

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

**BÁO CÁO HỌC THUẬT HỌC KỲ 1
NĂM HỌC 2024 – 2025**

**GIẢI PHÁP QUAN TRẮC TRƯỢT LỞ ĐẤT ĐÁ BÃI THẢI
THEO THỜI GIAN THỰC Ở MỎ LỘ THIÊN DỰA TRÊN
CÔNG NGHỆ GNSS/CORS**

Người báo cáo: PGS.TS Phạm Công Khải

Đơn vị : Bộ môn Trắc địa mỏ

Khoa Trắc địa – Bản đồ và Quản lý đất đai

Hà Nội - 12/2024

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

**BÁO CÁO HỌC THUẬT HỌC KỲ 1
NĂM HỌC 2024 – 2025**

**GIẢI PHÁP QUAN TRẮC TRƯỢT LỞ ĐẤT ĐÁ BÃI THẢI
THEO THỜI GIAN THỰC Ở MỎ LỘ THIÊN DỰA TRÊN
CÔNG NGHỆ GNSS/CORS**

Phòng KHCN

Bộ môn Trắc địa mỏ

Người báo cáo

PGS. TS Phạm Công Khải

Hà Nội - 12/2024

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	2
CHƯƠNG 1.....	3
LÝ THUYẾT CHUNG VỀ CÔNG NGHỆ GNSS/CORS	3
1.1. Công nghệ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS	3
1.2. Công nghệ và thiết bị xây dựng mạng lưới trạm CORS	8
1.2.1. Công nghệ xây dựng mạng lưới trạm CORS.....	8
1.2.2. Các thành phần của trạm CORS.....	9
1.3. Nguyên lý hoạt động của trạm CORS.....	14
CHƯƠNG 2.....	16
NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ XÂY DỰNG HỆ THỐNG QUAN TRẮC	
TRƯỢT LỖ ĐẤT ĐÁ THEO THỜI GIAN THỰC DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ	
GNSS/CORS	16
2.1. Nguyên lý hoạt động và các thành phần của hệ thống quan trắc liên tục	
trượt lỗ đất đá	16
2.1.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc liên tục.....	16
2.1.2. Các thành phần của hệ thống quan trắc	18
2.2. Thiết kế phát triển bộ thu số liệu GNSS cho trạm quan trắc	20
2.2.1. Module xử lý tín hiệu vệ tinh GNSS	21
2.2.2. Module thay đổi điện áp DC-DC LM2596.....	21
2.2.3. Module RS232 to TTL.....	22
2.2.4. Module Atmega328P	22
2.2.5. Màn hình hiển thị LCD12864.....	23
2.2.6. Module cảnh báo	24
2.2.7. Xây dựng chương trình điều khiển cho bộ thu số liệu GNSS.....	25
2.3. Quan trắc thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch đất đá bằng công nghệ	
GNSS/CORS	27
2.3.1. Nguyên lý thực nghiệm mô phỏng quan trắc chuyển dịch đất đá bãi	
thải.....	27
2.3.2.Thiết lập hệ thống thực nghiệm mô phỏng.....	28
2.3.3.Tiến hành thực nghiệm quan trắc mô phỏng.....	32
2.4. Phương pháp xử lý dữ liệu quan trắc	35
2.4.1. Cấu trúc dữ liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183	
.....	35
2.4.2. Phương pháp xử lý dữ liệu quan trắc chuyển dịch đất đá theo định	
dạng tiêu chuẩn NMEA-0183.....	38
2.5.Số liệu và kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng	43
2.5.1. Số liệu trắc thực nghiệm mô phỏng.....	43
2.5.2.Kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng	45
KẾT LUẬN	47
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	48

MỞ ĐẦU

Trượt lở đất đá là một dạng tai biến tự nhiên xảy ra tương đối phổ biến ở vùng đồi núi và ở những khu vực khai thác khoáng sản. Hậu quả của trượt lở, sụt lún bề mặt đất gây ra những thiệt hại rất nặng nề về người và tài sản, đe dọa cuộc sống của những khu dân cư sinh sống ở dưới chân những vùng đồi núi. Trong những năm gần đây tình hình thiên tai ở các tỉnh miền núi Việt Nam nói chung và Quảng Ninh nói riêng ngày càng diễn biến phức tạp. Do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và những hiện tượng thời tiết cực đoan, cùng với các hoạt động nhân sinh như phá rừng, khai thác khoáng sản, xây dựng các công trình giao thông, nhà cửa... càng làm cho quá trình tai biến trượt lở, sụt lún phát triển mạnh mẽ với quy mô ngày càng lớn, mức độ thiệt hại ngày càng tăng, đe dọa đến an sinh cộng đồng.

Ở các mỏ lộ thiên, do hoạt động của khai thác khoáng sản mà trượt lở đất đá bãi thải cũng thường xảy ra. Hậu quả của trượt lở bãi thải thường gây thiệt hại lớn về tài sản, tính mạng của con người, phá hủy các công trình dưới chân bãi thải và gây ra suy thoái môi trường.

Bãi thải là một hình thái địa hình do con người tạo ra do hoạt động của khai thác khoáng sản. Quá trình dịch chuyển đất đá, biến dạng bề mặt và các hoạt động ngoại sinh vẫn xảy ra liên tục kể từ khi mới đổ thải và kéo dài nhiều năm sau đó. Việc quan trắc chuyển dịch bề mặt bãi thải sẽ cung cấp được những thông tin rất có giá trị của hiện tượng trượt lở như độ lớn, vận tốc, gia tốc của chuyển dịch. Những thông tin này nếu được phát hiện sớm sẽ giảm thiểu được những tổn thất có thể xảy ra.

Để giảm thiểu những rủi ro do tai biến từ trượt lở bãi thải gây ra cần phải có hệ thống quan trắc liên tục và cảnh báo tức thời. Ở Việt Nam, từ trước tới nay việc quan trắc trượt lở đất đá nói chung và quan trắc trượt lở đất đá bãi thải nói riêng vẫn thực hiện bằng những phương pháp và thiết bị truyền thống. vẫn chưa có một hệ thống quan trắc liên tục và cảnh báo tức thời về trượt lở đất đá bãi thải. Vì vậy việc thiết kế, phát triển, xây dựng một hệ thống quan trắc theo thời gian thực để theo dõi trượt lở đất đá ở các bãi thải là cần thiết.

Báo cáo này trình bày một giải pháp quan trắc trượt lở đất đá bãi thải theo thời gian thực ở mỏ lộ thiên dựa trên công nghệ GNSS/CORS

CHƯƠNG 1.

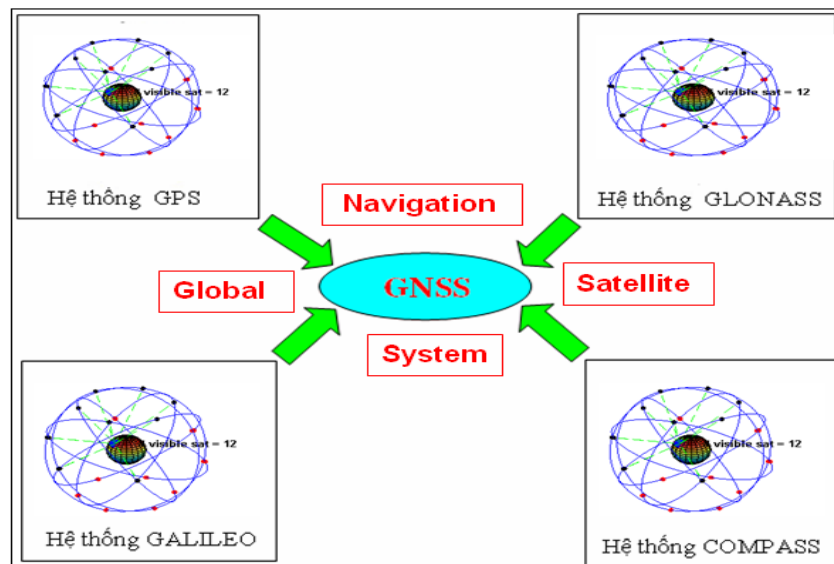
LÝ THUYẾT CHUNG VỀ CÔNG NGHỆ GNSS/CORS

1.1. Công nghệ hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS

Công nghệ GNSS (Global Navigation Satellite System) còn được gọi là hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu được phát triển đầu tiên với mục đích dẫn đường (Navigation) trong quân sự, hàng hải, trong không gian... Sự kết hợp của các hệ thống GPS (Global Positioning System) do Mỹ chế tạo và hoạt động từ năm 1994, GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) do Nga chế tạo và hoạt động từ năm 1995, GALILEO mang tên nhà thiên văn học GALILEO do Liên minh châu Âu (EU) chế tạo và đang trong quá trình hoàn thiện và COMPASS (Trung Quốc) đã hình thành nên hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS (hình 1.1), nó sẽ cung cấp số lượng vệ tinh nhiều hơn so với số lượng vệ tinh hiện có của GPS, vì vậy nâng cao được độ chính xác của các máy thu mặt đất và cung cấp được nhiều ứng dụng hơn.

Hệ thống GNSS hoạt động trên phạm vi toàn cầu trong hệ tọa độ địa tâm WGS-84 có gốc tọa độ được chọn ở tâm trái đất trong không gian 3 chiều, có nghĩa là vị trí mỗi điểm được biểu diễn theo 3 chiều không gian (X, Y, Z) hoặc (B, L, H). Toàn bộ các phép đo và các thành quả có thể biểu diễn trong một hệ tọa độ toàn cầu, vì vậy cộng đồng quốc tế đã hình thành nên tổ chức dịch vụ GNSS quốc tế (International GNSS Service - IGS).

Với việc bổ sung và kết hợp các trị đo trọng lực và thủy chuẩn, người ta đã thiết lập được mô hình thế trọng trường toàn cầu EGM để đưa độ cao trắc địa H về độ cao thủy chuẩn h. Đây là khả năng tạo nên những bước phát triển mới về công nghệ đo cao.



Hình 1. 1. Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS

Một thế mạnh của công nghệ GNSS là đo đạc trên khoảng cách rất xa và có độ chính xác rất cao. Với quy trình thích hợp có thể đạt được sai số vị trí điểm cỡ mm trên cạnh đo hàng ngàn km. Ngoài ra, việc ứng dụng công nghệ GNSS yêu cầu kỹ năng tương đối đơn giản, mức độ tự động hóa cao, dễ đào tạo chuyển giao công nghệ, cho nên GNSS đã trở thành công nghệ chủ yếu dần dần thay thế các công nghệ đo đạc truyền thống.

Với công nghệ GNSS, công tác định vị trên mặt đất chủ yếu được thực hiện bằng việc thiết lập các trạm tham chiếu hoạt động liên tục (Continuously operating Reference Station – CORS). CORS có thể được hiểu là một hoặc nhiều trạm tham chiếu GNSS cố định, vận hành liên tục, được kết nối với trạm chủ (Server) thông qua mạng Internet theo địa chỉ IP và các trạm CORS được kết nối với nhau tạo thành một mạng lưới truyền dữ liệu. Trạm chủ được cài đặt các phần mềm chuyên dụng có nhiệm vụ xử lý, quản lý và lưu giữ thông tin từ các trạm tham chiếu gửi tới.

Do có nhiều thông tin từ nhiều trạm tham chiếu truyền tới nên tại trạm chủ, người ta có thể xây dựng được mô hình số cải chính vi phân tức thời như là hàm của vị trí điểm các trạm tham chiếu. Trong mô hình này, có thể xét tới một số nguồn sai số như sai số quỹ đạo vệ tinh, sai số đồng hồ vệ tinh, ảnh hưởng của tầng đối lưu, tầng điện ly v.v...

Hệ thống các trạm tham chiếu làm việc liên tục (CORS) có thể phục vụ cho nhiều mục đích khác nhau như:

- Cung cấp dịch vụ định vị xác định vị trí điểm (định vị tĩnh) với độ chính xác cỡ mm và cm phục vụ nghiên cứu chuyển động kiến tạo vỏ trái đất và xây dựng lưới khống chế trắc địa.

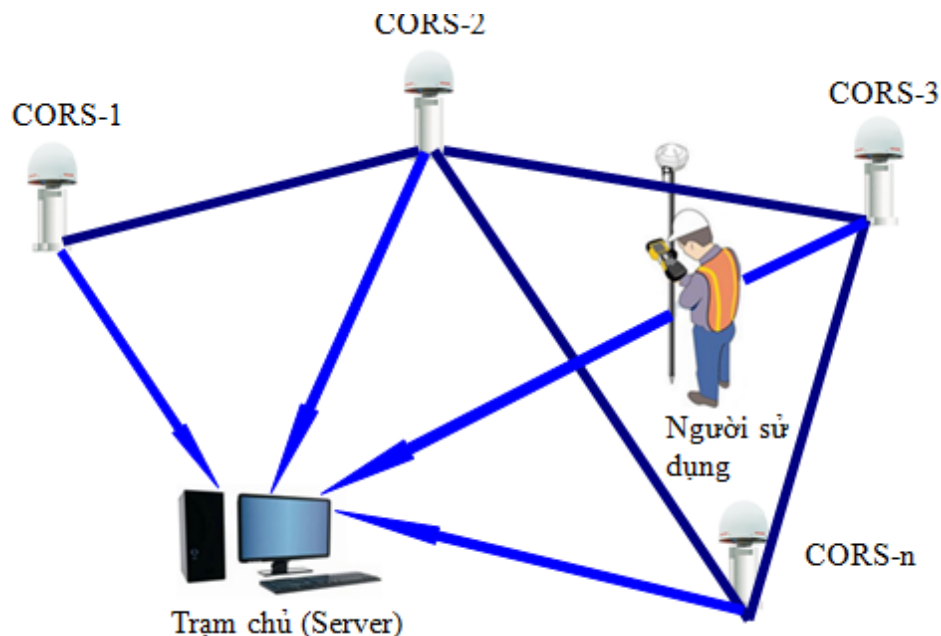
- Cung cấp các dịch vụ định vị động xử lý tức thời (RTK) và định vị động xử lý sau (PPK) với độ chính xác cm, phục vụ đo vẽ chi tiết thành lập bản đồ địa hình, bản đồ địa chính, chuyển thiết kế ra thực địa vv...

- Cung cấp dịch vụ định vị động xử lý tức thời với độ chính xác cỡ dm cho máy bay, tàu thuyền và các phương tiện trên đất liền

- Hỗ trợ các công tác đo đạc khảo sát địa vật lý và nghiên cứu khí quyển v.v

Thành phần của hệ thống mạng lưới GNSS/CORS gồm 3 phần chính (hình 1.2):

- + Hệ thống trạm tham chiếu CORS
- + Trạm chủ
- + Người sử dụng



Hình 1. 2. Các thành phần của hệ thống mạng lưới trạm CORS

1. Hệ thống các trạm tham chiếu CORS

Tại vị trí các trạm tham chiếu được lắp đặt các máy thu GNSS liên tục thu tín hiệu vệ tinh. Chọn điểm đặt trạm tham chiếu có thể ở các vị trí:

+Các điểm đặt trên mặt đất: Vị trí đặt điểm phải là những nơi có điều kiện địa chất ổn định, độ dốc vừa, không có các mỏ hoạt động, nơi ít xảy ra các hiện tượng sạt lở hay sụt lún, quanh vị trí không có các vật cản tối thiểu từ 0 – 10 độ.

+Lựa chọn các tòa nhà gạch hoặc bê tông cốt thép. Tòa nhà ít nhất đã phải được sử dụng trên 5 năm và không quá 2 tầng, không có các vết nứt có thể nhìn thấy bằng mắt thường ở bên ngoài hoặc bên trong, không có mái bằng kim loại hay có tường kim loại bao quanh tòa nhà.

Các điểm đặt trạm CORS phải cách đảm bảo sự thu nhận tín hiệu vệ tinh là ổn định nhất, cách xa các nguồn phát sóng, đường dây điện cao thế.v.v...

Một số yêu cầu cần thiết của máy thu:

- Thu được ít nhất hai tần số L1 và L2
- Thu được ít nhất 10 vệ tinh
- Cung cấp L1 C/A – code khoảng cách giả hoặc P – code khoảng cách giả và L1, L2 với đủ bước sóng mang.
- Ghi dữ liệu hàng giờ, hàng ngày, trong dòng thời gian thực
- Khả năng cung cấp điện liên tục
- Tần suất thu tín hiệu ít nhất là 30s

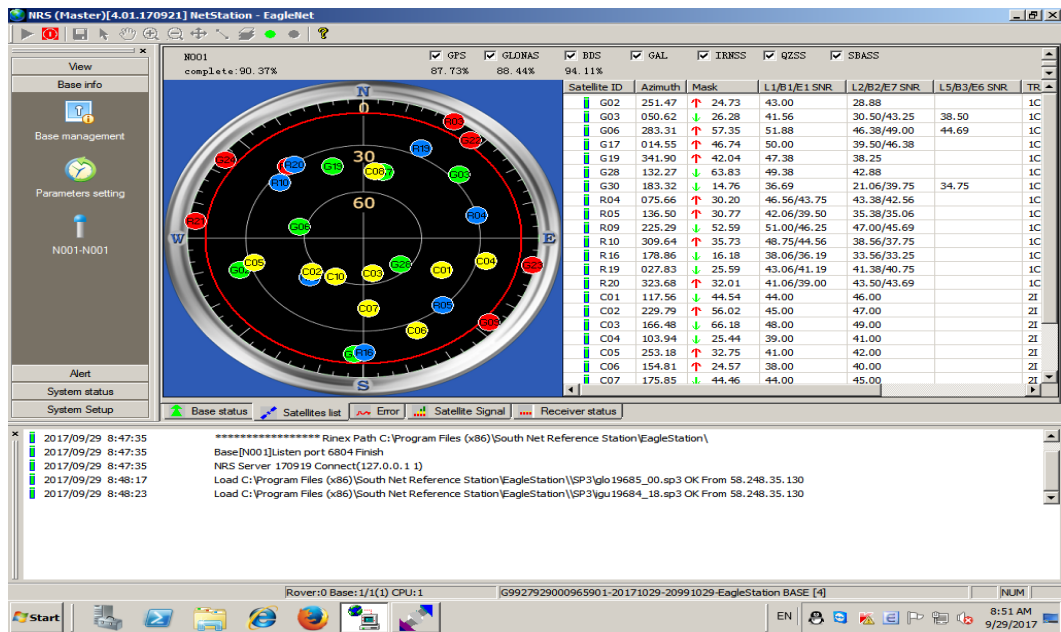
2. Trạm chủ

Trạm chủ là nơi xử lý, điều khiển và lưu giữ thông tin từ các trạm tham chiếu gửi tới. Tại đây, người ta có thể xây dựng được mô hình số cải chính vĩ phân tức thời như là hàm của vị trí các điểm trạm tham chiếu. Tất cả dữ liệu từ các trạm tham chiếu được truyền qua internet đến trung tâm điều khiển ở trạm chủ việc tính toán lưới và hiệu chỉnh vị trí được thực hiện và gửi chúng đến người sử dụng.

Máy chủ giám sát, điều khiển hoạt động của tất cả các trạm GNSS/CORS thông qua việc kết nối với máy tính chạy phần mềm đặt tại các trạm này. Phần mềm phải có khả năng điều khiển và giám sát liên tục việc thu thập số liệu của các trạm phát tín hiệu GNSS/CORS thông qua một trung tâm điều khiển tập trung (hình 1.3).

Máy chủ quản lý việc thu thập số liệu đo GNSS tại các trạm. Phần mềm tại trạm phải có khả năng kết nối được các trạm GNSS đơn lẻ thành lưới GNSS/CORS, quản lý từ xa các trạm thông qua các kênh kết nối một cách toàn diện, có khả năng xác lập cấu hình thu GNSS, quản lý việc thu, ghi, cấp phát dữ liệu, giám sát liên tục tính toàn vẹn của lưới và dữ liệu cấp phát, và có cấu trúc mở hỗ trợ nâng cấp lên RTK và VRS.

Máy chủ chạy phần mềm ứng dụng có chức năng thực thi các ứng dụng từ nguồn dữ liệu thu thập được từ các trạm GNSS/CORS. Phần mềm tại máy này có khả năng: Tính toán tọa độ và vận tốc chuyển dịch của tất cả các trạm của lưới một cách nhanh chóng, xử lý tự động toàn bộ lưới, xử lý được lưới lớn gồm rất nhiều điểm; tính được số nguyên đa trị trên khoảng cách lớn đến hàng nghìn km; theo dõi được biến động của tầng đối lưu và tầng điện ly, xác định được quỹ đạo vệ tinh chính xác và tham số định hướng của trái đất, tính được các số hiệu chỉnh và phát đến các trạm động; xử lý được số liệu đa hệ (ít nhất là GPS và GLONASS) với độ chính xác rất cao, thực hiện các dịch vụ định vị trong thời gian thực, các dịch vụ mạng và lưu trữ số liệu.



Hình 1. 3. Phần mềm tại trạm chủ trung tâm của hệ thống trạm CORS

3. Người sử dụng

Người sử dụng có thể dùng trạm CORS với phương pháp định vị tức thời RTK hoặc phương pháp định vị xử lý sau.

Với phương pháp định vị tức thời, khi trạm chủ nhận được thông tin từ máy thu của người sử dụng, nó sẽ tính toán và gửi giá trị hiệu chỉnh tới các trạm tham chiếu gần đó để hiệu chỉnh luôn vào kết quả đo. Dữ liệu được truyền tới người sử dụng qua mạng truyền thông 4G.

1.2. Công nghệ và thiết bị xây dựng mạng lưới trạm CORS

1.2.1. Công nghệ xây dựng mạng lưới trạm CORS

Hiện tại, mạng lưới trạm CORS được xây dựng trên công nghệ LODG (Locally Optimized Differential GPS) nghĩa là tối ưu hóa cục bộ phương pháp sai phân GPS, là một giải pháp công nghệ DGPS sử dụng các trị đo pha để tính toán, định vị điểm chính xác (Precise Point Positioning - PPP) cho kết quả ở thời gian thực. Công nghệ này thực hiện đo đạc trên phạm vi rộng với thời gian ngắn, là công nghệ mới nhất ở Mỹ và đã được phát triển và sử dụng ở nhiều nước trên thế giới. Công nghệ này sử dụng hệ thống vệ tinh phối hợp với các trạm CORS xác định vị trí và máy đo di động kết nối với trạm xử lý trung tâm thông qua mạng viễn thông, cho phép xác định tọa độ tức thời của các điểm với độ chính

xác cao trong thời gian ngắn nhất. Theo công ty Đo Đạc Địa Chính Tiên Phong (Advanced Land systems and Engineering Incorporation - ALSE), với lưới trạm CORS đan dày trong khoảng cách từ 30 đến 50 km trong thành phố và từ 50 đến 70 km vùng nông thôn, và sử dụng GPRS hoặc VINASAT, thì chỉ trong vòng 10 đến 20 giây, máy đo di động (Rover) thu được vị trí với độ chính xác từ 1 đến 2 cm mà không bị phụ thuộc vào tầm nhìn và khoảng cách của sóng radio. Như vậy, công nghệ LODG là một trong những giải pháp để phát triển mạng lưới từ các trạm CORS phục vụ cho các công tác đo đạc bản đồ.

Công nghệ này sử dụng hệ thống vệ tinh phối hợp với hệ tọa độ quy chiếu địa phương để thực hiện đo đạc trên phạm vi rộng nhưng với thời gian ngắn nhất. Nếu như các công nghệ trước đây số liệu đo đạc phải đem về văn phòng xử lý, thiết bị đo cồng kềnh thì với công nghệ LODG số liệu được xử lý ngay tại hiện trường thông qua máy đo gọn, nhẹ và chỉ cần một người đo với một Rover là có thể thực hiện công tác đo đạc với độ chuẩn xác cao nhất. Ứng dụng công nghệ này sẽ tiết kiệm thời gian đo đạc ngoại nghiệp, đỡ tốn kém về mặt kinh phí mà vẫn đạt yêu cầu độ chính xác cần thiết.

Đặc điểm về công nghệ xây dựng mạng lưới trạm CORS là các tín hiệu vệ tinh định vị thu được không bị gián đoạn, giảm bớt các nguồn sai số phụ thuộc do các trạm cố định được kết nối thành lưới, khoảng cách của các điểm cơ sở trong mạng lưới CORS dài hơn làm giảm số lượng và mật độ điểm và tự động hoá việc quy chiếu các trị đo GNSS, kết quả tính toán về khung quy chiếu thống nhất.

Với mạng lưới trạm CORS có thể tự động liên kết với một lưới CORS bất kỳ (lưới quốc tế, khu vực hay lưới địa phương). Ưu điểm này làm cho việc thiết lập các mạng lưới trắc địa tầng dày với độ chính xác rất cao, có thể thực hiện một cách chủ động, nhanh chóng ở bất kỳ khu vực nào trên vùng lãnh thổ.

1.2.2. Các thành phần của trạm CORS

Hiện nay trên thế giới có nhiều hãng sản xuất thiết bị cho trạm CORS, tuy nhiên các thành phần của một trạm CORS cơ bản giống nhau. Một hệ thống trạm CORS bao gồm các thành phần sau:

1. Ăng ten GNSS (Choke-ring antenna)

Ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS có nhiệm vụ thu tín hiệu từ các vệ tinh thuộc hệ thống GPS, GLONASS, Beidou, Galileo thông qua dây dẫn tín hiệu bộ chuyển nối (antenna lightning arrester) có nhiệm vụ truyền tín hiệu vệ tinh GNSS vào CORS Receiver. Ăng ten thường sử dụng vật liệu ít co giãn, loại bỏ sóng tạp do hiệu ứng đa đường dẫn với hiệu quả cao. Thiết kế định tâm theo 4 điểm, tính ổn định của tâm máy đạt đến 0,8 mm có khả năng đo bắt được tín hiệu vệ tinh có góc ngưỡng nhỏ nhất. Ở hình 1.4 thể hiện một loại ăng ten GNSS CORS của hãng South.



Hình 1. 4. Ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS của South

Antenna có bộ bảo vệ bên ngoài nên có thể tránh được mưa, gió, lửa v.v... Vỏ bọc cáp ăng ten sử dụng ống dẫn phù hợp để bảo vệ cáp antenna khỏi thời tiết, lửa,... chống sự xâm nhập của nước và tia cực tím. Có thiết bị chống sét để bảo vệ cáp antenna, sử dụng cáp antenna có chiều dài vừa đủ để kết nối giữa antenna và máy thu để sao cho sự mất và chậm tín hiệu là nhỏ nhất.

2. CORS receiver (bộ thu và giải mã tín hiệu vệ tinh)

Bộ giải mã tín hiệu vệ tinh đầu vào (input) kết nối với Choke-ring antenna đầu ra kết nối với modem ngoài ra còn một số cổng nguồn, cổng kết nối với máy tính...

Bộ thu và giải mã tín hiệu vệ tinh có nhiệm vụ thu tín hiệu từ antenna sau đó xử lý chuyển dữ liệu thu được về dạng số để cung cấp cho máy tính thông qua cổng kết nối Ethernet. Ở hình 1.5 là bộ thu GNSS Net S8+ của hãng South.



Hình 1. 5. Bộ thu và giải mã tín hiệu vệ tinh (CORS receiver) Net S8+ của South

Đặc điểm của bộ thu NET S8+ là ứng dụng bo mạch chủ của Trimble BD970, có thể thu được 220 kênh. Người sử dụng có thể thông qua các cách như: Internet, cổng nối tiếp, Bluetooth và các nút trên màn hình LCD để tiến hành thiết lập tham số cho hệ thống, thực hiện thao tác cho máy thu từ xa. Bộ thu được trang bị tính năng tự động phục hồi vị trí, máy chủ phục hồi sau khi mất điện và tự động hoạt động liên tục như cài đặt ban đầu, nếu mất tín hiệu mạng internet vẫn bảo lưu số liệu và sau khi kết nối được với mạng thì số liệu tiếp tục tự động thu và lưu vào máy chủ.

Chức năng của NET S8+ để đặt các tham số cho máy thu, giám sát tình hình vệ tinh, thực hiện các tính năng như thu thập số liệu quan trắc, gửi, khởi động từ xa. Để đăng nhập vào vào bộ thu được thực hiện thông qua địa chỉ IP và cổng kết nối trong quá trình thiết lập mạng Internet. Đối với trạm CORS N001 lắp đặt ở trường Đại học Mỏ - Địa chất đường truyền Internet có địa chỉ IP là: 119.70.171.179 với cổng kết nối là 5005

3. Router và Modem

Là hệ thống kết nối mạng internet cho toàn bộ hệ thống, có nhiệm vụ truyền dữ liệu từ hệ thống IGS về số cải chính điểm trạm CORS và các thông số cải chính tầng đối lưu, khí quyển trong khu vực... bao gồm các nhiệm vụ như sau:

- a) Truyền số cải chính từ mạng lưới IGS về trạm CORS
- b) Truyền số cải chính từ CORS ra các ROVER (RTK)
- c) Lấy dữ liệu đo đạc từ các ROVER
- d) Truyền dữ liệu đo đạc từ CORS sang mạng lưới IGS để tiếp tục tính toán tọa độ tức thời của trạm CORS.

Tại router có cài đặt 2 cổng để có thể truy xuất dữ liệu với IP mặc định trên Computer 192.168.0.251 cổng ra 6060 và 8080.

4. Máy tính chủ (Server)

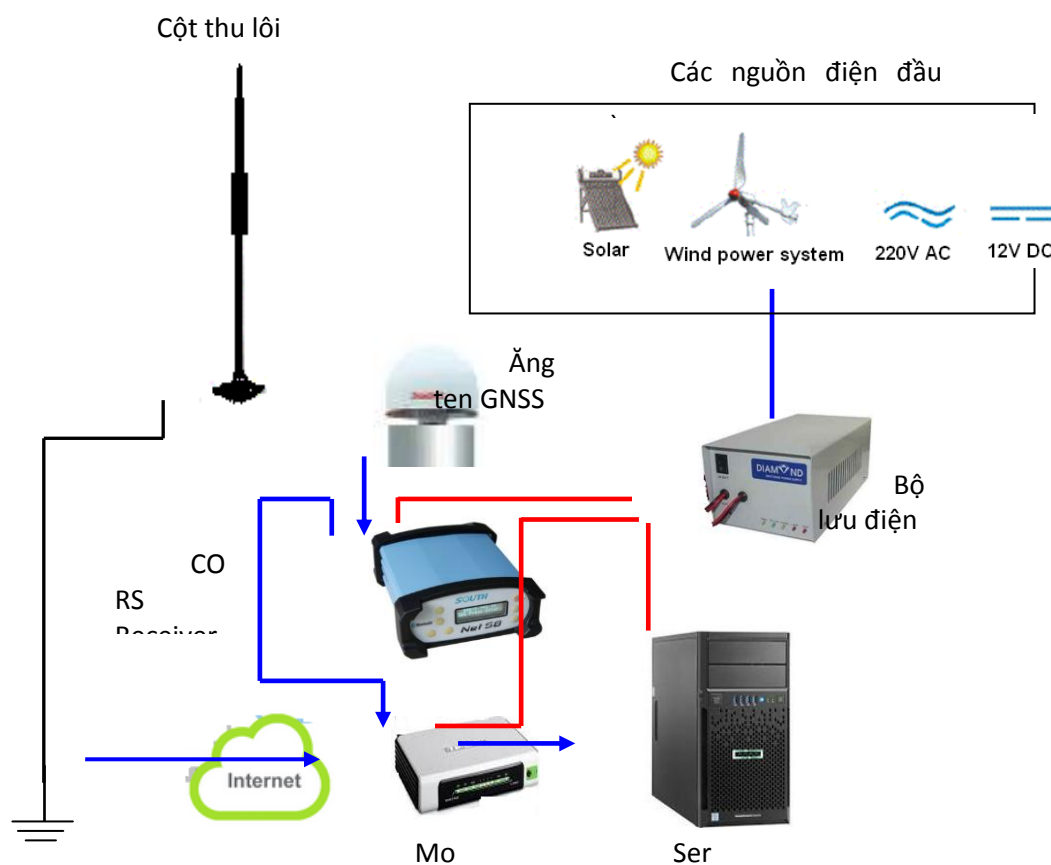
Máy chủ cần phải có cấu hình lớn, bộ nhớ Ram tối thiểu 8 Gb, 3 ổ cứng mỗi ổ 500 Gb để có thể chạy được Raid 3. Máy chủ cần có bộ lưu điện UBS để đảm bảo cho máy chủ không bị mất điện đột ngột và hoạt động được liên tục.

Máy chủ được cài đặt phần mềm chuyên dụng và lưu trữ các số liệu của trạm CORS. Với trạm CORS theo công nghệ của South được cài đặt hai phần mềm NRS-Station và NRS-Server. Phần mềm NRS-Station có chức năng 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).

5. Đường truyền Internet

Yêu cầu quan trọng nhất cần một đường truyền Internet ổn định, tốc độ nhanh, băng thông truy cập quốc tế lớn. Hiện nay đường truyền Internet thường sử dụng mạng cáp quang của các đơn vị cung cấp dịch vụ như FPT, VNPT

Các thành phần của hệ thống trạm CORS được thể hiện như ở hình 1.7



Hình 1. 6. Các thành phần của hệ thống trạm CORS

Các thiết bị của một trạm CORS theo công nghệ của South được lắp đặt hoàn chỉnh thể hiện như hình 1.8.



Hình 1. 7. Hệ thống trạm CORS theo công nghệ và thiết bị của hãng South

1.3. Nguyên lý hoạt động của trạm CORS

Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăngten (1) thu nhận, được truyền về bộ thu GNSS Net S8+ 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) [19]. 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 [20] và được lưu giữ trong sổ tay của trạm động Rover.

Tọa độ của trạm động Rover được tính theo công thức:[10]

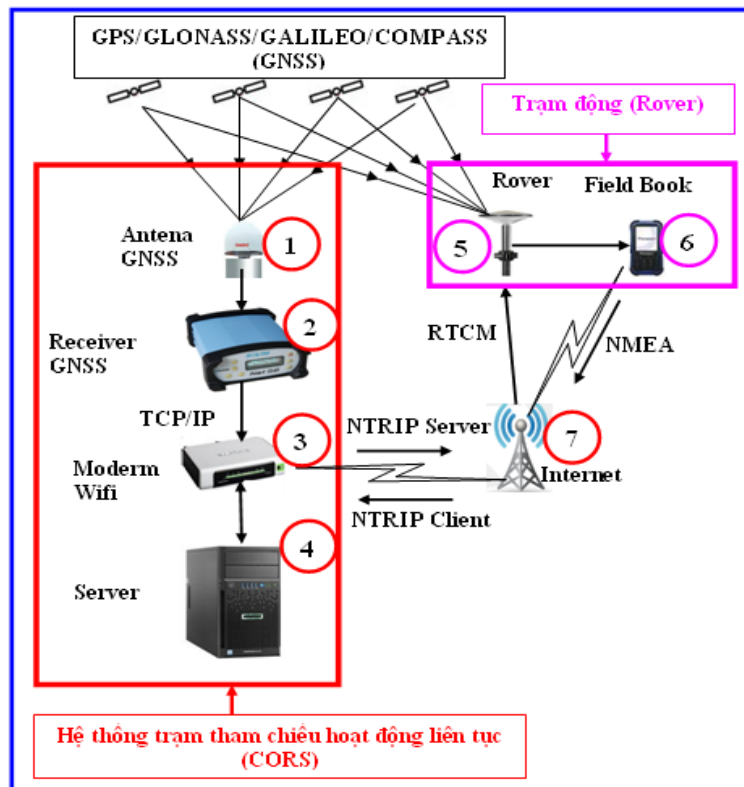
$$\left. \begin{aligned} X_{\text{Rover}} &= X_{\text{Rover}}(t) + \delta x(t); \\ Y_{\text{Rover}} &= Y_{\text{Rover}}(t) + \delta y(t); \\ Z_{\text{Rover}} &= Z_{\text{Rover}}(t) + \delta z(t). \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

trong đó: $X_{\text{Rover}}, Y_{\text{Rover}}, Z_{\text{Rover}}$ - Các thành phần tọa độ của trạm động cần xác định trong hệ tọa độ của trạm CORS; $X_{\text{Rover}}(t), Y_{\text{Rover}}(t), Z_{\text{Rover}}(t)$ - Các thành phần 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: [10]

$$\left. \begin{aligned} \delta x(t) &= X_{\text{CORS}} - X_{\text{CORS}}(t); \\ \delta y(t) &= Y_{\text{CORS}} - Y_{\text{CORS}}(t); \\ \delta z(t) &= Z_{\text{CORS}} - Z_{\text{CORS}}(t). \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

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 .

Sơ đồ nguyên lý hoạt động của trạm CORS được thể hiện như hình 1.9



Hình 1. 8. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của trạm CORS

Cơ chế truyền dẫn số liệu cải chính RTCM và số liệu trị đo NMEA được thực hiện theo giao thức NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) trên nền mạng IP.

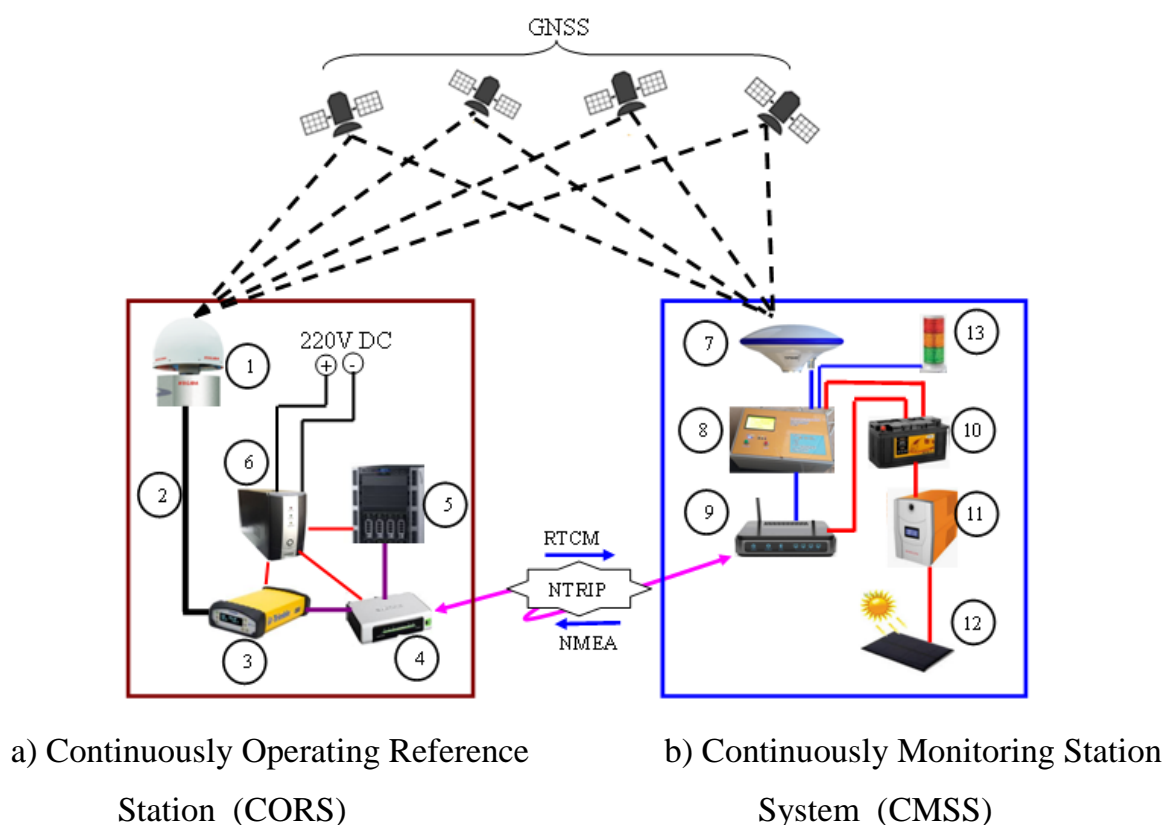
CHƯƠNG 2

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ XÂY DỰNG HỆ THỐNG QUAN TRẮC TRƯỢT LỞ ĐẤT ĐÁ THEO THỜI GIAN THỰC DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ GNSS/CORS

2.1. Nguyên lý hoạt động và các thành phần của hệ thống quan trắc liên tục trượt lở đất đá

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

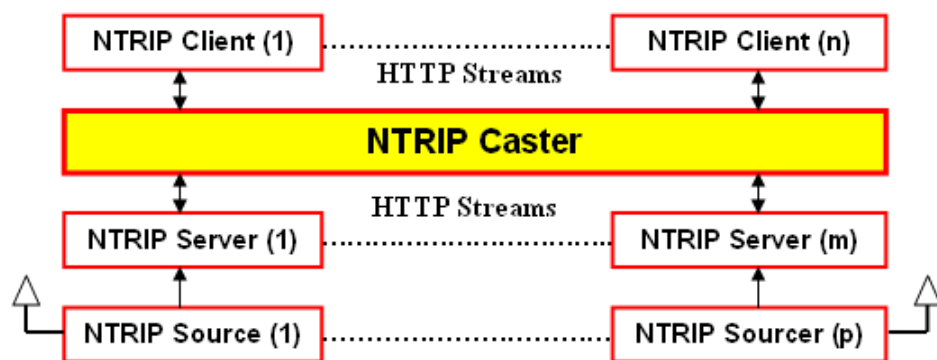
Hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực được định nghĩa là một hệ thống làm việc liên tục với mục đích chính theo dõi, giám sát sự dịch chuyển biến dạng công trình một cách liên tục tức thời. Như vậy đòi hỏi hệ thống phải có phần cứng tốt và phần mềm được tối ưu hóa cho sự làm việc liên tục 24/7. Nguyên lý hoạt động của hệ thống trạm quan trắc liên tục dịch chuyển biến dạng công trình được xây dựa trên nguyên lý hoạt động của hệ thống GNSS/CORS. (hình 2.1).



Hình 2. 1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc trượt lở đất đá bằng công nghệ GNSS/CORS

Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăng ten (1) thu nhận, được truyền qua một dây cáp chuyên dụng (2) về bộ thu GNSS (3), tại đây tín hiệu vệ tinh được giải mã và đi qua modem (4) về máy tính chủ (5). 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 cải chính của trạm CORS cho trạm quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn RTCM. Số liệu quan trắc đã được cải chính từ trạm quan trắc truyền về máy tính chủ theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183. Các định dạng tiêu chuẩn dữ liệu này được truyền dẫn trên nền mạng IP theo giao thức NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol). (Hình 2.2)



Hình 2. 2. Phương thức truyền dẫn số liệu GNSS theo giao thức NTRIP

Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăng ten thu nhận sau đó truyền đến bộ thu thông qua cáp truyền dữ liệu (NTRIP Source), dữ liệu từ bộ thu được truyền đến máy chủ qua modem bằng đường truyền internet (NTRIP Server), modem ở máy chủ trung tâm được mở sẵn các cổng vào và đặt địa chỉ IP để số liệu từ các trạm CORS truyền về (NTRIP Caster). Modem ở máy chủ trung tâm của từng trạm

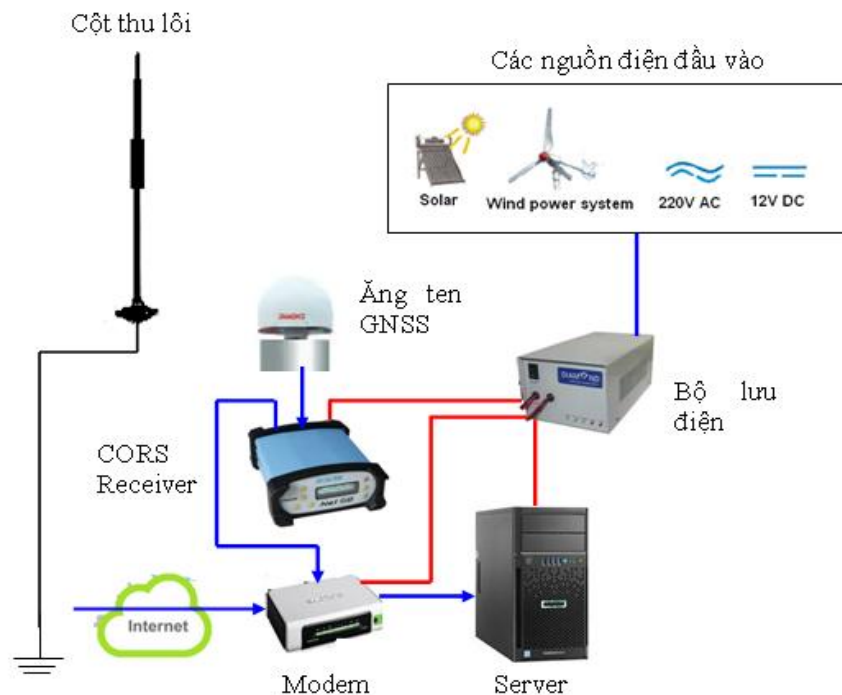
CORS được mở các cổng tương ứng với các cổng ở trạm quan trắc. Máy chủ trung tâm có nhiệm vụ truyền số liệu cải chính đến cho các trạm quan trắc bằng NTRIP Client.

2.1.2. Các thành phần của hệ thống quan trắc

Hệ thống quan trắc liên tục trượt lở đất đá được nghiên cứu phát triển dựa trên công nghệ GNSS/CORS. Toàn bộ hệ thống gồm có hai phần. Phần thứ nhất là hệ thống trạm CORS (Continuously Operating Reference Station) và phần thứ hai là hệ thống trạm quan trắc CMSS (Continuously Monitoring Station System).

2.1.2.1. Hệ thống trạm CORS

Hệ thống trạm CORS là hệ thống được đặt tại nơi cách xa công trình, trên hệ thống mốc cố định chắc chắn và khoan sâu xuống tầng đá gốc khác với các trạm CORS bình thường. Hệ thống này tích hợp máy thu tín hiệu GNSS, bộ giải mã tín hiệu và máy tính Server hoạt động 24/24h có nhiệm vụ thu tín hiệu sau đó tính ra số cải chính để truyền về Rover dưới dạng thức truyền thông TCP/IP. Toàn bộ hệ thống được kết nối với mạng lưới IGS hoặc các mạng lưới nội bộ tương tự. Sơ đồ một hệ thống trạm CORS được thể hiện ở (hình 2.3)



Hình 2. 3. Sơ đồ hệ thống trạm CORS

Hệ thống trạm CORS bao gồm các thành phần sau:

- + Ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS
- + Bộ thu nhận và giải mã tín hiệu vệ tinh CORS receiver
- + Hệ thống máy chủ Server
- + Hệ thống mạng truyền thông
- + Nguồn cấp điện
- + Hệ thống ổn định và lưu trữ điện năng
- + Dây kết nối
- + Hệ thống chống Sét
- + Một số hệ thống khác...

Chức năng chính của hệ thống trạm CORS là thu tín hiệu vệ tinh GNSS, tính toán và truyền số liệu cải chính cho các trạm Rover. Khi tích hợp chức năng quan trắc cho hệ thống thì hệ thống trạm CORS được định nghĩa lại với vai trò là một máy chủ trung tâm có chức năng thu nhận số liệu từ các Rover nhằm mục đích tính toán các thông số để xác định được vị trí chính xác của Rover một cách liên tục theo thời gian.

2.1.2.2. Hệ thống trạm quan trắc

Hệ thống trạm quan trắc hoạt động liên tục là một hệ thống được đặt trực tiếp trên công trình 24/24h và được kết nối với trạm CORS thông qua giao thức TCP/IP. Chức năng chính của hệ thống trạm quan trắc là thu tín hiệu vệ tinh GNSS và truyền toàn bộ thông tin thu nhận được về máy chủ của hệ thống trạm CORS.

Hệ thống trạm quan trắc bao gồm các thành phần sau:

- + Ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS
- + Bộ thu nhận và truyền dẫn số liệu quan trắc
- + Modem internet không dây
- + Ắc quy 12 v
- + Tấm pin năng lượng mặt trời

- + USB 3G (DCOM 3G) hoặc 4G có gắn Sim đã đăng ký dịch vụ của bất kỳ nhà mạng nào cung cấp dịch vụ.
- + Cáp nối máy thu GNSS với bộ thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS.
- + Dây nối nguồn từ ắc quy và từ tấm pin năng lượng mặt trời đến bộ thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS.
- + Dây internet có hạt

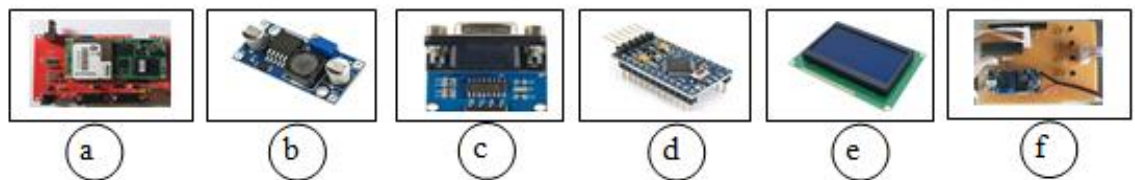
Một hệ thống trạm quan trắc liên tục trượt lở đất đá dựa trên công nghệ GNSS/CORS được thiết kế, phát triển thể hiện như hình 2.4



Hình 2. 4. Hệ thống trạm quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

2.2. Thiết kế phát triển bộ thu số liệu GNSS cho trạm quan trắc

Bộ thu số liệu GNSS có chức năng thu nhận tín hiệu từ ăng ten, được giải mã và truyền dẫn về máy chủ của trạm CORS được thực hiện liên tục nhằm cung cấp vị trí không gian của điểm quan trắc theo thời gian thực. Bộ thu nhận số liệu GNSS được thiết kế dựa trên nền tảng công nghệ và thiết bị của hãng Trimble gồm có các module chính như ở (hình 2.5).



Hình 2. 5. Một số module để phát triển bộ thu GNSS cho trạm quan trắc

Tên các module chính để phát triển bộ thu nhận số liệu GNSS thể hiện như ở bảng 2.1.

Bảng 2. 1. Tên các module chính để phát triển bộ thu số liệu GNSS

TT	Tên module
1	Module xử lý tín hiệu vệ tinh GNSS Trimble BD970
2	Module thay đổi điện áp DC-DC LM2596
3	Module RS232 to TTL
4	Module Atmega328P
5	Màn hình hiển thị LCD12864
6	Module cảnh báo

2.2.1. Module xử lý tín hiệu vệ tinh GNSS

Bo mạch thu nhận tín hiệu vệ tinh GNSS được lựa chọn để thiết kế phát triển hệ thống quan trắc của hãng Trimble là dòng sản phẩm BD970 (hình 2.6a).

Module gồm có 3 cổng, một cổng nối với ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS, một cổng vào để nhận số liệu cải chính RTCM nhận từ trạm CORS, một cổng ra truyền số liệu đo đã cải chính định dạng NMEA về máy tính chủ. Bo mạch thu được 220 kênh của các hệ thống vệ tinh sau:

- Hệ thống GPS: L1C/A, L2E, L2C, L5
- Hệ thống GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P
- Hệ thống GALILEO: L1BOC, E5A, E5B
- Hệ thống BEIDOU

2.2.2. Module thay đổi điện áp DC-DC LM2596

Module thay đổi điện áp DC-DC LM2596 là Module dùng để hạ điện áp đầu ra với dải điện áp đầu ra lớn (từ 1.23V đến 30V). Module này nhỏ gọn, dễ dàng sử dụng trong các mạch biến đổi nguồn DC - DC hay mạch cân giảm điện áp (hình 2.6b).

Các thông số kĩ thuật của module thay đổi điện áp DC-DC LM2596

- Điện áp đầu vào: 4V-35V
- điện áp đầu ra: 1.23V-30V
- Dòng đầu ra: 3A (max)

- Hiệu suất chuyển đổi: 92% (tối đa)
- Tần số hoạt động [module hạ áp](#): 150kHz
- Nhiệt độ hoạt động: -40°C đến + 85°C

3.2.3. Module RS232 to TTL

Module RS232 to TTL chuyển mức dữ liệu giữa chuẩn RS232 và TTL dùng IC MAX 232. Giúp chúng ta có thể kết nối luôn truyền thông nối tiếp với vi điều khiển mà không cần thêm các ngoại vi nào khác (hình 2.6c).

Thông số kỹ thuật của mạch RS232 to TTL:

- IC điều khiển: MAX232
- Điện áp hoạt động: 3-5V DC.
- Dòng tiêu thụ 20mA.
- Thứ tự chân : VCC, GND, RX, TX.
- Khoảng cách truyền xa của RS232 xa nhất là 15m.
- Tốc độ truyền dữ liệu RS232 là 20kbps

Code giao tiếp với Max232 cũng giống như code giao tiếp với UART.

3.2.4. Module Atmega328P

Module Atmega328P là bo mạch có kích thước nhỏ gọn, với việc thu nhỏ và tách phần nạp là Board USB to serial UART ra khỏi board làm cho board thực sự trở nên phù hợp cho các ứng dụng nhỏ và không cần phải phí tiền cho phần mạch nạp như board Arduino Nano, chúng ta có thể thỏa thích sử dụng board Arduino Pro Mini để làm các project mini mà không sợ tốn kém quá nhiều chi phí so với Arduino Uno R3.

Các thông số kỹ thuật của Module Atmega328P:

- Vi điều khiển: ATmega328 - AU
- Nguồn vào đề nghị: 6 - 9V
- Dòng tối đa chân 5V: 500mA
- Dòng tối đa chân 3.3V: 50mA
- Dòng tối đa chân I/O: 40mA

- Số chân I/O: 14 chân (6 chân PWM)
- Analog Inputs: 8 chân
- Flash Memory: 32kb
- Clock Speed: 16Mhz
- 14 chân digital I/O: RX, TX, D2 ~ D13
- 8 cổng analog input: A0~A7
- 1 cặp TTL - nối tiếp và cổng RX/TX
- 6 cổng PWM, D3, D5, D6, D9, D10, D11
- Chip Atmel Atmega328P-AU
- Hỗ trợ nguồn điện bên ngoài: 3.3~12 VDC
- Hỗ trợ pin 9V
- Tần số 16MHz.
- Kích thước: 33,3 x 18,0 mm

2.2.5. Màn hình hiển thị LCD12864

Màn hình hiển thị LCD 128×64 5V xanh lá cây là loại màn hình tinh thể lỏng nhỏ dùng để hiển thị chữ, số hoặc hình ảnh.

Màn hình hiển thị LCD 128×64 5V không được chia thành các ô để hiển thị các mã ASCII vì GLCD không có bộ nhớ CGRAM (Character Generation RAM). Màn hình hiển thị LCD 128×64 5V có 128 cột và 64 hàng tương ứng có $128 \times 64 = 8192$ chấm (dot). Mỗi chấm tương ứng với 1 bit dữ liệu, và như thế cần 8192 bits hay 1024 bytes RAM để chứa dữ liệu hiển thị đầy mỗi màn hình hiển thị LCD 128×64. Tùy theo loại chip điều khiển, nguyên lý hoạt động của LCD có thể khác nhau. Màn hình hiển thị LCD 128×64 5V xanh dương dùng chip KS0108. – Chip KS0108 chỉ có 512 bytes RAM ($4096 \text{ bits} = 64 \times 64$) vì vậy chỉ điều khiển hiển thị được 64 dòng x 64 cột. Để điều khiển màn hình hiển thị LCD 128×64 5V xanh dương cần 2 chip KS0108, và thực tế trong các loại LCD có 2 chip KS0108, màn hình hiển thị LCD 128×64 sẽ tương tự 2 LCD 64×64 ghép lại.

Màn hình LCD 12864 sử dụng IC Driver ST7920, độ phân giải 128×64.

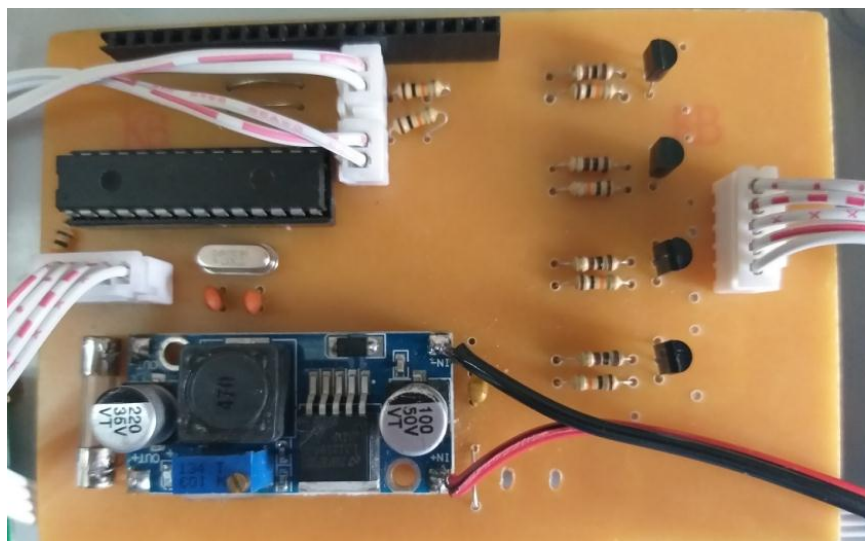
Các thông số kỹ thuật:

- Điện áp hoạt động: 5VDC
- IC Driver: ST7920
- Chữ nền đen xanh lá cây
- Graphic LCD: 128×64 điểm ảnh
- Chuẩn giao tiếp: Nối tiếp, song song 4 bit, song song 8 bit
- Kích thước: 93 x 70 x 13.5 mm
- Kích thước màn hình: 77 x 50 mm

2.2.6. Module cảnh báo

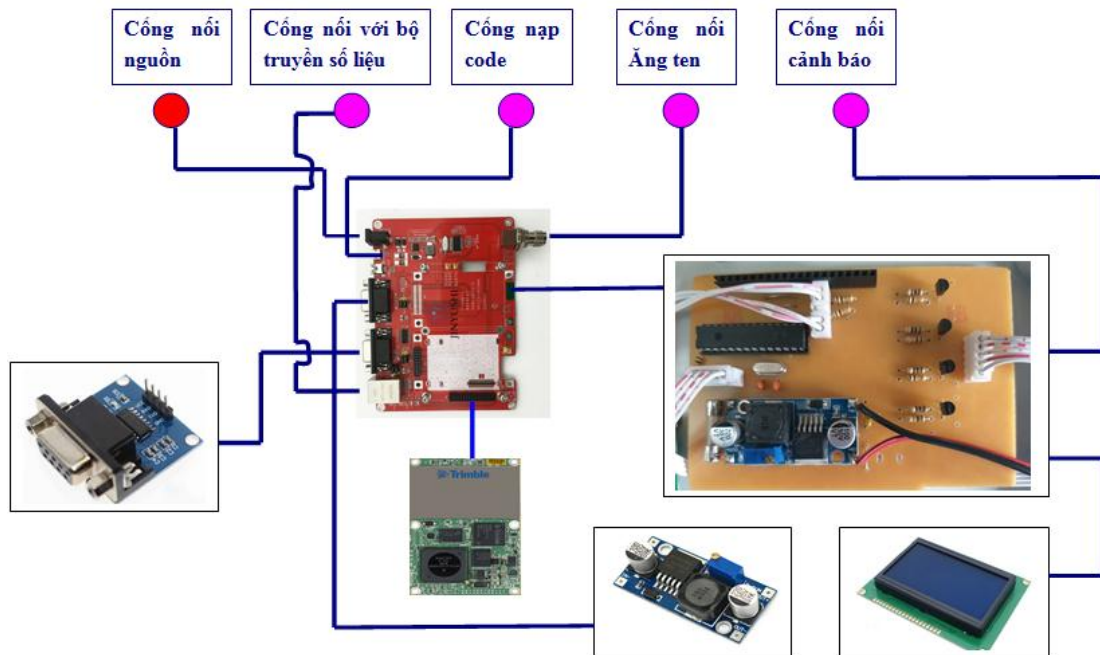
Các thông tin định vị vệ tinh GNSS và giải mã tín hiệu cũng như hiển thị và cảnh báo cần được hiển thị trên màn hình LCD để người sử dụng có thể theo dõi, biết được tình trạng hoạt động của hệ thống quan trắc chuyển dịch công trình. Tất cả các thông tin đều phải được hiển thị và cảnh báo theo thời gian thực. Các thông tin về định vị sẽ thu nhận liên tục với tần suất lớn nhất đến 50Hz, vì vậy một bo mạch đã được thiết kế, chế tạo. Việc thiết kế mạch sử dụng các phần mềm Altium Designer và được in bằng máy in mạch CNC 3018.

Mạch điện tử giải mã tín hiệu-hiển thị và cảnh báo, sau khi thiết kế và in trên máy in CNC-3018 và hoàn thiện sẽ được sản phẩm như hình 2.6.



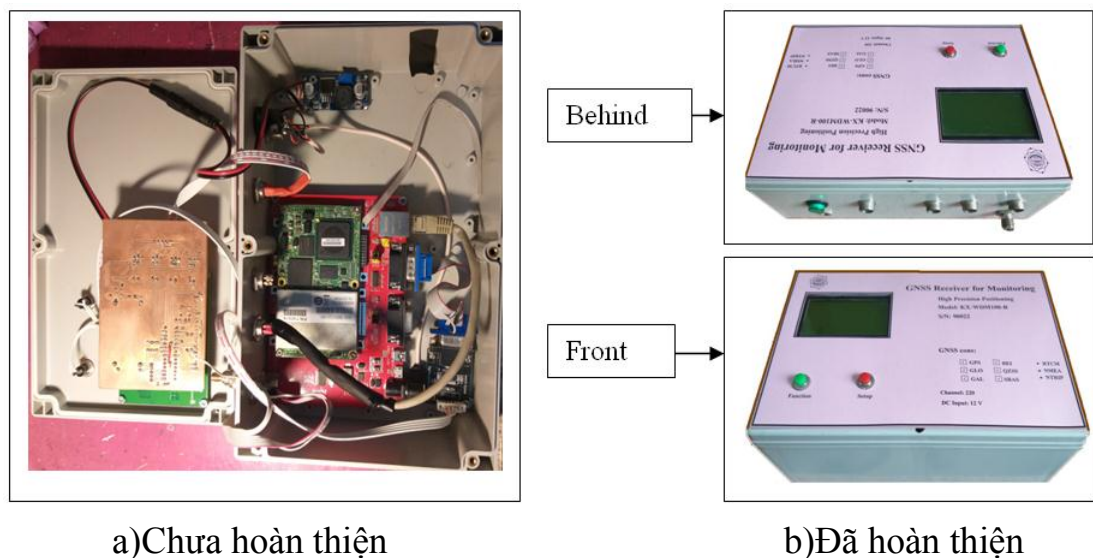
Hình 2. 6. Mạch điện tử giải mã tín hiệu-hiển thị và cảnh báo sau khi in

Các module của bộ thu số liệu GNSS cho trạm quan trắc được kết nối với nhau theo sơ đồ thiết kế như ở hình 2.7 [5].



Hình 2. 7. Sơ đồ kết nối các thành phần của bộ thu GNSS

Bộ thu GNSS sau khi lắp ráp hoàn chỉnh được thể hiện như hình 2.8.



Hình 2. 8. Bộ thu GNSS đã được hoàn thiện

2.2.7. Xây dựng chương trình điều khiển cho bộ thu số liệu GNSS

Bộ thu dữ liệu GNSS sau khi được thiết kế lắp đặt, để hệ thống này hoạt động được cần phải thành lập một phần mềm điều khiển. Phần mềm được viết

theo đúng định dạng tiêu chuẩn NMEA, sử dụng công cụ Arduino và ngôn ngữ lập trình C# (hình 2.9).



```
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);
  }
}
```

Done Saving.

3 Arduino/Genuino Uno on COM6

Hình 2. 9. Mã nguồn phần mềm điều khiển bộ thu GNSS

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. Phần mềm điều khiển chức năng thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS được thực hiện như sau:

- Tín hiệu vệ tinh thu từ ăngten GNSS theo định dạng chuẩn NMEA được truyền trực tiếp về Arduino theo cổng RS232;

- Tín hiệu vệ tinh mà Arduino nhận được gồm nhiều loại tin nhắn trong đó có loại tin nhắn chứa thông tin trị đo là \$GPGGA hoặc \$GNGGA.

Các tín hiệu \$GNGGA được truyền về Server theo giao thức NTRIP Server 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);

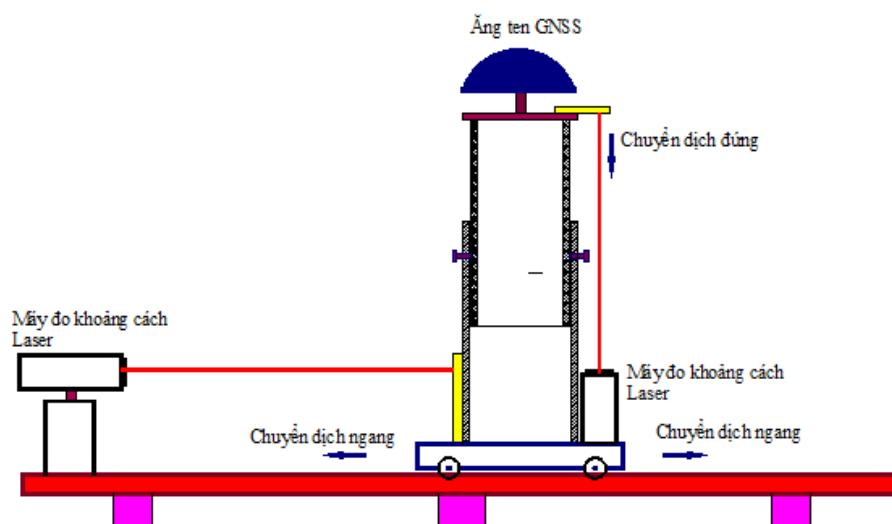
Các tín hiệu \$GNGGA được phần mềm chuyên dụng xử lý và gửi kết quả vào phần mềm trong máy chủ để đưa ra được vị trí tức thời;

Các dữ liệu này được xử lý tự động nhờ phần mềm chuyên dụng đã được thiết kế xây dựng và xác định được các đại lượng chuyển dịch theo thời gian thực với độ chính xác cao nhất.

2.3. Quan trắc thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch đất đá bằng công nghệ GNSS/CORS

2.3.1. Nguyên lý thực nghiệm mô phỏng quan trắc chuyển dịch đất đá bãi thải

Để kiểm chứng, đánh giá độ chính xác của phương pháp quan trắc chuyển dịch đất đá bãi thải theo thời gian thực dựa trên 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 trong không gian theo phương nằm ngang và phương thẳng đứng (hình 2.1).



Hình 2. 10. Nguyên lý quan trắc thực nghiệm mô phỏng chuyển dịch đất đá bằng công nghệ GNSS/CORS

Hệ thống thiết bị mô phỏng có thể đánh giá được cả chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng. Để tiến hành thực nghiệm mô phỏng một hệ thống thiết bị đã được thiết kế chế tạo gồm có hai ống thép hình trụ lồng vào nhau. Ống thép ngoài cố định và ống thép trong có thể di chuyển theo phương thẳng đứng bên trong lòng ống thép ngoài, phía trên ống thép trong có gắn một đĩa thép tròn, tâm của đĩa thép này có khoét một lỗ để lắp ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS. Toàn bộ trụ mốc này được gắn cố định với 4 bánh xe. Các bánh xe này có thể di

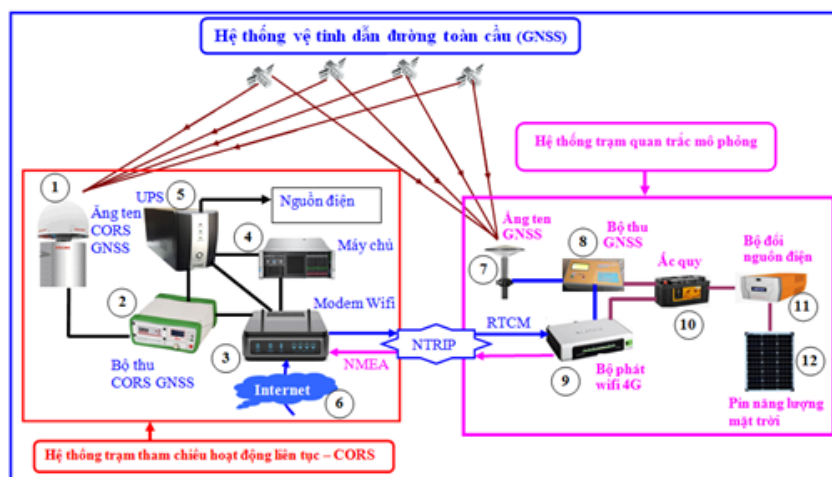
chuyển ngang trên một đường ray. Sử dụng máy đo Laser để đo khoảng dịch chuyển theo phương ngang và theo phương thẳng đứng từ điểm tham chiếu cố định đến trụ mốc có lắp ăng ten GNSS. Sau khi thu tín hiệu vệ tinh trong khoảng thời gian khoảng 30' thì thay đổi vị trí ăng ten theo phương ngang và phương thẳng đứng, rồi lại đo khoảng cách từ điểm tham chiếu đến trụ mốc có lắp ăng ten và lại thu tín hiệu vệ tinh ở vị trí mới. Hiệu khoảng cách đo được giữa hai lần đo theo phương nằm ngang và phương thẳng đứng chính là độ chuyển dịch ngang và chuyển dịch đứng. Dữ liệu thu được ở trạm quan trắc sẽ được xử lý để xác định ra tọa độ vị trí ăng ten ở hai chu kỳ quan trắc từ đó tính được độ chuyển dịch theo các công thức (2.1):

$$\begin{array}{ll}
 \text{- Dịch chuyển theo trục X:} & Q_x = X_i(t+1) - X_i(t) \\
 \text{- Dịch chuyển theo trục Y:} & Q_y = Y_i(t+1) - Y_i(t) \\
 \text{- Dịch chuyển ngang:} & Q_p = \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2} \\
 \text{- Chuyển dịch đứng:} & S = H_i(t+1) - H_i(t) \\
 \text{- Chuyển dịch toàn phần:} & Q = \sqrt{(Q_x)^2 + (Q_y)^2 + S^2}
 \end{array} \quad (2.1)$$

Các đại lượng chuyển dịch ngang Q_p , chuyển dịch đứng S và chuyển dịch toàn phần Q xác định bằng hệ thống quan trắc dựa trên công nghệ GNSS/CORS được so sánh với đại lượng dịch chuyển xác định trực tiếp bằng máy đo khoảng cách Laser sẽ đánh giá được độ chính xác của hệ thống quan trắc.

2.3.2. Thiết lập hệ thống thực nghiệm mô phỏng

Hệ thống thực nghiệm mô phỏng quan trắc chuyển dịch đất đá được thiết lập bao gồm hai phần chính, đó là hệ thống trạm CORS và hệ thống trạm quan trắc chuyển dịch mô phỏng (hình 2.2).



Hình 2. 11. Sơ đồ của hệ thống quan trắc chuyển dịch mô phỏng

Hệ thống trạm CORS được thiết lập bao gồm ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS CORS (1), bộ thu dữ liệu GNSS (2), modem và router (3), máy tính chủ (4), bộ lưu điện (5), đường truyền internet (6).

Khi thiết lập trạm CORS-CAMPCHA, sử dụng ăng ten GNSS Zephyr 2 Geodetic của Trimble (hình 2.3)



Hình 2. 12. Ăng ten GNSS Zephyr 2 Geodetic cho trạm CORS-CAMPCHA

Ăng ten Zephyr 2 Geodetic là dòng ăng ten hàng đầu của Trimble có thể giảm tối đa hiệu ứng đa đường dẫn, thu được tín hiệu vệ tinh ở góc ngưỡng nhỏ, độ ổn định tâm pha ăng ten dưới một milimet, cung cấp hỗ trợ đầy đủ để thu tín hiệu vệ tinh GNSS hiện tại và tương lai gần. Kết hợp với độ bền cao và chắc chắn, ăng-ten Zephyr 2 Geodetic rất thích hợp và lý tưởng cho việc thiết lập trạm CORS.

Bộ thu cho trạm CORS-CAMPCHA là loại SC2200 của hãng Stonex (Italia) (hình 2.4)

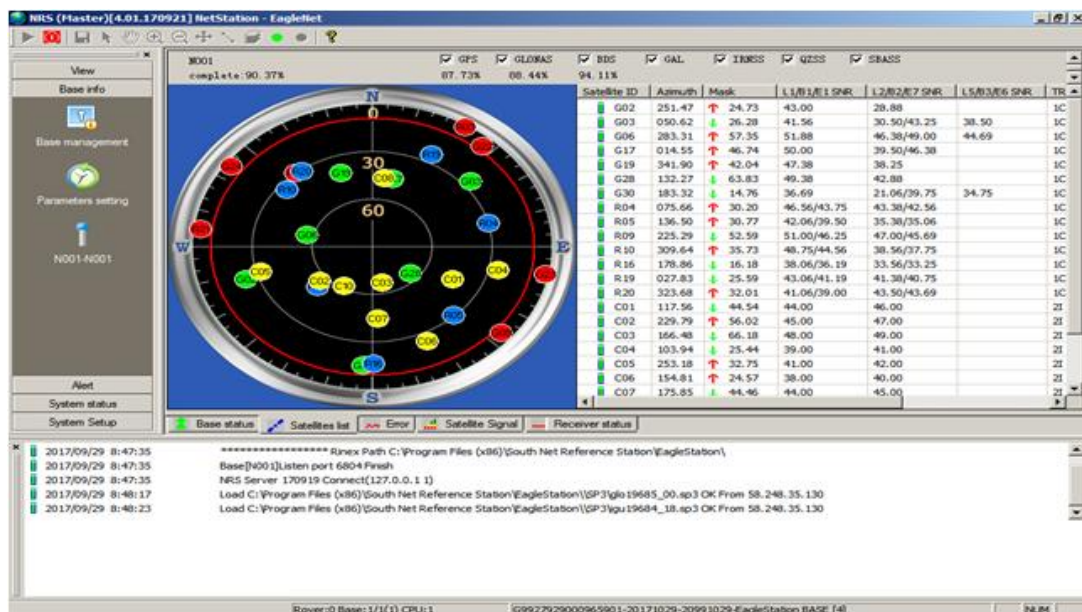


Hình 2. 13. Bộ thu SC2200 của Stonex cho trạm CORS-CAMPHA

Công nghệ của STONEX cho các trạm và mạng tham chiếu GNSS phát triển đáp ứng cho nhu cầu công nghệ GNSS đang thay đổi nhanh chóng. SC2200 là bộ thu GNSS cho trạm CORS rất linh hoạt và có khả năng thích ứng với nhiều loại ăng ten, cung cấp nhiều giải pháp cho nhiều nhu cầu khác nhau, đáp ứng nhu cầu cao nhất về độ tin cậy và hoạt động trong môi trường khắc nghiệt nhất.

Bộ thu SC2200 thu được tín hiệu vệ tinh của các hệ thống GPS, Glonass, Beidou, Galileo, QZSS, IRNSS, SBAS với 550 kênh.

Dữ liệu trạm CORS-CAMPHA được truyền về máy tính chủ trung tâm đặt tại trường Đại học Mở - Địa chất qua đường truyền internet và được quản lý bởi phần mềm NRS-Station và NRS-Server (hình 2.5).



Hình 2. 14. Giao diện phần mềm tại máy chủ của hệ thống trạm CORS

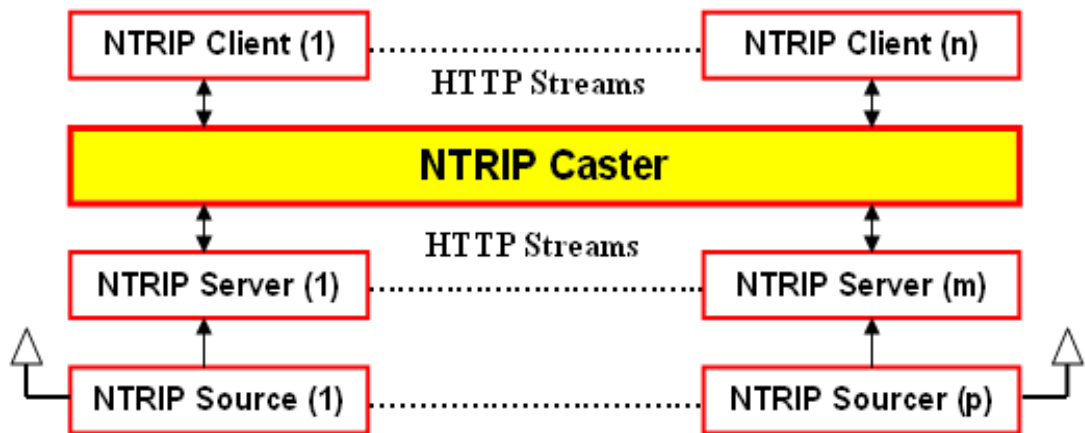
Hệ thống trạm quan trắc mô phỏng gồm có ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS (7), bộ thu GNSS (8), bộ phát wifi 4G (9), ắc quy (10), bộ đổi nguồn (11) và tấm pin năng lượng mặt trời (12).

Phần mềm điều khiển và quản trạm quan trắc gồm có phần mềm Server GNSS CORS WDM để thiết lập các thông số điều khiển thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS từ trạm quan trắc về máy chủ và phần mềm GNSS CORS WDM xử lý số liệu quan trắc dịch chuyển.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc dịch chuyển đất đá theo thời gian thực được xây 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 GNSS (2) 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, 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.

Ở trạm quan trắc, ăng ten GNSS (7) thu tín hiệu vệ tinh truyền về bộ thu và giải mã tín hiệu vệ tinh (8) thành tín hiệu số theo chuẩn định dạng dữ liệu NMEA 0183. Dữ liệu ở định dạng tiêu chuẩn NMEA0183 được truyền về máy tính chủ của trạm CORS nhờ bộ truyền dữ liệu theo phương thức NTRIP.

Cơ chế truyền dẫn số liệu cải chính RTCM và thông tin trị đo NMEA được thực hiện theo giao thức NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) trên nền mạng IP được thể hiện như (hình 2.6)



Hình 2. 15. Cơ chế truyền dẫn số liệu của trạm CORS theo giao thức NTRIP

Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăng ten thu nhận sau đó truyền đến bộ thu thông qua cáp truyền dữ liệu (NTRIP Source), dữ liệu từ bộ thu được truyền đến máy chủ qua modem bằng đường truyền internet (NTRIP Server), modem ở máy chủ trung tâm được mở sẵn các cổng vào và đặt địa chỉ IP để số liệu từ các trạm CORS truyền về (NTRIP Caster). Modem của máy chủ trung tâm phải mở tất cả các cổng trùng với cổng của từng trạm CORS. Máy chủ trung tâm có nhiệm vụ truyền số liệu cải chính đến cho các trạm động Rover bằng NTRIP Client.

2.3.3. Tiến hành thực nghiệm quan trắc mô phỏng

Để đánh giá độ tin cậy của trạm CORS Cẩm Phả, việc thực nghiệm quan trắc thực nghiệm mô phỏng cũng được tiến hành ở khu vực Cẩm Phả. Hai vị trí được lựa chọn để đặt thiết bị quan trắc mô phỏng có khoảng cách đến trạm CORS-CAMPHA khác nhau. Sử dụng trạm CORS theo công nghệ và thiết bị của hãng Stonex (Italia) được lắp đặt ở thành phố Cẩm Phả, Quảng Ninh. Vị trí trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng thứ nhất đặt trên lề đường bao biển Cẩm Phả - Hạ Long cách trạm CORS-CAMPHA khoảng 3.40 km. Vị trí trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng thứ hai đặt ở khu quy hoạch đô thị Vân Đồn cách

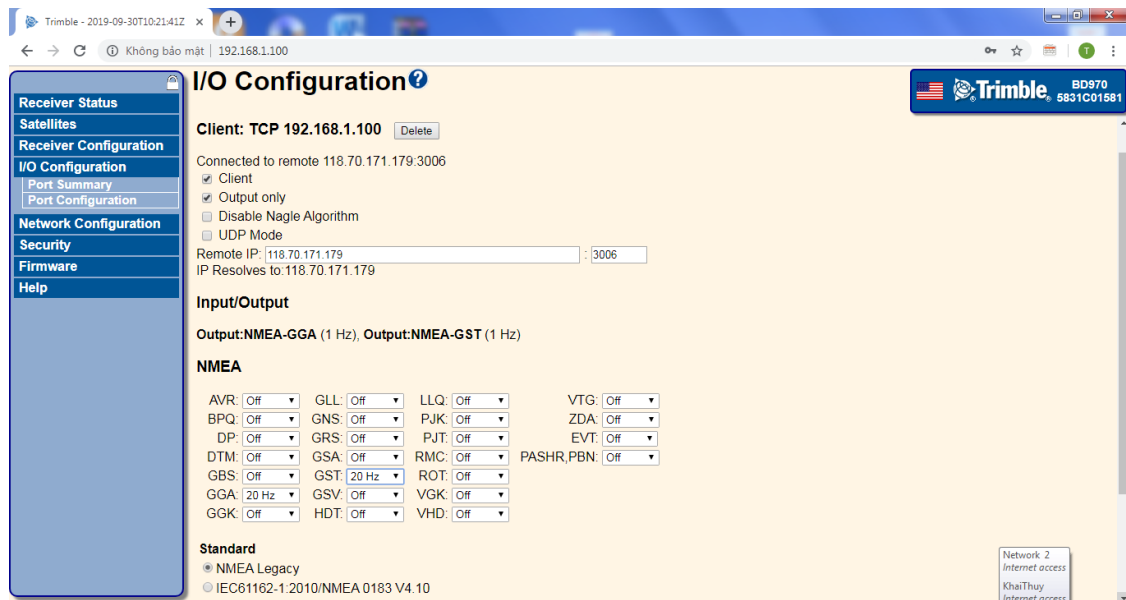
trạm CORS-CAMPHA khoảng 11.08 km. Vị trí trạm CORS-CAMPHA và vị trí đặt hai trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng thể hiện như ở hình (Hình 2.7)



Hình 2. 16. Vị trí trạm CORS và trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng

Hệ thống trạm quan trắc gồm một ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS, một bộ thu GNSS, bộ phát wifi 4G, ắc quy 12v, pin năng lượng mặt trời, bộ phận cảnh báo. Ăng ten GNSS được lắp cố định lên trụ mốc, khi quan trắc. Trạm quan trắc được kết nối đến trạm CORS-CAMPHA.

Ở trạm quan trắc, thiết lập đầu ra để nhận các tín hiệu 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 ở trạm quan trắc. Sau khi đăng nhập User name và password xuất hiện giao diện trang web quản lý bộ thu GNSS ở trạm quan trắc như ở hình 2.8.



Hình 2. 17. Giao diện trang quản lý bộ thu GNSS ở trạm quan trắc

Ở trang này chọn vào chức năng I/O Configuration để kích hoạt các loại tín hiệu trị đo NMEA cần thu nhận.

Hệ thống trạm CORS-CAMPHA được NCS thiết kế, xây dựng và lắp đặt vào ngày 19 tháng 6 năm 2023 như hình 2.9.



Hình 2. 18. Hệ thống trạm CORS-CAMPHA đã được thiết lập

Để xác định chuyển dịch cần thực hiện ít nhất hai chu kỳ quan trắc. Ở chu kỳ đầu (chu kỳ 0) sử dụng máy đo khoảng cách Laser đặt tại điểm cố định (điểm tham chiếu) đo khoảng cách theo phương nằm ngang và theo phương thẳng đứng đến điểm cố định. Trạm quan trắc sẽ thu tín hiệu vệ tinh trong khoảng thời gian 30 phút với tần suất thu số liệu là 1giây. Dữ liệu thu được ở trạm quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA0183 với các loại tin nhắn GGA, GST và được truyền về máy tính chủ quản lý trạm CORS và được lưu thành một tệp dạng text. Sau đó thay đổi vị trí của ăng ten theo phương nằm ngang và theo phương thẳng đứng sau đó đo khoảng cách từ điểm tham chiếu đến ăng ten ở vị trí mới. Hiệu khoảng cách từ điểm tham chiếu ở hai chu kỳ quan trắc kề nhau là độ chuyển dịch xác định trực tiếp.

2.4. Phương pháp xử lý dữ liệu quan trắc

2.4.1. Cấu trúc dữ liệu quan trắc theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183

Cấu trúc dữ liệu theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183 là tiêu chuẩn kỹ thuật cho phép các thiết bị điện tử gửi thông tin về máy tính và tới một thiết bị điện tử khác. Tiêu chuẩn được xây dựng bởi Hiệp hội Điện tử Hàng hải Quốc gia Mỹ (National Marine Electronics Association - NMEA) nên được gọi là tiêu chuẩn NMEA. Hiện nay cấu trúc dữ liệu NMEA có nhiều phiên bản khác nhau nhưng phiên bản NMEA-0183 đang được sử dụng rộng rãi hơn cả []

Dữ liệu theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183 sử dụng mã tiêu chuẩn ASCII, có cấu trúc chung như sau:

\$aacc,c-c*hh<CR><LF>.

Mỗi đoạn mã theo chuẩn định dạng tiêu chuẩn NMEA bắt đầu với một ký tự “\$” trên một hàng nối tiếp và không lớn hơn 80 ký tự. Sau ký tự “\$” là mã nhận diện phương thức định vị (aa) gồm hai ký tự là GP khi định vị là GPS và GN khi định vị là GNSS. Tiếp theo là ba ký tự (ccc) xác định loại tin nhắn. Những loại tin nhắn thường dùng là GGA, GST, GSV, GSA, GLL ..., 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. Đoạn mã C-c là khối các câu lệnh tùy thuộc vào loại tin nhắn.

Có nhiều loại tin nhắn trong cấu trúc dữ liệu theo định dạng tiêu chuẩn NMEA thu được trong định vị theo công nghệ GNSS/CORS/RTK. Đặc biệt có hai loại tin nhắn GGA và GST mà người sử dụng cần quan tâm trong quá trình xử lý số liệu để nâng cao độ chính xác kết quả quan trắc.

Dòng tin nhắn GGA bao gồm các thông tin sau: thời gian định vị theo hệ thời gian UTC (1) gồm giờ, phút và giây lấy đến hai số lẻ, thời gian này chênh với thời gian theo giờ Hà Nội là 7 giờ; vĩ độ (2) gồm phần độ, phần phút lấy đến 8 số lẻ; vĩ độ bắc hoặc nam (3); kinh độ (4) gồm phần độ, phần phút lấy đến 8 số lẻ; kinh độ 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 thường gọi là độ cao trắc địa H (9); đơn vị độ cao ăng ten (10) thường là mét; khoảng cách giữa mặt ellipsoid trái đất WGS-84 và mặt Geoid (11) thường gọi là dị thường độ cao; đơn vị khoảng cách (12), kiểm tra (checksum) tính toàn vẹn của thông tin trị đo (13). Cấu trúc của tin nhắn GGA và các thông tin chi tiết của nó được thể hiện như ở bảng 2.1.

Bảng 2. 2. Cấu trúc của tin nhắn GGA và các thông tin chi tiết của nó

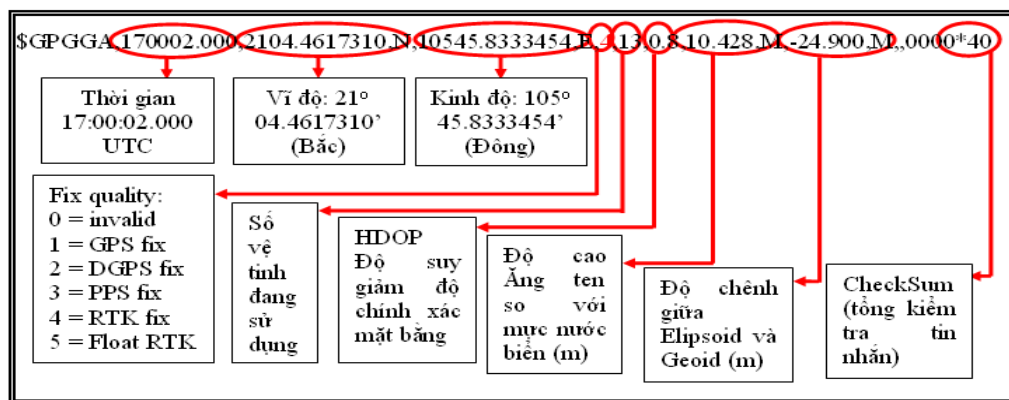
GGA-Global Positioning System Fix Data. Time, Position and fix related data for a GPS												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
\$GNGGA,	hhmmss.ss,	llll.ll,	a,	yyyyy.yy,	a,	x,	xx,	x.x,	x.x,	M,	x.x,	M
\$GNGGA,	094616.00,	2103.33415041,	N,	10547.84535284,	E,	4,	10,	1.0,	9.009,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

Chỉ số chất lượng định vị RTK có 6 mức độ khác nhau từ mức 0 đến mức 5, ở bảng 2.2 là các chỉ số tương ứng với chất lượng của trị đo.

Bảng 2. 3. Chỉ số chất lượng định vị RTK

TT	Chỉ số	Chất lượng định vị	Giải thích
1	0	Ivalid	Báo lỗi định vị
2	1	GPS Fix	Cải chính từ định vị GPS
3	2	DGPS Fix	Cải chính từ định vị DGPS
4	3	PPS Fix	Cải chính từ dịch vụ định vị điểm chính xác (Precise Positioning Service).
5	4	RTK Fix	Cải chính đo RTK từ trạm CORS
6	5	Fload RTK	Cải chính đo RTK tự do

Khi đo 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 trị đo này. Các thông tin của một dòng tin nhắn trị đo GGA được giải mã cụ thể như ở hình 2.10.



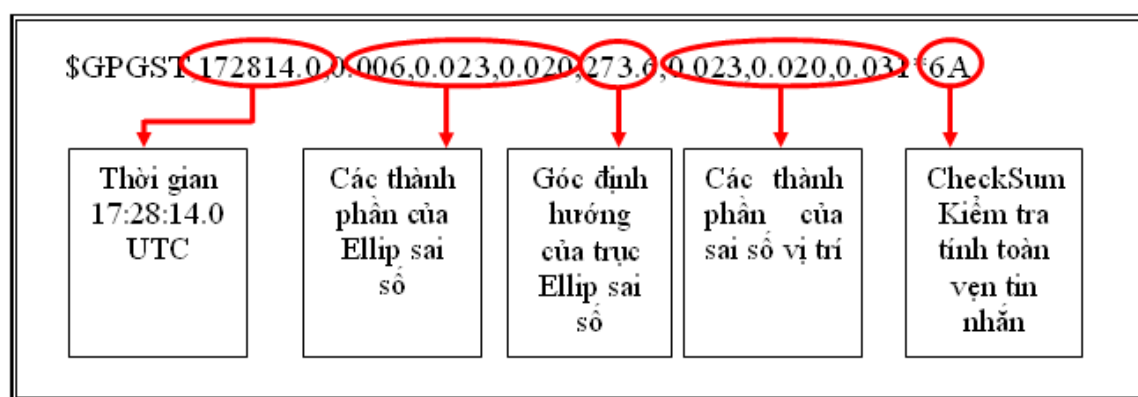
Hình 2. 19. Giải mã dòng tin nhắn của trị đo GGA

Dòng tin nhắn GST bao gồm các thông tin sau: thời gian định vị theo hệ thời gian UTC (1) gồm giờ, phút và giây lấy đến hai số lẻ, thời gian này chênh với thời gian theo giờ Hà Nội là 7 giờ; 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); giá trị sai số độ cao (8); kiểm tra (checksum) tính toàn vẹn của thông tin trị đo (9). Cấu trúc của tin nhắn GST và các thông tin chi tiết được thể hiện như ở bảng 2.3

Bảng 2. 4. Cấu trúc của tin nhắn GST và các thông tin chi tiết của nó

<i>GST - Position error statistics</i>									
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	

Các thông tin của một dòng tin nhắn trị đo GST được giải mã cụ thể như ở hình 2.11.



Hình 2. 20. Giải mã dòng tin nhắn của trị đo GST

Khi đầu ra của dữ liệu NMEA-0183 được kích hoạt ở trạm CORS, một tập hợp con các tin nhắn NMEA-0183 có thể được xuất ra ở các máy thu được kết nối đến trạm CORS. Các tin nhắn trị đo NMEA-0183 này cho phép các thiết bị bên ngoài thu nhận để sử dụng cho mục đích xử lý sau nhằm nâng cao độ chính xác vị trí định vị.

2.4.2. Phương pháp xử lý dữ liệu quan trắc chuyển dịch đất đá theo định dạng tiêu chuẩn NMEA-0183

Tất cả các thông tin trị đo theo định dạng tiêu chuẩn NMEA, cần được lọc ra những trị đo có chất lượng tốt nhất để xử lý, đặc biệt chú ý đến hai loại tin nhắn \$GNGGA và \$GNGST. Dòng tin nhắn GNGGA 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 GNGST cho biết sai số vị trí điểm đo đã được cải chính 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 có tên data kết hợp với ngày tháng năm (ví dụ: data25082023.txt). Tệp số liệu này được được một phần mềm xử lý để cho kết quả chuyển dịch biến dạng công trình theo thời gian thực.

Từ tệp dữ liệu thu được theo chuẩn NMEA của loại tin nhắn GNGGA và GPGST thu được để xử lý lọc ra những trị đo tốt nhất, quá trình lọc thông tin trị đo tiến hành qua các bước sau:

1- Bước thứ nhất: Kiểm tra tính toàn vẹn của các tin nhắn trong tệp dữ liệu NMEA

Khi các tin nhắn theo định dạng NMEA nhận được từ Rover, cần phải kiểm tra tính toàn vẹn (đầy đủ) của các tin nhắn trong tệp dữ liệu này, nếu trong các dòng tin nhắn này thiếu hay thừa thông tin thì không sử dụng tin nhắn này để lấy số liệu. Việc kiểm tra tính toàn vẹn của dữ liệu được thực hiện bằng cách phân tích tất cả các ký tự trong khoảng từ ký tự \$ đến ký tự * của chuỗi tin nhắn NMEA thành một chuỗi mới. Sau đó, chỉ cần thực hiện thuật toán thao tác bit XOR ký tự đầu tiên với ký tự tiếp theo, cho đến khi kết thúc chuỗi. 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.

2- Bước thứ hai: 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. Các chỉ số tương ứng với chất lượng trị đo thể hiện như ở bảng 2.2.

Trong định vị GNSS/CORS/RTK, khi chỉ số báo chất lượng là 4 thì trị đo này đã được được cải chỉnh vị trí và cho chất lượng tốt nhất và giá trị này được lọc ra cho mục đích sử dụng. Nếu chỉ số báo chất lượng là các số 0, 1, 2, 3, 5 thì không lấy trị đo này.

3- Bước thứ ba: Lọc những tin nhắn có tọa độ đã được hiệu chỉnh vị trí nhưng có sai số vị trí nhỏ nhất.

Trong số những tin nhắn có tọa độ đã được hiệu chỉnh nhưng sai số vị trí của nó cũng khác nhau, vì vậy để nâng cao độ chính xác định vị cần lọc ra những tin nhắn có sai số vị trí điểm nhỏ nhất. Việc lọc ra tọa độ có sai số nhỏ được thực hiện bằng cách phân tích chuỗi tin nhắn GST.

Trong tệp trị đo GGA có các giá trị thành phần tọa độ của điểm đo trong hệ tọa độ WGS-84, các giá trị tọa độ này được tính chuyển về hệ tọa độ VN-2000 để phục vụ cho việc tính chuyển dịch.

4. Bước thứ tư: Tính đổi tọa độ

1. Tính đổi giữa hệ tọa độ trắc địa và hệ tọa độ vuông góc không gian

a) Công thức tính đổi từ (B,L,H) sang (X,Y,Z)

$$\left. \begin{aligned} X &= (N+H)\cos B.\cos L \\ Y &= (N+H)\cos B.\sin L \\ Z &= [N(1-e^2)+H].\sin B \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

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 thứ nhất tại điểm xét:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B}}$$

e là tâm sai thứ nhất của ellipsoid:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

a là bán trục lớn, b là bán trục nhỏ của ellipsoid.

b) Công thức tính đổi từ (X, Y, H) sang (B, L, H)

$$\left. \begin{aligned} H &= K_H(\sqrt{E} - a) \\ B &= \arctg \frac{K_B Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \\ L &= \arctg \frac{Y}{X} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Trong đó:

$$E = X^2 + Y^2 + (1 + e^2).Z^2$$

$$K_H = \frac{\sqrt{E}}{\sqrt{E + e^2.(1 + e^2).Z^2}}$$

$$K_E = (1 + e^2)(1 - e^2 K_H \frac{H}{E})$$

e^2 là tâm sai thứ hai của ellipsoid

$$e^2 = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$$

2. Thuật toán chuyển đổi giữa các hệ tọa độ

a). Tính 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 (2.4)

$$\left. \begin{aligned} X &= \Delta X_0 + k.(X' + \varepsilon_0.Y' - \psi_0.Z') \\ Y &= \Delta Y_0 + k.(-\varepsilon_0.X' + Y' + \omega_0.Z') \\ Z &= \Delta Z_0 + k.(\psi_0.X' - \omega_0.Y' + Z') \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

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)

$\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ là các tham số dịch chuyển gốc tọa độ (m)

$\omega_0, \psi_0, \varepsilon_0$ 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 như ở bảng 2.4.

$$\begin{aligned} x &= k_0 \left(X + \frac{1}{2\rho^2} N.t \cos^2 B.l^2 + \frac{1}{24\rho^4} N.t(5 - t^5 + 9\eta^2 + 4\eta^4) \cos^4 B.l^4 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{720\rho^6} N.t(61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330\eta^2 t^2) \cos^6 B.l^6 + \dots \right) \\ y &= k_0 \left(\frac{N}{\rho} \cos B.l + \frac{1}{6\rho^3} N(1 - t^2 - \eta^2) \cos^3 B.l^3 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{120\rho^5} N(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2) \cos^5 B.l^5 + \dots \right) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Trong đó: $t = \tan B$

$$\eta = e' \cdot \cos B$$

$$l = \frac{(L - L_0)''}{\rho''}$$

$k_0 = 0.9996$ ứng với múi 6°.

$k_0 = 0.9999$ ứng với múi 3°.

L_0 kinh tuyến trục tương ứng với từng tỉnh thành trong cả nước. Với Quảng Ninh thì $L_0 = 107^\circ 45'$.

Bảng 2. 5. Các tham số tính chuyển tọa độ từ hệ WGS-84 sang hệ tọa độ VN-2000

TT	Tham số	Giá trị	Đơn vị
1	ΔX_0	-191,90441429	m
2	ΔY_0	-39,30318279	m
3	ΔZ_0	-111,45032835	m

4	ω_o	-0,00928836	Giây
5	ψ_o	0,01975479	Giây
6	ε_o	-0,00427372	Giây
7	k	1,000000252906278	-

5. Bước thứ năm: Đánh giá độ chính xác của kết quả đo

Độ chính xác của các thành phần tọa độ và độ cao được xác định theo các công thức (2.6):

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \pm \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{n-1}} \\ m_y &= \pm \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{n-1}} \\ m_h &= \pm \sqrt{\frac{[v_h v_h]}{n-1}} \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Trong đó:

$$\left. \begin{aligned} v_{xi} &= \bar{X} - X_i ; \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_1^n X_i \\ v_{yi} &= \bar{Y} - Y_i ; \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_1^n Y_i \\ v_{hi} &= \bar{H} - H_i ; \bar{H} = \frac{1}{n} \sum_1^n H_i \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

6. Bước thứ sáu: 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 (2.1) như đã trình bày ở trên.

2.5. Số liệu và kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng

2.5.1. Số liệu trắc thực nghiệm mô phỏng

Việc quan trắc thực nghiệm mô phỏng được tiến hành vào ngày 15 tháng 8 năm 2023. Vị trí đặt trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng thứ nhất nằm bên lề

đường bao biển Cẩm Phả - Hạ Long cách trạm CORS-CAMPHA khoảng 3.40 km (hình 2.12).



a)Trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng
CAMPHA



b)Trạm CORS-

Hình 2. 21. Khu vực bố trí trạm quan trắc thực nghiệm mô phỏng thứ nhất
Sau khi trạm quan trắc được kết nối với trạm CORS-CAMPHA, dữ liệu quan trắc được gửi về máy tính chủ ở trạm CORS theo từng chu kỳ đo. Việc quan trắc thực nghiệm mô phỏng thực hiện với 6 chu kỳ đo, mỗi chu kỳ đo với thời gian thu tín hiệu vệ tinh khoảng 30 phút.

Ở bảng 2.5 là một đoạn dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng theo định dạng tiêu chuẩn NMEA0183 ở chu kỳ thứ nhất.

Bảng 2. 6. Một đoạn dữ liệu quan trắc mô phỏng ở chu kỳ thứ nhất

\$GNGGA,045915.00,2059.77350765,N,10716.19035748,E,1,10,0.9,21.233,M,-23.050,M,,*66
\$GNGGA,045916.00,2059.77331679,N,10716.18999453,E,1,11,0.8,17.321,M,-23.050,M,,*6E
\$GNGGA,045917.00,2059.77311549,N,10716.18981344,E,1,11,0.8,16.627,M,-23.050,M,,*67
\$GNGST,045917.00,8.083,2.096,1.647,1.6,2.096,1.648,4.100*49
\$GNRMC,045917.00,A,2059.77311549,N,10716.18981344,E,0.004,0.000,041123,1.8379,W,A*0C
\$GNGGA,045918.00,2059.77304372,N,10716.18975178,E,1,11,0.8,16.292,M,-23.050,M,,*6E
\$GNGGA,045919.00,2059.77301436,N,10716.18971853,E,1,11,0.8,16.105,M,-23.050,M,,*64
\$GNGGA,045920.00,2059.77299939,N,10716.18969193,E,1,11,0.8,15.966,M,-23.050,M,,*6E
\$GNGGA,045921.00,2059.77299360,N,10716.18967400,E,1,11,0.8,15.876,M,-23.050,M,,*68
\$GNGGA,045922.00,2059.77299225,N,10716.18966106,E,1,11,0.8,15.804,M,-23.050,M,,*6C
\$GNGST,045922.00,8.005,1.893,1.497,177.9,1.893,1.498,3.565*4E
\$GNRMC,045922.00,A,2059.77299225,N,10716.18966106,E,0.007,0.000,041123,1.8379,W,A*08
\$GNGGA,045923.00,2059.77284417,N,10716.18968195,E,1,19,0.7,15.442,M,-23.050,M,,*6B
\$GNGGA,045924.00,2059.77275739,N,10716.18968241,E,1,19,0.7,15.175,M,-23.050,M,,*66
\$GNGGA,045925.00,2059.77255615,N,10716.18964076,E,1,20,0.6,14.807,M,-23.050,M,,*66
\$GNGGA,045926.00,2059.77239659,N,10716.18959916,E,1,20,0.6,14.475,M,-23.050,M,,*6F
\$GNGGA,045927.00,2059.77228694,N,10716.18956554,E,1,20,0.6,14.195,M,-23.050,M,,*61
\$GNGST,045927.00,9.950,1.409,1.262,155.7,1.385,1.289,2.801*4A
\$GNRMC,045927.00,A,2059.77228694,N,10716.18956554,E,0.011,39.958,041123,1.8379,W,A*30
\$GNGGA,045928.00,2059.77221586,N,10716.18955802,E,1,21,0.6,13.950,M,-23.050,M,,*6D
\$GNGGA,045929.00,2059.77217880,N,10716.18960659,E,1,22,0.6,13.742,M,-23.050,M,,*6A
\$GNGGA,045930.00,2059.77215357,N,10716.18963683,E,1,22,0.6,13.567,M,-23.050,M,,*60
\$GNGGA,045931.00,2059.77213716,N,10716.18965806,E,1,22,0.6,13.420,M,-23.050,M,,*61
\$GNGGA,045932.00,2059.77212546,N,10716.18967398,E,1,22,0.6,13.296,M,-23.050,M,,*61
\$GNGST,045932.00,9.242,1.373,1.171,165.9,1.362,1.184,2.646*4A
\$GNRMC,045932.00,A,2059.77212546,N,10716.18967398,E,0.014,324.778,041123,1.8379,W,A*03
\$GNGGA,045933.00,2059.77211705,N,10716.18968645,E,1,22,0.6,13.187,M,-23.050,M,,*6F
\$GNGGA,045934.00,2059.77211261,N,10716.18969620,E,1,22,0.6,13.090,M,-23.050,M,,*6A
\$GNGGA,045935.00,2059.76848707,N,10716.18868797,E,5,19,0.6,4.162,M,-23.050,M,1.0,0000*7D
\$GNGGA,045936.00,2059.76848644,N,10716.18868808,E,4,19,0.6,4.156,M,-23.050,M,1.0,0000*77
\$GNGGA,045937.00,2059.76848666,N,10716.18868776,E,4,19,0.6,4.153,M,-23.050,M,1.0,0000*75
\$GNGST,045937.00,0.031,0.004,0.003,163.7,0.004,0.003,0.010*45
\$GNRMC,045937.00,A,2059.76848666,N,10716.18868776,E,0.002,0.000,041123,1.8379,W,D*06
.....

2.5.2. Kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng

Từ kết quả xử lý dữ liệu quan trắc thực nghiệm mô phỏng của các chu kỳ như trên, dựa vào tọa độ và độ cao của ăng ten xác định được, sẽ tính được độ chuyển dịch ngang, chuyển dịch đứng và chuyển dịch toàn phần. Các đại lượng chuyển dịch này được so sánh với giá trị chuyển dịch đo trực tiếp bằng thiết bị đo Laser. Các đại lượng chuyển dịch dựa và kết quả quan trắc và đại lượng chuyển dịch đo trực tiếp cũng như độ chênh lệch của nó được thể hiện như ở bảng 2.7

Bảng 2. 7. Kết quả quan trắc thực nghiệm mô phỏng

TT	Tọa độ mặt bằng		Độ cao	Chuyển dịch theo trục tọa độ		Độ lún	Cdịch ngang	Cdịch toàn phần	Cdịch ngang đo	Độ lún đo	Cdịch toàn phần đo	Độ chênh lệch chuyển dịch		
	X(m)	Y (m)	H (m)	Qx (m)	Qy (m)	S (m)	Q _P (m)	Q _{TP} (m)	Q _P (đo) (m)	S (đo) (m)	Q _{TP} (đo) (m)	Ngang	Đứng	Toàn phần
1	2323503.981	735754.160	4.183											
				0.032	-0.012	-0.068	0.034	0.076	0.030	-0.057	0.064	0.004	0.011	0.012
2	2323504.013	735754.148	4.115											
				0.057	-0.007	-0.009	0.057	0.058	0.060	-0.015	0.062	-0.003	-0.006	-0.004
3	2323504.070	735754.141	4.106											
				0.064	0.006	-0.056	0.064	0.085	0.073	-0.030	0.079	-0.009	0.026	0.006
4	2323504.134	735754.147	4.050											
				0.105	0.003	-0.064	0.105	0.123	0.107	0.039	0.114	-0.002	0.025	0.009
5	2323504.239	735754.150	3.986											
				0.182	0.013	-0.074	0.182	0.197	0.183	-0.095	0.206	-0.001	-0.021	-0.009
6	2323504.421	735754.163	3.912											

KẾT LUẬN

Công nghệ GNSS/CORS đã làm thay đổi về phương pháp quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình nói chung và quan trắc chuyển dịch chuyển dịch đất đá bãi thải nói riêng từ quan trắc theo chu kỳ sang quan trắc theo thời gian thực.

Việc ứng dụng công nghệ trạm tham chiếu hoạt động liên tục CORS trong công tác quan trắc liên tục trượt lở đất đá hoàn toàn khả thi đáp ứng yêu cầu về kinh tế - kỹ thuật. Hệ thống có khả năng quan trắc trong thời gian thực, đưa ra những cảnh báo tức thời để phòng những rủi ro có thể xảy ra, thông qua việc quan trắc cấu trúc một cách liên tục.

Công nghệ GNSS/CORS đã chứng minh được sự vượt trội trong công tác quan trắc liên tục trượt lở đất đá so với công nghệ truyền thống.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Công Khải và nnk, 2019. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ quan trắc liên tục chuyển dịch biến dạng công trình trên địa bàn thành phố Hà Nội. Báo cáo tổng kết đề nghiên cứu khoa học cấp thành phố. Mã số 01C-04/08-2016-3.
2. Phạm Công Khải, Trần Trọng Xuân, 2018. Nghiên cứu phát triển hệ thống quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình theo thời gian thực. Tạp chí công nghiệp mỏ số 4-2018. Trang 33-38. ISSN: 0868 – 7052.
3. Phạm Công Khải (2021). Nghiên cứu thiết kế phát triển máy định vị vệ tinh GNSS ứng dụng trong đo đạc thành lập bản đồ theo kỹ thuật CORS/RTK. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất.
4. G.R. Hu, H.S. Khoo, P.C. Goh, C.L. Law, 2003. *Development and assessment of GPS virtual reference stations for RTK positioning*. Journal of Geodesy (2003) 77: 292–302.
5. Jinsang Hwang, Hongsik Yun, Yongcheol Suh, Jeongho Cho and Dongha Lee, 2012. *Development of an RTK-GPS Positioning Application with an Improved Position Error Model for Smartphones*. Sensors 2012, 12, 12988-13001.
6. Trajkovski, K.K.; Sterle, O.; Stopar, B, 2010. Study positioning with high sensitivity GPS sensors under adverse conditions. *Sensors* 2010, 10, 8332–8347.
7. Lee, H.K, 2010. An integration of GPS with INS sensors for precise long-baseline kinematic positioning. *Sensors* 2010, 10, 9424–9438.
8. 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.

9. Parluhutan Manurung, Hari Pramujo, Joshua BP Manurung, 2019. *Development of GNSS Receiver for Mobile CORS with RTK Correction Services Using Cloud Server*. E3S Web of Conferences 94, 01010 (2019).
10. <http://igs.bkg.bund.de/rootftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf/>
11. National Marine Electronics Association: <http://www.nmea.org>.
12. <https://store-drotek.com/891-1023-rtk-zed-f9p-gnss.html#/105-case-without>
13. Nguyễn Mạnh Cường và nnk (2019). Nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ trạm tham chiếu ảo hoạt động liên tục (CORS) trong quan trắc dịch động bãi thải. Báo cáo tổng kết đề tài. Bộ Công thương.
14. Kiều Kim Trúc (2013). *Đánh giá độ ổn định bãi thải Nam Đèo Nai phục vụ qui hoạch hoàn thổ sử dụng đất*. Tạp chí Công nghiệp mỏ, số 2B, tr 52-55.
15. Phạm Công Khải, Trần Trọng Xuân (2018). “Nghiên cứu phát triển hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực”. Tạp chí công nghiệp mỏ số 4-2018. Trang 33-38. ISSN: 0868 – 7052.
16. Phạm Công Khải và nnk (2018). “Nghiên cứu giải pháp kỹ thuật phát triển hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực”. Tuyển tập Hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững, Hà Nội 12/2018. trang 13-21. ISBN:978-604-76-1753-1.
17. Phạm Công Khải và nnk (2019). “Nghiên cứu thiết kế phát triển thiết bị thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS sử dụng trong quan trắc liên tục chuyển dịch biến dạng công trình”. Tuyển tập Hội thảo khoa học và công nghệ phát triển công nghệ đo đạc bản đồ trong thu nhận dữ liệu địa không gian. Trang 48-63. ISBN: 978-604-952-414-1.
18. Phạm Công Khải, Nguyễn Văn Hải (2020), “Nghiên cứu thiết kế hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực ở nhà máy thủy điện Xekaman 3”, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, Tập 61 (kỳ 1), 11-20.

19. *Bộ Tài nguyên và Môi trường, Quyết định về sử dụng hệ thống tham số tính chuyển giữa Hệ tọa độ quốc tế WGS-84 và Hệ tọa độ quốc gia VN-2000, Số 05/2007/QĐ-BTNMT.*
20. Võ Chí Mỹ. (1989). *Xác định qui luật dịch chuyển và biến dạng bãi thải phục vụ qui hoạch và xử lý phục hồi chức năng kinh tế của chúng.* Tuyển tập các Công trình khoa học, Đại học Mỏ - Địa chất.
21. Võ Chí Mỹ (2016). *Trắc địa mỏ*, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội
22. Nguyễn Bá Dũng, & Đặng Tuyên Minh. (2012). *Nghiên cứu đánh giá sự ổn định sườn dốc bãi thải mỏ lộ thiên do tác động của các yếu tố ngoại sinh* KHKT Mỏ - Địa chất.
23. Nguyễn Viết Nghĩa, & Vũ Thị Hằng. (2013). *Ứng dụng công nghệ GNSS và toàn đạc điện tử nghiên cứu biến dạng bề mặt bãi thải phân lớp bãi thải Chính Bắc – mỏ than Núi Béo.* Tạp chí Công nghiệp mỏ, Số 2B-2013.
24. Luu Van Thuc, Do Ngoc Tuoc, Le Xuan Thu (2014). Causes deformation of waste dump in open pit mine and recommend some solutions to ensure stability. Results of research and development of mining science and technology. Institute Of Mining Science And Technolony, VietNam
25. Cong Khai PHAM, Dinh Trong TRAN, Van Hai NGUYEN (2020). GNSS/CORS-Based Technology for Real-Time Monitoring of Landslides on Waste Dump – A Case Study at the Deo Nai South Dump, Vietnam. Inżynieria Mineralna – Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 2(46) 181-191.
26. Tao Zhigang, Zhu Chun, Wang Yong, Wang Jiamin, He Manchao, and Zhang Bo (2018). Research on Stability of an Open-Pit Mine Dump with Fiber Optic Monitoring. Open Access Volume 2018, Article ID 9631706, 20 pages
27. Lianhuan Wei, Yun Zhang, Zhanguo Zhao, Xiaoyu Zhong, Shanjun Liu, Yachun Mao and Jiayu Li, 2018. Analysis of Mining Waste Dump Site Stability Based on Multiple Remote Sensing Technologies. Remote Sensing, doi:10.3390/rs10122025.
28. Kai Shi, Ming Xu, Haoxia Jin, Tong Qiao, XueYang, Ning Zheng, JianXu, Kim-Kwang Raymond Choo, 2017. A novel file carving

- algorithm for National Marine Electronics Association (NMEA) logs in GPS forensics. *Digital Investigation*, Volume 23, pp 11-21.
29. Travelletti J, Malet J-P, Delacourt C, 2014. Image-based correlation of laser scanning point cloud time series for landslide monitoring. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 32, 1–18.
 30. L. Benoit, P. Briole, O. Martin, C. Thom, J.-P. Malet, P. Ulrich., 2015. Monitoring landslide displacements with the Geocube wireless network of low-cost GPS. *Engineering Geology* 195, 111–121
 31. Malet, J.-P., van Asch, Th.W.J., Van Beek, R., Maquaire, O., 2005. Forecasting the behaviour of complex landslides with a spatially distributed hydrological model. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 5, 71–85.
 32. Savvaidis, 2016. Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques. *Journal of Measurement*, pages 242-258.
 33. Vu Van Khoa, Shigeru Takayama, 2018. Wireless sensor network in landslide monitoring system with remote data management. *Journal of Measurement*, pages 214-229.
 34. K. Georgieva, K. Smarsly, M. König and K. H. Law, 2015. An Autonomous Landslide Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks. <https://www.researchgate.net/publication/268438328>.
 35. [Serena Artesehttps://www.mdpi.com/cdn-cgi/l/email-protection-adddc1c8ccdec8f2c1c2cac4c3](https://www.mdpi.com/cdn-cgi/l/email-protection-adddc1c8ccdec8f2c1c2cac4c3), [Michele Perrelli](#), 2018. Monitoring a Landslide with High Accuracy by Total Station: A DTM-Based Model to Correct for the Atmospheric Effects. www.mdpi.com/journal/geosciences.
 36. Irwan Gumilar, Alif Fattah, Hasanuddin Z. Abidin, Vera Sadarviana, Nabila S. E. Putri, and Kristianto, 2017. Landslide monitoring using terrestrial laser scanner and robotic total station in Rancabali, West Java (Indonesia).
 37. Tommaso Carlàa, Veronica Tofania, Luca Lombardia, Federico Raspinia, Silvia Bianchinia, Davide Bertolob, Patrick Thuegazb, Nicola Casagli, 2019. Combination of GNSS, satellite InSAR, and GBInSAR remote sensing monitoring to improve the understanding of a large landslide in high alpine environment. *Geomorphology*, pages 62-75.