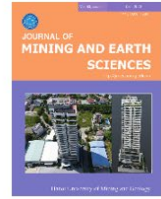




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Study on workflow of acquiring, processing, and classifying LiDAR point cloud for establishment of 3D city models



Quan Anh Duong ¹, Hien Dinh Le ², Hiep Van Pham ¹, Cuong Quoc Nguyen ³, Quy Ngoc Bui ^{1,*}

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Natural resources and Environment One Member Co., Ltd, Hanoi, Vietnam

³ Government office, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:
Received 15th Mar. 2022
Revised 30th June 2022
Accepted 01st Aug. 2022

Keywords:

3D city model,
Level of Detail -LoD,
LiDAR,
Point cloud.

ABSTRACT

Along with the development of mapping technologies, the data acquisition system through the aerial laser scanning system has created a huge LiDAR point cloud data source. This is an essential and detailed data source that effectively serves various fields such as making maps and 3D maps, etc. The process of building 3D city models requires processing many types of data, at which point cloud data processing and classification play an essential role in creating an input data source for the model. Study on workflow for acquiring, processing, and classifying point cloud data is meaningful. It plays a vital role in the development and application of LiDAR technique in the current period, especially in building smart cities. The article introduces a method for acquiring, processing, and classifying LiDAR point cloud data to establish 3D city models. Based on the proposed approach, a pilot 3D model of the city in Thuong Ly ward, Hong Bang district, Hai Phong city was generated. The result of point cloud classification's accuracy is very good, ranging from 92% to 99% depend on type of object. Based on the classification, the city's 3D model is established with 2nd Level of Detail (LOD2) for Thuong Ly ward. The model is very useful in urban planning and management, and in the number of managing task such as infrastructure development, rescues and disaster prevention, military services and real estate business.

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: buingocquy@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).01



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Xây dựng quy trình thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố

Dương Anh Quân¹, Lê Đình Hiến², Phạm Văn Hiệp¹, Nguyễn Quốc Cường³, Bùi Ngọc Quý^{1,*}

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Công ty TNHH MTV Tài nguyên và Môi trường Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

³ Văn phòng Chính phủ, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 15/3/2022

Sửa xong 30/6/2022

Chấp nhận đăng 01/8/2022

Từ khóa:

Cấp độ chi tiết -LoD,

Đám mây điểm,

LiDAR,

Mô hình 3D thành phố.

TÓM TẮT

Cùng với sự phát triển của các công nghệ đo đạc bản đồ, hệ thống thu nhận dữ liệu thông qua hệ thống quét laser hàng không đã tạo ra một nguồn dữ liệu đám mây điểm LiDAR rất lớn. Đây là nguồn dữ liệu quan trọng và chi tiết phục vụ đắc lực cho các lĩnh vực khác nhau như thành lập bản đồ, bản đồ 3D,... Quá trình xây dựng mô hình 3D thành phố đòi hỏi phải xử lý nhiều loại dữ liệu, trong đó công tác xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm có vai trò quan trọng trong việc tạo nguồn dữ liệu đầu vào cho mô hình. Việc xây dựng quy trình thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm có ý nghĩa và vai trò quan trọng trong việc phát triển và ứng dụng công nghệ LiDAR trong giai đoạn hiện nay, nhất là trong bối cảnh xây dựng các thành phố thông minh. Bài báo giới thiệu quá trình xây dựng quy trình thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố. Trên cơ sở quy trình đã đề xuất tiến hành xây dựng thử nghiệm mô hình 3D thành phố khu vực phường Thượng Lý, quận Hồng Bàng, thành phố Hải Phòng. Kết quả cho thấy độ chính xác phân loại các đối tượng đạt mức độ rất cao (92÷99%). Từ kết quả phân loại này, mô hình 3D thành phố khu vực phường Thượng Lý được xây dựng hoàn chỉnh ở mức độ LoD2. Mô hình này có thể ứng dụng rộng rãi trong các công tác về quản lý, quy hoạch đô thị và các vấn đề khác như phát triển hạ tầng, cứu nạn và phòng chống thiên tai, quân sự và bất động sản.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Mô hình 3D thành phố ứng dụng trong công tác mô hình hóa bề mặt không gian đã được quan

tâm nghiên cứu ở nhiều nước trên thế giới như: Úc, Nhật Bản, Đức, Anh, Trung Quốc, Đài Loan,... (Siyka và nnk., 2002; Masahiko, 2004; Zhao, 2012; Fuan, 2013) cũng như ở nước ta (Le và nnk., 2020; Bui, 2015; Quy Ngọc Bui, Hiệp Văn Phạm, 2017; Bui và nnk., 2020; 2021). Ngay từ thời kỳ đầu của lịch sử phát triển bản đồ học, các nhà bản đồ đã tìm ra nhiều phương pháp mô hình hóa bề mặt trái đất lên mặt phẳng bản đồ. Với mô hình

*Tác giả liên hệ

E - mail: buingocquy@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).01

3D, các nhà bản đồ học đã mô hình hóa bề mặt lãnh thổ một cách trực quan, sinh động giúp cho quá trình nhận thức về lãnh thổ nhanh hơn, trực quan hơn. Các mô hình 3D đã được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: thủy văn, giao thông, quy hoạch và quản lý đô thị, quân sự,... (Siyka và nnk., 2002; Drogue và nnk., 2002; Gerhard và nnk., 2011).

Cùng với sự phát triển của các khoa học đo đạc bản đồ và thông tin địa lý, nhiều công nghệ tiên tiến như hệ thống máy bay không người lái (UAV), hệ thống quét laser mặt đất, hệ thống quét LiDAR hàng không; hệ thống moblie mapping,... đã ra đời. Các công nghệ mới này đã giúp cho công tác đo đạc thu thập dữ liệu dần dịch chuyển từ các thiết bị đo đạc truyền thống, đơn lẻ từng điểm sang các phương pháp thu thập thông tin không gian một cách toàn diện và nhanh chóng. Định dạng dữ liệu chung của các thiết bị này đó là dữ liệu đám mây điểm 3D mang thông tin chính xác về tọa độ địa lý và nhiều thông tin khác như màu sắc, cường độ phản xạ, xung phản hồi,... Với sự xuất hiện của dữ liệu đám mây điểm 3D, thế giới thực được thể hiện một cách đầy đủ trực quan với đúng tỷ lệ. Hơn nữa, khối lượng dữ liệu đám mây điểm 3D được thu thập ngày càng nhiều đã tạo điều kiện thuận lợi cung cấp nguồn thông tin đa dạng, đầy đủ để phân loại phục vụ xây dựng các đối tượng nội dung địa lý của mô hình 3D thành phố với các cấp độ chi tiết khác nhau (Level of Detail -LoD): từ LoD0 đến LoD4 được gắn thêm các thông tin thuộc tính để phục vụ các ứng dụng quy hoạch, quản lý môi trường đô thị, không gian, cảnh quan,...

Có thể nói, mô hình 3D của một thành phố hoặc vùng lãnh thổ trong một hệ thống thông tin giúp hỗ trợ một cách hiệu quả cho việc quy hoạch, thiết kế, xây dựng, quản lý đô thị thông minh và nhiều ứng dụng khác. Việc triển khai xây dựng mô hình 3D thành phố không chỉ biểu thị các yếu tố bề mặt và các thuộc tính của đối tượng mà nó còn có những chức năng của một thành phố thực sự trong không gian ảo. Vì vậy, việc nghiên cứu xây dựng quy trình thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao trong giai đoạn hiện nay. Đây cũng là nền tảng cho phát triển thành phố thông minh trong kỷ nguyên của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, kỷ nguyên của Internet vạn vật (IoT).

2. Công nghệ LiDAR

2.1. Tổng quan về công nghệ LiDAR

LiDAR là công nghệ tiên tiến hàng đầu trong hệ thống các công nghệ thu thập dữ liệu không gian trên thế giới hiện nay, được hình thành cùng với sự phát triển và ứng dụng của các thiết bị laser, định vị vệ tinh và đo quán tính để thu thập dữ liệu địa lý trên bề mặt trái đất. Hệ thống LiDAR được tích hợp từ 3 thành phần chính: hệ thống thiết bị Laser (Light amplification by stimulated emission of radio), hệ thống GPS (Global Positioning System) và hệ thống INS (Inertial Navigation System). Hệ thống thiết bị laser được thiết kế phát các chùm tia laser, thu nhận các tia laser phản xạ và thu nhận dữ liệu cường độ tín hiệu laser phản xạ từ các đối tượng khác nhau trên bề mặt đất. Hệ thống định vị toàn cầu GPS có nhiệm vụ xác định chính xác vị trí (X,Y,Z) của thiết bị quét laser đặt trên máy bay. Hệ thống điều khiển hàng hướng quán tính INS sẽ đo gia tốc theo các hướng XYZ, đo các góc nghiêng của máy bay để xác định các góc định hướng của tia quét. Các hệ thống được kết nối qua bộ điều khiển trung tâm (CPU) và được điều khiển một cách đồng bộ, chính xác bởi một máy tính đã cài phần mềm tương thích.

Nguyên lý hoạt động của hệ thống LiDAR là nguyên lý của phép đo dài ánh sáng, định vị không gian và nguyên lý phát hiện tín hiệu. Dữ liệu của LiDAR thu nhận được là tập hợp các điểm với mật độ dày đặc, phân bố ngẫu nhiên và chứa đựng nhiều thông tin định tính và định lượng của các đối tượng địa lý. Tuy nhiên, các thông tin hình ảnh đặc trưng của địa hình, địa vật hay các đường viền của các đối tượng địa lý không thể hiện được rõ ràng và sắc nét trong dữ liệu LiDAR.

2.2. Đặc điểm cơ bản của công nghệ LiDAR

Hệ thống LiDAR bao gồm các thiết bị định vị không gian, như thiết bị định vị vệ tinh GPS, đo xa laser, điều khiển hàng hướng INS,... Hoạt động của hệ thống và sản phẩm tạo ra gắn liền với công nghệ tin học, các dữ liệu được quản lý và lưu trữ đều ở dạng số. Công tác khai thác, ứng dụng các sản phẩm của LiDAR rất thuận lợi cho mục đích thành lập bản đồ số, hiệu chỉnh bản đồ, thành lập cơ sở dữ liệu thông tin địa lý (GIS), quản lý đô thị, dựng mô hình 3D, dự báo ngập lụt, quản lý rừng, khai thác mỏ,...

Độ chính xác xác định vị trí không gian của các đối tượng địa lý rất cao < 20 cm về độ cao, độ chính xác mặt phẳng < 25 cm và có thể đáp ứng tốt các yêu cầu về độ chính xác xây dựng mô hình 3D thành phố ở cấp độ LoD2 (Lê, 2019).

Thời gian thu thập và xử lý dữ liệu nhanh. Thời gian bay quét LiDAR với 1000 km² là khoảng 25÷30 giờ, thời gian xử lý tạo DEM trong khoảng 10 ngày (Lê, 2019). Không giống như các phương pháp đo ảnh hay đo đạc ngoài trời khác, công nghệ LiDAR chủ yếu là tự động hóa, ít có sự can thiệp trực tiếp của con người. Thành quả dữ liệu rất khách quan, mức độ tin cậy cao. Hệ thống LiDAR thu thập dữ liệu không phụ thuộc vào ánh sáng mặt trời, có thể thực hiện cả ngày và đêm, điều kiện thời tiết không đòi hỏi khắt khe. Xung ánh sáng của hệ thống LiDAR có thể đi qua đối tượng vòm như tán cây, mặt nước, mái che kính, tấm ni lông mỏng,... và phản xạ tới 4 lần (Lê, 2019). Mỗi lần phản xạ là một mức truyền khác nhau và ghi nhận một giá trị tọa độ (XYZ) khác nhau và là một tính năng đặc biệt mà công nghệ đo vẽ ảnh khác không thể thực hiện được. Với tính năng này việc thực hiện bay quét ở vùng rừng cây hoặc nơi có thực phủ không quá dày đặc vẫn có thể thi công và thể hiện được bề mặt đất (DTM).

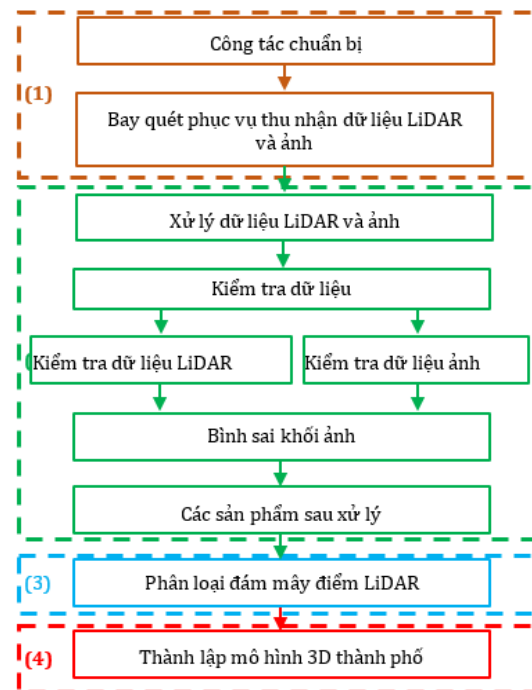
Độ phân giải điểm đo chi tiết cao, khi đầu phát đạt 150.000 xung trên 1 giây, độ cao bay 1000 m thì mật độ khoảng 3 điểm trên 1 m². Hiện nay, có nhiều hệ thống LiDAR có đầu phát đạt 240.000 xung trên 1 giây. Công nghệ LiDAR với khả năng đo điểm trực tiếp ngoại nghiệp mật độ rất cao, độ chính xác lớn, tốc độ nhanh là ưu điểm vượt trội mà hiện nay chưa có công nghệ nào khác so sánh được. Điểm khống chế mặt đất rất ít, có thể chỉ 1 điểm cho mục đích cải chính DGPS. Công nghệ LiDAR đặc biệt lợi ích là công cụ lý tưởng khi nó được áp dụng cho các vùng địa hình khó khăn, hẻo lánh nơi mà con người rất khó tiếp cận trong triển khai đo đạc ngoại nghiệp. Công nghệ LiDAR cũng ghi nhận được các giá trị mức phản xạ ánh sáng của các đối tượng trên mặt đất, dữ liệu này có thể được dùng để tạo ra ảnh cường độ xám, phân loại và chiết xuất đối tượng trên mặt đất. Đây là một đặc tính có giá trị gia tăng của dữ liệu LiDAR. Bên cạnh đó, một số hệ thống LiDAR ngoài chức năng đo quét trên mặt đất, còn có thể thực hiện chức năng đo sâu (40 m) (Lê, 2019). Hiệu quả kinh tế rất cao khi ứng dụng công nghệ LiDAR cho mục đích thu thập dữ liệu không gian trong phạm vi

rộng với yêu cầu thời gian ngắn, độ chính xác cao và mật độ dày đặc.

3. Xây dựng quy trình thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố

3.1. Quy trình tổng quát trong thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu

Quy trình tổng quát thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu LiDAR hàng không phục vụ xây dựng mô hình 3D thành phố được đề xuất sẽ bao gồm 4 công đoạn chính như sau: (1) Thu thập dữ liệu; (2) Xử lý dữ liệu; (3) Phân loại đám mây điểm; (4) Xây dựng mô hình 3D thành phố (Hình 1).



Hình 1. Quy trình tổng quát thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố.

3.2. Quy trình chi tiết thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố

Trên cơ sở quy trình tổng quát đã xây dựng ở mục 3.1, kết hợp với các nghiên cứu về các hệ thống bay chụp LiDAR, đặc điểm dữ liệu đám mây điểm LiDAR và công tác xây dựng mô hình 3D thành phố, nhóm tác giả đã xây dựng quy trình chi tiết thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây

điểm LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố (Hình 2).

3.2.1. Quy trình thu nhận dữ liệu đám mây điểm LiDAR

Quá trình thu nhận dữ liệu đám mây điểm LiDAR được thực hiện theo quy trình bao gồm các công tác: (1) Thiết kế nhiệm vụ; (2) Đo điểm khống chế ảnh, trạm base; (3) Bay quét và chụp ảnh LiDAR. Kết quả của quá trình thu nhận dữ liệu sẽ thu được dữ liệu điểm khống chế ảnh, dữ liệu trạm base, dữ liệu đám mây điểm và ảnh chụp LiDAR thô.

3.2.2. Quy trình xử lý dữ liệu đám mây điểm LiDAR

Từ dữ liệu đo đạc khống chế ngoài thực địa (dữ liệu đo điểm khống chế ảnh, dữ liệu trạm base) và dữ liệu đám mây điểm (dạng thô) cùng ảnh chụp bề mặt địa hình sau khi thu nhận ngoài thực địa được đưa vào xử lý theo quy trình xử lý chi tiết được xây dựng gồm các bước: (1) Tính toán quỹ đạo, định vị; (2) Ingest dữ liệu; (3) lý tông màu và khớp dải bay; (4) Tìm điểm cùng tên, khớp ảnh; (5) Nắn ảnh; (6) Bình sai khối ảnh; (7) Xuất các sản phẩm sau xử lý dữ liệu. Kết quả của quá trình triển khai quy trình xử lý dữ liệu LiDAR sẽ thu được dữ liệu đám mây điểm đã lọc nhiễu và



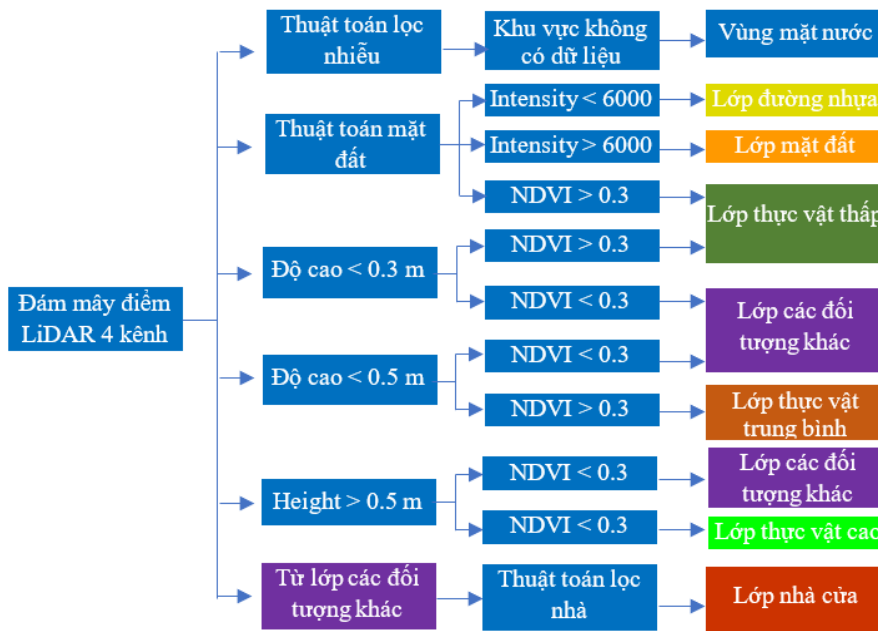
Hình 2. Quy trình chi tiết thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố.

dữ liệu ảnh.

3.2.3. Quy trình phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR

Các đám mây điểm của khu vực nghiên cứu được chụp bởi hệ thống LiDAR hàng không City Mapper. Các tín hiệu và hình ảnh LiDAR sẽ được xử lý trước với sự điều chỉnh điểm khống chế ảnh, sau đó sẽ sử dụng phần mềm HxMap của hãng Leica để xử lý dữ liệu thu nhận từ hệ thống City Mapper và xuất các đám mây điểm LiDAR với bốn dải màu, bao gồm đỏ - xanh lục - xanh lam - hồng ngoại gần. Dựa trên các đặc điểm của đám mây điểm, nhóm tác giả đã xây dựng quy trình chi tiết các bước để phân loại tự động các đám mây điểm thành các lớp khác nhau theo các đối tượng địa lý bao gồm: các nhóm lớp điểm mặt đất, lớp điểm

nhà, lớp điểm giao thông, lớp điểm thực vật. Đám mây điểm sau khi phân loại sẽ là dữ liệu đầu vào để thành lập mô hình 3D thành phố. Quy trình chi tiết bao gồm quá trình xử lý với các thuật toán lọc dữ liệu đám mây điểm. Bên trong quy trình làm việc này, bước đầu tiên là phân loại các điểm trong đám mây điểm thành các lớp đối tượng địa lý. Việc phân loại dữ liệu đám mây điểm này dựa trên các mức ngưỡng được mô tả trong Hình 3. Mức ngưỡng được phát triển dựa trên đặc điểm tự nhiên của các lớp đối tượng trong đám mây điểm cũng như cường độ phản xạ của các đối tượng địa lý được khuyến cáo từ hãng sản xuất thiết bị (Bảng 1). Có bốn đặc điểm được sử dụng để phát triển mức ngưỡng đó là: cường độ, chỉ số thực vật (NDVI), chiều cao và hình học (Bui và nnk., 2021).



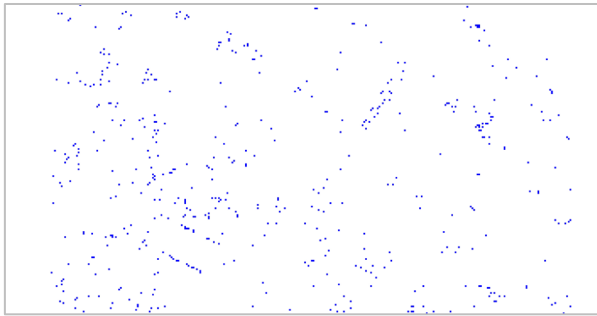
Hình 3. Ngưỡng phân loại các đối tượng từ dữ liệu đám mây điểm (Bui và nnk., 2021).

Bảng 1. Cường độ phản hồi của các loại bề mặt khác nhau.

Vật liệu	Mức độ phản xạ (%)	Vật liệu	Mức độ phản xạ (%)
Giấy trắng	Lên đến 100	Cát các bon (khô)	57
Vật liệu gỗ phẳng	94	Cát bờ biển	50
Tuyết	80-90	Cát các bon (ẩm)	41
Bọt biển	88	Cây lá kim	30
Nề trắng	85	Bê tông bề mặt mịn	24
Đá vôi & đất sét	Lên đến 75	Nhựa đường với đá cuội	17
Báo	69	Nham thạch	8
Giấy ăn	60	Cao su đen	2

3.2.3.1. Lọc bỏ điểm nhiễu

Do tia quét LiDAR của hệ thống City Mapper bị nước hấp thụ nên các vùng mặt nước (biển, ao, hồ,...) không có tia phản hồi. Do đó, các khu vực này chỉ tồn tại số lượng nhỏ các điểm nhiễu đơn lẻ. Do đó, cần tiến hành sử dụng thuật toán phân loại các điểm đơn lẻ có khoảng cách lớn so với các điểm khác để đưa các điểm này về lớp mặt nước. Đồng thời tiến hành lọc bỏ các điểm nhiễu có độ cao thấp bất thường, để tránh gây ảnh hưởng đến quá trình lọc mặt đất tiếp theo. Sau khi lược bỏ các điểm nhiễu và lớp mặt nước, tiến hành khoanh các vùng không có dữ liệu để lấy các khu vực mặt nước (Hình 4).



Hình 4. Các điểm LiDAR nhiễu có độ cao thấp bất thường được lọc bỏ điểm thấp (low point).

3.2.3.2. Phân loại điểm mặt đất

Bước đầu tiên của quá trình lọc là chọn điểm hạt giống. Quá trình này được tiến hành với tham số đầu vào là kích cỡ nhà lớn nhất. Với giá trị này, đám mây điểm sẽ được chia thành các ô lưới (grid) có chiều dài cạnh bằng tham số nhập.

Quá trình tạo grid: đầu tiên cần xác định số hàng (nRow) và số cột (nCol), 2 giá trị này được tính theo công thức (1)

$$\begin{aligned} nRow &= \frac{(rLasYmax - rLasYmin)}{rHeight} \\ nCol &= \frac{(rLasXmax - rLasXmin)}{rWidth} \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó: rLasXmax, rLasYmax, rLasXmin, rLasYmin - lần lượt là giá trị X, Y lớn và nhỏ nhất của toàn bộ dữ liệu; rHeight và rWidth - chiều dài và chiều rộng của ô lưới, trong trường hợp này bằng nhau và bằng giá trị kích thước nhà lớn nhất được nhập.

Tiếp theo, chia dữ liệu đám mây điểm theo ô lưới, quá trình này tiến hành xét trên từng điểm, nếu giá trị X, Y của điểm đó nằm trong ô lưới nào

sẽ đưa vào ô lưới đó. Giá trị tọa độ X, Y của từng ô lưới tính được như trong công thức (2).

$$\begin{aligned} rX1 &= rLasXmin + i * rWidth \\ rY1 &= rLasYmin + j * rHeight \\ rX2 &= rX1 + rWidth \\ rY2 &= rY1 + rHeight \end{aligned} \quad (2)$$

Xét điều kiện kép giá trị rXo và rYo của từng điểm nằm trong ô lưới nào sẽ được đưa vào trong danh sách điểm của ô lưới đó. Quá trình này được thực hiện với lệnh lặp "For Next" với biến chạy tương ứng với số hiệu các điểm trong tập hợp dữ liệu đám mây điểm *.Las.

Tiếp theo, lựa chọn điểm có giá trị độ cao Z thấp nhất trong mỗi ô lưới, tìm được các điểm mặt đất khởi tính cho thuật toán. Với các điểm khởi tính tại mỗi ô lưới, tiến hành thành lập mô hình TIN ban đầu bề mặt của khu vực bằng mạng lưới các tam giác. Tuy nhiên, mô hình này chỉ là mô hình khởi tính, có giá trị thấp hơn nhiều so với bề mặt thật. Từ mô hình này, thuật toán sẽ xét từng điểm còn lại.

Với mỗi điểm được xét, nếu nằm trong tam giác và thỏa mãn điều kiện đồng thời nhỏ hơn 2 giá trị góc lạp và khoảng cách lạp. Điểm này sẽ được đưa vào danh sách điểm mặt đất, đồng thời xóa tam giác chứa nó và tạo ra 3 tam giác giữa điểm đó và 3 cạnh của tam giác ban đầu.

Xây dựng hàm xét khoảng cách lạp (Iteration Distance - ID) (Công thức 3):

Đầu vào của hàm này là tọa độ X, Y, Z của 3 điểm thuộc tam giác (rX1, rY1, rZ1), (rX2, rY2, rZ2), (rX3, rY3, rZ3) và điểm xét duyệt. Đầu ra là khoảng cách từ điểm xét duyệt tọa độ (rXc, rYc, rZc) đến mặt phẳng đó, như vậy:

$$ID = \frac{(a * rXc + b * rYc + c * rZc + d)}{\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}} \quad (3)$$

Với a, b, c - tọa độ của véc tơ pháp tuyến n(a;b;c) của mặt phẳng xét. Tính được theo công thức (4).

$$\begin{aligned} a &= (rY2 - rY1) * (rZ3 - rZ1) - (rY3 - rY1) * (rZ2 - rZ1) \\ b &= (rZ2 - rZ1) * (rX3 - rX1) - (rZ3 - rZ1) * (rX2 - rX1) \\ c &= (rX2 - rX1) * (rY3 - rY1) - (rX3 - rX1) * (rY2 - rY1) \end{aligned} \quad (4)$$

$$d = -(a * rX1 + b * rY1 + c * rZ1)$$

Như vậy, với các giá trị X, Y, Z tọa độ của 3 đỉnh

tam giác và điểm xét đã biết, thay vào công thức (3) sẽ tính được khoảng cách từ mỗi điểm xét đến mặt phẳng xét. Thuật toán sẽ xét giá trị khoảng cách lặp này nếu nhỏ hơn ngưỡng cho phép đồng thời thỏa mãn về giá trị góc được tính sau đó thì điểm sẽ được tính là điểm mặt đất.

Để xây dựng hàm xác định góc lặp (Iteration Angle) cần tính khoảng cách từ điểm xét đến 3 đỉnh tam giác. Sử dụng công thức tính khoảng cách giữa 2 điểm trong không gian 3 chiều theo công thức (5).

$$d = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z)^2} \quad (5)$$

Khi đó, khoảng cách từ điểm xét đến lần lượt 3 cạnh của tam giác sẽ tính được. Tiếp theo, lựa chọn cạnh ngắn nhất (DistMin), cùng với giá trị khoảng cách từ điểm xét đến mặt phẳng đã tính được từ trước (IteDist), sẽ tính được giá trị góc cần xét theo công thức (6).

$$\sin \alpha = \frac{IteDist}{DistMin} \quad (6)$$

Lấy Arcsin của giá trị trên, sẽ tính được góc giữa điểm xét với mặt phẳng. Nếu giá trị này nhỏ hơn giá trị tham số xét, đồng thời thỏa mãn điều kiện về khoảng cách lặp phía trước, điểm xét sẽ được đưa về điểm mặt đất.

Với bề mặt TIN được dựng từ các điểm hạt giống chọn từ các điểm thấp nhất trong mỗi ô lưới, áp dụng điều kiện lặp như trên lần lượt cho từng điểm còn lại, điểm nào thỏa mãn thì đưa về điểm mặt đất, sau đó dựng 3 tam giác mới từ điểm mặt đất mới với 3 điểm của tam giác xét điểm ban đầu. Như vậy, vòng lặp sẽ liên tục tìm ra các điểm mặt đất và dựng lên bề mặt TIN gần đúng với bề mặt thực. Vòng lặp sẽ dừng lại khi khoảng cách từ điểm xét đến mặt phẳng bề mặt TIN có giá trị bằng với độ biến thiên (Vari) của dữ liệu LiDAR. Giá trị biến thiên này phụ thuộc vào sự không đồng nhất của dữ liệu. Nguyên nhân của sự không đồng nhất đến chủ yếu từ 3 yếu tố: đám mây điểm thuộc các đường bay quét khác nhau, sai số từ thiết bị GNSS và IMU, sai số của máy quét LiDAR. Độ biến thiên của dữ liệu quét từ hệ thống City Mapper trong khoảng 3÷5 cm và lớn hơn với các thiết bị UAV LiDAR. Độ biến thiên này có thể xác định được khi kiểm tra dữ liệu bay quét về và có thể tối ưu bằng việc sử dụng công cụ khớp dải LiDAR (LiDAR matching).

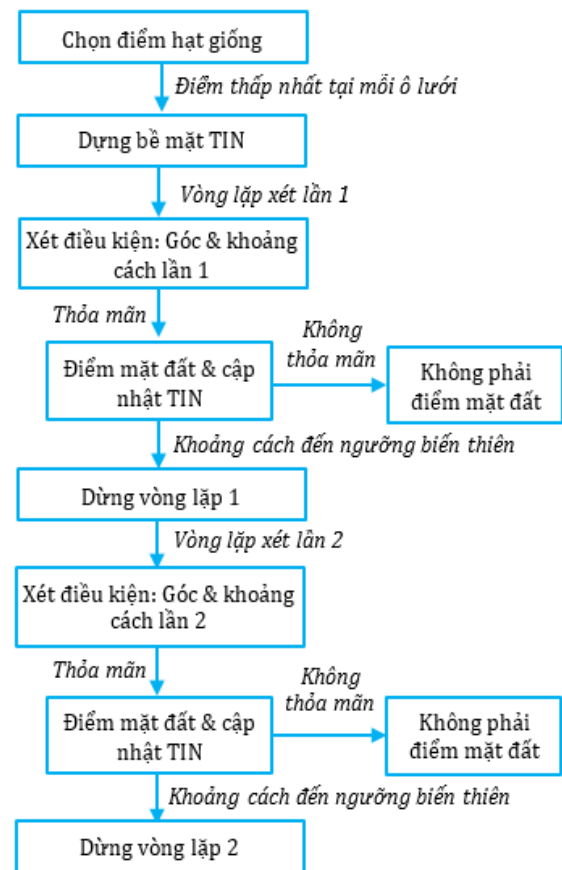
Với $Vari = DistMin \times \sin \alpha$

Có thể đặt điều kiện dừng vòng lặp khi:

$$DistMin = \frac{Vari}{\sin \alpha} \quad (7)$$

Sau khi vòng lặp thứ nhất kết thúc, tiếp tục tiến hành vòng lặp thứ hai với nguyên lý tương tự nhưng điểm khởi tính lúc này sẽ là các điểm bề mặt đã được lọc sau vòng lặp thứ nhất. Đồng thời giá trị góc lặp xét sẽ được tăng lên, giúp thuật toán tìm kiếm được điểm mặt đất tại những bề mặt có độ dốc lớn như: các ta-luy, bờ kè, đường đắp cao, các mỏm đá ở ven biển hay các vùng đồi núi xen lẫn trong đô thị. Đồng thời giá trị khoảng cách xét sẽ giảm đi để tránh các bước nhảy lớn vào các bề mặt đối tượng như: ghế đá, rèm bạt trong đô thị,... Các giá trị được thay đổi trong vòng lặp thứ 2 giúp tránh được việc phân loại nhầm các đối tượng mái nhà, do các đối tượng này đã được loại bỏ trong vòng lặp thứ nhất (Hình 5).

Trong phần thực nghiệm, bài báo sử dụng các thông số lặp được sử dụng bao gồm:



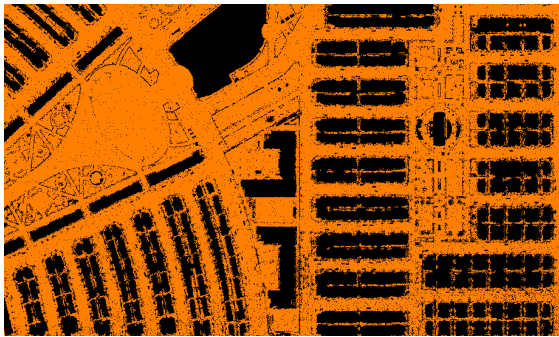
Hình 5. Quy trình thuật toán lọc mặt đất tăng cường.

- Kích thước ô lưới Grid: 120 m;

- Ngưỡng góc xét 1: 6° ;

- Ngưỡng khoảng cách xét 1,4 m;
- Ngưỡng dừng vòng lặp 1: $DistMin = \frac{Vari}{\sin\alpha}$;
với Vari = 0,04 m, $\alpha = 6^\circ$, xác định được Distmin = 0,383 m;
- Ngưỡng góc xét lần 2: 15° ;
- Ngưỡng khoảng cách xét 0,3 m;
- Ngưỡng dừng vòng lặp 2: Distmin = $\frac{Vari}{\sin\alpha}$; với Vari = 0,04 m, $\alpha = 15^\circ$, sẽ xác định được Distmin = 0,155 m.

Các thông số trên được lựa chọn dựa theo đặc điểm địa hình của khu thực nghiệm, sau nhiều lần chạy thử nghiệm, các giá trị được chọn là các giá trị đem lại kết quả phân loại tối ưu (Hình 6). Còn giá trị Vari được lấy bằng giá trị biến thiên của dữ liệu City Mapper tại khu vực thực nghiệm sau đo.



Hình 6. Lớp điểm mặt đất (Ground) được tách ra sau khi sử dụng thuật toán phân loại mặt đất tăng cường.

3.2.3.3. Phân loại điểm thực vật

Lớp điểm thực vật được tách ra lần thứ nhất trong lớp mặt đất bằng thuật toán NDVI. Sau đó, tiến hành tính toán khoảng cách cho tất cả các điểm không phải mặt đất so với bề mặt TIN được tạo từ lớp mặt đất. Nguyên lý tương tự với thuật toán mặt đất đã xây dựng khi thông qua bước xét duyệt điểm nằm trong tam giác, sau đó tính toán khoảng cách điểm đó đến mặt phẳng đi qua 3 điểm của tam giác trên. Tất cả các điểm còn lại sẽ được đo khoảng cách với mặt đất bằng thuật toán tính khoảng cách.

Quy trình phân loại tiếp tục bằng việc phân ra 3 lớp tạm thời dựa theo khoảng cách so với mặt đất bao gồm:

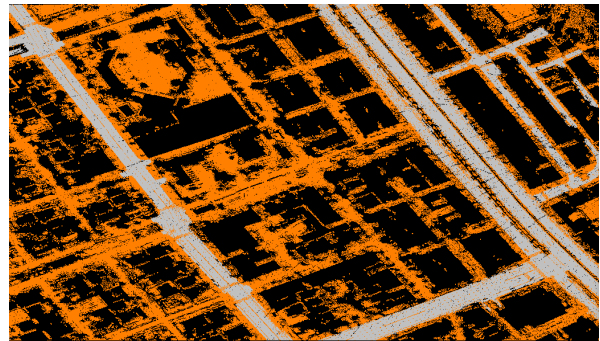
- Lớp thực vật thấp tạm thời: khoảng cách so với mặt đất nhỏ hơn 0,3 m;
- Lớp thực vật trung bình tạm thời: khoảng cách so với mặt đất >0,3 m và <0,5 m;
- Lớp thực vật cao tạm thời: khoảng cách so

với mặt đất lớn hơn 0,5 m.

Tiếp tục phân loại dựa trên giá trị NDVI của 3 lớp trên, tất cả các điểm có giá trị NDVI nhỏ hơn 0,3 sẽ được đưa về lớp các đối tượng khác và giúp 3 lớp thực vật thấp, trung bình và cao.

3.2.3.4. Phân loại điểm giao thông

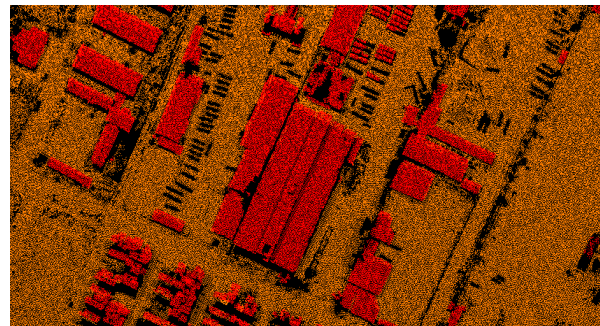
Thuật toán phân loại giao thông được sử dụng lên tất cả các điểm mặt đất (Ground) sau khi lọc bỏ thực vật. Tất cả các điểm có giá trị cường độ <6000 được đưa về lớp đường nhựa. Giá trị này được lựa chọn sau khi tiến hành chạy thử nghiệm nhiều lần để đạt ngưỡng tối ưu cho đối tượng này. Sau quá trình thực hiện thuật toán sẽ thu được kết quả phân loại lớp điểm giao thông (Hình 7).



Hình 7. Lớp điểm đường nhựa được tách ra sau khi sử dụng thuật toán phân loại điểm giao thông.

3.2.3.5. Phân loại điểm mái nhà

Thuật toán phân loại mái nhà được sử dụng lên lớp điểm các đối tượng khác (lớp đối tượng này đã được loại bỏ tất cả các điểm thực vật và mặt đất). Các bề mặt phẳng trong lớp các đối tượng khác thỏa mãn ngưỡng góc so với mặt đất sẽ được đưa về lớp mái nhà (Hình 8).



Hình 8. Lớp điểm mái nhà.

3.2.4. Đánh giá độ chính xác kết quả phân loại đám mây điểm

Kết quả phân loại dữ liệu đám mây điểm được nhóm tác giả tiến hành đánh giá độ chính xác phân loại cho các đối tượng (điểm mặt đất, đường nhựa, nhà) theo công thức (8); độ chính xác phân loại thực vật được đánh giá theo công thức (9).

$$P_{AC} = \frac{A_C}{A_{DC}} \quad (8)$$

Trong đó: độ chính xác P_{AC} là tỉ lệ của diện tích khu vực tự động phân loại chính xác A_C so với diện tích toàn bộ khu vực được tự động phân loại A_{DC} .

$$P_{NC} = \frac{N_C}{N_{DC}} \quad (9)$$

Với độ chính xác P_{NC} là tỉ lệ của số lượng đối tượng được tự động phân loại chính xác N_C so với toàn bộ số lượng đối tượng được tự động phân loại N_{DC} .

Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại dữ liệu đám mây điểm khu vực thực nghiệm cho thấy đạt kết quả khá cao (Bảng 2).

3.2.5. Quy trình thành lập mô hình 3D thành phố từ dữ liệu đám mây điểm LiDAR

Từ các dữ liệu phân loại đám mây điểm và ảnh chụp LiDAR tiến hành xây dựng quy trình dựng mô hình 3D thành phố (Hình 3). Đám mây điểm sau khi lọc nhiễu sẽ được sử dụng để dựng mô hình số độ cao bề mặt và mô hình số địa hình. Dữ liệu này sẽ được sử dụng để nắn bình đồ ảnh LiDAR. Bình đồ ảnh được tạo ra với đầu vào là ảnh bay chụp có 7 tham số định hướng chính xác sau khi xuất từ phần mềm HxMap. Các tấm ảnh chụp đơn sau khi được ghép thành các khối ảnh bằng các điểm cùng tên sẽ được nắn lên bề mặt mô hình số để tạo ra bình đồ ảnh.

Đám mây điểm LiDAR của đối tượng thực vật là dữ liệu đầu vào để thực hiện quá trình tự động phát hiện và tạo mô hình cây. Lớp điểm thực vật được tải lên phần mềm TerraScan và tạo các lát cắt dọc để tiến hành định nghĩa đặc điểm từng loại cây thông qua việc số hóa hình dáng cây, đồng thời đặt các tham số kích thước trong thư viện cây.

Tiến hành tìm cây trong khu vực dựa theo

đám mây điểm đã được tự động phân loại và tạo các ký hiệu cây tương ứng. Phần mềm TerraScan cho phép tự động tìm kiếm trong lớp điểm thực vật đã phân loại từ trước, các cụm điểm có đặc điểm thỏa mãn với các thông số hình dáng và kích thước đã định nghĩa sẽ được phát hiện và tạo ra các ký hiệu cây theo từng loại cây. Các ký hiệu cây này khi trình bày mô hình 3D thành phố sẽ được thay thế bằng mô hình cây tương ứng trong thư viện.

Dữ liệu đám mây điểm giao thông đã được phân loại sẽ được sử dụng trong quá trình tự động số hóa đường giao thông. Thuật toán tự động số hóa theo đám mây điểm được sử dụng để tự động vectơ hóa lớp điểm giao thông tạo ra mạng lưới đường xá giao thông.

Các ngôi nhà sẽ được tự động số hóa dựa trên lớp đám mây điểm mái nhà đã được phân loại ở quá trình phân loại trước đó trên cơ sở các tham số tối ưu được lựa chọn trong Hình 4. Mái các khối nhà LoD2 sẽ được tự động dán ảnh cắt từ bình đồ ảnh để tạo ra mô hình nhà 3D và đưa vào mô hình 3D thành phố.

Mô hình địa hình 3D được dán bình đồ ảnh để tạo ra bề mặt địa hình với ảnh thực. Tất cả các dữ liệu đã tạo được đưa vào cơ sở dữ liệu và trình bày để tạo ra mô hình 3D thành phố.

3.3. Kết quả xây dựng mô hình 3D khu vực phường Thượng Lý, quận Hồng Bàng, thành phố Hải Phòng

Trên cơ sở quy trình tổng quát và quy trình chi tiết trên, nhóm tác giả đã tiến hành xây dựng mô hình 3D thành phố tại phường Thượng Lý, quận Hồng Bàng, thành phố Hải Phòng. Mô hình được xây dựng ở cấp độ chi tiết LoD2 với nền địa hình 3D có dán bình đồ ảnh và các đối tượng nội dung được xử lý cùng như phân loại theo quy trình đã đề xuất bao gồm: thảm thực vật, đường giao thông, hệ thống thủy văn, nhà cửa và các đối tượng địa lý khác (Hình 9).

Bảng 2. Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại dữ liệu đám mây điểm khu vực thực nghiệm.

Điểm mặt đất			Đường nhựa			Nhà			Thực vật		
A_C (m ²)	A_{DC} (m ²)	Độ chính xác (%)	A_C (m ²)	A_{DC} (m ²)	Độ chính xác (%)	A_C (m ²)	A_{DC} (m ²)	Độ chính xác (%)	N_C (Điểm)	N_{DC} (Điểm)	Độ chính xác (%)
174030	178529	97,48	45403	45760	92,43	101970	102822	98,50	2001080	2020698	99,03



Hình 9. Mô hình 3D thành phố tại phường Thượng Lý, quận Hồng Bàng, thành phố Hải Phòng.

Mô hình 3D thành phố sau khi xây dựng có thể đạt cấp độ chi tiết LoD2 và cho phép sử dụng cho nhiều mục đích khác nhau như: an ninh - quốc phòng; quản lý và thiết kế đô thị; quy hoạch không gian; xác định các vấn đề môi trường và quản lý môi trường đô thị; phòng chống thiên tai, ứng phó tình huống; ứng dụng trong du lịch và bảo tồn di sản; quản lý hạ tầng, đô thị, cây xanh,...

4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu hệ thống bay chụp LiDAR hàng không và dữ liệu đám mây điểm thu được, bài báo đã đề xuất được quy trình tổng thể, quy trình chi tiết thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR phục vụ thành lập mô hình 3D thành phố. Quy trình công nghệ có thể tự động phân loại ra thành 8 lớp đối tượng bao gồm các lớp: mặt nước, giao thông, mặt đất, thực vật

thấp, thực vật trung bình, thực vật cao, nhà cửa và các đối tượng khác.

Mô hình 3D thành phố thực nghiệm được xây dựng ở cấp độ chi tiết LoD2 với các đối tượng nền địa hình và các đối tượng địa lý được xây dựng từ quá trình tự động phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR. Dữ liệu đám mây điểm được tự động phân loại theo quy trình công nghệ và thuật toán đề xuất trên cơ sở các tham số đã được nghiên cứu và thử nghiệm nhiều lần để lựa chọn giá trị ngưỡng tối ưu đối với từng đối tượng địa lý như: thủy văn, thực vật, giao thông, địa hình mặt đất, nhà cửa,... Kết quả phân loại đám mây điểm khu vực thực nghiệm cho độ chính xác khá cao (điểm mặt đất đạt 97,48%; đường nhựa đạt 92,43%; nhà đạt 98,5%; thực vật đạt 99,03%).

Quy trình công nghệ đề xuất có thể ứng dụng vào trong thực tiễn để thu nhận, xử lý và phân loại dữ liệu đám mây điểm LiDAR phục vụ cho quá trình thành lập các mô hình 3D thành phố với những khu vực địa hình khác nhau. Quy trình đề xuất giúp phân loại đám mây điểm thông qua các thuật toán và các ngưỡng giá trị được tính toán và tối ưu thông qua nhiều lần thực nghiệm, từ đó có thể tiến hành xây dựng các chương trình máy tính hỗ trợ tự động hóa quá trình phân loại dữ liệu đám mây điểm.

Đóng góp của tác giả

Dương Anh Quân - lên ý tưởng và viết phần tổng quan, xử lý dữ liệu; Lê Đình Hiến - xử lý và phân tích dữ liệu, dựng mô hình 3D; Phạm Văn Hiệp - thu nhận dữ liệu và rà soát bản thảo; Nguyễn Quốc Cường - lọc và kiểm tra dữ liệu, rà soát bản thảo; Bùi Ngọc Quý - lên ý tưởng, xây dựng quy trình và hoàn thiện bản thảo.

Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành từ sự hỗ trợ của đề tài Khoa học và công nghệ cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo (Mã số. B2021-MDA 01).

Tài liệu tham khảo

Aravind H. (2019). *Advanced methods for tree species classification and biophysical parameter estimation using crown geometric information in high density LiDAR data*. PhD Dissertation, International Doctorate School in Information and Communication Technologies, DISI -

- University of Trento.
- Bùi, N. Q. (2015). Khả năng ứng dụng mô hình Cyber City trong công tác quy hoạch đô thị. *Hội nghị GIS Toàn quốc*, 118-122.
- Bui, N. Q., Le, D. H., Duong, A. Q., & Nguyen, Q. L. (2021). Rule-based classification of Airborne Laser Scanner data for automatic extraction of 3D objects in the urban area. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 48(2), 103-114. DOI: <https://doi.org/10.29227/IM-2021-02-09>.
- Bui, N. Q., Le, D. H., Nguyen, Q. L., Tong, S. S., Duong, A. Q., Pham, V. H., Phan, T. H., & Pham, T. L. (2020). Method of defining the parameters for UAV point cloud classification algorithm. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 46(1), 49-56. DOI: <https://doi.org/10.29227/IM-2020-02-08>.
- Bui, N. Q., & Pham, V. H. (2017). Research on 3D model from unmanned aerial vehicle (UAV) images. *Journal of Mining and Geology*, 58(4), 1-11. <http://tapchi.humg.edu.vn/vi/archives?article=873>.
- Drogue, G., Pfister L., Leviandier, T., Humbert, J., Hoffmann, L., El Idrissi, A., & Iffly, J. F. (2002). Using 3D dynamic cartography and hydrological modelling for linear streamflow mapping. *Computers & Geosciences*, 28(8), 981-994.
- Fuan, T. (2013). *Cyber city Implementation, Visualization and applications*. Center for Space and Remote Sensing Research, National University Central, Taiwan.
- Gerhard, G., & Lutz, P. (2011). Topology of surfaces modelling bridges and tunnels in 3D-GIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(3), 208-216.
- Lê, Đ. H. (2019). *Nghiên cứu quy trình xử lý dữ liệu thu nhận từ hệ thống bay chụp ảnh & quét Lidar Leica City Mapper trong thành lập mô hình Cyber City*. Luận văn Thạc sĩ Kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
- Le, V. C., Cao, X. C., Nguyen, Q. L., Le, T. T. H., Tran, T. A., & Bui, X. N. (2020). Experimental Investigation on the Performance of DJI Phantom 4 RTK in the PPK Mode for 3D Mapping Open - Pit Mines. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 2, 65-74. doi: <http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-10>.
- Masahiko, M. (2004). *3D-GIS Application for Urban Planning based on 3D City Model*, PASCO Corporation, Tokyo, Japan.
- Siyka, Z., Alias, A.R., & Morakot, P. (2002). Trends in 3D GIS development. *Journal of Geospatial Engineering*, 4(2), 1-10.
- Zhao, Z. (2012). *Research on 3D Digital Map System and Key Technology*. *Procedia Environmental Sciences*, Part A, International Conference of Environmental Science and Engineering, 514-520.