



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

MỤC LỤC

Preliminary results of the inaugural scientific collaboration between HUMG and GFZ in establishing a high-rate GNSS station <i>Nguyen Thai Chinh, Markus Ramatschi, Benjamin Männel, Markus Bradke, Jens Wickert</i>	1303
Xây dựng bản đồ mật độ dữ liệu địa chấn và cường độ động đất Việt Nam sử dụng thư viện Obspy <i>Nguyễn Trung Dũng, Lưu Liên Thảo, Nguyễn Thị Nga</i>	1311
Đánh giá xói lở, bồi tụ bằng ảnh viễn thám đa thời gian; thực nghiệm khu vực ven biển Sóc Trăng-Bạc Liêu <i>Phạm Thị Lân</i>	1318
Tác động của chính quyền đô thị điện tử đến hoạt động quản lý bất động sản đô thị trong bối cảnh chuyển đổi số <i>Nguyễn Quốc Long, Chu Thị Khánh Ly, Nguyễn Quỳnh Nga</i>	1326
Dự báo lún bề mặt mỏ bằng mô hình dự báo đa bước đệ quy sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo <i>Lê Thị Thanh Tâm, Phạm Văn Chung, Nguyễn Gia Trọng, Nguyễn Quốc Long</i>	1332
Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong giám sát hoạt động khai thác khoáng sản tại các tỉnh phía Bắc <i>Đỗ Thị Phương Thảo, Nguyễn Danh Đức, Dương Anh Quân, Lê Minh Huệ</i>	1339
Ứng dụng hồi quy đa thức và mạng nơ-ron nhân tạo trong nội suy địa hình độ cao khu vực miền Bắc Việt Nam <i>Phùng Trung Thanh</i>	1349
Weka - Khung phần mềm mã nguồn mở cho khai phá dữ liệu: Trường hợp điển hình xử lý dữ liệu GNSS theo chuỗi thời gian <i>Lê Đức Tình, Phạm Ngọc Quang, Nguyễn Thị Hiền, Nguyễn Gia Trọng</i>	1355
Lựa chọn phương pháp Robust estimation phát hiện sai số thô lưới Trắc địa mặt đất – GNSS cho xây dựng công trình <i>Lưu Anh Tuấn</i>	1362
Tận dụng Blockchain cho lưu trữ và chia sẻ dữ liệu địa lý <i>Đào Văn Tùng, Trần Trung Chuyên, Nguyễn Thị Phương Bắc</i>	1370
Theo dõi tốc độ khoan dựa trên công nghệ tích hợp GNSS RTK/IMU <i>Dương Thành Trung, Phạm Văn Hòa, Nguyễn Trung Dũng, Trần Mạnh Dũng</i>	1378

Theo dõi tốc độ khoan dựa trên công nghệ tích hợp GNSS RTK/IMU

Dương Thành Trung^{1,*}, Phạm Văn Hòa¹, Nguyễn Trung Dũng², Trần Mạnh Dũng²

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

²Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Trong khoan nổ mìn hoặc khoan thăm dò địa chất, tốc độ khoan tại các thời điểm và độ sâu khác nhau có thể cung cấp thông tin về độ cứng và các đặc tính cơ lý của đất đá. Nghiên cứu này nhằm giới thiệu một giải pháp xác định và theo dõi tốc độ khoan dựa trên công nghệ tích hợp giữa hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu (GNSS) và cảm biến quán tính (IMU). Trong khi tín hiệu từ IMU được sử dụng để phân tích nhằm nhận biết thời điểm khoan, dữ liệu cao độ từ GNSS được sử dụng để tính toán tốc độ khoan theo thời gian thực. Kết quả từ thực nghiệm thực tế cho thấy rằng giải pháp tích hợp GNSS RTK/IMU cho phép xác định và theo dõi tốc độ khoan một cách tự động ở thời gian thực với độ chính xác cỡ mm/s.

Từ khóa: tốc độ khoan; GNSS; IMU

1. Đặt vấn đề

Nắm bắt thông tin trong quá trình khoan là một nhiệm vụ cần thiết để có phương án điều chỉnh phương án thiết kế kỹ thuật khoan (Tang, 1989; Veeger và nnk, 2003; Zhao, 2006). Thông tin lỗ khoan phổ biến nhất là xác định độ sâu khoan bằng cách đo chiều dài của cần khoan. Theo cách này, độ sâu hố khoan phải được ghi nhận thủ công trực tiếp ngoài hiện trường bằng cách cộng dồn chiều dài các cần khoan, điều này hạn chế việc tự động hóa thu thập thông tin về quá trình khoan. Trong nghiên cứu của Sliwa và nnk (2020) các tác giả đã tiến hành đo tốc độ khoan bằng cách đo tốc độ vòng quay của cần khoan và cảm biến áp suất không khí. Trong nghiên cứu của Guo và nnk (2022) các tác giả sử dụng kết hợp nhiều loại cảm biến, bao gồm cảm biến đo chiều dài, cảm biến đo tốc độ vòng quay và cảm biến áp suất dầu. Vấn đề của các giải pháp này là việc lắp đặt phức tạp và làm tăng chi phí của toàn bộ hệ thống.

Hệ thống tích hợp GNSS/IMU đã được ứng dụng rộng rãi trong định vị, dẫn đường, đo đạc và quan trắc công trình (Gebre và nnk, 2009). Máy thu GNSS thu tín hiệu từ các vệ tinh để tính toán ra vị trí của máy thu tại thời điểm hiện tại. GNSS RTK thường được áp dụng để cung cấp thông tin định vị thời gian thực với độ chính xác cỡ cm. GNSS RTK sử dụng một trạm cơ sở đặt tại một điểm cố định đã biết tọa độ và một trạm đo. Tín hiệu từ trạm cơ sở được truyền đến trạm đo để tính toán chênh lệch không gian giữa trạm cơ sở và trạm đo. Dựa vào tọa độ trạm cơ sở đã biết có thể tính toán được tọa độ mặt bằng X, Y và cao độ H của trạm đo. Khi nhận được đủ tín hiệu và cho ra lời giải fixed, độ chính xác tại trạm đo có thể đạt đến độ chính xác cỡ centimet. Như vậy, nếu đặt máy thu hoặc ăng ten GNSS trên cần khoan, sự thay đổi độ sâu của hố khoan dẫn đến sự thay đổi cao độ của cần khoan. Tốc độ khoan có thể được xác định dựa trên sự thay đổi cao độ của cần khoan theo thời gian. Tuy nhiên vấn đề nảy sinh trong quá trình khoan, không phải mũi khoan liên tục di chuyển tịnh tiến một chiều xuống phía dưới mà có rất nhiều tác vụ trong quá trình này như rút cần, thay cần, tạm dừng... Điều đó dẫn đến sự thay đổi cao độ của cần khoan không phản ánh được tốc độ khoan. Để giải quyết vấn đề này, một cảm biến quán tính (IMU) được sử dụng nhằm phát hiện đúng thời điểm mũi khoan khoan vào đất đá. IMU thường bao gồm một hệ con quy hồi chuyển và một hệ gia tốc kế để có thể đo được vận tốc góc và gia tốc ở 3 trục của hệ tọa độ vuông góc vật thể với tần số cao từ vài chục đến hàng trăm Hz. IMU thường được sử dụng một cách độc lập hoặc tích hợp với các hệ thống định vị, dẫn đường khác như GNSS để dẫn đường các phương tiện tốc độ cao hoặc khắc phục các vấn đề của GNSS trong điều kiện môi trường bị khuất, nhiễu vệ tinh (Trung, 2024).

Trong nghiên cứu này một thiết bị tích hợp GNSS/IMU được gắn trên cần khoan, tín hiệu tần số cao từ IMU được sử dụng để phân tích các dao động của cần khoan, từ đó có thể nhận biết được thời điểm máy khoan đang khoan vào đất đá. Khi đó, dữ liệu cao độ từ máy thu GNSS mới được sử dụng để tính tốc độ khoan. Thông tin tốc độ khoan được hiển thị trên phần mềm chuyên dụng tại hiện trường, đồng thời được

* Tác giả liên hệ

Email: duongthanhtrung@humg.edu.vn

truyền về máy chủ để có thể truy cập được từ xa cho quá trình quản lý và thiết kế phương án khoan một cách hiệu quả.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Việc tính toán tốc độ khoan dựa trên hệ thống tích hợp GNSS/IMU bao gồm hai giai đoạn. Đầu tiên, cần xác định được khoảng thời gian máy thực hiện khoan và thứ hai là tính toán tốc độ khoan của máy trong quá trình khoan. Trong hai giai đoạn này thì việc xác định được khoảng thời gian mà máy thực hiện khoan là giai đoạn quan trọng hơn, bởi nếu ta có thể xác định được chuẩn xác được khoảng thời gian máy khoan thì có thể dễ dàng xác định được tốc độ khoan thông qua công thức:

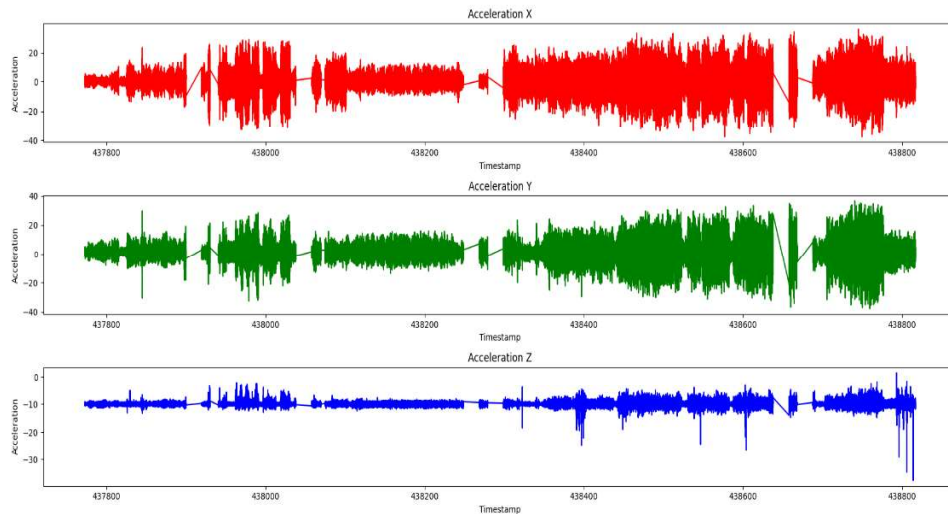
$$v = \frac{ds}{dt} \quad (1)$$

Trong đó: $ds = H_t - H_{t-1}$ - sự thay đổi độ cao của cần khoan trong khoảng thời gian dt .

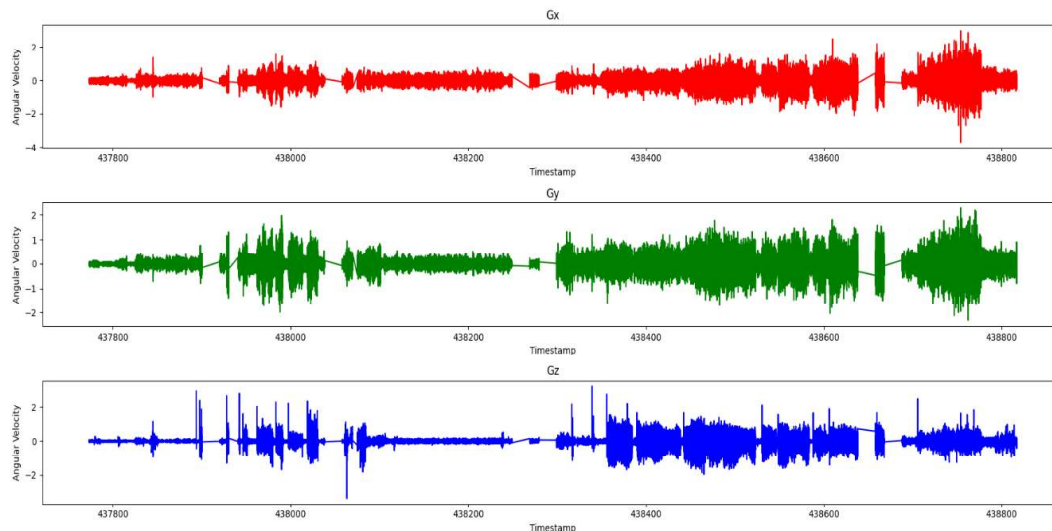
Do đó, phần này sẽ bao gồm hai phần: nguyên lý xác định thời điểm khoan dựa vào dữ liệu cảm biến IMU và tính toán tốc độ khoan dựa vào dữ liệu GNSS.

2.1. Xác định thời điểm khoan dựa vào tín hiệu IMU

Dữ liệu của cảm biến IMU (từ con quay hồi chuyển và gia tốc kế) cho biết tốc độ góc và gia tốc theo các phương x,y,z xác định trước. Để đưa ra được nguyên lý nhận dạng phù hợp, trước tiên cần phân tích các dữ liệu này, cụ thể, đồ thị của các dữ liệu trên theo thời gian được trình bày trong hình 1 và hình 2.



Hình 1 Tín hiệu từ Gia tốc kế



Hình 2. Tín hiệu từ cảm biến con quay

Quan sát đồ thị của các dữ liệu từ hai cảm biến, có thể đưa ra nhận xét rằng các thời điểm mà sự thay đổi về biên độ của dữ liệu theo các phương là có sự tương đồng, điều này gợi ý việc nghiên cứu sự thay đổi về tần số theo từng đoạn dữ liệu để đưa ra được thời điểm khoan chuẩn xác.

Để có được cái nhìn cụ thể hơn về tần số, thực hiện phép biến đổi Fourier trong thời gian ngắn (Short time Fourier transform-STFT). STFT là phép biến đổi thường được sử dụng để phân tích thành phần tần số của các chuỗi thời gian, tín hiệu không dừng bằng việc sử dụng phép biến đổi Fourier lên từng thành phần của tín hiệu. Công thức toán học của STFT là:

$$\text{STFT}\{x(t)\}(m, \omega) = X(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \omega[n - m] \cdot e^{-j\omega n} \quad (2)$$

trong đó:

$x[n]$ - chuỗi tín hiệu theo thời gian.

$\omega[n]$ - hàm cửa sổ (bộ lọc), thường là hàm liên tục trơn, kì vọng của hàm bằng 0.

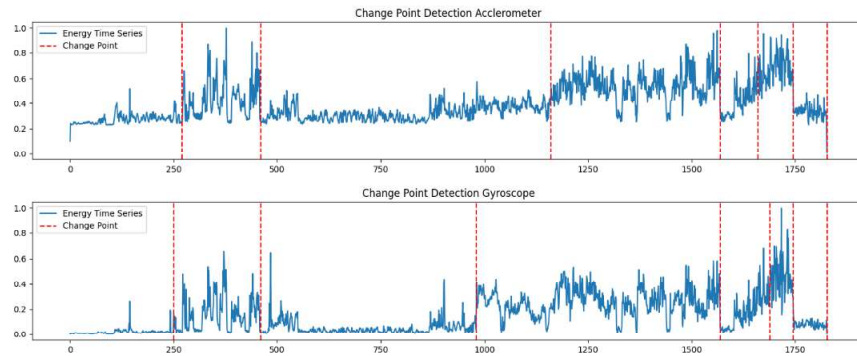
m - chỉ số thời gian, cho biết vị trí của bộ lọc.

ω - tần số góc.

j - đơn vị phức.

e - số euler.

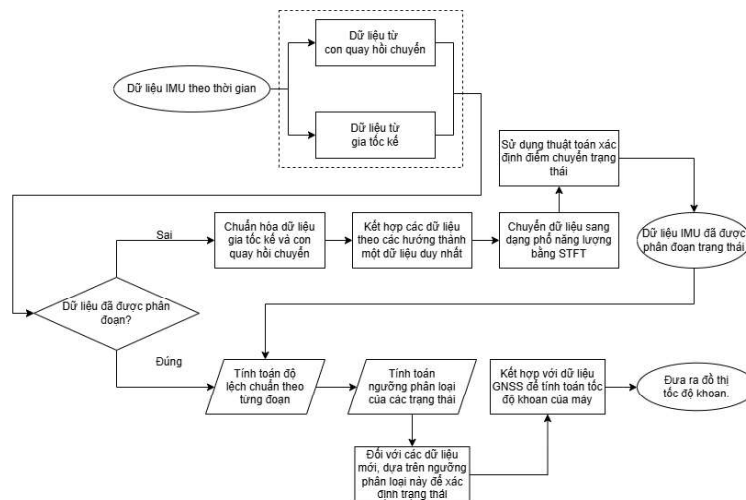
Sau phép biến đổi STFT, chúng ta thu được biểu đồ thể hiện mức năng lượng (biên độ dao động) tại từng bước thời gian. Bài toán bây giờ sẽ quy về bài toán phân đoạn tín hiệu, để phân đoạn một tín hiệu đạt độ chính xác cao, thì việc chuẩn hóa dữ liệu về một thang đo (thường là $[0, 1]$) là cách thường được sử dụng. Ở đây, do sự thay đổi vận tốc theo các hướng đều có ảnh hưởng như nhau nên có thể cộng các dữ liệu theo các hướng và chuẩn hóa về đoạn $[0, 1]$. Kết quả thu được trình bày trong hai đồ thị trong hình 3.



Hình 3. Kết quả phân đoạn tín hiệu, theo từng trạng thái khoan

Hình 3 cho thấy kết quả phân đoạn của cả hai bộ dữ liệu có sự tương đồng đáng kể. Các đoạn dữ liệu được phân loại thể hiện sự khác biệt rõ ràng về mức năng lượng. Kết quả này cho thấy phương pháp phân tích dữ liệu được sử dụng trong phần này có khả năng nhận diện chính xác thời điểm khoan.

2.2. Tính toán tốc độ khoan dựa vào dữ liệu GNSS



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý tính toán tốc độ khoan

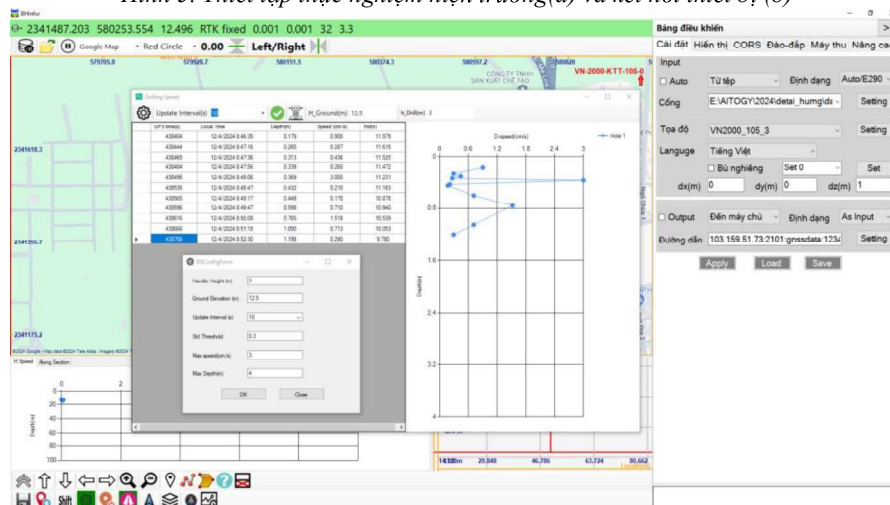
Để tính toán tốc độ khoan, cần lưu ý tới hai loại tốc độ khoan là tốc độ khoan tức thời và tốc độ khoan trung bình. Để tính toán tốc độ khoan tức thời, ta chia khoảng cách khoan cho khoảng thời gian khoan. Để tính tốc độ khoan trung bình trên một khoảng thời gian dài hơn (giờ hoặc ngày), ta lấy trung bình của các tốc độ khoan tức thời. Sơ đồ nguyên lý của việc xác định tốc độ khoan dựa vào hệ thống GNSS/IMU có thể được trình bày như hình 4.

Một Mô đun phần mềm được thành lập để thu thập dữ liệu và tự động tính toán tốc độ khoan (Hình 6), với các chức năng chính bao gồm:

- Kết nối với trạm cơ sở để tiến hành đo GNSS RTK
- Phân tích dữ liệu IMU để xác định thời điểm khoan
- Tính toán tốc độ khoan
- Hiện thị tốc độ khoan
- Gửi thông tin tốc độ khoan về server.



Hình 5. Thiết lập thực nghiệm hiện trường (a) và kết nối thiết bị (b)



Hình 6. Giao diện mô đun phần mềm

Kết quả tính toán theo phương pháp đã đề xuất được so sánh với số liệu chuẩn được theo dõi trong nhật ký thử nghiệm, trong đó độ sâu hồ được đọc trên vạch chia ghi trên trên ốp khoan ứng với thời gian khoan-đứng được theo dõi bằng đồng hồ bấm giờ.

Số liệu được thu thập và theo dõi trong khoảng 20 phút, với độ sâu khoan từ khoảng 2m đến 7m. Kết quả tốc độ khoan được so sánh với nhật ký được thể hiện ở thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả tính toán so với nhật ký khoan

STT	Giờ địa phương		Giờ GPS (s)		Độ sâu (m)	Tốc độ khoan chuẩn (mm/s)	Tốc độ khoan đo(mm/s)
1	8:38	8:40	437898	438018	2,03	2,2	2,1
2	8:45	8:52	438318	438738	5,21	6,5	7,7
3	8:55	8:58	438918	439098	6,95	4,7	4,5

Từ kết quả cho thấy rằng tốc độ khoan được xác định dựa trên công nghệ tích hợp GNSS/IMU cho kết quả phù hợp với kết quả được tính toán dựa trên nhật ký khoan. Kết quả sai lệch lớn nhất vào khoảng 1,2 mm/s. Sự sai lệch này do ảnh hưởng của hai yếu tố chính là việc nhận dạng thời điểm khoan và sai số xác định cao độ cần khoan bằng GNSS.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất giải pháp đo tốc độ hồ khoan dựa trên công nghệ tích hợp GNSS và IMU. Trong đó tín hiệu từ IMU được sử dụng để xác định thời điểm khoan và dữ liệu từ máy thu GNSS được dùng để xác định cao độ của hồ khoan tại các thời điểm khoan.

Các phép phân tích tín hiệu IMU đã được đề xuất để tự động xác định thời điểm khoan trong một loạt các tác vụ khác nhau trong quá trình vận hành khoan. Giải pháp GNSS RTK được áp dụng nhằm xác định độ sâu của hồ khoan ở thời gian thực với độ chính xác cỡ cm.

Thực nghiệm đã được tiến hành ở thực địa để thu thập số liệu. Một mô đun phần mềm đã được lập để tính toán tốc độ khoan dựa trên các phương pháp được đề xuất trong nghiên cứu. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng phương pháp đề xuất có thể được sử dụng để xác định tốc độ khoan ở thời gian thực.

Để đánh giá độ chính xác của phương pháp đề xuất, cần có thêm những thực nghiệm thực địa và các hệ thống đo đạc tham chiếu để so sánh.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí từ đề tài mã số ĐT.CNKK.QG.011/23, được cấp bởi Bộ Công thương và trường Đại học Mỏ-Địa chất.

Tài liệu tham khảo

- Guo, P.; Zhang, Z.; Wang, X.; Yue, Z.; Zhang, M., 2022. A Novel Borehole Cataloguing Method Based on a Drilling Process Monitoring (DPM) System. *Energies*. 15, 5832. <https://doi.org/10.3390/en15165832>
- Gebre-Egziabher D., Gleason S, 2009. *GNSS Applications and Methods*, Artech.
- Sliwa, T.; Jarosz, K.; Rosen, M.A.; Sojczyńska, A.; Sapińska-Sliwa, A.; Gonet, A.; Fafera, K.; Kowalski, T.; Ciepielowska, M., 2020. Influence of Rotation Speed and Air Pressure on the Down the Hole Drilling Velocity for Borehole Heat Exchanger Installation. *Energies*. 13, 2716. <https://doi.org/10.3390/en13112716>
- Tang, Z., 1989. The related program of drilling geology. *Geol. Explor.* 11, 60–62.
- Trung, D.T., 2024. The integration of GNSS RTK and IMU with extended particle filter. *J. Hydro-Meteorol.* 20, 66-74.
- Veeger, A.; Murray, D.; Hermes, O.; Boothroyd, J.; Hamidzada, N., 2003. Geographic information system-based digital catalog for managing subsurface geotechnical and geologic data. *Transp. Res. Record*, 1821, 90–96. [Google Scholar] [CrossRef]
- Zhao, W., 2006. The three projects of geomechanics, deep geology, and scientific drilling opened a new chapter in the history of Chinese geosciences-celebrating the 50th anniversary of the founding of the Chinese Academy of Geological Sciences. *Acta Geosci. Sin.* 27, 385–392. [Google Scholar]

ABSTRACT

Drilling speed tracking based on integrated GNSS RTK/IMU technology

Duong Thanh Trung¹, Pham Van Hoa¹, Nguyen Trung Dung², Tran Manh Dung²

¹*Hanoi University of Mining and Geology*

²*Hanoi University of Science and Technology*

In blast drilling or geological exploration drilling, the drilling speed and depths can provide information about the hardness and physical properties of the rock. This study aims to introduce a solution for determining and tracking drilling speed based on the integration of the Global Navigation Satellite System (GNSS) and Inertial Measurement Unit (IMU). While the signal from the IMU is used for analysis to identify the drilling time, the elevation data from the GNSS is used to calculate the drilling speed in real time. The results from the experiment show that the integrated solution of GNSS RTK/IMU allows automatic determination and tracking of drilling speed in real time with an accuracy of mm/s.

Keywords: drilling speed; GNSS; IMU