



Journal of Mining and Earth Sciences

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



Research to establish 3D model of mine industrial site area from terrestrial laser scanning and Unmanned aerial vehicle data



Canh Van Le ^{1,*}, Cuong Xuan Cao ¹, Son Si Tong ², Hoa Van Dinh ³

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

³ Hung Phat A Chau Company, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 13th Mar. 2022

Revised 29th June 2022

Accepted 01st Aug. 2022

Keywords:

3D model,
Point Cloud,
SCN,
TLS,
UAV.

In recent years, three-dimensional (3D) models are being built in many fields including mining. These products are often used to develop a database of smart mines which in terms can be used in the management of production in underground coal mines. Unmanned aerial vehicle (UAV) and terrestrial laser scanning (TLS) technologies are known as the two main technologies that quickly and accurately collect 3D point cloud (PC) data. This article presents the integration of a 3D point cloud produced from UAV photos and TLS to build a detailed 3D model for the ground plant at the level of +35 m in the Nui Beo underground coal mine. To collect data, a DJI Phantom 4 Advanced drone was used to take photos in three modes: a shot angle of 90°, a 3D grid with a 45° angle, and a circular flight orbit with 45° and 60° shooting angles. A Faro Focus^{3D} X130 laser scanner was used for scanning the mine shaft's tower to fill the missing point cloud of the UAV. The PC established by both methods was evaluated for accuracy based on the control points measured by a Leica TS09 total station, which was merged by the Iterative Closest Point (ICP) algorithm. The integrated PC met the accuracy requirement of establishing a 3D model of the study area with the level of detail 3 in the CityGML standard.

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

*Corresponding author

E - mail: levancanh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(5).03



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



Nghiên cứu thành lập mô hình 3D mặt bằng sân công nghiệp mỏ từ dữ liệu quét laser mặt đất và thiết bị bay không người lái

Lê Văn Cảnh ^{1,*}, Cao Xuân Cường ¹, Tống Sĩ Sơn ², Đinh Văn Hòa ³

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

² Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

³ Công ty Trách nhiệm hữu hạn Hưng Phát Á Châu, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 13/3/2022

Sửa xong 29/6/2022

Chấp nhận đăng 01/8/2022

Từ khóa:

Đám mây điểm,

Mô hình 3D,

SCN,

TLS,

UAV.

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, mô hình 3D đang được quan tâm nghiên cứu ứng dụng trong lĩnh vực khai thác mỏ, với mục tiêu quản lý và vận hành khai thác mỏ an toàn, hiệu quả và tiến tới xây dựng cơ sở dữ liệu cho loại hình mỏ thông minh. Máy bay không người lái (UAV) và quét laser mặt đất (TLS) được biết đến là hai công nghệ chính hiện nay dùng để thu thập dữ liệu đám mây điểm 3D (3D Points cloud - PC) nhanh chóng, cho độ chính xác đáp ứng được yêu cầu. Bài báo này nghiên cứu tích hợp đám mây điểm 3D thành lập từ ảnh bay chụp UAV và dữ liệu TLS để xây dựng mô hình 3D chi tiết cho mặt bằng sân Công nghiệp +35 m của mỏ than Núi Béo, với diện tích khoảng 12 ha. Để thực hiện được mục tiêu này, máy bay Phantom4 Advanced được sử dụng để bay chụp ảnh với ba phương án: chụp ảnh dạng thành lập bản đồ 2D với góc chụp 90°, chụp ảnh dạng ô lưới 3D góc chụp 45° và chụp ảnh tập trung vào tháp giếng với góc chụp 45° và 60°. Máy quét laser mặt đất Faro Focus3D X130 được sử dụng để quét laser khu vực tháp giếng, bổ sung dữ liệu đám mây điểm thành lập từ ảnh UAV. Đám mây điểm được thành lập bằng cả hai phương pháp được đánh giá độ chính xác dựa vào các điểm tiêu kiểm tra đã đo tọa độ bằng máy toàn đạc điện tử Leica TS09, được ghép với nhau bằng thuật toán ICP. Kết quả cho PC đảm bảo độ chính xác thành lập được mô hình 3D khu vực thực nghiệm với mức độ chi tiết đạt LOD3.

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

*Tác giả liên hệ

E - mail: levancanh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(5).03

1. Mở đầu

Mặt bằng sân công nghiệp mỏ (SCN), nơi có các công trình quan trọng của mỏ hầm lò như hệ thống giếng đứng, tháp giếng, trục tời nhà điều hành và khu vực chế biến khoáng sản (Le và Nguyen., 2016; Võ, 2016). Các công trình trên SCN được xây dựng với hình dạng, kiểu dáng, kích thước, chất liệu khác nhau. Hệ thống nhà xưởng được xây dựng lắp đặt kết cấu thép, vách và mái lợp tôn, nhà điều hành và văn phòng được xây dựng tường gạch kiên cố, tháp giếng có chiều cao lớn nhất trên SCN, phần thân chính cao trung bình 50 m có cấu tạo kết cấu thép với các chi tiết phức tạp và kích thước khác nhau. Với các công trình có cấu tạo khác nhau về kích thước và mức độ chi tiết để thành lập được mô hình 3D cần phải có phương pháp thu thập dữ liệu đám mây điểm 3D phù hợp.

Chụp ảnh bằng thiết bị bay không người lái (UAV) cho phép thu thập đám mây điểm (PC) trên diện rộng trong thời gian ngắn (Cao và nnk., 2021b). Tuy nhiên, phương pháp này không thu thập được dữ liệu ở các khu vực dưới các lớp phủ, PC thiếu dữ liệu tại các khu vực bị che chắn. Quét laser mặt đất (TLS) được biết đến là công nghệ cho thu thập dữ liệu PC có độ chính xác cao (Nguyễn và nnk., 2019). Để xây dựng mô hình 3D cần có sự kết hợp của UAV và TLS trong thành lập PC để có đám mây điểm hoàn chỉnh, vì hai công nghệ này sẽ bổ sung các phần khiếm khuyết cho nhau (Bolkas và nnk., 2020; Bùi và Nguyễn, 2020).

Ứng dụng UAV và TLS để thu thập dữ liệu thành lập mô hình 3D đã được quan tâm nghiên cứu với nhiều khía cạnh khác nhau trong lĩnh vực hầm lò. Tác giả Hu và cộng sự đã xây dựng mô hình 3D để mô phỏng cấu trúc địa chất đường lò (Hu và Wan, 2010). Nghiên cứu của tác giả Seung-Joong và đồng nghiệp đã kết luận mô hình 3D cho dữ liệu trực quan đã làm tăng khả năng để đánh giá độ thẳng đứng cũng như sự biến dạng của trụ bảo vệ (Lee và Choi, 2019). Trong một nghiên cứu khác, tác giả Marek và cộng sự đã mô phỏng hệ thống đường lò với các vết lộ địa chất xuất hiện trên thành lò cung cấp hình ảnh 3D trực quan phục vụ đánh giá mức độ ảnh hưởng, hướng tiến triển của các tai biến địa chất có thể ảnh hưởng tới các đường lò (Marcisz và nnk., 2018).

Trong lĩnh vực khai thác mỏ hầm lò tại Việt Nam, mô hình 3D được nghiên cứu thành lập cho

một số đường lò đơn lẻ (Nguyễn và nnk., 2019). Tác giả Cao Xuân Cường và cộng sự đã đưa ra qui trình tích hợp đám mây điểm 3D bằng UAV và TLS (Cao và nnk., 2021a) trong nghiên cứu khác nhóm tác giả cũng đã đưa ra phân tích về độ chính xác của các phương pháp bay chụp khác nhau bằng UAV để thành lập PC cho khu vực SCN (Cao và nnk., 2021b), nhưng chỉ dừng lại ở đánh giá PC các bề mặt nền, tường và mái nhà.

Từ các phân tích nêu trên thấy được rằng chưa có nghiên cứu nào thành lập mô hình 3D cho mặt bằng SCN mỏ. Đây là khoảng trống nghiên cứu cần được lấp đầy nhằm cung cấp dữ liệu không gian địa lý cho việc phân tích quản lý SCN an toàn, hiệu quả; cung cấp dữ liệu 3D làm nền tảng cho xây dựng hệ thống mỏ thông minh.

2. Khu vực nghiên cứu

Mặt bằng sân công nghiệp mỏ +35 m (SCN35) mỏ than Núi Béo, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh được lựa chọn làm khu vực thực nghiệm, ranh giới khu vực đo vẽ được thể hiện trên Hình 1, diện tích đo vẽ trong ranh giới là 12 ha. Mỏ than Núi Béo đang thực hiện khai thác than theo phương pháp hầm lò, SCN35 là nơi xây dựng các công trình quan trọng mỏ như: nhà điều hành; các nhà chức năng; cặp giếng đứng chính và giếng đứng phụ có chiều sâu -450 m, hệ thống tháp giếng, nhà điều khiển, hệ thống vận tải kết nối giao thông và hoạt động từ trên mặt mỏ tới hệ thống khai thác tại các đường lò. Các công trình này được



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

xây dựng với vật liệu và kiến trúc khác nhau, một số hệ thống nhà điều hành, nhà chức năng khác được xây dựng tường bê tông lợp tôn, hệ thống nhà xưởng được dựng kết cấu thép bản tôn. Hệ thống tháp giếng được xây dựng kết cấu thép có chiều cao khoảng 50 m với phần thân dưới được quay tôn, phần trên của tháp là kết cấu thép có kiến trúc phức tạp.




3. Thiết bị sử dụng

Để thu thập dữ liệu thực nghiệm tại SCN35, ba thiết bị chính đã được sử dụng bao gồm: máy toàn đạc điện tử Leica TS09 Plus (TS09); máy bay

không người lái DJI Phantom4 Advanced (P4A) và máy quét laser mặt đất Faro Focus3D X130 (F130). Để đảm bảo độ chính xác trước khi sử dụng các thiết bị này đã được kiểm định, thông số kỹ thuật thiết bị được thể hiện trên Bảng 1.

P4A được sử dụng bay chụp ảnh để thành lập PC cho toàn khu vực đo vẽ. F130 được sử dụng để quét laser 3D khu vực tháp giếng, cung cấp PC độ chính xác cao và bổ sung các dữ liệu thiếu cho PC được thành lập từ ảnh chụp bằng P4A. Để đánh giá độ chính xác các PC, thiết bị TS09 được sử dụng để đo các điểm khống chế ảnh mặt đất (Ground Control Point-GCP) và các điểm kiểm tra của mô hình (Check Point - CP).

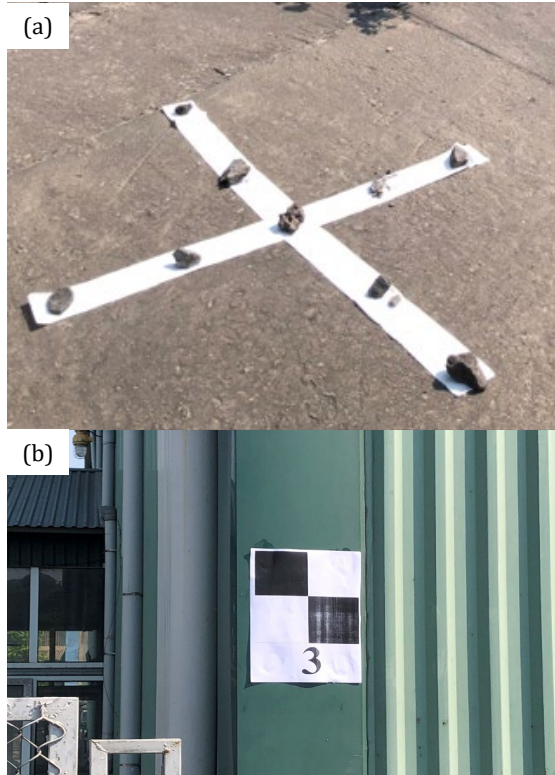
Bảng 1. Thông số kỹ thuật các thiết bị sử dụng.

Hình ảnh thiết bị	Thông số kỹ thuật			
	Leica TS09 Plus			
	Độ chính xác đo góc	1"		
	Độ chính xác đo cạnh	Có gương	1,5 mm±2 ppm	
		Không gương	1,5 mm±2 ppm	
	Faro Forcus X130			
	Khoảng quét	90% phản xạ	0,6÷130 m	
	Độ chính xác chiều dài	±2 mm		
	Tốc độ quét (điểm/giây)	> 976 000		
	Trường quét	360x300°		
	Độ phân giải máy ảnh	7 Mb		
		DJI Phantom4 Advanced		
Thời gian bay tối đa		30'		
Vệ tinh định vị tâm chụp		GPS/Glonass		
Máy ảnh		Loại	1" Cmos	
		Độ phân giải	20 Mb	
		Tốc độ của chụp	8÷1/8000 s	
		Kích thước ảnh	3:2 (5472 × 3648) 4:3 (4864 × 3648) 16:9 (5472 × 3078)	

4. Thu thập dữ liệu

Trước khi bay chụp ảnh và quét laser 3D mặt đất, các điểm GCP và CP được đánh dấu trên thực địa bằng tiêu khống chế ảnh (Hình 2), tiêu được chọn tại các vị trí thông thoáng, khả năng xuất hiện trên ảnh là lớn nhất có thể.

Với qui mô và diện tích khu vực đo vẽ ở SCN



Hình 2. Tiêu khống chế ảnh.
(a) Tiêu đặt trên nền; (b) Tiêu gắn tường.

mỏ than Núi Béo, để đảm bảo khống chế và kiểm tra chính xác PC về cả tọa độ mặt bằng và cao độ. Số lượng điểm GCP và CP cần thiết lần lượt là 19 và 05 điểm, vị trí các điểm này được bố trí đều trên khu vực đo vẽ trên Hình 3a các điểm GCP ký hiệu màu vàng, điểm CP ký hiệu màu đỏ. Hình 3b thể hiện các điểm mốc tại khu vực tháp giếng, các mốc K1, K2, K4 và K5 được đặt trên nền SCN các mốc còn lại được gắn trên tháp giếng.

Các điểm GCP dùng để dẫn ảnh bay chụp bằng UAV và đồng thời dùng làm tiêu ghép trạm máy quét laser 3D mặt đất. Tọa độ các điểm GCP và CP được đo nối vào các điểm mốc khống chế giải tích 1 và đường chuyền cấp 1 của mỏ, độ chính xác đạt đường chuyền cấp 2.

Bay chụp ảnh bằng UAV được thực hiện với 03 phương án: chụp ảnh khu vực ranh giới R1 với phương pháp dùng cho thành lập bản đồ 2D (map 2D) góc chụp 90°, chụp ảnh dạng ô lưới (grid) với góc chụp 45° khu vực ranh giới R2 và chụp ảnh bay tròn quanh tháp giếng (circle) khu vực ranh giới R3 (Hình 4). Các thông số này cho phép thu nhận tối đa hình ảnh các bề mặt của đối tượng trên mặt đất. Quỹ đạo bay hình tròn cho phép chụp các đối tượng dạng tháp cao một cách đầy đủ, hiệu quả và an toàn do tiết kiệm thời gian và pin sử dụng cho UAV. Các thông số chính bay chụp ảnh của mỗi phương pháp bay được thể hiện trên Bảng 2.

Các điểm GCP dùng để dẫn ảnh bay chụp UAV và đồng thời dùng làm tiêu ghép trạm máy quét laser 3D mặt đất. Tọa độ các điểm GCP và CP được đo nối vào các điểm mốc khống chế giải tích 1 và đường chuyền cấp 1 của mỏ, độ chính xác đạt đường chuyền cấp 2.

Bảng 2. Thông số các ca bay chụp ảnh bằng UAV.

Phương pháp chụp	Góc chụp (độ)	Chiều cao bay (m)	GSD (cm)	Khu vực đo vẽ
Vuông góc	90	100	2,74	Ranh giới đo R1
Ô lưới	45	100	2,74	Ranh giới đo R2
Quỹ đạo tròn	45	50÷80	0,5	Ranh giới R3
	60			

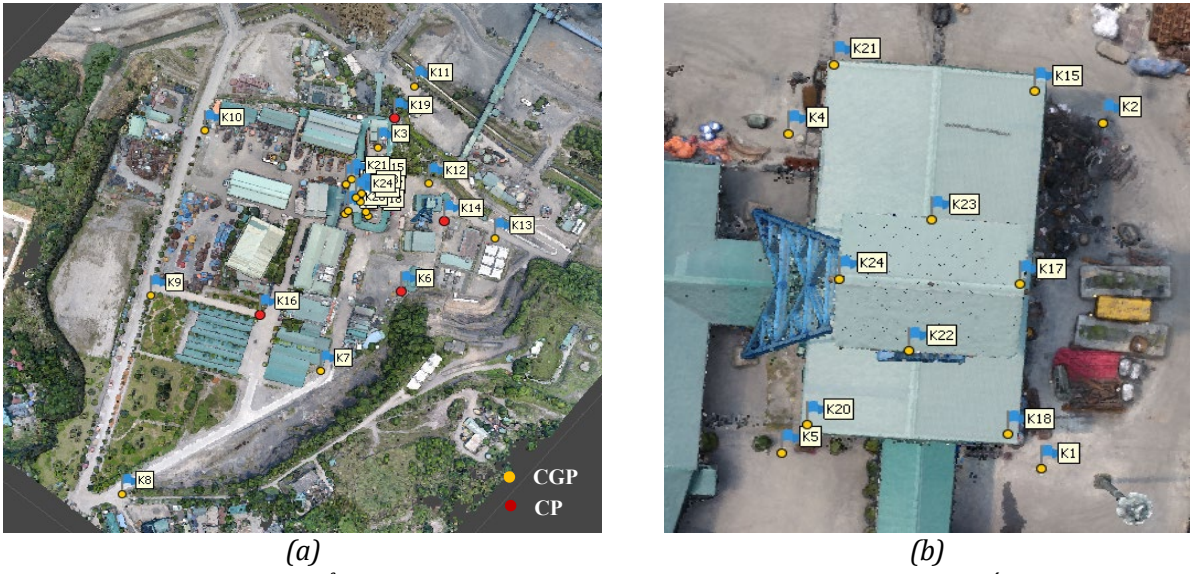
Thiết bị TLS được sử dụng là loại Faro Focus X130, thành lập các trạm quét quanh tháp giếng đứng phụ, các trạm quét được bố trí tạo thành phòng khép kín (khép về trạm quét đầu tiên). TLS được đặt ở chế độ quét 4x cho độ phân giải không gian quét đối tượng đạt 2 mm/10 m.

5. Thành lập đám mây điểm 3D

Qui trình thành lập đám mây điểm 3D cho SCN35 bằng dữ liệu TLS và ảnh bay chụp UAV thể hiện trên Hình 5.

5.1. Thành lập đám mây điểm 3D toàn khu vực

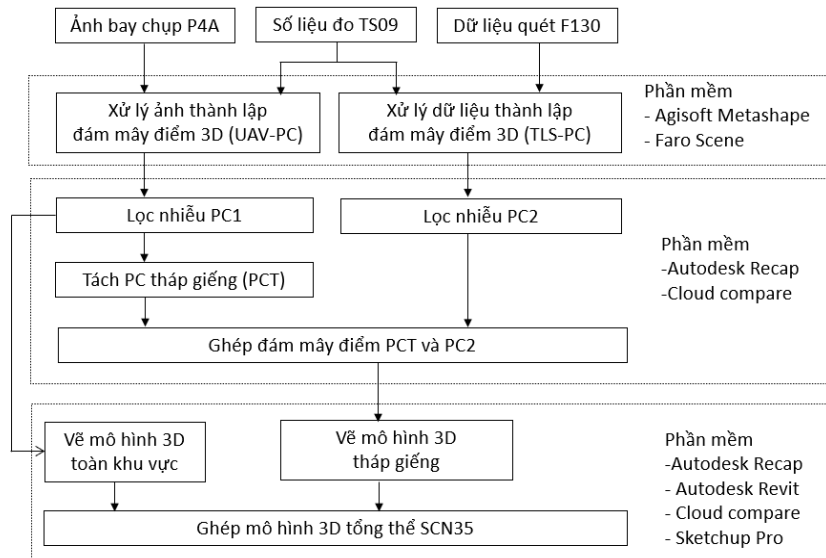
Sự kết hợp ảnh bay chụp bằng UAV chụp vuông góc, chụp dạng ô lưới cho đám mây điểm dày đặc và độ chính xác tốt hơn khi xử lý riêng lẻ mỗi trường hợp (Cao và nnk., 2021b). Do vậy, ảnh bay chụp UAV theo ba phương pháp trong Bảng 2 được xử lý đồng thời trên phần mềm Agisoft Metashape Pro 1.5.2.



Hình 3. Các điểm GCP và CP. (a) Toàn khu vực đo vẽ; (b) Khu vực tháp giếng.



Hình 4. Các khu vực bay chụp ảnh.



Hình 5. Quy trình thành lập mô hình 3D từ dữ liệu ảnh UAV và TLS.

Sử dụng thuật toán SFM (Structure From Motion) để ghép các ảnh, tái tạo bề mặt đám mây điểm. PC được thành lập qua các bước chính như ghép ảnh, bình sai tam giác không gian ảnh với các tham số định hướng trong, định hướng ngoài của ảnh và tạo đám mây điểm 3D.

Độ chính xác PC trên Hình 6 được đánh giá bằng sai số trung phương dựa vào các điểm kiểm tra (CP), sử dụng sai số trung phương (RMSE), tính toán cho sai số tọa độ X, Y, Z, XY và XYZ với các công thức tính toán như sau:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{DSM} - X_{CP_i})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{DSM} - Y_{CP_i})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{DSM} - Z_{CP_i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_{XY} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (4)$$

Trong đó: RMSE - sai số trung phương; n - tổng số điểm kiểm tra; X_{CP_i} và X_{DSM} , Y_{CP_i} và Y_{DSM} , Z_{CP_i} và Z_{DSM} - thành phần tọa độ tương ứng theo hướng trục X, Y, Z của điểm khống chế ảnh và điểm tương ứng trên mô hình số địa hình (DSM).

Sai lệch vị trí tọa độ các điểm kiểm tra mô hình ở khu vực nghiên cứu được thể hiện trên

Bảng 3. Sai số trung phương (RMSE) của mô hình DSM theo các thành phần tọa độ X, Y, Z lần lượt là 1,5 cm; 1,1 cm và 1,9 cm.

Bảng 3. Độ lệch vị trí tọa độ các điểm CP.

Điểm	Sai lệch tọa độ (cm)			
	ΔX	ΔY	ΔXY	ΔZ
K6	0,9	1,7	1,9	-1,5
K7	0,4	-0,5	0,6	-2,7
K11	-2,7	-1,5	3,1	-1,9
K14	-1,5	0,5	1,6	-1,1
K16	-1,0	0,8	1,3	1,1

5.2. Thành lập đám mây điểm 3D tháp giếng

Dữ liệu quét laser mặt đất (TLS) được xử lý trên phần mềm Faro Scene. Các trạm TLS được ghép với nhau bằng phương pháp nắn tọa độ gián tiếp, dựa vào tối thiểu 3 điểm GCP (Hình 3) đã biết tọa độ có trên PC của cả hai trạm cần ghép. Sau khi ghép trạm đám mây điểm tháp giếng (TLS-PC) như Hình 7b đã nằm trong hệ tọa độ địa phương VN2000 sử dụng kinh tuyến trực 107°45' múi chiếu 3^o.

PC tháp giếng thành lập từ ảnh bay chụp UAV (UAV-PC) được cắt ra từ đám mây điểm của SCN35 (Hình 7) được kết quả như Hình 8a. Trước khi ghép TLS-PC và UAV-PC đã được lọc nhiễu (bỏ điểm sai, chi tiết thừa) trên phần mềm Autodesk Recap 2022.

Việc hợp nhất hai PC tháp giếng thành lập từ ảnh bay chụp UAV và dữ liệu TLS được thực hiện

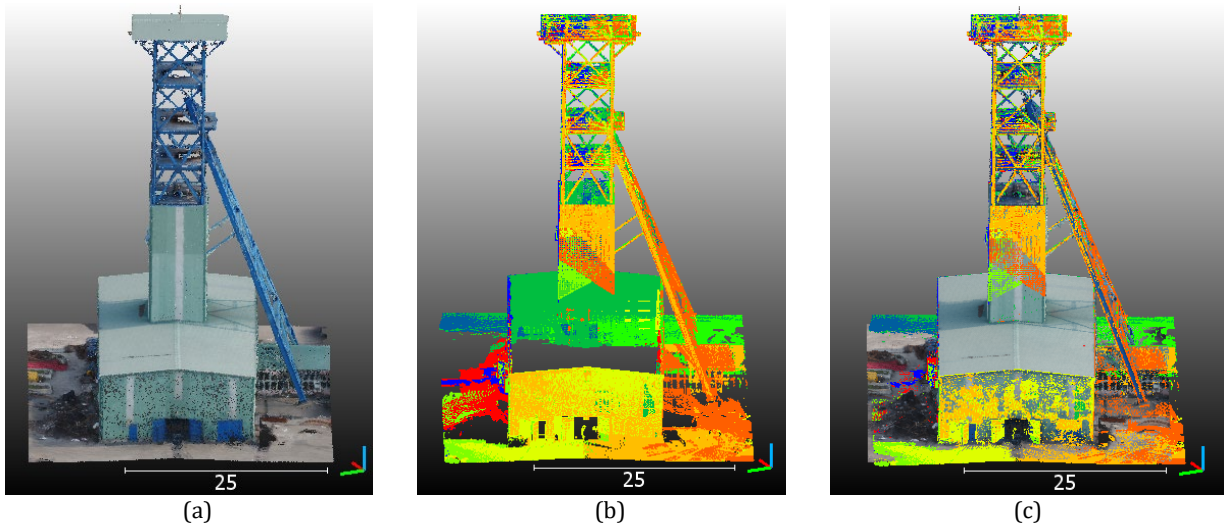


Hình 6. Đám mây điểm 3D tại khu vực SCN35 thành lập từ ảnh bay chụp UAV.

trên phần mềm Cloud compare bằng phương pháp ICP (Iterative Closest Point) tổng quát. Đây là phương pháp được đề xuất bởi tác giả Besl và McKay (1992) và được sử dụng khá phổ biến để ghép các PC. Phương pháp sử dụng thuật toán số bình phương nhỏ nhất với nhiều vòng lặp để giá trị sai số ghép tính từ mỗi vòng lặp giảm dần tới giá trị nhỏ nhất (Besl và McKay, 1992). PC thành lập bằng TLS có độ chính xác cao hơn, mật độ điểm dày hơn PC của UAV (Bolkas và nnk., 2020) nên được chọn làm dữ liệu cơ sở. PC thành lập từ UAV ngoài độ chính xác thấp hơn và mật độ điểm thưa hơn, PC này còn có sự thay đổi nhiều về mặt không gian đối tượng như méo hình ảnh, thay đổi kích thước (Bolkas và nnk., 2019) nên được chọn làm dữ liệu ghép để lấp vào khoảng trống PC của TLS. Kết quả ghép hai PC được thể hiện trên Hình 8c.

6. Thành lập mô hình 3D

Mức độ chi tiết mô hình 3D được thể hiện



Hình 7. Đám mây điểm tháp tháp giếng đứng; (a) UAV; (b) TLS; (c) Sau khi ghép.



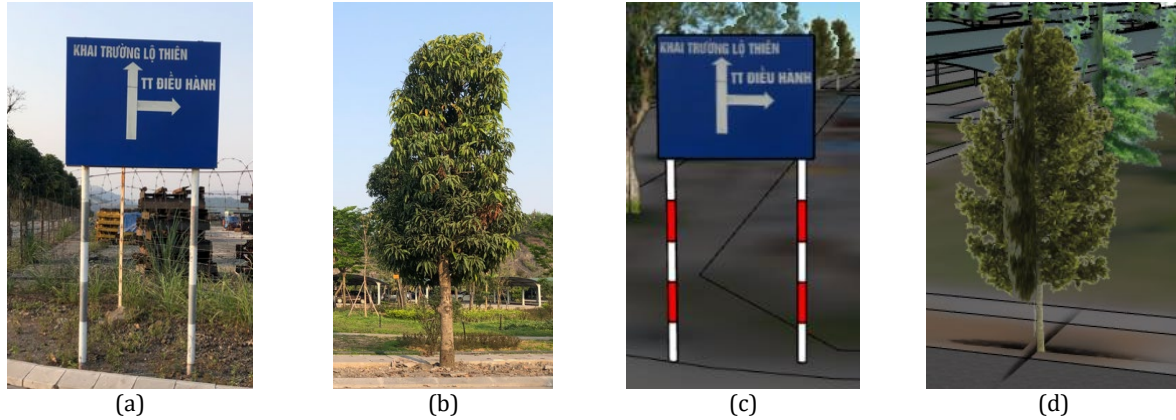
Hình 8. Mô hình 3D khối nhà điều hành; (a) Hình ảnh trên PC; (b) Mô hình 3D.

bằng LOD (Level Of Detail) theo chuẩn City GML, với LOD3 đối tượng trên mô hình được vẽ với kiến trúc thực, kích thước đối tượng 2x2x1 m và độ chính xác tuyệt đối của điểm 3D cả mặt bằng và độ cao đều phải đạt 0,5 m (Gröger, 2019).

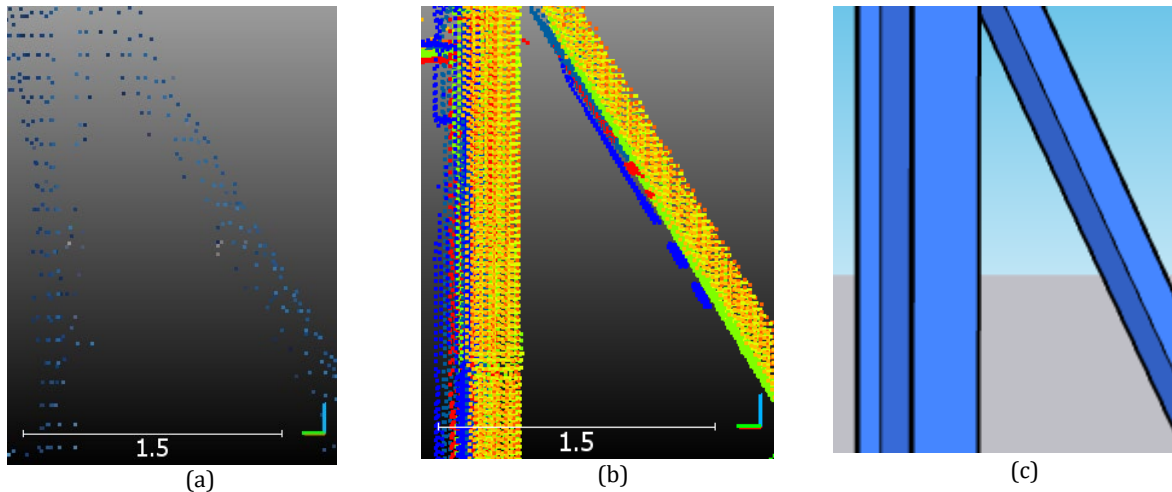
Vị trí các đối tượng trên SCN35 như đường, các công trình, vị trí các cây xanh,... được xác định trực tiếp trên nền ảnh trực giao. Kích thước về chiều dài, rộng và cao của các đối tượng được đo vẽ trực tiếp trên PC, dựa vào các thông số này mô hình 3D của các đối tượng được dựng 3D trên phần mềm Sketchup. Hình 8a thể hiện PC của tòa nhà điều hành, chiều dài phần mái nhà được đo trực tiếp trên PC, mô hình 3D tòa nhà này được dựng như Hình 8b. Tương tự vậy, các khối nhà khác lần lượt được dựng mô hình 3D. Đường giao thông trên SCN35 được vẽ trực tiếp trên nền ảnh trực giao, các địa vật khác như cây cối, biển báo, cột đèn, cột điện,... được xác định vị trí trên ảnh trực giao và vẽ vào mô hình bằng các ký hiệu tương ứng (Hình 9).

Phần thân dưới tháp giếng có kết cấu đơn giản nên được thành lập mô hình 3D tương tự phương pháp lập mô hình 3D cho khối nhà điều hành ở trên. Tuy nhiên, phần thân trên của tháp giếng được làm bằng kết cấu thép và có cấu tạo phức tạp. Để lập mô hình 3D phần này cần sử dụng dữ liệu ghép đám mây điểm tháp giếng (Hình 8c).

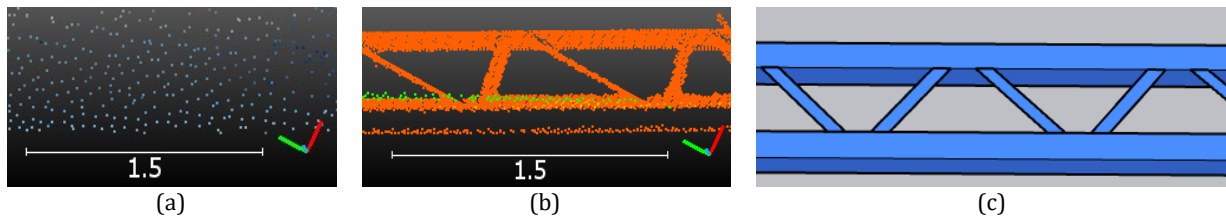
Cột và giằng chống tháp có kích thước lớn hơn 20 cm có thể đo xác định trên PC của TLS và UAV (Hình 10). Phần kích thước nhỏ hơn như giằng chống tháp chỉ có thể đo dữ liệu PC đã ghép (Hình 11). Tháp giếng được vẽ chi tiết và hoàn thiện mô hình 3D cho kết quả như Hình 12 và được ghép vào mô hình 3D hình tổng thể của SCN35 như Hình 13.



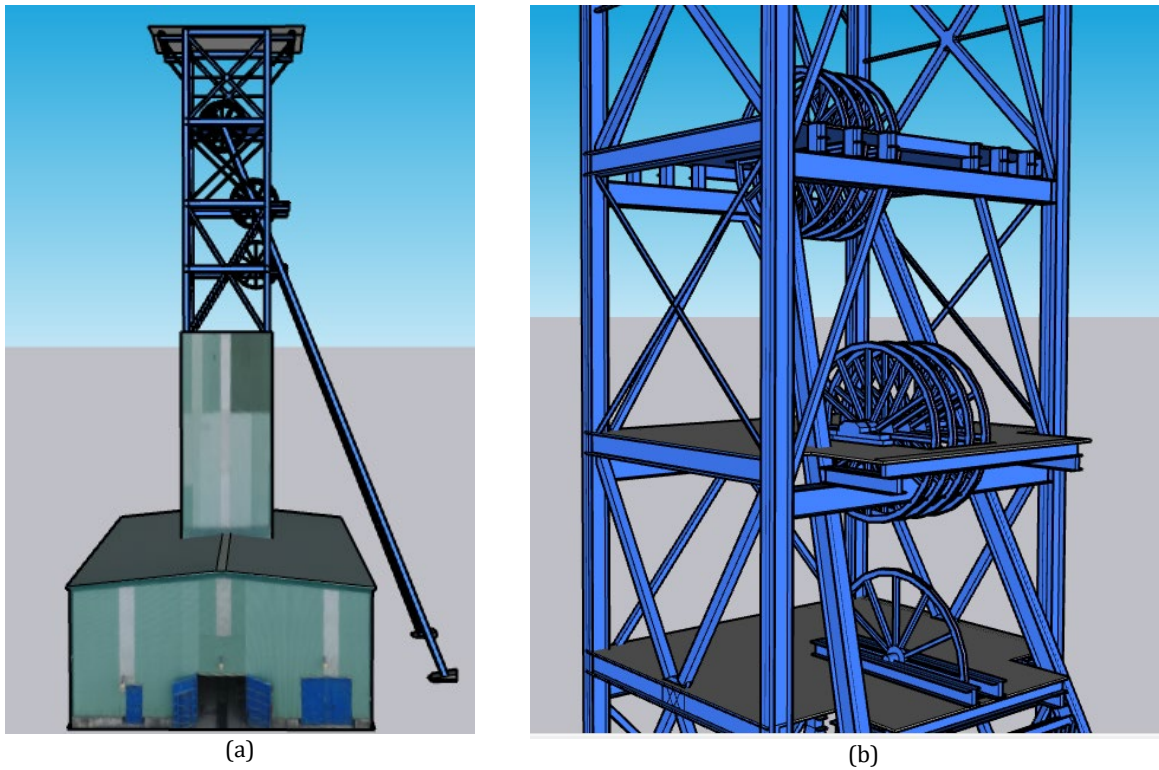
Hình 9. Các đối tượng địa vật.
(a) (b) Biển báo và cây trên thực địa; (c) (d) Biển báo và cây trên mô hình.



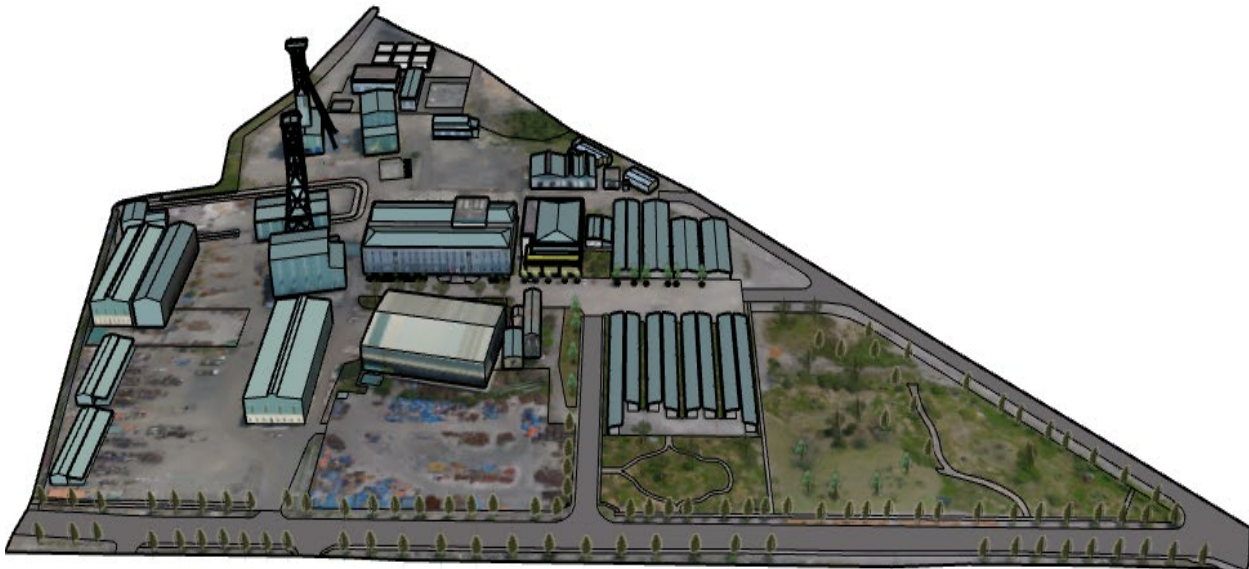
Hình 10. Cột và giằng chéo tháp kích thước lớn hơn 20 cm; (a) UAV-PC; (b) TLS - PC; (c) Mô hình 3D.



Hình 11. Giằng chéo tháp giếng kích thước nhỏ hơn 10 cm; (a) UAV-PC; (b) TLS - PC; (c) Mô hình 3D.



Hình 12. Mô hình 3D tháp giếng.
(a) Toàn cảnh tháp giếng; (b) Chi tiết phần trên sàn 2,3 và 4 của tháp giếng.



Hình 13. Mô hình 3D mặt bằng sân công nghiệp +35 mỏ Núi Béo.

7. Kết quả và thảo luận

Kết quả đánh giá độ chính xác PC mặt bằng sân công nghiệp +35 m mỏ than Núi Béo được thành lập từ ảnh bay chụp UAV trên Bảng 3 cho thấy độ lệch vị trí mặt bằng và độ cao lớn nhất của

PC là tại điểm K6 và K7 lần lượt là 1,9 cm và -2,7 cm. Sai số trung phương (RMSE) của PC về cả vị trí mặt bằng và độ cao đều dưới 2 cm. Do vậy, UAV-PC đạt độ chính xác thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500 theo TCVN 16074:2015, thỏa mãn điều kiện tương ứng độ chính xác xây dựng mô hình 3D ở mức độ chi tiết LOD3.

UAV-PC cho đám mây điểm với đầy đủ dữ liệu các phần mái cao của tòa nhà, tháp giếng nhưng phần dưới ô văng, dưới mái che lại thiếu dữ liệu (Hình 8a). TLS-PC cho kết quả ngược lại, khoảng trống dữ liệu trên PC tập trung ở phần mái cao khi tia laser không tới do chiều cao máy TLS hạn chế. UAV-PC và TLS-PC bổ sung các phần khiếm khuyết cho nhau, kết hợp hai phương pháp cho PC điểm hoàn chỉnh (Hình 7c).

Theo nghiên cứu của Burdziakowski và cộng sự các đối tượng trên đám mây điểm có thể phân biệt được khi có kích thước lớn hơn 1,5 lần độ phân giải ảnh mặt đất (GSD)(Burdziakowski và Zakrzewska, 2021). UAV-PC của SCN35 được bay chụp với GSD = 2,74 cm, kích thước đối tượng nhỏ nhất phân biệt được là 4,11 cm. Tháp giếng được bay chụp với GSD = 0,5 cm, kích thước đối tượng phân biệt được là 0,75 cm. Tuy nhiên, trên thực tế, các đối tượng địa vật có kích thước lớn như các khối nhà, phần thân dưới của tháp giếng, UAV-PC có thể đo và dựng 3D được ở mức độ chi tiết LOD2 (Hình 7a và Hình 8a). Ở mức độ chi tiết cao hơn, phần thân trên của tháp có kết cấu phức tạp hơn, các chi tiết cột, giằng chéo có kích thước lớn hơn 20 cm có thể phân biệt được trên UAV-PC nhưng đám mây điểm thưa không thể đo kích thước đối tượng (Hình 10a). Các chi tiết khác của tháp giếng có kích thước dưới 10 cm không thể phân biệt được trên UAV-PC (Hình 11a). Các chi tiết này có thể phân biệt và đo vẽ dựng 3D trên TLS-PC (Hình 11b).

8. Kết luận

Công nghệ UAV cho phép thu thập dữ liệu thành lập đám mây điểm 3D khu vực SCN có diện tích rộng nhanh chóng, hiệu quả. Sự kết hợp các phương pháp bay chụp góc chụp 90°, ô lưới 45° bay chụp vòng tròn quanh tháp giếng cho đám mây điểm đầy đủ chi tiết hơn khi sử dụng từng phương pháp riêng lẻ (Cao Xuan Cuong và nnk., 2021).

UAV và TLS bổ trợ các phần thiếu khuyết về dữ liệu trên đám mây điểm cho nhau, sự kết hợp của hai phương pháp này cho phép thành lập được đám mây điểm 3D hoàn chỉnh.

Phần trên của tháp giếng có kết cấu phức tạp, nhiều chi tiết nhỏ không thể đo vẽ và dựng mô hình 3D trên UAV-PC. Các chi tiết này được đo vẽ trên đám mây điểm đã ghép và có thể vẽ được mô hình 3D với mức độ chi tiết LOD3.

Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm khoa học của đề tài mã số T22-47, nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường đại học Mỏ - Địa chất đã hỗ trợ kinh phí, cảm ơn công ty CP than Núi Béo đã hỗ trợ trong quá trình đo đạc thực nghiệm tại mỏ.

Đóng góp của các tác giả

Lê Văn Cảnh - lập dàn ý, viết phần tổng quan, nội dung, phân tích thảo luận, xử lý số liệu; Cao Xuân Cường - tham gia thu thập, xử lý dữ liệu, viết phần tóm tắt và một phần nội dung; Tống Sĩ Sơn - sửa dàn ý, viết một phần nội dung, phân tích kết quả; Đinh Văn Hòa - tham gia thu thập dữ liệu thực nghiệm, biên tập một số hình vẽ.

Tài liệu tham khảo

- Besl, P. J., & McKay, N.D. (1992). A method for registration of 3-D shapes, *Trans. P. Pattern Anal. and Machine Intell*, 14(2), 239-256. doi: 10.1109/34.121791.
- Bolkas, D., Chiampi, J., Chapman, J., & Pavill, V. F. (2020). Creating a virtual reality environment with a fusion of sUAS and TLS point-clouds. *International journal of image and data fusion*, 11(2), 136-161.
- Bolkas, D., Sichler, T. J., & McMarlin, W. (2019). A case study on the accuracy assessment of a small UAS photogrammetric survey using terrestrial laser scanning. *Surveying and Land Information Science*, 78(1), 31-44.
- Bùi, T. K. T., Nguyễn, M. C. (2020). Thành lập mô hình 3D từ dữ liệu ảnh bay chụp UAV và ảnh quét TLS. *Hội nghị khoa học thường niên 2020*. Trường đại học Thủy lợi. ISBN: 978-604-82-3869-8.
- Burdziakowski, P., & Zakrzewska, A. (2021). A New Adaptive Method for the Extraction of Steel Design Structures from an Integrated Point Cloud. *Sensors*, 21(10), 3416.
- Cao, X. C., Lê, V. C., Nguyễn, V. N., & Tạ, T. T. H., (2021a). *Báo cáo đề tài cấp sơ sở "Nghiên cứu giải pháp tích hợp các mô hình đám mây điểm thành lập từ dữ liệu quét laser 3D mặt đất và ảnh bay chụp UAV phục vụ xây dựng cơ sở dữ liệu 3D mỏ hầm lò"*. Trường đại học Mỏ - Địa chất.

- Cao, X. C., Le, V. C., Pham, V. C., Le, D. T., Pham, T. D., & Ngo, S. C. (2021b). Quality assessment of 3D point cloud of industrial buildings from imagery acquired by oblique and nadir UAV flights. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 131-139. doi:10.33271/nvngu/2021-5/131.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C. and Häfele, K. H. (2012). *OGC city geography markup language (CityGML) encoding standard*.
- Hu, J., & Wan, N. (2010). Mine Information System Based on 3D Geological Modeling. *Third International Symposium on Information Science and Engineering*, 405-408.
- Le, V. C., Nguyen, V. N. (2016). Displacement monitoring of the industrial site area at Nui Beo Coal mine. *International conferences on earth sciences and sustainable Geo-resources development (ESASGD2016)*, Vietnam.
- Lee, S. J. and Choi, S. O. (2019). Analyzing the stability of underground mines using 3D point cloud data and discontinuum numerical analysis. *Sustainability*, 11(4), 945.
- Marcisz, M., Probierz, K., & Ostrowska-Łach, 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.
- Nguyễn, V. N., Vũ, Q. L., Nguyễn, Q. L., Phạm, T. L., Phạm, V. C. và Nguyễn, T. T. H., (2019). *Quét laser mặt đất - công nghệ địa không gian trong công nghiệp khoáng sản*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.
- Võ, C. M., (2016). *Trắc địa mỏ*. Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.