

Bài báo khoa học

Kết hợp công nghệ chụp ảnh từ UAV và mặt đất xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh

Lê Thị Thu Hà^{1,2}, Nguyễn Quốc Long^{1*}

¹ Trường Đại học Mở – Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn;
nguyenquoclong@humg.edu.vn

² Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; lethithuha@humg.edu.vn; nguyenquoclong@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyenquoclong@humg.edu.vn; Tel.: +84–916196336

Ban Biên tập nhận bài: 5/2/2023; Ngày phản biện xong: 28/4/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

Tóm tắt: Hạ tầng cơ sở dữ liệu của thành phố thông minh bao gồm một hệ thống dữ liệu không gian địa lý 3D được sử dụng như một nền tảng cho các ứng dụng như thiết kế, xây dựng, đề xuất phương án ứng phó trong các trường hợp khẩn cấp. Hiện nay, trong quá trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D thường sử dụng phương pháp thu thập dữ liệu bằng các công nghệ địa không gian trong đó công nghệ chụp ảnh mặt đất và công nghệ chụp ảnh bằng máy bay không người lái (UAV) là phương pháp đảm bảo độ tin cậy và có giá thành thấp. Mặc dù các tiêu chuẩn đã được quy định theo chuẩn quốc tế, tuy nhiên do sự khác nhau về độ tin cậy của các loại dữ liệu, các mức độ chi tiết khác nhau đối với mỗi loại đối tượng địa lý cho từng khu vực cụ thể, do vậy vẫn cần phải nghiên cứu bổ sung, kết hợp các loại dữ liệu cho phù hợp với nhu cầu và đặc thù từng khu vực. Nghiên cứu này tập trung vào đề xuất quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố thông minh từ các dữ liệu bay chụp ảnh bằng UAV và chụp ảnh mặt đất. Kết quả thực nghiệm đã xây dựng được dữ liệu không gian địa lý 3D của dãy biệt thự liền kề ở mức độ chi tiết cao (LoD3), mức LoD3 với sai số trung phương của các điểm kiểm tra nhận được $m\Delta x = 1,4$ cm; $m\Delta y = 1,6$ cm; $m\Delta z = 1,7$ cm.

Từ khóa: Dữ liệu không gian địa lý 3D; UAV; Chụp ảnh mặt đất; Thành phố thông minh.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh chuyển đổi số để xây dựng thành phố thông minh, dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố ngày càng trở thành dữ liệu không gian quan trọng, nó có thể là nền tảng cho hệ thống thông tin tích hợp của thành phố thông minh [1–2]. Thành phố thông minh là thành phố phát triển bền vững dựa trên những ứng dụng công nghệ thông tin. Một trong những hợp phần cốt lõi của công nghệ thông tin là CSDL không gian địa lý 3D [3]. Để thành lập dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D, có nhiều phương pháp đã được thực hiện bao gồm: phương pháp ảnh hàng không lập thể, phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh lập thể, phương pháp bản đồ sẵn có, phương pháp chụp ảnh panorama từ nhiều điểm đứng máy, phương pháp sử dụng ảnh máy bay không người lái, phương pháp từ quay phim 3D, phương pháp quét Lidar mặt đất; phương pháp sử dụng hệ thống bản đồ di động (*Mobile mapping system*),Hoặc có sự kết hợp từ hai phương pháp trở lên để có độ chi tiết và độ chính xác cao hơn theo từng nhu cầu cụ thể như: phương pháp kết hợp ảnh hàng không và bản đồ có sẵn; phương pháp sử dụng hệ thống thông tin địa lý kết hợp các dữ liệu đo đạc, phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh đơn lẻ độ phân giải rất cao kết hợp điểm khống chế và bóng địa vật,... [4–21].

[22] đã thử nghiệm phương pháp sử dụng dữ liệu từ UAV với độ phân giải thấp (640×480 pixel) để thành lập mô hình thành phố dạng 3D. Phim được quay và chỉnh hình học đồng thời với việc bay chụp, do đó, sử dụng ảnh với kích thước ảnh lớn thường sẽ không khả thi do giới hạn xử lý của máy tính. Trung tâm thành phố Konya của Thổ Nhĩ Kỳ đã được xây dựng ở dạng dữ liệu không gian địa lý thành phố 3D với diện tích đạt tới 300 km^2 , bao gồm 300 000 tòa nhà, 5 khu vực lịch sử và du lịch nổi tiếng, quan trọng của thành phố đã được xây dựng ở mức chi tiết cao, nhóm tác giả Yalcin và Selcuk đã thực hiện công việc này năm 2014 dựa trên 42.000 tấm ảnh hàng không có độ phân giải cao [23]. Một ví dụ điển hình của việc sử dụng kết hợp bởi nhiều dữ liệu không gian khác nhau, Over và cs. đã sử dụng dữ liệu từ OpenStreetMap và mô hình số bề mặt để thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D các thành phố ở Đức [24]. OpenStreetMap là dự án thu thập dữ liệu không gian từ người dùng tự nguyện thông qua nhiều phương tiện như ảnh chụp phổ thông có gắn GPS hoặc số hóa ảnh vệ tinh, ảnh máy bay. Nguồn dữ liệu này thường có độ chính xác không đồng nhất do được xây dựng từ đa nguồn dữ liệu thứ cấp. Công nghệ máy bay không người lái UAV được sử dụng phổ biến trong khoảng 10 năm gần đây để xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D của các công trình kiến trúc cũng như cho các thành phố trên thế giới. Mô hình 3D của lâu đài Landenberg đã được xây dựng dựa trên 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. Hơn nữa ảnh chụp từ mặt đất bốn phía của lâu đài cũng được sử dụng để bổ sung hình ảnh bề mặt lâu đài trong mô hình 3D [25].

Tổng công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam là đơn vị có nhiều nghiên cứu ứng dụng các công nghệ địa không gian trong nghiên cứu và xây dựng quy trình thành lập cơ sở dữ liệu không gian địa lý và bản đồ ba chiều tỷ lệ lớn phục vụ quy hoạch phát triển đô thị, kiến trúc, trong nhiệm vụ bảo trì duy tu các di tích lịch sử, mô phỏng thực địa trong mục đích phân định đường biên giới quốc gia,... [26–30]. [31] đã sử dụng dữ liệu trong khu vực thử nghiệm là ảnh chụp từ UAV kết hợp với các dữ liệu bản đồ khác để thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D khu vực nghiên cứu với định dạng CityGML. Kết quả nghiên cứu [32] cũng đã tiến hành đề xuất được bộ thuật toán giúp tự động phân loại dữ liệu đám mây điểm ra 8 phân lớp khác nhau, đồng thời đề xuất được quy trình xây dựng mô hình 3D thành phố tự động từ dữ liệu LiDAR hàng không cho khu vực Hòn Gai, Hạ Long, Quảng Ninh. [33] đã xây dựng và thử nghiệm thành công quy trình xây dựng và biểu diễn trực quan mô hình 3D toàn bộ khuôn viên Khu A–HUMG trên nền web bằng công cụ mã nguồn mở 3DCityDB và thư viện CesiumJS. [34] đã thử nghiệm ứng dụng kết hợp dữ liệu ảnh UAV với dữ liệu quét Lidar mặt đất trong xây dựng mô hình số 3D mức độ chi tiết cao (LoD–3) cho công trình nhà cao tầng trong khu vực đô thị ven biển tại Hạ Long, Quảng Ninh, Việt Nam. Các công trình nghiên cứu liên quan đến kết hợp các thiết bị bay và máy ảnh, máy quét LiDAR cho công tác xây dựng dữ liệu thành phố 3D ở Việt Nam còn chưa phổ biến do giá thành rất cao, các yêu cầu phần mềm và phần cứng cho lưu trữ, xử lý số liệu còn hạn chế.

Nghiên cứu này tập trung xây dựng phương án thành lập dữ liệu không gian địa lý 3D với tiêu chí giảm tối đa giá thành, phương án triển khai đơn giản, hiệu quả, được thực hiện với các thiết bị phổ biến trên thị trường tại Việt Nam. Để xử lý dữ liệu không gian thành dữ liệu không gian địa lý 3D, một chuỗi các phần mềm đã sử dụng bao gồm: xử lý ảnh chụp từ UAV và số hóa các đường đặc trưng (lề đường, cạnh tòa nhà, mái nhà, ống khói và đường bên trong tòa nhà) bằng phần mềm SketchUp. Các đường, đối tượng, số hóa và phân loại thủ công theo các mức độ chi tiết khác nhau. Tất cả các đường đặc trưng sau đó được đưa vào phần mềm FME để xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cho thành phố và xuất ra kết quả theo tiêu chuẩn CityGML. Phương pháp kết hợp dữ liệu ảnh máy bay UAV và chụp ảnh mặt đất sẽ cần xử lý một khối lượng lớn dữ liệu không gian. Đồng thời độ phân giải của ảnh chụp từ UAV cho độ phân giải cao, việc bay chụp sẽ phải thực hiện lặp lại ở các góc khác nhau để đáp ứng được việc xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D với độ chính xác tương đương hoặc lớn hơn bản đồ tỷ lệ 1:1.000.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

2.1.1. Số liệu ảnh chụp từ UAV

Đi đôi với UAV có gắn máy ảnh, các UAV hiện tại còn lắp đặt thiết bị đo GPS động độ chính xác cao (RTK) sẽ giảm đáng kể việc phải bố trí đo đạc các điểm khống chế ngoài thực địa. Các kỹ thuật bay chụp theo sơ đồ thiết kế tuyến bay theo lưới vòng góc, bay chụp ở các độ cao với góc nghiêng ống kính được áp dụng cho nhà cao tầng trong đô thị nhằm cung cấp mô hình số bề mặt (DSM) ở dạng đám mây điểm với độ chính xác có thể phục vụ xây dựng dữ liệu không địa lý 3D ở LoD2 hoặc LoD3.

2.1.2. Số liệu ảnh chụp mặt đất

Mặc dù UAV có khả năng cung cấp mô hình số bề mặt ở phạm vi rộng nhờ bay chụp được ở trên cao. Tuy nhiên một số bề mặt của đối tượng (nhà, cây,...) ở gần mặt đất sẽ bị che khuất bởi các đối tượng bên cạnh và mái hoặc tán của chúng. Để giải quyết phần bị che lấp trong dữ liệu được thành lập bằng ảnh UAV. Phương pháp chụp ảnh lập thể mặt đất có thể cung cấp dữ liệu không gian địa lý 3D cho phần còn thiếu đó. Các ảnh chụp mặt đất sẽ phục vụ xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D ở LoD3 xung quanh các đối tượng mà ảnh UAV không cung cấp được.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn dữ liệu CityGML

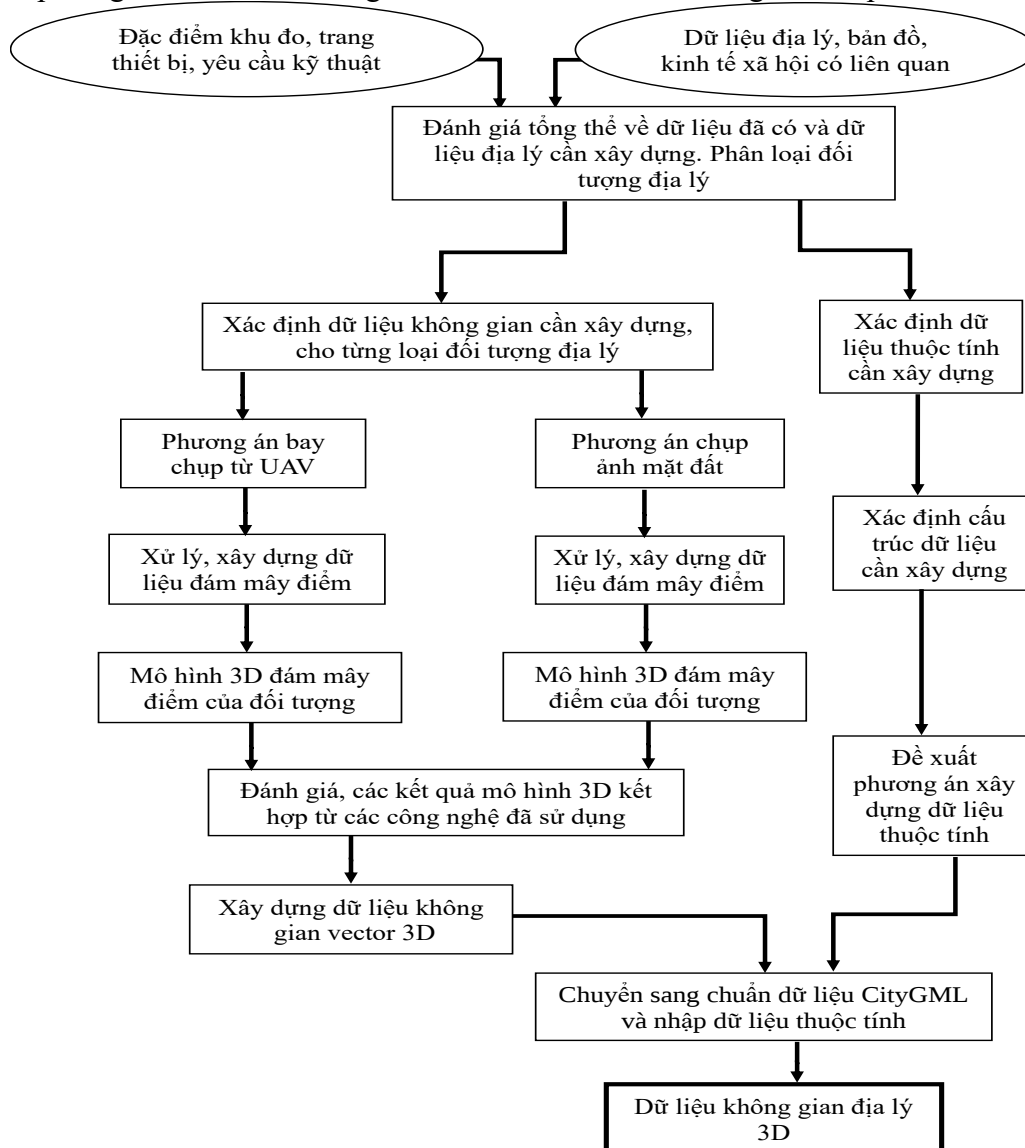
CityGML là chuẩn dưới dạng ngôn ngữ eXtensible Markup Language được xây dựng thành tiêu chuẩn quốc tế do Open GIS Consortium (OGC) đề xuất với mục đích thành lập và trao đổi dữ liệu không gian đô thị 3D. CityGML được xây dựng trên nền tảng của GML 3.1.1 bởi nhóm Special Interest Group 3D (SIG 3D) nằm trong chương trình Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia, Đức. CityGML trình bày cả 4 khía cạnh của mô hình thành phố bao gồm: chuyên đề và ngữ nghĩa, đối tượng hình học, quan hệ hình học giữa các đối tượng và bề ngoài của các đối tượng. Ngoài ra, CityGML còn có các định nghĩa về mức độ chi tiết (LoD) của đối tượng theo 5 mức khác nhau từ LoD0 tới LoD4.

2.2.2. Quy trình thực nghiệm

Nghiên cứu này tập trung xây dựng phương án xây dựng dữ liệu địa lý 3D 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 UAV đã có những phát triển đáng kể, UAV có thể mang máy ảnh phổ thông chụp ảnh độ phân giải ở mức cm, độ chính xác cao, giá thành tiết kiệm so với công nghệ khác, linh hoạt trong thực hiện bay chụp xử lý và đặc biệt rất phổ biến trên thị trường. Kết quả xử lý ảnh bay chụp ảnh UAV bao gồm mô hình số bề mặt, đám mây điểm, và bình đồ ảnh. Dữ liệu bình đồ ảnh ở mức chi tiết (cm) sẽ cung cấp hình ảnh chụp từ 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. Nhìn chung, dữ liệu xây dựng từ ảnh máy bay không người lái là dữ liệu cơ bản cho xây dựng cơ sở dữ liệu địa lý 3D. Tuy nhiên, chỉ mình công nghệ ảnh UAV sẽ không đủ để đáp ứng nhu cầu về độ chi tiết, độ chính xác cho một dữ liệu địa lý 3D nói chung. Do đó, cần có sự kết hợp với các công nghệ hiện đại khác phổ biến hiện nay như công nghệ chụp ảnh mặt đất.

Các thiết bị chụp ảnh mặt đất hiện nay cũng đã phổ biến, dễ vận hành và sử dụng. Trong thành lập dữ liệu địa lý 3D khu vực thành phố, công nghệ chụp ảnh 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 chụp ảnh mặt đất sẽ bổ khuyết

cho phần thiếu hụt đám mây điểm tạo lập từ công nghệ UAV. 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. Trong khi công nghệ chụp ảnh mặt đất sẽ bổ xung đám mây điểm ở phần dưới, bị che khuất bởi ban công. Hơn nữa, mật độ điểm trong đám mây điểm của chụp ảnh mặt đất sẽ được tùy chỉnh và có độ chính xác cao nhất, có thể làm dữ liệu tham khảo để hiệu chỉnh dữ liệu tọa độ của đám mây điểm ảnh tạo lập từ UAV và ảnh mặt đất. Tuy nhiên, một nhược điểm của công nghệ chụp ảnh mặt đất là tạo ra được đám mây điểm, từ đó sẽ tạo ra được DSM bề mặt ngang nhưng không tạo ra được ảnh trực giao các mặt của tòa nhà. Công nghệ chụp ảnh mặt đất sẽ là công nghệ được sử dụng để bổ khuyết phần thiếu hụt của công nghệ UAV. Tuy nhiên, dựa trên đặc điểm của khu vực nghiên cứu, đặc điểm của các loại đối tượng địa lý khác nhau, sự tham gia của các công nghệ phụ trợ như chụp ảnh mặt đất, GNSS cũng được áp dụng linh hoạt nhằm tăng độ chính xác, tiết kiệm thời gian, chi phí, nhân lực.



Hình 1. Sơ đồ quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ dữ liệu UAV, chụp ảnh mặt đất và các dữ liệu địa không gian khác.

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 và chụp ảnh 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 chụp ảnh mặt đất và đo chi tiết một số điểm ở thực địa. Quy trình 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). 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 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 quy 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.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Khu vực thực nghiệm

Khu thực nghiệm trong Hình 2 thuộc phường Bãi Cháy và phường Hùng Thắng, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh bao gồm phần chủ yếu thuộc khu đô thị cao cấp ven biển của tập đoàn BIM group xây dựng. Khu đô thị gồm có các biệt thự riêng biệt hoặc các biệt thự liền kề. Ngoài ra có các hệ thống giao thông, cấp thoát nước nội bộ và các công trình công cộng phục vụ sinh hoạt cộng đồng. Một số nhà cao tầng phục vụ nơi ở, khách sạn hoặc trụ sở làm việc của các tổ chức dọc các trục đường chính.



Hình 2. Khu vực thực nghiệm.

3.2. Mô hình đám mây điểm

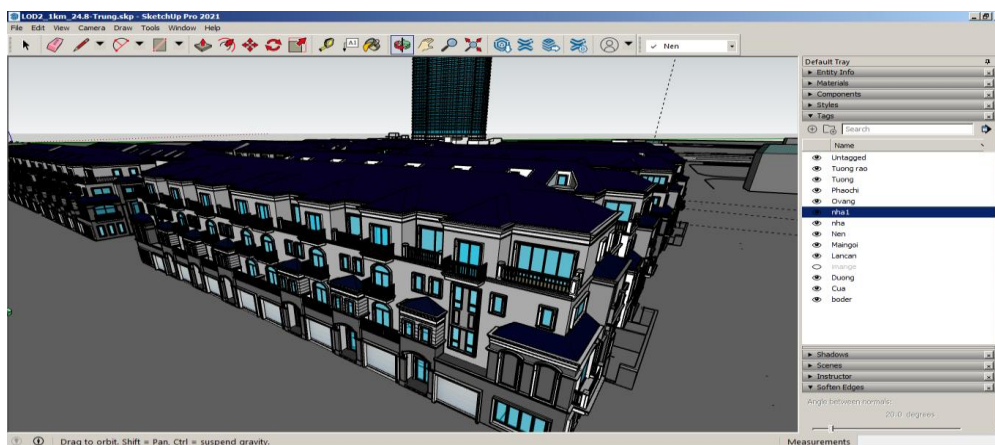
Hình 3 biểu diễn đám mây điểm 3D của một khu biệt thự liền kề (Townhouse) với kiến trúc độc đáo thuộc khu đô thị Grand Bay Hạ Long nhận được từ kết quả bay chụp UAV và chụp ảnh mặt đất trong khu vực 1 (màu xanh) trên Hình 2. Trong đó, Hình 3a biểu diễn đám mây điểm 3D nhận được từ ảnh chụp UAV, Hình 3b thể hiện từ ảnh chụp mặt đất và Hình 3c là kết quả ghép hai đám mây điểm 3D từ chụp ảnh UAV và chụp ảnh mặt đất.



Hình 3. Kết quả đám mây điểm của một dãy biệt thự liền kề từ: (a) Ảnh chụp UAV; (b) Chụp ảnh mặt đất; (c) Ghép từ hai công nghệ UAV và chụp ảnh mặt đất.

3.3. Xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ dữ liệu đám mây điểm

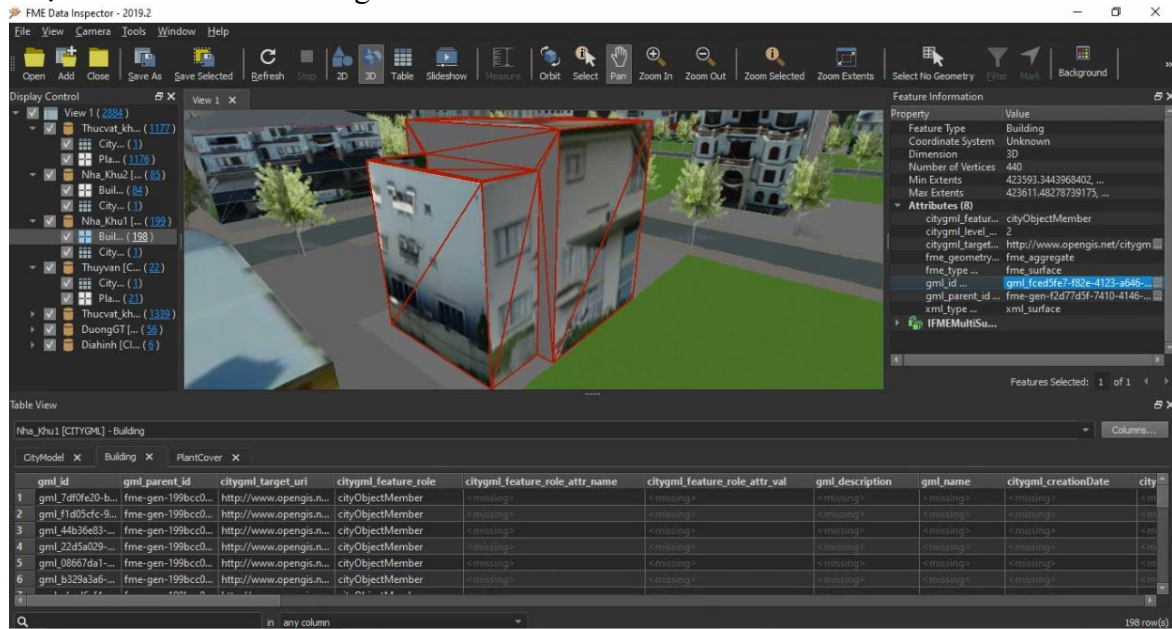
Dữ liệu đồ họa vector 3D với mức độ chi tiết cấp 3 (LoD3) là mức độ đối tượng sẽ được thể hiện giống với thực tế nhất. Dữ liệu này thể hiện chi tiết góc cạnh các mặt của đối tượng, độ lồi lõm của các vật thể trên đối tượng như cửa chính, cửa sổ, hành lang. Mô hình này được tạo từ quá trình đo đạc thực địa và xây dựng trên mô hình trực tiếp trên phần mềm SketchUp Pro 2021. Các đám mây điểm của dãy biệt thự liền kề được vector hóa trong các Hình 4.



Hình 4. Mô hình vector 3D dãy biệt thự liền kề được xây dựng ở LoD3.

3.4. Chuẩn hóa dữ liệu không gian vector 3D theo tiêu chuẩn GML

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 5.



Hình 5. Nhà ở sau khi chuyển đổi sang chuẩn dữ liệu CityGML.

3.4. Đánh giá độ chính xác dữ liệu đã xây dựng được

Dựa vào các kết quả đo tọa độ (x, y, z) của 12 điểm đặc trưng trên địa vật gồm các góc cửa và góc nhà (Hình 6) trực tiếp trên mô hình 3D của đám mây điểm lấy được sau khi xử lý từ kết quả chụp ảnh và được sử dụng để so sánh với tọa độ (x, y, z) các điểm đặc trưng tương ứng được đo bằng chế độ đo không gương của máy toán đạc điện tử. Sai số trung phương nhận được là: $m_{\Delta x} = 1,4 \text{ cm}$; $m_{\Delta y} = 1,6 \text{ cm}$; $m_{\Delta z} = 1,7 \text{ cm}$. Với độ chính xác các điểm kiểm tra như trong Bảng 1, mô hình 3D hoàn toàn có thể đạt độ chính xác về mặt bằng và độ cao đối với bản đồ địa hình tỷ lệ 1: 500.



Hình 6. Các điểm kiểm tra độ chính xác trên dãy biệt thự liền kề.

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ chính xác của mô hình 3D.

TT	Ký hiệu điểm	Điểm lấy từ kết quả chụp ảnh			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

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất qui trình thực nghiệm xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D từ các đám mây điểm nhận được từ các công nghệ chụp ảnh UAV và chụp ảnh mặt đất phù hợp với điều kiện ở khu vực thực nghiệm. Bên cạnh đó, các dữ liệu thuộc tính của các đối tượng không gian cũng được thu thập và nhập vào đã được minh họa đầy đủ trong các bước của qui trình.

Các kết quả thực nghiệm về mô hình 3D đám mây điểm, dữ liệu thuộc tính và dữ liệu không gian địa lý 3D được đưa ra thể hiện tính khả thi của qui trình đã đề xuất. Việc đánh giá độ chính xác kết quả dữ liệu mô hình 3D bằng cách so sánh với các kết quả đo bằng toàn đạc điện tử không gương khẳng định kết quả dữ liệu nhận được có độ chính xác đáp ứng yêu cầu của dữ liệu không gian địa lý 3D ở LoD3.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.T.H., N.Q.L.; Xử lý số liệu: L.T.T.H.; Viết bản thảo bài báo: L.T.T.H.; Chính sửa bài báo: N.Q.L.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của cấp cơ sở Trường Đại học Mở – Địa chất, mã số T22-48 với tên “Nghiên cứu thành lập mô hình 3D công trình xây dựng cấp độ chi tiết cao (LoD 3) bằng kết hợp công nghệ máy bay không người lái (UAV) và quét Laser mặt đất” và đề tài cấp 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.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Anilkumar, P.P. Geographic Information System for Smart Cities. India, Copal Publishing Group, 2014.
2. Biljecki, F.; Stoter, J.; Ledoux, H.; Zlatanova, S.; Çöltekin, A. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2015**, *4*, 2842–2889.
3. Gózdź, K.; Pachelski, W.; Oosterom, P.O.; Coors, V. The possibilities of using CityGML for 3D representation of buildings in the cadastre. *Proceedings of the 4th International Workshop on 3D Cadastres*, 2014, pp. 339–362.
4. Singh, S.P.; Jain, K.; Mandla, V.R. Virtual 3D city modeling: techniques and applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **2013**, *XL-2/W2*, 73–91.

5. Hải, D.V. và cs. Nghiên cứu, ứng dụng các công nghệ thu thập dữ liệu không gian địa lý phục vụ xây dựng cơ sở dữ liệu đa mục tiêu. Báo cáo tổng hợp đề tài NCKH cấp Bộ, 2017.
6. Long, V.P. và cs. Bay chụp ảnh bằng máy bay không người lái (UAV) thành lập bản đồ không gian 3 chiều (3D). *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2017**, 31, 23–28.
7. Yoo, C.I.; Oh, Y.S.; Choi, Y.J. Coastal Mapping of Jinu–Do with UAV for Busan Smart City, Korea. *Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **2018**, XLII–4, 725–729.
8. Çağdaş, V. An Application domain extension to CityGML for immovable property taxation: A Turkish case study. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2013**, 21, 545–555.
9. Chaturvedi, K.; Matheus, A.; Nguyen, S.H.; Kolbe, T.H. Securing spatial data infrastructures for distributed smart city applications and services. *Future Gener. Comput. Syst.* **2019**, 101, 723–736.
10. Chen, Y.; Hong, T.; Luo, X.; Hooper, B. Development of city buildings dataset for urban building energy modeling. *Energy Build* **2019**, 183, 252–265.
11. Gui, D.Z.; Lin, Z.J.; Zhang, C.C.; Zhi, X.D. Automated texture mapping of 3D city models with images of wide–angle and light small combined digital camera system for UAV. *Proc. SPIE 7498, MIPPR 2009: Remote Sensing and GIS Data Processing and Other Applications*, 2009, 74982A.
12. Egusquiza, A.; Prieto, I.; LuisIzkara, J.; Béjar, R. Multi–scale urban data models for early–stage suitability assessment of energy conservation measures in historic urban areas. *Energy Build* **2018**, 164, 87–98.
13. Eicker, U.; Zirak, M.; Bartke, N.; Rodríguez, L.R.; Coors, V. New 3D model based urban energy simulation for climate protection concept. *Energy Build* **2018**, 163, 79–91.
14. Eisenbeiss, H. UAV photogrammetry in plant sciences and geology. 6th ARIDA Workshop on Innovations in 3D measurement, modeling and visualization, Povo (Trento), Italy, 2008.
15. Roschlaub, R. An INSPIRE–conform 3D model building model of Bavaria using cadastre information, LiDAR and image matching. *ISPRS–Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf.* **2016**, 747–754.
16. Gózdź, K.; Pachelski, W.; Oosterom, P.O.; Coors, V. The possibilities of using CityGML for 3D representation of buildings in the cadastre. *Proceedings of the 4th International Workshop on 3D Cadastres*, 2014, pp. 339–362.
17. Gröger, G.; Plümer, L. CityGML–Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sen.* **2012**, 71, 12–33.
18. Li, J.; Yao, Y.; Duan, P. Studies on Three–Dimensional (3D) Modeling of UAV Oblique Imagery with the Aid of Loop–Shooting. *ISPRS Int. J. Geo–Inf.* **2018**, 7(9), 356.
19. Jusuf, S.K. Integrated modeling of CityGML and IFC for city/neighborhood development for urban microclimates analysis. *Energy Procedia* **2017**, 122, 145–150.
20. Li, L. et al. 3D spatial data model of the solar rights associated with individual residential properties. *Comput. Environ. Urban Syst.* **2019**, 74, 88–99.
21. Hà, L.T.T.; Trung, N.V. Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian địa lý 3D phục vụ cho thành phố thông minh ven biển trong bối cảnh CMCN 4.0. Hội nghị Khoa học Trái đất, Mỏ và Môi trường (EME), 2021.
22. Eugster, H.; Nebiker, S. Real–time georegistration of video streams from mini or micro uas using digital 3d city models. 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology, Presidente Prudente, São Paulo, Brazil, 2009.
23. Yalcin, G.; Selcuk, O. 3D City Modelling with Oblique Photogrammetry Method. *Procedia Technology* **2015**, 19, 424–431.

24. Over, M.; Schilling, A.; Neubauer, S.; Zipf, A. Generating web-based 3D City Models from OpenStreetMap: The current situation in Germany. *Comput. Environ. Urban Syst* **2010**, 34(6), 496–507.
25. Hannes, P.; Martin, S.; Henri, E. 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* **2008**, 37, 93–98.
26. Tú, C.X. và cs. Nghiên cứu, xây dựng quy trình thành lập cơ sở dữ liệu không gian địa lý và bản đồ ba chiều tỷ lệ lớn. Báo cáo tổng hợp đề tài NCKH cấp Bộ, 2017.
27. Anh, L.T. và cs. Ứng dụng công nghệ tích hợp Lidar và chụp ảnh hàng không – CityMapper tại Tổng Công ty Tài Nguyên và Môi Trường Việt Nam. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học Công nghệ toàn quốc ngành Đo đạc và Bản đồ, 2018.
28. Anh, L.T. và cs. Ứng dụng công nghệ tích hợp Lidar và chụp ảnh hàng không (City Mapper – Leica) trong thu nhận, xử lý và thành lập dữ liệu không gian địa lý. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học, Công nghệ toàn quốc ngành Đo đạc và Bản đồ, 2018, tr. 372–379.
29. Hiền, L.Đ. Ứng dụng hệ thống Lidar tích hợp chụp ảnh hàng không CityMapper (Leica) của tổng công ty tài nguyên môi trường Việt Nam trong thành lập mô hình 3D. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Phát triển công nghệ Đo đạc và Bản đồ trong thu nhận dữ liệu địa không gian, 2019, tr. 163–173.
30. Hiền, L.Đ. và cs. Tích hợp công nghệ UAV và quét laser mặt đất (TLS) trong thu thập dữ liệu địa không gian để thành lập mô hình 3D. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Phát triển công nghệ Đo đạc và Bản đồ trong thu nhận dữ liệu địa không gian, 2019, tr. 117–127.
31. Sỹ, M.V. Nghiên cứu xây dựng mô hình thành phố ảo phục vụ công tác quy hoạch đô thị. Báo cáo tổng hợp luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2019.
32. Hiền, L.Đ. Nghiên cứu xây dựng các thuật toán tự động phân loại dữ liệu đám mây điểm hỗ trợ xây dựng mô hình thành phố thông minh. Báo cáo tổng hợp luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2022.
33. Hiền, L.P. Ứng dụng một số thư viện mã nguồn mở biểu diễn trực quan mô hình 3D thành phố trên nền Web. Báo cáo tổng hợp đề tài cấp cơ sở Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2018.
34. Hà, L.T.T. và cs. 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. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ–Địa chất* **2022**, 63(4), 53–62.

Combination of UAV image and terrestrial photogrammetry to build 3D geospatial data for smart cities

Le Thi Thu Ha^{1,2}, Nguyen Quoc Long^{1*}

¹ Hanoi university of Mining and Geology; lethithuha@humg.edu.vn; nguyenuoclong@humg.edu.vn

² Geomatics in Earth Sciences Research Group, Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Duc Thang Ward, Hanoi 100000, Vietnam; lethithuha@humg.edu.vn; nguyenuoclong@humg.edu.vn

Abstract: The database infrastructure of the smart city includes a 3D geospatial data system that serves as a platform for various applications, such as designing, building, and proposing emergency response plans in. Currently, ground imaging technology and unmanned aerial vehicle (UAV) imaging technology are the data collection methods often employed in

building the 3D geospatial data, ensuring reliability and low cost. Although international standards regulated the process, additional research is necessary to combine data types that suit the specifics of each region, given the variations in the reliability and level of detail of data types. This study focuses on proposing a process for building 3D geospatial data for a smart city using geospatial data collected by UAV and terrestrial photogrammetry. The experimental results have produced 3D geospatial data of adjacent villas in LoD3, with the root mean square error of the received test points $m\Delta x = 1.4$ cm, $m\Delta y = 1.6$ cm, and $m\Delta z = 1.7$ cm.

Keywords: 3D geospatial data; UAV; Terrestrial photogrammetry; Smart city.