

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

**BÁO CÁO HỌC THUẬT HỌC KỲ 1
NĂM HỌC 2021 – 2022**

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP THIẾT KẾ, XÂY DỰNG HỆ THỐNG
QUAN TRẮC THEO THỜI GIAN THỰC TRỤYẾT LỖ ĐẤT ĐÁ
BÃI THẢI Ở CÁC MỎ THAN KHAI THÁC LỘ THIÊN**

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 - 12/2021

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

**BÁO CÁO HỌC THUẬT HỌC KỲ 1
NĂM HỌC 2021 – 2022**

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP THIẾT KẾ, XÂY DỰNG HỆ THỐNG
QUAN TRẮC THEO THỜI GIAN THỰC TRỤỢT LỖ ĐẤT ĐÁ
BÃI THẢI Ở CÁC MỎ THAN KHAI THÁC LỘ THIÊN**

Phòng KHCN

Bộ môn Trắc địa mỏ

Người báo cáo

TS Nguyễn Quốc Long

PGS. TS Phạm Công Khải

Hà Nội - 12/2021

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	2
1. Tổng quan về quan trắc trượt lở đất đá	4
2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc trượt lở theo thời gian thực	6
3. Nguyên lý chung về quan trắc trượt lở bãi thải theo thời gian thực	9
4. Phương pháp nghiên cứu.....	10
4.1. Thiết kế hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực.....	10
4.2. Thiết lập trạm tham chiếu hoạt động liên tục (<i>Continuously Operating Reference Station</i>).....	12
4.3. Xác định tọa độ trạm CORS.....	14
5. Nghiên cứu thiết kế phát triển bộ thu GNSS cho trạm quan trắc	17
6. Nghiên cứu phát triển bộ truyền dữ liệu GNSS cho trạm quan trắc	21
7. Giải pháp thiết kế, xây dựng hệ thống quan trắc theo thời gian thực trượt lở đất đá bãi thải ở các mỏ than khai thác lộ thiên	22
KẾT LUẬN	26
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	27

MỞ ĐẦU

Trượt lở đất đá nói chung và đất đá bãi thải nói riêng là một dạng tai biến xảy ra tương đối phổ biến trong tự nhiên. Hậu quả của trượt lở đất đá bãi thải 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 bãi thải. Trong những năm gần đây 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 trượt lở đất đá ở Việt Nam nói chung và đất đá bãi thải ở các mỏ lộ thiên nói riêng xảy ra với quy mô ngày càng lớn, mức độ thiệt hại ngày càng tăng, đe dọa đến an sinh cộng đồng.

Trong quá khứ ở Việt Nam đã từng xảy ra nhiều vụ trượt lở đất đá gây ra những hậu quả thảm khốc. Theo thông tin từ Tổng cục phòng, chống thiên tai, trong năm 2018, đã xảy ra 12 đợt vụ sạt lở đất đá, lũ quét làm 49 người chết, 14 người mất tích, 21 người bị thương, ước tính thiệt hại khoảng gần 1.000 tỷ đồng. Và gần đây nhất vào năm 2020 đã xảy ra vụ trượt lở đất đá ở nhà máy thủy điện Rào Trăng 3 và một số vùng đồi núi ở miền trung Việt Nam đã làm hàng chục người chết và mất tích.

Hiện nay ở các mỏ than lộ thiên lớn đã xúc bốc hàng trăm triệu m³ đất đá nên đã hình thành các bãi thải lớn với chiều cao hàng trăm mét, diện tích hàng trăm ha đất. Với quy mô và hoạt động khai thác rất lớn trong một thời dài đã làm tăng nhanh độ cao và diện tích các bãi thải. Khi chiều cao tầng bãi thải vượt quá chiều cao cho phép theo điều kiện ổn định của đất đá thải sẽ làm cho bề mặt bãi thải bị sạt lở vào bất kỳ lúc nào. Hơn nữa một số bãi thải có vị trí rất gần với khu vực dân cư sinh sống nên hiểm họa luôn uy hiếp đến tính mạng và tài sản của người dân sống dưới các chân bãi thải.

Để hạn chế và giảm thiểu những thiệt hại về tính mạng và tài sản cho người dân do trượt lở đất đá gây thì một hệ thống các trạm quan liên tục 24/7 để cung cấp các thông tin về trượt lở theo thời gian thực và đưa ra cảnh báo kịp thời để phòng tránh là rất cần thiết.

Trong báo cáo này, một hệ thống quan trắc trượt lở đất đá bãi thải thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS đã được thiết kế và phát triển, bao gồm hệ thống trạm CORS và hệ thống trạm quan trắc. Một hệ thống trạm tham chiếu hoạt động liên tục (CORS) đã được thiết kế xây dựng dựa trên công nghệ và thiết bị của hãng Leica. Các thành phần và nguyên lý hoạt động của hệ thống trạm quan trắc theo thời gian thực đã được thiết kế. Một bộ thu GNSS cho trạm quan trắc đã được thiết kế và phát triển cả về phần cứng và phần mềm dựa trên công nghệ của hãng Trimble. Một bộ truyền dẫn số liệu GNSS qua giao thức NTRIP với chi phí thấp cũng đã được nghiên cứu, thiết kế, và phát triển có thể truyền số liệu từ trạm quan trắc về trung tâm xử lý số liệu một cách tức thời. Một phần mềm đã được tự thiết kế phát triển đảm bảo cho việc thu nhận, truyền dẫn, phân tích, xử lý số liệu và cảnh báo theo thời gian thực. Một thực nghiệm mô phỏng cho thấy hệ thống quan trắc hoạt động ổn định, liên tục 24/7 và truyền dẫn số liệu theo thời gian thực từ các trạm quan trắc về trung tâm xử lý số liệu.

1. Tổng quan về quan trắc trượt lở đất đá

Trượt lở bãi thải là một dạng tai biến thường xảy ra ở các mỏ lộ thiên do hoạt động của khai thác khoáng sản. 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 [1,2].

Quan trắc chuyên 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 chuyên dịch. Những thông tin này nếu được phát hiện sớm sẽ giảm thiểu được những tổn thất có thể xảy ra. Một trong những chiến lược giảm thiểu rủi ro do trượt lở đất đá gây ra là phải có hệ thống quan trắc theo thời gian thực và cảnh báo tức thời [3].

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và những hiện tượng thời tiết cực đoan mà cường độ mưa lớn đều tăng lên, nên nguy cơ trượt lở đất đá tăng cao cả về phạm vi và tần suất, đặc biệt ở các vùng núi và các bãi thải ở các mỏ lộ thiên. Năm 1992, thảm họa trượt lở bãi thải thảm khốc xảy ra tại khu khai thác quặng mangan tại xã Quang Trung - huyện Trà Lĩnh - Cao Bằng đã làm chết 200 người. Năm 2004, trượt lở bãi thải quặng khai trường 12 thuộc Công ty Apatit Lào Cai cuốn theo người và vùi lấp thiết bị, làm 2 công nhân chết. Năm 2006, trượt lở bãi thải ở mỏ than Cao Sơn làm vùi lấp nhiều công trình và máy móc thiết bị. Năm 2012, trượt lở đất đá thải của mỏ than Phấn Mễ (thuộc Công ty cổ phần gang thép Thái Nguyên) vùi lấp nhà của 10 hộ dân sinh sống dưới chân núi [4]

Theo thông tin từ Tổng cục phòng, chống thiên tai, trong năm 2018, đã xảy ra 12 đợt lũ ống, lũ quét, sạt lở đất, làm 49 người chết, 14 người mất tích, 21 người bị thương, ước tính thiệt hại khoảng gần 1.000 tỷ đồng. Hiện nay, một số mỏ than lộ thiên lớn của Tập đoàn Công nghiệp than Khoáng sản Việt Nam đã xúc bốc hàng trăm triệu m³ đất đá đổ ra các bãi thải. Tại các mỏ, đã hình thành các bãi thải với chiều cao hàng trăm mét với diện tích hàng trăm ha đất. Với quy mô và hoạt động khai thác rất lớn trong một thời dài đã làm tăng nhanh độ cao và diện tích các bãi thải. Khi chiều cao tầng bãi thải vượt quá chiều cao cho phép theo điều kiện ổn định của đất đá thải sẽ làm cho bề mặt bãi thải bị sạt lở,

trôi lấp, gây ra các tai biến môi trường, gây nên đình trệ sản xuất, làm thiệt hại nhiều tài sản và đe dọa tính mạng của con người.

Bãi thải là một hình thái địa hình do con người tạo ra. 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 [5]

Có nhiều phương pháp để quan trắc trượt lở đất đá, từ phương pháp trắc địa truyền thống trên mặt đất sử dụng thiết bị quang học, hệ thống định vị GPS, GNSS [6, 7], cho đến phương pháp sử dụng công nghệ viễn thám [8, 9] với ảnh quang học, ảnh Radar, ảnh LiDAR. Việc sử dụng cảm biến gắn vào khối trượt cũng đã được nghiên cứu [10]. Hệ thống định vị toàn cầu GPS đã được nghiên cứu ứng dụng để quan trắc trượt lở cho khu định cư nhà máy thủy điện [11] cho thấy sai số quan trắc dịch chuyển ngang là 2mm và sai số dịch chuyển đứng là 4mm. Các phương pháp như sử dụng máy toàn đạc điện tử [12], máy quét laser mặt đất [13], công nghệ GNSS và viễn thám [14] cũng đã được sử dụng trong việc quan trắc trượt lở đất đá.

Phương pháp quan trắc ở ngoài mặt đất được thực hiện trong không gian 3 chiều (3D), độ chính xác rất cao (đến vài mm). Tuy nhiên phương pháp này chỉ quan trắc cho từng điểm đo cục bộ, mà không quan trắc được cho cả bề mặt. Ngược lại, phương pháp viễn thám quan trắc được với mật độ điểm dày đặc trên cả bề mặt. Tuy nhiên phương pháp này có nhược điểm là độ chính xác thấp (chỉ từ vài cm đến dm), ít khi cung cấp các phép đo 3D, trừ khi sử dụng ảnh LiDAR [15, 16].

Với sự phát triển công nghệ GNSS CORS việc quan trắc trượt lở đất đá bằng máy thu đa tần số có thể được coi là một giải pháp tốt nhất do có thể quan trắc được trong không gian 3 chiều (3D) với độ chính xác cao [17], hoạt động liên tục trong mọi điều kiện thời tiết. Tuy nhiên các máy thu đa tần vẫn còn đắt [18], điều đó làm hạn chế đáng kể số lượng điểm quan trắc. Để cho phép triển khai các điểm quan trắc dày đặc ở khu vực trượt lở, giá thành của mỗi máy thu phải được hạ xuống. Trong những năm gần đây các chip GNSS được các hãng sản xuất đưa ra thị trường với giá thành thấp [19], điều đó kéo theo các máy thu

GNSS cũng có giá thấp. Để hệ thống quan trắc trượt lở với giá thành thấp, ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS là loại nhỏ, gọn, độ chính cao và giá thành thấp. Sử dụng chip và ăng ten GNSS này để thiết kế phát triển hệ thống quan trắc trượt lở đất đá. Sử dụng tấm pin năng lượng mặt trời công suất 30 W và ắc quy có thể quan trắc liên tục 24/7. Hệ thống được tích hợp bộ truyền số liệu thông qua modem wifi và Dcom 4G để truyền dẫn số liệu quan trắc theo thời gian thực.

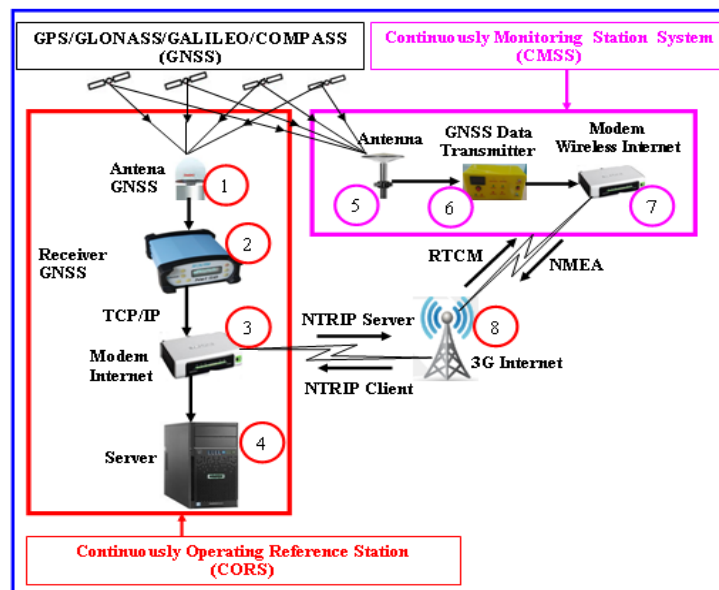
Trong nghiên cứu này chúng tôi trình bày việc thiết kế và phát triển hệ thống quan trắc trượt lở đất đá bãi thải dựa trên công nghệ GNSS CORS. Thứ nhất, hệ thống trạm CORS theo công nghệ và thiết bị của hãng Leica được thiết kế xây dựng và thiết lập của về phần cứng và phần mềm. Thứ hai, hệ thống các trạm quan trắc được thiết kế, chế tạo và phát triển cả về phần cứng và phần mềm. Với thực nghiệm mô phỏng bằng thiết bị kiểm định cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, liên tục và cung cấp số liệu và cảnh báo về trượt lở theo thời gian thực.

2. Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc trượt lở theo thời gian thực

Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc dịch chuyển biến dạng cầu theo thời gian thực được xây dựa trên nguyên lý hoạt động của hệ thống GNSS/CORS (hình 1). Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăngten (1) thu nhận, được truyền về bộ thu GNSSNetS8+ thông qua một dây cáp chuyên dụng, tại đây tín hiệu vệ tinh được giải mã và đi qua modem (3) về máy tính chủ (4). Thông qua máy tính chủ được kết nối với một đường truyền Internet với một địa chỉ IP tĩnh, 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 1Hz được thiết đặt trong phần mềm điều khiển trung tâm. Số liệu được lưu trữ

trong một thư mục nhất định trong máy chủ theo chuẩn định dạng của tệp RINEX.

Việc quan trắc chuyển dịch được thực hiện theo phương thức đo động xử lý tức thời RTK (Real Time Kinematic). Trạm sử dụng là máy thu GNSS đa tần có khe lắp Sim điện thoại đặt ở trạm quan trắc, kết nối đến trạm CORS và nó gửi tọa độ gần đúng đến trạm chủ thông qua chuỗi số liệu đo có định dạng chuẩn dữ liệu của NMEA (National Marine Electronics Association) của hiệp hội điện tử hàng hải quốc gia (Mỹ) [9]. Trạm chủ sau khi nhận được tọa độ gần đúng sẽ tính toán được với mạng viễn thông để truyền số liệu thông qua phần mềm chuyên dụng cài đặt trong sổ đo điện tử (Fieldbook). Số liệu đo của trạm sử dụng được gửi về trạm chủ theo định dạng chuẩn dữ liệu NMEA (National Marine Electronics Association) của hiệp hội điện tử hàng hải quốc gia (Mỹ) [10].



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc chuyển dịch theo thời gian thực

Tại máy chủ có cài đặt một phần mềm với tên gọi NRS-Server sẽ tính toán và xác định số cải chính cho trạm sử dụng và xác định được tọa độ chính xác cho trạm sử dụng và truyền đi theo định dạng dữ liệu RTCM [9] nhờ thiết bị thu nhận và truyền dẫn số liệu (GNSS Data Transmitter) được tác giả tự nghiên cứu, thiết kế, phát triển.

Tọa độ của trạm quan trắc được tính theo công thức (1):

$$\left. \begin{aligned} X_M &= X_M(t) + \delta x(t) \\ Y_M &= Y_M(t) + \delta y(t) \\ Z_M &= Z_M(t) + \delta z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Trong đó: X_M, Y_M, Z_M là tọa độ của trạm quan trắc cần xác định trong hệ tọa độ thực dụng của trạm CORS ;

$X_M(t), Y_M(t), Z_M(t)$ là tọa độ định vị tuyệt đối của trạm quan trắc ở thời điểm t .

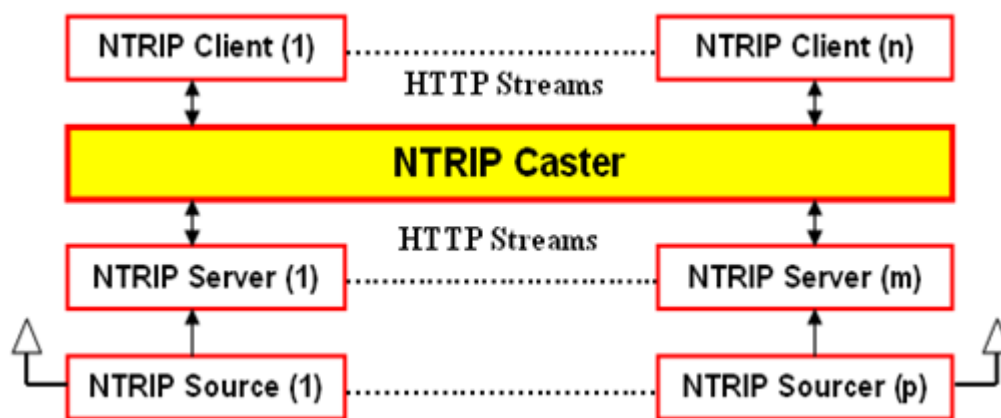
$\delta x(t), \delta y(t), \delta z(t)$ là số cải chính cho trạm quan trắc được xác định theo công thức (2):

$$\left. \begin{aligned} \delta x(t) &= X_{\text{CORS}} - X_{\text{CORS}}(t) \\ \delta y(t) &= Y_{\text{CORS}} - Y_{\text{CORS}}(t) \\ \delta z(t) &= Z_{\text{CORS}} - Z_{\text{CORS}}(t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Trong đó: $X_{\text{CORS}}, Y_{\text{CORS}}, Z_{\text{CORS}}$ là tọa độ đã biết trong hệ tọa độ thực dụng của trạm CORS

$X_{\text{CORS}}(t), Y_{\text{CORS}}(t), Z_{\text{CORS}}(t)$ là tọa độ định vị tuyệt đối của trạm CORS ở thời điểm t .

Cơ chế truyền dẫn số liệu cải chính và tin nhắn trị đo theo định dạng của hiệp hội điện tử quốc gia Mỹ (National Marine Electronics Association – NMEA) được thực hiện theo phương thức NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) trên nền mạng IP [9]. Phương thức truyền dẫn số liệu của mạng lưới trạm CORS theo giao thức NTRIP được thể hiện như hình 2.



Hình 2. Phương thức truyền dẫn số liệu của trạm CORS theo giao thức NTRIP

3. Nguyên lý chung về quan trắc trượt lở bãi thải theo thời gian thực

Việc giám sát trượt lở bãi thải theo thời gian thực về cơ bản là xác định sự thay đổi vị trí của nó trong không gian trong một khoảng thời gian nào đó. Nếu khoảng thời gian giữa hai lần quan trắc dài (tính bằng ngày, tháng, quý, năm ...) gọi là quan trắc theo chu kỳ, nếu khoảng thời gian quan trắc giữa hai thời điểm ngắn (tính bằng giây, phút) gọi là quan trắc liên tục). Phương trình xác định đại lượng trượt lở được thể hiện theo công thức sau (Hepi Hapsari Handayani et al., 2015).

$$dp = R'p - Rp = dp (Xp, Yp, Hp, t) \quad (1)$$

Trong đó:

R_p - vị trí của điểm P tại thời điểm $t = 0$ (trước khi trượt lở);

$R'p$ - vị trí của điểm P tại thời điểm $t > 0$ (sau khi trượt lở)

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

Như vậy, bản chất của việc xác định đại lượng trượt lở là xác định tọa độ của các điểm quan trắc gắn với bề mặt đất tại các thời điểm khác nhau. Quan trắc trượt lở theo thời gian thực là xác định liên tục và tức thời tọa độ của các điểm quan trắc. Quá trình này được thực hiện bằng giải pháp kỹ thuật dựa trên công nghệ GNSS / CORS.

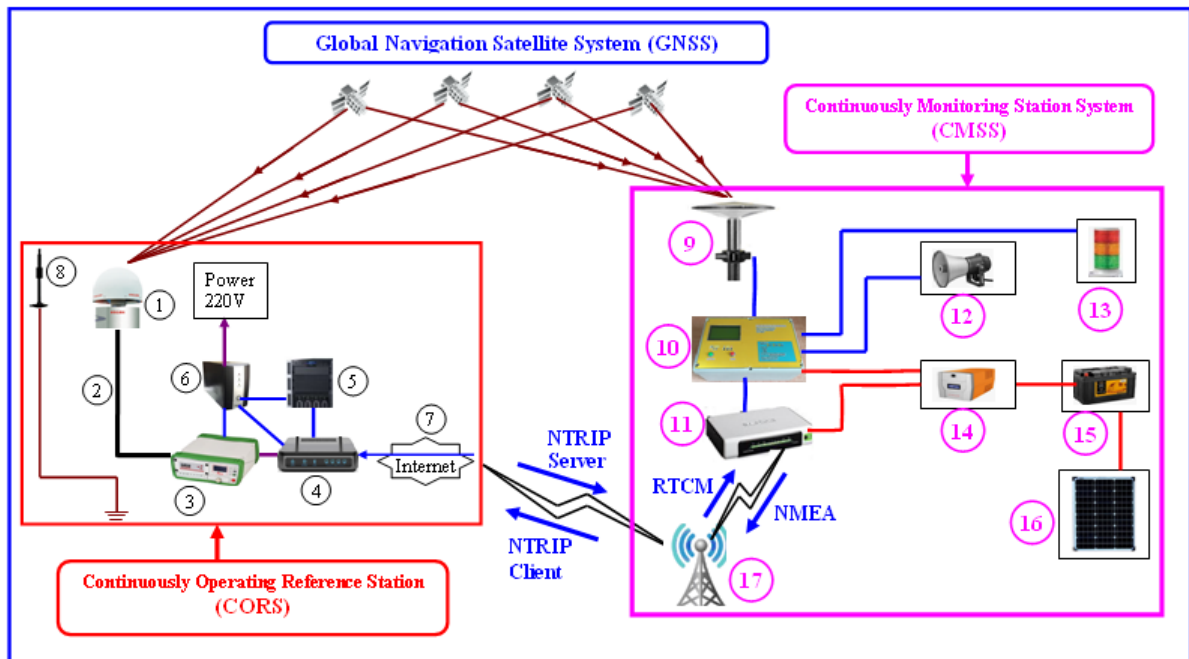
4. Phương pháp nghiên cứu

4.1. Thiết kế hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

Hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực dựa trên công nghệ GNSS/CORS phải được thiết kế sao cho nó hoạt động được liên tục, ổn định, thu nhận và truyền dẫn số liệu từ trạm quan trắc về trung tâm xử lý số liệu một cách tức thời. Một hệ thống quan trắc trượt lở đất đá được thiết kế bao gồm hai phần chính. 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) thể hiện như hình 3.

Hệ thống trạm CORS theo công nghệ của hãng Leica được thiết lập bao gồm hai phần cơ bản đó là phần cứng và phần mềm. Phần cứng gồm có: ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS (1), cáp ăng ten (2), bộ thu GNSS GR50 (3), modem và Router (4), máy tính chủ (5), bộ lưu điện (6), đường truyền internet (7). Phần mềm Spider đi kèm được cài đặt trong máy tính chủ có chức năng xử lý số liệu, cung cấp số cải chính cho các trạm động và quản lý người sử dụng.

Hệ thống trạm quan trắc CMSS gồm có phần cứng và phần mềm. Phần cứng gồm có ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS (5), thiết bị thu nhận và truyền dẫn dữ liệu GNSS (6), Modem (7) và đường truyền Internet không dây (8). Bộ phần mềm gồm có phần mềm điều khiển thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS và cảnh báo (Server GNSS CORS WDM) và phần mềm phân tích, xử lý, tính toán xác định các đại lượng dịch chuyển biến dạng (GNSS CORS WDM). Hệ thống trạm quan trắc đã được tác giả tự nghiên cứu thiết kế phát triển và chế tạo trên cơ sở của công nghệ GNSS CORS.



Hình 3. Sơ đồ hệ thống quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc dịch chuyển biến dạng cầu theo thời gian thực được xây dựng dựa trên nguyên lý hoạt động của hệ thống GNSS/CORS. Tín hiệu vệ tinh GNSS được ăngten (1) thu nhận, được truyền về bộ thu GNSSNetS8+ thông qua một dây cáp chuyên dụng, tại đây tín hiệu vệ tinh được giải mã và đi qua modem (3) về máy tính chủ (4). Thông qua máy tính chủ được kết nối với một đường truyền Internet với một địa chỉ IP tĩnh, 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 quan trắc dịch chuyển biến dạng công trình được thực hiện theo phương thức đo động xử lý tức thời RTK (Real Time Kinematic). Trạm sử dụng là máy thu GNSS đa tần có khe lắp Sim điện thoại đặt ở trạm quan trắc, kết nối

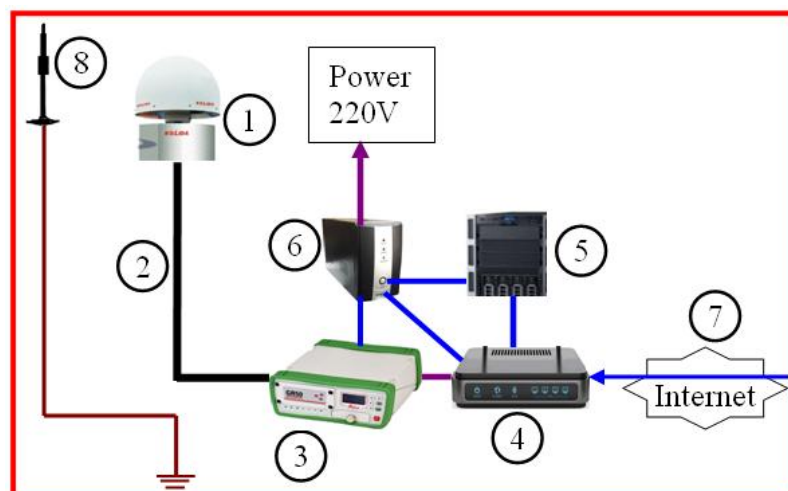
đến trạm CORS và nó gửi tọa độ gần đúng đến trạm chủ thông qua chuỗi số liệu đo có định dạng chuẩn dữ liệu của NMEA (National Marine Electronics Association) của hiệp hội điện tử hàng hải quốc gia (Mỹ) [12]. Trạm chủ sau khi nhận được tọa độ gần đúng sẽ tính toán được với mạng viễn thông để truyền số liệu thông qua phần mềm chuyên dụng cài đặt trong sổ đo điện tử (Fieldbook). Số liệu đo của trạm sử dụng được gửi về trạm chủ theo định dạng chuẩn dữ liệu NMEA (National Marine Electronics Association) của hiệp hội điện tử hàng hải quốc gia (Mỹ) [12]

Tại máy chủ có cài đặt một phần mềm với tên gọi NRS-Server sẽ tính toán và xác định số cải chính cho trạm sử dụng và xác định được tọa độ chính xác cho trạm sử dụng và truyền đi theo định dạng dữ liệu RTCM [13] nhờ thiết bị thu nhận và truyền dẫn số liệu được tự nghiên cứu thiết kế phát triển.

4.2. Thiết lập trạm tham chiếu hoạt động liên tục (Continuously Operating Reference Station)

Trạm tham chiếu hoạt động liên tục được thiết lập dựa trên công nghệ và thiết bị của Leica bao gồm hai phần chính, đó là phần cứng và phần mềm.

Hệ thống phần cứng gồm có một số thành phần chính như antenna thu tín hiệu vệ tinh GNSS (1), cáp ăng ten (2), bộ thu GNSS (3), Router và modem Wifi (4), máy tính chủ (5), bộ lưu điện (6), đường truyền Internet (7), thiết bị chống sét (8). (hình 4).



Hình 4. Các thành phần của hệ thống trạm CORS theo công nghệ của Leica

1. GNSS CORS Antenna

Ăng ten thu tín hiệu vệ tinh GNSS sử dụng cho trạm CORS là loại AR 25, do hãng Leica chế tạo, được thiết kế theo kiểu ăng ten vòng (Choke ring antenna), sử dụng vật liệu ít co giãn, loại bỏ được sóng tạp do hiệu ứng đa đường dẫn. Ăng ten được thiết kế định tâm theo 4 điểm, tính ổn định của tâm máy đạt đến 0,8 mm, độ chính xác tâm pha ăng ten 2mm, nó có khả năng bắt được tín hiệu vệ tinh có góc ngưỡng nhỏ nhất. Ăng ten thu được tín hiệu vệ tinh của các hệ thống GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU.

2. GNSS CORS Receiver

Bộ thu GNSS được sử dụng cho trạm CORS là model GR50 của hãng Leica, có khả năng thu được 220 kênh, hỗ trợ các hệ thống vệ tinh GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU; hỗ trợ xuất ra số hiệu chỉnh theo tiêu chuẩn quốc tế như RTCM 2.1, RTCM 2.2, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, hỗ trợ trực tiếp chuẩn NTRIP, hỗ trợ kiểm soát xác lập cấu hình từ xa. Cổng kết nối bao gồm Serial, USB, Bluetooth, Ethernet với các khả năng HTTP, HTTPS, TCP/IP, FTP, NTRIP Caster, NTRIP Server, NTRIP Client, Proxy Server. Độ chính xác đo tĩnh về mặt phẳng là $3\text{mm} + 0.1\text{ppm RMS}$ và độ cao là $4\text{mm} + 0.4\text{ppm RMS}$. Định dạng số liệu bộ thu theo tiêu chuẩn RINEX v2.11 hoặc RINEX v3.0.

3. Cáp ăng ten (GNSS Antenna cable)

Cable ăng ten có nhiệm vụ truyền tín hiệu vệ tinh từ ăng ten vào CORS Receiver. Cáp ăng ten được sử dụng là loại LMR400 (hình 3c) có chất lượng tốt, thời gian sử dụng được lâu dài, chống được nhiễu, chống thấm nước và tổn thất tín hiệu nhỏ.

4. Router và Modem

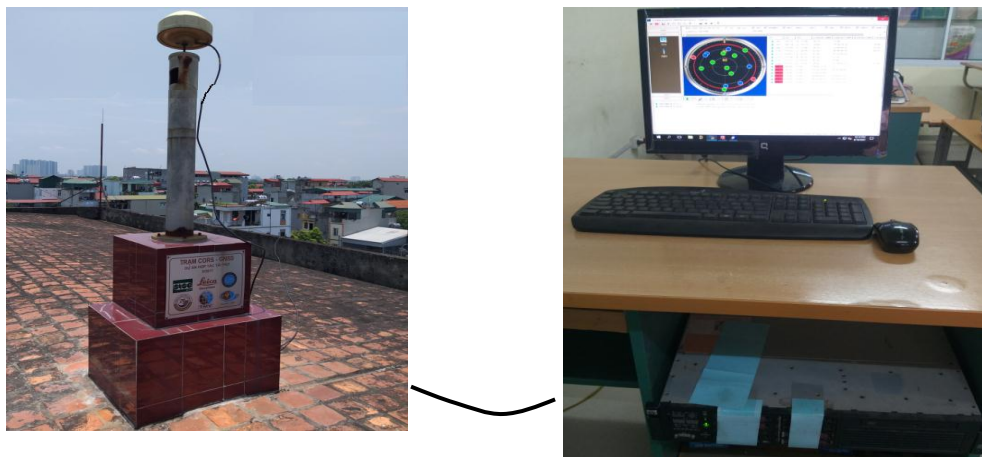
Là thiết bị kết nối mạng Internet cho toàn bộ hệ thống trạm CORS (hình 3d), nó có nhiệm vụ truyền số liệu cải chính từ mạng lưới IGS về trạm CORS, truyền số cải chính từ trạm CORS đến các trạm động ROVER, thu nhận dữ liệu đo từ các trạm động ROVER và truyền dữ liệu đo từ trạm CORS đến mạng lưới IGS để tiếp tục tính toán tọa độ tức thời cho trạm CORS.

Mạng Internet có sự ổn định cao, không bị ngắt quãng trong quá trình làm việc. Tại Router có cài đặt 2 cổng 6060 và 8080 để có thể truy xuất dữ liệu với IP tĩnh mặc định trên Server là 118.70.171.179.

5. Máy tính chủ (Server Computer)

Máy chủ được sử dụng để thiết lập trạm CORS của hãng HP có cấu hình mạnh, bộ nhớ Ram 32 Gb, với 3 ổ đĩa cứng, dung lượng mỗi ổ 500 Gb. Máy chủ có bộ lưu điện UPS 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 điều khiển hệ thống trạm CORS và là nơi lưu trữ số liệu. Với trạm CORS theo công nghệ của hãng Leica, phần mềm đi kèm theo có tên là Spider. Phần mềm này có chức năng tính toán số liệu, phân bổ số liệu trạm thu tĩnh, 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).

Hệ thống trạm CORS đã được thiết lập, xây dựng và lắp đặt hoàn chỉnh ở trường Đại học Mở - Địa chất Hà Nội (HUMG) có tên là CORS-N001 được thể hiện như hình 5.



Hình 5. Hệ thống trạm CORS đã được thiết lập tại HUMG

4.3. Xác định tọa độ trạm CORS

Hệ thống trạm CORS-N001 sau khi được thiết lập, một nhiệm vụ quan trọng cần phải thực hiện là xác định tọa độ tuyệt đối của nó trong hệ tọa độ WGS84 theo khung quy chiếu trái đất quốc tế (International Terrestrial

Reference Frame – ITRF). Trạm CORS-N001 đã được kết nối với 11 trạm trong mạng lưới IGS (IGS Network) ở khu vực châu á là các trạm BJFS – Bắc Kinh; trạm SHAO – Thượng Hải; trạm WUHN – Vũ Hán -Trung quốc; trạm DAEJ – Hàn Quốc; trạm PIMO – Philippine ; trạm NTUS – Singapore; các trạm TCMS, TNML, TWTF – Đài Loan; trạm IISC, LHAZ – Ấn Độ (hình 6).



Hình 6. Sơ đồ kết nối trạm CORS-N001 với các trạm IGS

Số liệu trạm CORS được kết nối tới các điểm IGS từ ngày 24 tháng 5 năm 2018 đến ngày 19 tháng 6 năm 2018 có dạng Rinex. Quá trình bình sai, tính toán xác định tọa độ cho trạm CORS-N001 được thực hiện bằng phần mềm Bernese 5.0. Kết quả các thành phần tọa độ và sai số của các điểm trong hệ tọa độ WGS-84 được thể hiện như bảng 1

Bảng 1. Thành phần tọa độ và sai số của các điểm trong hệ tọa độ WGS-84

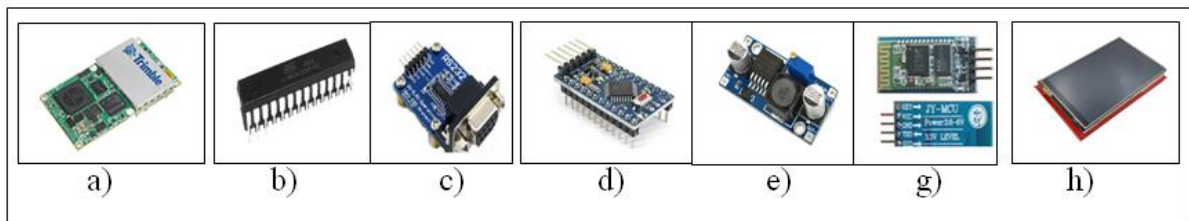
Tên điểm	Thành phần Tọa độ	Giá trị tọa độ sau bình sai	Sai số RMS	Thành phần Tọa độ	Giá trị tọa độ sau bình sai	Sai số RMS
N001	E	105 46 24.547827	0.0001	X	-1618564.5576	0.0002
	N	21 4 17.959085	0.0001	Y	5730005.6206	0.0004
	U	0.9251	0.0005	Z	2278800.1280	0.0002
BJFS	E	115 53 32.957690	0.0001	X	-2148744.3455	0.0002
	N	39 36 30.961952	0.0002	Y	4426641.2277	0.0005
	U	87.4730	0.0006	Z	4044655.8698	0.0003
DAEJ	E	-3120042.2172	0.0003	X	-3120042.2172	0.0003
	N	4084614.7731	0.0005	Y	4084614.7731	0.0005
	U	116.8446	0.0004	Z	3764026.8438	0.0004
IISC	E	127 22 28.135474	0.0004	X	1337936.1054	0.0003
	N	36 23 57.940457	0.0002	Y	6070317.1240	0.0014
	U	1427877.0782	0.0014	Z	1427877.0782	0.0040
LHAZ	E	91 6 14.505680	0.0002	X	-106941.8237	0.0002
	N	29 39 26.399411	0.0001	Y	5549269.8253	0.0007
	U	3624.6167	0.0008	Z	3139215.1274	0.0003
NTUS	E	103 40 47.850999	0.0001	X	-1508023.0421	0.0002
	N	1 20 44.884523	0.0002	Y	6195576.5830	0.0007
	U	75.3797	0.0008	Z	148799.3612	0.0002
PIMO	E	121 4 39.825827	0.0002	X	-3186293.6975	0.0004
	N	14 38 8.593138	0.0002	Y	5286624.3462	0.0006
	U	95.5476	0.0007	Z	1601158.3573	0.0002
SHAO	E	121 12 1.609450	0.0002	X	-2831733.7544	0.0002
	N	31 5 58.709684	0.0001	Y	4675665.8461	0.0005
	U	22.0423	0.0006	Z	3275369.3288	0.0003
TCMS	E	120 59 14.613392	0.0002	X	-2982783.1668	0.0003
	N	24 47 52.747215	0.0001	Y	4966659.9928	0.0005
	U	77.2438	0.0006	Z	2658809.3788	0.0003
TNML	E	120 59 14.450511	0.0002	X	-2982779.3508	0.0003
	N	24 47 52.634285	0.0001	Y	4966662.5248	0.0006
	U	75.8653	0.0007	Z	2658805.6462	0.0003

TWTF	E	121 9 52.212365	0.0002	X	-2994428.4187	0.0003
	N	24 57 12.830503	0.0001	Y	4951309.1839	0.0005
	U	201.5373	0.0006	Z	2674496.7141	0.0003
WUHN	E	114 21 26.153686	0.0002	X	-2267749.6867	0.0003
	N	30 31 53.946953	0.0001	Y	5009154.2159	0.0007
	U	25.8540	0.0008	Z	3221290.6190	0.0004

Tọa độ của trạm CORS được thiết đặt vào trong phần mềm quản lý trạm CORS là NRS-Station và được nhận là tọa độ chính xác của trạm CORS, là cơ sở để hiệu chỉnh cho các trạm quan trắc.

5. Nghiên cứu thiết kế phát triển bộ thu GNSS cho trạm quan trắc

Thu nhận và truyền dẫn số liệu từ trạm quan trắc về trung tâm xử lý số liệu trạm CORS được thực hiện liên tục nhằm cung cấp vị trí không gian của điểm quan trắc theo thời gian thực. Thiết bị thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS được thiết kế phát triển gồm có các module chính như sơ đồ ở hình 7.



Hình 7. Một số module để phát triển bộ thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS

5.1. Bo mạch thu tín hiệu vệ tinh GNSS

Bo mạch dùng để thiết kế phát triển thiết bị thu nhận và truyền dẫn số liệu GNSS của hãng Trimble BD970 (hình 7a)

Bo mạch Trimble BD970 thu được 220 kênh của các hệ thống GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU cho độ chính xác khi đo RTK là 8mm + 1ppm về mặt bằng và 15mm + 1ppm về độ cao khi cạnh Baseline nhỏ hơn 30 km.

5.2. Chip điều khiển Atmega 328P

ATmega328P là một bộ vi điều khiển tiên tiến và nhiều tính năng. Nó được thiết kế để xử lý các chương trình lớn và mỗi vi điều khiển trong họ này chứa lượng ROM, RAM, các chân I / O và các tính năng khác nhau và được sản xuất với các chân đầu ra khác nhau, từ 8 chân đến hàng trăm chân. Mã code

chương trình được nạp trực tiếp lên vi xử lý ATmega 328. Trong các giao thức truyền dẫn tín hiệu, chip ATmega328 có nhiệm vụ nhận dữ liệu tính toán và trả về các module kết nối các lệnh, các dữ liệu từ đây tạo thành các vòng kết nối liên tục và phụ thuộc vào nhau.

Module được thiết kế với 7 chân analog, 13 chân digital, 6/13 chân digital tích hợp. Bo mạch chạy trong vùng điện áp trực tiếp DC từ 7V đến 20V, chip ATmega 328 hoạt động ở mức điện áp ổn định 5V, chip có cường độ 0.2mA toàn bộ Board có mức tiêu thụ điện năng là 2,5W. Module xử lý dữ liệu Arduino UNO R3 như ở (hình 7b).

Chip ATmega 328 là dòng chip mới, họ nhà AVR hoạt động trên nền 8bit 4/8/16/32K Bytes của hệ thống bộ nhớ tự động làm việc. 256/512/512/1K Bytes bộ nhớ ROM, 512/1K/1K/2K Bytes bộ nhớ SRAM.

5.3. Module thu nhận tín hiệu Max232

Module Max232 (hình 7c) được dùng để chuyển tín hiệu RS232 (Recommended Standard 232) thành tín hiệu logic TTL (Transistor-Transistor Logic) và để tạo sự giao tiếp giữa các thiết bị dùng chuẩn RS232 và thiết bị dùng chuẩn TTL. Đặc điểm của module Max232 là có độ chính xác cao và có độ tin cậy cao về hoàn thiện dữ liệu.

Module thu nhận tín hiệu max232 bao gồm có các bộ phận chính như sau:

- + Cổng com RS232
- + Chip giao tiếp IC Max 232
- + Tụ, trở và các pins nối ra
- + Đầu nối vào là zack cắm 9 chân chuẩn RS232

Các đầu nối ra bao gồm VCC(+5V), GND, RXD, TXD

Đặc điểm chính của IC Max232 là có tốc độ xử lý cao, dòng điện tiêu thụ và độ trễ tín hiệu nhỏ.

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

Đây là hệ thống truyền dẫn cũng là hệ thống lưu trữ dữ liệu. Module tích hợp chip xử lý Ethernet W5100 cho tốc độ truyền mạng LAN lên tới 100Mbps. Tích hợp thêm tính năng gắn thẻ nhớ Micro SD lên tới 4Gb (hình 7d).

Trên Module còn tích hợp các đèn báo trạng thái bao gồm đèn báo mạng LAN, Full, RX, TX... giúp cho việc kiểm soát lỗi trở nên dễ dàng linh hoạt hơn.

5.5. Module thời gian thực

Module thời gian thực (Real Time Module) có tác dụng cấp thời gian thực cho Arduino để xác định được thời điểm truyền dữ liệu từ trạm Rover về trạm CORS. Module thời gian thực (hình 7e) được hiệu chỉnh định kỳ từ thời gian vệ tinh nên luôn đảm bảo độ chính xác cần thiết cho mọi hoạt động trên hệ thống Rover.

Module thời gian thực giao tiếp trực tiếp với Arduino bằng chuẩn IC2s chân analog 5 và analog 6. Module được cấp nguồn 5V trực tiếp từ Board Arduino.

5.6. Module Bluetooth

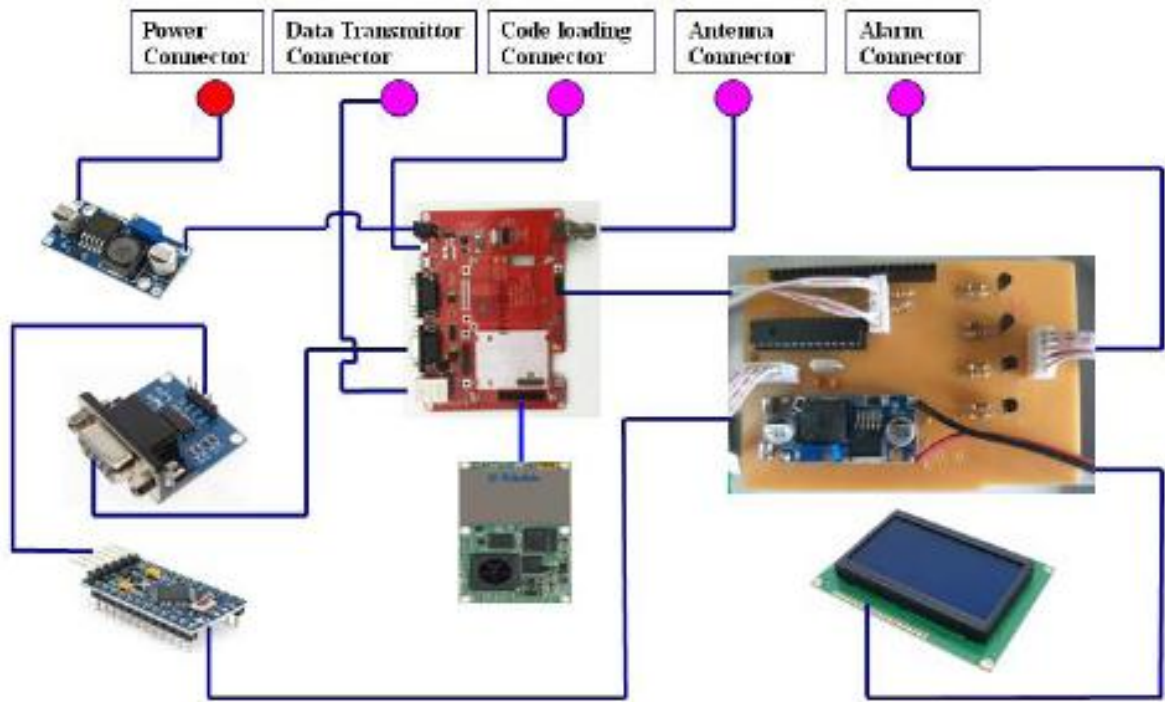
Module bluetooth được sử dụng để điều khiển và giao tiếp từ xa từ xa một cách dễ dàng với vi điều khiển chỉ bằng 2 chân Tx và Rx (hình 7g).

Thiết bị để giao tiếp với module Bluetooth là module Arduino UNO R3 thông qua cổng Serial. Để điều khiển module Bluetooth, một chương trình máy tính đã được viết bằng ngôn ngữ lập trình C#, sau đó upload vào bộ thu GNSS thông qua cổng USB nhờ công cụ lập trình Arduino.

5.7. Internet signal transmission system (Wireless Internet modem)

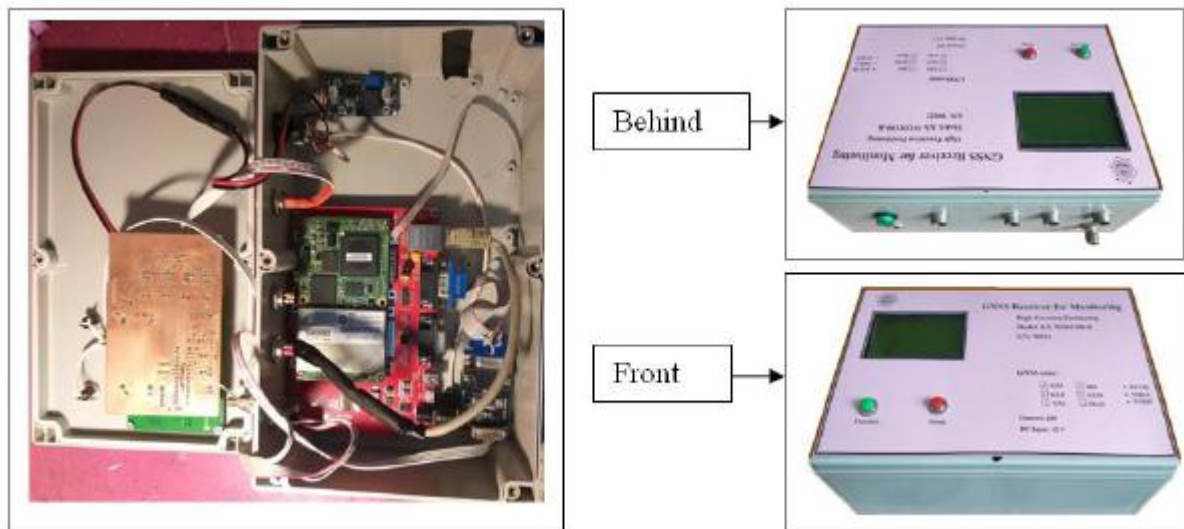
This is a signal transmission tool from Rover to CORS station and vice and versa. In the CORS modem, the modem is integrated and additional supported by output ports to create signal paths via wireless internet. This port is fixed with a static IP address provided by the network (hình 7h).

Với các Module mô tả trên đây với một số thiết bị phụ trợ khác được kết nối với nhau theo sơ đồ như hình 8.



Hình 8. Sơ đồ kết nối các module cơ bộ tu GNSS

Các mô-đun được lắp ráp trong một vỏ hộp thiết kế tiêu chuẩn và tạo thành một bộ thu GNSS hoàn chỉnh như trong Hình 9.



Hình 9. Bộ thu GNSS đang lắp ráp và đã hoàn thiện

Bộ thu GNSS sau khi được lắp ráp hoàn chỉnh, một phần mềm điều khiển hoạt động cho nó đã được chúng tôi tự phát triển (Our self-developed software).

Phần mềm được viết theo định dạng chuẩn dữ liệu của NMEA, sử dụng công cụ lập trình Arduino và ngôn ngữ lập trình C#.

Mã nguồn sau khi được viết và kiểm tra lỗi, được nạp vào bộ thu số liệu GNSS thông qua cổng kết nối USB với máy tính nhờ công cụ lập trình của Arduino.

6. Nghiên cứu phát triển bộ truyền dữ liệu GNSS cho trạm quan trắc

Việc truyền số liệu cải chính RTCM và dữ liệu quan trắc theo chuẩn định dạng NMEA được thực hiện qua Internet theo giao thức NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) bằng bộ truyền số liệu đã được thiết phát triển (hình 10).



Hình 10. Bộ truyền số liệu GNSS theo giao thức NTRIP

Bộ truyền số liệu GNSS được phát triển dựa trên bo mạch chủ của TP-Link có công suất cao, sử dụng chip của Qualcomm để nhận, giải mã và xử lý tín hiệu ra vào, phát sóng wifi, truyền tín hiệu cổng LAN, ăng ten nhận và phát tín hiệu. Bo mạch chủ còn được tích hợp với USB Dcom 4G để sử dụng dịch vụ viễn thông. Bộ truyền số liệu sử dụng nguồn 12V nhờ module thay đổi điện áp LM2596 khi điện áp đầu vào lớn hơn 12V.

Một hệ thống trạm quan trắc hoàn chỉnh được thể hiện như hình 11



Hình 11. Hệ thống trạm quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực

7. Giải pháp thiết kế, xây dựng hệ thống quan trắc theo thời gian thực trượt lở đất đá bãi thải ở các mỏ than khai thác lộ thiên

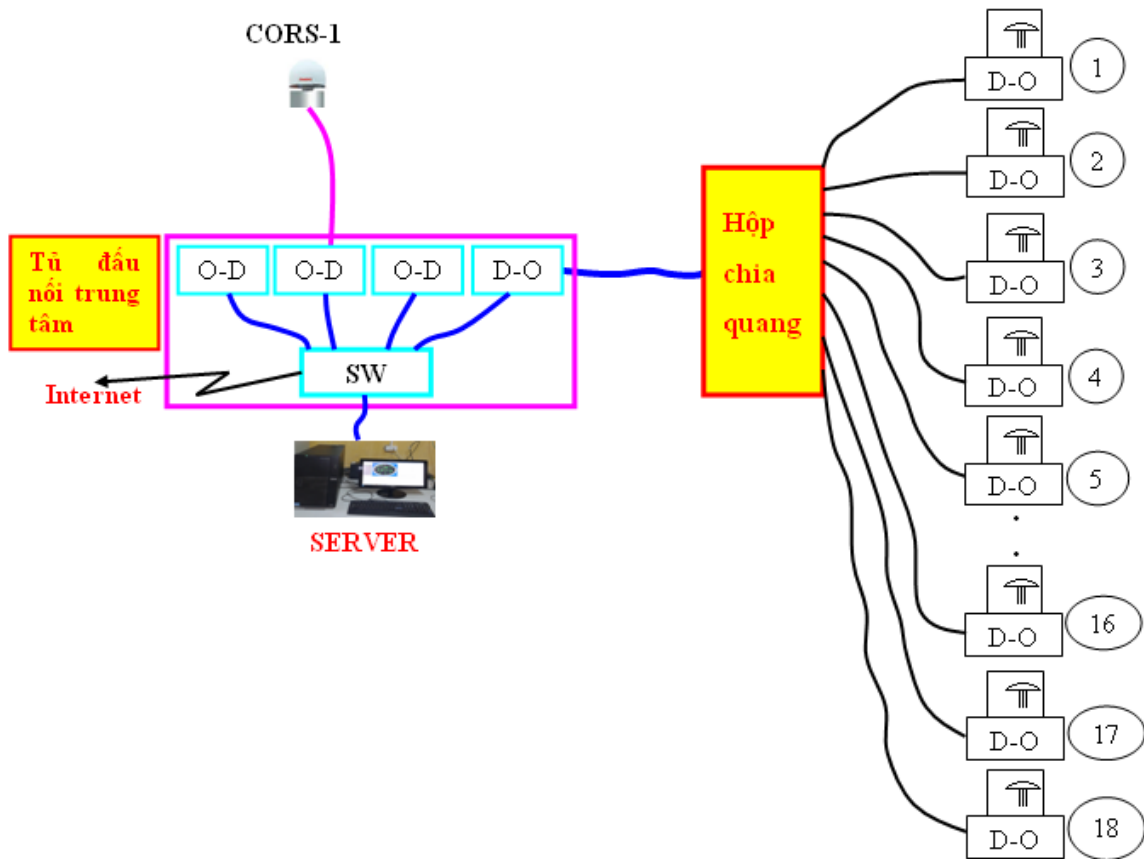
Hệ thống quan trắc liên tục chuyển dịch thời gian thực được nghiên cứu phát triển dựa trên công nghệ GNSS/CORS. Toàn bộ hệ thống gồm có hai phần chính:

-Phần thứ nhất là hệ thống trạm CORS (Continuously Operating Reference Station)

-Phần thứ hai là hệ thống trạm quan trắc CMSS (Continuously Monitoring Station System).

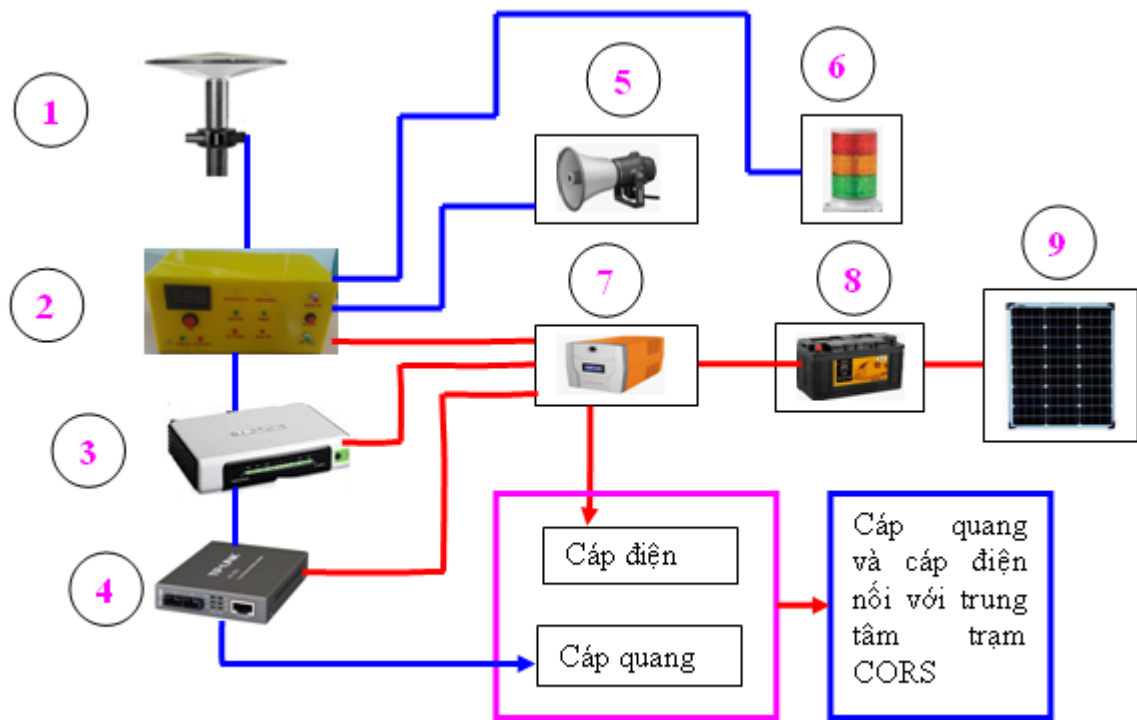
Cơ chế truyền dẫn số liệu cải chính RTCM và số liệu trị đo NMEA được thực hiện theo giao thức NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) trên nền mạng IP bằng cáp quang hoặc bằng mạng không dây.

Sơ đồ kết nối toàn bộ hệ thống quan trắc theo thời gian thực trượt lở đất đá bãi thải ở các mỏ than khai thác lộ thiên bằng công nghệ GNSS/CORS với việc truyền số liệu qua đường truyền Internet cáp quang được thiết kế như hình 12



Hình 12. Sơ đồ thiết kế kết nối hệ thống quan trắc trạm lở đất đá bãi thải ở các mỏ than khai thác lộ thiên qua đường truyền Internet

Sơ đồ thiết kế kết nối ở trạm quan trắc truyền số liệu bằng cáp quang Internet được thể hiện như hình 13

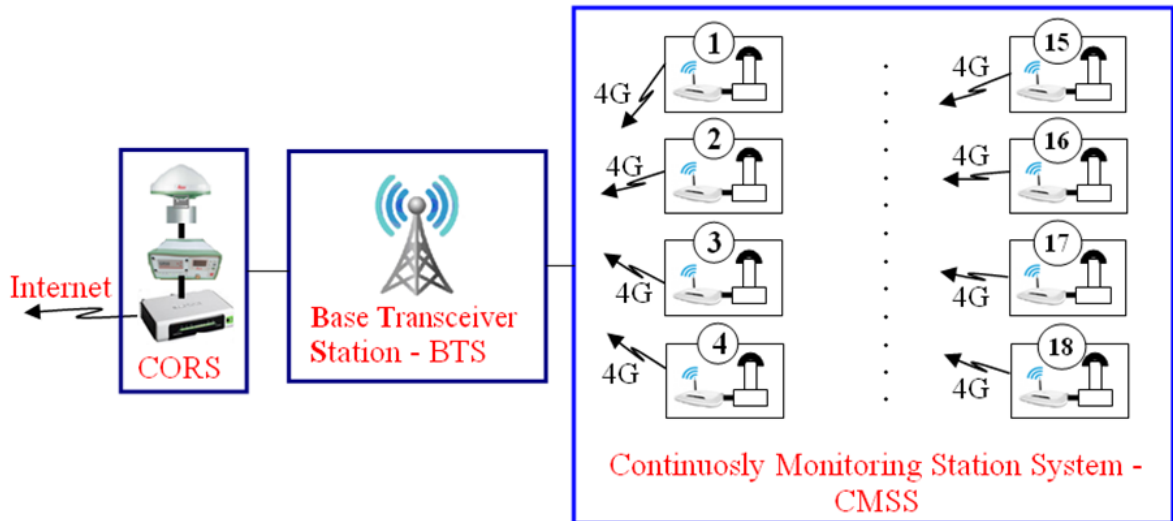


Ghi chú:

- | | |
|--|--|
| <p>1 Ăng ten GNSS</p> <p>2 Bộ thu GNSS</p> <p>3 Modem Internet</p> <p>4 Module chuyển đổi quang - điện</p> | <p>5 Module báo động</p> <p>6 Module báo hiệu</p> <p>7 Module kiểm soát nguồn điện</p> <p>8 Bộ lưu điện 12V</p> <p>9 Panel năng lượng mặt trời</p> |
|--|--|

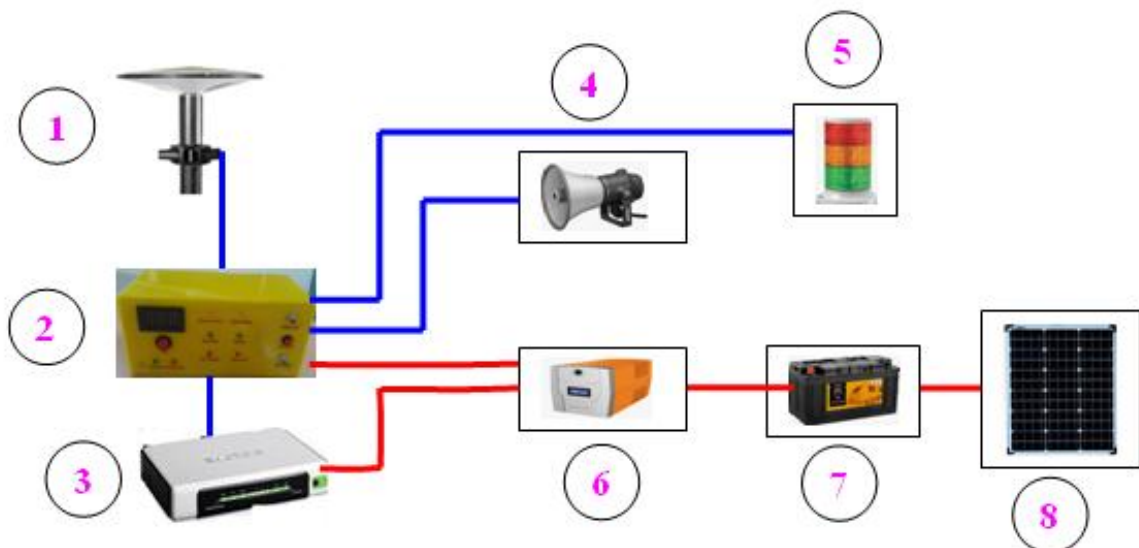
Hình 13. Sơ đồ thiết kế kết nối ở trạm quan trắc truyền số liệu bằng cáp quang Internet

Ở những khu vực có mạng truyền thông 4G hoặc 5G, sơ đồ kết nối toàn bộ hệ thống quan trắc theo thời gian thực trọt lở đất đá bãi thải ở các mỏ than khai thác lộ thiên bằng công nghệ GNSS/CORS với việc truyền số liệu qua mạng viễn thông 4G được thiết kế như hình 14



Hình 14. Sơ đồ thiết kế kết nối hệ thống quan trắc trọt lở đất đá bãi thải ở các mỏ than khai thác lộ thiên qua mạng viễn thông 4G

Sơ đồ thiết kế kết nối ở trạm quan trắc truyền số liệu qua mạng viễn thông 4G được thể hiện như hình 15



Hình 15. Sơ đồ thiết kế kết nối ở trạm quan trắc truyền số liệu qua mạng viễn thông 4G

KẾT LUẬN

Ngày nay, công tác định vị trên mặt đất được thực hiện bằng việc thiết lập các trạm CORS sử dụng công nghệ GNSS, kỹ thuật đo động thời gian thực với độ chính xác cao được ứng dụng hiệu quả trong việc quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực. Nghiên cứu này tập trung vào giải quyết vấn đề quan trắc liên tục trượt lở bãi thải bằng công nghệ GNSS / CORS. Sơ đồ hệ thống quan trắc trượt lở đất đá đã được thiết lập bao gồm hệ thống trạm CORS và các trạm quan trắc. Các dạng bản tin của dữ liệu GNSS đã được nghiên cứu và giải mã thành công bao gồm các bản tin định dạng NMEA được gửi từ trạm giám sát chủ đến máy chủ của trạm CORS. Một hệ thống truyền dữ liệu GNSS đã được thiết kế để phát triển cả phần cứng và phần mềm có thể theo dõi thời gian thực, liên tục và tự động về sạt lở bãi thải. Hệ thống được phát triển tự động hoạt động tốt, ổn định, đảm bảo và truyền dữ liệu tức thời từ trạm quan trắc về máy tính chủ.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. 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
2. Hepi Hapsari Handayani, Yuwono, Taufik M, 2015. Preliminary study of bridge deformation monitoring using GPS and CRP (case study: Suramadu Bridge). *Procedia Environmental Sciences*, 24, 266-276.
3. 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.
4. Ustyna Adamczyk, Marek caŁa, Jerzy flisiak, Malwina Kolano, MichaŁ Kowalski (2013). Slope stability analysis of waste dump in sandstone open pit Osielec. *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. XXXV, No. 1, 2013
5. Zhiliu Wang, Bo Liu , Yanhui Han, Jian Wang, Biao Yao, Peng Zhang, 2019. Stability of inner dump slope and analytical solution based on circular failure: Illustrated with a case study. *Computers and Geotechnics*, Volume 117, 103241
6. Paolo Budetta, Michele Nappi, Sergio Santoro, Giuseppe Scalese, 2020. DinSAR monitoring of the landslide activity affecting a stretch of motorway in the Campania region of Southern Italy. *Transportation Research Procedia* 45, 285–292
7. Volodymyr Nikulishyn, Ihor Savchyn, Olexandr Lompas, Viktor Lozynskyi, 2020. Applying of geodetic methods for monitoring the effects of waste-slide at Lviv municipal solid waste landfill. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 13, 100291.
8. 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.
9. Malet J-P, Maquaire O, Calais E, 2002. The use of Global Positioning System for the continuous monitoring of landslides. Application to the Super-

- Sauze earthflow (Alpesde-Haute-Provence, France). *Geomorphology* 43, 33–54.
10. Jaboyedoff M, Oppikofer, T., Abellan, A., Derron, M.H., Loye, A., Metzger, R., Pedrazzini, A., 2012. Use of LiDAR in landslide investigation/a review. *Nat. Hazards* 61 (1), 5–28.
 11. 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.
 12. 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
 13. 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.
 14. Takasu, T., Yasuda, A., 2008. Evaluation of RTK-GPS performance with low-cost singlefrequency GPS receivers. *International Symposium on GPS/GNSS 2008*.
 15. 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 Technology, VietNam
 16. Savvaidis, 2016. Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques. *Journal of [Measurement](#)*, pages 242-258.
 17. Vu Van Khoa, Shigeru Takayama, 2018. Wireless sensor network in landslide monitoring system with remote data management. *Journal of [Measurement](#)*, pages 214-229.
 18. 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>.
 19. [K. S. C. Kuang](#), [Qinghao Cao](#), 2015. A Low-Cost, Wireless Chemiluminescence-Based Deformation Sensor for Soil Movement and Landslide Monitoring.

20. Ruya Xiao, Xiufeng He, 2013. Real-time landslide monitoring of Pubugou hydropower resettlement zone using continuous GPS. <https://www.researchgate.net/publication/257633559>.
21. [Serena Artese](#), [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.
22. 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).
23. Tommaso Carlà, 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 highalpine environment. *Geomorphology*, pages 62-75.
24. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) , Version 1.0. In: *GDC (GNSS Data Center)* [online]. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2004. [cit.26.05.2016]. Available from:
25. http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf/
26. National Marine Electronics Association: <http://www.nmea.org>.
27. Phạm Công Khải và nnk, 2019. Nghiên cứu phương pháp quan trắc liên tục sự dịch chuyển và biến dạng công trình trên địa bàn thành phố Hà Nội. Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu đề tài cấp thành phố, mã số 01C-04/08-2016-3, Sở Khoa học và Công nghệ Hà Nội.
28. Networked Transport of RTCM via Internet Protocol (Ntrip) , Version 1.0. In: *GDC (GNSS Data Center)* [online]. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), 2004. [cit.26.05.2016]. Available from: http://igs.bkg.bund.de/root_ftp/NTRIP/documentation/NtripDocumentation.pdf/
29. National Marine Electronics Association: <http://www.nmea.org>