

## ỨNG DỤNG GIS VÀ MÔ HÌNH 3D TRONG SỐ HÓA KIẾN TRÚC THÀNH CỔ QUẢNG TRỊ HƯỚNG TỚI BẢO TỒN VÀ PHÁT HUY GIÁ TRỊ DI SẢN

Võ Ngọc Đức<sup>1\*</sup>, Nguyễn Vũ Thảo Linh<sup>2</sup>, Lê Ngọc Vân Anh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kiến trúc, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

<sup>2</sup> Trường THPT Chuyên Khoa học Huế

\* Email: vngocduc@hueuni.edu.vn

*Ngày nhận bài: 13/5/2026; ngày hoàn thành phản biện: 7/6/2026; ngày duyệt đăng: 30/6/2026*

### TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ứng dụng công nghệ số trong bảo tồn Thành cổ Quảng Trị – di tích Quốc gia đặc biệt năm 2013. Nghiên cứu số hóa hệ thống thành hình vuông mỗi cạnh dài khoảng 480 m, gồm các tường thành, cổng, pháo đài, Đài tưởng niệm trung tâm, Bảo tàng, Nhà lao chứng tích. Phương pháp photogrammetry và máy bay không người lái được sử dụng để thu thập hơn 650 ảnh, ghép ảnh chỉnh hình, tạo mô hình 3D, sau đó tích hợp vào GIS. Kết quả cho thấy mô hình 3D có độ phân giải cao, tái hiện chi tiết kiến trúc và cảnh quan, hỗ trợ đánh giá hiện trạng và lập bản đồ di sản. Dữ liệu GIS liên kết thông tin không gian với dữ liệu lịch sử, phục vụ quản lý, bảo tồn và quảng bá du lịch qua WebGIS. Nghiên cứu còn cho thấy hiệu quả của phương pháp photogrammetry so với khảo sát truyền thống về thời gian và chi phí, đồng thời góp phần định hướng bảo tồn di sản bền vững.

**Từ khóa:** Thành cổ Quảng Trị; Photogrammetry; Mô hình 3D; GIS; Bảo tồn.

### 1. MỞ ĐẦU

Lịch sử xây dựng thành Quảng Trị từ thời Gia Long đến Minh Mạng trải qua ba giai đoạn. Giai đoạn thứ nhất (1809–1832) gồm việc di dời lỵ sở, quy hoạch và xây dựng ban đầu; thành khi đó được đắp bằng đất, có dạng hình chữ nhật. Giai đoạn thứ hai (1833–1837) tập trung vào việc củng cố, nâng cấp và mở rộng quy mô dinh lũy. Trên cơ sở “nhân cũ sửa lại” Minh Mạng đã cho tiến hành mở rộng mặt trước thêm 33 trượng và hai mặt tả hữu thêm 16 trượng 5 thước còn mặt sau để nguyên như cũ (Quốc sử quán triều Nguyễn, 1962) làm cho tòa thành có hình vuông. Cũng trong năm 1833, chuẩn y lời tâu của quan Tuần phủ Quảng Trị, Minh Mệnh cho khai đào một đường hào dài 48

trượng nổi từ góc Đông bắc của thành thông với sông Thạch Hãn để thoát nước từ hệ thống hào thành (Nội các triều Nguyễn, 1993). Giai đoạn thứ ba là thời kỳ hoàn thiện và kiên cố hóa thành lũy. Trên cơ sở cấu trúc thành đất đã được định hình, năm 1837 dưới triều Minh Mạng, thành Quảng Trị được chủ trương xây dựng lại bằng gạch theo phong cách Vauban. Khối lượng công việc thực hiện trong đợt xây dựng này về cơ bản đã tạo nên diện mạo kiến trúc hoàn chỉnh của thành trước khi bị tàn phá bởi chiến tranh năm 1972. Theo đó, thành được xây bằng gạch với mặt bằng hình vuông, bốn góc có bốn pháo đài, mở bốn cửa ra vào ở bốn phía. Bao quanh thành là hệ thống hào nước, phía trước mỗi cổng đều có cầu bắc qua, tạo nên một tổng thể kiến trúc quân sự chặt chẽ và kiên cố.

Tương tự như nhiều di sản khác trên thế giới và trong nước, Thành cổ Quảng Trị đang phải đối mặt với nhiều mối đe dọa. Sự suy thoái môi trường, sự tàn phá của bom đạn chiến tranh và thiếu bảo trì thường xuyên đã dẫn đến sự thay đổi, xuống cấp về mặt vật chất và mất đi tính nguyên bản ở một số khu vực của di tích. Hơn nữa, biến đổi khí hậu và các hiện tượng thời tiết cực đoan, bao gồm bão và lũ lụt, đang đặt ra những rủi ro ngày càng tăng đối với việc bảo tồn lâu dài của Thành Quảng Trị. Trong bối cảnh này, số hóa di sản kiến trúc hiện nay đóng vai trò là một công cụ cơ bản. Số hóa không chỉ tạo ra các bản ghi chính xác và có thể cập nhật về điều kiện hiện tại của địa điểm mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc lập kế hoạch bảo tồn, đánh giá rủi ro, giáo dục cộng đồng và du lịch bền vững. Đặc biệt, phương pháp photogrammetry đã nổi lên như một phương pháp thực tiễn và có hiệu quả để tạo ra các mô hình 3D độ phân giải cao và các bản ghi không gian của các di sản phức tạp.

Nghiên cứu này tập trung vào việc số hóa tổng thể và các thành phần tiêu biểu, sử dụng phương pháp photogrammetry từ trên không và trên mặt đất. Mục tiêu là tạo ra một mô hình 3D có độ phân giải cao, được định vị địa lý và các lớp GIS liên quan có thể phục vụ nhiều mục đích, từ phân tích bảo tồn kỹ thuật đến trải nghiệm di sản thực tế ảo. Bài báo này đề cập những thách thức của việc tiến hành các cuộc khảo sát như vậy trong điều kiện diện tích lớn, nêu bật tiềm năng của các công cụ di sản kỹ thuật số ở Việt Nam và đề xuất các chiến lược để tích hợp các phương pháp này vào các khuôn khổ bảo tồn rộng hơn.

## **2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **2.1. Nghiên cứu tài liệu thứ cấp**

Trong hai thập kỷ qua, việc sử dụng công nghệ kỹ thuật số để ghi chép và bảo tồn di sản văn hóa đã mở rộng đáng kể. Phương pháp photogrammetry, quét laser, Mô hình thông tin công trình (BIM), và Hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã thay đổi cách các

nhà nghiên cứu, nhà bảo tồn và nhà quy hoạch đô thị tương tác với môi trường lịch sử (Remondino & Campana, 2014).

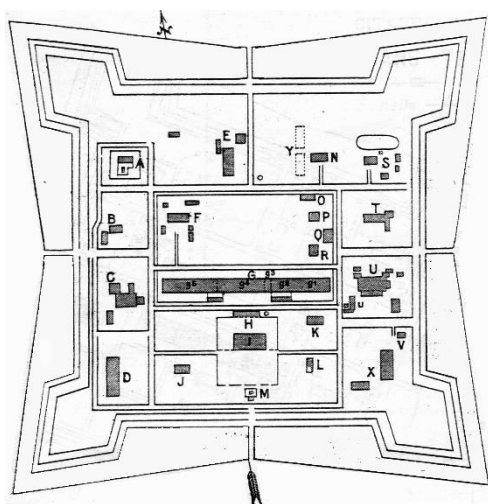
Tại Đông Nam Á, nhiều nghiên cứu đã nhấn mạnh tầm quan trọng của các công cụ kỹ thuật số trong bảo tồn di sản. Ví dụ, quần thể Angkor Wat ở Campuchia đã được lập bản đồ rộng rãi bằng LiDAR và photogrammetry để phát hiện các cấu trúc ẩn dưới thảm thực vật dày đặc (Evans et al., 2013). Tương tự, ở Thái Lan, mô hình 3D di sản văn hóa bằng hình ảnh UAV đã hỗ trợ công tác bảo tồn tại Wat Maha That bằng cách cung cấp các cơ sở chính xác để đánh giá sự xuống cấp (Manajitprasert, Tripathi, & Arunlpad, 2019).

Việt Nam cũng đã có những tiến bộ trong lĩnh vực này, mặc dù các nỗ lực số hóa vẫn còn rời rạc. Các nghiên cứu “Ứng dụng công nghệ GIS xây dựng hệ thống thông tin di tích lịch sử văn hóa và danh lam thắng cảnh tỉnh Quảng Trị” (Phan Thị Hoa Lợi, Phan Tuấn Anh, 2017) và “Xây dựng hệ thống thông tin về di tích Thành cổ Quảng Trị dựa trên nền GIS và công nghệ 3D” (Phan Thị Hoa Lợi & Lê Mạnh Thạnh, 2018) nhằm mục đích xây dựng bản đồ 3D-GIS hiện tại và từ đó quản lý không gian đô thị trong một phường của Thành cổ - một di sản gắn với hồi ức chiến tranh, các nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng hệ thống hạ tầng công nghệ thông tin nhằm quản lý các dữ liệu di sản Quảng Trị, chia sẻ có phân quyền thông qua ứng dụng trên điện thoại. Các dự án Tháp Chăm ở miền Trung Việt Nam đã sử dụng dữ liệu 3D để hỗ trợ công tác phục hồi (Fangi, Malinverni, & Tassetti, 2013). Có một số dự án áp dụng công nghệ để bảo tồn và quảng bá di sản ở Huế: ví dụ Lăng Tự Đức đã được Google số hóa 3D và được Google Arts and Culture vinh danh trên toàn thế giới thông qua dự án Open Heritage nhằm bảo tồn và quảng bá các di tích đang có nguy cơ biến mất trên toàn thế giới (Trung tâm lưu trữ Quốc gia 1, 2019). Bên cạnh đó, việc ứng dụng công nghệ thực tế ảo “Trung tâm VR Hoàng thành Huế” là kết quả của chương trình hợp tác giữa Trung tâm Bảo tồn Di tích Huế và đối tác Hàn Quốc IV COM (Gia Linh, 2018) cũng đem lại những trải nghiệm tham quan ảo thú vị. Dựa trên bản đồ địa chính, tất cả dữ liệu, bao gồm không gian và thuộc tính, đã được chuyển đổi thành định dạng tệp thông tin, hình ảnh 3D để sử dụng trong ArcMap và ArcSence.

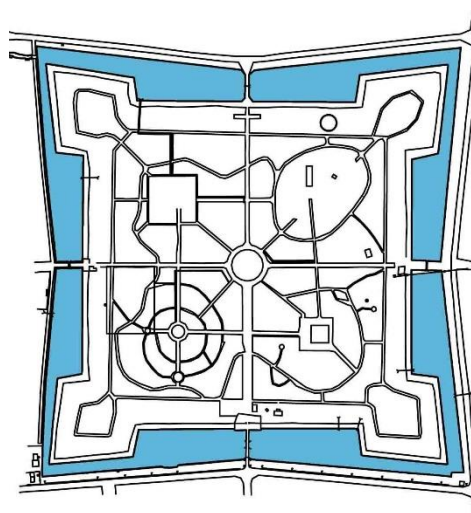
Tuy nhiên, việc số hóa quy mô lớn, số lượng di sản nhiều ở tỉnh Quảng Trị vẫn đang ở giai đoạn đầu. Các nghiên cứu trước đây về Thành cổ chủ yếu tập trung vào việc ghi chép lịch sử, đánh giá cấu trúc và phát triển du lịch tâm linh, với việc sử dụng hạn chế các không gian địa lý, hoặc chia sẻ có phân quyền. Nghiên cứu này góp phần thu hẹp khoảng trống đó bằng cách áp dụng phương pháp photogrammetry đối với tổng thể Thành Quảng Trị, hướng tới tính dễ áp dụng, dễ mở rộng và dễ liên kết dữ liệu đa ngành, không đòi hỏi kiến thức chuyên sâu về lập trình. Nghiên cứu tận dụng những tiến bộ gần đây trong công nghệ photogrammetry và định vị địa lý bằng máy bay không người lái (UAV) để tạo ra dữ liệu hữu ích cho việc quản lý, bảo tồn và phát huy giá trị di tích.

## 2.2. Phương pháp khảo sát thực địa

Việc nhận diện và phát huy giá trị kiến trúc Thành cổ Quảng Trị – di tích quốc gia đặc biệt từ năm 2013, có ý nghĩa hết sức quan trọng và cấp thiết trong quá trình xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu số về di tích trên địa bàn tỉnh Quảng Trị. Công trình có mặt bằng hình vuông, với chu vi tường thành khoảng 2.000 m, được xây dựng theo lối kiến trúc thành trì truyền thống Việt Nam. Hệ thống tường bao được cấu tạo từ gạch nung kích thước lớn, liên kết bằng hỗn hợp vôi, mật mía và các phụ gia dân gian, thể hiện kỹ thuật xây dựng đặc trưng của thời kỳ lịch sử.



**Hình 1.** Bản đồ thành Quảng Trị thời Pháp thuộc, (nguồn BAVH, 1914, tập 1)



**Hình 2.** Bản đồ thành Quảng Trị ngày nay (nguồn: tác giả)



**Hình 3.** Đài tưởng niệm trung tâm (nguồn: tác giả)



**Hình 4.** Cổng sau Thành cổ (nguồn: tác giả)

Thành có mỗi cạnh trải dài khoảng 480 mét và có chiều rộng trung bình 0,72 mét, bao gồm cả hào phòng thủ. Cấu trúc của bức tường chủ yếu gồm gạch, đất và đá, được gia cố bằng các ụ đất và xen kẽ với các cổng và pháo đài. Các đặc điểm kiến trúc đáng

chú ý bao gồm các tường phòng thủ, cổng và pháo đài góc, Đài tưởng niệm trung tâm, Bảo tàng, Nhà lao chứng tích và hào nước phòng thủ (Bảng 1 và Hình 1-4).

**Bảng 1.** Các thành phần kiến trúc chính của Thành cổ Quảng Trị hiện nay

| STT | Công trình                                        | Đặc điểm                                                          | Tình trạng                                                                                                           |
|-----|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Bốn Cổng: Cổng Nam, Cổng Bắc, Cổng Đông, Cổng Tây | Cổng ra vào Thành Quảng trị, có hai tầng                          | - Cổng Nam đã được trùng tu<br>- Cổng Bắc còn một phần tường gạch tầng 1<br>- Cổng Đông, Cổng Tây gần như bị phá hủy |
| 2   | Tường thành phòng thủ                             | Phân chia bên trong và bên ngoài thành                            | Bị phá hủy nhiều phần                                                                                                |
| 3   | Bốn pháo đài góc                                  | Pháo đài hình mũi tên                                             | Còn nguyên vẹn                                                                                                       |
| 4   | Hào nước phòng thủ                                | Hào nước có kè đá hai bên                                         | Bị bồi lắng một phần                                                                                                 |
| 5   | Đài tưởng niệm trung tâm                          | Tượng niệm anh hùng liệt sĩ                                       | Đã được xây mới                                                                                                      |
| 6   | Bảo tàng Thành cổ                                 | Lưu trữ, trưng bày các chứng tích lịch sử chiến tranh             | Đã được xây mới                                                                                                      |
| 7   | Nhà lao chứng tích                                | Được xây dựng thời Pháp, hình chữ nhật, được xây bằng đất/gạch đá | Còn phần cấu trúc gạch đá, phần mái hư hỏng nhiều                                                                    |
| 8   | Hố bom                                            | Hố sâu bằng đất do bị bom ném tạo thành                           | Còn dấu tích hố bom                                                                                                  |
| 9   | Pháo thần công                                    | Súng bằng đồng, đế bằng xi măng, theo kiểu Nhà Nguyễn             | Đã được trùng tu                                                                                                     |

(nguồn: tác giả)

Tổng thể thành là hệ thống phòng thủ, đồng thời là điểm giao thoa chính với môi trường đô thị phường Quảng Trị. Theo thời gian, phần lớn các bức tường đã bị xuống cấp về cấu trúc, thấm nước, cây cối mọc um tùm và bị lấn chiếm, xâm thực bởi cây xanh. Hơn nữa, hệ thống hào nước đã bị bồi lắng ở một số đoạn, làm suy yếu thêm tính toàn vẹn phòng thủ và vẻ đẹp tổng thể của công trình. Bên trong thành ngày nay chủ yếu là

các chứng tích chiến tranh từ thời Pháp thuộc và một số phần xây mới như Cổng Nam, Đài tưởng niệm trung tâm, Bảo tàng Thành cổ, và một số đài tưởng niệm nhỏ.

### 2.3. Phương pháp photogrammetry và GIS

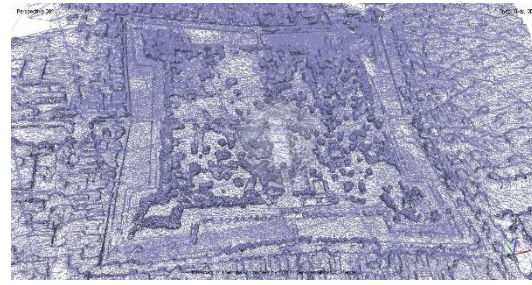
Nghiên cứu này sử dụng phương pháp đa giai đoạn kết hợp chụp ảnh từ trên không, chụp ảnh trên mặt đất, định vị không gian địa lý và mô hình hóa kỹ thuật số. Mục tiêu là tạo ra một mô hình kỹ thuật số chính xác và toàn diện về Thành cổ Quảng Trị, bao gồm cả bức tường, cổng, Đài tưởng niệm trung tâm, Bảo tàng, Nhà lao chứng tích và các đặc điểm xung quanh.

**Thu thập dữ liệu:** Một máy bay không người lái DJI Mini 2, mang theo camera 12 megapixel, đã được sử dụng để thu thập cả hình ảnh nhìn thẳng xuống và hình ảnh nhìn nghiêng của tường thành, cổng, pháo đài và hào nước xung quanh. Các điểm kiểm soát mặt đất (GCP) được thiết lập bằng GPS (Hệ thống Định vị Toàn cầu) để đảm bảo định vị địa lý chính xác. Đồng thời, sử dụng điện thoại Samsung Galaxy Note 10 để chụp ảnh cận cảnh, tập trung vào các chi tiết kiến trúc tinh tế. Khu vực khảo sát được chia thành bốn đoạn tường thành xung quanh và phần bên trong Thành cổ, mỗi đoạn thành có dài khoảng 480 mét, chiều cao 4.55 mét cao và chiều rộng 0,72 mét, bao gồm bảy pháo đài và bốn cổng, dựa trên tọa độ địa lý của chúng để đảm bảo thu thập dữ liệu hình ảnh chính xác. Mỗi khu vực được ghi lại bằng cách chụp ảnh xiên với máy ảnh nghiêng xuống 30° trong khi bay xung quanh các cấu trúc mục tiêu để đảm bảo tái tạo 3D chính xác. Tổng cộng, hơn 650 ảnh chụp từ trên không và 60 ảnh chụp từ mặt đất đã được thu thập hai lần trong điều kiện thời tiết thuận lợi. Độ cao bay dao động từ 70 đến 80 mét, với độ chồng lấp 80% giữa các ảnh.

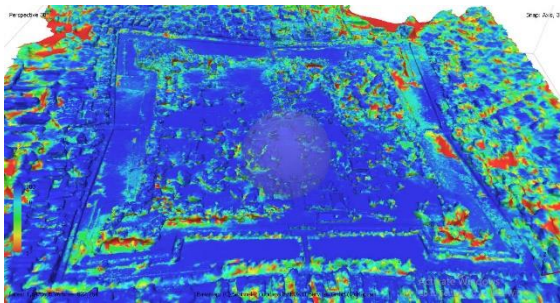
**Phương pháp photogrammetry:** Bộ dữ liệu hình ảnh được xử lý bằng phần mềm xử lý ảnh. Quy trình làm việc bao gồm căn chỉnh hình ảnh, tạo đám mây điểm thưa, tạo đám mây điểm dày đặc, xây dựng lưới, tạo vật liệu bao phủ và tái tạo hình ảnh 3D (Hình 5). Tám điểm kiểm soát mặt đất (GCP) được xác định và đánh dấu thủ công trong ít nhất 14 hình ảnh mỗi điểm. Độ chính xác của mô hình 3D được tái tạo đã được đánh giá bằng cách sử dụng 8 GCP. Kết quả cho giá trị RMSE tổng hợp đạt 0,0796 m (xấp xỉ 8,0 cm), cho thấy mức độ phù hợp của mô hình với các điểm kiểm soát mặt đất (Bảng 2). Ảnh ghép chỉnh hình đạt độ phân giải không gian khoảng 2,5 cm/pixel, phù hợp cho việc kiểm tra và lập bản đồ chi tiết.



Tạo điểm đám mây



Tạo lưới



Kiểm tra độ chính xác



Tạo vật liệu

Hình 5. Quá trình tạo mô hình 3D Thành cổ Quảng Trị (nguồn: tác giả)

Bảng 2. Độ chính xác và sai số của 8 điểm khống chế mặt đất (GCP) trong quá trình tái tạo mô hình 3D

| Reference          |            |           |              |              |           |             |             | Model           |  |
|--------------------|------------|-----------|--------------|--------------|-----------|-------------|-------------|-----------------|--|
|                    |            |           |              |              |           |             |             | Ortho           |  |
|                    |            |           |              |              |           |             |             | DJI_0200        |  |
|                    |            |           |              |              |           |             |             | Perspective 30° |  |
|                    |            |           |              |              |           |             |             | Snap: Axis, 3d  |  |
| Cameras            | Longitude  | Latitude  | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) | Yaw (°)     | Pitch (°)   |                 |  |
| ✓ DJI_0188         | 107.191336 | 16.752554 | 229.760000   | 10.000000    | 90.570517 | 0.000       | 90.000      |                 |  |
| ✓ DJI_0189         | 107.191086 | 16.752642 | 228.960000   | 10.000000    | 89.022649 | 0.000       | 90.000      |                 |  |
| Markers            | Longitude  | Latitude  | Altitude (m) | Accuracy (m) | Error (m) | Projections | Error (pix) |                 |  |
| ✓ GCP8             | 107.191044 | 16.751229 | 14.280000    | 0.005000     | 0.038241  | 21          | 5.843       |                 |  |
| ✓ GCP6             | 107.191221 | 16.752163 | 14.180000    | 0.005000     | 0.102324  | 25          | 8.211       |                 |  |
| ✓ GCP7             | 107.186750 | 16.752458 | 14.190000    | 0.005000     | 0.018269  | 29          | 5.788       |                 |  |
| ✓ GCP5             | 107.187111 | 16.753319 | 13.910000    | 0.005000     | 0.098956  | 25          | 10.218      |                 |  |
| ✓ GCP4             | 107.191949 | 16.754492 | 14.140000    | 0.005000     | 0.059317  | 16          | 30.814      |                 |  |
| ✓ GCP2             | 107.192331 | 16.755377 | 14.180000    | 0.005000     | 0.101227  | 14          | 34.689      |                 |  |
| ✓ GCP3             | 107.187824 | 16.755680 | 14.390000    | 0.005000     | 0.058566  | 26          | 35.030      |                 |  |
| ✓ GCP1             | 107.188004 | 16.756622 | 14.370000    | 0.005000     | 0.107142  | 20          | 39.792      |                 |  |
| <b>Total Error</b> |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |
| Control points     |            |           |              |              | 0.079635  |             | 24.026      |                 |  |
| Check points       |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |
| Scale Bars         |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |
|                    |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |
|                    |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |
| <b>Total Error</b> |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |
| Control scale ...  |            |           |              |              |           |             |             |                 |  |

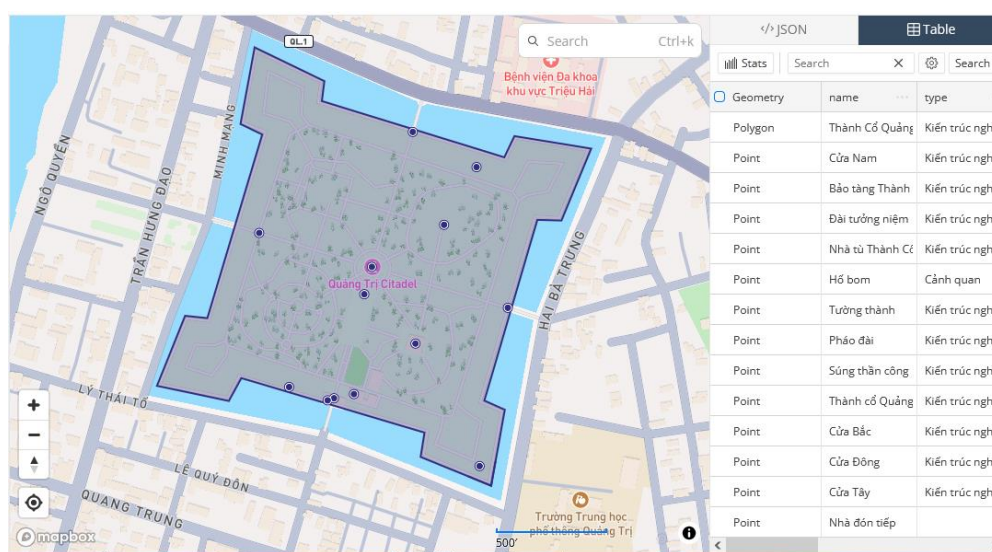
**Xử lý dữ liệu đầu vào GIS:** Kết quả mô hình 3D đạt được đã được tích hợp trên bản đồ GIS, sử dụng tọa độ trên nền GeoJSON và tích hợp vào QGIS để tái tạo mô hình di sản phục vụ quảng bá giá trị di tích cho việc bảo tồn và phát triển du lịch tâm linh.

**Lớp dữ liệu:** Mỗi di sản văn hóa được coi là một đối tượng không gian dạng điểm (Point), vùng (Polygon) hoặc đường (Line), tùy thuộc vào loại: Di sản ở dạng địa điểm cụ thể: chẳng hạn như tường thành, cổng, pháo đài, Đài tưởng niệm trung tâm,

bảo tàng, Nhà lao chứng tích (Point). Di sản trải rộng trên nhiều vùng: chẳng hạn như Thành cổ (Polygon) (Hình 6).

**Bảng thuộc tính:**

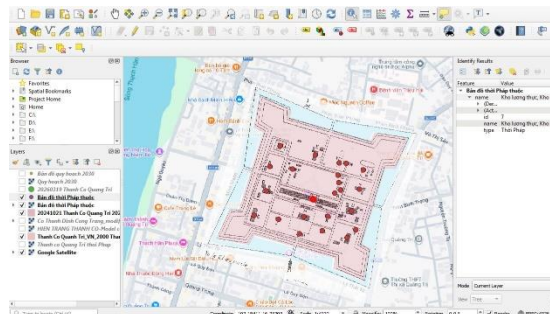
| Trường dữ liệu | Loại dữ liệu | Mô tả                                                      |
|----------------|--------------|------------------------------------------------------------|
| Tên            | Text         | Tên di sản                                                 |
| Dạng           | Text         | Nghệ thuật kiến trúc, di tích lịch sử, danh lam thắng cảnh |
| Xếp loại       | Text         | Xếp hạng                                                   |
| Vị trí         | Geometry     | Hình học không gian: điểm, đường thẳng, đa giác            |
| Mô tả          | Text         | Thông tin và đặc điểm của văn hóa vật thể                  |
| Hình ảnh       | Text         | Liên kết Google driver                                     |
| 3D             | Text         | Liên kết nhúng                                             |



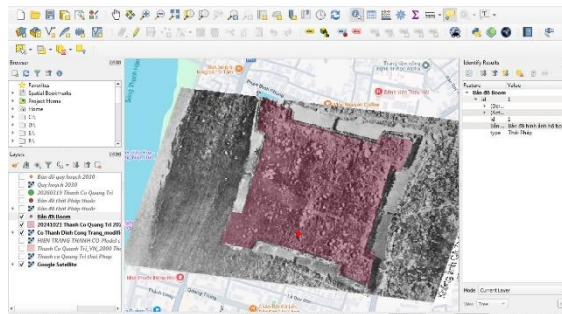
**Hình 6.** Nhập dữ liệu thuộc tính Thành cổ Quảng Trị (nguồn: tác giả nhập trên nền GeoJSON)

Dữ liệu Thành cổ Quảng Trị được tích hợp vào GIS trên nền tảng QGIS, cho phép quản lý, truy cập và tra cứu thông tin không gian và thuộc tính của các đối tượng di sản. Trên nền bản đồ cổ đã được định vị địa lý, các đối tượng được xây dựng thành các lớp dữ liệu và gắn với thông tin tên, loại hình và mô tả, giúp người dùng dễ dàng tra cứu thông tin trực tiếp trên bản đồ. Trong hình 7, ở giữa là các bản đồ qua các thời kỳ quản lý bằng các lớp (layer) và phần bảng thông tin ở ô vùng bên phải mô tả thông tin bản đồ trên nền QGIS. Phân tích buffer (vùng đệm) trên nền tảng QGIS cho thấy vùng đệm 50

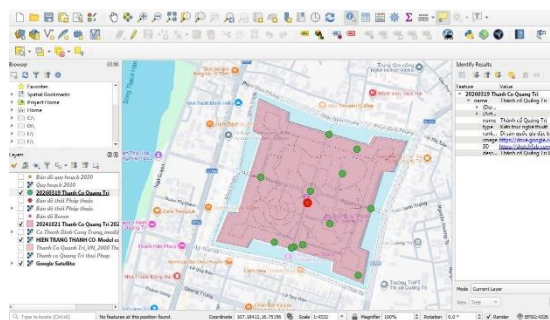
m quanh tường thành có diện tích 290.901,37 m<sup>2</sup>, trong khi vùng đệm 100 m có diện tích 414.774,99 m<sup>2</sup> (Hình 8).



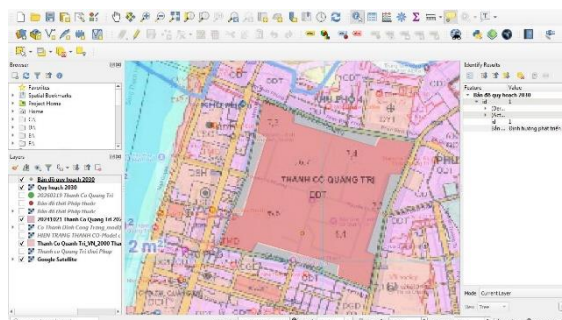
Bản đồ thời Pháp



Bản đồ hố bom

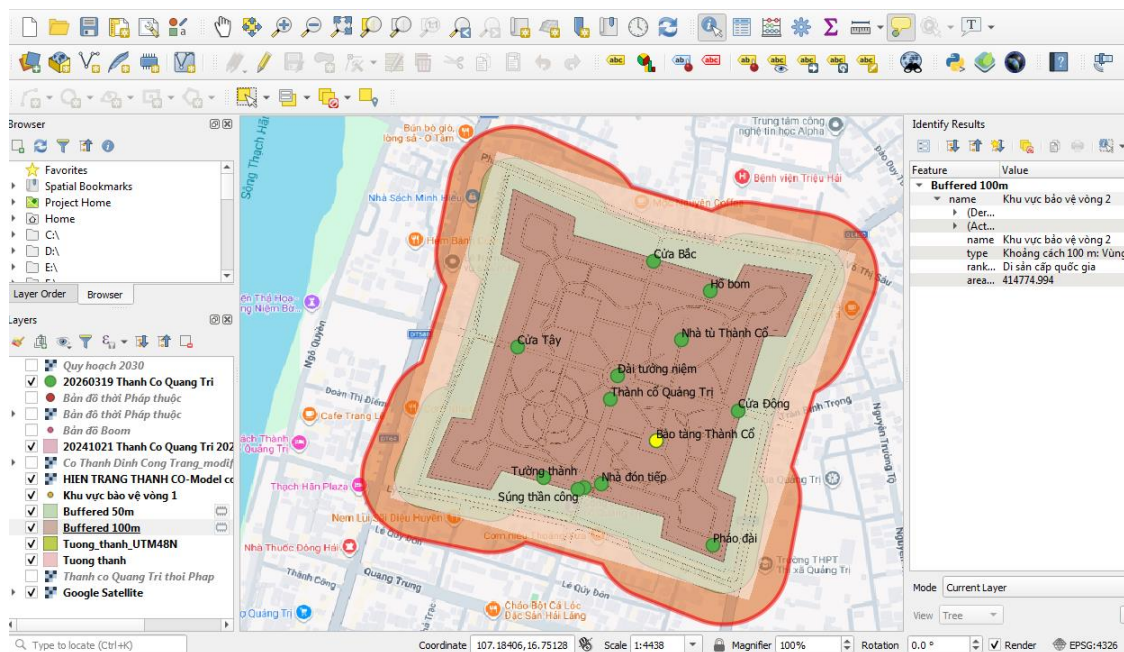


Bản đồ hiện trạng



Bản đồ quy hoạch đến năm 2030

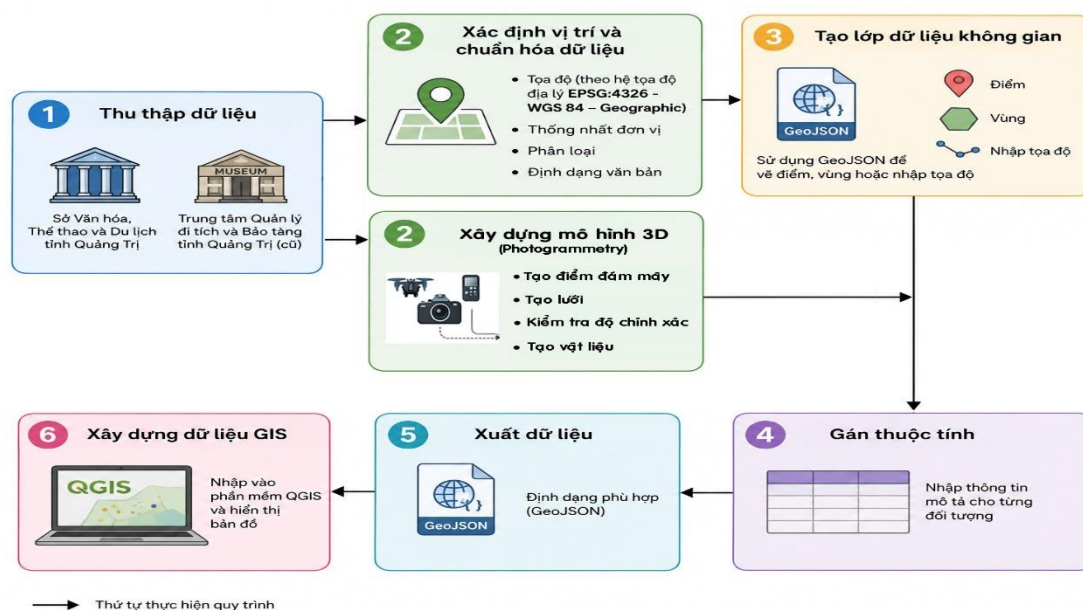
Hình 7. Truy vấn dữ liệu Thành cổ Quảng Trị trong QGIS (nguồn: tác giả)



Hình 8. Phân tích dữ liệu khu vực bảo vệ vòng 2 (nguồn: tác giả)

**Quy trình nhập dữ liệu vào GIS bao gồm các bước sau:** (1) Thu thập dữ liệu: Sở Văn hóa, Thể thao và Du lịch Quảng Trị; Trung tâm Quản lý di tích và Bảo tàng tỉnh Quảng Trị (cũ); (2) Xác định vị trí và chuẩn hóa dữ liệu: tọa độ (theo hệ tọa độ địa lý EPSG:4326 - WGS 84 – Geographic), thống nhất đơn vị, phân loại, định dạng văn bản, mô hình 3D; (3) Tạo lớp dữ liệu không gian: sử dụng GeoJSON để vẽ điểm, vùng hoặc nhập tọa độ; (4) Gán thuộc tính: nhập thông tin mô tả cho từng đối tượng; (5) Xuất dữ liệu: định dạng phù hợp (GeoJSON); (6) Xây dựng dữ liệu GIS: nhập vào phần mềm QGIS và hiển thị bản đồ (Bảng 3).

**Bảng 3.** Sơ đồ nhập dữ liệu vào GIS



### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả

**Dữ liệu kỹ thuật số 3D:** Mô hình 3D có vật liệu bao phủ khu vực Thành cổ mỗi cạnh dài 480 mét và khu vực bên trong thành. Áp dụng phương pháp photogrammetry ghép chính hình ảnh tạo mô hình 3D có độ phân giải cao (0,5 cm/pixel) của các tường thành, cổng, pháo đài, Đài tưởng niệm trung tâm, Bảo tàng, Nhà lao chứng tích, hố bom, hào nước phòng thủ và cảnh quan xung quanh (hình 9).



Thành cổ



Đài tưởng niệm trung tâm



Bảo tàng Thành Cổ



Nhà lao chứng tích



Pháo thần công

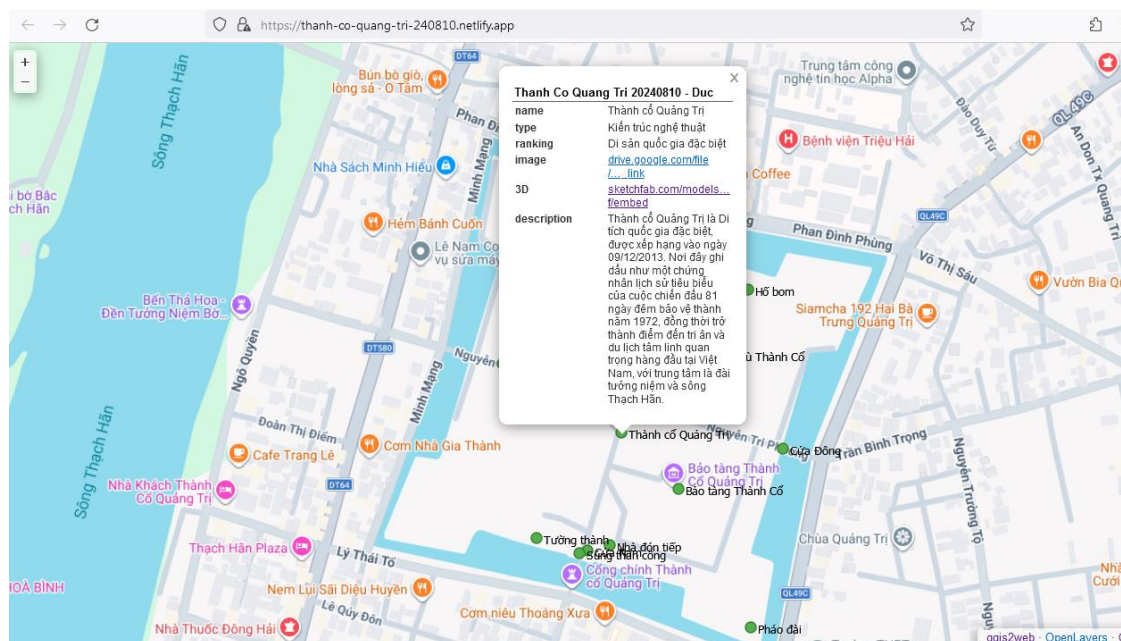


Cổng thành phía Nam

**Hình 9.** Bảng thống kê các mô hình 3D các di tích tiêu biểu của Thành Cổ Quảng Trị  
(nguồn: tác giả)

**Dữ liệu GIS:** Một cơ sở dữ liệu GIS đã liên kết các đặc điểm kiến trúc với dữ liệu lịch sử và bảo tồn. Những phát hiện chính từ phân tích dữ liệu bao gồm: quy trình số hóa để lập bản đồ các di tích lịch sử nhằm hỗ trợ việc diễn giải di sản, và việc xác định các thành phần cơ bản của cơ sở dữ liệu GIS về di sản văn hóa (Hình 7 và 8).

**Bản đồ minh họa các di tích lịch sử:** Dữ liệu về di tích Thành cổ Quảng Trị được tích hợp vào bản đồ, sau đó được tải lên web, webGIS hoặc chạy qua máy chủ. Nghiên cứu trường hợp này được hiển thị trên ứng dụng web, tạo một liên kết có thể được sử dụng trên máy tính xách tay, máy tính để bàn hoặc điện thoại để xem trực tiếp thông tin di sản của Thành cổ Quảng Trị, phục vụ cho việc quảng bá du lịch (Hình 10). Trong trường hợp này, địa chỉ truy cập là: <https://thanh-co-quang-tri-240810.netlify.app/>



Hình 10. Sơ đồ mặt bằng và các điểm di sản đặc trưng của Thành cổ Quảng Trị (nguồn: tác giả nhập dữ liệu trên nền Google Map)

### 3.2. Thảo luận

Nghiên cứu cho thấy tính khả thi và giá trị của việc sử dụng phương pháp photogrammetry và máy bay không người lái để lập tài liệu di sản quy mô lớn tại Thành cổ Quảng Trị. Mặc dù các phương pháp tiên tiến hơn như quét laser, LiDAR có thể đạt được độ chính xác hơn phụ thuộc cảm biến, khoảng cách lấy mẫu mặt đất GSD, điểm khống chế mặt đất GCP, địa hình, cây xanh, mật độ điểm, thuật toán xử lý và chất lượng tham chiếu địa lý (Marcel, S., et al 2023), nhưng phương pháp được lựa chọn mang lại sự cân bằng giữa độ chính xác và chi phí thu thập dữ liệu. Theo nghiên cứu của Stephanie, R. R. et al (2020), UAV photogrammetry và LiDAR có độ chính xác khá tương đương khi đánh giá bằng điểm kiểm tra, cụ thể RMSE đạt giá trị  $\pm 0,04$  (LiDAR) và giá trị  $\pm 0,03 - \pm 0,06$  (UAV photogrammetry). Và nghiên cứu của Martin, Š. (2023), cho kết quả SfM photogrammetry có RMSEZ đạt 0,02 m (2 cm), trong khi đó DJI Zenmuse L1 LiDAR có RMSEZ đạt 0,044–0,065 m (4,4–6,5 cm). Công nghệ LiDAR có ưu thế rõ hơn ở khu vực có thảm thực vật, trong khi photogrammetry phụ thuộc nhiều vào GCP và khả năng nhìn thấy bề mặt. Kết quả nghiên cứu bằng UAV photogrammetry đã đưa ra độ chính xác của mô hình 3D Thành cổ Quảng Trị được tạo ra đánh giá bằng cách sử dụng 8 GCP, có giá trị RMSE tổng hợp đạt 7,96 cm (Bảng 2). So với phương pháp khảo sát truyền thống, phương pháp photogrammetry cung cấp độ phân giải cao hơn và thời gian triển khai nhanh hơn. Ví dụ, việc khảo sát cổng phía Nam bằng phương pháp truyền thống mất 2 ngày, trong khi chỉ mất 25 phút bay của máy bay không người lái và 3 giờ xử lý trên máy tính. Về chi phí thiết bị đã sử dụng khá rẻ, ví dụ như DJI Mini 2 và

Samsung Note 10 có giá khá rẻ trên thị trường khoảng 40 triệu so với thiết bị UAV có LiDAR có giá từ 500 triệu đến 1 tỷ đồng.

Mô hình 3D cho phép giám sát tình trạng, lưu trữ kỹ thuật số, trực quan hóa du lịch và tiếp cận cộng đồng. Hơn nữa, cơ sở dữ liệu GIS cung cấp khuôn khổ để tích hợp các dữ liệu lớn trong tương lai, chẳng hạn như phục hồi, thiết kế cảnh quan, quy hoạch cơ sở hạ tầng. Nó không chỉ dễ dàng tích hợp thêm thông tin liên quan mà còn thể hiện trực tuyến. Tuy nhiên, phương pháp vẫn còn những thách thức: sự hiện diện của những vùng nước rộng lớn (hào nước) đòi hỏi phải chỉnh sửa thủ công nhiều điểm kiểm soát, và việc tạo ra các mô hình 3D quy mô lớn đòi hỏi máy tính mạnh, phần hiển thị 3D giải pháp này dựa vào liên kết nhúng chứ chưa thật sự hiển thị 3D trong môi trường GIS, đây cũng chính là điểm hạn chế. Ở điểm này, các hãng phần mềm trên thế giới như ArcGIS, Cesium... vẫn đang tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện để tìm phương án tối ưu nhất cho di sản. Nghiên cứu cũng nhấn mạnh sự cần thiết phải nâng cao năng lực cho các nhà quản lý di sản Việt Nam trong việc sử dụng và bảo trì di sản kỹ thuật số.

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu tạo ra dữ liệu thông tin, mô hình 3D và dữ liệu GIS phù hợp cho việc bảo tồn và phát huy giá trị di sản. Bài báo cho thấy các khu vực Thành cổ Quảng Trị cần được bảo tồn nghiêm ngặt và cần thiết tạo ra dữ liệu số phục vụ quản lý, bảo tồn, phát huy giá trị di sản gắn với phát triển du lịch tâm linh. Đồng thời cung cấp quá trình số hóa có thể áp dụng cho các di tích lịch sử khác ở Việt Nam. Các khuyến nghị bao gồm: Mở rộng số hóa sang các phần còn lại của Thành cổ và các không gian xung quanh bên ngoài Thành Cổ; Sử dụng mô hình số làm cơ sở cho các ứng dụng AR/VR để nâng cao trải nghiệm của du khách; Tích hợp dữ liệu vào hệ thống quy hoạch đô thị để ngăn chặn sự xâm lấn thêm.

#### LỜI CẢM ƠN

Bài báo được viết từ một phần số liệu của Nhiệm vụ khoa học và công nghệ theo Nghị định thư với Italia "Nghiên cứu định hướng giải pháp bảo tồn di sản văn hóa cấp quốc gia gắn với phát triển du lịch ba tỉnh Quảng Bình, Quảng Trị và Thừa Thiên Huế trên cơ sở ứng dụng công nghệ thông tin", mã số: NĐT/IT/22/17. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Bộ Khoa học Công nghệ, Đại học Huế, Trường Đại học Khoa học Huế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Quốc sử quán triều Nguyễn (1962). *Đại Nam thực lục chính biên*, tập XI. Nxb Sử học, tr. 30.
- [2]. Nội các triều Nguyễn (1993). *Khâm định Đại Nam hội điển sự lệ*, tập 13. Viện KHXH Việt Nam - Viện Sử học: Nxb Thuận Hóa, Huế, tr. 215.
- [3]. Remondino, F. and Campana, S. (2014). *3D Recording and Modelling in Archaeology and Cultural Heritage*. Archaeopress.
- [4]. Evans, D. et al. (2013). *Uncovering archaeological landscapes at Angkor using LiDAR*. PNAS, vol. 110, no. 31, pp. 12595–12600.
- [5]. Manajitprasert, S., Tripathi, N. K., Arunlpod, S. (2019). *Three-Dimension (3D) Modeling of Cultural Heritage Site Using UAV Imagery: A Case Study of the Pagodas in Wat Maha That, Thailand*. Applied Sciences 2019, 3640; doi:10.3390/app9183640. Truy cập ngày 28/4/2026 tại: [www.mdpi.com/journal/applsci](http://www.mdpi.com/journal/applsci).
- [6]. Phan Thị Hoa Lợi, Phan Tuấn Anh (2017). *Ứng dụng công nghệ GIS xây dựng hệ thống thông tin di tích lịch sử văn hóa và danh lam thắng cảnh tỉnh Quảng Trị*. Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Kỹ thuật và Công nghệ, Tập 126, Số 2A, tr. 45-58.
- [7]. Phan Thị Hoa Lợi, Lê Mạnh Thanh (2018). *Xây dựng hệ thống thông tin về di tích Thành cổ Quảng Trị dựa trên nền GIS và công nghệ 3D*. Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Kỹ thuật và Công nghệ, 127 (2A). DOI:10.26459/hueuni-jtt.v127i2A.4970
- [8]. Fangi, G., Malinverni, E. S., Tasseti, A. N. (2013). *The metric documentation of Cham Towers in Vietnam by spherical photogrammetry*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5/W1. XXIV International CIPA Symposium, 2-6 Sept. 2013, Strasbourg, France.
- [9]. Trung tâm lưu trữ Quốc gia 1 (2019). *Lăng Tự Đức được Google số hóa 3D và tôn vinh toàn thế giới*. Truy cập ngày 06/4/2026 tại: <https://www.archives.org.vn/tin-tong-hop/lang-tu-duc-duoc-google-so-hoa-3d-va-ton-ving-toan-the-gioi.htm>.
- [10]. Gia Linh (2018). *Phục dựng Hoàng thành Huế bằng công nghệ thực tế ảo*. Cổng thông tin điện tử, Bộ Văn hóa, Thể thao và Du lịch. Truy cập ngày 26/4/2026 tại: <https://bvhttdl.gov.vn/phuc-dung-hoang-thanh-hue-bang-cong-nghe-thuc-te-ao-621236.htm>.
- [11]. Marcel, S., Benjamin, K., Thomas, J., Björn, W., Norbert, L. (2023). *Comparative analysis of UAV-based LiDAR and photogrammetric systems for the detection of terrain anomalies in a historical conflict landscape*. European Journal of Remote Sensing. Truy cập ngày 22/8/2026 tại: [https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2023.2179942?utm\\_source=chatgpt.com&\\_\\_cf\\_chl=tk=pSIjxL2yq9NG9FRuCKTSL6MstotBWtt9GKr0lw3MXs-1787561104-1.0.1.1-.tEDNhd36CpzJw8rEtmHoT1IpyQLmJsBYEm6g5c.Hlk](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2023.2179942?utm_source=chatgpt.com&__cf_chl=tk=pSIjxL2yq9NG9FRuCKTSL6MstotBWtt9GKr0lw3MXs-1787561104-1.0.1.1-.tEDNhd36CpzJw8rEtmHoT1IpyQLmJsBYEm6g5c.Hlk)
- [12]. Stephanie, R. R., Ian M., and William L. (2020). *Comparing the Spatial Accuracy of Digital Surface Models from Four Unoccupied Aerial Systems: Photogrammetry Versus LiDAR*. Remote Sens. 2020, 12, 2806; doi:10.3390/rs12172806
- [13]. Martin, Š., Rudolf, U., Tomáš, K., Jaroslav, B. (2023). *UAV DTM acquisition in a forested area – comparison of low-cost photogrammetry (DJI Zenmuse P1) and LiDAR solutions (DJI Zenmuse L1*. European Journal of Remote Sensing. Truy cập ngày 27/8/2026 tại: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2023.2179942?utm>

## APPLICATION OF GIS AND 3D MODELING IN DIGITIZING THE ARCHITECTURE OF QUANG TRI ANCIENT CITADEL TOWARDS THE PRESERVING AND PROMOTING HERITAGE VALUES

Vo Ngoc Duc<sup>1\*</sup>, Nguyen Vu Thao Linh<sup>2</sup>, Le Ngoc Van Anh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Architecture, University of Sciences, Hue University

<sup>2</sup> HUSC High School for Gifted Students

\* Email: vngocduc@hueuni.edu.vn

### ABSTRACT

This paper studies the application of digital technology to the conservation of the Quang Tri Ancient Citadel, a special national monument since 2013. The study digitizes the citadel complex which is squareshaped, with each side approximately 480 meters long, and includes walls, gates, fortifications, a central memorial, a museum, and a prison. Photogrammetry and a drone were used to collect over 650 images, which were aligned and processed to create a 3D model, and then integrated into a GIS database. The results show that the 3D model has high resolution, accurately reproducing architectural and landscape details, supporting the assessment of the current state and the mapping of the heritage site. The GIS database links spatial information with historical data, serving management, conservation, and tourism promotion via WebGIS. The study also discusses the effectiveness of photogrammetry compared with conventional field surveys in terms of time and cost, and contributes to the guidance of sustainable heritage conservation.

**Keywords:** Quang Tri Ancient Citadel; Photogrammetry; 3D Model; GIS; Preservation.