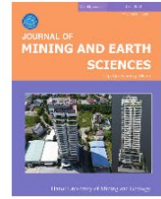




Journal of Mining and Earth Sciences

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



Combined use of Terrestrial Laser Scanning and UAV Photogrammetry in producing the LoD3 of 3D high building model



Ha Thu Thi Le ^{1,*}, Trung Van Nguyen ¹, Lan Thi Pham ¹, Son Si Tong ², Long Huu Nguyen ³, On Dac Vo ⁴

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² University of Science and Technology of Hanoi, Hanoi, Vietnam

³ Dong Thap University, Dong Thap province, Vietnam

⁴ Company of Khanh Hoa province Architectre Construction Consultans Stock, Khanh Hoa province, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23rd Feb. 2022

Revised 27th June 2022

Accepted 22nd July 2022

Keywords:

3D Model,
Terrestrial Laser Scanners (TLS),
Unmanned Aerial Vehicles (UAV).

ABSTRACT

Both Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and Terrestrial Laser Scanners (TLS) are important techniques for surveying and mapping. UAV equipment is commonly used to collect 2D or 3D data acquisition. Meanwhile, TLS equipment is used for obtaining only 3D data acquisition. However, if both are integrated, they were able to produce more accurate data. Multi-sensor data fusion helps overcome the limitations of a single sensor and enables a complete 3D model for the structure and better object classification. This study focuses on studying the combination of UAV and TLS technologies to collect, process data, and create the complete point cloud between two point clouds of the high building in Ha Long city, Quang Ninh province to establish a 3D model at LoD 3 detail level, with high accuracy. FARO FOCUS^{3D} X130 and DJI Phantom 4 RTK equipments were used to acquire the data in the field. The aerial and ground data were processed using FARO SCENE 2019 and Agisoft PhotoScan software, respectively. The data integration process is done by converting both point clouds into the same coordinate system and then by aligning the same points of both points clouds in Cloud Compare. The result of this study is a 3D model at LoD 3 detail level of the high building based on the point cloud accuracy in centimeter level. The combined use of UAV and TLS technologies has proven to be possible to create a highly accurate 3D model, at the 1:500 scale of urban areas according to current standards.

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

*Corresponding author

E - mail: lethithuha@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).03



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Nghiên cứu kết hợp công nghệ máy bay không người lái (UAV) và quét Laser mặt đất thành lập mô hình 3D cấp độ chi tiết cao (LoD 3) cho nhà cao tầng trong khu vực đô thị

Lê Thị Thu Hà ^{1,*}, Nguyễn Văn Trung ¹, Phạm Thị Làn ¹, Tống Sĩ Sơn ², Nguyễn Hữu Long ³, Võ Đắc Ổn ⁴

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

² Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

³ Trường Đại học Đồng Tháp, tỉnh Đồng Tháp, Việt Nam

⁴ Công ty CP Tư vấn kiến trúc và xây dựng Khánh Hòa, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 23/02/2022

Sửa xong 27/6/2022

Chấp nhận đăng 22/7/2022

Từ khóa:

Mô hình 3D công trình đô thị,
Quét Laser mặt đất,
UAV.

Máy bay không người lái (UAVs) và quét laser 3D mặt đất (TLS) là những kỹ thuật quan trọng để khảo sát và thành lập bản đồ. UAV thường được sử dụng để thu thập dữ liệu 2D hoặc 3D. Trong khi đó, TLS thường dùng để thu thập dữ liệu 3D. Tuy nhiên, nếu cả hai công nghệ này được kết hợp, chúng sẽ tạo ra dữ liệu có độ chi tiết cao và chính xác hơn. Sự kết hợp đa nguồn dữ liệu sẽ giúp khắc phục những hạn chế của dữ liệu từ một nguồn cảm biến và tạo ra mô hình 3D hoàn chỉnh cho cấu trúc và phân loại đối tượng tốt hơn. Nghiên cứu này kết hợp giữa thiết bị quét laser 3D FARO FOCUS3D X130 và DJI Phantom 4 RTK để thu thập dữ liệu tại hiện trường. Dữ liệu trên không và dữ liệu mặt đất được xử lý bằng cách sử dụng FARO SCENE 2019 và phần mềm Agisoft PhotoScan tương ứng. Quá trình tích hợp dữ liệu được thực hiện bằng cách chuyển đổi cả hai đám mây điểm thành cùng một hệ thống tọa độ và sau đó căn chỉnh các điểm giống nhau của cả hai đám mây điểm trong Cloud Compare. Nghiên cứu này đã chứng minh cho việc sử dụng kết hợp giữa hai công nghệ UAV và TLS có thể tạo ra mô hình 3D công trình nhà cao tầng ở mức độ chi tiết LoD 3, độ chính xác đạt tới tỷ lệ 1: 500 cho các khu đô thị theo tiêu chuẩn hiện hành.

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

1. Mở đầu

Mô hình 3D công trình xây dựng với các nhóm nội dung, mức độ chi tiết khác nhau sẽ phục vụ cho các mục đích khác nhau. Đây là công cụ hữu ích để hỗ trợ công tác quy hoạch và kiến trúc cho thành phố cũng như nâng cấp hoàn thiện hệ thống hạ tầng công trình đô thị tại nhiều nước phát triển

*Tác giả liên hệ

E - mail: lethithuha@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).03

(Fai và Rafeiro, 2014). Cấp độ chi tiết (Level of Detail - LoD) diễn tả mức độ chi tiết, sự giống nhau giữa mô hình 3D và thế giới thực (BIM forum, 2013). LoD miêu tả về mặt hình thức đối tượng sẽ được thể hiện giống với hình ảnh thực đến mức nào. Khi thiết kế mô hình mô phỏng thế giới thực, người thiết kế khó có thể xây dựng được mô hình giống thế giới thực 100%. Mô hình càng giống thực tế thì dung tích dữ liệu càng lớn, tốc độ hiển thị càng chậm và chi phí xây dựng càng cao.

CityGML là một tiêu chuẩn mã hóa liên hợp không gian địa lý mở (OGC) đã được phát hành lần đầu vào năm 2008 (Open Geospatial Consortium, 2008; 2012) và cho phép mã hóa với năm cấp độ LoD được tinh chỉnh liên tiếp từ LoD0 đến LoD4, hiện được phân biệt để xây dựng các mô hình có các mức độ chi tiết về hình học và khác nhau tương ứng về độ chính xác (Biljecki và nnk., 2016). Mức thô nhất - LoD0, về cơ bản là đại diện 2,5D, trong đó các tòa nhà được thể hiện bằng dấu chấm hoặc đa giác cạnh mái. LoD1 được tổng quát hóa như các khối lăng trụ nổi với tường đứng và mái bằng. Trong khi đó, LoD2 là các mô hình tòa nhà có ranh giới phân biệt theo chủ đề bề mặt và cấu trúc mái khác nhau, cùng với các công trình lắp đặt bổ sung, chẳng hạn như ban công và mái che. Mức LoD3 được biểu thị lớp vỏ kiến trúc bên ngoài chi tiết nhất, có khả năng bao gồm các lỗ hổng (cửa và cửa sổ). Các cấu trúc nội thất, chẳng hạn như phòng, đồ nội thất hoặc hệ thống lắp đặt, được thêm vào LoD4 với hình dáng bên ngoài tương tự như của các mô hình LoD3.

Hiện tại, mô hình dữ liệu không gian 3D đã được xây dựng cho hầu hết các thành phố lớn thuộc các nước phát triển trên thế giới (Biljecki và nnk., 2015). Các công ty cung cấp các dịch vụ thành lập dữ liệu không gian 3D cho thành phố thông minh cũng đang khá phát triển như công ty Urban Visualization and Management (UVM), tập đoàn Skymap Global, tập đoàn AAM. Các công ty này cung cấp các giải pháp hoàn chỉnh để xây dựng thành phố thông minh cho từng mục đích cụ thể với các phạm vi theo yêu cầu khác nhau. Tuy nhiên, các công cụ và phương pháp hiện tại vẫn còn một số đặc điểm chung là cần kết hợp nhiều phương pháp thu thập dữ liệu bao gồm: bay chụp, quét laser 3D mặt đất, dữ liệu bản đồ sẵn có, định dạng các dữ liệu không gian 3D cho việc lưu trữ trình chiếu, tính toán không thống nhất,... trong đó, các đối tượng như các cây lớn trong thành phố

là trở ngại cho việc thu thập dữ liệu ảnh bề mặt của các tòa nhà cũng như đường phố. Do đó, với mỗi đặc thù khu vực cụ thể, cần tính toán những giải pháp phù hợp như: khả năng tài chính, khả năng kỹ thuật, điều kiện tự nhiên, yêu cầu, mục đích của dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D cần xây dựng.

Phương pháp ứng dụng công nghệ máy bay không người lái (UAV) để xây dựng dữ liệu không gian 3D các công trình kiến trúc cũng như cho các thành phố đã được thực hiện trong khoảng 10 năm gần đây. Hannes và cộng sự đã thử nghiệm ứng dụng ảnh máy bay không người lái và ảnh chụp mặt đất để xây dựng mô hình 3D của lâu đài Landenberg (Hannes và nnk., 2008). Nghiên cứu này đã sử dụng máy ảnh thông thường gắn trên máy bay để chụp vòng quanh nhà thờ ở góc nghiêng 70° và chụp thẳng trên nóc với độ phân giải mặt đất là 10 m. Đồng thời, ảnh chụp mặt đất từ bốn phía của lâu đài cũng được sử dụng để bổ xung hình ảnh bề mặt lâu đài trong mô hình 3D. Phần mềm Photomodeler 6 được sử dụng để mô phỏng 3D của lâu đài. Tuy nhiên, do công nghệ khớp ảnh chưa hoàn thiện nên việc phải xác định thủ công các điểm chung để nối ảnh, nối dải bay (Tie points) mất nhiều thời gian và công sức. Thời gian gần đây, các thiết bị UAV hiện đại có thể mang nhiều máy ảnh (5 máy) được cố định ở các góc chụp khác nhau để chụp một chuỗi các ảnh liên tiếp, giảm thiểu việc phải chụp lặp nhiều lần đã cho phép nâng cao chất lượng dữ liệu (Gui và nnk., 2009; Li và nnk., 2018). Dữ liệu UAV cũng được sử dụng để thành lập bản đồ 3D ven biển cho thành phố thông minh ở Pusan, Hàn Quốc nhằm thích ứng với biến đổi khí hậu (Yoo và nnk., 2018). Bên cạnh đó, Papakonstantinou và nnk. (2015) đã nhận dạng vùng bờ biển và lập bản đồ 3D sử dụng dữ liệu UAV phục vụ xây dựng thành phố thông minh ở đảo Lesvos và bờ biển Eressos, Hy Lạp. Các nghiên cứu trên cho thấy tiềm năng của dữ liệu địa không gian trong việc xây dựng dữ liệu không gian 3D là rất lớn.

Trong xu thế phát triển hiện nay, công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS - Terrestrial Laser 3D Scanner) được biết đến và áp dụng trong các công việc khảo sát, kiểm định các công trình nhằm dần thay thế cho các thiết bị nói trên với độ chính xác cao hơn UAV do máy quét đặt cố định trên mặt đất. Thiết bị TLS có khả năng thu thập dữ liệu đám mây các điểm trong không gian, các đám mây điểm này

ghi lại chi tiết hình dạng bề mặt của một vật thể trong không gian và mỗi một điểm đám mây này đều chứa thông tin tọa độ (XYZ) và các thông số đối tượng. Thiết bị TLS hiện mới được dùng trong một số công tác chuyên môn như thành lập bản đồ địa hình, khảo sát bề mặt và cấu kiện của các công trình xây dựng (Đỗ và nnk., 2019; Đặng và nnk., 2012).

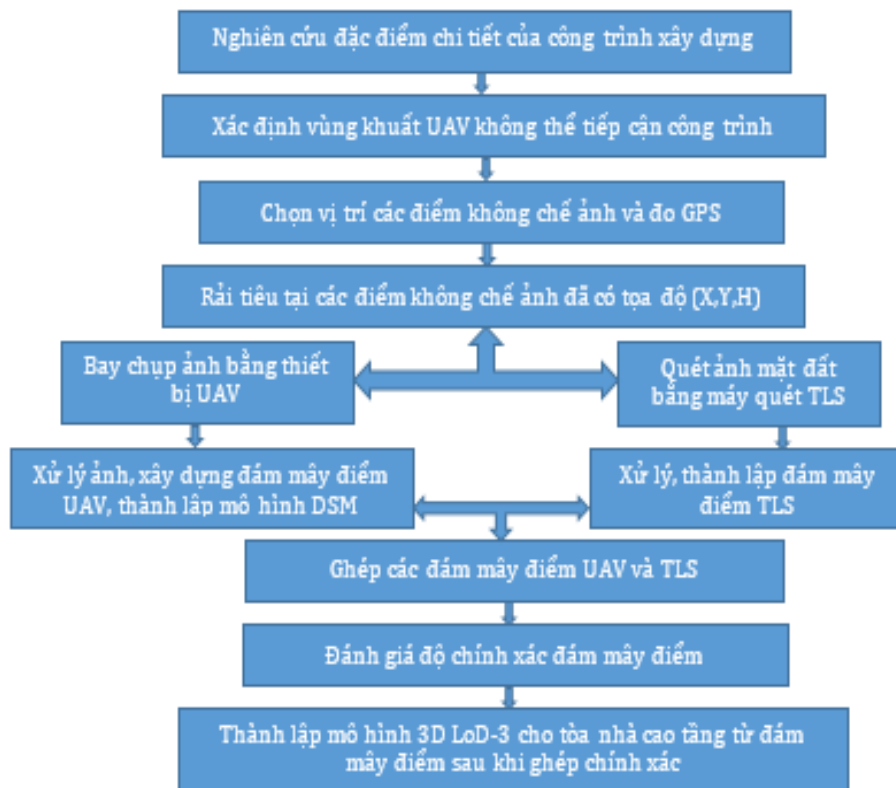
Các công trình nhà cao tầng ở đô thị, đặc biệt ở các đô thị ven biển thường có độ cao lớn, kết cấu phức tạp mang tính thẩm mỹ cao. Để thành lập mô hình 3D cấp độ chi tiết cao (LoD3) của công trình cao tầng, hiện nay các nghiên cứu thường kết hợp các thiết bị UAV và TLS. Công nghệ bay chụp bằng UAV có ưu thế là thu thập số liệu trên bề mặt công trình rất tốt nhưng lại không có khả năng ghi nhận các điểm bị che khuất ở phía dưới của công trình, điều mà công nghệ TLS hoàn toàn có thể làm được. Nhưng khi áp dụng TLS cho các công trình thì phần bề mặt phía trên của công trình cao tầng (từ phần mái trở lên) rất khó tiếp cận hoặc không thể đo quét. Vì vậy, kết hợp các ưu điểm của 2 công nghệ này để xây dựng mô hình số 3D cấp độ chi tiết cao (LoD3) cho công trình nhà cao tầng trong

đô thị là xu hướng mới cấp thiết.

2. Quy trình kết hợp công nghệ máy bay không người lái (UAV) và quét laser 3D mặt đất (TLS) thành lập mô hình 3D cấp độ chi tiết LoD3

Hiện nay, các thiết bị TLS và UAV khá đa dạng về chủng loại với nhiều chức năng cũng như ưu điểm và nhược điểm khác nhau. Tùy theo mục đích và đặc điểm của công trình mà lựa chọn thiết bị UAV và TLS phù hợp. Quy trình thực hiện nhằm tích hợp các dữ liệu từ các thiết bị khác nhau được thực hiện và đề xuất như Hình 1.

Trong nghiên cứu này, thiết bị UAV sử dụng là Phantom 4 RTK của hãng DJI (DJI, 2018), máy quét laser 3D mặt đất của hãng Faro mã hiệu FARO FOCUS^{3D} X130. Khi bay chụp UAV hoặc quét TLS, tiêu đo sẽ được đặt chính xác tại các điểm khống chế mặt đất (GCP). Kết quả bay chụp UAV được xử lý bằng phần mềm Agisoft PhotoScan trong bộ Metashape phiên bản 1.6.1 của Agisoft. Phần mềm xử lý kết quả TLS là FARO SCENE 2019 đi kèm với thiết bị quét FARO FOCUS^{3D} X130. Các kết quả này sau đó được xuất ra dưới khuôn dạng đám mây điểm (PC - point cloud). PC từ dữ liệu UAV được



Hình 1. Quy trình thu thập dữ liệu và thành lập mô hình 3D LoD3 cho nhà cao tầng bằng kết hợp thiết bị UAV và TLS.

tích hợp cùng PC từ dữ liệu TLS trong phần mềm FARO SCENE 2019 để thu được mô hình 3D kết hợp giữa UAV và TLS. Sau đó, sử dụng phần mềm Sketchup Pro 2021 để xây dựng mô hình 3D chi tiết cấp độ LoD3 cho công trình nhà cao tầng trong khu vực đô thị ven biển của Thành phố Hạ Long (TP. Hạ Long), tỉnh Quảng Ninh.

3. Kết quả và thảo luận

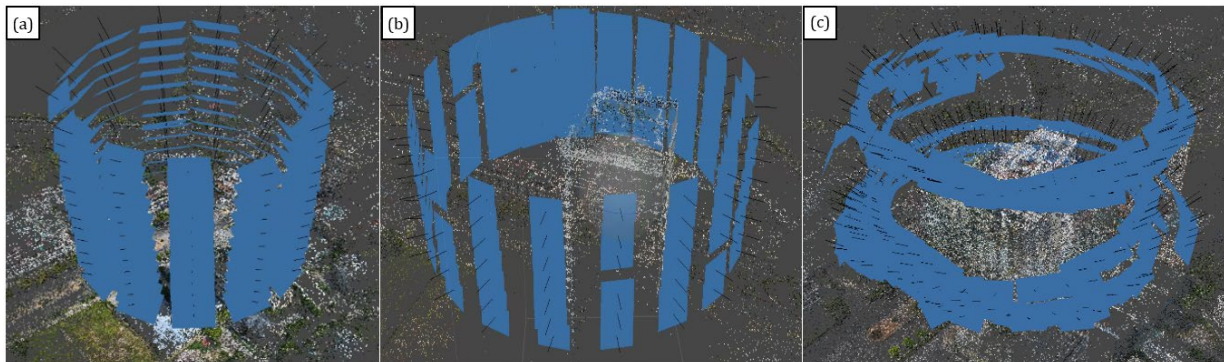
3.1. Kết quả bay chụp UAV

Kết quả công tác bay chụp UAV trên đối tượng tòa nhà cao tầng được tóm tắt như trong Bảng 1. Hình 2 mô tả chi tiết quá trình bay và thu nhận dữ liệu của tòa nhà cao tầng theo các thông số bay được thể hiện trên Bảng 1.

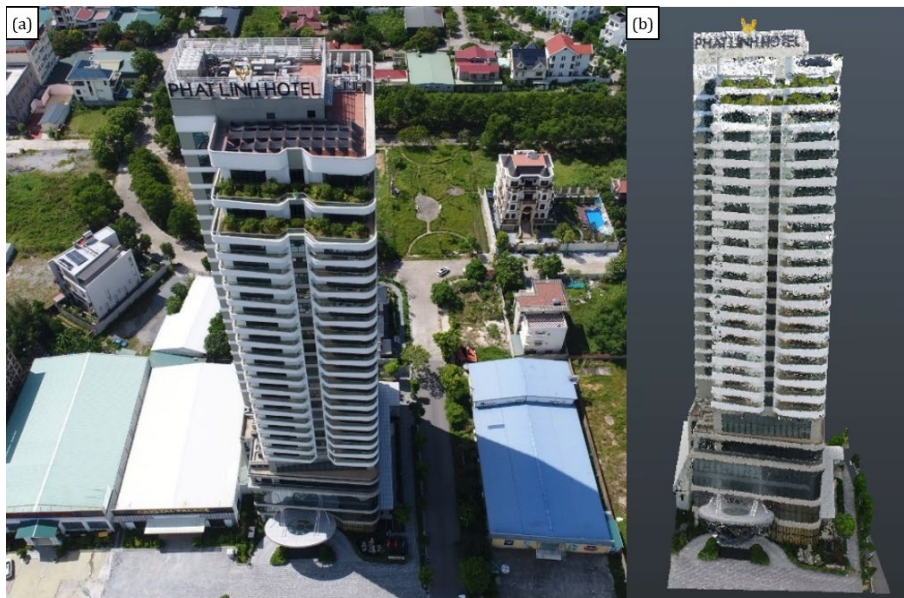
Sản phẩm thu được của quá trình xử lý ảnh UAV là đám mây điểm tọa độ và thông tin đối tượng tòa nhà cao tầng tại TP. Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh như Hình 3.

Bảng 1. Kết quả bay chụp ảnh UAV thành lập mô hình 3D.

Chế độ bay	Chiều cao bay (m)	Góc chụp	Số ca bay	Số ảnh chụp	Độ phân giải (cm)
Quỹ đạo tròn trên DJI GS Pro	50 - 175	- 45°	01	149	1,05
		-15°	01	151	
Điều khiển tự do	65 - 125	- 45°	02	556	



Hình 2. Kết quả chụp ảnh ở các chế độ: (a) quỹ đạo tròn góc chụp -45°; (b) quỹ đạo tròn góc chụp -15°; (c) bay điều khiển tự do góc chụp -45°.



Hình 3. Toàn cảnh tòa nhà cao tầng ngoài thực địa (a); Mô hình đám mây điểm UAV cho tòa nhà cao tầng (b).

3.2. Kết quả quét laser 3D mặt đất

Hình 4 mô tả sơ đồ bố trí các trạm đo quét laser 3D mặt đất xung quanh tòa nhà cao tầng khu vực thực nghiệm. Có tất cả 11 trạm TLS, các trạm này được bố trí với điều kiện đảm bảo thu thập đầy đủ nhất thông tin dữ liệu cho tòa nhà cao tầng.

Dữ liệu đo quét TLS được xử lý bằng phần mềm SCENE để nhận được đám mây điểm 3D các đối tượng theo quy trình chính như sau:

- Trú dữ liệu vào máy tính;
- Lọc các điểm vượt quá giới hạn thu nhận dữ liệu của một trạm máy;
- Ghép dữ liệu đám mây điểm của các trạm máy đơn và tiến hành kiểm tra độ lệch tương đối

tại các điểm tiêu đo cùng tên giữa các trạm máy liền kề. Độ lệch tương đối giữa các điểm tiêu đo cùng tên được quy định không vượt quá hai lần sai số cho phép của điểm đo quét;

- Ghép và bình sai dữ liệu đám mây điểm tại các trạm máy đơn thành một khối thống nhất theo các tham số là tọa độ, độ cao của các điểm trạm máy;

- Loại bỏ các điểm không thuộc đối tượng cần thu thập dữ liệu (còn gọi là những điểm nhiễu thô);

- Phân loại dữ liệu đám mây điểm phục vụ thành lập mô hình số bề mặt và mô hình số độ cao.

Kết quả của quá trình thu thập và xử lý dữ liệu được thể hiện ở Hình 5.



Hình 4. Sơ đồ bố trí các trạm quét laser 3D mặt đất xung quanh tòa nhà cao tầng (a); Tiêu TLS và cách bố trí các tiêu trên mặt đất (b).



Hình 5. Đám mây điểm TLS cho tòa nhà cao tầng.

3.3. Ghép đám mây điểm UAV và TLS

Để nâng cao độ chính xác của đám mây điểm sau khi ghép, phương pháp ICP (Iterative Closest Point – các điểm gần nhất lặp lại) được sử dụng. Trước khi ghép, đám mây điểm UAV và TLS được lọc bỏ nhiễu. Lọc nhiễu các đám mây điểm nhằm loại bỏ các điểm của đối tượng không quan trọng như dây điện, cây cối,... hoặc các điểm bị sai trong quá trình xử lý trước đây. Ngoài ra, lọc nhiễu cũng làm giảm dung lượng của đám mây điểm.

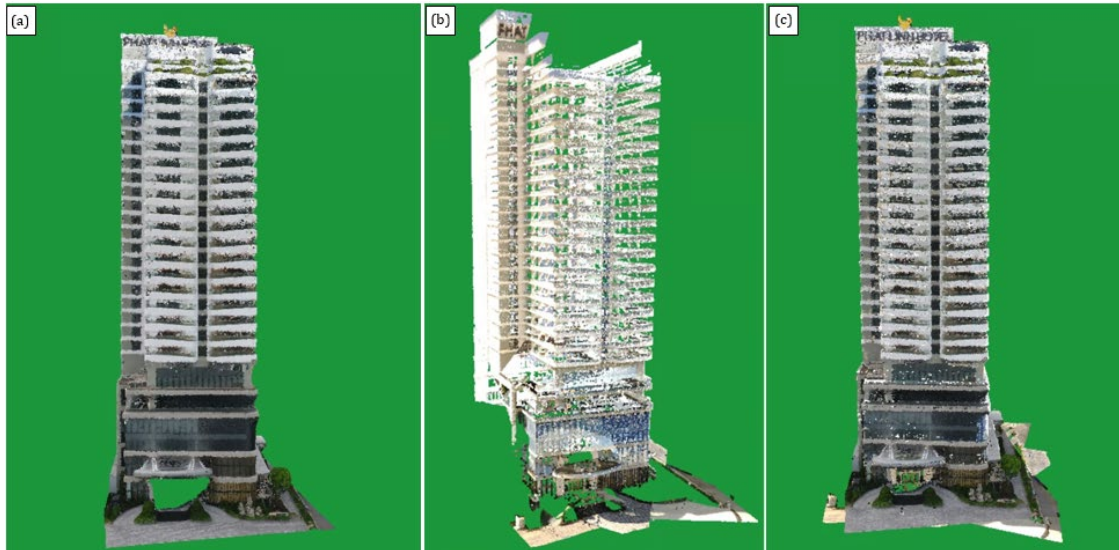
Do đám mây điểm TLS có mật độ điểm và độ chính xác cao hơn nên được sử dụng làm đám mây điểm cơ sở và đám mây điểm UAV là đám mây điểm ghép. Công đoạn ghép dữ liệu gồm 2 bước: ghép thô (Coarse Alignment) và ghép chính xác (Fine Alignment). Trong đó, ở bước ghép thô cần lựa chọn tối thiểu 4 điểm song trùng trên hai đám mây điểm. Đây có thể là điểm tiêu, điểm khống chế

ảnh hoặc điểm đặc trưng rõ nét trên hai đám mây điểm. 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 và thời gian xử lý sẽ lâu hơn. Hai bước ghép dữ liệu đám mây điểm được thực hiện trên phần mềm Cloudcompare.

Kết quả quá trình ghép hai đám mây điểm từ công nghệ UAV và TLS là đám mây điểm hoàn chỉnh của tòa nhà cao tầng được thể hiện trong Hình 6.

3.4. Đánh giá độ chính xác các đám mây điểm cho tòa nhà cao tầng

Với phương pháp đánh giá dựa trên điểm kiểm tra, kết quả đánh giá độ chính xác đám mây điểm ghép giữa UAV và TLS của tòa nhà cao tầng được thể hiện trong Bảng 2.



Hình 6. Đám mây điểm thu thập bằng UAV sau khi lọc nhiễu (a); Đám mây điểm thu thập bằng TLS sau khi lọc nhiễu (b); Đám mây điểm ghép từ dữ liệu UAV và TLS sau ghép chính xác (c).

Bảng 2. Kết quả đánh giá độ chính xác ghép giữa đám mây điểm thu thập bằng UAV và TLS của tòa nhà cao tầng.

Tên điểm kiểm tra	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Mp (cm)	Sai số H (cm)
3	-0.8	-0.8	1.1	0.9
6	0.4	-3.2	3.3	-1.7
18	4.4	-0.6	4.4	6.1
23	3.8	2.0	4.3	4.3
197	-2.3	-2.9	3.7	-0.9
203	-6.3	-1.9	6.5	-0.7
205	-5.9	-5.7	8.2	-2.4
212	-2.0	4.4	4.8	-19.5
RMSE	3.8	3.1	5.0	7.5

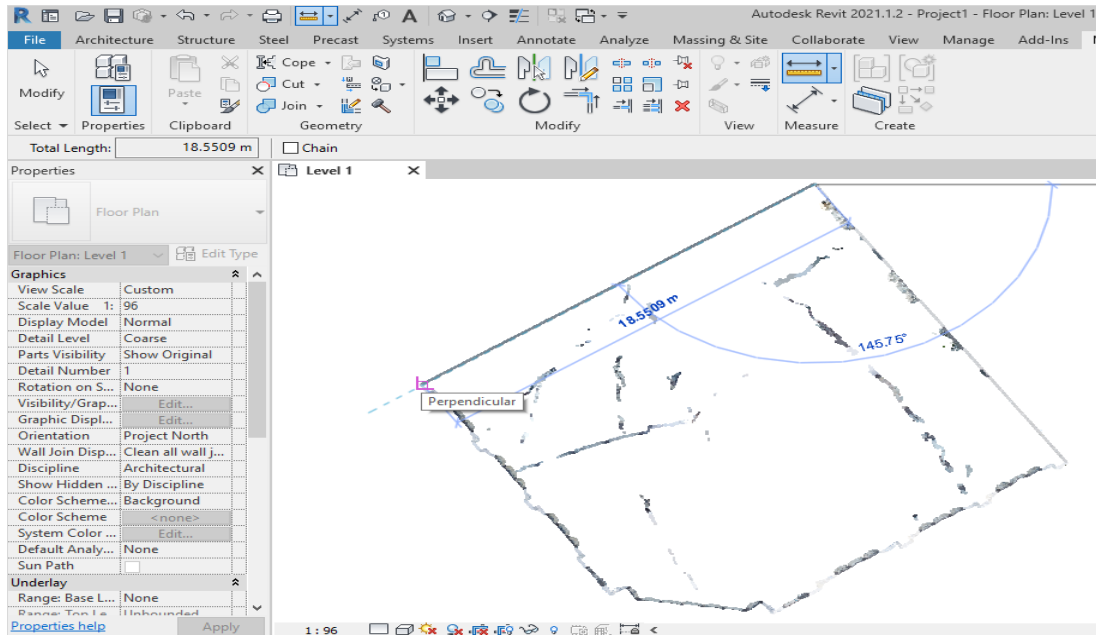
Như vậy, nhìn trên Bảng 2 có thể thấy rằng đám mây điểm sau khi ghép giữa đám mây điểm thu thập bằng UAV và TLS cho đối tượng tòa nhà cao tầng là khá cao, các điểm kiểm tra của đám mây điểm sau ghép đều đạt dưới ngưỡng cho phép, sai số đạt được dưới 10 cm. Trong khi đó, theo tiêu chuẩn mức độ yêu cầu độ chính xác của mô hình City GML, LoD3 có độ chính xác cho phép của các điểm 3D là 50 cm.

3.5. Thành lập mô hình 3D LoD3 cho tòa nhà cao tầng từ đám mây điểm đã ghép trên phần

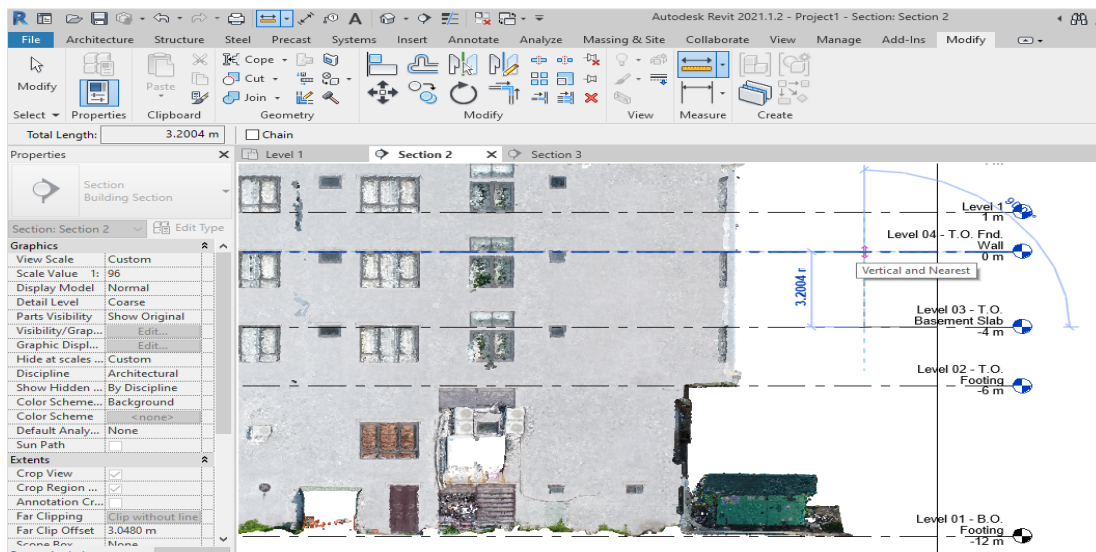
mềm Sketchup Pro 2021.

Mô hình 3D đối tượng nghiên cứu được xây dựng dựa trên các thông số về kích thước đối tượng đám mây điểm bằng các phần mềm Autodesk Revit và Autodesk Recap (Hình 7÷9).

Để chính xác hóa lại kích thước đối tượng đã vẽ dưới dạng LoD1. Trên phần mềm Autodesk Recap, các đối tượng được đo kích thước trên hình chiếu bằng (Hình 7) và hình chiếu đứng (Hình 8) để kiểm tra độ chính xác của đối tượng. Các chi tiết nhỏ hơn như kích thước cửa, kích thước chi tiết các ngôi nhà, chiều cao mái, góc dốc mái nhà,...



Hình 7. Đo kích thước mặt bằng công trình trên Autodesk Revit.



Hình 8. Đo khoảng cách đứng trên phần mềm Autodesk Revit.

cũng được đo trực tiếp trên đám mây điểm (Hình 9). Kết quả của quá trình này là đã xây dựng thành công mô hình 3D cấp độ chi tiết LoD3 cho tòa nhà cao tầng tại khu vực TP. Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh (Hình 10). Trên mô hình 3D ở mức độ chi tiết cao LoD3, có thể xác định chính xác kích thước chi tiết của công trình như: cửa sổ, cửa chính, khoảng rộng ban công, chiều cao tầng, chiều cao lan can,...

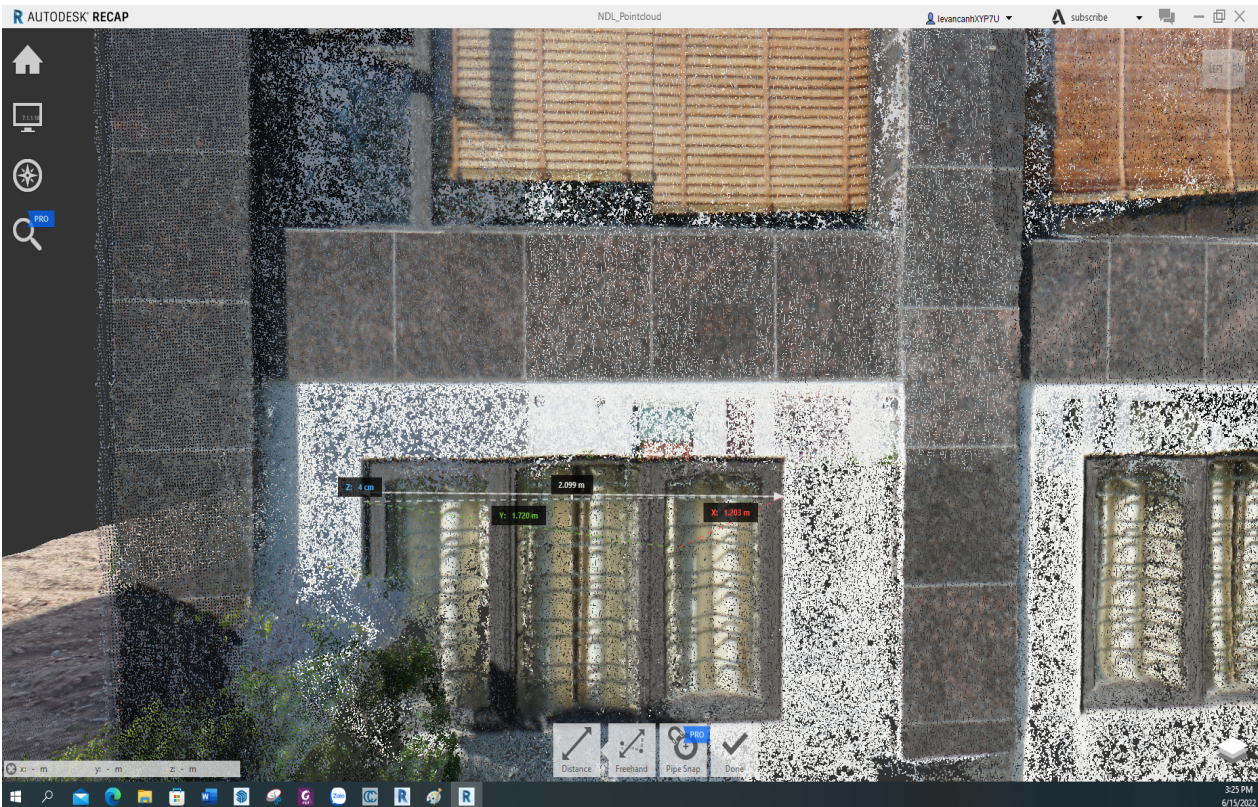
Dữ liệu mô hình 3D trên phần mềm Sketchup Pro 2021 được biên tập đảm bảo quan hệ hình học không gian. Các đối tượng công trình đều được phân tách thành các đối tượng (object) riêng biệt, được thể hiện trên mô hình 3D bằng hình ảnh với chiều cao và kích thước thực tế. Có thể thấy đám mây điểm kết hợp giữa dữ liệu UAV và TLS có độ chính xác cao. Đảm bảo yêu cầu theo tiêu chuẩn mức độ yêu cầu độ chính xác của mô hình City GML đối với cấp độ chi tiết LoD3.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, dữ liệu đám mây điểm được áp dụng cho công trình tòa nhà cao tầng đã được thu thập bằng cách sử dụng kết hợp giữa công nghệ quét laser 3D mặt đất (TLS) và đo chụp

UAV nhằm đảm bảo thu thập đầy đủ thông tin dữ liệu của công trình tòa nhà cao tầng. Dữ liệu thu được từ hai thiết bị trên cho kết quả là đám mây điểm chứa thông tin tọa độ trong không gian 3D (X,Y,Z) và các thông số về màu sắc, thông tin. Độ chính xác của công nghệ TLS hiện nay là rất tốt. Sai số của các điểm mô hình 3D khi ghép giữa đám mây điểm thu thập bằng UAV và TLS của đối tượng công trình nhà cao tầng là dưới 10 cm, đáp ứng được tiêu chuẩn mức độ yêu cầu độ chính xác của mô hình City GML đối với cấp độ chi tiết LoD3 và đáp ứng yêu cầu thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ 1:500 tại các khu vực đô thị trên lãnh thổ Việt Nam (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015).

Quy trình xử lý dữ liệu bên trên đã chứng minh tính khả thi của việc tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau. Điều này càng thúc đẩy cho việc ứng dụng kết hợp các công nghệ địa không gian trong lĩnh vực xây dựng thiết kế và khảo sát công trình nhà cao tầng trong đô thị. Việc ứng dụng kết hợp công nghệ TLS với các thiết bị đo chụp bằng UAV trong việc xây dựng mô hình 3D cấp độ chi tiết cao (LoD3) sẽ là một định hướng khả thi và hiệu quả trong tương lai phục vụ cho công tác quy hoạch và quản lý đô thị.



Hình 9. Đo kích thước các chi tiết công trình từ đám mây điểm trên phần mềm Autodesk Recap.



Hình 10. Mô hình 3D cấp độ chi tiết LoD3 của tòa nhà cao tầng khu vực TP. Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh.

Lời cảm ơn

Bài báo được hỗ trợ dữ liệu và kinh phí từ đề tài cấp cơ sở Trường Đại học Mỏ - Địa chất, mã số T22-48 với tên “Nghiên cứu thành lập mô hình 3D công trình xây dựng cấp độ chi tiết cao (LoD3) bằng kết hợp công nghệ máy bay không người lái (UAV) và quét Laser mặt đất” và đề tài KHCN cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ địa không gian xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh ven biển phù hợp với điều kiện Việt Nam, thí điểm

tại khu vực thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh, mã số: TNMT.2021.04.04.

Đóng góp của các tác giả

Lê Thị Thu Hà - lên ý tưởng, xây dựng đề cương, xây dựng quy trình nghiên cứu, xử lý dữ liệu đám mây điểm 3D và thành lập mô hình; Nguyễn Văn Trung - đọc bản thảo bài báo và cho các ý kiến góp ý; Phạm Thị Làn, Tống Sĩ Sơn, Nguyễn Hữu Long, Võ Đặc Ổn - thu thập số liệu, triển khai thực nghiệm và hoàn chỉnh bài báo.

Tài liệu tham khảo

- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25-37.
- BIM forum. (2013). *Level of Development Specification: For Building Information Models*. <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2015). *Thông tư 68/2015/TT-BTNMT: Quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000*.
- DJI. (2018). <https://www.dji.com/phantom-4-rtk>.
- Đặng, T. T., Trần, A. T., Võ, N. H., & Phạm, Đ. T. (2012). Ứng dụng công nghệ Lidar thành lập bản đồ 3D (Thử nghiệm tại khu vực thành phố Bắc Giang). *Thông tin đào tạo Khoa học - Công nghệ Tài nguyên và Môi trường*, 11-17.
- 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, 39-42.
- Fai, S., & Rafeiro, J. (2014). Establishing an Appropriate Level of Detail (LoD) for a Building Information Model (BIM) - West Block, Parliament Hill, Ottawa, Canada. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 123.
- FARO, (2019). *Training manual for SCENE*. 1st ed. USA. Available at <https://faro.app.box.com/s/7v2xdi8j6id4wf9g5jlledh>
- a18s9506b/file/438034801350/ [Accessed 8 Oct. 2019].
- Gui, D. Z., Lin, Z. J., Zhang, C. C., & Zhi, X. D. (2009). Automated texture mapping of 3D city models with images of wide-angle and light small combined digital camera system for UAV. In *MIPPR 2009: Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications*, 7498, 611-618. SPIE.
- Hannes, P., Martin, S., and Henri, E. (2008). A 3-D Model of castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV based images. International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B6b), 93-98.
- Li, J., Yao, Y., Duan, P., Chen, Y., Li, S., & Zhang, C. (2018). Studies on three-dimensional (3D) modeling of UAV oblique imagery with the aid of loop-shooting. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(9), 356.
- Open Geospatial Consortium. (2008). *City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard (Version 1.0.0)*. Available online: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=28802 (accessed on 20 August 2008).
- Open Geospatial Consortium (2012). *City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard (Version 2.0)*. Available online: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=28802 (accessed on 4 April 2012).
- Papakonstantinou, A., Topouzelis, K., & Pavlogeorgatos, G. (2016). Coastline zones identification and 3D coastal mapping using UAV spatial data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(6), 75.
- Yoo, C. I., Oh, Y. S., & Choi, Y. J. (2018). Coastal mapping of Jinu-Do with UAV for Busan smart city, Korea. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 42(4), 725-729. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-725-2018>, 2018.