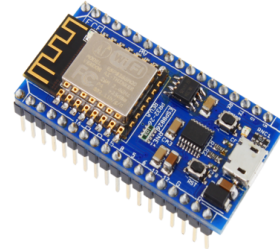
Trong nghiên cứu, máy thu quan trắc được cài đặt và thiết lập chế độ làm việc theo phương thức 4G, sim gắn trên máy thu với địa chỉ IP là 123.31.47.47, cổng kết nối 8888 cùng với tài khoản và mật khẩu cho người dùng. Minh họa sơ đồ kết nối và làm việc giữa máy base và rover trên Hình 6.



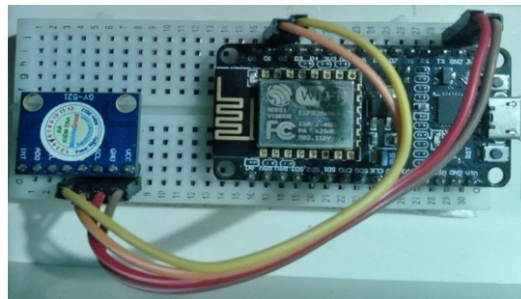
Hình 6. Sơ đồ kết nối của hợp phần GNSS

Theo đó, máy rover đặt tại điểm quan trắc nhận được số cài chỉnh từ trạm gốc base để xác định chính xác tọa độ XYZ liên tục theo thời gian. Sau đó, thông qua server, kết quả quan trắc được hiển thị thông qua biểu đồ trực quan trên giao diện web, ngoài ra các kết quả số liệu trong quá khứ được lưu trữ và truy cập trực tiếp trên đó.

Thiết bị cảm biến gia tốc MPU6050 được kết nối với thiết bị wifi ESP8266, sử dụng chung nguồn điện với điện áp thấp. Sơ đồ kết nối MPU6050 với ESP8266 được minh họa trong Hình 7.



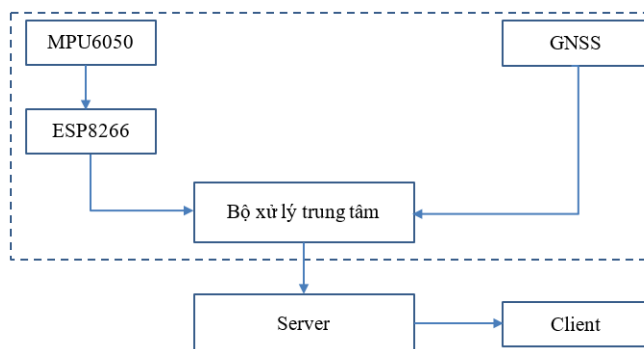
Hình 5. Module wifi ESP8266



Hình 7. MPU với ESP8266

Trình tự thực hiện thu, truyền và hiển thị dữ liệu từ cảm biến thực hiện theo trình tự sau:

- Thiết lập server giả lập;
- Xác định và thiết lập địa chỉ IP của mạng Wifi;
- Bắt đầu ghi dữ liệu, truyền và hiển thị số liệu cảm biến qua kết nối wifi trên điện thoại thông minh. Nghiên cứu sử dụng server giả lập, địa chỉ IP động (IP thay đổi). Sơ đồ kết nối tổng thể của thiết bị GNSS, cảm biến được thể hiện trên Hình 8.



Hình 8. Sơ đồ kết nối tổng thể

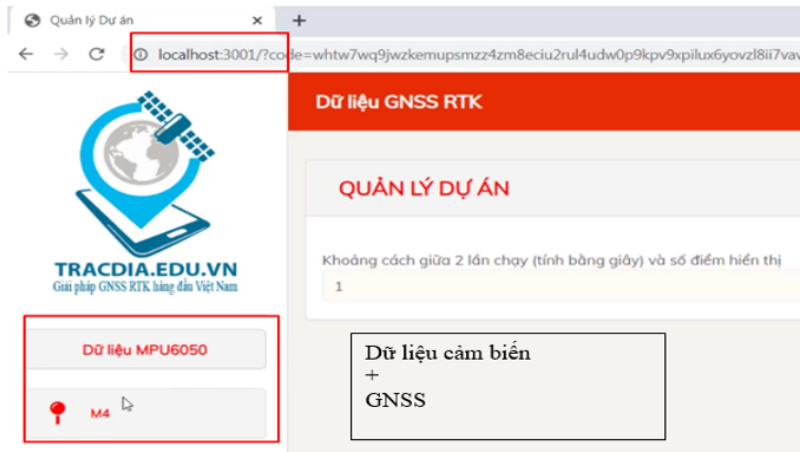


Trong Hình 8, MPU6050, GNSS, ESP8266 và bộ xử lý trung tâm được đặt tại công trình, kết cấu cần đo đặc, quan trắc. Server được đặt ở một nơi bất kỳ và người dùng cuối với các chức năng xem, tải dữ liệu và chọn phương pháp xử lý số liệu.

### 3. Kết quả thực nghiệm

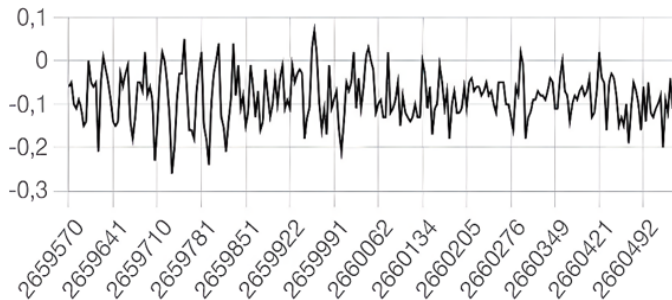
#### 3.1. Kết quả thu nhận và truyền dữ liệu

Giao diện trình duyệt để xem và hiển thị được thể hiện trong Hình 9 với hai module thiết bị là máy thu GNSS (M4) và cảm biến gia tốc MPU6050.

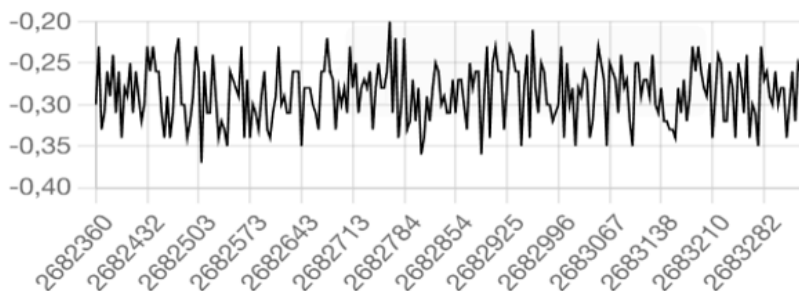


Hình 9. Server giả lập và giao diện trên trình duyệt

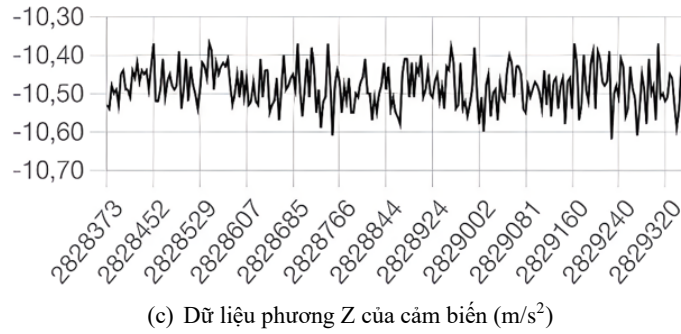
Kết quả thu nhận và hiển thị dữ liệu thử nghiệm thời gian thực tại cầu Nhật Tân (Thành phố Hà Nội) từ cảm biến gia tốc MPU6050 với tần suất 250 trị đo trên mỗi giây được thể hiện trong Hình 10(a)-(b)-(c).



(a) Dữ liệu phương X của cảm biến ( $\text{m/s}^2$ )



(b) Dữ liệu phương Y của cảm biến ( $\text{m/s}^2$ )

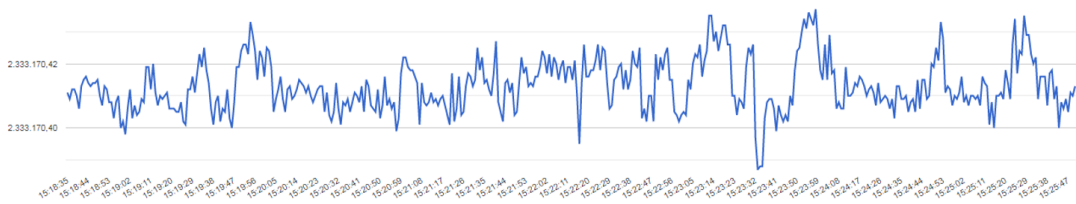


Hình 10. Dữ liệu thời gian thực của cảm biến gia tốc

Biểu đồ Hình 10 là hiển thị trực quan theo thời gian thực dữ liệu gia tốc theo các phương X, Y, Z của cảm biến, cho phép quan sát, nhận biết các giá trị bất thường trong quá trình quan trắc.

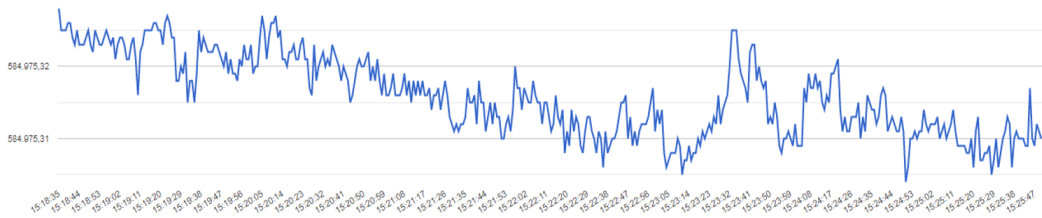
Kết quả thu nhận và hiển thị dữ liệu thời gian thực của thiết bị GNSS với tần suất 01 trị đo trên mỗi giây được thể hiện trong Hình 11(a)-(b)-(c).

TRỤC X (Min: 2333170.387, Max: 2333170.437, Biên độ: 0.050)



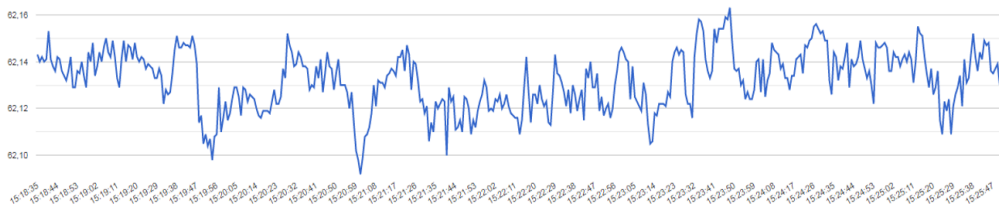
(a) Dữ liệu trục X của GNSS

TRỤC Y (Min: 584975.304, Max: 584975.328, Biên độ: 0.024)



(b) Dữ liệu trục Y của GNSS

TRỤC Z (Min: 62.092, Max: 62.163, Biên độ: 0.071)



(c) Dữ liệu trục Z của GNSS

Hình 11. Dữ liệu thời gian thực của GNSS

Biểu đồ Hình 11 là hiển thị thời gian thực vị trí của điểm đặt anten GNSS theo các phương X, Y, Z sử dụng phương pháp RTK trạm base đơn.

Kết quả dữ liệu cảm biến và GNSS được lưu trữ dưới các tệp tin định dạng text. Trong đó, GNSS có tần suất thu tín hiệu thưa hơn, được ngắt và lưu với thời gian một tiếng cho mỗi tệp tin. Với cảm biến, tần suất thu tín hiệu 250 trị đo mỗi giây nên được ngắt và lưu với tần suất mỗi giây. Số liệu thu, truyền không dây và lưu trữ thực nghiệm ngày 31 tháng 5 năm 2023, tại cầu dây văng Nhật Tân được thể hiện trong Hình 12.



Hình 12. Lưu trữ dữ liệu quan trắc trên máy chủ

Các dữ liệu hiển thị thời gian thực trên các hình 10, 11 là dữ liệu thô ban đầu. Để phục vụ công tác phân tích, đánh giá hậu kỳ, dữ liệu GNSS và cảm biến được lưu trữ trên máy chủ. Kết quả của hợp phần GNSS với tần suất một giây một trị đo là tương đương với kết quả trong nghiên cứu [5] về xây dựng hệ thống cảnh báo thời gian thực. Kết quả của hợp phần cảm biến với tần suất 250 trị đo trên mỗi giây là bài toán có nhiều khó khăn nhất với giải pháp không dây mà các nghiên cứu đi trước không đề cập đến nội dung này. Tuy nhiên, so sánh với thực tế, kết quả truyền thời gian thực với tần suất 250 trị đo là một bài toán khó. Nguyên nhân chính là do tốc độ đường truyền mạng từ sim di động là có hạn chế. Do đó, giải pháp truyền không dây thời gian thực dữ liệu cảm biến gia tốc cần được cân nhắc với tần suất phù hợp và áp dụng giải pháp lưu trữ tích hợp trong trường hợp cần phục vụ mục đích kiểm định, đánh giá dao động của kết cấu quan trắc.

Dữ liệu cảm biến được truyền và lưu trữ theo đơn vị thời gian tính bằng giây bởi nguyên nhân là thiết bị ESP8266 giá thành rẻ, năng lực xử lý của chip tích hợp trên sản phẩm là giới hạn. Để có thể xử lý với tần suất cao hơn, có thể sử dụng thiết bị IoT có chất lượng cao hơn. Bên cạnh đó, hạ tầng mạng cũng là một yếu tố ảnh hưởng tới khả năng truyền dữ liệu thời gian thực với tần số cao. Nghiên cứu sử dụng mạng wifi từ gói cước của Sim di động, tốc độ có hạn chế ở băng tần 2,4 GHz.

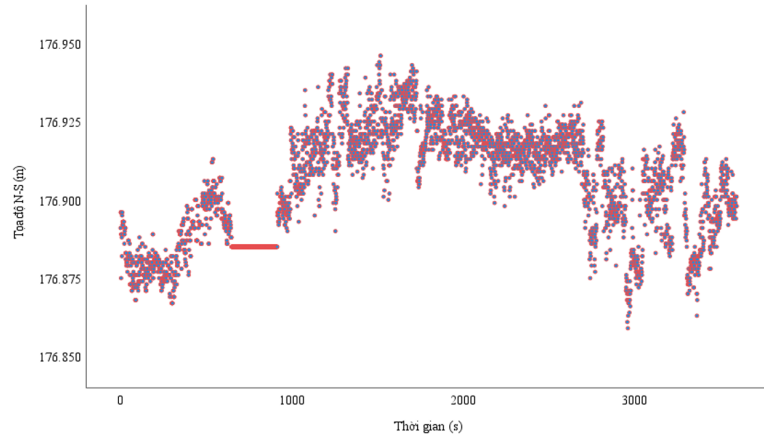
### 3.2. Kết quả bước đầu phân tích số liệu từ GNSS

Kết quả phân tích số liệu trong thời gian từ 8h00 đến 9h00 sáng ngày 31 tháng 05 năm 2023 tại cầu Nhật Tân được thể hiện trong bản đồ phân bố các trị đo trong Hình 13(a)-(b)-(c), Hình 14(a)-(b)-(c).

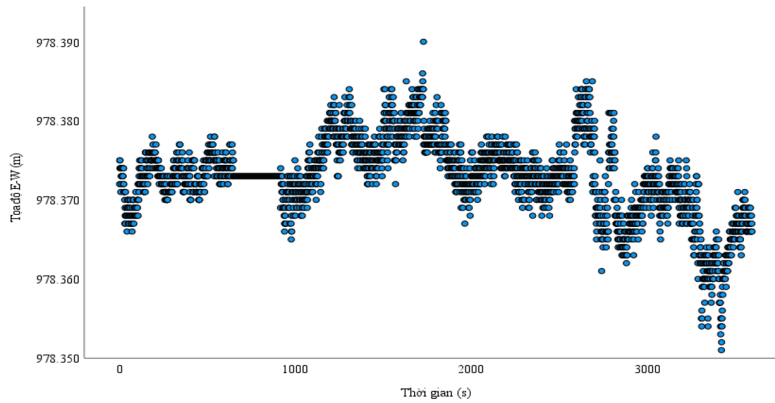
Hình 13 thể hiện toạ độ của điểm quan trắc theo các phương N-S (tương ứng với trục X), E-W (tương ứng với trục Y), và U-D (tương ứng với trục Z) theo thời gian thực trong khoảng thời gian 1 giờ. Giá trị biên độ dao động theo phương X là 8,7 cm (nhỏ nhất là 176,859 m, lớn nhất là 176,946



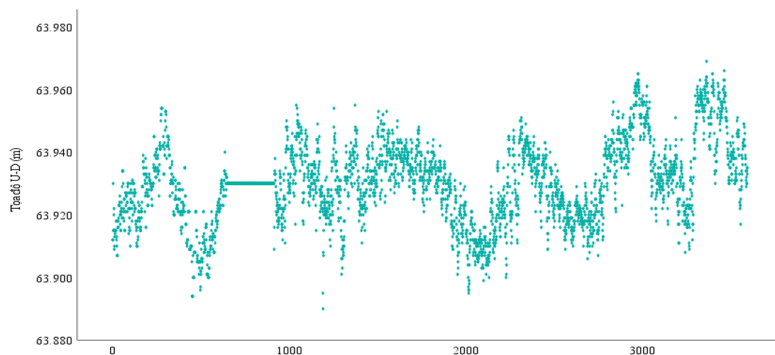
m); phương Y là 3,9 cm (nhỏ nhất là 978,351 m, lớn nhất là 978,390 m); phương Z là 7,9 cm (nhỏ nhất là 63,890 m, lớn nhất là 63,969 m).



(a) Phân bố theo phương N-S



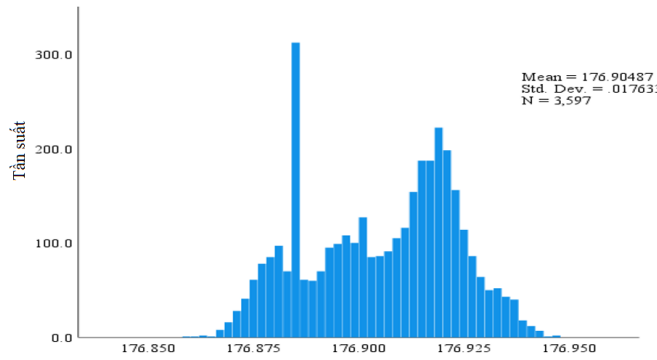
(b) Phân bố theo phương E-W



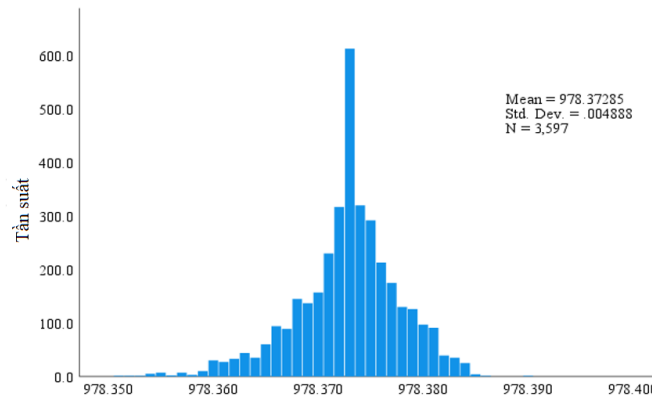
(c) Phân bố theo phương U-D

Hình 13. Biểu đồ phân tán theo 3 phương

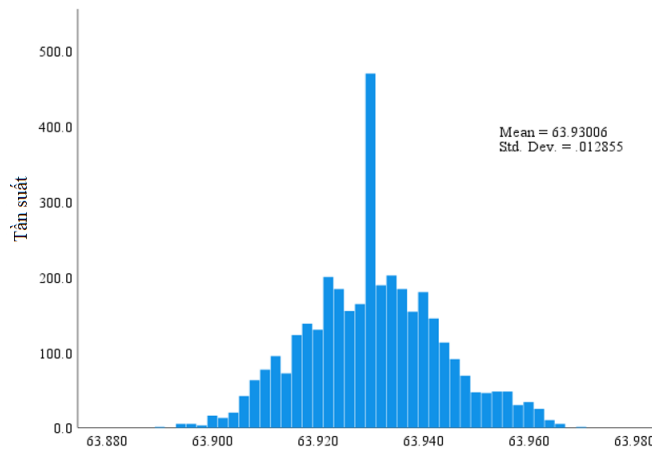
Hình 14 cho thấy dao động của điểm quan trắc theo các phương E-W và U-D có giá trị biến đổi đều quanh trị trung bình (978,3729 m phương E-W và 63,9300 m phương U-D) và có mức độ hội tụ tốt hơn so với phương N-S.



(a) Phân bố tọa độ N-S



(b) Phân bố tọa độ E-W



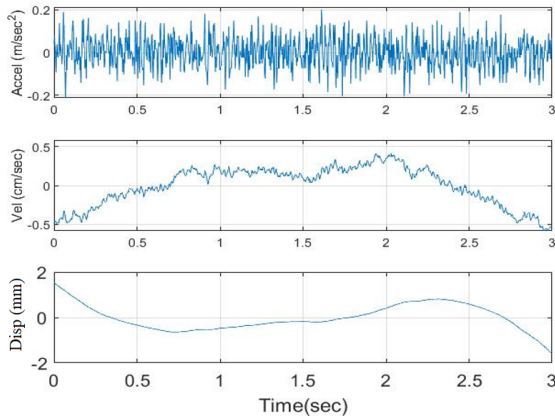
(c) Phân bố tọa độ U-D

Hình 14. Biểu đồ tần suất dạng histogram theo 3 phương

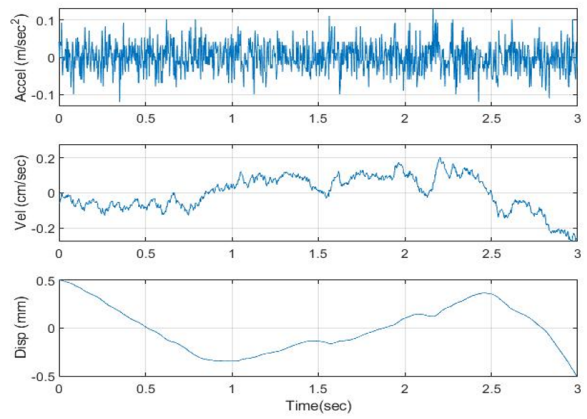
Các hình 13 và 14 cũng cho thấy sự cần thiết phải có phương pháp phù hợp trong phân tích dịch chuyển công trình sử dụng dữ liệu GNSS-RTK do ảnh hưởng không chỉ từ dao động của bản thân kết cấu quan trắc mà còn của các yếu tố khác như điều kiện khí tượng, thời tiết. Các yếu tố dịch chuyển có thể được quan sát chi tiết hơn khi sử dụng dữ liệu cảm biến trong Hình 15.

### 3.3. Kết quả bước đầu phân tích số liệu từ cảm biến

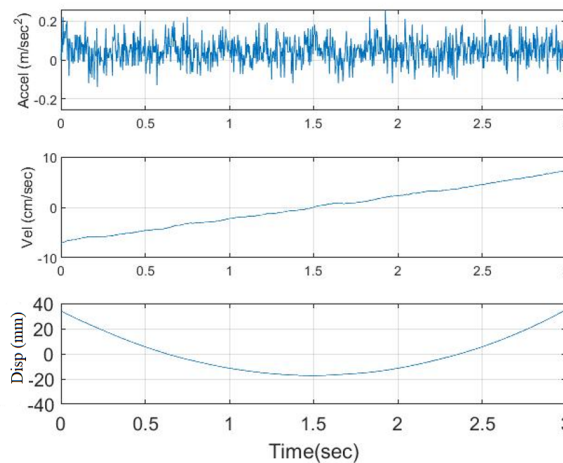
Số liệu gia tốc bước đầu được phân tích để xác định vận tốc và lượng dịch chuyển theo phương pháp đơn giản là sử dụng tích phân kép với phần mềm Vibrationdata.



(a) Phân tích vận tốc và dịch chuyển theo phương X



(b) Phân tích vận tốc và dịch chuyển theo phương Y



(c) Phân tích vận tốc và dịch chuyển theo phương Z

Hình 15. Phân tích số liệu cảm biến

So sánh kết quả phân tích sơ bộ ban đầu trên Hình 15 cho thấy mức độ khác biệt trong xác định lượng dịch chuyển từ dữ liệu cảm biến và dữ liệu GNSS. Nghiên cứu chỉ sử dụng một phần dữ liệu để bước đầu xác định các thành phần có ý nghĩa trong phân tích dao động công trình cầu, chưa đi vào lọc và kỹ thuật phân tích chuyên sâu. Với khả năng thu nhận dữ liệu dày đặc, số liệu cảm biến ghi nhận đầy đủ các dao động của công trình cầu hơn so với GNSS.

Kết nối các thiết bị và truyền tải không dây đang là một xu hướng nghiên cứu trong cả lý thuyết và thực tiễn nhằm tiến tới một hệ thống quan trắc gọn nhẹ và hiệu quả. Với tần suất lấy mẫu dày đặc, việc lưu trữ và truyền dữ liệu liên tục là một thử thách. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu từ sự kết hợp thiết bị GNSS, cảm biến gia tốc với giải pháp IoT chứng tỏ tính khả thi của giải pháp này trong quan trắc thời gian thực.

#### 4. Kết luận

Chúng tôi đã sử dụng thiết bị GNSS Comnav N3, tần suất lấy mẫu 1 Hz, cảm biến gia tốc MPU 6050 với tần suất lấy mẫu 250 Hz và thiết bị wifi ESP8266 để kết nối và truyền tải số liệu từ các thiết bị về thiết bị máy chủ. Thiết bị được thử nghiệm quan trắc dao động cầu Nhật Tân (Thành phố Hà Nội) theo thời gian từ 8h00 đến 9h00 ngày 31 tháng 5 năm 2023. Kết quả nghiên cứu thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, đáp ứng các mục tiêu đề ra tính tự động, trực quan, thời gian thực.

Kết quả nghiên cứu của bài báo là đã nghiên cứu xây dựng hệ thống kết hợp thiết bị GNSS, cảm biến gia tốc và giải pháp IoT với giá thành rẻ để thực hiện giải pháp thu thập, hiển thị số liệu quan trắc cầu thời gian thực. Kết quả nghiên cứu thử nghiệm là bước đầu theo hướng ứng dụng với số lượng antenna GNSS và cảm biến nhiều hơn tại các vị trí quan trọng của kết cấu cần quan trắc và phân tích chuyên sâu để tính toán được các thông số quan trọng tổng thể của công trình cầu.

#### Lời cảm ơn

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn Công ty cổ phần công nghệ Nguyễn Kim đã hỗ trợ tài khoản sử dụng trạm và thiết bị GNSS comnav N3 để phục vụ thu thập số liệu thực nghiệm.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Yu, J., Meng, X., Yan, B., Xu, B., Fan, Q., Xie, Y. (2019). [Global Navigation Satellite System-based positioning technology for structural health monitoring: a review](#). *Structural Control and Health Monitoring*, 27(1). ISSN 1545-2263.
- [2] China Satellite Navigation Office (2019). *Development of the BeiDou Navigation Satellite System (Version 4.0)*.
- [3] Kaloop, M. R., Hu, J. W. (2016). [Dynamic Performance Analysis of the Towers of a Long-Span Bridge Based on GPS Monitoring Technique](#). *Journal of Sensors*, 2016:1–14. ISSN 1687-7268.
- [4] Roberts, G. W., Brown, C. J., Ogundipe, O. (2010). Monitoring bridges by GNSS. *Proceedings of FIG Congress "Facing the Challenges-Building the Capacity"*, Sydney, Australia.
- [5] Quang, V. N., Hà, N. V., Chiêu, V. Đ. (2023). [Xây dựng hệ thống quan trắc chuyển dịch và cảnh báo sớm sử dụng kỹ thuật GNSS-RTK](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 17(1V): 134–146. ISSN 2615-9058.
- [6] Kopáček, A., Lipták, I., Erdélyi, J., Kyrinovič, P. (2015). [Structural health monitoring of bridges using accelerometers – a case study at Apollo Bridge in Bratislava](#). *Geonauka*, 03(01):9–15. ISSN 2334-8119.
- [7] Sivasuriyan, A., Vijayan, D. S., LeemaRose, A., Revathy, J., Gayathri Monicka, S., Adithya, U. R., Jebasingh Daniel, J. (2021). [Development of Smart Sensing Technology Approaches in Structural Health Monitoring of Bridge Structures](#). *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021:1–14. ISSN 1687-8434.
- [8] Sekiya, H., Kimura, K., Miki, C. (2016). [Technique for Determining Bridge Displacement Response Using MEMS Accelerometers](#). *Sensors*, 16(2):257. ISSN 1424-8220.
- [9] Gindy, M., Nassif, H. H., Velde, J. (2007). [Bridge Displacement Estimates from Measured Acceleration Records](#). *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2028(1): 136–145. ISSN 2169-4052.
- [10] Kumar, A., Jhavar, A., Bisht, D., Alex, P. (2017). Internet of Things (IoT) and Its Applications. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 3:13–20.
- [11] Maraiya, K., Tripathi, D. M. (2022). [IoT and Its State of Art Applications: A Survey](#). *Saudi Journal of Engineering and Technology*, 7(5):211–217. ISSN 2415-6264.
- [12] Nam, V. Q., Huy, D. T. N., Hang, N. T., Le, T.-H., Thanh, N. T. P. (2021). [Internet of Things \(IoTs\) Effects and Building Effective Management Information System \(MIS\) in Vietnam Enterprises and Human-Computer Interaction Issues in Industry 4.0](#). *Webology*, 18(Special Issue 04):354–363. ISSN 1735-188X.
- [13] Hadi Masmali, F., Miah, S. J., Noman, N. (2022). *Different Applications and Technologies of Internet of Things (IoT)*, 41–54. Springer Nature Singapore. ISBN 9789811923944.

- [14] Okoro, R., Idowu, S. (2013). [On the Cloud Web services: A Review](#). *International Journal of Computers & Technology*, 9(2):1020–1027. ISSN 2277-3061.
- [15] Ahmed, S. T., Khadhim, B. J., Kadhim, Q. K. (2021). [Cloud Services and Cloud Perspectives: A Review](#). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1090(1):012078. ISSN 1757-899X.
- [16] Abdulkarem, M., Samsudin, K., Rokhani, F. Z., A Rasid, M. F. (2019). [Wireless sensor network for structural health monitoring: A contemporary review of technologies, challenges, and future direction](#). *Structural Health Monitoring*, 19(3):693–735. ISSN 1741-3168.
- [17] Rizzo, P., Enshaeian, A. (2021). [Challenges in Bridge Health Monitoring: A Review](#). *Sensors*, 21(13): 4336. ISSN 1424-8220.
- [18] Ashwini, R., Mesta, S. S., Varsha A, U., Ravichandran, G., KSivaraman, H. (2017). Bridge monitoring system using wireless networks. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*, 2(5):107–111.
- [19] Pradeep Kumara, V. H., Shubhangi, D. C. (2020). [Design and Implementation of Real time monitoring of bridge using Wireless technology](#). *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*, IEEE.
- [20] Sampath Kumar, S., Bhavana B, S., Chethana K, S., Mamatha K, S. (2021). Real Time Monitoring of Bridge Using Wireless Technology. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 8(4):362–364.
- [21] Weber, G., Dettmering, D., Gebhard, H., Kalafus, R. (2005). Networked transport of RTCM via internet protocol (Ntrip)... IP-Streaming for Real-Time GNSS Applications. *Proceedings of the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2005)*, 2243–2247.
- [22] Cintra, J. P., Nero, M. A., Rodrigues, D. (2011). [GNSS/NTRIP service and technique: accuracy tests](#). *Boletim de Ciências Geodésicas*, 17(2):257–271. ISSN 1982-2170.
- [23] Comnav Tech (2021). *N3\_IMU\_GNSS\_Receiver*. p. 1–2.
- [24] InvenSense (2013). *MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions*.
- [25] Perets, T. (2021). *Investigation of Wi-Fi (ESP8266) Module and Application to an Audio Signal Transmission*.