

TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

BÁO CÁO HỌC THUẬT

ĐỀ TÀI:

**Nghiên cứu đề xuất quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D
từ dữ liệu bay chụp bằng UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR**

PGS.TS. Nguyễn Văn Trung
Bộ môn Đo ảnh và Viễn thám

Hà Nội, 12/2021

MỤC LỤC

1	MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG	1
1.1	Mục tiêu	1
1.2	Nội dung	1
2	ĐỀ XUẤT QUI TRÌNH XÂY DỰNG DỮ LIỆU KHÔNG GIAN ĐỊA LÝ 3D TỪ CÁC CÔNG NGHỆ CHỤP ẢNH TỪ UAV, CHỤP ẢNH MẶT ĐẤT VÀ QUÉT LIDAR MẶT ĐẤT	2
2.1	Qui trình tổng quát.....	2
2.2	Qui trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ ảnh chụp từ UAV	6
2.3	Qui trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ ảnh chụp mặt đất.....	8
2.4	Qui trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ quét LiDAR mặt đất	12
3	XÂY DỰNG DỮ LIỆU KHÔNG GIAN VECTOR 3D VÀ LIÊN KẾT VỚI DỮ LIỆU THUỘC TÍNH	17
3.1	Các bước thực hiện	17
3.2	Xây dựng dữ liệu không gian dạng vector 3D.....	17
3.3	Chuyển đổi dữ liệu không gian dạng vector 3D theo định dạng CityGML	18
3.4	Liên kết thông tin thuộc tính vào dữ liệu không gian dạng vector 3D ở định dạng CityGML.....	19
4	KẾT QUẢ SẢN PHẨM DỮ LIỆU KHÔNG GIAN ĐỊA LÝ 3D.....	22
5	ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CÁC KẾT QUẢ DỮ LIỆU KHÔNG GIAN	25
5.1	Thiết kế và xác định vị trí không gian phục vụ đánh giá độ chính xác về vị trí không gian.....	25
5.2	Phương pháp đánh giá độ chính xác về vị trí không gian	27
5.3	Đánh giá độ chính xác các dữ liệu không gian.....	28
6	KẾT LUẬN	40
7	TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	41

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. Sơ đồ tổng quát quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D từ dữ liệu chụp ảnh từ UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR mặt đất	5
Hình 2. Quy trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ ảnh chụp từ UAV	7
Hình 3. Sơ đồ tổng quát quá trình chụp ảnh và xử lý ảnh chụp mặt đất.....	10
Hình 4. Thiết kế các tuyến chụp ảnh mặt đất.....	12
Hình 5. Đo quét dữ liệu bằng TLS	13
Hình 6. Các tham số chuyển đổi	14
Hình 7. Sơ đồ tổng quát quy trình xây dựng mô hình 3D đám mây điểm từ quét LiDAR mặt đất	16
Hình 8. Quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D thành phố thông minh.....	17
Hình 9. Sản phẩm dữ liệu không gian dạng vector 3D tầng 1 của nhà cao tầng	18
Hình 10. Dữ liệu không gian vector 3D sau khi chuyển đổi sang City GML	19
Hình 11. Lớp Nhà ở sau khi chuyển đổi sang City GML	20
Hình 12. Nhập thông tin thuộc tính cho mỗi đối tượng của lớp Nhà ở	21
Hình 13. Lớp Nhà sau khi đã nhập thuộc tính	22
Hình 14. Lớp thủy văn khi đã nhập thuộc tính	22
Hình 15. Lớp Giao thông khi đã nhập thuộc tính	23
Hình 16. Lớp Thực vật khi đã nhập thuộc tính	24
Hình 17. Các điểm đặc trưng trên bề mặt phía trước tòa nhà được xác định vị trí không gian bằng toàn đạc điện tử ở chế độ đo không gương.....	26
Hình 18. Các điểm đặc trưng trên bề mặt phía sau toàn nhà được xác định vị trí không gian bằng toàn đạc điện tử ở chế độ đo không gương.....	26
Hình 19. Phân bố của các điểm UAV có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 1.1 m; (b) 0 m đến 0.5 m	30
Hình 20. Phân bố của các điểm TP có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ 0 m đến 0.5 m.....	31
Hình 21. Phân bố của các điểm UAV dây biệt thự liền kề có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 4.5 m; (b) 0 m đến 0.5 m	32
Hình 22. Phân bố của các điểm TP dây biệt thự liền kề có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 1.8 m; (b) 0 m đến 0.5 m.....	33

Hình 23. Phân bố của các điểm UAV nhà cao tầng có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ:(a) 0 m đến 14 m;(b) 0m đến 0.5m	35
Hình 24. Phân bố của các điểm TP nhà cao tầng có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 4 m; (b) 0 m đến 0.5 m	36
Hình 2.7 Đo kiểm tra chiều cao của cửa sổ bằng thước thép.....	37
Hình 25. Đo kiểm tra chiều rộng của cửa sổ bằng thước thép.....	38
Hình 26. Đo kiểm tra chiều sâu của cửa ra vào bằng thước thép	38

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian từ ảnh chụp mặt đất	28
Bảng 2. Bảng kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV trên toàn bộ khu đo.....	28
Bảng 3. Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV tòa nhà độc lập	29
Bảng 4. Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV dãy biệt thự kề nhau	31
Bảng 5. Kết quả đánh giá độ chính xác đám mây điểm UAV tòa nhà cao tầng	34

1 MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG

1.1 Mục tiêu

- Đề xuất được quy trình công nghệ;
- Đưa ra được kết quả sản phẩm dữ liệu không gian địa lý 3D.

1.2 Nội dung

Để đạt được các mục tiêu đã nêu nghiên cứu này cần phải thực hiện các nội dung sau:

a. Đề xuất các qui trình cho xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ dữ liệu bay chụp bằng UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR bao gồm:

- Qui trình xây dựng mô hình 3D đám mây điểm bằng công nghệ bay chụp ảnh từ UAV;
- Qui trình xây dựng mô hình 3D đám mây điểm bằng công nghệ chụp ảnh mặt đất;
- Qui trình xây dựng mô hình 3D đám mây điểm bằng công nghệ quét LiDAR mặt đất.

b. Xây dựng dữ liệu không gian vector 3D và liên kết với dữ liệu thuộc tính.

Trong nghiên cứu này, dữ liệu đồ họa chính sử dụng để cho xây dựng mô hình 3D thành phố ở mức LOD3 là mô hình số bề mặt, đám mây điểm và đám mây điểm thu được từ các công nghệ địa không gian. Từ dữ liệu đám mây điểm, dữ liệu không gian dạng vector 3D được thành lập. Bên cạnh đó, dữ liệu thuộc tính sẽ được gán vào các đối tượng trong dữ liệu không gian dạng vector 3D để có dữ liệu không gian địa lý 3D hoàn chỉnh. Quá trình xây dựng và chuyển đổi dữ liệu cần các phần mềm chuyên dụng khác nhau bao gồm SketchUp để xây dựng dữ liệu không gian dạng vector 3D, sau đó chuyển sang phần mềm FME để tạo cơ sở dữ liệu dạng CityGML và nhập thuộc tính.

2 ĐỀ XUẤT QUI TRÌNH XÂY DỰNG DỮ LIỆU KHÔNG GIAN ĐỊA LÝ 3D TỪ CÁC CÔNG NGHỆ CHỤP ẢNH TỪ UAV, CHỤP ẢNH MẶT ĐẤT VÀ QUÉT LIDAR MẶT ĐẤT

2.1 Qui trình tổng quát

Nghiên cứu này tập trung xây dựng phương án xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D thành phố ven biển thông minh với tiêu chí giảm tối đa giá thành, phương án triển khai đơn giản, hiệu quả, các thiết bị phổ biến trên thị trường. Hiện nay công nghệ chụp ảnh từ máy bay không người lái (UAV) đã có những phát triển đáng kể, UAV có thể mang máy ảnh có thể chụp ảnh độ phân giải ở mức cm, độ chính xác rất cao, giá thành rất phải chăng so với công nghệ khác. Công nghệ này rất linh hoạt trong thực hiện bay chụp, xử lý và đặc biệt rất phổ biến trên thị trường. Kết quả xử lý ảnh chụp từ UAV bao gồm mô hình số bề mặt, đám mây điểm, và bình đồ ảnh [1]. Dữ liệu bình đồ ảnh ở mức chi tiết cm sẽ cung cấp ảnh trực giao từ các ảnh chụp trên cao của các đối tượng mặt đất, là cơ sở để phân loại đối tượng, xác định ranh giới địa lý của các đối tượng. Trong khi mô hình số bề mặt cung cấp dữ liệu cấu trúc 3D của các đối tượng, nhưng hình ảnh thực tế các mặt của đối tượng sẽ không được biểu hiện rõ. Dữ liệu đám mây điểm là cơ sở để nội suy mô hình số bề mặt, do đó dữ liệu đám mây điểm có độ chính xác cao nhất trong các dữ liệu thu được từ UAV. Đám mây điểm là tập hợp các điểm có tọa độ mặt bằng và độ cao, có thể sử dụng để số hóa chính xác vị trí các đối tượng như các góc, cạnh của tòa nhà.

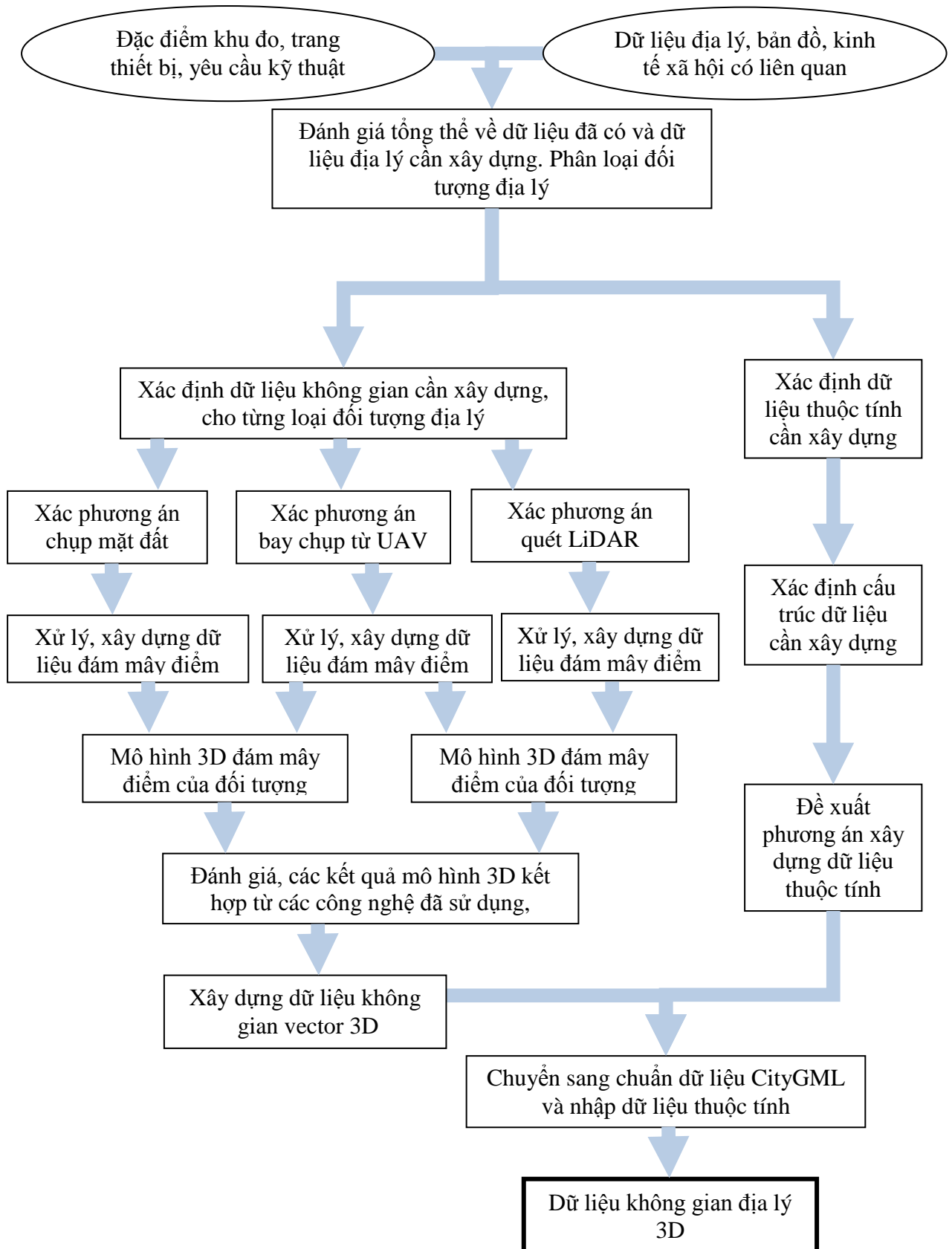
Nhìn chung, dữ liệu xây dựng từ ảnh chụp của máy bay không người lái là dữ liệu cơ bản cho xây dựng cơ sở dữ liệu không gian địa lý 3D thành phố thông minh ven biển. Tuy nhiên, nếu chỉ sử dụng công nghệ chụp ảnh từ UAV sẽ không đủ để đáp ứng nhu cầu về độ chi tiết, độ chính xác cho một dữ liệu không gian địa lý 3D nói chung. Ví dụ, đối với các không gian ở tầng 1 các tòa nhà, UAV sẽ khó bay thấp để tiếp cận do vướng người đi lại và các địa vật che khuất đối tượng. Do

đó, cần thiết phải kết hợp các công nghệ hiện đại khác phổ biến hiện nay như công nghệ quét LiDAR mặt đất và công nghệ chụp ảnh mặt đất.

Công nghệ chụp ảnh mặt đất bằng máy ảnh phổ thông nhằm thu thập thông tin về bề mặt các nhà, tòa nhà thấp tầng có mật độ dày trong khu dân cư do việc bay chụp bằng UAV không thể quan sát được do không có đủ không gian hoặc thấp quá sẽ khó trong điều khiển các thiết bị bay. Tuy nhiên trên thực tế, công nghệ chụp ảnh mặt đất để xây dựng mô hình số bề mặt DSM thường gặp khó khăn. Bên cạnh đó, việc nâng thay đổi độ cao chụp ảnh sẽ khó thực hiện khi chụp các đối tượng có độ cao lớn. Việc định hướng ngoài các tấm ảnh sẽ khó khăn hơn khi chụp ảnh có góc nghiêng lớn do các góc nghiêng không xác định được chính xác. Các thiết bị quét LiDAR mặt đất hiện nay cũng đã phổ biến và dễ dàng vận hành, sử dụng, tuy nhiên giá thành vẫn còn khá cao so với hai công nghệ đã trình bày ở trên. Trong thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D thành phố thông minh, công nghệ quét LiDAR mặt đất có thể cung cấp đám mây điểm cho tất cả các ngõ ngách và các sườn của tòa nhà, không những cho các nhà thấp tầng mà còn cho những nhà cao tầng. Đám mây điểm từ máy quét LiDAR sẽ bổ khuyết cho phần thiếu hụt đám mây điểm tạo lập từ công nghệ chụp ảnh từ UAV và chụp ảnh mặt đất. Vì đám mây điểm tạo lập từ công nghệ UAV sẽ cho kết quả theo hướng nhìn xiên từ trên cao xuống, các góc phía trên của mái che hoặc ban công sẽ được hiển thị rõ, nhưng thiếu phần dưới của mái che hoặc ban công.. Hơn nữa, mật độ điểm trong đám mây điểm của LiDAR sẽ được tùy chỉnh và có độ chính xác cao nhất, có thể làm dữ liệu tham khảo để hiệu chỉnh, đánh giá độ chính xác của dữ liệu của đám mây điểm ảnh xây dựng từ ảnh chụp từ UAV và ảnh chụp mặt đất. Tuy nhiên, một nhược điểm của công nghệ LiDAR mặt đất là tạo ra được đám mây điểm từ góc nhìn từ dưới lên nên sẽ có các điểm bị khuất mà công nghệ chụp ảnh từ UAV có thể có được khi chụp ảnh từ trên cao xuống. Ngoài ra, dữ liệu LiDAR sẽ không tạo ra được DSM và ảnh trực giao bề mặt đất. Công nghệ chụp ảnh từ UAV sẽ là công nghệ được sử dụng để bổ khuyết phần thiếu hụt của công nghệ

LiDAR mặt đất. Tuy nhiên, dựa trên đặc điểm của khu vực nghiên cứu, đặc điểm của các loại đối tượng địa lý khác nhau, ngoài sự tham gia của các công nghệ có độ chính xác cao như LiDAR, công nghệ GNSS, toàn đạc điện tử có chế độ đo không gương cũng được áp dụng linh loạt nhằm tăng độ chính xác, tiết kiệm thời gian, chi phí và nhân lực [2].

Dựa trên phân tích ở trên, công việc này nhằm đề xuất quy trình với sự kết hợp của các công nghệ bao gồm chụp ảnh từ máy bay không người lái, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR mặt đất phục vụ xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố thông minh. Bên cạnh đó, các công nghệ truyền thống như toàn đạc điện tử có chế độ đo không gương, đo tọa độ bằng công nghệ RTK GNSS cũng được sử dụng để đo đạc điểm khống chế ảnh, điểm kiểm tra, điểm nối các trạm quét LiDAR và đo chi tiết một số điểm ở thực địa. Quy trình chung được đề xuất bao gồm các bước có sử dụng từng công nghệ riêng và có sự kết hợp các công nghệ để xây dựng được đám mây điểm hoàn chỉnh của tất cả các đối tượng không gian địa lý 3D cần đo vẽ (Hình 1.1). Các qui trình cho mỗi công nghệ cũng được đề xuất và các bước của qui trình được mô tả cả phần lý thuyết và phần thực nghiệm đối với các đối tượng có tính đặc trưng của khu vực thực nghiệm bao gồm: nhà độc lập, dãy nhà và nhà cao tầng. Ngoài ra, công việc đánh giá độ chính xác các đám mây điểm thành lập từ các công nghệ cũng được thực hiện, từ đó đề xuất các phương án kết hợp các công nghệ thông qua ghép các đám mây điểm cho các đối tượng. Qui trình ghép các đám mây điểm để tạo đám mây điểm hoàn chỉnh cho các đối tượng đặc trưng trên cũng được mô tả chi tiết để đảm bảo yêu cầu cho xây dựng dữ liệu không gian vector 3D cho LoD3. Bên cạnh việc kết hợp các công nghệ để xây dựng đám mây điểm hoàn chỉnh, việc vẽ các đối tượng không gian ở dạng vector 3D và chuyển sang định dạng dữ liệu không gian CityGML cũng được đưa ra trong qui trình. Dữ liệu không gian CityGML là dữ liệu có thể sử dụng để nhập các dữ liệu thuộc tính gắn với các dữ liệu không gian nhằm tạo ra sản phẩm dữ liệu không gian địa lý 3D hoàn chỉnh cuối cùng.

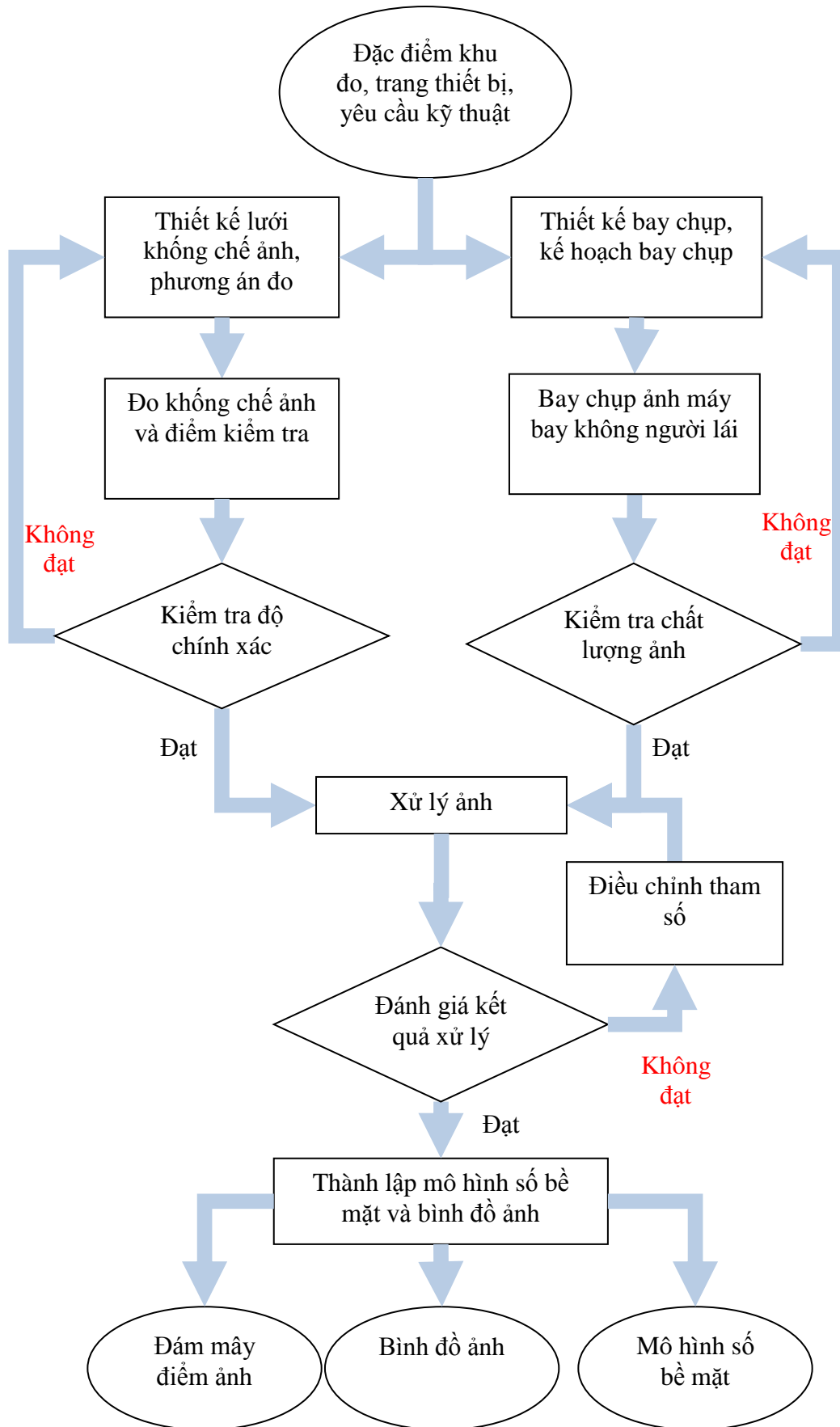


Hình 1. Sơ đồ tổng quát quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D từ dữ liệu chụp ảnh từ UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR mặt đất

2.2 Qui trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ ảnh chụp từ UAV

Việc khai thác sử dụng máy bay không người lái cho công tác đo đạc thành lập bản đồ đã được thực hiện từ lâu. Với mỗi mục đích, yêu cầu cụ thể về độ chính xác, đặc điểm khu vực nghiên cứu, công nghệ hiện có, người thực hiện sẽ xây dựng những quy trình bay chụp, xử lý ảnh khác nhau. Tuy nhiên, có thể thấy tất cả các quy trình xây dựng mô hình số bề mặt, bình đồ ảnh và đám mây điểm ảnh từ ảnh máy bay không người lái đều có thể thống nhất trong một quy trình như Hình 2. Các bước thực hiện chung tương ứng là: 1/ Đối với mọi nhiệm vụ cần xác định nhu cầu, tiêu chuẩn kỹ thuật, đánh giá đặc điểm khu vực quan tâm, đánh giá khả năng tài chính, thời gian, trang thiết bị hiện có. 2/ Thiết kế mạng lưới khống chế ảnh, với sự đặc biệt quan tâm về độ chính xác yêu cầu, số lượng điểm khống chế, đồ hình điểm khống chế. 3/ Thiết kế bay chụp ảnh là nhiệm vụ tính toán các tham số phục vụ bay, chụp ảnh với các thiết bị hiện có. 4/ Đo nối khống chế ảnh bằng các công nghệ và đánh giá độ chính xác. 5/ Bay chụp ảnh có thể thực hiện song song, cùng lúc với công tác đo nối khống chế ảnh, đồng thời đánh giá nhanh chất lượng hình ảnh. 6/ Sau khi có đầy đủ các giá trị tọa độ của điểm khống chế, điểm kiểm tra và ảnh bay chụp, cần đưa vào phần mềm xử lý ảnh để tính toán. Quá trình xử lý ảnh sẽ được máy tính thực hiện tự động sau khi đã cài đặt các tham số cần thiết. Kết quả đánh giá ảnh sẽ được sử dụng để đề xuất các phương án tiếp theo. 7/ Thành lập mô hình số bề mặt và bình đồ ảnh [3].

Công nghệ hiện đại đã đơn giản hóa rất nhiều các bước trên, tuy nhiên trong quá trình thực hiện các bước cần có những kỹ thuật viên có kinh nghiệm để có những điều chỉnh thích hợp do những điều kiện khách quan nhưng vẫn đảm bảo các yêu cầu, tiêu chuẩn kỹ thuật đề ra. Các bước thực hiện sẽ được trình bày chi tiết ở các mục tiếp theo.



Hình 2. Quy trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ ảnh chụp từ UAV

Khu vực thực nghiệm có diện tích 1 km x 1 km ngay sát bờ biển, với các khu vực mặt nước, khu vực đô thị mới hiện đại, các nhà cao tầng và các nhà trong khu dân cư đã được xây dựng từ lâu. Với mục tiêu xây dựng thử nghiệm mô hình 3D thành phố ven biển thông minh, 4 đối tượng cần được bay chụp bằng máy bay không người lái bao gồm:

1/ Bay chụp cho toàn bộ khu vực nghiên cứu nhằm mục đích xây dựng mô hình 3D ở mức độ chi tiết LOD2 (giới hạn trong viền màu trắng trong hình dưới).

2/ Bay chụp xây dựng LOD3 cho tòa nhà cao tầng có diện tích 150 m² có độ cao 120 m.

3/ Bay chụp, xây dựng mô hình 3D thành phố ở LOD3 dãy nhà biệt thự rộng 5000 m² độ cao 15 m (giới hạn đường viền màu xanh nhạt),

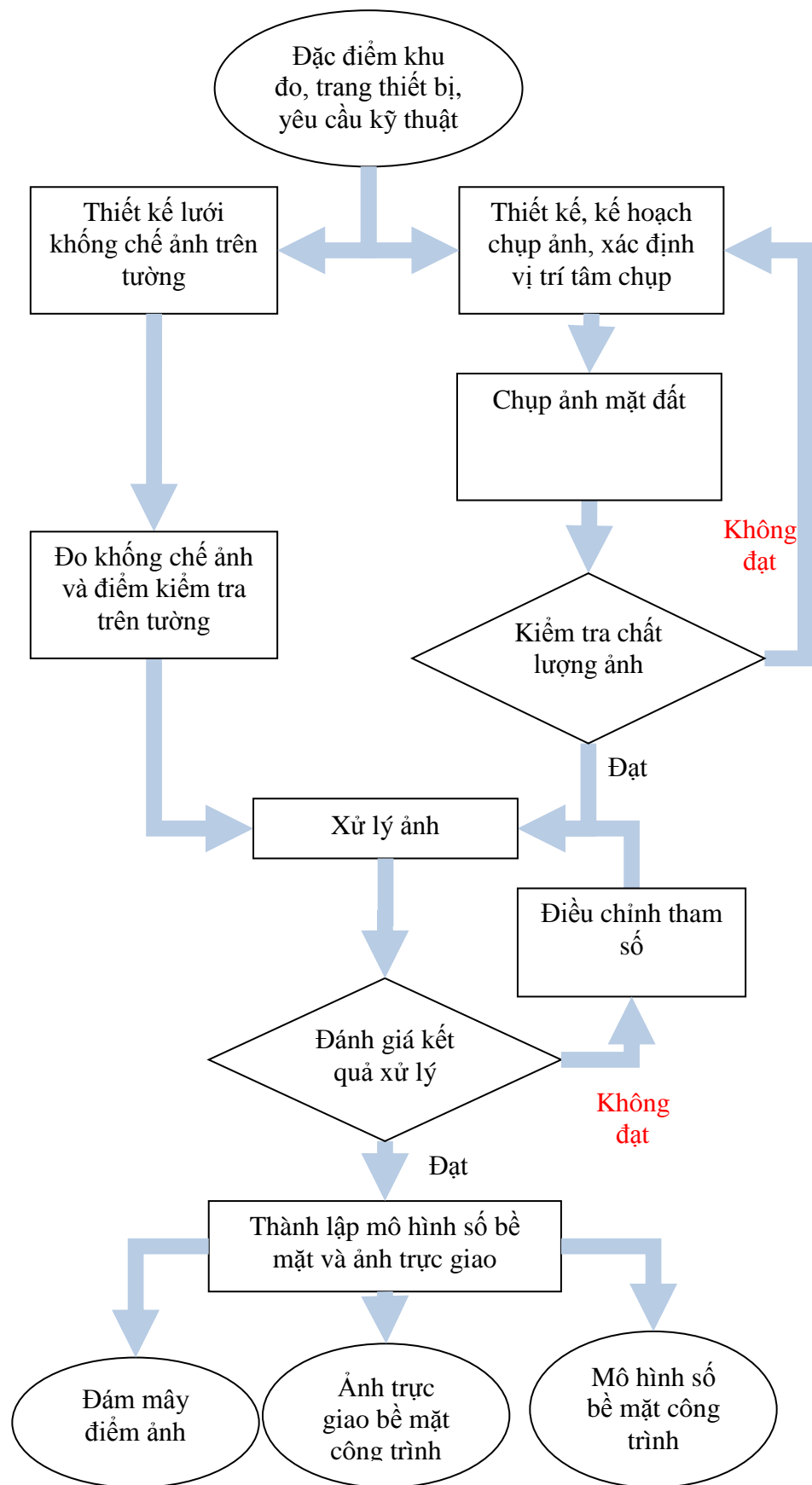
4/ Bay chụp nhà độc lập rộng 400 m độ cao 30 m (giới hạn viền màu vàng). Do đặc điểm về độ cao và độ rộng của mỗi đối tượng không giống nhau, đồng thời nhu cầu thành lập mô hình 3D với mức độ chi tiết khác nhau, do đó đồ hình bay chụp khu vực nghiên cứu cũng được thiết kế phù hợp.

Phương thức chụp ảnh theo dạng ô lưới với góc chụp thay đổi sẽ là phương án tối ưu cho chụp ảnh toàn khu vực nghiên cứu. Đồ hình bay chụp theo hình tròn với nhiều độ cao khác nhau sẽ được sử dụng để bay chụp nhà cao tầng. Trong khi đó, bay chụp vòng theo đối tượng với hai độ cao và 2 góc chụp khác nhau sẽ là lựa chọn phù hợp cho chụp ảnh khu vực nhà độc lập và hai dãy nhà biệt thự liền kề trong khu vực nghiên cứu. Chi tiết thiết kế đường bay cụ thể được trình bày trong các mục tiếp theo.

2.3 Quy trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ ảnh chụp mặt đất

Từ quy trình chung xây dựng dữ liệu thành phố thông minh 3D, ta thấy công nghệ bay chụp và xử lý ảnh UAV là công nghệ chính được sử dụng. Tuy nhiên, công nghệ ảnh UAV mới đáp ứng được xây dựng mô hình 3D ở LOD2 đối với

khu vực có nhà thấp tầng, xây dựng sát nhau [4]. Để có được dữ liệu ở LOD3, hiển thị được mô hình 3 chiều ở các mặt của tòa nhà, cần phải sử dụng công nghệ chụp ảnh mặt đất. Công nghệ chụp ảnh mặt đất trong nghiên cứu này với nghĩa bỏ khuyết dữ liệu UAV sẽ được thực hiện chụp ảnh và xử lý ảnh tương tự như phương pháp xử lý ảnh UAV. Trong đó tỷ lệ phủ chồng ngang và phủ chồng dọc vẫn được đảm bảo khi chụp ảnh mặt đất. Bên cạnh đó, tọa độ, độ cao tại mỗi điểm đặt máy ảnh sẽ tương tự như tọa độ tâm ảnh chính xác khi chụp ảnh trên UAV. Bên cạnh đó một số điểm khống chế ảnh trên tường và điểm kiểm tra cũng được thiết kế và đo đạc để định hướng ngoài khối ảnh. Quá trình xử lý ảnh chụp mặt đất cũng sẽ sử dụng phần mềm xử lý ảnh UAV. Tuy nhiên do đặc thù của công nghệ và phương pháp, sẽ có một số điều chỉnh trong quá trình chụp ảnh và xử lý ảnh để đảm bảo độ chính xác của các mô hình số bề mặt và đám mây điểm cũng như ảnh trực giao của bề mặt của các công trình xây dựng. Hình biểu thị quy trình chung sử dụng cho chụp ảnh mặt đất xây dựng dữ liệu 3D cho các công trình nhà ở thấp tầng [5].



Hình 3. Sơ đồ tổng quát quá trình chụp ảnh và xử lý ảnh chụp mặt đất

Để bổ sung phần bị khuất dưới các mái hiên, sảnh của tòa nhà, bố trí tuyến chụp ảnh mặt đất. Quá trình thiết kế tuyến chụp ảnh mặt đất cần căn cứ vào các thông số kỹ thuật của máy ảnh như: tiêu cự, kích thước pixel, kích thước cảm biến, kích thước ảnh. Ngoài ra, các tham số cần thiết khác như: độ phân giải mặt đất (GSD), tỉ lệ ảnh, độ phủ trùm dọc và ngang, khoảng cách từ máy ảnh tới vật thể, chiều cao vật thể. Trong khi các yếu tố như thông số máy ảnh, độ phân giải có thể biết trước, các yếu tố khác như chiều cao vật thể, khoảng cách từ máy tới vật, GSD, độ phủ trùm dọc và ngang là các thông số cần dựa vào điều kiện thực địa, yêu cầu độ chính xác để lựa chọn. Tuy nhiên để phát hiện ra những biến động độ cao nhỏ của bề mặt tường, cần thiết phải xây dựng mô hình số bề mặt với độ chính xác và chi tiết ở mức 1-2 cm, như vậy độ phân giải GSD cần thiết kể ở mức độ milimet, điều này có thể thực hiện được bởi các máy ảnh kỹ thuật số thông thường khi chụp ảnh ở khoảng cách gần (5 m-10 m).

Các công thức sử dụng cho quá trình tính toán các thông số thiết kế như sau:

$$W = \frac{f}{D} * I_H(1 - SL) \quad (1)$$

$$B = \frac{f}{D} * I_W(1 - EL) \quad (2)$$

Trong đó:

W là khoảng cách giữa hai trạm chụp ảnh theo chiều thẳng đứng;

B là khoảng cách giữa hai trạm chụp ảnh theo chiều nằm ngang;

D là khoảng cách từ trạm chụp tới đối tượng;

f là tiêu cự máy ảnh;

I_W là kích thước của ảnh theo chiều rộng;

I_H là kích thước của ảnh theo chiều cao;

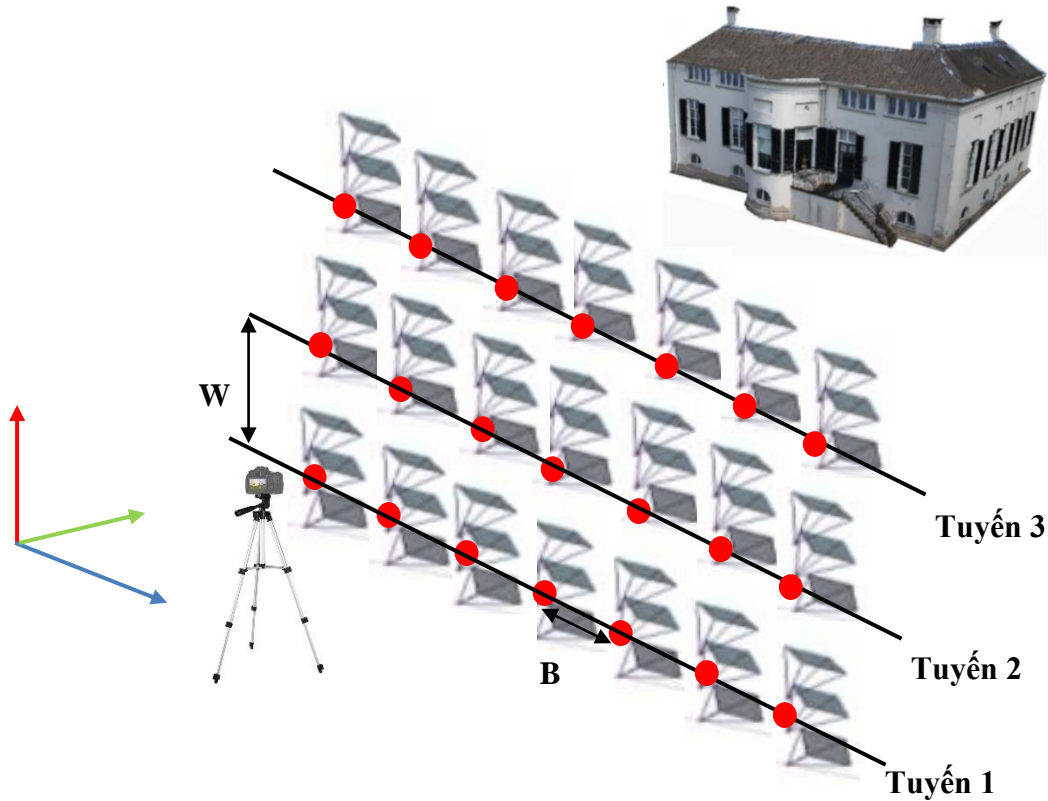
SL là độ phủ trùm ngang;

EL là độ phủ trùm dọc.

Khoảng cách từ trạm chụp tới đối tượng được tính theo công thức sau:

$$D = \frac{GSD}{S_P} \quad D = (GSD/S_P)*f \quad (3.3)$$

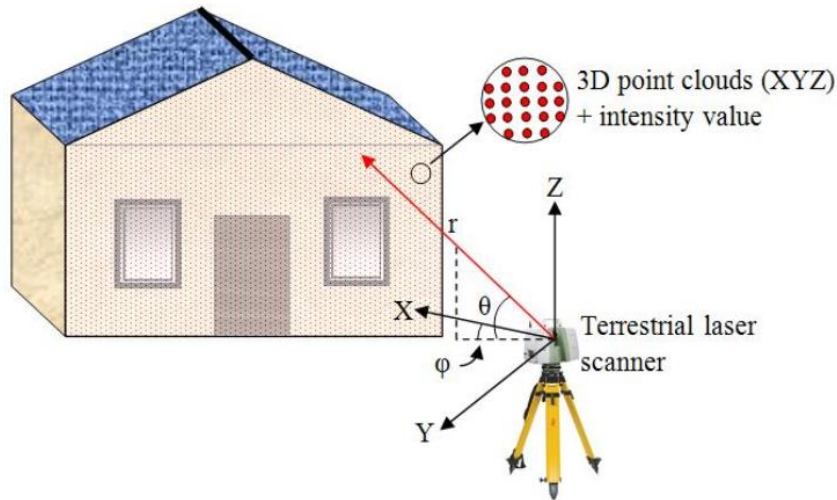
Trong đó: GSD là độ phân giải mặt đất của ảnh; S_P là kích thước pixel.



Hình 4. Thiết kế các tuyến chụp ảnh mặt đất

2.4 Quy trình xây dựng mô hình đám mây điểm 3D từ quét LiDAR mặt đất

Phương pháp TLS có thể được xem như là sự kết hợp của hai phương pháp đo ảnh và toàn đạc điện tử. Mặc dù kết quả cuối cùng là đám mây điểm với tọa độ X, Y, và Z trong hệ tọa độ Cartesian, nhưng TLS thực tế lại đo các điểm trong hệ tọa độ cầu với thành phần tọa độ là r , φ , và θ , kèm theo giá trị xám độ (grey). Trị đo của TLS được mô tả như sau:



Hình 5. Đo quét dữ liệu bằng TLS

Công thức tính chuyển từ tọa độ cầu về tọa độ phẳng Cartesian như sau:

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X}{Y}\right)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}\right)$$

$$X = r \cos(\varphi) \cos(\theta)$$

$$Y = r \sin(\varphi) \cos(\theta)$$

$$Z = r \sin(\theta)$$

Các bước để xử lý tạo mô hình 3D từ dữ liệu đám mây điểm bao gồm:

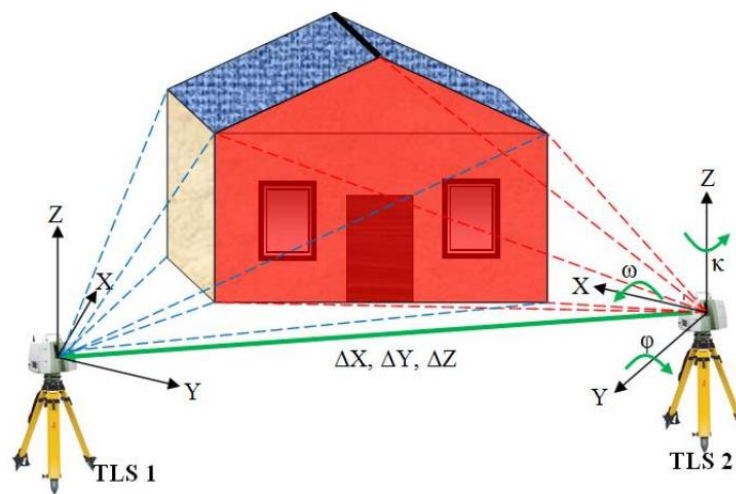
- i. Quét laser từ nhiều hướng;
- ii. Ghép trạm và nắn về hệ tọa độ địa phương;
- iii. Triangulation and data sampling;
- iv. Nhận dạng hình học
- v. Phân mảnh
- vi. Khớp dựa trên các bề mặt
- vii. Xây dựng mô hình 3D
- viii. Texturing

Tuy nhiên, cũng có thể thực hiện bước xây dựng mô hình trước để sử dụng mô hình cho việc ghép và nắn trạm. Dựa vào qui trình trên, có thể thấy rằng, bước ghép và nắn trạm TLS là không thể thiếu, do thông thường phải quét nhiều trạm TLS để có thể thu được đầy đủ dữ liệu cho việc xây dựng mô hình hoàn chỉnh. Trong khi, mỗi trạm quét sẽ có dữ liệu đám mây điểm trong hệ tọa độ của trạm

máy, để đưa các đám mây điểm của nhiều trạm về cùng hệ tọa độ, cần thiết phải ghép trạm (registration).

Nhìn chung, ghép trạm có thể được chia thành hai bước: Ghép trạm thô, và ghép trạm chính xác. Ghép trạm thô là nhằm xác định các hệ số chuyển đổi. Để thực hiện được điều này, cần có các điểm song trùng hoặc các điểm đặc trưng nằm khu vực trùng phủ của hai trạm quét. Sau khi đã tìm được cặp điểm, hoặc cụm điểm song trùng, ở bước ghép trạm chính xác, một hàm tối ưu sẽ được sử dụng để xác định các tham số chuyển đổi chính xác nhờ các vòng tính lặp tìm nghiệm tối ưu. Các tham số chuyển đổi bao gồm:

- $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$;
- ω, φ, κ .



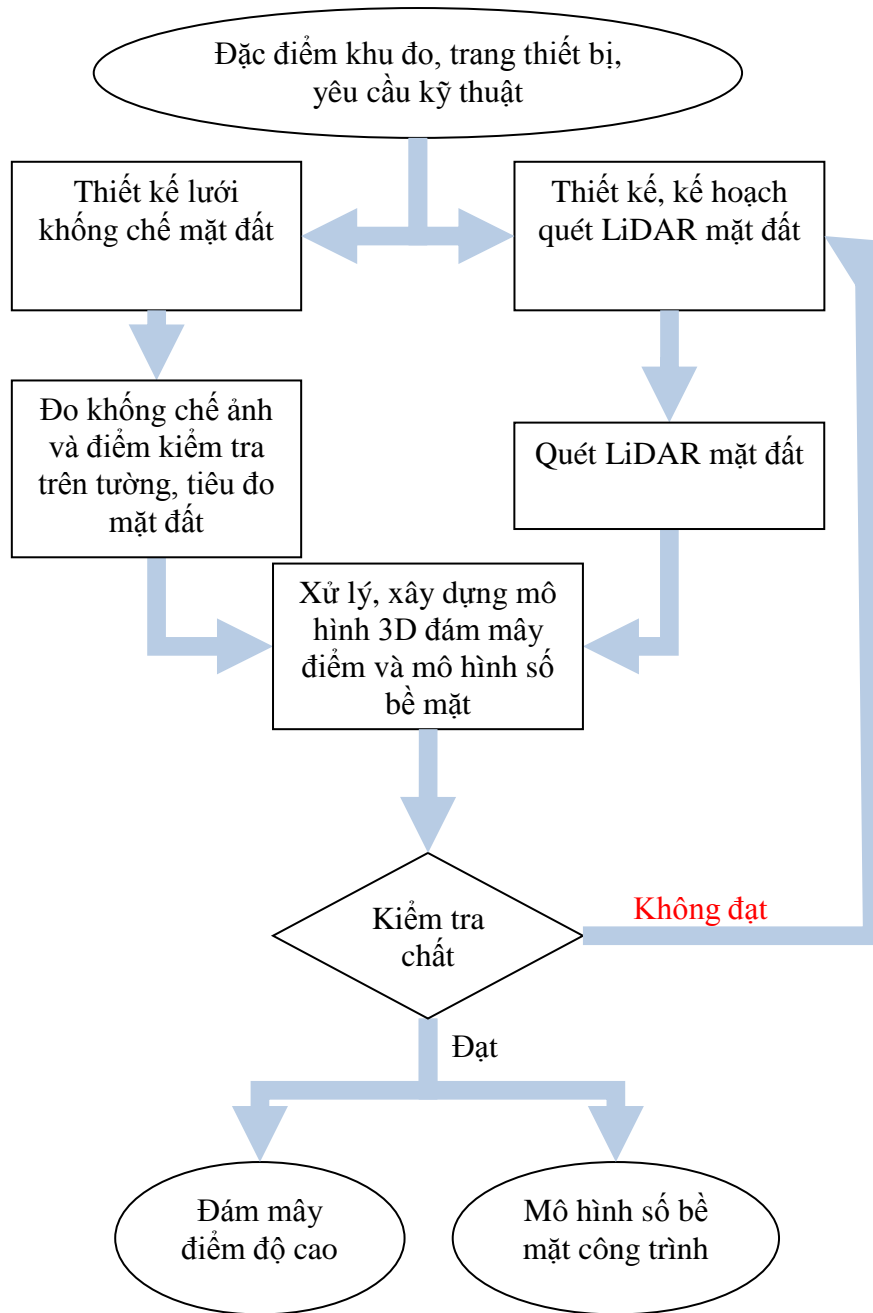
Hình 6. Các tham số chuyển đổi

Để xác định được 6 tham số trên, cần ít nhất 3 điểm không trên cùng một đường thẳng. Có nhiều cách để tìm 3 điểm này và do đó có nhiều phương pháp để ghép trạm, cụ thể:

- i. Đám mây điểm;
- ii. Tiêu
- iii. Các đối tượng hình học đơn giản;
- iv. Các bề mặt
- v. Thông tin và đặc trưng trên ảnh.

Sau khi đã ghép trạm, bước tiếp theo có thể là nắn đám mây điểm về hệ tọa độ địa phương (ví dụ VN2000).

Trong nghiên cứu này, dữ liệu quét LiDAR mặt đất để bổ sung dữ liệu và đánh giá độ chính xác của điểm đám mây xây dựng từ các công nghệ chụp ảnh bằng UAV và chụp ảnh mặt đất để xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D thành phổ thông minh ven biển cho những công trình mà công nghệ UAV và chụp ảnh mặt đất bị hạn chế. Đối với công nghệ UAV, nếu bề mặt đối tượng có độ đồng nhất cao, hoặc không có cấu trúc như bề mặt nước, mặt kính, việc xác định các điểm đặc trưng trên ảnh gặp nhiều khó khăn dẫn đến độ chính xác khu vực có bề mặt nhẵn bóng rất thấp. Đặc biệt với các công trình xây dựng bằng kính, việc bay UAV quanh các tòa nhà sẽ thu nhận được các ảnh có hiệu ứng phản xạ gương. Các công trình ven biển cao tầng thường là các công trình thương mại, dịch vụ được xây dựng bằng khung nhôm kính, việc thiếu dữ liệu tại các vị trí kính bao phủ là không thể tránh khỏi. Công nghệ quét LiDAR mặt đất sẽ cung cấp dữ liệu bổ trợ chính xác trong trường hợp thiếu dữ liệu này. Quy trình thực hiện quét LiDAR mặt đất đã được quy định trong Thông tư 17/2019/TT-BTNMT về Quy định kỹ thuật thành lập mô hình số độ cao bằng công nghệ quét LiDAR mặt đất trên trạm cố định. Quy trình chung quét LiDAR mặt đất được trình bày trong Hình 7.

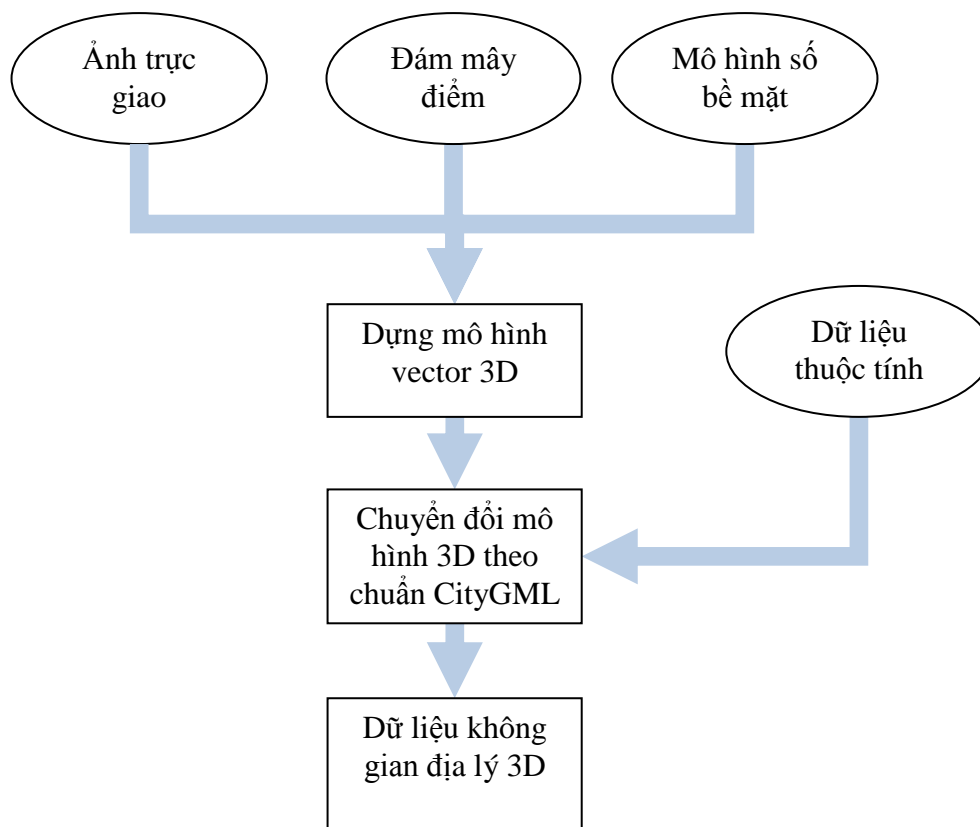


Hình 7. Sơ đồ tổng quát quy trình xây dựng mô hình 3D đám mây điểm từ quét LiDAR mặt đất

3 XÂY DỰNG DỮ LIỆU KHÔNG GIAN VECTOR 3D VÀ LIÊN KẾT VỚI DỮ LIỆU THUỘC TÍNH

3.1 Các bước thực hiện

Hiện nay, có nhiều phương pháp và công nghệ cũng như phần mềm được phát triển để thực hiện quá trình nhanh và thuận tiện. Tuy nhiên, quá trình đều cần trải qua các bước cụ thể được thể hiện trong Hình 8.



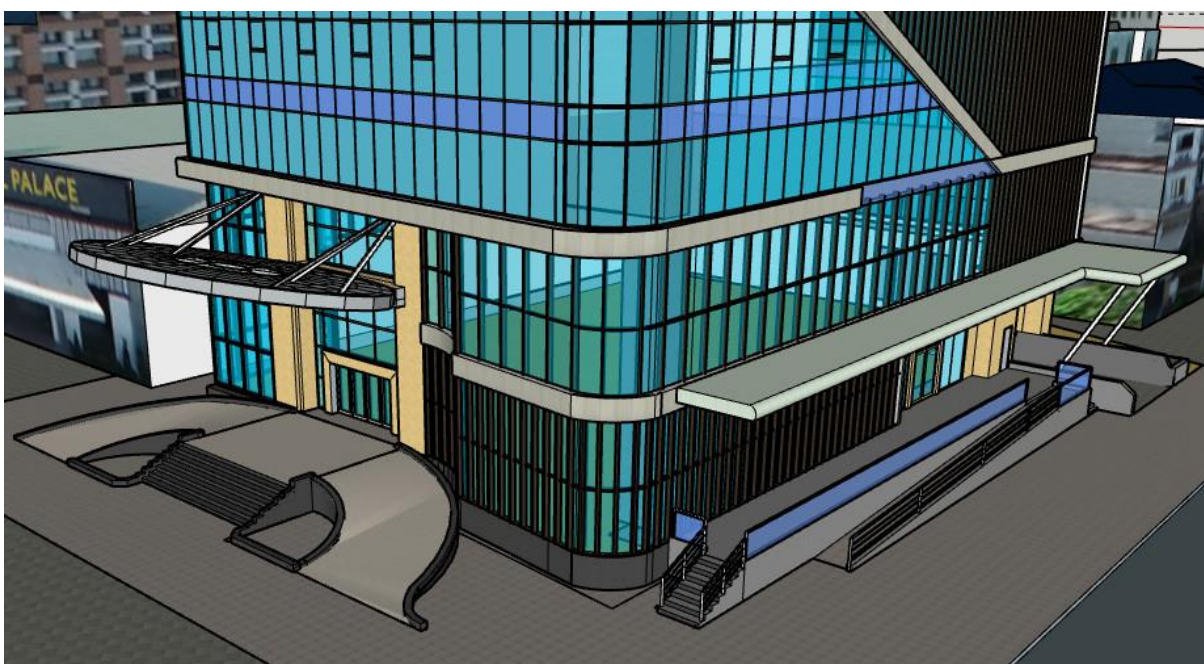
Hình 8. Quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D thành phố thông minh

3.2 Xây dựng dữ liệu không gian dạng vector 3D

Bước xây dựng mô hình 3D của các đối tượng địa lý từ dữ liệu đồ họa là bước số hóa đường biên của các tòa nhà, phân tách các đối tượng cần quan tâm. Đám mây điểm và mô hình số bề mặt tòa nhà là cơ sở để xác định các điểm góc cũng như đường biên tòa nhà. Kết quả của bước này là mô hình các đối tượng ở

mức độ chi tiết LOD2. Các hình khối ở LOD2 chưa thể hiện được màu sắc thực, mặc dù các chi tiết nổi đã xuất hiện rõ trên các đối tượng. Các ảnh chụp ngang hoặc chùng nghiêng từ máy UAV đối với nhà cao tầng hoặc ảnh chụp từ mặt đất với các công trình thấp tầng được cắt và ghép theo các họa tiết nổi trên LOD2 để có được dữ liệu LOD3. Vị trí, hình dạng các cây xanh đô thị và các đối tượng đồ họa khác trong đô thị cũng được bổ sung trong bước này.

Tuy nhiên các đối tượng hiện tại là các đối tượng đồ họa đơn thuần chưa có các quan hệ không gian. Các công cụ như GG-Sketchup và Match Photo trong phần mềm GG-SU có thể được sử dụng để thực hiện các nhiệm vụ này. Đây là công đoạn mất nhiều thời gian và công sức nhất. Đòi hỏi người thực hiện cần kiên nhẫn và có khả năng quan sát cũng như khả năng hình dung các cấu trúc 3D của đối tượng để đảm bảo độ chính xác và tiến độ công việc.



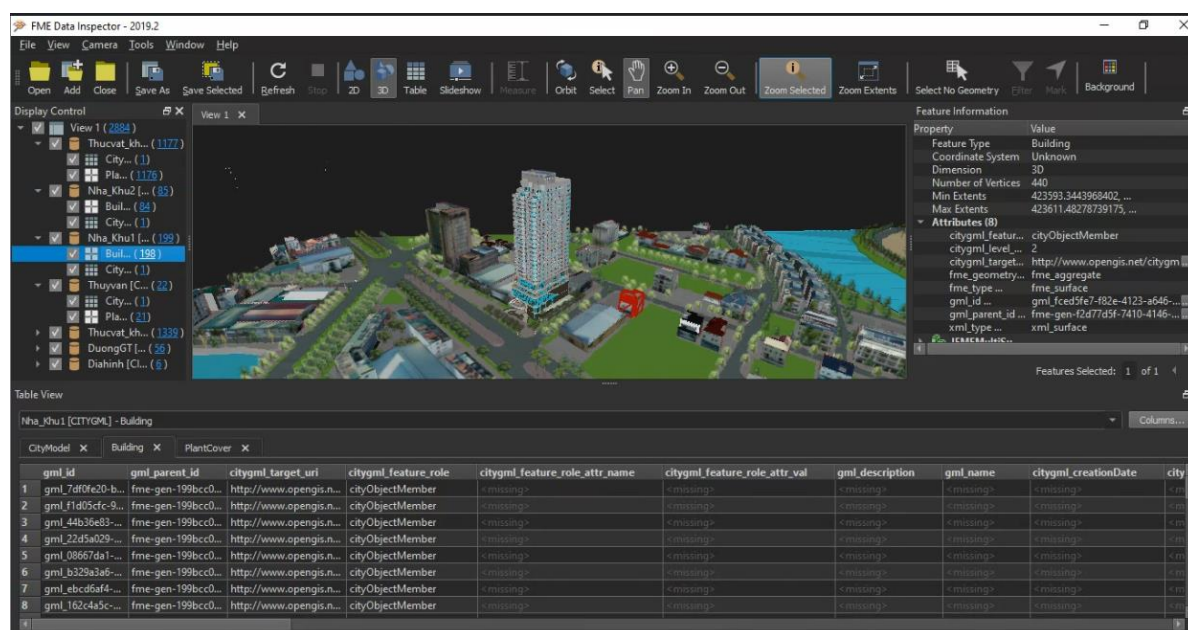
Hình 9. Sản phẩm dữ liệu không gian dạng vector 3D tầng 1 của nhà cao tầng

3.3 Chuyển đổi dữ liệu không gian dạng vector 3D theo định dạng CityGML

CityGML là chuẩn dưới dạng ngôn ngữ eXtensible Markup Language được xây dựng thành tiêu chuẩn quốc tế do Open GIS Consortium (OGC) đề xuất với mục đích thành lập và trao đổi dữ liệu không gian đô thị 3 chiều. Trong

CityGML, các đối tượng địa lý 3D được định nghĩa về mặt hình học, cấu trúc hình học (topology), các tính chất chuyên đề cũng như hình dáng bên ngoài. Các lớp dữ liệu hoàn toàn có thể phân tách và định nghĩa cụ thể trong định dạng này. Các định nghĩa này cho phép mã hóa các đối tượng địa lý 3D trong đô thị phục vụ các mục đích như quy hoạch, định vị, mô phỏng các tình huống thảm họa và quản lý hạ tầng đô thị. Phần mềm Safe Software FME là phần mềm chuyên dụng có thể chuyển đổi từ các mô hình 3D đồ họa sang định dạng CityGML. Thuộc tính của mỗi lớp đối tượng cũng sẽ được tạo lập trong phần mềm này.

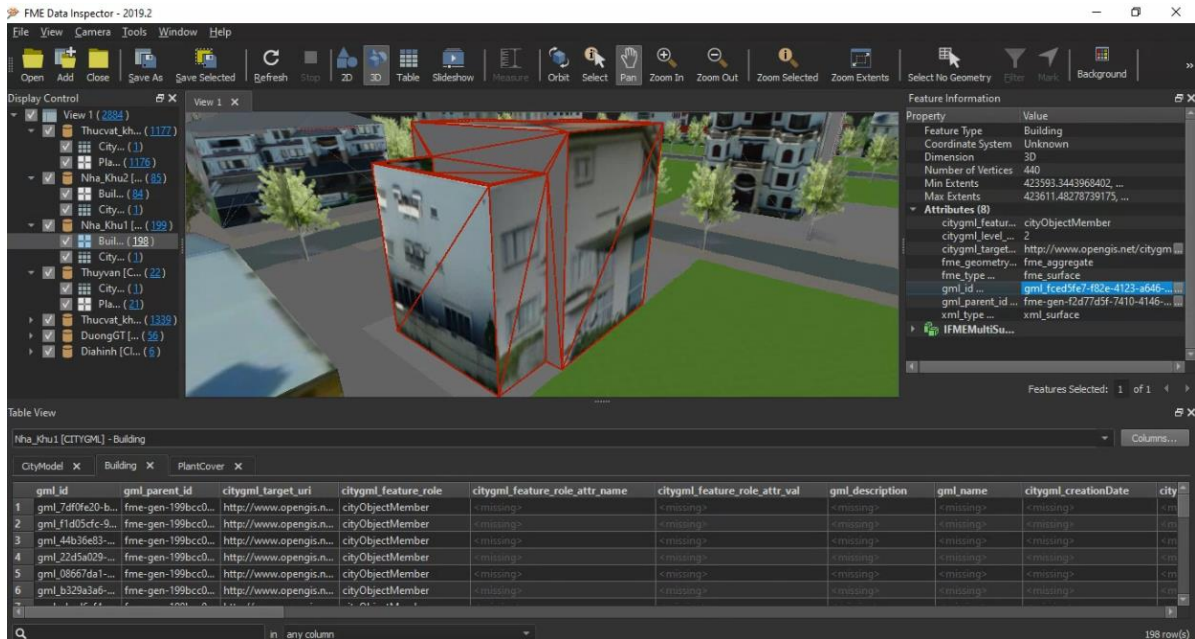
3.4 Liên kết thông tin thuộc tính vào dữ liệu không gian dạng vector 3D ở định dạng CityGML



Hình 10. Dữ liệu không gian vector 3D sau khi chuyển đổi sang City GML

Trên Hình 10 có thể thấy rằng sau khi chuyển đổi sang GML mỗi đối tượng trên mô hình 3D được định dạng chuẩn và phân biệt bằng ID, có thể lựa chọn hiển thị thông tin thuộc tính theo các trường dữ liệu mặc định của city GML hoặc cũng có thể liên kết với thông tin thuộc tính do người dùng thiết lập.

Đối với lớp dữ liệu không gian Nhà ở sau khi chuyển đổi sang phần mềm FME có dạng bảng thuộc tính chưa có các thông tin như Hình 11 dưới đây.

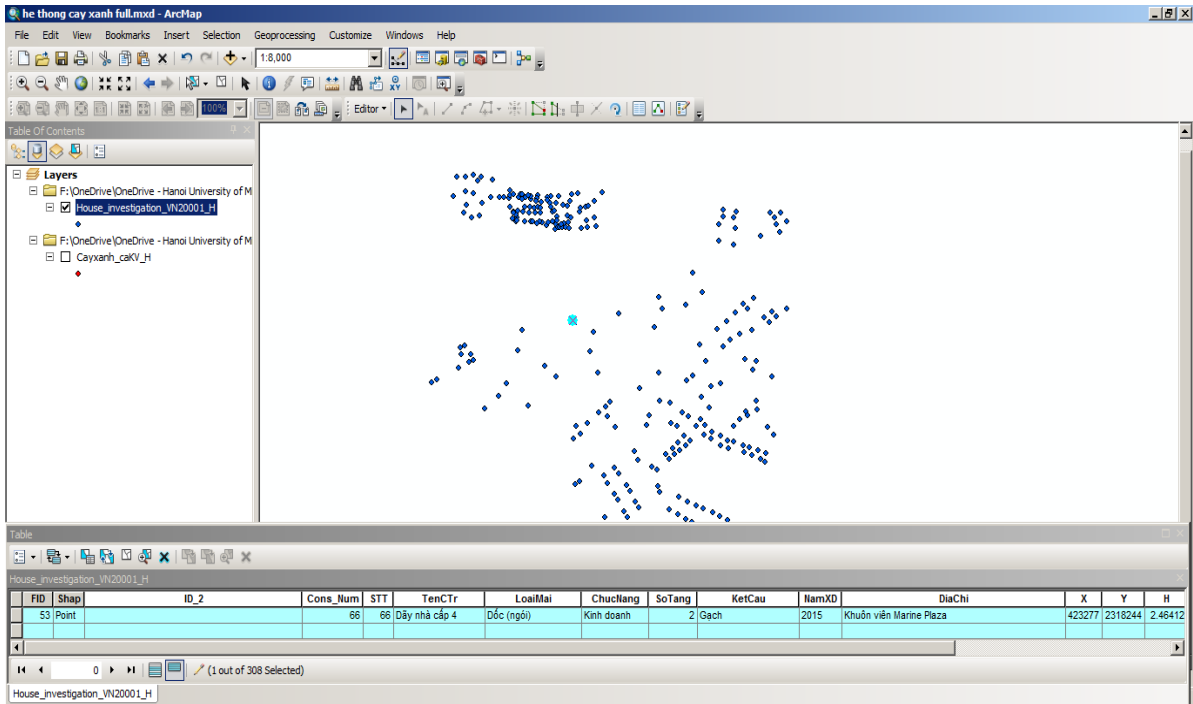


Hình 11. Lớp Nhà ở sau khi chuyển đổi sang City GML

Lớp dữ liệu Nhà ở sau khi được chuyển từ dữ liệu đồ họa dạng vector 3D sang dữ liệu vector 3D theo tiêu chuẩn CityGML cho các đối tượng các Nhà riêng biệt như ở Hình 2.14. Bảng thuộc tính kèm theo chưa được nhập, tuy nhiên mã đối tượng không gian đã được tạo ngẫu nhiên với cấu trúc mã bao gồm: gml_94d7515f-7050-4c78-afe6-364d1c695a72. Mã đối tượng Nhà có thể trích xuất từ ô màu xanh trong hình vẽ để nhập vào cột mã trong file dữ liệu thuộc tính tương ứng với chính xác Nhà ở đã thu thập thông tin thuộc tính.

- Thuộc tính các đối tượng được thiết lập trên phần mềm Microsoft Excel (Hình 12), các trường dữ liệu thuộc tính được viết theo đúng qui tắc chuẩn City GML. Trường dữ liệu thuộc tính ID được nhập tương ứng với ID từng đối tượng trong file kết quả (*.GML).

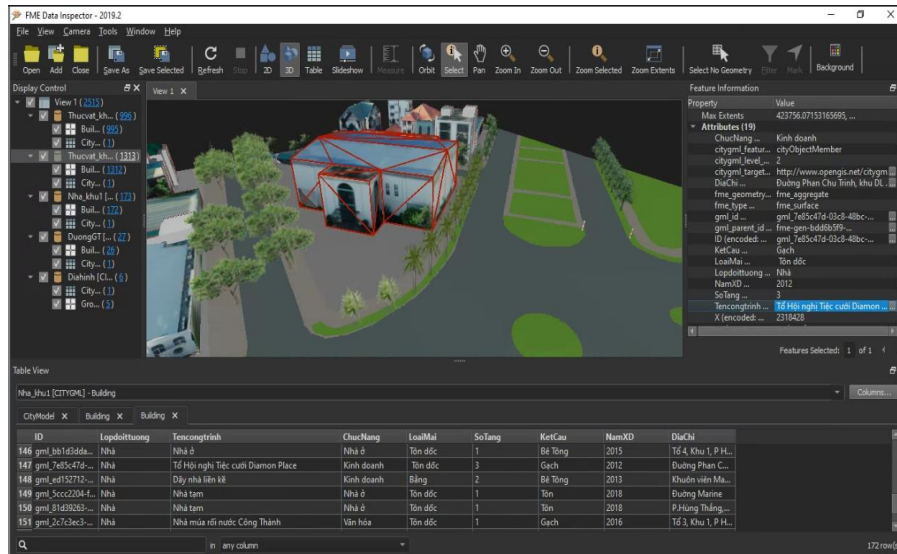
Các lớp thuộc tính được nhập cho từng đối tượng dựa vào các điểm không gian trên phần mềm ArcMap 10.3 để lưu trữ các thông tin thu thập được từ dữ liệu đám mây điểm và các dữ liệu thu thập được từ thực địa. Lớp dữ liệu Nhà ở được nhập trên ArcGIS từ Hình 12.



Hình 12. Nhập thông tin thuộc tính cho mỗi đối tượng của lớp Nhà ở

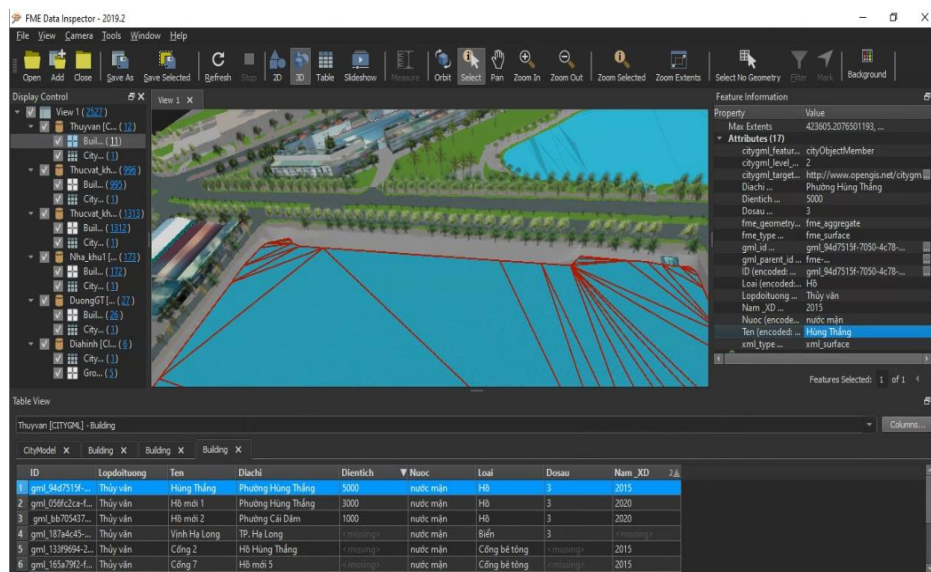
Các đối tượng Nhà ở được lấy vị trí tọa độ, độ cao trong không gian từ dữ liệu đám mây điểm và ảnh trực giao và số hóa dưới dạng các điểm như trong Hình 12. Các thông tin thuộc tính được thiết kế bởi các trường thông tin theo các cột. Các thông tin thuộc tính thu thập được từ dữ liệu không gian và thực địa sẽ được nhập vào. Bên cạnh đó cột mã đối tượng (ID) được trích xuất từ dữ liệu không gian đối tượng nhà đã chuyển sang tiêu chuẩn CityGML và nhập vào để sau khi kết nối file dữ liệu thuộc tính và không gian, mã đối tượng tuân theo mô hình quan hệ đối tượng thông qua mã này.

4 KẾT QUẢ SẢN PHẨM DỮ LIỆU KHÔNG GIAN ĐỊA LÝ 3D



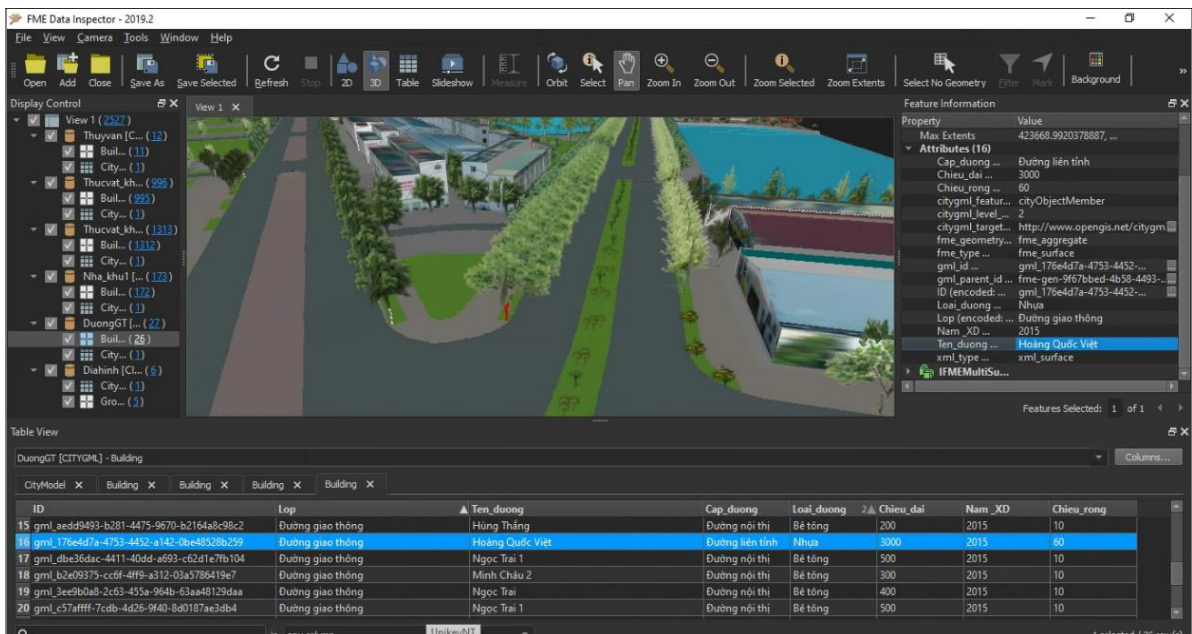
Hình 13. Lớp Nhà sau khi đã nhập thuộc tính

Sau khi kết nối dữ liệu thuộc tính các đối tượng nhà và dữ liệu không gian của đối tượng tương ứng theo đúng mã đối tượng (ID), phần mềm FME sẽ hiển thị bảng thuộc tính của từng đối tượng Nhà (màu đỏ trong hình) tương ứng với mã đối tượng (ô màu xanh ở bên phải hình vẽ) và thông tin thuộc tính của đối tượng nhà đó trong bảng thuộc tính tương ứng với ID ở phía dưới của Hình 13.



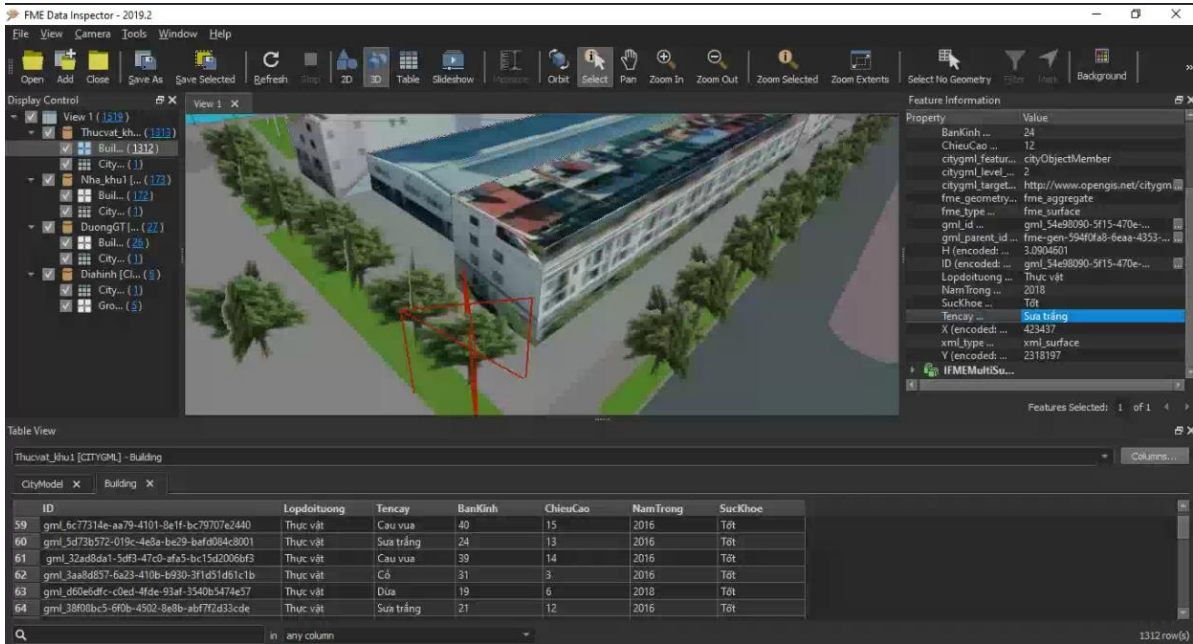
Hình 14. Lớp thủy văn khi đã nhập thuộc tính

Sau khi kết nối dữ liệu thuộc tính các đối tượng thủy văn và dữ liệu không gian của đối tượng tương ứng theo đúng mã đối tượng (ID), phần mềm FME sẽ hiển thị bảng thuộc tính của từng đối tượng thủy văn (màu đỏ trong hình) tương ứng với mã đối tượng (ô màu xanh ở bên phải hình vẽ) và thông tin thuộc tính của đối tượng thủy văn đó trong bảng thuộc tính tương ứng với ID ở phía dưới của Hình 14.



Hình 15. Lớp Giao thông khi đã nhập thuộc tính

Sau khi kết nối dữ liệu thuộc tính các đối tượng giao thông và dữ liệu không gian của đối tượng tương ứng theo đúng mã đối tượng (ID), phần mềm FME sẽ hiển thị bảng thuộc tính của từng đối tượng giao thông (màu đỏ trong hình) tương ứng với mã đối tượng (ô màu xanh ở bên phải hình vẽ) và thông tin thuộc tính của đối tượng giao thông đó trong bảng thuộc tính tương ứng với ID ở phía dưới của Hình 15.



Hình 16. Lớp Thực vật khi đã nhập thuộc tính

Sau khi kết nối dữ liệu thuộc tính các đối tượng cây xanh và dữ liệu không gian của đối tượng tương ứng theo đúng mã đối tượng (ID), phần mềm FME sẽ hiển thị bảng thuộc tính của từng đối tượng cây xanh (màu đỏ trong hình) tương ứng với mã đối tượng (ô màu xanh ở bên phải hình vẽ) và thông tin thuộc tính của đối tượng cây xanh đó trong bảng thuộc tính tương ứng với ID ở phía dưới của Hình 16.

5 ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CÁC KẾT QUẢ DỮ LIỆU KHÔNG GIAN

5.1 Thiết kế và xác định vị trí không gian phục vụ đánh giá độ chính xác về vị trí không gian

Các đối tượng đồ họa 3D được đo vẽ từ các dữ liệu đám mây điểm và chuẩn hóa theo các lớp với các qui định về dữ liệu không gian địa lý. Tuy nhiên trong quá trình vẽ, các nguồn sai số do công nghệ tạo đám mây điểm và do quá trình vẽ có ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm các lớp dữ liệu không gian.

Công nghệ quét LiDAR có độ tin cậy điểm quét rất cao (đơn vị mm) nên được sử dụng để so sánh các kết quả của các dữ liệu không gian khác được tạo ra từ chụp ảnh UAV hoặc chụp ảnh mặt đất.

Bên cạnh đó, các điểm kiểm tra đặc trưng trên bề mặt đối tượng cũng được xác định tọa độ trong không gian 3D bằng kết quả đo laser sử dụng chế độ đo không gương của toàn đạc điện tử. Ngoài ra, phương pháp truyền thống, dùng thước thép để xác định chiều dài của các cạnh đặc trưng trên bề mặt các đối tượng cũng dùng để đánh giá độ chính xác.

Để đảm bảo độ chính xác cho dữ liệu không gian, cần bố trí các điểm kiểm tra trên bề mặt và xung quanh tòa nhà. Tổng số điểm kiểm tra là 64. Các điểm được bố trí đều trên các mặt của công trình, với sơ đồ bố trí điểm như Hình 17 và Hình 18.



Hình 17. Các điểm đặc trưng trên bề mặt phía trước tòa nhà được xác định vị trí không gian bằng toàn đạc điện tử ở chế độ đo không gương



Hình 18. Các điểm đặc trưng trên bề mặt phía sau toàn nhà được xác định vị trí không gian bằng toàn đạc điện tử ở chế độ đo không gương

5.2 Phương pháp đánh giá độ chính xác về vị trí không gian

Để đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian thành lập từ công nghệ UAV và TP, phương pháp sử dụng điểm KT và phương pháp sử dụng đám mây điểm TLS được áp dụng. Cụ thể, sai số trung phương RMSE được tính dựa trên việc so sánh tọa độ (X, Y, Z) của các điểm KT đo bằng toàn đạc điện tử và các điểm này được xác định trên mô hình đám mây điểm tạo bởi UAV và TP [2], [3] và [4]. Các công thức tính như sau:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{PC} - X_{KT_i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{PC} - Y_{KT_i})^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{PC} - Z_{KT_i})^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE_{xy} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2} \quad (6)$$

trong đó: RMSE - sai số trung phương; n tổng số điểm kiểm tra (KT); X_{KT_i} và X_{PC} , Y_{KT_i} và Y_{PC} , Z_{KT_i} và Z_{PC} - thành phần tọa độ tương ứng theo hướng trục X, Y, Z của điểm kiểm tra và điểm tương ứng trên dữ liệu không gian.

Ngoài ra, dữ liệu không gian thành lập từ UAV và TP được so sánh với dữ liệu không gian thành lập từ TLS để đánh giá độ chính xác [1]. Khoảng cách giữa hai dữ liệu không gian này được tính và được sử dụng như là độ lệch giữa hai dữ liệu không gian. Do dữ liệu không gian thành lập TLS có độ chính xác cao hơn nên được sử dụng như là dữ liệu tham chiếu. Kết quả của phương pháp này đưa ra sự chênh lệch giữa 2 dữ liệu và hiển thị dưới thang màu sắc.

5.3 Đánh giá độ chính xác các dữ liệu không gian

5.3.1 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian tạo ra từ dữ liệu bay chụp UAV

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian từ ảnh chụp mặt đất

TT	Ký hiệu điểm	Điểm lấy từ kết quả dữ liệu không gian			Điểm lấy từ kết quả đo toàn đạc điện tử không gương			Sai số giữa 2 phương pháp		
		X (m)	Y (m)	Z(m)	X (m)	Y (m)	Z(m)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	ΔZ (cm)
1	206	2317860,907	423488,709	15,231	2317860,507	423489,309	14,731	0,4	-0,6	0,5
2	208	2317874,369	423509,929	15,936	2317876,869	423513,229	14,736	-2,5	-3,3	1,2
3	209	2317854,096	423478,560	6,682	2317852,196	423477,960	6,882	1,9	0,6	-0,2
4	216	2317876,050	423509,368	11,268	2317874,850	423511,068	7,468	1,2	-1,7	3,8
5	224	2317876,282	423456,367	12,857	2317874,482	423456,767	11,557	1,8	-0,4	1,3
6	228	2317867,293	423461,408	7,344	2317865,493	423460,308	6,044	1,8	1,1	1,3
7	244	2317877,199	423462,313	8,805	2317877,099	423460,913	6,905	0,1	1,4	1,9
8	246	2317885,009	423470,343	17,139	2317884,709	423472,743	14,739	0,3	-2,4	2,4
9	265	2317890,242	423515,297	9,391	2317890,042	423513,297	10,291	0,2	2,0	-0,9
10	269	2317901,673	423504,768	6,292	2317902,573	423505,668	7,792	-0,9	-0,9	-1,5
11	273	2317897,669	423491,230	7,443	2317897,369	423490,530	7,543	0,3	0,7	-0,1
12	275	2317893,952	423485,024	16,693	2317891,352	423483,324	18,793	2,6	1,7	-2,1
Sai số trung phương								1,4	1,6	1,7

Kết quả đánh giá ở Bảng 1 cho thấy các sai số trung phương tính toán từ các điểm kiểm tra đối với ba trục X, Y, Z lần lượt là 1,4 cm; 1,6 cm; 1,7 cm. Điều này khẳng định các sai số đảm bảo yêu cầu theo các qui định để thực hiện các bước tiếp theo trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D.

Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV trên toàn bộ khu đo trên như sau:

Bảng 2. Bảng kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV trên toàn bộ khu đo

Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Mp (cm)	Sai số H (cm)
K02	13.7	2.9	14.0	1.6
K05	3.3	1.3	3.6	0.7
KB3	0.4	0.9	1.0	3.7
K17	-0.7	-0.5	0.8	2.5
K4	0.7	-0.1	0.7	1.3
BS9	3.6	-3.6	5.1	2.1
TD1	-0.4	-5.9	5.9	-1.2
TD3	7.1	0.5	7.2	-5.2
TD4	9.2	0.6	9.2	3.3

TD6	-4.1	-1.3	4.3	-2.2
TD16	3.5	-5.1	6.2	3.1
RMSE	5.9	2.8	6.5	0.9

Kết quả đánh giá sản phẩm dữ liệu xây dựng từ chụp ảnh UAV cho toàn bộ khu đo ở Bảng 2 cho thấy các sai số trung phương tính toán từ các điểm kiểm tra đối với vị trí mặt bằng, độ cao lần lượt là 6,5 cm; 0,9 cm. Điều này khẳng định các sai số đảm bảo yêu cầu theo các qui định để thực hiện các bước tiếp theo trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D.

5.3.2 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian tòa nhà độc lập xây dựng từ UAV

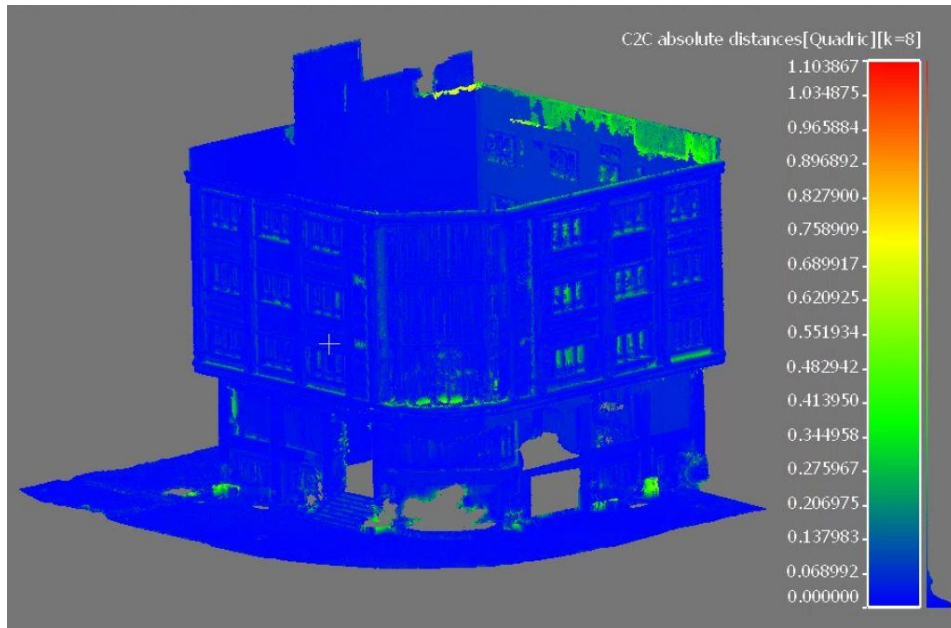
Với phương pháp đánh giá dựa trên điểm kiểm tra, kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ UAV được thể hiện trong Bảng 3 sau:

Bảng 3. Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV tòa nhà độc lập

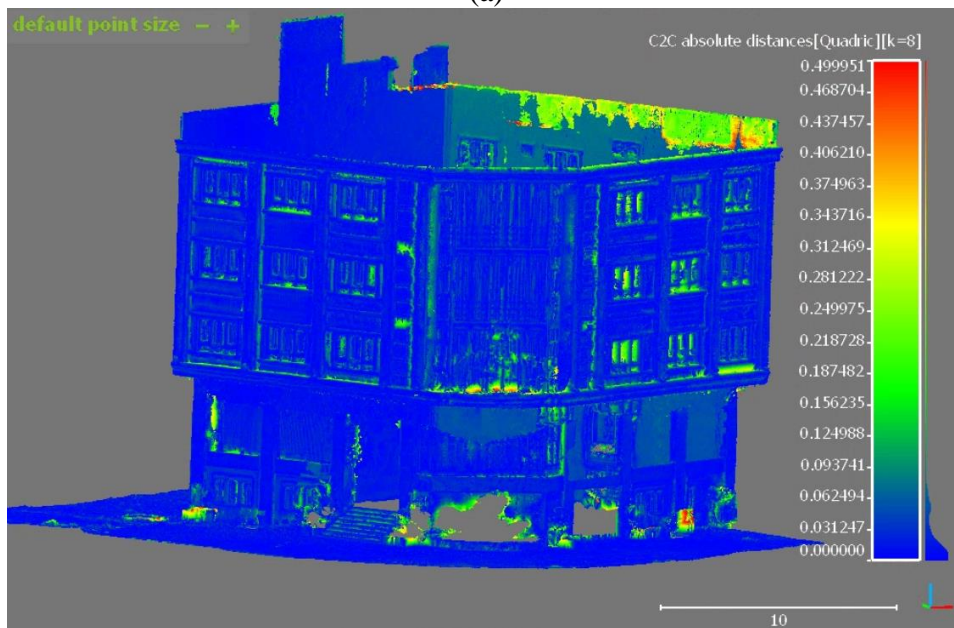
Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Mp (cm)	Sai số H (cm)
599	-0.36006	-1.08958	1.14753	-2.3491
107	0.187597	0.561629	0.592132	0.46285
105	-0.26855	0.225359	0.350582	0.238866
549	-1.3453	-2.81343	3.118529	-0.76773
RMSE	0.715331	1.53857	1.69673	1.26283

Kết quả đánh giá sản phẩm dữ liệu xây dựng từ chụp ảnh UAV đối với nhà độc lập ở Bảng 3 cho thấy các sai số trung phương tính toán từ các điểm kiểm tra đối với vị trí mặt bằng, độ cao lần lượt là 1,6 cm; 1,2 cm. Điều này khẳng định các sai số đảm bảo yêu cầu theo các qui định để thực hiện các bước tiếp theo trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D.

Với phương pháp đánh giá dựa trên so sánh kết quả điểm TLS, kết quả được thể hiện trên Hình 19.



(a)



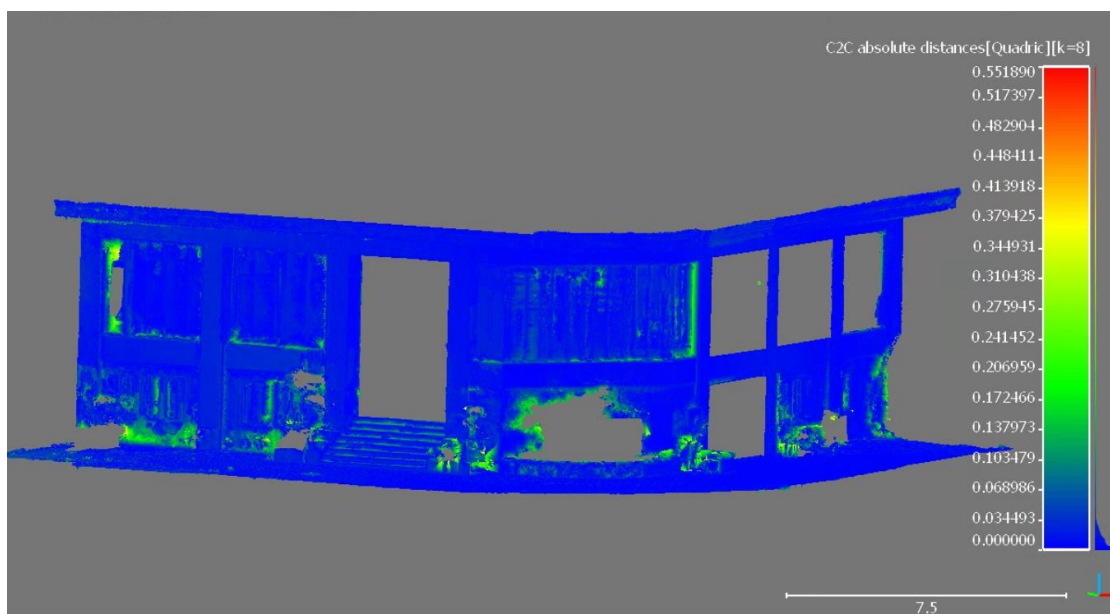
(b)

Hình 19. Phân bố của các điểm UAV có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 1.1 m; (b) 0 m đến 0.5 m

Kết quả đánh giá sản phẩm dữ liệu xây dựng từ chụp ảnh UAV đối với nhà độc lập so với dữ liệu xây dựng từ TLS cho thấy các sai số có màu xanh lam và xanh lá cây có sai số nhỏ hơn 20 cm. Điều này khẳng định các sai số đảm bảo yêu cầu theo các qui định để thực hiện các bước tiếp theo trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D

5.3.3 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian tòa nhà độc lập từ chụp ảnh mặt đất (TP)

Sử dụng phương pháp đánh giá dựa trên dữ liệu không gian xây dựng từ TLS, kết quả được thể hiện trên Hình 20.



Hình 20. Phân bố của các điểm TP có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ 0 m đến 0.5 m

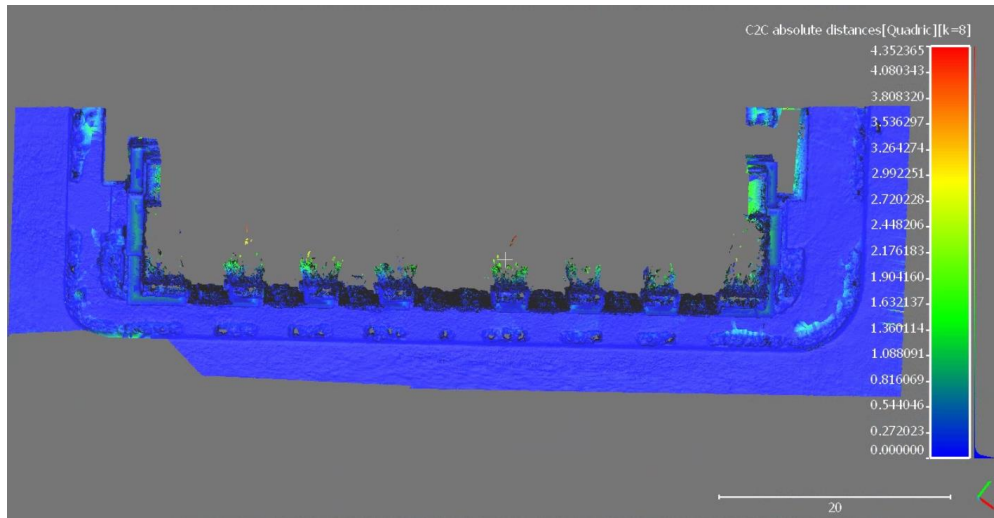
5.3.4 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian dãy biệt thự kề nhau từ chụp ảnh UAV

Với phương pháp đánh giá dựa trên điểm kiểm tra, kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ UAV được thể hiện trong bảng sau:

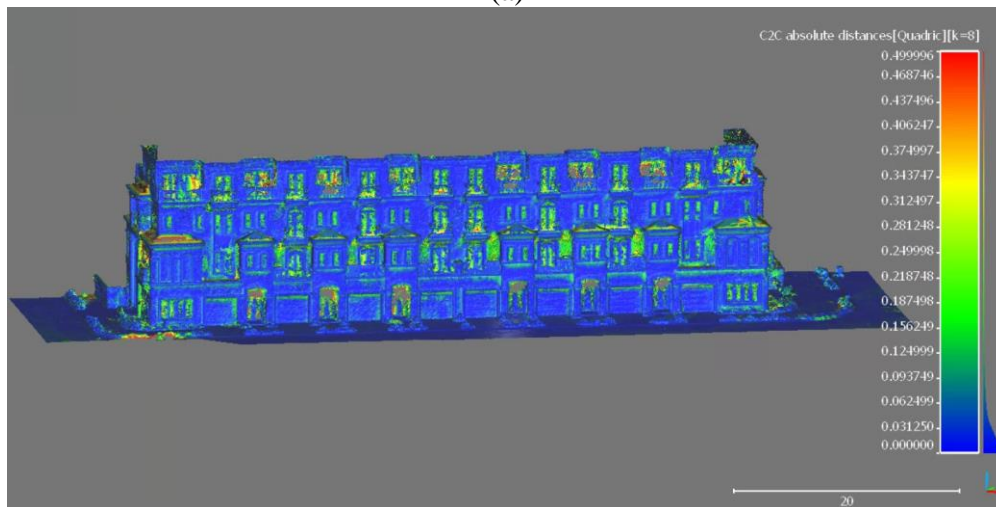
Bảng 4. Kết quả đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian xây dựng từ chụp ảnh bằng UAV dãy biệt thự kề nhau

Tên điểm	Sai số X (cm)	Sai số Y (cm)	Mp (cm)	Sai số H (cm)
244	-0.5	1.1	1.2	1.9
245	-0.7	1.6	1.7	4.0
246	-0.3	-2.7	2.7	2.8
267	-0.7	0.3	0.7	-0.2
269	-1.3	-0.8	1.5	-1.3
276	-1.8	-1.1	2.1	-0.3
206	0.4	-0.5	0.7	0.2
209	2.1	0.4	2.1	-0.9
211	0.4	-0.4	0.6	3.2
212	0.9	-1.7	1.9	-1.3
RMSE	1.1	1.3	1.7	2.1

Với phương pháp đánh giá dựa trên dữ liệu không gian xây dựng từ TLS, kết quả được thể hiện trên Hình 21.



(a)



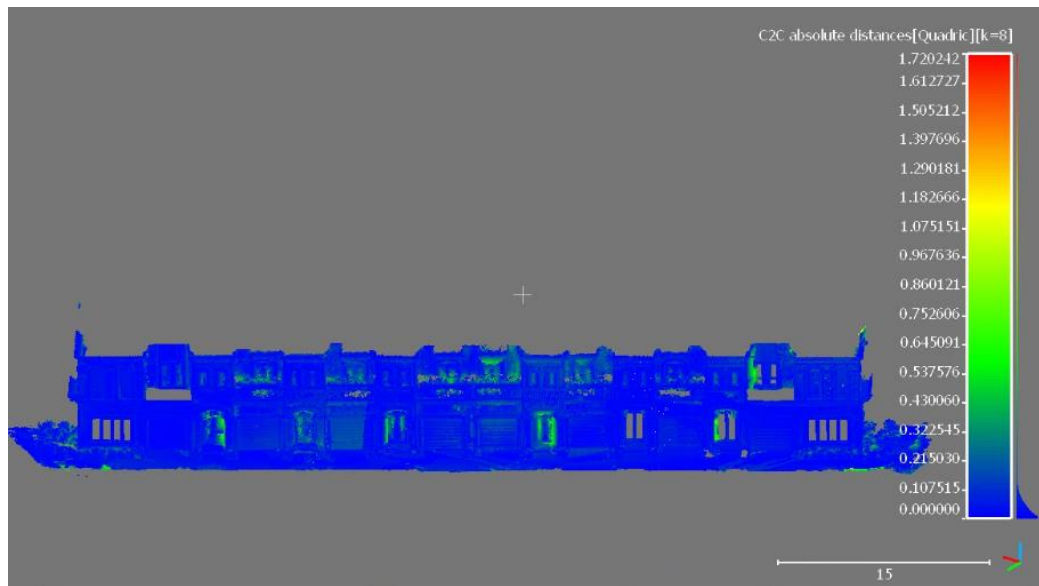
(b)

Hình 21. Phân bố của các điểm UAV dãy biệt thự liền kề có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 4.5 m; (b) 0 m đến 0.5 m

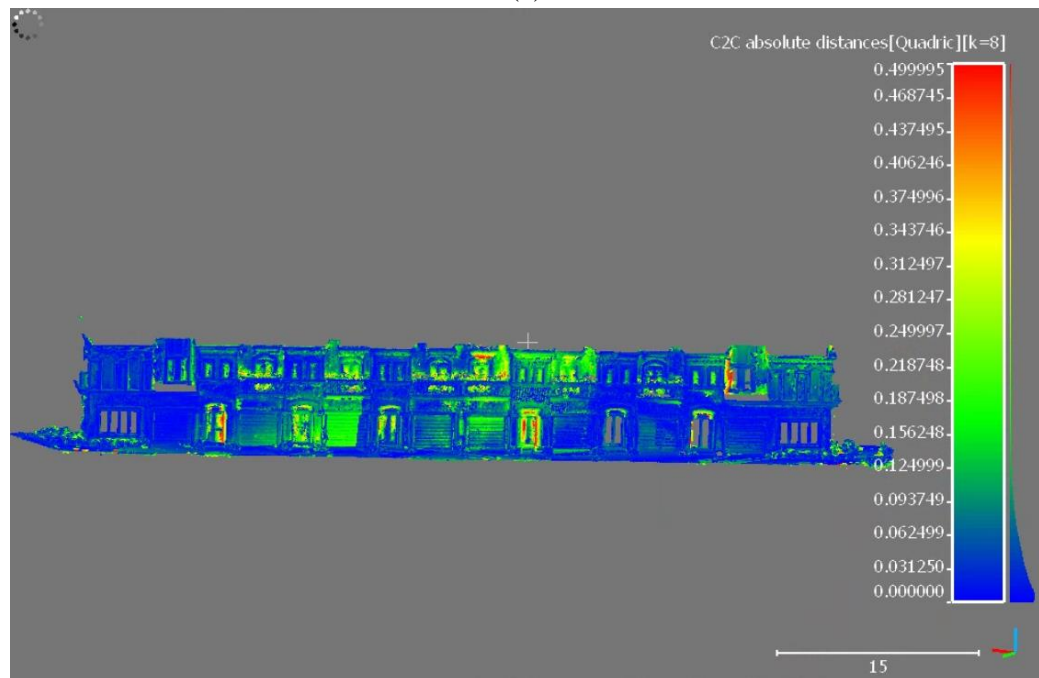
Kết quả đánh giá sản phẩm dữ liệu xây dựng từ chụp ảnh UAV đối với dãy nhà biệt thự so với dữ liệu xây dựng từ TLS cho thấy các sai số có màu xanh lam và xanh lá cây có sai số nhỏ hơn 20 cm. Điều này khẳng định các sai số đảm bảo yêu cầu theo các qui định để thực hiện các bước tiếp theo trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D.

5.3.5 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian dãy biệt thự kề nhau từ chụp ảnh mặt đất

Với phương pháp đánh giá dựa trên dữ liệu không gian xây dựng từ TLS, kết quả được thể hiện trên Hình 22.



(a)



(b)

Hình 22. Phân bố của các điểm TP dãy biệt thự liền kề có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 1.8 m; (b) 0 m đến 0.5 m

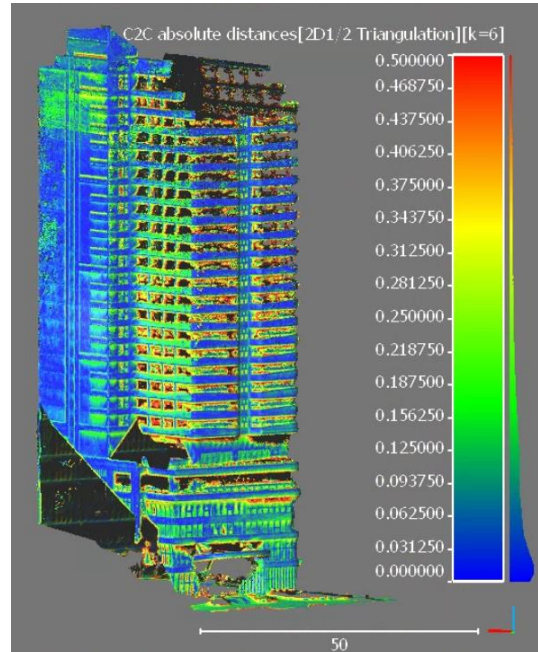
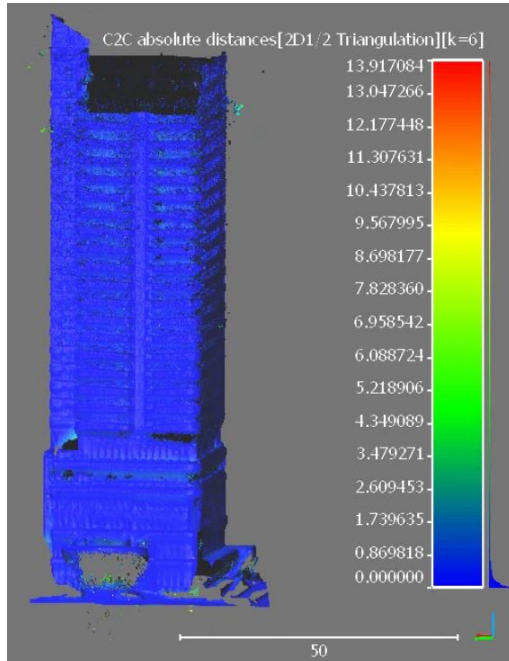
5.3.6 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian nhà cao tầng từ chụp ảnh UAV

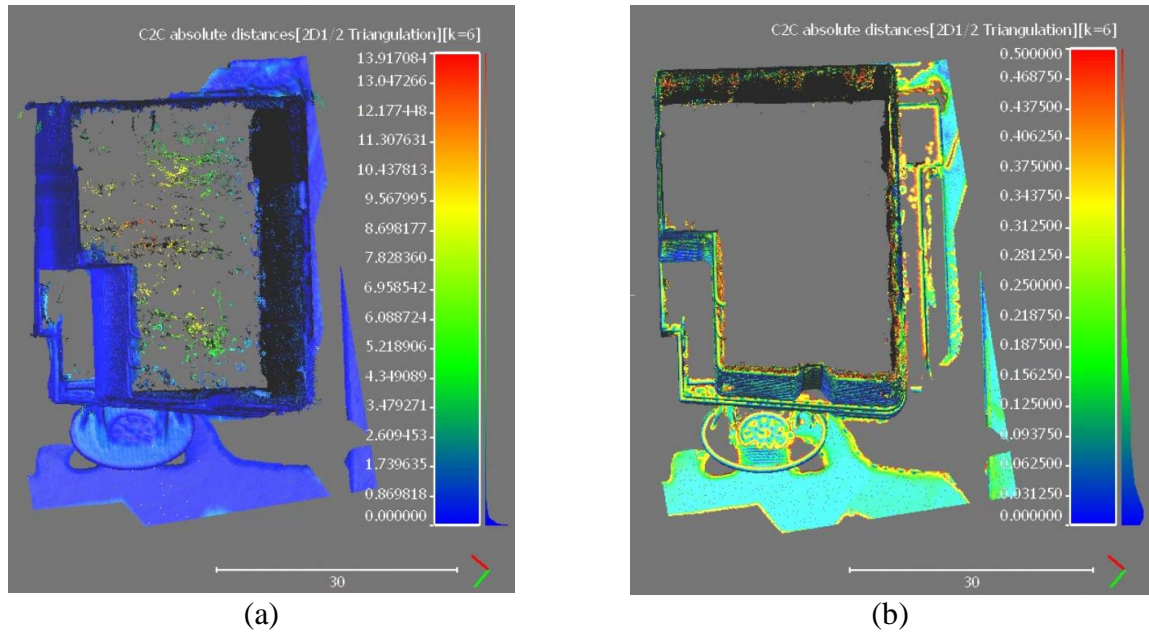
Với phương pháp đánh giá dựa trên điểm kiểm tra, kết quả đánh giá độ chính xác đám mây điểm UAV được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 5. Kết quả đánh giá độ chính xác đám mây điểm UAV tòa nhà cao tầng

Tên điểm	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

Với phương pháp đánh giá dựa trên dữ liệu không gian xây dựng từ TLS, kết quả được thể hiện trên Hình 23.





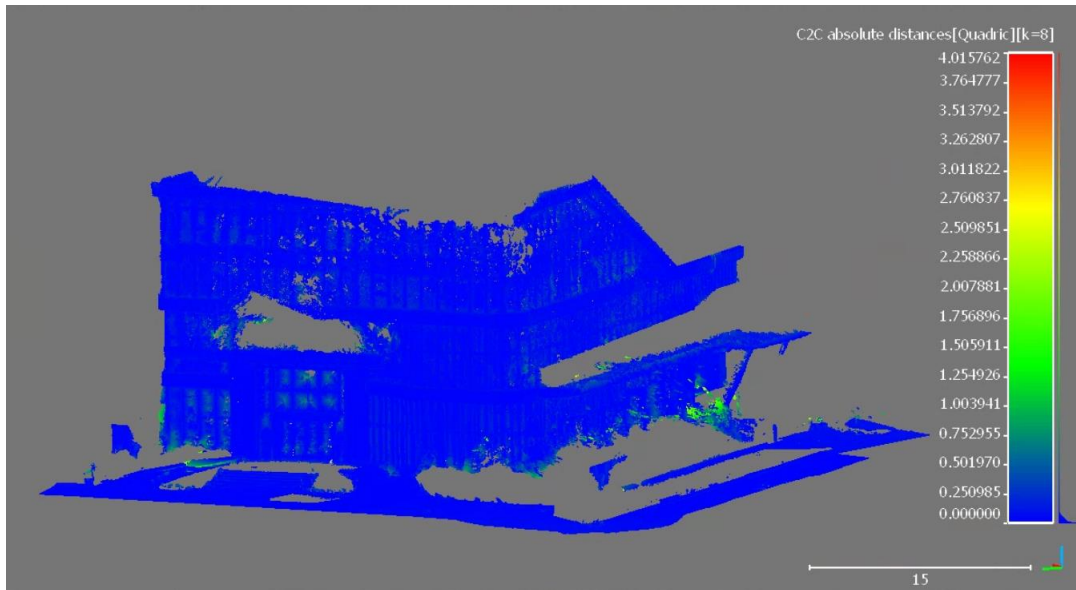
Hình 23. Phân bố của các điểm UAV nhà cao tầng có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 14 m; (b) 0m đến 0.5m

Kết quả đánh giá sản phẩm dữ liệu xây dựng từ chụp ảnh UAV đối với nhà cao tầng so với dữ liệu xây dựng từ TLS cho thấy các sai số có màu xanh lam và xanh lá cây có sai số nhỏ hơn 30 cm. Điều này khẳng định các sai số đảm bảo yêu cầu theo các qui định để thực hiện các bước tiếp theo trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D.

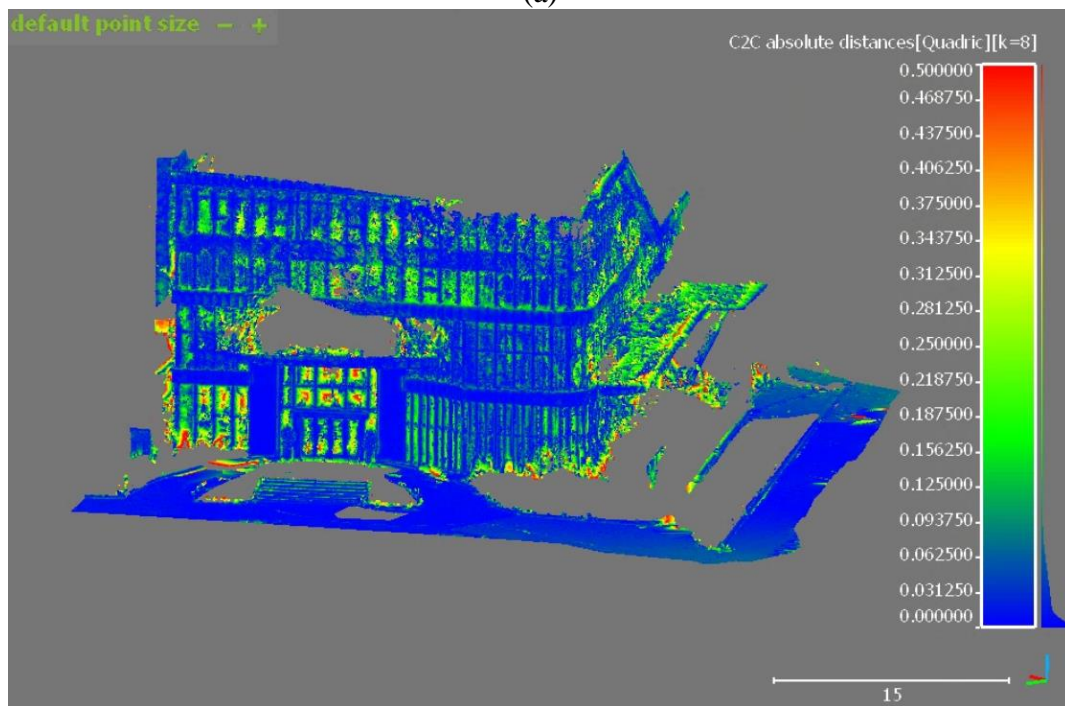
5.3.7 Đánh giá độ chính xác dữ liệu không gian nhà cao tầng từ chụp ảnh mặt đất

Các đám mây điểm TP được so sánh với đám mây điểm TLS để đánh giá độ chính xác. Khoảng cách giữa hai đám mây điểm này được tính và được sử dụng như là độ lệch giữa hai đám mây điểm. Do đám mây điểm TLS có độ chính xác cao hơn nên được sử dụng như là dữ liệu tham chiếu.

Sử dụng phương pháp đánh giá dựa trên dữ liệu không gian xây dựng từ TLS, kết quả được thể hiện trên Hình 24.



(a)



(b)

Hình 24. Phân bố của các điểm TP nhà cao tầng có khoảng cách so với dữ liệu không gian xây dựng từ TLS có giá trị từ: (a) 0 m đến 4 m; (b) 0 m đến 0.5 m

5.3.8 Đánh giá độ chính xác bằng đo kiểm tra bằng thước thép

Sử dụng thước thép đo khoảng cách các cạnh đặc trưng như chiều cao, chiều rộng của cửa sổ (Hình 25 và Hình 26), độ sâu các cửa vào nhà (Hình 27).



Hình 2.7 Đo kiểm tra chiều cao của cửa sổ bằng thước thép



Hình 25. Đo kiểm tra chiều rộng của cửa sổ bằng thước thép



Hình 26. Đo kiểm tra chiều sâu của cửa ra vào bằng thước thép

Các kết quả đo bằng bằng công cụ đo khoảng cách trên dữ liệu không gian tương ứng với các khoảng cách đo trực tiếp ở thực địa bằng thước thép cho thấy sai số trong khoảng từ 3 cm đến 5 cm. Như vậy cho thấy dữ liệu không gian xây dựng được hoàn toàn đáp ứng cho dữ liệu không gian địa lý 3D LoD3.

5.3.9 Đánh giá việc tiêu chuẩn hóa các dữ liệu không gian

Mặc dù các lớp dữ liệu không gian sau khi được vẽ ở dạng vector 3D và biên tập theo các qui định kỹ thuật về đối tượng không gian địa lý, nhưng khi chuyển từ dữ liệu không gian đồ họa 3D sang tiêu chuẩn CityGML, các quan hệ hình học không đúng theo yêu cầu của tiêu chuẩn sẽ hiển thị các lỗi. Ví dụ việc bắt dính điểm không chính xác tạo sự sai khác, tọa độ gốc cây xanh không nằm trên đúng bề mặt địa hình,... Các lỗi này có một số sẽ được phần mềm báo lỗi trong quá trình định chuẩn dữ liệu không gian địa lý theo tiêu chuẩn CityGML. Các lỗi khác bắt buộc người xây dựng dữ liệu phải tổ chức rà soát, kiểm tra để khắc phục được lỗi tại ra dữ liệu có độ tin cậy cao đáp ứng yêu cầu đặt ra.

6 KẾT LUẬN

Nội dung nghiên cứu đã trình bày bao gồm các vấn đề sau đây:

1. Đã đề xuất quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ dữ liệu bay chụp bằng UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR;
2. Đã đưa ra được các kết quả sản phẩm dữ liệu không gian địa lý 3D;
3. Sản phẩm dữ liệu không gian 3D sau khi được chuẩn hóa theo tiêu chuẩn CityGML được kiểm tra, đánh giá theo các đối tượng và khả năng cho phép nhập các thông tin thuộc tính để hoàn thiện dữ liệu không gian địa lý 3D;
4. Các công việc chuẩn bị dữ liệu thuộc tính theo tiêu chuẩn CityGML và được gắn với mã đối tượng được lấy trực tiếp trên mô hình không gian đã chuyển sang ở tiêu chuẩn CityGML. Các bước cụ thể được mô tả chi tiết để liên kết dữ liệu thuộc tính đã thu thập và chuẩn hóa với dữ liệu không gian tạo thành một dữ liệu không gian địa lý hoàn chỉnh.

7 TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bùi, T. D., C. V. Nguyễn, M. H. Hoàng, B. P. Đồng, V. H. Nhữ, T. A. Trần and Q. M. Nguyễn (2016). Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái (UAV). Hội nghị Khoa học: Đo đạc Bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu. Hà Nội: 1-17.

[2] Colomina, I. and P. Molina (2014). "Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92: 79-97.

[3] Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam (2012). Hệ thống không ảnh- tầng dày không chế ảnh hàng không. B. T. Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam, Bộ Khoa học và Công nghệ.

[4] Đào, N. L. (2013). Nghiên cứu ứng dụng công nghệ thành lập bản đồ (địa hình và địa chính) từ ảnh chụp bằng máy chụp ảnh số phổ thông lắp trên máy bay không người lái M100-CT điều khiển bằng sóng Radio.

[5] Gómez-Candón, D., A. I. D. Castro and F. López-Granados (2014). "Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat." *Precision Agriculture* 15(1): 44–56.