

# Thiết kế thiết bị giám sát máy móc ngoài trời có tích hợp công nghệ định vị chính xác động học thời gian thực (real-time kinematic)

Nguyễn Bá Đạt<sup>1\*</sup>, Nguyễn Hoàng Long<sup>1</sup>, Nguyễn Quốc Hưng<sup>1</sup>, Lê Quốc Tuấn<sup>1</sup>,  
Trần Hà<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Đưa<sup>1</sup>, Hoàng Sĩ Hồng<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trung tâm Công nghệ Vi điện tử và Tin học, Viện Ứng dụng công nghệ

<sup>2</sup>Trung tâm Ươm tạo Công nghệ và Doanh nghiệp khoa học công nghệ, Viện Ứng dụng công nghệ

<sup>3</sup>Trường Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài 11/7/2022; ngày chuyển phản biện 15/7/2022; ngày nhận phản biện 28/7/2022; ngày chấp nhận đăng 2/8/2022

## Tóm tắt:

Việc xác định được vị trí chính xác của phương tiện, máy móc ngoài trời là điều quan trọng hàng đầu trong các ứng dụng quản lý, theo dõi, phân tích và điều khiển. Tuy nhiên, hầu hết các thiết bị giám sát hành trình phương tiện hiện nay có sai số cỡ từ vài m tới vài chục m, không đủ đáp ứng cho những ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao. Bài báo trình bày về thiết kế một thiết bị giám sát máy móc ngoài trời có tích hợp công nghệ định vị chính xác kiểu động học thời gian thực real-time kinematic (RTK). Thiết bị sử dụng mô đun Zed F9P của U-Blox làm lõi thực hiện chức năng định vị chính xác. Nhờ tích hợp công nghệ định vị RTK, thiết bị có thể giám sát vị trí của máy móc ở ngoài trời với độ chính xác tới mức cm.

**Từ khóa:** định vị chính xác, giám sát máy móc ngoài trời, GNSS, NTRIP, RTK.

**Chỉ số phân loại:** 2.2

## Đặt vấn đề

Việc giám sát hoạt động của các phương tiện, máy móc ngoài trời là vấn đề quan trọng giúp nâng cao hiệu quả vận hành, đồng thời cung cấp các thông tin hữu ích giúp nhà quản lý phân tích và ra quyết định. Tại Việt Nam, xe ô tô kinh doanh vận tải hành khách, xe ô tô kinh doanh vận tải hàng hóa bằng công-ten-nơ, xe đầu kéo kéo rơ moóc, sơ mi rơ moóc hoạt động kinh doanh vận tải và xe ô tô kinh doanh vận tải hàng hóa phải gắn thiết bị giám sát hành trình [1]. Tuy nhiên, hầu hết các thiết bị giám sát hành trình trên thị trường chỉ có độ chính xác từ vài m tới vài chục m. Trong những ứng dụng phân tích và điều khiển, độ chính xác vị trí yêu cầu cần đạt tới mức cm [2].

Có 2 phương pháp phổ biến để đạt được độ chính xác định vị tới mức cm là định vị điểm chính xác (Precise point positioning - PPP) và RTK [3]. PPP là dịch vụ định vị chính xác toàn cầu sử dụng tất cả các chòm sao GNSS có sẵn. PPP yêu cầu sự sẵn có của quỹ đạo vệ tinh tham chiếu chính xác và các sản phẩm đồng hồ sử dụng mạng lưới các trạm tham chiếu GNSS được phân phối trên toàn thế giới (IGS) [4]. Kết hợp các vị trí vệ tinh và đồng hồ chính xác với máy thu GNSS tần số kép, PPP có thể cung cấp các giải pháp vị trí ở cấp độ cm [4]. Hiệu suất độ chính xác thậm chí có thể tốt hơn, ví dụ: cấp độ dưới cm, trong xử lý hậu kỳ và ở chế độ tĩnh [4]. Nhược điểm của PPP là thời gian hội tụ tương đối dài, khoảng thời gian để đạt được độ chính xác cấp độ thường lên đến 30 phút [5]. RTK là một kỹ thuật GNSS vì sai cung cấp hiệu suất định vị cao trong vùng lân cận của một trạm tham chiếu gốc (trạm base) [6]. Kỹ thuật này dựa trên việc sử dụng các phép đo sóng mang và việc truyền các hiệu chỉnh từ trạm tham chiếu gốc, có vị trí đã được biết rõ, tới bộ thiết bị di động (rover), để các lỗi chính dẫn đến định vị độc lập bị loại bỏ [6]. Một trạm tham chiếu gốc RTK bao phủ một khu vực dịch vụ trải rộng khoảng 10 hoặc 20 km và cần có một

kênh liên lạc thời gian thực để kết nối trạm gốc và thiết bị di động [6]. RTK đạt được hiệu suất trong phạm vi vài cm, là một kỹ thuật thường được sử dụng trong các ứng dụng khảo sát [6].

Công nghệ RTK được áp dụng phổ biến trên thế giới trong nhiều lĩnh vực, như trắc địa và đo đạc bản đồ, giám sát và điều khiển máy móc... [2, 7]. Tại Việt Nam, đã có một số nghiên cứu khảo sát về độ chính xác của phương pháp định vị RTK và ứng dụng chế tạo hệ thống định vị công ten nơ trong cảng biển [8, 9]. Tuy nhiên, các nghiên cứu trong nước chủ yếu sử dụng hệ thiết bị thương mại, dưới góc nhìn của nhóm tác giả thì chưa có báo cáo về việc tích hợp công nghệ định vị RTK lên mạch in của thiết bị.

Bằng phương pháp lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, chúng tôi đã thiết kế một thiết bị định vị giám sát máy móc ngoài trời có khả năng xác định vị trí chính xác tới mức cm. Nội dung bài báo cũng trình bày một đề xuất về mô hình hệ thống giám sát máy móc ngoài trời có tích hợp công nghệ định vị chính xác RTK, cách thiết lập trạm tham chiếu gốc và máy chủ truyền nhận dữ liệu hiệu chỉnh qua internet (ntrip caster).

## Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Hệ thống giám sát hành trình thông thường bao gồm 2 thành phần là thiết bị gắn trên xe và trên máy chủ đón dữ liệu để xử lý các nghiệp vụ quản lý. Để tích hợp công nghệ định vị RTK, cần bổ sung thêm 2 thành phần nữa là trạm cơ sở và máy chủ truyền nhận dữ liệu hiệu chỉnh. Chúng tôi đề xuất một mô hình hệ thống giám sát máy móc ngoài trời tích hợp công nghệ định vị động thời gian thực (hình 1) gồm 4 thành phần: 1) Trạm tham chiếu gốc hay còn gọi là trạm cơ sở; 2) Máy chủ truyền nhận dữ liệu hiệu chỉnh (ntrip caster); 3) Thiết bị giám sát máy móc ngoài trời (rover); 4) Máy chủ quản lý giám sát máy móc ngoài trời.

\*Tác giả liên hệ: Email: datnb.2202@gmail.com

# Designing an outdoor machinery monitoring device with integrated real-time kinematic positioning

Ba Dat Nguyen<sup>1\*</sup>, Hoang Long Nguyen<sup>1</sup>,  
 Quoc Hung Nguyen<sup>1</sup>, Quoc Tuan Le<sup>1</sup>, Ha Tran<sup>2</sup>,  
 Van Dua Nguyen<sup>1</sup>, Si Hong Hoang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Center for Microelectronics and Information Technology,  
 National Center for Technological Progress

<sup>2</sup>Nacentech Technology and Business Incubator Center,  
 National Center for Technological Progress

<sup>3</sup>School of Electrical and Electronic Engineering,  
 Hanoi University of Science and Technology

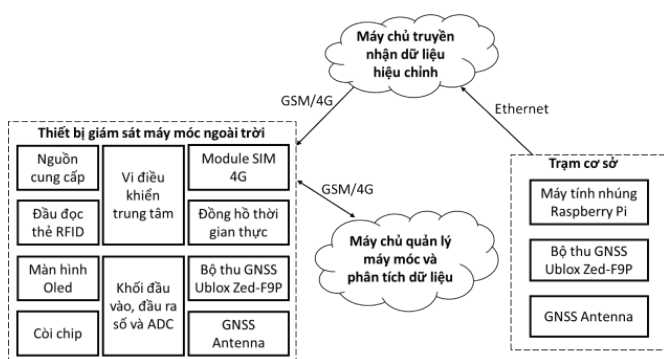
Received 11 July 2022; accepted 2 August 2022

## Abstract:

Accurate positioning of outdoor vehicles and machinery is of the top importance in management, tracking, analysis, and control applications. However, most of the current vehicle tracking devices have an error of a few meters to several tens of meters, which is not enough for applications requiring high accuracy. This paper presents the design of an outdoor machinery monitoring device that integrates precise positioning technology of real-time kinematic (RTK). The device uses U-Blox's Zed F9P module as the core to perform the high accuracy positioning function. Thanks to the integration of RTK positioning technology, the device can monitor the location of machinery outdoors with centimeter-level accuracy.

**Keywords:** GNSS, NTRIP, outdoor machinery monitoring, precision positioning, RTK.

**Classification number:** 2.2



Hình 1. Mô hình hệ thống theo dõi, giám sát máy móc ngoài trời.

Trạm cơ sở là một bộ thu GNSS tĩnh, với ăng-ten thu được cố định trên một giá đỡ ổn định với tầm nhìn thoáng trên bầu trời. Tọa độ của trạm cơ sở cần được xác định trước rất chính xác (đến từng mm). Trong suốt quá trình hoạt động, trạm cơ sở sẽ “lắng nghe” tất cả các vệ tinh GPS, Glonass, Galileo, BeiDou và so sánh trong thời

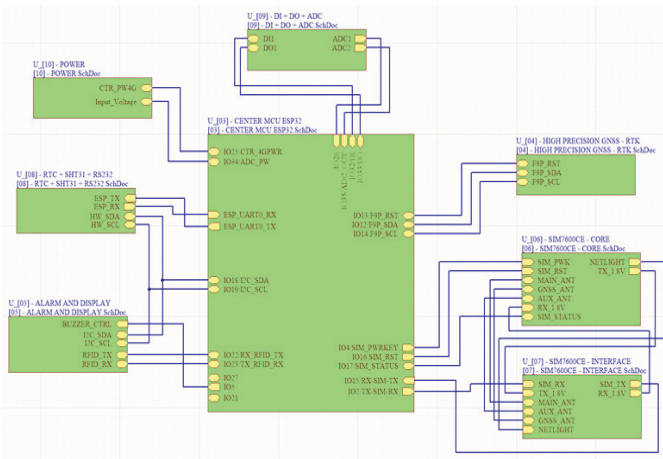
gian thực vị trí ước tính của nó thông qua tín hiệu vệ tinh với vị trí thực của nó. Kết quả thu được là một luồng dữ liệu (RTCM) sẽ được gửi lên một máy chủ trung gian để phân phối đến các máy thu di động khác (rover) để sửa lại vị trí của nó. Trong mô hình này, phần cứng của trạm cơ sở gồm có: 1 ăng-ten GNSS hai tần số, 1 bộ thu GNSS Zed-F9P của U-Blox có tích hợp nhân xử lý RTK, 1 máy tính nhúng Raspberry Pi. Trạm cơ sở được xây dựng tham khảo theo dự án mã nguồn mở Centipede RTK [10].

Ủy ban Kỹ thuật vô tuyến cho dịch vụ hàng hải đã đưa ra một giao thức tiêu chuẩn để gửi dữ liệu quan sát vệ tinh qua một liên kết vô tuyến. Vì vậy, một trạm cơ sở từ một nhà sản xuất có thể gửi các quan sát đến một rover từ một nhà sản xuất khác. Đây được gọi là giao thức RTCM, nó hiện tại đang ở phiên bản thứ 3 [11]. Các bản tin RTCM từ trạm cơ sở được gửi đến rover theo cách truyền thông thông qua kênh truyền sóng vô tuyến (chẳng hạn như LoRa), tuy nhiên cách này có hạn chế là phạm vi ngắn và không phân phối được cho một số lượng lớn rover. Để cung cấp một giải pháp thay thế tốt hơn cho RTCM qua liên kết vô tuyến, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) đã xác định mạng vận tải RTCM qua giao thức internet (NTRIP) thay thế liên kết vô tuyến bằng kết nối HTTP qua internet. Điều này yêu cầu trạm base và rover phải được kết nối với internet và có thể giao tiếp với nhau. Để đạt được điều đó, một trong các thiết bị liên quan phải có địa chỉ internet được công bố, tức là địa chỉ IP cố định và tên miền. Đó là mục đích của caster. Một caster nhận lưu lượng NTRIP từ một hoặc nhiều trạm base và định tuyến nó đến một hoặc nhiều rover. Có bộ truyền tín hiệu trung gian có nghĩa là cả trạm base và rover đều không cần bất kỳ loại kết nối trực tiếp nào với nhau. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã thuê một máy chủ và đăng ký tên miền, sau đó cài đặt phần mềm caster mã nguồn mở của BKG [11].

Thiết bị giám sát máy móc ngoài trời hoạt động trên nguyên tắc thu thập các thông tin trạng thái hoạt động của máy móc, sau đó lưu trữ lại trên thiết bị và truyền tin về một máy chủ quản lý theo dõi. Trong phạm vi nghiên cứu này, chúng tôi tập trung vào thông số vị trí chính xác của máy móc ngoài trời. Tuy vậy, khi thiết kế phần cứng nhóm tác giả vẫn tính toán để dự phòng các tính năng mở rộng gồm: màn hình oled để hiển thị trạng thái hoạt động của thiết bị, còi chip để phát tín hiệu thông báo, cảnh báo, đầu đọc thẻ RFID để xác thực phiên hoạt động của lái máy, các cổng vào ra số và ADC phục vụ việc mở rộng tính năng để kết nối đến cảm biến, đo và điều khiển các đối tượng trên xe. Các khối phần cứng được tích hợp và kết nối với nhau trên một bảng mạch in duy nhất. Hình 2 là sơ đồ nguyên lý kết nối các khối phần cứng được chụp từ phần mềm thiết kế mạch.

Các máy thu vệ tinh GNSS có hỗ trợ RTK chuyên nghiệp trên thị trường có giá thành rất đắt, lên tới hàng nghìn USD. Vì vấn đề chi phí và khả năng tích hợp nhỏ gọn vào mạch in, module Zed-F9P của Ublox được lựa chọn cho khối thu GNSS. Để thuận tiện cho thiết kế thử nghiệm, chúng tôi sử dụng bo mạch SparkFun GPS-RTK-SMA đã ra chân các giao diện kết nối của Zed-F9P có giá là 275 USD [12].

Để thiết bị giám sát máy móc ngoài trời có thể kết nối với internet một cách linh hoạt, di động nhất có thể, giải pháp mạng di



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý thiết bị giám sát máy móc ngoài trời.

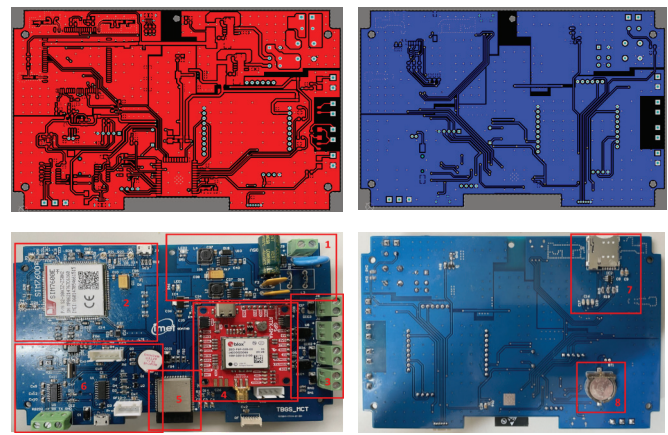
động 4G được lựa chọn với phần cứng là module SIM7600E của SIMCOM. Vì điều khiển trung tâm sử dụng trong nghiên cứu này là ESP32 - một SoC (System on Chip) vừa mạnh mẽ vừa có giá thành rẻ. Vì điều khiển trung tâm chính là hạt nhân kết nối tất cả các ngoại vi của thiết bị. Một thành phần rất quan trọng nữa trên thiết bị là khối nguồn. Với đặc thù là thiết bị gắn trên xe, nguồn điện cho thiết bị được trích ra từ bình điện (ắc quy) trên xe kết hợp với nguồn điện từ máy phát khi xe nổ máy. Do trên xe còn có những phụ tải khác, và công suất cấp ra phụ thuộc vào tốc độ vòng tua của động cơ, vì vậy việc thiết kế nguồn của thiết bị cần đặc biệt lưu ý để đảm bảo hoạt động ổn định.

Máy chủ quản lý giám sát máy móc ngoài trời là một máy chủ web thực thi các nghiệp vụ giám sát, quản lý phương tiện và máy móc. Trong phạm vi nghiên cứu này, chúng tôi đã xây dựng một phiên bản thử nghiệm tập trung vào chức năng đón dữ liệu từ thiết bị dưới hiện trường, sau đó lưu vào cơ sở dữ liệu và vẽ lại hành trình cùng các thông số hoạt động gồm tọa độ, tốc độ và độ chính xác ước tính của kết quả định vị.

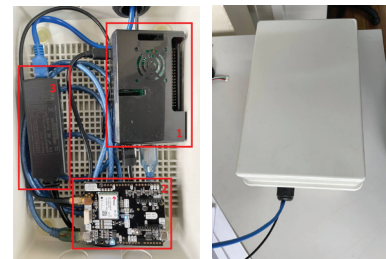
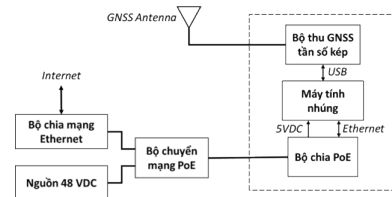
### Kết quả

Hình 3 và 4 thể hiện hình ảnh mạch in thiết bị giám sát máy móc ngoài trời và trạm cơ sở sau khi thiết kế, gia công và tích hợp. Một trạm cơ sở được đặt tại Trung tâm Vi điện tử và Tin học, Viện Ứng dụng Công nghệ, với phần ăng-ten thu GNSS đặt trên nóc tòa nhà C6 - Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội. Vị trí chính xác của trạm cơ sở có được bằng phương pháp khảo sát tĩnh PPP và được cài đặt vào phần mềm trạm cơ sở theo hướng dẫn [10]. Một ntrip caster cũng được nhóm cài đặt trên máy chủ với tên miền “test.dinhvichinhxac.online”, cổng 2101 với tên điểm gắn kết (mount point) là IMETO.

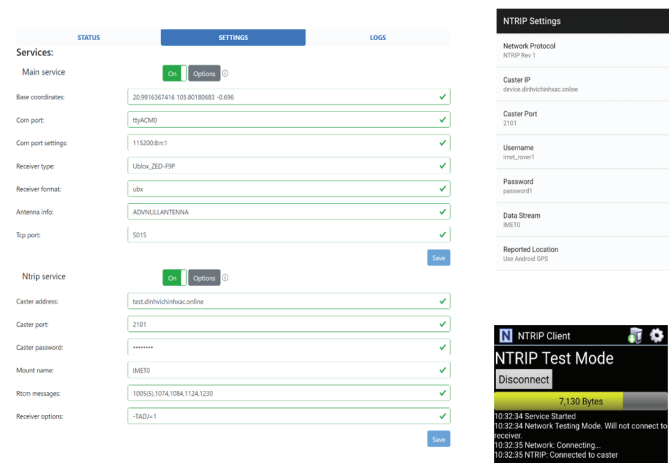
Việc cấu hình trạm cơ sở và thông luồng dữ liệu ntrip caster có thể được kiểm tra thông qua phần mềm Ntrip Client trên điện thoại như minh họa ở hình 5. Để tiến hành đánh giá hoạt động thiết bị và độ chính xác định vị, chúng tôi đã thực hiện 2 bài thử nghiệm mô phỏng tình huống sử dụng thiết bị trong thực tế như sau:



Hình 3. Mạch in thiết bị giám sát máy móc ngoài trời. (1) Khối nguồn; (2) Khối SIM7600; (3) Khối mở rộng vào ra số và ADC; (4) Khối thu GNSS Zed-F9P; (5) Module ESP32-WROOM32D; (6) Khối ngoại vi mở rộng oled, còi chip, RTC, RS232, RFID; (7) Khe cắm SIM; (8) Pin backup RTC.



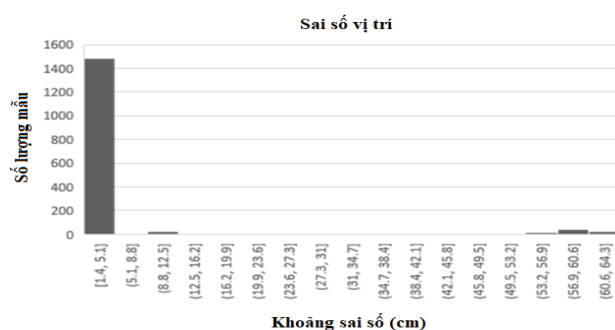
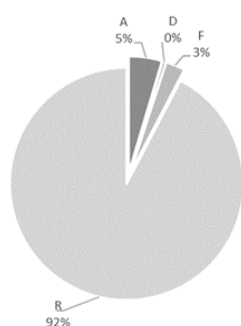
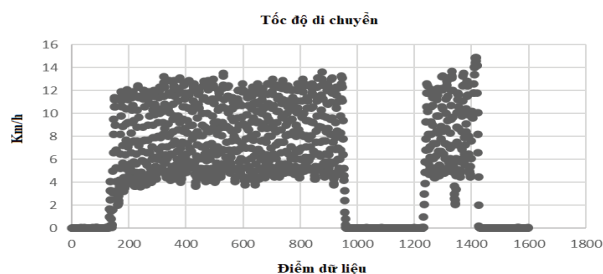
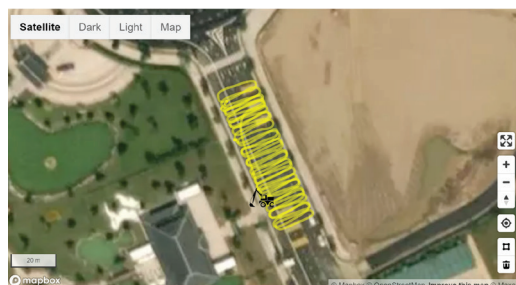
Hình 4. Trạm cơ sở. (1) Máy tính nhúng raspberry Pi; (2) Module Ublox Zed - F9P Arduisimple; (3) Bộ chia PoE sang nguồn 5 V và Ethernet.



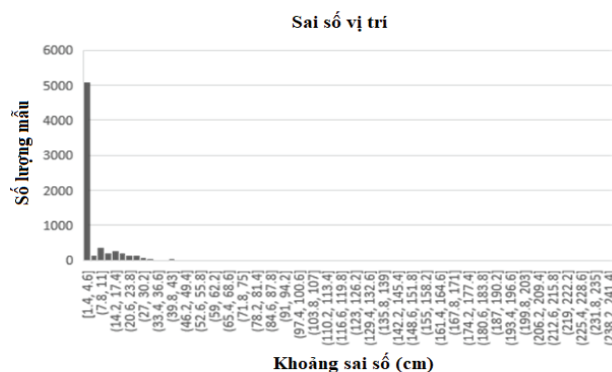
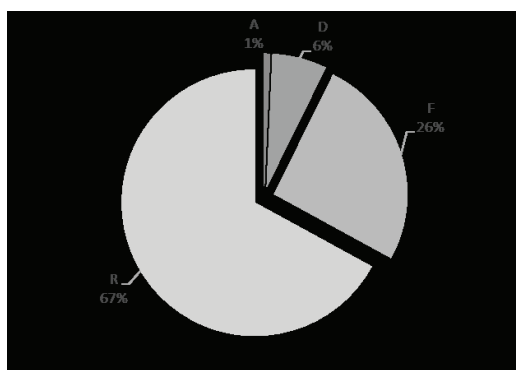
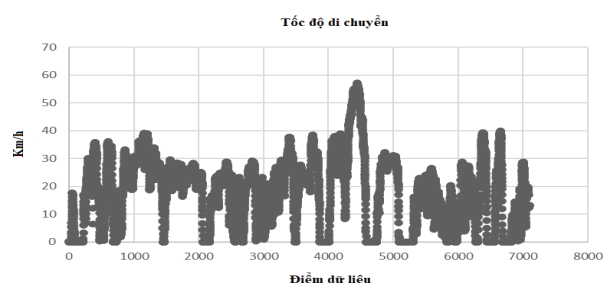
Hình 5. Cấu hình trạm cơ sở và kiểm tra luồng dữ liệu qua ntrip caster.

**Thử nghiệm 1:** Thực hiện di chuyển mô phỏng hành trình của máy móc ngoài trời như xe lu, xe ủi, máy xúc... khi đang làm việc trên công trường. Hành trình có đặc điểm là có sự lặp đi lặp lại trong một không gian nhỏ. Kết quả thử nghiệm thể hiện ở hình 6, khu vực tiến hành thử nghiệm là tại Khu đô thị Vinhomes Smart City (Tây Mỗ, Nam Từ Liêm, Hà Nội). Tốc độ di chuyển trong thử nghiệm

dao động từ 0 đến 15 km/h. Trong suốt quá trình thử nghiệm, có đến 92% thời gian thiết bị định vị ở chế độ RTK fixed, 3% ở chế độ RTK float, 0% ở chế độ DGNSS và 5% ở chế độ định vị đơn. Sai số vị trí ước lượng trên 90% nằm trong khoảng 1,4-5,1 cm và tới 93% nằm trong khoảng sai số dưới 10 cm.



Hình 6. Thử nghiệm trong phạm vi nhỏ tại khu vực thông thoáng.



Hình 7. Thử nghiệm thực tế trong nội thành Hà Nội.

**Thử nghiệm 2:** thực hiện di chuyển đường dài trong thành phố nhằm đánh giá tính ổn định và sai số vị trí khi xe chạy qua các khu vực đông đúc và bị che khuất, kết quả thử nghiệm được thể hiện ở hình 7. Hành trình di chuyển đi qua các con phố ở Hà Nội như sau: Khuất Duy Tiến - Trần Duy Hưng - Nguyễn Chí Thanh - Huỳnh Thúc Kháng - Láng Hạ - Giảng Võ - Giảng Văn Minh - Kim Mã - Nguyễn Thái Học - Phan Bội Châu - Hai Bà Trưng - Lê Duẩn - Giải Phóng - Trường Chinh - Nguyễn Trãi - Vũ Trọng Phụng - Hoàng Đạo Thúy - Trần Duy Hưng - Khuất Duy Tiến. Tốc độ di chuyển trong thử nghiệm trung bình khoảng 40 km/h, tốc độ cao nhất là 56 km/h. Trong suốt hành trình, có 67% thời gian thiết bị định vị ở chế độ RTK fixed, 26% thời gian ở chế độ RTK float, 6% thời gian ở chế độ DGNS và 1% thời gian ở chế độ định vị đơn. Sai số vị trí ước lượng khoảng 80% trong khoảng 1,4-7,7 cm và khoảng 90% nằm trong khoảng sai số dưới 20 cm.

### Bàn luận

Ở Việt Nam hiện nay, có một vài nhóm đã nghiên cứu ứng dụng công nghệ định vị GNSS RTK, tiêu biểu trong đó là của Huỳnh Văn Chương và cs (2019) [13] đã ứng dụng công nghệ định vị chính xác RTK trong đo đạc, thành lập bản đồ địa chính. Kết quả thực nghiệm trên 2 khu đo tại xã Ninh Gia và Lộc Thành của TP Đà Lạt cho thấy sai số tọa độ điểm từ 1 đến 3 cm với bán kính đo khoảng 10 cm và sử dụng các bộ định vị GNSS RTK có sẵn trên thị trường. Một nhóm tác giả tại trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội đã thực hiện khảo sát độ chính xác của công nghệ đo GNSS RTK, kết quả sai số trung bình là 4 cm thực nghiệm tại khu vực Hà Nội [14]. Từ đó cho thấy kết quả nghiên cứu trong bài báo này là tương đồng với các kết quả thử nghiệm đo đạc trắc địa tại Việt Nam với các bộ định vị GNSS RTK thương mại.

Chức năng định vị chính xác trong nghiên cứu này thực hiện được là nhờ bộ thu Zed-F9P của Hãng U-Blox, Thụy Sĩ. Bộ thu này được sử dụng rất phổ biến trong cả thiết bị thương mại lẫn trong nghiên cứu nhờ giá thành rẻ và hiệu năng cao, với sai số khi sử dụng trong thực tế ở chế độ RTK fixed là khoảng 2,1 cm [15]. Từ việc tích hợp thành công bộ thu Zed-F9P vào phần cứng thiết bị và thử nghiệm thành công chức năng định vị chính xác RTK kết quả nghiên cứu có thể mở rộng và phát triển theo hướng điều khiển xe tự hành cũng như hỗ trợ dẫn đường cho máy móc dùng trong nông nghiệp chính xác [7, 16].

### Kết luận

Bài báo đã trình bày thiết kế của một thiết bị định vị chính xác cùng mô hình hệ thống giám sát máy móc ngoài trời. Bằng việc áp dụng kết quả từ những dự án mã nguồn mở của cộng đồng định vị chính xác quốc tế, chúng tôi đã tự thiết lập trạm cơ sở, máy chủ truyền nhận dữ liệu hiệu chỉnh, chế tạo thiết bị và mô hình thử nghiệm. Từ các kết quả thử nghiệm được phân tích cho thấy, hệ thống hoạt động ổn định, tính năng định vị chính xác RTK đạt được hiệu suất cao; điều kiện môi trường có ảnh hưởng tới độ chính xác định vị RTK. Cụ thể, tại các khu vực có tầm nhìn bầu trời thoáng đãng, thiết bị dễ dàng đạt được độ chính xác định vị cao nhất ở chế

độ RTK fixed và duy trì sai số chỉ 1-5 cm. Điều này hoàn toàn phù hợp với điều kiện hoạt động của các đối tượng máy móc ngoài trời cần định vị chính xác như xe lu, xe ủi. Ở bài thử nghiệm di chuyển đường dài trong thành phố, khi đi qua các khu vực có mật độ xây dựng cao, thiết bị không còn duy trì được trạng thái RTK fixed. Tuy vậy, sai số định vị vẫn ở mức cm - chính xác hơn nhiều so với định vị thông thường.

### LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị định vị chính xác sử dụng trong giám sát máy móc ngoài trời”. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chính phủ (2014), *Nghị định số 86/2014/NĐ-CP ngày 10/09/2014 về kinh doanh và điều kiện kinh doanh vận tải bằng xe ô tô.*
- [2] Y. Jiang, X. He (2020), “Overview of applications of the sensor technologies for construction machinery”, *IEEE Access*, **8**, pp.110324-110335.
- [3] Novatel Inc. (2015), *An Introduction to GNSS GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo and Other Global Navigation Satellite.*
- [4] [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/PPP\\_Fundamentals](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/PPP_Fundamentals).
- [5] P.J.G. Teunissen, O. Montenbruck (2017), *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, Springer.
- [6] [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Real\\_Time\\_Kinematics](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Real_Time_Kinematics).
- [7] M. Pini, et al. (2020), “Experimental testbed and methodology for the assessment of RTK GNSS receivers used in precision agriculture”, *IEEE Access*, **8**, pp.14690-14703.
- [8] Nguyễn Chánh Nghiệm và cs (2015), “Khảo sát một số kỹ thuật định vị trong việc nâng cao độ chính xác của thiết bị thu GPS giá rẻ”, *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, **36**, tr.88-96.
- [9] N.K. Anh và cs (2020), “Nghiên cứu giải pháp định vị container trong cảng ứng dụng công nghệ RTK-GPS”, *Tạp chí Giao thông Vận tải*, **6**, tr.134-138.
- [10] <https://docs.centipede.fr/>.
- [11] <https://github.com/goblimey/ntripcaster>.
- [12] <https://www.sparkfun.com/products/16481>.
- [13] Huỳnh Văn Chương và cs (2019), “Giải pháp truyền số cải chính trong đo đạc địa chính sử dụng công nghệ đo thời gian thực (RTK) tại tỉnh Lâm Đồng”, *Tạp chí Khoa học, Đại học Huế*, **128**, tr.67-68.
- [14] C.M. Thủy, Đ.V. Dương (2020), “Khảo sát độ chính xác công nghệ đo GNSS RTK, thực nghiệm tại khu vực Hà Nội”, *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường*, **1+2**, tr.88-90.
- [15] M.E. Hodgson (2020), “On the accuracy of low-cost dual-frequency GNSS network receivers and reference data”, *GIScience & Remote Sensing*, **57(7)**, pp.907-923.
- [16] T. Jilek (2015), “Autonomous field measurement in outdoor areas using a mobile robot with RTK GNSS”, *IFAC-PapersOnLine*, **48(4)**, pp.480-485.