

# NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ĐỊA KHÔNG GIAN TRONG XÂY DỰNG DỮ LIỆU ĐỊA LÝ 3D CHO THÀNH PHỐ THÔNG MINH

Nguyễn Văn Trung<sup>1</sup>, Phạm Thị Làn<sup>1</sup>, Tống Sĩ Sơn<sup>2</sup>  
Lê Thị Thu Hà<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Nam<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>2</sup>Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội

<sup>3</sup>Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

## Tóm tắt

*Nhu cầu xây dựng thành phố thông minh trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội ở nước ta là chủ trương của Đảng và Nhà nước. Trong các thành tố xây dựng nên thành phố thông minh, một hệ thống dữ liệu không gian địa lý 3D là nền tảng cho các ứng dụng như thiết kế, xây dựng, đề xuất phương án ứng phó trong các trường hợp khẩn cấp. Bài báo này đề xuất quy trình xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D sử dụng công nghệ địa không gian bao gồm các công nghệ quét LiDAR mặt đất, công nghệ chụp ảnh mặt đất và công nghệ chụp ảnh bằng máy bay không người lái (UAV). Phần thực nghiệm đã được trình bày bao gồm các công việc thu thập, xử lý và xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D ở mức độ chi tiết 2 và 3 (LoD2 và LoD3) theo tiêu chuẩn CityGML cho khu vực rộng 1 km<sup>2</sup> ở thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh. Kết quả đánh giá độ chính xác sản phẩm nhận được đảm bảo các yêu cầu đối với dữ liệu không gian địa lý 3D tương ứng với LoD2 và LoD3. Kết quả của nghiên cứu này góp phần khẳng định tiềm năng của ứng dụng công nghệ địa không gian trong việc xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D trong phục vụ phát triển các thành phố thông minh ở nước ta trong tương lai gần.*

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

## Abstract

### *Study on the application of geospatial technology to build 3D geographic data for smart cities*

*Building smart cities for socio-economic development is one of priority policies promoted by the Vietnamese Government. A 3D geospatial data system is the foundation factor for designs, construction and building emergency response proposals in a smart city. This paper proposes the process of building 3D geospatial data using geospatial technology, including ground-based LiDAR, Close-Range Photogrammetry and UAV Photogrammetry technologies. The presented experimental part includes the collection, process and construction of 3D geospatial data at LoD2 and LoD3 according to CityGML format for an area of 1 km<sup>2</sup> in Ha Long city, Quang Ninh province. Accuracy assessment results meet the requirements for 3D geospatial data corresponding to LoD2 and LoD3. Findings of this study showed the potential of geospatial technology application in building 3D geospatial data for the development of smart cities in our country in the near future.*

**Keywords:** 3D geospatial data; UAV; LiDAR; Close-range photogrammetry; Smart city.

## 1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh các thành phố lớn đang hướng tới xây dựng thành phố thông minh, dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố ngày càng trở nên quan trọng cho hệ thống thông tin tích hợp của thành phố [1]. Việc khai thác sản phẩm dữ liệu không gian địa lý 3D thành phố thông minh cho các mục đích quản lý, giám sát các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội và bảo vệ môi trường của thành phố có ý nghĩa cấp thiết. Việc xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D cần chú ý các đặc điểm riêng của từng thành phố cụ thể. Bởi vậy, hệ thống thông tin quan trọng bậc nhất cho một thành phố ven biển thông minh là dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố [2].

Các công nghệ tiên tiến như công nghệ LiDAR, UAV, hệ thống bản đồ di động (MMS), cùng các công cụ xử lý dữ liệu lớn và dữ liệu không gian địa lý thông tin tòa nhà (BIM) đã được tích hợp để phát triển các dữ liệu không gian địa lý 3D mới đảm bảo sự thân thiện, thuận tiện khi làm việc với đặc trưng của dữ liệu 3D [3]. Công nghệ LiDAR có thể được sử dụng để bổ sung độ cao cho các cấu trúc 2D của thành phố từ các nguồn dữ liệu khác nhau để xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D. Tuy nhiên công nghệ này còn hạn chế về phân tích không gian do thực hiện trên hai nguồn dữ liệu độc lập là mô hình số bề mặt (DTM) và mô hình tòa nhà số (DBM). Bên cạnh đó, công nghệ chụp ảnh từ máy bay không người lái có thể thực hiện các tác vụ cung cấp dữ liệu địa hình cũng như cấu trúc bề mặt, hình ảnh của các công trình [3]. Xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D bằng việc sử dụng dữ liệu LiDAR nhằm đưa ra

các giải pháp về xây dựng dữ liệu không gian địa lý ngập lụt ở thành phố Honduras [4]. Dữ liệu UAV cũng được sử dụng để thành lập bản đồ 3D ven biển cho thành phố thông minh Pusan, Hàn Quốc thích ứng với biến đổi khí hậu [2]. Bên cạnh đó, Papakonstantinou [5] 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 Lesbos 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 địa lý 3D cho thành phố thông minh. Tuy nhiên, ở nước ta mới chỉ bắt đầu thực hiện đối với một số khu vực được tổng quan dưới đây.

Tổng Công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam đã nghiên cứu, xây dựng quy trình thành lập cơ sở dữ liệu (CSDL) không gian địa lý và bản đồ 3D 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 [6]. Để xây dựng CSDL cho nhiều mục đích, nghiên cứu ứng dụng các công nghệ thu thập dữ liệu không gian địa lý phục vụ xây dựng CSDL đa mục tiêu được thực hiện với nhiều nguồn dữ liệu từ công nghệ mới (LiDAR, ảnh số, UAV, viễn thám,...) bao gồm đám mây điểm (Poincloud), ảnh trực giao (Ortho photo), mô hình số bề mặt (DEM), mô hình số mặt đất (DTM), ảnh cường độ (Intensity) đảm bảo sự vượt trội về độ chính xác của dữ liệu không gian về không gian mà còn thời gian (tính thời sự của dữ liệu) [7].

Như vậy, các nghiên cứu trước đây và xu thế tương lai cho thấy, việc nghiên cứu khai thác công nghệ máy bay không người

## **Nghiên cứu**

lái tại Việt Nam mới dừng lại ở những nghiên cứu nhỏ lẻ, phục vụ chủ yếu cho thành lập bản đồ tỷ lệ lớn hoặc hơn nữa là mô hình số bề mặt. Các nghiên cứu này đã chứng minh tính chính xác tiện lợi, linh hoạt, chi phí thấp và hiệu quả của công nghệ UAV. Tuy nhiên các nghiên cứu liên quan đến xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D của thành phố vẫn còn rất hạn chế ở mức độ chi tiết cao (LoD3 và LoD4) do quy trình kỹ thuật cụ thể chi tiết của việc sử dụng dữ liệu chụp ảnh từ UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR chưa được đề xuất. Việc xây dựng hạ tầng CSDL không gian địa lý phục vụ cho thành phố thông minh thường chú trọng vào dữ liệu không gian địa lý 3D có mức độ chi tiết cao để phục vụ quy hoạch, thiết kế ở tỷ lệ lớn nhằm hỗ trợ cho phát triển kinh tế - xã hội và thích ứng với biến đổi khí hậu là một công việc quan trọng trong chiến lược phát triển chung đối với thành phố thông minh ở Việt Nam.

## **2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu**

### ***2.1. Dữ liệu sử dụng***

#### ***2.1.1. Dữ 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 gian địa lý 3D ở LoD2 hoặc LoD3.

#### ***2.1.2. Dữ 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.

#### ***2.1.3. Dữ liệu quét LiDAR mặt đất***

Phương pháp đo ảnh có ưu điểm cung cấp được dữ liệu không gian địa lý 3D với ảnh chụp bề mặt trực quan như quan sát bằng mắt thường, nhưng độ chính xác vị trí không gian phụ thuộc vào nhiều nguồn sai số của quá trình chụp ảnh và đo ảnh. Bởi vậy phương pháp sử dụng LiDAR với độ chính xác cao được sử dụng nhằm đánh giá phương pháp đo ảnh bằng UAV và đo ảnh mặt đất đạt được độ chính xác mức nào. Phương pháp này có giá thành cao hơn do phải chi phí đầu tư thiết bị công nghệ. Việc kết hợp các công nghệ là giải pháp nhằm tối ưu hóa độ chính xác và giá thành sản phẩm để có thể phục vụ phổ biến với phạm vi ứng dụng rộng lớn ở nước ta.

## **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

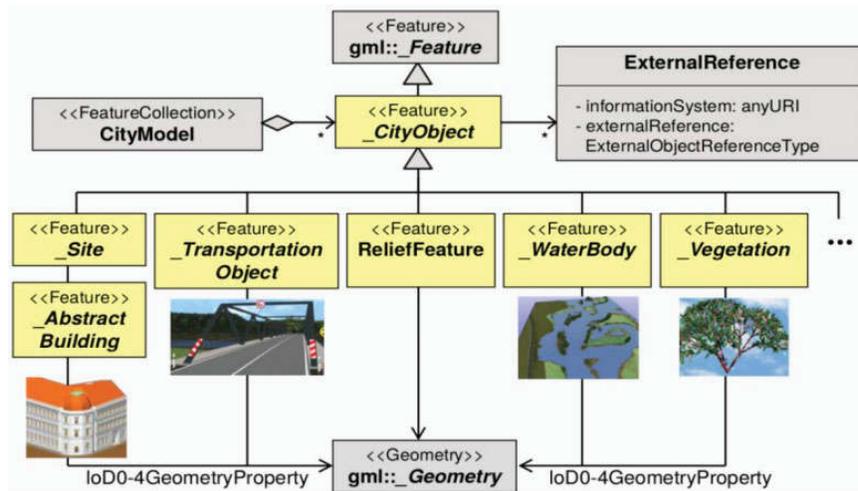
gian đô thị 3D. CityGML được xây dựng trên nền tảng của GML 3.1.1 bởi nhóm Special Interest Group 3D (SIG 3D) nằm trong chương trình Geodata Infrastructure North-Rhine Westphalia, Đức. CityGML trình bày cả 4 khía cạnh của mô hình thành phố bao gồm: chuyên đề và ngữ nghĩa, đối tượng hình học, quan hệ 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. Mở rộng ngôn ngữ CityGML

CityGML có cơ chế cho phép xây dựng các đối tượng mở rộng ngoài các đối tượng không gian đã được định nghĩa sẵn. Cơ chế này được gọi là khả năng mở rộng định nghĩa các đối tượng ứng dụng - Application Domain Extensibility

(ADE). Các định nghĩa này cho phép tạo ra các đối tượng không gian riêng biệt và đặc thù ứng dụng trong một số trường hợp cụ thể. Chẳng hạn đơn vị quản lý môi trường đô thị muốn định nghĩa thêm các đối tượng là các họng nước tưới cây vào trong một mô hình 3D đã được định nghĩa từ trước. Đối tượng mới định nghĩa này có thể được xây dựng từ lớp đối tượng hạ tầng đô thị và kế thừa các thuộc tính sẵn có của đối tượng này.

Các định nghĩa về đối tượng mới này có thể được thêm vào phần định nghĩa tên miền XML riêng so với các đối tượng đã có trong CityGML. Ngoài việc định nghĩa thêm các đối tượng thì người sử dụng cũng có thể định nghĩa thêm các thuộc tính của mỗi đối tượng có sẵn. Chẳng hạn để phục vụ mục đích quản lý đô thị thì có thể thêm các thuộc tính cho đối tượng nhà như năm xây dựng, loại nhà,...



Hình 1: Mở rộng ngôn ngữ CityGML

2.2.3. Quy trình thực nghiệm

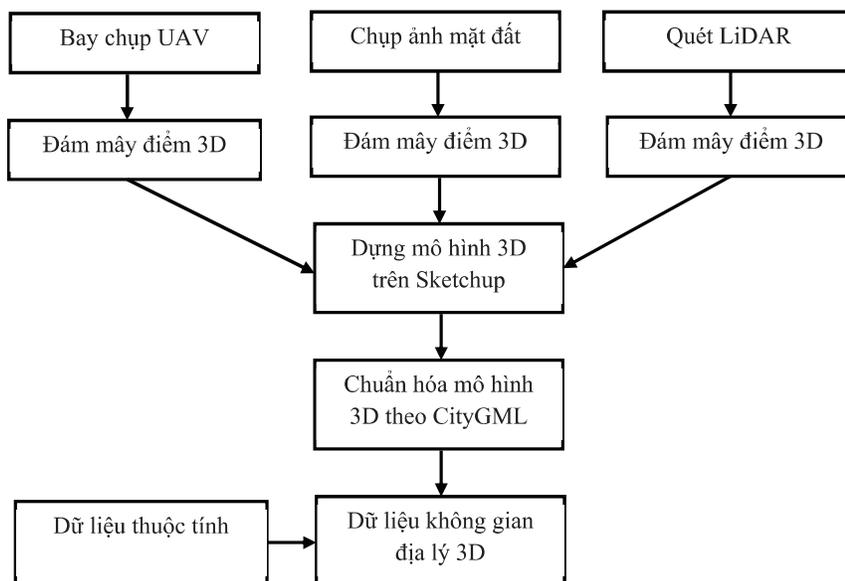
Nếu mô hình 3D ban đầu không ở định dạng CityGML thì cần chuyển định dạng sang chuẩn CityGML để có thể nhập vào công cụ 3DCityDB Importer-Exporter Tool. Cách đơn giản nhất để xây

dựng mô hình 3D theo chuẩn CityGML là ghi lại thông tin dữ liệu 3D theo cấu trúc dữ liệu CityGML bằng các công cụ soạn thảo văn bản. Tuy nhiên cách này chỉ có thể thực hiện được với các mô hình 3D có mức độ chi tiết thấp (LoD0, LoD1). Đối

## Nghiên cứu

với mô hình 3D có độ chi tiết cao hơn (từ LoD2) trở lên, các yếu tố hình học của mô hình thường rất phức tạp, ngoài ra phải gắn thêm các ảnh texture cho mô hình, do đó để chuyển mô hình 3D sang định dạng CityGML cần sử dụng các công cụ

chuyên đổi ví dụ như Safe Software-FME (<https://www.safe.com/>), công cụ chuyển đổi CityEditor tích hợp trên Sketchup (<https://www.3dis.de/cityeditor/>). Quy trình thực nghiệm được mô tả trong Hình vẽ dưới đây:



**Hình 2: Quy trình thực nghiệm**

**2.2.3.1. Dựng mô hình 3D từ dữ liệu ảnh UAV bằng phần mềm Google Sketchup (GG - SU)**

Đám mây điểm thu được sau khi xử lý ảnh UAV, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR mặt đất bao gồm quá trình lọc các điểm đám mây của các đối tượng cần đo vẽ (loại bỏ các điểm đám mây nhiễu không phải của đối tượng) và được nhập vào phần mềm GG - SU, sau đó sử dụng các công cụ đồ họa để vector hóa đường biên và các chi tiết mái của các tòa nhà trong khuôn viên. Tiếp theo, công cụ Push/Pull được sử dụng để dựng đường biên thành mô hình 3D dựa vào chiều cao các chi tiết của tòa nhà trích xuất từ Đám mây điểm. Để tạo mô hình 3D ở LoD2, LoD3 texture của mái được gắn từ ảnh trực giao, đối với các bề mặt nhìn thấy còn lại thì texture được gắn từ các ảnh

chụp UAV và chụp ảnh mặt đất ở góc chụp 45 độ và 90 độ. Việc gắn texture này được thực hiện thông qua công cụ Match Photo có sẵn trên GG-SU.

**2.2.3.2. Chuyển mô hình 3D sang định dạng CityGML bằng Safe Software FME**

Mô hình 3D thử nghiệm trong nghiên cứu này được xây dựng ở LoD2, LoD3 các yếu tố hình học của mô hình rất phức tạp, ngoài ra phải gắn thêm các ảnh texture cho mô hình, do đó để chuyển mô hình 3D sang định dạng CityGML được thực hiện bằng phần mềm Safe Software - FME (<https://www.safe.com/>). Safe Software FME là công cụ mạnh mẽ trong chuyển đổi dữ liệu không gian giữa nhiều định dạng khác nhau mà không cần phải viết mã lập trình. Việc chuyển đổi được

thực hiện theo quy trình được xây dựng từ các hàm được lập sẵn trên phần mềm.

*2.2.3.3. Nhập thuộc tính cho mô hình 3D CityGML để hoàn thiện dữ liệu không gian địa lý 3D*

Để hoàn thiện dữ liệu không gian địa lý 3D, mô hình 3D theo chuẩn CityGML được nhập vào CSDL PostGIS bằng công cụ 3D CityDB - Importer Exporter. Tiếp theo công cụ này cũng được sử dụng để chuyển dữ liệu từ CSDL sang định dạng JSON. Dữ liệu thuộc tính bao gồm: 1. Tên tòa nhà; 2. Chức năng; 3. Địa chỉ; 4. Năm xây dựng; 5. Số tầng, cũng được xuất ra tệp Excel bằng công cụ này và nhập vào để liên kết với dữ liệu không gian của mô hình 3D tạo ra dữ liệu không gian địa lý 3D.

### **3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận**

#### **3.1. Khu vực thực nghiệm**

Khu thực nghiệm rộng khoảng 1 km<sup>2</sup> trong Hình 3 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 3: Khu vực thực nghiệm*

#### **3.2. Mô hình đám mây điểm**

Hình 4 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, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR mặt đất trong khu vực 1 (màu

xanh) trên Hình 3. Trong khi đó, Hình 5 biểu diễn đám mây điểm 3D của toàn nhà cao 26 tầng (Khách sạn Phát Linh tọa lạc tại địa chỉ: Lô 1 Đại lộ Hạ Long Marine, phường Bãi Cháy, thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh) trong khu vực 2 (màu đỏ) trên Hình 3.



*Hình 4: Kết quả đám mây điểm của một dãy biệt thự liền kề*



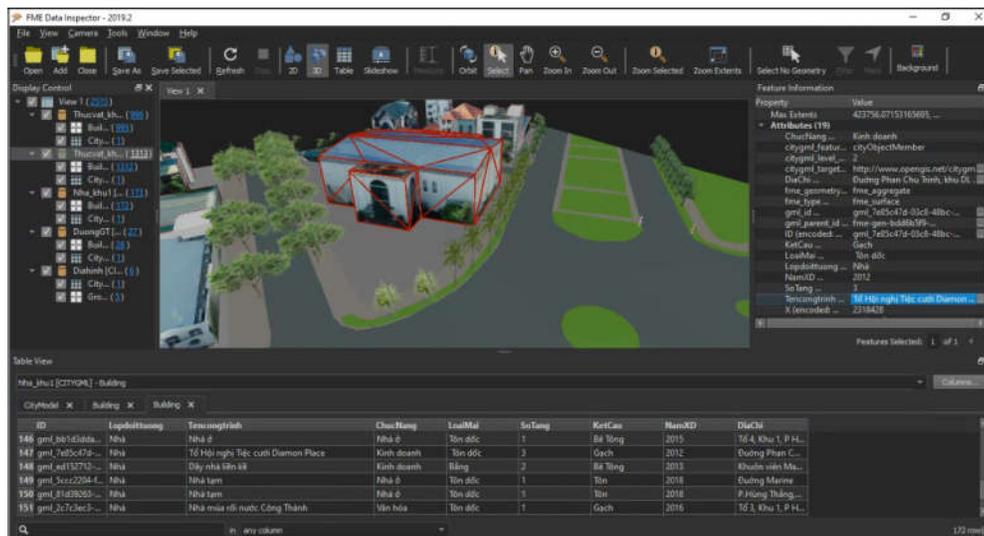
*Hình 5: Kết quả đám mây điểm của một nhà cao 26 tầng*

*Bảng 1. Dữ liệu thuộc tính cho các đối tượng không gian nhà ở*

ID	TenCongtrinh	LoaiMai	ChucNang	SoTang
gml_a869b60b-3fa6-4992-8e8b-92dbc989ae7c	Biet thu	Be tong cot thép dọc	Nha o	5
gml_3fb6f3b5-6ac3-450d-9331-d4bf52b34548	Nha cap 4	Mai ton	Kinh doanh	1

ID	TenCongtrinh	LoaiMai	ChucNang	SoTang
gml_fced5fe7-f82e-4123-a646-cf4b042c142a	Biet thu	Be tong cot thep doc	Nha o	0
gml_425eec2d-bbd5-47c7-b792-5703b2ede52e	Biet thu	Be tong cot thep doc	Nha o	4
gml_a10fd9ec-8a13-4142-8553-d7da3a5d18c6	Biet thu	Be tong cot thep doc	Nha o	4
gml_1b91da89-cbd1-45ec-b89a-df931853316e	Nha cap 4	Mai ton	Nha Hang	1
gml_83b81585-5eb4-4ebf-930a-b17e89d4fa20	Nha cap 4	Mai ton	Nha Hang	1
gml_14eb9a0a-03f8-4c4e-9d0d-7c9b07ee16cc	Khach san	Be tong cot thep	Nha o	6
gml_9b00ba08-8182-4009-9076-ddba6d42bdc8	Biet thu	Be tong cot thep doc	Nha o	4
gml_a3d46f98-fc4d-43fb-9816-324b5236329a	Biet thu	Be tong cot thep doc	Nha o	4

Sau khi đã xây dựng được mô hình dữ liệu không gian theo định dạng CityGML. Các thuộc tính được nhập vào để liên kết với dữ liệu không gian như Hình 6. Trong kết quả này chỉ với tên các trụ sở của các tổ chức, đoàn thể được nhập vào.



**Hình 6: Dữ liệu không gian địa lý 3D cho đối tượng nhà ở**

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

**3.4.1. Đánh giá độ chính xác vị trí không gian sử dụng số liệu đo bằng toàn đạc điện tử**

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 7) 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 nhân được  $m_{\Delta x} = 1,4 \text{ cm}$ ;  $m_{\Delta y} = 1,6 \text{ cm}$ ;  $m_{\Delta z} = 1,7 \text{ cm}$ . Với độ chính xác các điểm kiểm tra như trong Bảng 2, 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.

Perspective 30°



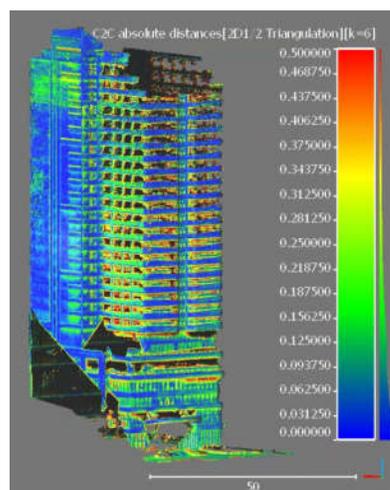
**Hình 7: Các điểm kiểm tra độ chính xác của mô hình 3D**

**Bảng 2. 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)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (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

**3.4.2. Đánh giá độ chính xác vị trí không gian sử dụng số liệu quét LiDAR mặt đất**

Dựa vào mô hình của đám mây điểm xây dựng từ dữ liệu quét LiDAR mặt đất để so sánh với toàn bộ các điểm trên mô hình đám mây điểm xây dựng bằng phương pháp chụp ảnh mặt đất và chụp ảnh từ UAV cho kết quả sai số tổng hợp không quá 0,5 m đối với nhà cao tầng (Hình 8).



**Hình 8: Phân bố của các điểm UAV nhà cao tầng có khoảng cách so với đám mây điểm xây dựng từ quét LiDAR mặt đất (đơn vị m)**

Qua kết quả đánh giá độ chính xác của các đám mây điểm xây dựng từ các phương pháp chụp ảnh lập thể từ mặt đất và chụp ảnh lập thể từ UAV, dữ liệu đám mây điểm đảm bảo cho việc xây dựng dữ liệu không gian địa lý 3D ở mức độ chi tiết 3 (LoD3).

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã đề xuất quy 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, chụp ảnh mặt đất và quét LiDAR mặt đất phù hợp với điều kiện ở khu vực thực nghiệm. Bên cạnh đó, các dữ liệu thuộc tính về các đối tượng không gian cũng được thu thập và nhập vào để minh họa đầy đủ các bước của quy trình.

Các kết quả thực nghiệm về mô hình 3D đám mây điểm, dữ liệu thuộc tính và dữ liệu không gian địa lý được đưa ra thể hiện tính khả thi của quy 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.

**Lời cảm ơn:** Bài báo được hỗ trợ dữ liệu và kinh phí từ 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.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Anilkumar, P. P (2014). *Geographic information system for smart cities*. India, Copal Publishing Group.
  - [2]. Yoo, C. I., Oh, Y. S., and Choi, Y. J. (2018). *Costal mapping of Jinu-do with UAV for Busan smart city, Korea*. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-4, 725 - 729, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-725-2018>.
  - [3]. Valencia, J., A. Muñoz-Nieto and P. Rodríguez-Gonzálvez (2015). *Virtual modeling for cities of the future. State of the art and virtual modeling for cities of the future. State of the Art An*. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote sensing and spatial information sciences XL-5/W4: 179 - 185.
  - [4]. Haile, A.; Rientjes, T. (2005). *Effects of LiDAR DEM resolution in flood modelling: a model sensitivity study for the city of Tegucigalpa, Honduras*. In Proceedings of the IsprsWg Iii/3, Iii/4, Vienna, Austria, 29 - 30 August 2005; pp. 168 - 173.
  - [5]. Papakonstantinou, A.; Topouzelis, K.; Pavlogeorgatos, G. (2016). *Coastline zones identification and 3D coastal mapping using UAV spatial data*. ISPRS Int. J. Geo-Inf.5, 75. OGC (2012). OpenGIS® city geography markup language (CityGML) encoding standard, version 2.0. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.
  - [6]. Cáp Xuân Tú, Võ Thị Kim Giao, Đỗ Trọng Hiếu (2017). *Nghiên cứu, xây dựng quy trình thành lập cơ sở dữ liệu không gian địa lý và bản đồ 3D tỷ lệ lớn*. Tổng Công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam. 14 trang.
  - [7]. Dương Văn Hải, Bùi Huy Hoàng, Cáp Xuân Tú, Trần Đức Thuận (2017). *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*. Tổng Công ty Tài nguyên và Môi trường Việt Nam. 15 trang.
- BBT nhận bài: 24/2/2022; Phản biện xong: 07/3/2022; Chấp nhận đăng: 28/3/2022