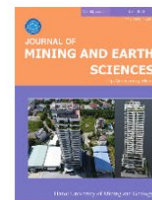




Journal of Mining and Earth Sciences

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



UAV and TLS point cloud integration for the surface plant infrastructure of underground coal mines



Cuong Xuan Cao ^{1,*}, Canh Van Le ¹, Dung Ngoc Vo ¹, Huong Thu Thi Ta ¹,
Cuong Sy Ngo ², Thuan The Dang ³

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Vietnam Natural Resources and Environment Corporation, Hanoi, Vietnam

³ Department of Natural Resources and Environment Di An City, Binh Duong province, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 03rd Mar. 2022

Revised 25th June 2022

Accepted 24th July 2022

Keywords:

Data integration,
Mineshaft,
Point cloud,
UAV.

ABSTRACT

The surface plant infrastructure (SPI) of underground coal mines is one of important sets of underground mines as it includes essential objects, such as office buildings, structures and equipment used to load, receive, sort or process minerals; receive and discharge waste rocks; provide ventilation for tunnels and energy for mining operations. The measurement and collection of spatial data of SPI are important to ensure the safe and effective management and operation of mining activities in underground mines. A rapid development in geospatial technologies has facilitated the acquisition of geospatial data in the mining industry. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning (TLS) are two of the typical geospatial technologies, which have made significant contributions to the field of geospatial data collection. While UAV photogrammetry allows to create dense point clouds with centimeter - level accuracy in a short time and large areas, TLS technology can produce dense point clouds with millimeter - level accuracy. However, the latter is time - consuming and expensive while performing on a large area. The integration of UAV and TLS data can be seen as a reasonable solution to gain the advantages of both and avoid the disadvantages of each technology. This paper presents the results of an integrated study of point cloud data generated by UAV and TLS for the plant infrastructure of the underground coal mine. Featuring structures in the study area include mineshaft tower, office and factory buildings. The results show that the UAV and TLS integrated point cloud data has millimeter - level accuracy for important objects such as mineshaft towers, while ancillary structures in the study area have centimeter - level accuracy.

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

*Corresponding author

E - mail: caoxuancuong@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).02



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Tích hợp dữ liệu đám mây điểm tạo bởi công nghệ đo ảnh UAV và quét laser 3D mặt đất cho các công trình trên mặt bằng sân công nghiệp mỏ hầm lò

Cao Xuân Cường^{1,*}, Lê Văn Cảnh¹, Võ Ngọc Dũng¹, Tạ Thị Thu Hường¹, Ngô Sỹ Cường², Đặng Thế Thuận³

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

² Tổng công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

³ Phòng Tài nguyên và Môi trường TP Dĩ An, tỉnh Bình Dương, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
 Nhận bài 03/3/2022
 Sửa xong 25/6/2022
 Chấp nhận đăng 24/7/2022

Từ khóa:

UAV,
 Đám mây điểm,
 Mỏ than hầm lò,
 Tích hợp dữ liệu.

TÓM TẮT

Mặt bằng sân công nghiệp là một trong những khu vực quan trọng của mỏ than hầm lò. Công tác đo đạc thu thập dữ liệu không gian của mặt bằng sân công nghiệp có ý nghĩa quan trọng nhằm đảm bảo công tác quản lý và vận hành hoạt động khai thác ở mỏ hầm lò được diễn ra an toàn và hiệu quả. Công nghệ bay chụp ảnh sử dụng thiết bị bay không người lái (UAV) và công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS) là hai trong số những công nghệ địa tin học tiêu biểu, có những đóng góp đáng kể cho hoạt động thu thập dữ liệu địa không gian. Trong khi công nghệ UAV cho phép tạo đám mây điểm (PC) mật độ dày đặc với độ chính xác cỡ cm trong thời gian ngắn và phạm vi rộng nhưng bị hạn chế trong không gian chật hẹp, công nghệ TLS có thể tạo PC dày đặc với độ chính xác cỡ mm, nhưng lại tốn thời gian và chi phí khi thực hiện trên phạm vi rộng. Việc tích hợp dữ liệu UAV và TLS có thể được xem là giải pháp hợp lý nhằm có được ưu điểm của cả hai và khắc phục nhược điểm của mỗi công nghệ. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tích hợp dữ liệu PC của mặt bằng sân công nghiệp mỏ than hầm lò được tạo bởi UAV và TLS. Các công trình đặc trưng trên khu vực nghiên cứu bao gồm: tháp giếng đứng, các tòa nhà văn phòng và nhà xưởng được quét laser TLS và bay chụp ảnh UAV. Kết quả cho thấy dữ liệu PC tích hợp UAV và TLS có độ chính xác cỡ milimet cho các đối tượng quan trọng như tháp giếng, trong khi đó, các công trình phụ trợ trên mặt bằng sân công nghiệp có độ chính xác cỡ centimet.

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

*Tác giả liên hệ

E - mail: caoxuancuong@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).02

1. Mở đầu

Mặt bằng sân công nghiệp hay tổng đồ mặt bằng mỏ than hầm lò là khu vực giữ vị trí trọng yếu trên bề mặt của mỏ than hầm lò. Các công trình thiết yếu như các tòa nhà, công trình và thiết bị dùng để trục tải, tiếp nhận, phân loại hoặc chế biến và tiêu thụ khoáng sản có ích; nhận và thải đá; thông gió cho mỏ; cung cấp năng lượng cho các công tác mỏ, phục vụ đời sống cho công nhân và cán bộ đều được bố trí ở khu vực này. Thông thường, mặt bằng sân công nghiệp bao gồm ba khối: khối giếng chính, khối giếng phụ và khối hành chính - phục vụ. Ngoài ra, mặt bằng sân công nghiệp còn có các tòa nhà và công trình riêng biệt, do đặc điểm công nghệ và yêu cầu chuyên môn không thể ghép chung thành khối bao gồm: trạm quạt gió chính, trạm biến thế điện, kho thuốc nổ và bể chứa nước. Việc đo đạc thu thập dữ liệu không gian mặt bằng sân công nghiệp có ý nghĩa quan trọng nhằm đảm bảo công tác quản lý và vận hành hoạt động khai thác ở mỏ hầm lò được diễn ra an toàn và hiệu quả (Le & Nguyen, 2016).

Trong những năm qua, công nghệ địa không gian đã có những bước phát triển vượt bậc ở cả phần cứng và phần mềm. Hai trong số những công nghệ địa không gian tiêu biểu là công nghệ bay chụp ảnh sử dụng thiết bị bay không người lái (UAV) (Bùi và nnk., 2016; Dieu và nnk., 2017; Mai và nnk., 2017; Nguyen và Cao, 2019; Nguyen và nnk., 2019; Vũ và Lê, 2014) và công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS). (Nguyễn và nnk., 2017; Nguyen và nnk., 2018; Nguyễn và Võ, 2016). Điều này xuất phát từ những ưu điểm mà hai công nghệ này mang lại. Tuy nhiên, các nghiên cứu cũng chỉ ra mỗi công nghệ có những nhược điểm riêng. Với công nghệ UAV, các nghiên cứu cho thấy độ chính xác không thể đạt được cỡ mm cho các yêu cầu về quan trắc công trình, các đối tượng có bên dịch chuyển và biến dạng nhỏ. Bên cạnh đó, nhiều vị trí trong các không gian bên trong hoặc bị che khuất thì UAV không thể ứng dụng được. Trong khi đó, công nghệ TLS tỏ ra kém hiệu quả đối với các đối tượng trên phạm vi rộng, do hạn chế về dải quét và phải bố trí nhiều trạm, ngoài ra, có nhiều vị trí trên cao dù thông thoáng cũng không thể đo quét được do không thể bố trí trạm quét. Như vậy, TLS sẽ là giải pháp tốn kém về cả thời gian và chi phí khi thực hiện trên diện rộng.

Xuất phát từ những ưu nhược điểm của hai công nghệ UAV và TLS, việc tích hợp dữ liệu tạo bởi hai công nghệ này được xem là một giải pháp tối ưu bởi có thể phát huy ưu điểm của từng công nghệ trong khi tránh được các nhược điểm. Mặc dù đã có một vài nghiên cứu tích hợp dữ liệu UAV và TLS đã được công bố như Trần Quốc Vinh và cộng sự (2018) đã ứng dụng thành công hai công nghệ UAV và TLS để thành lập bản đồ 3D khu vực đô thị. Bên cạnh việc đưa ra một quy trình tích hợp 2 dữ liệu từ UAV và TLS, các tác giả còn khẳng định rằng việc sử dụng kết hợp hai dữ liệu UAV và TLS có thể thành lập được bản đồ 3D tỷ lệ 1:1000 khu vực đô thị (Trần và nnk., 2008). Trong một nghiên cứu khác được thực hiện năm 2019 bởi Đỗ Tiến Sỹ và cộng sự, dữ liệu đám mây điểm (PC Point cloud) của các công trình xây dựng được thành lập từ công nghệ UAV Lidar và TLS đã được tích hợp để phục vụ công tác khảo sát, thiết kế và kiểm định công trình (Đỗ và nnk., 2019). Ngô Sỹ Cường và cộng sự đã sử dụng dữ liệu quét laser mặt đất nhằm làm tăng độ chính xác xử lý dữ liệu UAV và quá trình tự động hóa trong việc xây dựng mô hình 3D từ các nguồn dữ liệu này. Các tác giả kết luận rằng chất lượng xây dựng mô hình 3D bằng kết hợp công nghệ bay chụp UAV và quét laser mặt đất được nâng cao với độ chính xác cao hơn, đặc biệt đối với các yếu tố địa vật trên mô hình (Ngô và nnk., 2018; 2019). Trên thế giới, năm 2014, Xu và đồng nghiệp đã thực hiện tích hợp dữ liệu đám mây điểm (PC) tạo bởi UAV và TLS cho công trình kiến trúc di sản. Các tác giả kết luận rằng dữ liệu tạo bởi TLS có độ chi tiết và chính xác cao, dữ liệu tạo bởi UAV có độ chính xác không cao nhưng đủ để diễn tả các cấu trúc và hình dạng bề mặt. Sự tích hợp của hai dữ liệu đầy đủ và mô hình hóa chính xác, chi tiết các cấu trúc công trình di sản phức tạp (Xu và nnk., 2014). Martínez (2017) đã chứng minh các ưu điểm của tích hợp dữ liệu đám mây điểm 3D tạo bởi UAV và TLS trong đánh giá thiệt hại do thiên tai, với các yêu cầu về thời gian và chi phí ở mức thấp nhất có thể. Do các điều kiện ngoại cảnh không thuận lợi, kết quả có độ chính xác chưa cao, nhưng mô hình 3D có mức độ chi tiết cao, đặc biệt ở các vị trí không thể tiếp cận. Soonwook Kwon và các cộng sự (2017) đã đề xuất một phương pháp tích hợp dữ liệu các điểm PC được tạo ra bởi TLS và UAV chụp ảnh cho đối tượng công trình xây dựng. Kết quả cho thấy dữ liệu PC được tích hợp đạt độ chính xác cỡ cm và được các

tác giả đánh giá là phù hợp cho mục đích xây dựng bản đồ 3D các công trình xây dựng. (Kwon và nnk., 2017). Một nghiên cứu khác thực hiện bởi Šašak và cộng sự trong năm 2019, cũng cho thấy sự kết hợp giữa TLS và đo ảnh UAV có thể tạo ra PC có độ phân giải cao cho khu vực địa hình phức tạp, đáp ứng yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn (Šašak và nnk., 2019). Trong lĩnh vực giao thông, việc bảo trì các công trình cầu đường được thực hiện hiệu quả nhờ dữ liệu 3D tạo bởi tích hợp PC từ đo chụp UAV và TLS. Từ kết quả cho thấy độ chính xác PC tạo bởi dữ liệu UAV đã được tăng lên gần 10 lần nhờ tích hợp cùng với TLS (Kubota và nnk., 2019).

Từ các phân tích trên có thể thấy rằng, các nghiên cứu tích hợp dữ liệu PC tạo bởi công nghệ đo chụp UAV và TLS đã được thực hiện cả trên thế giới và ở Việt Nam. Tuy nhiên, nghiên cứu tích hợp dữ liệu từ công nghệ UAV và TLS trong điều kiện đặc biệt ở các mỏ khai thác hầm lò, gần như rất ít công bố đề cập tới. Do vậy, bài báo này giới thiệu một giải pháp tích hợp dữ liệu đám mây điểm tạo bởi công nghệ đo chụp UAV và TLS được thực hiện tại mặt bằng sân công nghiệp mỏ hầm lò mở vỉa bằng giếng đứng.

2. Khu vực nghiên cứu và thu thập dữ liệu

2.1. Khu vực nghiên cứu

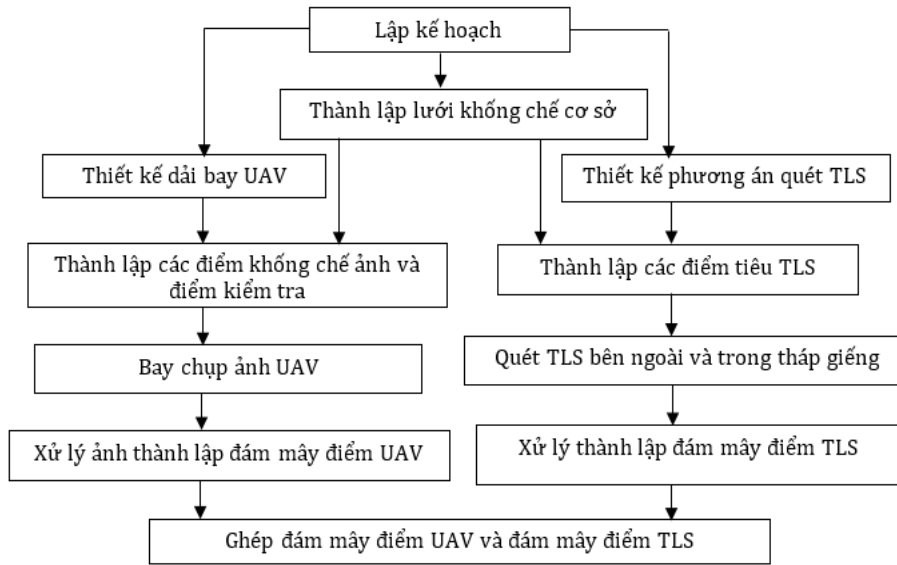


Hình 1. Khu vực thực nghiệm.

Trong nghiên cứu này, khu vực mặt bằng sân công nghiệp của Công ty CP than Núi Béo được lựa chọn làm khu vực thực nghiệm (Hình 1). Mặt bằng sân công nghiệp (SCN) mỏ than Núi Béo có diện tích là 12 ha, được xây năm 2012 ở độ cao +35 m. Trên mặt bằng SCN có 01 giếng đứng chính và 01 giếng đứng phụ được xây dựng kết cấu thép có chiều cao 50 m, bên trong trang bị hệ thống vận tải, thùng skip để vận chuyển người, vật liệu và than lên xuống mỏ, phục vụ khai thác hầm lò đến mức - 350 m, với công suất thiết kế là 2 triệu tấn than/năm. Ngoài hai giếng đứng, để đảm bảo hoạt động sản xuất của mỏ các công trình phụ trợ khác cũng được xây dựng, ví dụ như các nhà xưởng có kết cấu thép, khối công trình nhà văn phòng, Tháp giếng và các công trình này đều có kết cấu phức tạp: nhiều góc cạnh, góc khuất, mái tôn đồng nhất về chất liệu gây khó khăn cho việc tìm điểm khác biệt khi ghép ảnh UAV.

2.2. Thu thập dữ liệu

Quy trình thực nghiệm của nghiên cứu được mô tả trong Hình 2. Quá trình thu thập dữ liệu bao gồm 2 nội dung chính là bay chụp ảnh bằng công nghệ UAV và quét laser 3D mặt đất. Cả hai nội dung đều được thực hiện với các bước: lập kế hoạch thực hiện, thành lập lưới khống chế cơ sở,



Hình 2. Sơ đồ quy trình thực nghiệm.

thiết kế giải bay UAV và trạm quét TLS và tổ chức thực hiện.

Trong nghiên cứu này, các trang thiết bị đo đạc được sử dụng bao gồm: máy bay DJI Inspire 2, máy quét laser FARO FOCUS^{3D} X130 và máy toàn đạc điện tử Leica Flexline TS09 (Bảng 1).

Bảng 1. Các thiết bị đo đạc.

TT	Tên thiết bị	Số lượng
1	Máy quét laser Faro Focus X130 và thiết bị đi kèm	01
2	UAV DJI Inspire 2 và thiết bị đi kèm	01
3	Máy toàn đạc điện tử Leica TS 09 và thiết bị đi kèm	01

Công tác bay chụp ảnh UAV được thực hiện theo quy trình ở trên, bao gồm: thiết kế dải bay, thành lập điểm khống chế ảnh và bay chụp ảnh. Phần thiết kế dải bay và điều khiển bay chụp ảnh được thực hiện với phần mềm DJI GS Pro cài đặt trên Ipad. Do khu vực mặt bằng sân công nghiệp có công trình dạng tháp với chiều cao lớn nên để đảm bảo có ảnh chụp phần thân công trình với độ phủ trùm theo yêu cầu, bên cạnh dải bay có quỹ đạo dạng tuyến được thiết kế cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, một dải bay với quỹ đạo tròn, góc chụp ảnh nghiêng 45⁰ và 60⁰ được thiết kế riêng cho công trình tháp giếng. Công tác bay chụp ảnh chỉ được thực hiện sau khi các điểm khống chế ảnh (KCA) và điểm kiểm tra (KT) đã được bố trí xong. Một số điểm KCA được sử dụng làm điểm tiêu của TLS phục vụ quá trình khớp hai PC sau này. Tọa độ

các điểm KCA và KT được đo nối từ các điểm khống chế cơ sở trong khu vực bằng máy toàn đạc điện tử. Kết quả thu thập dữ liệu ảnh UAV được tóm tắt ở Bảng 2 và Hình 3.

Bảng 2. Kết quả bay chụp UAV.

Chế độ bay	Chiều cao bay (m)	Góc chụp (độ)/bán kính (m)	Số ca bay	Số ảnh chụp	Độ phân giải (cm)
Quỹ đạo tròn	50÷100	-45/45	01	202	0,6
		-60/45	01		
Quỹ đạo dạng tuyến		-90	01	125	2,7

Công tác quét laser 3D mặt đất cũng được thực hiện theo quy trình gồm ba bước chính, bao gồm: thiết kế trạm quét laser, thành lập điểm tiêu và thực hiện quét laser.

TLS được sử dụng để thu thập dữ liệu bên trong tháp giếng, tuy nhiên việc kết nối với bên ngoài tháp giếng, cần có các trạm kết nối bên ngoài. Do đó, có hai phần quét bên trong và bên ngoài tháp giếng. Để đảm bảo quá trình ghép các trạm được chính xác, các tiêu TLS được sử dụng, bao gồm tiêu cầu và tiêu giấy in hình ô vuông trắng đen đối xứng (checkerboards), các tiêu được bố trí trên tường, dưới đất ở các vị trí thuận lợi cho ghép các trạm TLS (Hình 4). Một số tiêu checkerboard được đo nối tọa độ từ điểm khống chế cơ sở bằng máy toàn đạc điện tử, phục vụ cho nắn PC về hệ

tọa độ VN2000. Số trạm quét TLS bên ngoài tháp là 8 trạm và trong tháp giếng là 7 trạm.

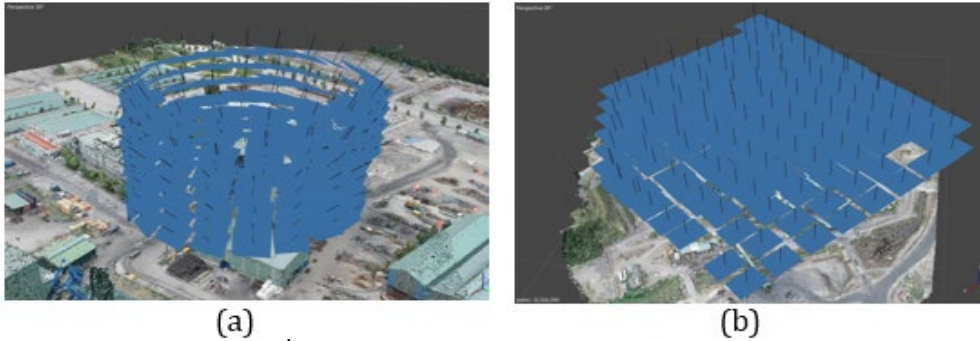
3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp xử lý dữ liệu UAV và TLS

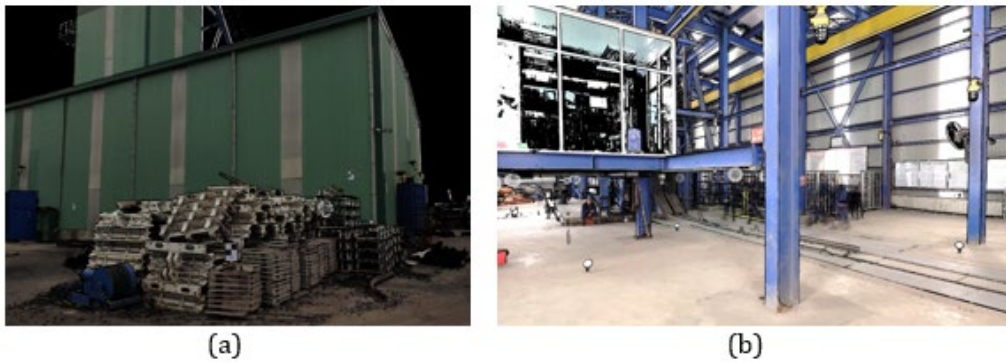
Dữ liệu ảnh UAV và quét laser TLS được xử lý riêng biệt trên hai phần mềm là Agisoft Metashape (UAV) và SCENE (TLS). Phần mềm Agisoft sử dụng thuật toán SfM (Marcisz và nnk., 2018) bao gồm các bước: (1) Nhận dạng các điểm đặc trưng trên ảnh thông qua sử dụng thuật toán chuyển đổi đặc

trung đa tỉ lệ (SIFT) (Lowe, 2004); (2) Khớp điểm đặc trưng; (3) Định hướng trong và ngoài của ảnh; (4) Tạo PC dày đặc (Furukawa và nnk., 2010; Furukawa và Ponce, 2010). Sau khi tạo PC bằng lệnh Build Dense Cloud, Agisoft Metashape cho kết quả là 136.482.126 điểm (Hình 5). PC được xuất ra định dạng *.e57 để phục vụ cho ghép với TLS.

Với dữ liệu TLS, các file scans được trút vào phần mềm SCENE, xử lý tạo PC và ghép trạm. Các trạm được ghép sử dụng phương pháp ghép tự động với tiêu cầu và tiêu checkerboard. Kết quả



Hình 3. Bay chụp UAV mặt bằng sân công nghiệp: (a) Bay quỹ đạo tròn; (b) Bay quỹ đạo dạng tuyến.



Hình 4. Quét TLS. (a) Bên ngoài tháp giếng; (b) Bên trong tháp giếng.



Hình 5. Kết quả xử lý ảnh UAV mặt bằng sân công nghiệp. (a) PC mật độ thưa và các điểm KCA (chấm tròn màu đỏ) và điểm KT (chấm tròn màu vàng); (b) PC dày đặc tháp giếng và các tòa nhà xung quanh.

được PC với số lượng là 172.684.627 điểm (Hình 6) với sai số ghép các trạm là 8 mm. PC được xuất ra định dạng *.e57 để phục vụ cho ghép với UAV.

3.2. Thuật toán ghép đám mây điểm

Để ghép đám mây điểm UAV và TLS, thuật toán ICP (Iterative Closest Point) do Besl và McKay (1992) đề xuất. Phương pháp sử dụng kỹ thuật số bình phương nhỏ nhất lặp lại nhiều lần để giảm tối đa sai số khớp điểm. Hiện nay, có 2 phương pháp ICP được sử dụng rộng rãi, bao gồm:

3.2.1. ICP điểm với điểm

Phương pháp này các điểm tương ứng được tìm bằng cách tìm điểm trong PC số 2 gần với nó nhất. Khái niệm gần nhất được định nghĩa bởi khoảng cách Euclidean như sau:

$$\hat{i} = \underset{i}{\operatorname{arg\,min}} \left\| \vec{p}_i - \vec{q}_j \right\|^2 \quad (1)$$

Trong đó: $i = [0, 1, 2, \dots, N]$; N - số điểm trong đám mây điểm số 2; p và q - tọa độ điểm.

Hệ số xoay R và chuyển đổi t được tính bằng nguyên lý số bình phương nhỏ nhất với khoảng cách giữa các cặp điểm khớp:

$$\hat{R}, \hat{t} = \underset{R, t}{\operatorname{arg\,min}} \sum_{i=1}^N \left\| \left(R \vec{p}_i + \vec{t} \right) - \vec{q}_i \right\|^2 \quad (2)$$

Quá trình giải hai bài toán trên được thực hiện lặp lại để tăng độ chính xác khớp PC.

3.2.2. ICP điểm với bề mặt

Do ICP điểm với điểm vẫn còn bị ảnh hưởng

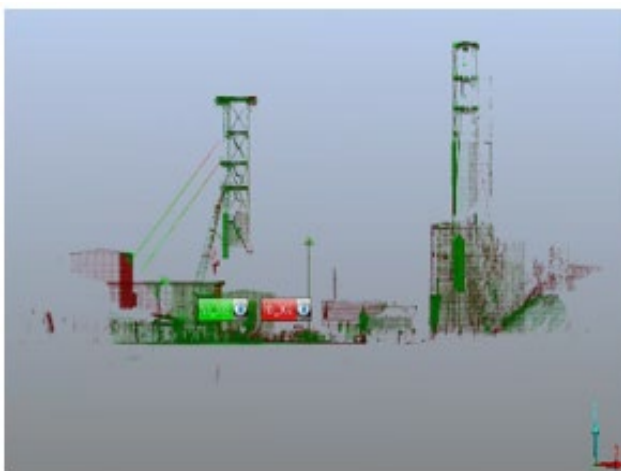
bởi nhiễu nên có thể tìm các điểm láng giềng gần nhất nhằm giảm thiểu mức độ ảnh hưởng của nhiễu.

Phương pháp ICP điểm với bề mặt giả định rằng các điểm láng giềng của một điểm là cùng trên một mặt phẳng và được thể hiện bằng một vector chuẩn n . Vector n này được xác định bằng vector riêng nhỏ nhất của ma trận hiệp phương sai của các điểm xung quanh điểm xét. Thay vì giảm tối đa khoảng cách Euclidean giữa các điểm khớp, chúng ta có thể giảm tối đa giá trị vô hướng của mặt phẳng tạo bởi các điểm láng giềng tới mặt phẳng được thể hiện bằng vector chuẩn n :

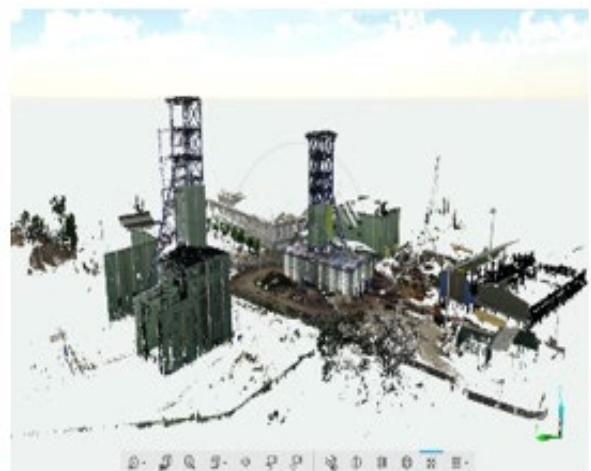
$$\underset{\hat{R}, \hat{t}}{\operatorname{arg\,min}} \left(\sum_{i=1}^N \left\| \left(R \vec{p}_i + \vec{t} \right) - \vec{q}_i \right\| \cdot \left\| \vec{n}_i \right\| \right) \quad (3)$$

Nhược điểm của phương pháp này là thời gian xử lý là cực lớn do phải tìm các điểm khớp cho hàng triệu điểm (trường hợp không có điểm tiêu). Để làm giảm thời gian tính toán, bước khớp thô (coarse alignment) cần được thực hiện với kết quả đạt dưới 1 m, trước khi thực hiện ICP. Để đạt điều này, có thể sử dụng các thuật toán thông tin thuộc tính của dữ liệu điểm. Ví dụ: sử dụng các hình học nguyên thủy (geometric primitives) (Bae và Lichti, 2004), hoặc sử dụng các điểm tiêu (target).

Trong nghiên cứu này, phương pháp ICP được lựa chọn để ghép đám mây điểm UAV và TLS (Hình 7). Trước khi ghép, đám mây điểm UAV và được lọc bỏ nhiễu. Do đám mây điểm TLS có mật độ và độ chính xác cao hơn nên được sử dụng làm

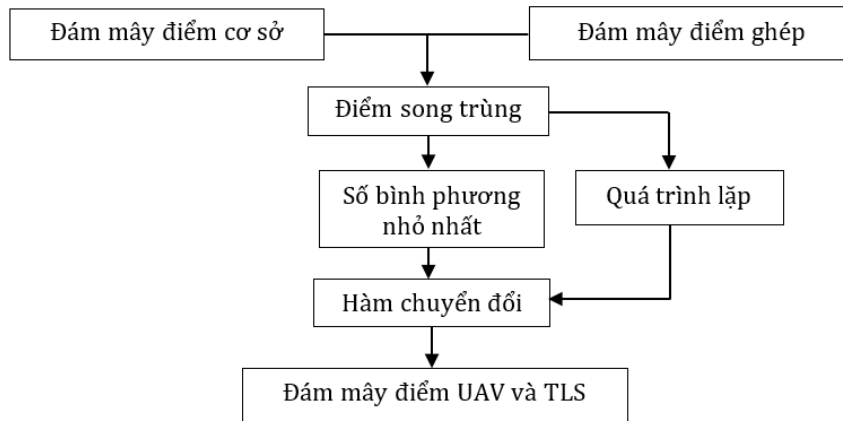


(a)



(b)

Hình 6. Kết quả xử lý các trạm quét TLS mặt bằng sân công nghiệp. (a) Ghép trạm trên phần mềm SCENE; (b) PC TLS tháp giếng và các tòa nhà xung quanh.

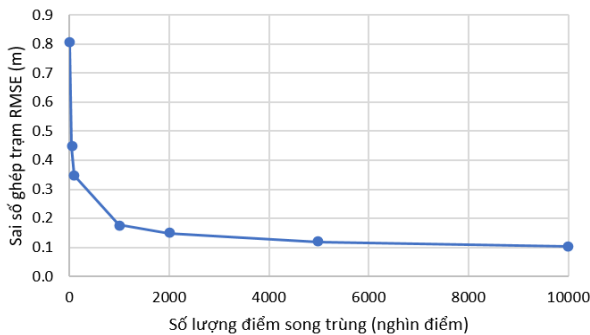


Hình 7. Sơ đồ phương pháp ICP ghép đám mây điểm UAV và TLS.

PC cơ sở và đám mây điểm UAV là PC ghép. Công đoạn ghép dữ liệu gồm 2 bước: ghép thô (Coarse Alignment) và ghép chính xác (Fine Alignment). Trong đó, ở bước ghép thô cần lựa chọn tối thiểu 4 điểm song trùng trên hai PC. Đây có thể là điểm tiêu, điểm KCA hoặc điểm đặc trưng rõ nét trên hai PC. Ở bước ghép chính xác, số lượng điểm tham gia quá trình khớp tăng lên đáng kể, do đó độ chính xác ghép dữ liệu cũng tăng lên, tuy nhiên, thời gian xử lý sẽ lâu hơn. Hai bước ghép dữ liệu PC được thực hiện trên phần mềm Cloudcompare.

4. Kết quả và thảo luận

Đám mây điểm UAV và TLS được ghép với sai số 0,281 m với bước ghép thô và 0,102 m với bước ghép chính xác. Ở bước ghép chính xác, tiến hành khảo sát số lượng điểm song trùng tham gia quá trình ghép PC với số điểm tăng từ 10.000÷10 triệu điểm. Kết quả được biểu đồ thể hiện độ chính xác ghép PC như Hình 8.



Hình 8. Sai số ghép đám mây điểm UAV và TLS.

Từ biểu đồ có thể thấy rằng khi tăng số lượng điểm song trùng sử dụng cho ghép PC, độ chính

xác ghép dữ liệu cũng tăng lên, thể hiện ở giá trị RMSE giảm 0,804÷0,102 m. Bên cạnh đó, tốc độ tăng độ chính xác ghép dữ liệu lớn nhất khi tăng số lượng điểm từ 10.000÷1 triệu điểm với RMSE giảm mạnh từ 0,804÷0,177 m. Tuy nhiên, khi số lượng điểm song trùng đạt ngưỡng khoảng 5,5 triệu điểm thì sai số RMSE giảm không đáng kể, thể hiện ở tốc độ giảm RMSE thấp. Điều này xuất phát từ độ chính xác của dữ liệu đám mây điểm UAV chỉ đạt cỡ cm so với độ chính xác của TLS là mm. Bảng đánh giá độ chính xác đám mây điểm UAV phản ánh điều này (Bảng 3).

Bảng 3. Kết quả đánh giá độ chính xác đám mây điểm UAV.

Tên điểm	S _x (cm)	S _y (cm)	M _{xy} (cm)	S _z (cm)	S _{xyz} (cm)
T1	4,1	- 3,6	5,5	- 3,5	6,5
9	- 3,2	- 1,9	3,8	- 0,8	3,9
23	- 2,1	- 0,5	2,2	- 4,4	4,9
14	3,2	- 3,6	4,8	11,7	12,7
15	0,0	- 5,6	5,6	3,1	6,4
A013	- 3,4	7,6	8,3	1,2	8,4
T14,1	- 0,5	3,5	3,6	- 0,3	3,6
T5	3,0	- 3,4	4,5	- 2,5	5,2
T8	1,7	- 2,8	3,3	- 1,0	3,5
RMSE	2,7	4,1	4,9	4,6	6,7

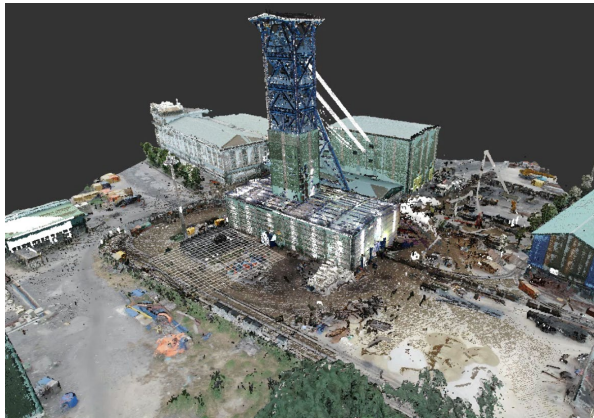
Giải pháp tăng độ chính xác ghép trạm có thể tập trung vào công đoạn lọc bỏ nhiễu, hoặc các điểm có sai số lớn trên đám mây điểm UAV. Tuy nhiên, ưu tiên giữ lại nhiều nhất có thể các điểm UAV, đặc biệt ở các vị trí mà thiếu dữ liệu đám mây điểm TLS như các khu vực trên mái nhà, xưởng, các khu vực biên của mặt bằng sân công nghiệp. Kết quả lọc nhiễu cho thấy nếu loại bỏ các điểm có

sai số trên 0,1 m thì mật độ điểm trung bình cho ba nhóm đối tượng chính là: mặt đất, mái nhà và tường như Bảng 4.

Bảng 4 cho thấy các điểm thuộc về mặt đất có sai số nhỏ nhất do đó gần như không phải lọc nhiều cho đối tượng này. Bên cạnh đó, các điểm trên mái nhà cũng có sai số thấp hơn 0,1 m chiếm 67,9%. Tuy nhiên, điểm trên tường cho độ chính xác thấp hơn và chỉ còn 20,3% được giữ lại. Phần lớn các điểm trên tường có sai số lớn là do bề mặt tường kim loại (vật liệu tôn) của nhà xưởng trong khuôn viên của mặt bằng sân công nghiệp có mức độ đồng nhất cao. Hình ảnh đám mây điểm UAV và TLS sau khi ghép được thể hiện như Hình 9.

Bảng 4. Mật độ điểm trung bình đám mây điểm UAV.

Đối tượng	Mật độ điểm trung bình (Điểm/dm ²)			
	Trước khi lọc nhiễu	Sau khi lọc nhiễu	Mật độ giảm	Phần trăm điểm giữ lại (%)
Mặt đất	5,6	5,6	0	100
Mái nhà	5,6	3,8	1,8	67,9
Tường	5,9	1,2	4,7	20,3



Hình 9. Đám mây điểm UAV và TLS sau khi ghép.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, mục đích là xây dựng một cơ sở dữ liệu đám mây điểm 3D khu vực mặt bằng sân công nghiệp mỏ than hầm lò mở vỉa bằng giếng đứng, sử dụng tích hợp hai công nghệ thu thập dữ liệu là đo ảnh UAV và quét laser 3D mặt đất - TLS. Nghiên cứu tập trung tìm hiểu thuật toán ghép đám mây điểm UAV và TLS, với TLS là cơ sở

và UAV là dữ liệu được ghép vào. Qua kết quả thực nghiệm, có thể có các kết luận sau:

Công nghệ TLS có thể sử dụng hiệu quả để thu thập dữ liệu đám mây điểm 3D của khu vực bên trong tháp giếng của mỏ, trong khi phần bên ngoài của tháp giếng có thể sử dụng công nghệ đo ảnh UAV để tạo đám mây điểm, đặc biệt trên phạm vi rộng xung quanh mặt bằng sân công nghiệp.

Việc kết nối giữa đám mây điểm bên trong và bên ngoài công trình cần có các trạm quét TLS để quét dữ liệu bên ngoài. Đối với các khu vực xa hơn, cao hơn, nơi máy quét laser không thể quét tới, UAV được sử dụng để chụp ảnh phần này, sau đó bằng thuật toán UAV - SfM, đám mây điểm dày đặc được tạo ra.

Thuật toán ICP với kỹ thuật ghép điểm tới bề mặt cho phép khớp đám mây điểm UAV vào đám mây điểm TLS đạt độ chính xác 10 cm.

Lời cảm ơn

Bài báo được hỗ trợ dữ liệu và kinh phí từ đề tài KHCN cấp cơ sở: Mã số T21 - 19.

Đóng góp của các tác giả

Tác giả Cao Xuân Cường đưa ra ý tưởng, thu thập, xử lý dữ liệu và viết bài báo. Các tác giả còn lại tham gia thu thập và xử lý dữ liệu.

Tài liệu tham khảo

- Bae, K. H., & Lichti, D. (2004). *Automated registration of unorganised point clouds from Terrestrial Laser Scanners*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 35.
- Besl, P. J., & McKay, N.D. (1992). A method for registration of 3 - D shapes. *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(2), pp. 239-256. doi:10.1109/34.121791.
- Bùi, T. D., Nguyễn, C. V., Hoàng, M. H., Đồng, B. P., Nhữ, V. H., Trần, T. A., & Nguyễn, Q. M. (2016). Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái. *Hội nghị khoa học: Đo đạc bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu*. Trường Đại học Mỏ - Địa chất
- Dieu, T. B., Nguyen, Q. L., Bui, X. N., Nguyen, V. N., Pham, V. C., Le, V. C., Ngo, T. P. T., Bui, T. D., & Bjørn K. (2017). *Lightweight Unmanned Aerial*

- Vehicle and Structure - from - Motion Photogrammetry for Generating Digital Surface Model for Open - Pit Coal Mine Area and Its Accuracy Assessment, Springer: *Advances and Applications in Geospatial Technology and Earth Resources*, 17-33.
- Đỗ, T. S., Nguyễn, A. T., Hoàng, H., Võ, T. L., Nguyễn, N. T. V., Võ, V. T., Lê, N. T. P., Phạm, T. T. A., & Đặng, M. Q. (2019). Kết hợp dữ liệu đám mây điểm từ các thiết bị 3D Laser scanning và phương tiện bay không người lái (UAV) nhằm thu thập thông tin mô hình công trình xây dựng. *Tạp chí Xây Dựng Việt Nam*, 4.
- Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S.M., & Szeliski, R. (2010). *Towards Internet - scale multi - view stereo*. The IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1434-1441.
- Furukawa, Y., & Ponce, J. (2010). Accurate, Dense and Robust Multiview Stereopsis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(8), 1362-1376. doi:10.1109/TPAMI.2009.161
- Kubota, S., Ho, C., & Nishi, K. (2019). Construction and Usage of Three - dimensional Data for Road Structures Using Terrestrial Laser Scanning and UAV with Photogrammetry. ISARC. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 36, 136-143. doi:10.22260/ISARC2019/0019.
- Kwon, S., Park, J.W., Moon, D., Jung, S., & Park, H. (2017). Smart Merging Method for Hybrid Point Cloud Data using UAV and LIDAR in Earthwork Construction. *Procedia engineering*, 196, 21-28. doi:10.1016/j.proeng.2017.07.168.
- Le, V. C., & Nguyen, V. N. (2016). *Monitoring the displacement of industrial site area at Nui Beo coal mine*. The international conference on Earth sciences and Sustainable Geo - Resources development, Hanoi, Vietnam.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale - Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110. doi:10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
- Mai, V. S., Bùi, N. Q., Phạm, V. H., & Lê, Đ. Q. (2017). Nghiên cứu xử dụng dữ liệu ảnh máy bay máy bay không người lái (UAV) trong thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn. *Tạp chí khoa học Đo đạc và bản đồ*, 33, 49-57.
- Marcisz, M., Probiez, K., & Ostrowska, Ł. M. (2018). 3D representation of geological observations in underground mine workings of the Upper Silesian Coal Basin. *Journal of Sustainable Mining*, 17(1), 34-39. doi: https://doi.org/10.1016/j.jsm.2018.01.001.
- Martínez, E. Z. I., Caroti, G., Piemonte, A., Riedel, B., Tengen, D., & Niemeier, W. (2017). Structure from motion (SfM) processing of UAV images and combination with terrestrial laser scanning, applied for a 3D - documentation in a hazardous situation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1492-1504. doi:10.1080/19475705.2017.1345796.
- Ngô, S. C., Trần, X. T., Trần, H. H., Đặng, N. V. (2019). Nâng cao chất lượng xây dựng mô hình 3D bằng kết hợp công nghệ bay chụp UAV và quét Laser mặt đất. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 60(4), 31-40.
- Ngô, S. C., Trần, H. H., Trần, V. A., Trần, X. T. (2018). Ứng dụng công nghệ quét laser 3D mặt đất trong việc theo dõi biến động địa hình - Khu vực thực nghiệm ở Quảng Ninh. *Hội nghị khoa học Địa lý toàn quốc lần thứ X tại Đà Nẵng*. Hội Địa lý Việt Nam.
- Nguyễn, V. N., Nguyễn, Q. L., Vũ, Q. L. (2017). Đánh giá khả năng ứng dụng máy quét laser mặt đất GeoMax Zoom 300 trong công tác thành lập mô hình 3D mỏ lộ thiên. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 58(4), 212-218.
- Nguyen, Q. L., Buczek, M., Szlapińska, S. A., Bui, X. N., Nguyen, V. N., & Cao, X. C. (2018). Accuracy assessment of mine walls' surface models derived from terrestrial laser scanning. *International Journal of Coal Science & Technology*, 5(3), 328-338
- Nguyễn, Q. L. & Cao, X. C. (2019). Ứng dụng máy bay không người lái (UAV) để xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ mỏ lộ thiên khai thác vật liệu xây dựng. *Tạp chí công nghiệp mỏ*, 1, 9.
- Nguyen, Q. L., Bui, X. N., Cao, X. C., & Le, V. C. (2019). An approach of mapping quarries in Vietnam

- using low - cost Unmanned Aerial Vehicles. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 11(2), 199-209.
- Nguyễn, V. N., & Võ, N. D. (2016). Nghiên cứu khả năng ứng dụng máy quét laser 3D mặt đất trong quản lý xây dựng - khai thác mỏ hầm lò. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 57, 65-73.
- Šašak, J., Gallay, M., Kaňuk, J., Hofierka, J., & Minár, J. (2019). Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry in Mapping Alpine Terrain. *Remote Sensing*, 11(18), 2154. doi:10.3390/rs11182154.
- Trần, Q. V., Hoàng, V. A., Phạm, Q. K. (2018). Nghiên cứu kết hợp dữ liệu của máy bay không người lái và máy quét laser mặt đất thành lập bản đồ 3D khu vực đô thị. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 59(4), 9-18.
- Vũ, P. L., & Lê, T., (2014). Thử nghiệm thiết bị bay không người lái thành lập bản đồ 3D hành lang tuyến điện. *Hội nghị khoa học ngành Địa hình quân sự*, Cục Bản đồ, Bộ Tổng tham mưu.
- Xu, Z., Wu, L., Shen, Y., Li, F., Wang, Q., & Wang, R. (2014). Tridimensional Reconstruction Applied to Cultural Heritage with the Use of Camera - Equipped UAV and Terrestrial Laser Scanner. *Remote Sensing*, 6(11), 10413-10434. doi:10.3390/rs61110413.