

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
KHOA TRẮC ĐỊA - BẢN ĐỒ VÀ QUẢN LÝ ĐẤT ĐAI
BỘ MÔN ĐO ẢNH VÀ VIỄN THĂM



NATIONAL CONFERENCE ON
GEOSPATIAL TECHNOLOGY FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT

HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA
CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN VÌ SỰ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
(NCGSD 2024)



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

MỤC LỤC

Địa không gian thông minh trong hành trình thực hiện các mục tiêu phát triển bền vững	1
<i>Võ Chí Mỹ*</i>	
Giao dịch bất động sản - Thực trạng và biện pháp hạn chế rủi ro về mặt pháp lý	6
<i>Nguyễn Thị Dung*</i>	
Ảnh hưởng của mật độ điểm đo trực tiếp đến độ chính xác nội suy dị thường trọng lực bước sóng dài khi tính độ sâu từ dị thường trọng lực	12
<i>Nguyễn Văn Sáng*</i>	
Kết hợp đa chỉ số phổ trong chiết tách đất xây dựng ở khu vực Hà Nội từ ảnh vệ tinh Sentinel-2	18
<i>Nguyễn Văn Trung*, Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Thành Len, Lê Thị Minh Phương</i>	
Phân tích tự tương quan không gian trong nghiên cứu kiểu mẫu phân bố bệnh sốt xuất huyết Dengue: Thử nghiệm tại Thành phố Hồ Chí Minh	28
<i>Vũ Danh Tuyên*, Vương Thị Hòe, Phạm Thị Thu Hương, Nguyễn Tiến Thành</i>	
Sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-2 thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam	34
<i>Nguyễn Văn Trung*, Lê Thị Thu Hà, Đoàn Thị Nam Phương, Phạm Thị Hương, Nguyễn Quang Minh, Phạm Vọng Thành</i>	
Nghiên cứu giải pháp tự động chiết xuất đối tượng đường giao thông trên ảnh vệ tinh Sentinel- 2 MSI	44
<i>Lê Văn Phú, Trịnh Lê Hùng*, Tô Thị Phụng</i>	
Phát hiện cháy rừng đang xảy ra sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-3 SLSTR khu vực xã Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau	51
<i>Đoàn Thị Nam Phương*, Nguyễn Văn Trung, Lê Thị Thu Hà, Nguyễn Quang Minh</i>	
Công nghệ SBAS xử lý dữ liệu lớn cho xác định biến dạng bề mặt địa hình vùng Thành phố Hồ Chí Minh	59
<i>Nguyễn Minh Hải*</i>	
Nghiên cứu phân bố không gian gió vùng biển vịnh Bắc Bộ giai đoạn 1981 - 2020 từ dữ liệu viễn thám	65
<i>Nguyễn Ngọc Tuấn, Nguyễn Hoàng Minh, Đỗ Thị Phương Thảo*</i>	
Nghiên cứu ứng dụng tư liệu ảnh Sentinel-5P trong giám sát chất lượng không khí tại các đô thị lớn	72
<i>Lê Minh Hằng, Đỗ Thị Hoài*</i>	
Thành lập mô hình lún đe chắn sóng Nhà máy lọc dầu Dung Quất	82
<i>Nguyễn Thị Kim Thanh*, Nguyễn Hà</i>	
Nghiên cứu ứng dụng phương pháp phân loại hướng đối tượng và mô hình học máy trong xây dựng bản đồ lớp phủ từ ảnh viễn thám quang học	90
<i>Khúc Thành Đông*, Trần Đình Trọng, Trần Văn Anh, Đỗ Quang Vinh, Hà Trung Khiên, Đào Duy Toàn, Trương Xuân Quang</i>	
Xác định lún đất khu vực Cà Mau bằng chuỗi ảnh radar trên nền tảng điện toán đám mây Google Colab	97
<i>Hà Trung Khiên, Trần Văn Anh*, Khúc Thành Đông, Nguyễn Đình Huy</i>	
Ứng dụng công nghệ GIS và viễn thám hỗ trợ phân tích, quản lý tài nguyên rừng trong điều kiện biến đổi khí hậu ở tỉnh Đắk Lắk	106
<i>Nguyễn Sách Thành*, Trịnh Lê Hùng, Lê Văn Phú, Nguyễn Văn Trung</i>	

Ứng dụng công nghệ địa tin học trong đánh giá hạn hán ở Quảng Nam	114
<i>Phạm Thị Thanh Hoà*, Trần Hồng Hạnh, Lưu Thị Diệu Chinh</i>	
Nghiên cứu ứng dụng mô hình LSTM (Long Short-Term Memory) trong dự báo độ mặn từ chuỗi dữ liệu đa biến tại trạm Đại Ngãi, Sóc Trăng	122
<i>Bùi Duy Quỳnh*, Hà Thị Hằng, Lưu Thị Diệu Chinh, Trần Xuân Trường</i>	
Kiểm định giá thuyết thống kê trong bình sai lưới quan trắc chuyển dịch ngang đập công trình thủy điện	131
<i>Trần Trung Anh*, Nguyễn Quang Hà</i>	
Phân tích, lọc và hiển thị dữ liệu đám mây điểm LiDAR với thư viện Pandas và Matplotlib của Python	138
<i>Nguyễn Thị Hữu Phương*, Phạm Thị Hải Vân, Đào Thị Hồng Thắm</i>	
Nghiên cứu xác định sự biến động độ sâu ven đảo xa bờ sử dụng dữ liệu viễn thám Sentinel-2 trên nền tảng Google Earth Engine	146
<i>Nguyễn Như Hùng*, Lê Văn Phú, Nguyễn Văn Sơn</i>	
Nghiên cứu một số thuật toán huấn luyện mạng nơron nhân tạo trong dự báo độ lún công trình thủy điện	154
<i>Phạm Quốc Khánh*</i>	
Công nghệ máy bay không người lái và thuật toán bán tự động trong việc xác định hệ thống khe nứt chính trên mỏ đá ốp lát	163
<i>Phạm Văn Việt*, Nguyễn Anh Tuấn, Trần Trung Anh, Phạm Văn Hoà</i>	
Phương trình LiDAR tính tọa độ điểm đo trong công nghệ bay quét laser hàng không	172
<i>Trần Trung Anh*, Trần Hồng Hạnh, Lưu Hải Âu, Quách Mạnh Tuấn</i>	
Lập bản đồ biến động hệ thực vật vùng đất ven biển khu vực Khánh Hòa bằng ảnh Landsat đa thời gian trên nền tảng Google Earth Engine	179
<i>Trần Thanh Hà*</i>	
Quan trắc trượt lở đất đá theo thời gian thực ở tầng khai thác mỏ lộ thiên dựa trên công nghệ GNSS/CORS	188
<i>Phạm Công Khải*, Nguyễn Văn Hải</i>	
Dự báo thay đổi lớp phủ bề mặt bằng thuật toán học máy	199
<i>Trần Thị Hoà*, Trần Thị Ngọc, Trần Đình Trí</i>	
Xây dựng cơ sở dữ liệu GIS phục vụ công tác tìm kiếm và cứu nạn khu vực vịnh Bắc Bộ	207
<i>Nguyễn Quang Minh*, Nguyễn Văn Trung, Bùi Tiến Diệu</i>	
Phân tích lượng mưa tích lũy và nguy cơ trượt lở đất: Nghiên cứu và mô phỏng số tại Km10+950, Quốc lộ 34, tỉnh Hà Giang	221
<i>Đỗ Văn Đăng*, Nguyễn Châu Lân, Hà Thị Hằng, Bùi Duy Quỳnh, Đương Công Hiếu, Lưu Thị Diệu Chinh</i>	
Nghiên cứu một số vấn đề chuyển đổi tọa độ từ WGS-84 về hệ tọa độ trắc địa sử dụng tại Việt Nam	228
<i>Hoàng Ngọc Hà*</i>	

Phương trình LiDAR tính tọa độ điểm đo trong công nghệ bay quét laser hàng không

Trần Trung Anh^{1,2*}, Trần Hồng Hạnh^{1,2}, Lưu Hải Âu³, Quách Mạnh Tuấn⁴

¹Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

²Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mỏ - Địa chất

³Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

⁴Công ty CP Thương mại và Xây dựng QT Miền Bắc

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đã áp dụng phương trình LiDAR tính tọa độ điểm đo mặt đất trong công nghệ bay quét laser hàng không. Các kết quả thu được từ cơ sở toán học, hình học để xây dựng phương trình LiDAR, phân tích tính toán dữ liệu bay quét laser hàng không theo số liệu tựa trên vùng thực nghiệm. Từ đó nhận thấy rằng: trong phương trình LiDAR có những thông số cố định tham gia tính toán toàn bộ dữ liệu như thông số kiểm định các giá trị độ lệch (tọa độ, góc xoay) giữa IMU và bộ phát Laser; có thông số dùng chung cho thời điểm phát chùm tia laser như: tọa độ và góc xoay của IMU; thông số riêng của từng tia quét laser là góc xoay để đồng bộ tọa độ về hệ bộ phát laser, còn khoảng cách thì một tia laser phát ra có thể thu được nhiều lớp phản xạ khác nhau theo tầng dữ liệu mặt đất (có thể từ 1 đến 3 hoặc nhiều hơn tùy theo khả năng kỹ thuật của thiết bị quét và đối tượng mặt đất) dẫn đến có nhiều khoảng cách, từ đó có thể tính được tọa độ điểm đo ở nhiều lớp khác nhau. Quy trình của phương trình LiDAR đảm bảo sự thống nhất và tránh sai sót. Thực nghiệm tại phường Tăng Tiến, thị xã Việt Yên, tỉnh Bắc Giang, bay quét laser hàng không với máy bay DJI M350 và bộ quét Zenmuse L2. Các dữ liệu kiểm chứng phương trình LiDAR tựa trên vùng thực nghiệm này cho thấy các công thức trong phương trình LiDAR đảm bảo sự tường minh và chính xác.

Từ khóa: Phương trình LiDAR, quét laser hàng không, điểm đo, hệ thống định vị toàn cầu, bộ đo quán tính.

1. Đặt vấn đề

Hệ thống LiDAR bao gồm một thiết bị quét đo khoảng cách laser và một hệ thống định vị toàn cầu GNSS (Global Navigation Satellite System) cùng bộ định hướng POS (Position and Orientation System) hay hệ thống đạo hàng quán tính INS (Inertial Navigation System), định vị vi phân DGPS (Differential Global Positioning System), bộ đo quán tính IMU (Inertial Measurement Unit). Khi lắp đặt hệ thống LiDAR trên phương tiện bay (có người lái hoặc không người lái) để thực hiện bay quét địa hình được gọi là công nghệ bay quét laser hàng không. Máy quét laser đo khoảng cách từ cảm biến đến mặt đất, trong khi định vị GPS/IMU tích hợp cung cấp thông tin về vị trí và trạng thái của thiết bị (Habib và nnk., 2010). Tọa độ của các điểm LiDAR là kết quả của việc kết hợp các phép đo xuất phát từ từng thành phần hệ thống của nó, cũng như các thông số lắp đặt liên quan đến các thành phần đó. Các nghiên cứu trên thế giới (Vaughn và nnk., 1996; Schenk, 2001; El-Sheimy, 2005) về phương trình LiDAR là cơ sở, tuy nhiên chưa có sự thống nhất về ma trận xoay. Trong nghiên cứu sự thay đổi tỷ số LiDAR theo khoảng cách, tác giả (Bùi Thị Thanh Lan và Đồng Thị Linh, 2016) trình bày phương trình LiDAR nhấn mạnh về ảnh hưởng của khí quyển đến khoảng cách đo laser là một thành tố của phương trình LiDAR. Nghiên cứu khác về LiDAR (Nguyễn Hữu Phương, 2017; Nguyễn Hữu Phương và nnk., 2022; Trần Trung Anh và nnk., 2022; Bùi Ngọc Quý và nnk., 2023) trình bày về phân loại đám mây điểm LiDAR và ứng dụng, chưa đi sâu vào phương trình LiDAR. Nghiên cứu của Nguyễn Trường Xuân và nnk. (2017) trình bày về LiDAR trên thiết bị di động trên mặt đất, phạm vi nhỏ, có đề cập đến công thức LiDAR ở dạng góc nhỏ chưa phải công thức gốc.

Một vấn đề đặt ra là các hệ thống xử lý tức thời của công nghệ LiDAR thường như một hộp đen đóng kín, các tệp dữ liệu đo được mã hóa, kể cả các phần mềm xử lý dữ liệu cũng được tự động hóa gần như toàn bộ (DJI, 2022, 2023). Để làm chủ được công nghệ LiDAR cần nắm rõ bản chất toán học, để từ đó có thể giúp người sử dụng có tính chủ động, các thao tác tại thực địa để hạn chế các sai số và sai sót. Từ công tác thiết kế bay quét LiDAR đến xử lý dữ liệu sản phẩm (Trần Trung Anh và nnk., 2022). Trong nghiên cứu này, trình bày về phương trình LiDAR trong tính toán tọa độ điểm đo của công nghệ quét laser hàng không ở dạng công thức gốc, đầy đủ và thống nhất về ma trận xoay. Nghiên cứu làm rõ cơ sở hình học, toán học làm quy trình, thuật toán để giúp làm chủ công tác bay quét LiDAR tại thực địa cũng như xây dựng ứng dụng xử lý LiDAR sau này.

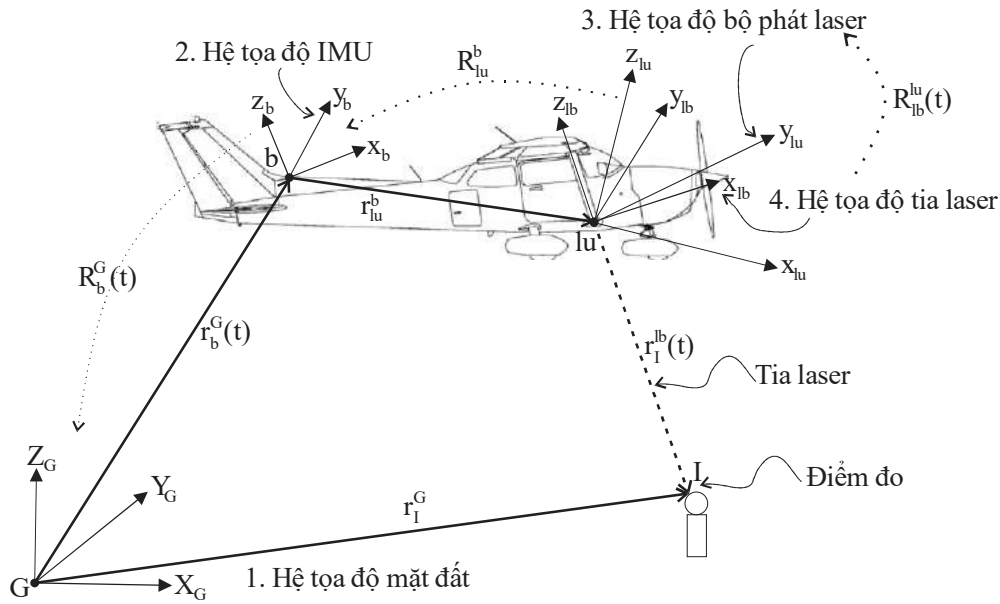
* Tác giả liên hệ

Email: trantrunganh@humg.edu.vn

2. Cơ sở của phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở toán học của phương trình LiDAR

Để xây dựng phương trình LiDAR, cần xuất phát từ cơ sở hình học của công nghệ bay quét LiDAR (Ayman Habib, 2008), hình vẽ về mối quan hệ vector được thể hiện trong Hình 1. Mối quan hệ giữa các phép đo hệ thống và các tham số được thể hiện trong phương trình LiDAR ở công thức 6 (Vaughn và nnk., 1996; Schenk, 2001; El-Sheimy, 2005). Như có thể thấy trong Hình 1, vị trí của điểm đo laser I, có thể được tính toán thông qua tổng của các vector sau khi áp dụng các phép quay thích hợp (Habib và nnk., 2010). Trong phương trình LiDAR, những thông số cố định như độ lệch tâm, lệch góc giữa IMU và bộ quét laser cần kiểm định hiệu chuẩn trước khi sử dụng (Mostafa, 2001; Gonçalves và nnk., 2011; Li và nnk., 2019). Những thông số cần đo/tính và dùng chung tại một thời điểm quét của chùm tia laser như vị trí và góc xoay của IMU so với hệ tọa độ mặt đất. Những thông số góc quét dùng chung của 1 tia quét laser cho các lớp phản xạ khác nhau (tầng dữ liệu mặt đất).



Hình 1. Phương trình LiDAR theo tính tổng vector (Vẽ bởi: Trần Trung Anh)

Trong Hình 1:

$r_l^G = \begin{bmatrix} X_l^G \\ Y_l^G \\ Z_l^G \end{bmatrix}$ là tọa độ điểm đo I trong hệ tọa độ mặt đất $G.X_GY_GZ_G$;

$r_b^G(t) = \begin{bmatrix} X_b^G \\ Y_b^G \\ Z_b^G \end{bmatrix}_{(t)}$ là tọa độ mặt đất của gốc hệ tọa độ IMU tại thời điểm t;

$$R_b^G(t) = \begin{bmatrix} \cos(\alpha)\cos(\beta) & \cos(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma) - \sin(\alpha)\cos(\gamma) & \cos(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) + \sin(\alpha)\sin(\gamma) \\ \sin(\alpha)\cos(\beta) & \sin(\alpha)\sin(\beta)\sin(\gamma) + \cos(\alpha)\cos(\gamma) & \sin(\alpha)\sin(\beta)\cos(\gamma) - \cos(\alpha)\sin(\gamma) \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta)\sin(\gamma) & \cos(\beta)\cos(\gamma) \end{bmatrix}_{(t)} \quad (1)$$

là ma trận xoay giữa hệ tọa độ mặt đất và hệ tọa độ IMU của các góc xoay (α, β, γ) tại thời điểm t;

$r_{lu}^b = \begin{bmatrix} x_{lu}^b \\ y_{lu}^b \\ z_{lu}^b \end{bmatrix}$ là vector độ lệch giữa bộ phát laser và hệ tọa độ IMU (độ lệch cánh tay đòn);

$$R_{lu}^b = \begin{bmatrix} \cos(\phi)\cos(\kappa) & -\cos(\phi)\sin(\kappa) & -\sin(\phi) \\ \cos(\omega)\sin(\kappa) + \sin(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\kappa) - \sin(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & -\sin(\omega)\cos(\phi) \\ \sin(\omega)\sin(\kappa) - \cos(\omega)\sin(\phi)\cos(\kappa) & \sin(\omega)\cos(\kappa) + \cos(\omega)\sin(\phi)\sin(\kappa) & \cos(\omega)\cos(\phi) \end{bmatrix} \quad (2)$$

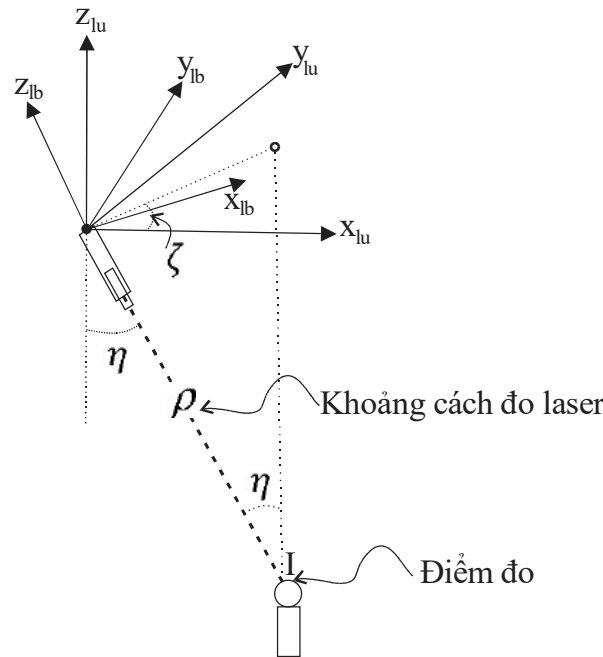
là ma trận xoay giữa hệ tọa độ IMU và hệ tọa độ bộ phát laser (ma trận Boresight của góc ω, ϕ, κ);

$$R_{lb}^{lu}(t) = \begin{bmatrix} \cos(\zeta)\cos(\eta) & -\sin(\zeta) & \cos(\zeta)\sin(\eta) \\ \sin(\zeta)\cos(\eta) & \cos(\zeta) & \sin(\zeta)\sin(\eta) \\ -\sin(\zeta) & 0 & \cos(\eta) \end{bmatrix}_{(t)} \quad (3)$$

là ma trận quay giữa hệ tọa độ laser và hệ tọa độ tia laser của các góc quét gương (ζ, η) đến điểm đo I tại thời điểm t (Hình 2);

$$r_I^{lb}(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{bmatrix}_{(t)} \quad (4)$$

là tọa độ của điểm đo I trong hệ tọa độ tia laser tại thời điểm t (Hình 2);



Hình 2. Tính chuyển tọa độ tia laser sang tọa độ bộ phát laser (Vẽ bởi: Trần Trung Anh)

Từ Hình 2 và công thức (3,4), tia laser của điểm đo I trong hệ bộ phát laser sẽ được tính như sau:

$$r_I^{lu} = R_{lb}^{lu}(t) * r_I^{lb}(t) = \begin{bmatrix} -\rho \cdot \cos(\zeta)\cos(\eta) \\ -\rho \cdot \sin(\zeta)\sin(\eta) \\ -\rho \cdot \cos(\eta) \end{bmatrix} \quad (5)$$

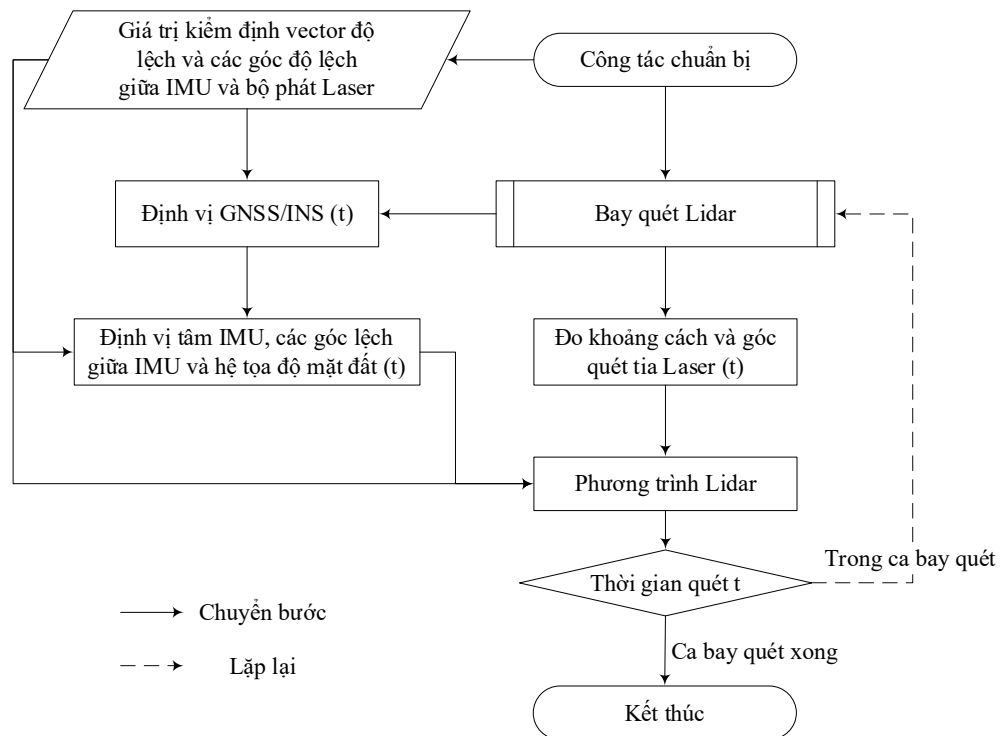
Từ Hình 1 và hình 2, phương trình LiDAR tính tọa độ điểm đo là tổng vector theo công thức (6):

$$r_I^G = r_b^G(t) + R_b^G(t) * r_{lu}^b + R_b^G(t) * R_{lu}^b * r_I^{lu} \quad (6)$$

Từ phương trình LiDAR theo (6) nhóm tác giả triển khai thuật toán để tính tọa độ điểm đo trong công nghệ bay quét LiDAR hàng không. Trong phương trình này yêu cầu cần có thông số kiểm định về độ lệch tọa độ, các góc xoay giữa tâm IMU và bộ quét LiDAR (thông số của nhà sản xuất), đây là thông số cố định chung khi sử dụng thiết bị bay quét; Khi triển khai ngoài thực địa, trong một lần quét ở thời điểm t các thông số dùng chung cho chùm quét là tọa độ tâm IMU, các góc xoay của hệ tọa độ IMU so với hệ tọa độ mặt đất (được định vị chính xác bởi công nghệ GNSS/INS); Tia laser quét cần trả về giá trị góc của gương xoay để phục vụ tính chuyển về hệ tọa độ bộ phát laser, trong cùng một tia quét laser nếu trả về các lớp tín hiệu tương ứng với lớp điểm đo khác nhau, thì dùng chung giá trị góc này còn giá trị khoảng cách sẽ khác nhau theo lời giải theo xung hoặc pha (Wang và nnk., 2024).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sau khi xây dựng phương trình LiDAR, cần thiết phải xây dựng quy trình tính toán phương trình LiDAR. Trên cơ sở phương trình LiDAR (6), các thông số cần cung cấp, thông số đo ở thời điểm đo và các công thức liên quan (1-6), quy trình được trình bày trong Hình 3.



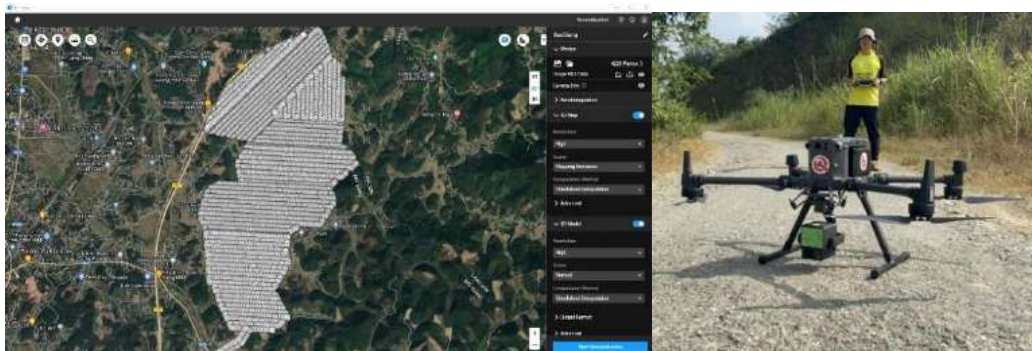
Hình 3. Quy trình của phương trình LiDAR (Trần Trung Anh, Trần Hồng Hạnh, Lưu Hải Âu)

Các bước xử lý lưới được trình bày trong quy trình ở Hình 3, trong đó công tác chuẩn bị gồm các công việc rất quan trọng như chuẩn bị phương tiện bay, pin, các thông số kỹ thuật của thiết bị bay, khả năng hoạt động bình thường,... bao gồm cả khả năng vận hành thiết bị của tác nghiệp viên, giấy cấp phép bay cho khu vực khảo sát và thiết kế bay quét LiDAR. Quy trình phương trình LiDAR rất cần rõ thông số kiểm định vector độ lệch, góc lệch giữa IMU và bộ phát laser vì liên quan đến tính chuyển tọa độ do IMU và bộ phát laser không trùng tâm, thông số này được nhà sản xuất cung cấp (thường đóng kín và ẩn dưới quá trình xử lý). Khi tiến hành bay quét LiDAR tại thực địa, kết nối và định vị GNSS/INS chính xác ở từng thời điểm quét (thông thường đặt ở tần số thu 5 Hz hoặc cao hơn, để đảm bảo tốc độ bay của phương tiện hàng không ảnh hưởng ít nhất đến độ trượt định vị). Từ trị đo tích hợp GNSS/INS cùng với bộ cảm biến IMU về góc, tính tọa độ và góc xoay chính xác của IMU so với hệ tọa độ mặt đất ở thời điểm phóng tia laser (t). Bộ quét laser phóng chùm tia laser ở thời điểm (t), từng tia laser được xác định các góc xoay, tính toán giá trị khoảng cách nhờ tín hiệu phản hồi của các lớp phản xạ của bề mặt ở thời điểm (t). Các thông số này phục vụ tính phương trình LiDAR (6).

Trong quá trình phân tích dữ liệu, nhóm tác giả đã sử dụng các công thức (1-6) để xây dựng thuật toán. Vì các thông số được đóng kín, khó tiếp cận dữ liệu tường minh gốc ở dạng text nên nhóm tác giả giả định giá trị của các thông số để áp dụng phương trình LiDAR tựa trên một vùng bay quét thực nghiệm cụ thể.

3. Thực nghiệm

Khu vực thực nghiệm là phường Tăng Tiến, thị xã Việt Yên, tỉnh Bắc Giang, cách trung tâm thị xã Việt Yên 5 km về phía Đông Nam, cách thành phố Bắc Giang khoảng 7 km theo hướng Đông Bắc theo Quốc lộ 1A mới; phía Tây giáp phường Nénh, phường Hồng Thái; phía Nam giáp huyện Yên Dũng; có vị trí địa lý 21°15'38" vĩ độ Bắc và 106°09'09" kinh độ Đông, diện tích khoảng 2000 ha.



Hình 4. Vị trí thực nghiệm bay quét LiDAR (Ảnh: Quách Mạnh Tuấn)

Nhóm tác giả tiến hành bay quét LiDAR bằng máy bay M350 và bộ quét Zenmuse L2 của hãng DJI, trong quá trình quét có định vị tâm chụp chính xác bằng phương pháp GNSS-RTK (Hình 4). Xử lý dữ liệu trên phần mềm DJI Terra nhận được sản phẩm đám mây điểm (Hình 5), đây là cơ sở tựa trên thực nghiệm cho kiểm chứng phương trình LiDAR.



Hình 5. Đám mây điểm LiDAR (Ảnh: Quách Mạnh Tuấn)

Vì các tệp dữ liệu đo của LiDAR được mã hóa, đóng kín, cùng thông số kiểm định các giá trị độ lệch giữa IMU và bộ phát Laser nên nhóm tác giả cung cấp số đo để kiểm chứng phương trình LiDAR.

Thông số kiểm định độ lệch giữa tâm IMU và bộ phát Laser là vector $r_{lu}^b = \begin{bmatrix} 0,147 \\ -0,247 \\ -0,476 \end{bmatrix} (m)$

Cùng với các góc xoay của 2 hệ tọa độ IMU và bộ phát Laser là: $\omega = 2,00^\circ$; $\phi = 1,00^\circ$, $\kappa = -2,00^\circ$.

Theo công thức (2) tính được ma trận xoay Boresight

$$R_{lu}^b = \begin{bmatrix} 0,9992386 & 0,0348942 & 0,0174524 \\ -0,0342695 & 0,9988033 & -0,0348942 \\ -0,0186491 & 0,0342695 & 0,9992386 \end{bmatrix}$$

Các giá trị r_{lu}^b và R_{lu}^b cố định từ kiểm định thiết bị bay quét LiDAR, phục vụ tính phương trình LiDAR.

Bảng 1. Tính toán theo phương trình LiDAR

t	Lớp phản xạ	Tia laser			Tính toán			Hệ tọa độ mặt đất (x+410000, y+2350000)	
		$\rho(m)$	ζ, η ($^\circ$)	r_l^{lu} (m)	α, β, γ ($^\circ$)	$R_b^G(t) * R_{lu}^b$ $* r_l^{lu}$ (m)	$R_b^G(t)$ $* r_{lu}^b$ (m)	$r_b^G(t)$ (m)	r_l^G (m)
1	1	102,000	5,03 1,08	$\begin{bmatrix} -1,915 \\ -0,169 \\ -101,982 \end{bmatrix}$	-2,00 1,00 2,00	$\begin{bmatrix} -5,226 \\ 7,196 \\ -101,612 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,130 \\ -0,235 \\ -0,487 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 941,863 \\ 1392,321 \\ 127,751 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 936,768 \\ 1399,282 \\ 25,653 \end{bmatrix}$
	2	105,150		$\begin{bmatrix} -1,974 \\ -0,174 \\ -105,131 \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} -5,387 \\ 7,418 \\ -104,750 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 936,606 \\ 1399,504 \\ 22,515 \end{bmatrix}$
	3	118,815		$\begin{bmatrix} -2,231 \\ -0,196 \\ -118,794 \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} -6,087 \\ 8,382 \\ -118,363 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 935,906 \\ 1400,468 \\ 8,902 \end{bmatrix}$
...
i	1	106,665	10,01 6,68	$\begin{bmatrix} -12,219 \\ -2,157 \\ -105,941 \end{bmatrix}$	1,18 3,05 3,16	$\begin{bmatrix} -19,880 \\ 7,378 \\ -104,536 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0,125 \\ -0,218 \\ -0,496 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 968,688 \\ 1396,236 \\ 127,123 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 948,933 \\ 1403,396 \\ 22,091 \end{bmatrix}$
	2	114,600		$\begin{bmatrix} -13,128 \\ -2,317 \\ -113,822 \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} -21,359 \\ 7,926 \\ -112,313 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 947,455 \\ 1403,944 \\ 14,314 \end{bmatrix}$

t	Lớp phản xạ	Tia laser			Tính toán			Hệ tọa độ mặt đất (x+410000, y+2350000)	
		$\rho(m)$	ζ, η ($^{\circ}$)	r_l^{lu} (m)	α, β, γ ($^{\circ}$)	$R_b^G(t) * R_{lu}^b$ $* r_l^{lu}$ (m)	$R_b^G(t)$ $* r_{lu}^b$ (m)	$r_b^G(t)$ (m)	r_l^G (m)
...	3	118,920		$\begin{bmatrix} -13,623 \\ -2,404 \\ -118,113 \end{bmatrix}$		$\begin{bmatrix} -22,164 \\ 8,225 \\ -116,546 \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} 946,649 \\ 1404,243 \\ 10,081 \end{bmatrix}$
...

Từ dữ liệu ở Bảng 1 nhận thấy rằng: trong phương trình LiDAR có những thông số cố định tham gia tính toán toàn bộ dữ liệu như thông số kiểm định các giá trị độ lệch (vector tọa độ r_{lu}^b , góc xoay: ω, ϕ, κ để tính R_{lu}^b) giữa IMU và bộ phát laser nên thông số này cần có độ chính xác cao; có thông số dùng chung cho thời điểm phát chùm tia laser như: vector tọa độ $r_b^G(t)$ và góc xoay (α, β, γ) để tính $R_b^G(t)$ của IMU do vậy cũng cần xác định chính xác vì ảnh hưởng đến chùm quét laser; thông số riêng của từng tia quét laser là góc xoay (ζ, η) để đồng bộ tọa độ về hệ bộ phát laser, còn khoảng cách thì một tia laser phát ra có thể thu được nhiều lớp phản xạ khác nhau theo tầng dữ liệu mặt đất (có thể từ 1 đến 3 hoặc nhiều hơn tùy theo khả năng kỹ thuật của thiết bị quét và đối tượng mặt đất) tính được các khoảng cách ρ , từ đó có thể tính được tọa độ điểm đo ở nhiều lớp khác nhau.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã áp dụng phương trình LiDAR tính tọa độ điểm đo mặt đất trong công nghệ bay quét laser hàng không. Các kết quả thu được từ cơ sở toán học, hình học để xây dựng phương trình LiDAR (6), phân tích tính toán dữ liệu bay quét laser hàng không theo số liệu tọa trên vùng thực nghiệm. Từ đó nhận thấy rằng: trong phương trình LiDAR có những thông số cố định tham gia tính toán toàn bộ dữ liệu như thông số kiểm định các giá trị độ lệch (tọa độ, góc xoay) giữa IMU và bộ phát Laser nên thông số này cần có độ chính xác cao; có thông số dùng chung cho thời điểm phát chùm tia laser như: vector tọa độ và góc xoay của IMU do vậy cũng cần xác định chính xác vì ảnh hưởng đến chùm quét laser; thông số riêng của từng tia quét laser là góc xoay để đồng bộ tọa độ về hệ bộ phát laser, còn khoảng cách thì một tia laser phát ra có thể thu được nhiều lớp phản xạ khác nhau theo tầng dữ liệu mặt đất (có thể từ 1 đến 3 hoặc nhiều hơn tùy theo khả năng kỹ thuật của thiết bị quét và đối tượng mặt đất) dẫn đến có nhiều khoảng cách, từ đó có thể tính được tọa độ điểm đo ở nhiều lớp khác nhau. Quá trình xử lý theo phương trình LiDAR đã được chứng minh là hợp lý về hình học, chính xác về toán học. Điều này góp phần vào việc triển khai chủ động về thuật toán, lập trình xử lý mô phỏng. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong việc hướng dẫn các kỹ sư trắc địa áp dụng phương trình LiDAR khi triển khai thực địa cần đảm bảo chính xác các yếu tố liên quan được dùng trong phương trình LiDAR. Quy trình của phương trình LiDAR đảm bảo sự thống nhất và tránh sai sót. Dựa trên kết quả của nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất tiếp tục nghiên cứu để triển khai viết các ứng dụng xử lý dữ liệu LiDAR.

Tài liệu tham khảo

- Ayman Habib (2008). "Accuracy, Quality Assurance, and Quality Control of LiDAR Data", Chapter 9 in Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing.
- Trần Trung Anh, Trần Hồng Hạnh và Quách Mạnh Tuấn, 2022. Kết hợp lọc hình thái và lọc phân bố mật độ đám mây điểm UAV-LiDAR để xây dựng mô hình số địa hình, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 63, kỳ 5, tr. 1-10.
- Trần Trung Anh, Trần Hồng Hạnh, Quách Mạnh Tuấn và Trần Trường Sinh (2022). Công tác thiết kế kỹ thuật quét LiDAR tích hợp chụp ảnh số trên thiết bị bay không người lái phục vụ thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn, Hội nghị Khoa học Quốc gia về Công nghệ Địa không gian trong Khoa học Trái đất và Môi trường, 991-997.
- Dji, 2023. Matrice 350 RTK User Manual ver 1.0, <https://www.dji.com/> (accessed in 7/2024)
- Dji, 2022. Zenmuse L2 User Manual ver 1.0, <https://www.dji.com/> (accessed in 7/2024)
- El-Sheimy, N.; Valeo, C.; Habib, A. (2005). Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation and Applications, 1st ed.; Artech House Remote Sensing Library: Boston, MA, USA, pp. 1-256.
- Gonçalves, Gil & Jalobeanu, André (2011). LiDAR boresight calibration: a comparative study, Conference: AGU Fall Meeting AbstractsAt: San Francisco, CA.
- Habib, Ayman, Ki In Bang, Ana Paula Kersting, and Jacky Chow (2010). "Alternative Methodologies for LiDAR System Calibration", Remote Sensing 2, No. 3: 874-907. <https://doi.org/10.3390/rs2030874>.
- Bùi Thị Thanh Lan và Đồng Thị Linh (2016). Nghiên cứu sự thay đổi tỷ số Lidar theo khoảng cách, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 53.
- Li, Zhen, Junxiang Tan, and Hua Liu (2019). "Rigorous Bore-sight Self-Calibration of Mobile and UAV LiDAR Scanning Systems by Strip Adjustment". Remote Sensing 11, No. 4: 442.

- Mostafa, M.M. (2001). Boresight calibration of integrated inertial/camera systems, https://www.researchgate.net/publication/266295376_Boresight_Calibration_of_Integrated_InertialCamera_Systems#fullTextFileContent (accessed in 7/2024)
- Nguyễn Thị Hữu Phương (2017). Thuật toán K-means và k-NN trong phân loại đám mây điểm LiDAR, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 58, kỳ 5.
- Nguyễn Thị Hữu Phương, Đặng Văn Đức, Nguyễn Trường Xuân, Phạm Hữu Lợi và Nguyễn Minh Thắng (2022). Phương pháp phân lớp đám mây điểm LiDAR sử dụng độ cao và cường độ phản xạ của điểm, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 63, kỳ 5, tr. 48-57.
- Bùi Ngọc Quý, Lê Đình Hiền, Phạm Văn Hiệp, Vũ Sơn Tùng, Dương Anh Quân và Trần Thị Thu Trang (2023). Xây dựng chương trình tự động phân loại dữ liệu đám mây điểm, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 64, kỳ 4, tr. 1-11.
- Nguyễn Trường Xuân, Nguyễn Thị Mai Dung, Trần Trung Chuyên, Trần Mai Hương, Trần Thị Hải Vân và Trần Phương Ly (2017). Hệ thống quét laser di động và ứng dụng, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 58, kỳ 5.
- Schenk, T. (2001). Modeling and Analyzing Systematic Errors in Airborne Laser Scanners; Technical Report in Photogrammetry No. 19, Ohio State University: Columbus, OH, USA, pp. 1-42.
- Scouarnec, Romain & Touzé, Thomas & Lacambre, J. & Seube, Nicolas (2014). A New Reliable Boresight Calibration Method for Mobile Laser Scanning Applications. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XL-3/W1. 10.5194/isprsarchives-XL-3-W1-67-2014.
- Vaughn, C.R.; Bufton, J.L.; Krabill, W.B.; Rabine, D.L. (1996). Georeferencing of airborne laser altimeter measurements. *Int. J. Remote Sens.*, 17, 2185-2200.
- Wang, C., Yang, X., Xi, X., Nie, S., & Dong, P. (2024). Introduction to LiDAR Remote Sensing (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032671512>.

ABSTRACT

The LiDAR equation calculates object points in airborne laser scanning technology

Tran Trung Anh^{1,2*}, Tran Hong Hanh^{1,2}, Luu Hai Au³, Quach Manh Tuan⁴

¹*Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology*

²*Geomatics in Earth Sciences Research Group, Hanoi University of Mining and Geology*

³*The Vietnam Institute of Surveying and Mapping*

⁴*Northern QT Construction and Trade Joint Stock Company*

This study applied the LiDAR equation to calculate ground point coordinates in airborne laser scanning technology. The results were obtained through mathematical and geometric foundations, constructing the LiDAR equation, and analyzing airborne laser scanning data based on field measurements. From this, several observations were made: LiDAR boresight calibration: The LiDAR equation involves fixed parameters for computing the entire dataset. These include accuracy-critical values such as the deviation (coordinates and rotation angles) between the Inertial Measurement Unit (IMU) and the Laser Transmitter. Ensuring high precision for these parameters is essential. Shared Parameters: Parameters related to laser beam emission time, such as IMU coordinates and rotation angles, also need accurate determination since they impact laser scanning. Additionally, each laser scan beam has its specific rotation angle for synchronizing coordinates within the laser transmitter system. Considering distance, a single laser beam can capture multiple layers of ground reflection (typically 1 to 3 or more, depending on the scanning device's technical capabilities and the ground object). This allows computation of point coordinates across different layers. LiDAR Process Assurance: The LiDAR processing workflow ensures consistency and minimizes errors. Experimental validation in the Tang Tien ward, Viet Yen town, Bac Giang province, involved airborne laser scanning using the DJI M350 aircraft and the Zenmuse L2 scanner. The validated LiDAR equations based on this field experiment demonstrate clarity and accuracy.

Keywords: LiDAR equation, airborne laser, object point, GNSS, IMU.

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

Nhà A16 - Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

Điện thoại: Phòng Phát hành: **024.22149040**;

Phòng Biên tập: **024.37917148**;

Phòng Quản lý Tổng hợp: **024.22149041**;

Fax: **024.37910147**; Email: **nxb@vap.ac.vn**; Website: **www.vap.ac.vn**

**HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA
CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN VÌ SỰ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
NATIONAL CONFERENCE
ON GEOSPATIAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT
(NCGSD - 2024)**

Chịu trách nhiệm xuất bản

Giám đốc, Tổng biên tập

PHẠM THỊ HIẾU

Biên tập:

Nguyễn Thị Chiên

Trình bày kỹ thuật:

PGS.TS Nguyễn Văn Trung

Trình bày bìa:

Nguyễn Minh Hải

Liên kết xuất bản:

GS.TS Trần Thanh Hải - Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Địa chỉ: 18 Phố Viên, Đông Ngạc, Bắc Từ Liêm, Hà Nội

ISBN: 978-604-357-305-3

In 100 cuốn, khổ 21×29,7 cm, tại Công ty Cổ phần Khoa học và Công nghệ Hoàng Quốc Việt. Địa chỉ: Số 11 ngách 1, ngõ 1 Võ Chí Công, P. Nghĩa Đô, Q. Cầu Giấy, TP. Hà Nội. Số xác nhận đăng ký xuất bản: 3231-2024/CXBIPH/02-36/KHTNVN. Số quyết định xuất bản: 50/QĐ-HKTNCN, tháng 10 năm 2024. In xong và nộp lưu chiểu quý IV năm 2024.

ISBN: 978-604-357-305-3



9 786043 573053

SÁCH KHÔNG BÁN