TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

4th EME 2021

Bài báo khoa học

Thể hiện dữ liệu 3D Point cloud trực tuyến trên nền tảng Potree phục vụ công tác thiết kế

Phan Nguyên Việt[1*], Chung Minh Quân[1], Phùng Ngọc Anh[1], Nguyễn Hữu Đức[2]

[1] Công ty TNHH Hợp Nhất Bách Việt; viet@bachvietunited.com; anh.phung@bachvietunited.com; quan.chung@bachvietunited.com
[2] Trường Đại học Tài nguyên & Môi trường TP.HCM; nhduc@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: viet@bachvietunited.com; Tel.: +84–916181935
Ban Biên tập nhận bài: 8/2/2022; Ngày phản biện xong: 17/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Thiết bị bay không người lái (*Unmanned Aerial Vehicles–UAVs*) đang ngày càng được sử dụng rộng rãi. Ngay cả các UAV nhỏ cũng có thể cung cấp dữ liệu có giá trị như 3D Point cloud để khảo sát các khu vực nguy hiểm và không thể tiếp cận. Dữ liệu dạng 3D Point cloud mang đến cơ hội mới trong việc trình bày thông tin và phân tích về các đối tượng phục vụ công tác thiết kế và quy hoạch. Tuy nhiên, việc tiếp cận và truy xuất các dạng dữ liệu 3D Point cloud còn nhiều hạn chế và khó khăn trong thực tế. Với sự phát triển của công nghệ WebGL, việc xây dựng nền tảng đồ họa 3D kết nối các người dùng trở nên dễ dàng hơn. Bài báo trình bày một phương pháp để thể hiện và tùy chỉnh 3D Point cloud lên nền web thông qua nền tảng mã nguồn mở Potree. Giải pháp này đã mang đến lợi ích to lớn đối với người dùng vì giúp tương tác trực tuyến, đa thiết bị và trực quan phục vụ công tác thiết kế quy hoạch và cảnh quan.

Từ khóa: Thiết bị bay không người lái; UAV; Potree; Mô hình 3D; WebGL.

1. Giới thiệu

Theo Báo cáo Triển vọng Đô thị hóa Thế giới, tỷ lệ dân cư đô thị chiếm hơn một nửa của dân số thế giới [1]. Xu hướng đô thị hóa gia tăng đang mang đến những thách thức như cơ sở hạ tầng giao thông chưa đáp ứng, chất lượng không khí suy giảm, thiếu quy hoạch dân cư, đô thị, v.v. [2]. Một trong những giải pháp quan trọng để giải quyết các thách thức này chính là xây dựng các thành phố thông minh giúp kết nối giữa người dân và các nhóm chính trị, xã hội và kinh tế để giải quyết các vấn đề [3].

Ngày nay, sự phát triển của công nghệ đã tạo ra những cách mới mẻ và sáng tạo để chia sẻ và giao tiếp dữ liệu, trao đổi quan điểm và cộng tác. Nhờ vào việc triển khai sâu rộng hơn cơ sở hạ tầng công nghệ thông tin và truyền thông (*Information and Communication Technology – ICT*), đồng thời sự gia tăng công nghệ và ứng dụng di động đã tạo ra khái niệm "thông minh" của đô thị [4]. Hệ thống thông tin địa lý (GIS) là nền tảng tất yếu để quản lý hiệu quả các thành phố, mô hình hóa và trực quan hóa 3D đã trở thành một thành phần quan trọng của GIS. Việc sử dụng 3D GIS đã được giới hạn trong quy hoạch đô thị và hình dung thông qua các mô hình thành phố [5]. Tuy nhiên cho đến gần đây, những phát triển mới trong công nghệ máy tính đã mở rộng giới hạn ban đầu, các nghiên cứu [6–7] đã phân tích và tích hợp các thành phần 3D trong GIS. Sự phát triển của WebGL giúp dữ liệu 3D được phân phối trực tuyến thông qua web trở nên dễ dàng hơn mà không cần thông qua bất kì ứng dụng bên thứ 3 nào. Đồng thời WebGL cũng là chuẩn hỗ trợ cho tất cả các loại trình duyệt, trên máy tính lẫn điện thoại thông minh. Ví dụ như Sketchfab cho phép người dùng đăng tải, chia sẻ và xem các nội dung 3D mà không cần bất kì kiến thức nào về WebGL [8]. Potree là một trình duyệt hiển thị đám mây điểm 3D sử dụng cấu trúc dữ liệu đa biến bát phân để xử lý dữ liệu lớn [9].

Do sự hạn chế về phần cứng và phần mềm nên phương pháp thu thập và xử lý dữ liệu 3D chỉ được sử dụng chủ yếu bởi các chuyên gia. Một số phương pháp hiện nay được sử dụng để thu thập và xử lý mô hình 3D như là quét laser, Structure–from–Motion (SfM) [10]. Thu thập dữ liệu bằng UAV thường sử dụng phương pháp SfM và Multi–view Stereo nhằm tạo ảnh trực giao và đám mây điểm [11–12]. Đám mây điểm là một dạng mô hình 3D thông dụng để tái tạo cảnh quan. Với trường hợp đám mây điểm được sử dụng để khảo sát địa hình thì kích thước rất lớn (lên đến vài tỷ điểm), cho nên Potree là lựa chọn phù hợp cho phương pháp này.

Bài báo nghiên cứu dữ liệu đám mây điểm thu thập bằng UAV thông qua phương pháp SfM, đám mây điểm được hiển thị hóa thông qua Potree giúp cho việc xem xét và nghiên cứu thiết kế dự án dễ dàng hơn.

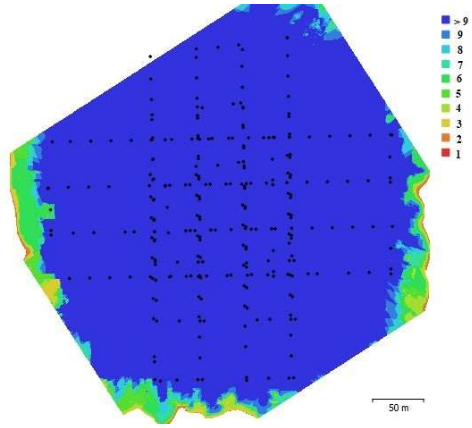
2. Khu vực và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

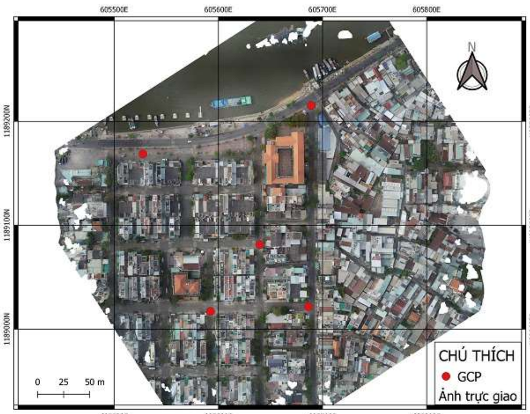
Khu vực nghiên cứu là vùng dân cư 10ha thuộc phường Tân Thuận Tây, quận 7, TP.HCM (Hình 1), có dân cư đông đúc, nhiều công trình kiến trúc như nhà cửa, trường học, công viên ven sông. Phần lớn nhà cửa ở đây thuộc nhà cấp 4 hoặc cấp 3, nằm ở khu vực ven sông nên địa hình thấp.

Dữ liệu ảnh được thu thập vào năm 2021 bằng UAV Phantom 4 Pro. Ảnh UAV với độ phân giải 3cm/pix phân bố như trên hình 2. Sau đó, ảnh được dùng để xử lý thành đám mây điểm.

Hình 1. Khu vực khảo sát bản đồ 3D.



Hình 2. Sơ đồ ảnh UAV tại khu vực.



Hình 3. Sơ đồ bố trí các điểm GCP.

2.2. Công nghệ chính

2.2.1. Phép chiếu Mercrator

Trong hệ thống lập bản đồ trực tuyến, Web Mercator đã trở thành phép chiếu thống trị [13]. Phép chiếu Mercator được đề xuất bởi nhà khoa học bản đồ Hà Lan Flemish Gerardus Mercator vào năm 1569 để xác định cách chiếu tọa đồ cầu vào một mặt phẳng 2 chiều. Từ đó, phép chiếu được áp dụng rộng rãi trên toàn thế giới.

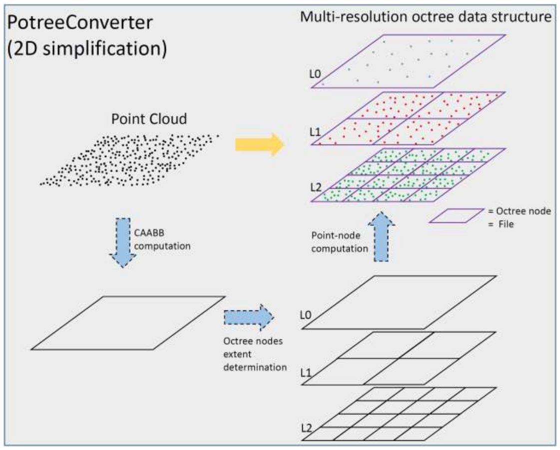
WGS84 là hệ quy chiếu toàn cầu cố định trên thế giới, bao gồm cả mô hình trái đất và được xác định bởi một tập hợp các tham số chính và phụ [14]. Các tọa độ (B, L, H) theo WGS84 thu được trực tiếp bằng GPS. Trong đó B là vĩ độ, L là kinh độ và H là độ cao của trái đất. Trong phép chiếu Web Mercator, trái đất được mô phỏng dưới dạng hình cầu thay vì hình elip, đó là điểm khác biệt với phép chiếu Mercator. Google Maps, Virtual Earth, Bing Maps, Baidu Maps, Mapabc, ArcGIS Online sử dụng hệ thống tọa độ Web Mercator hoặc gọi là Spherical Mercator.

2.2.2. Potree

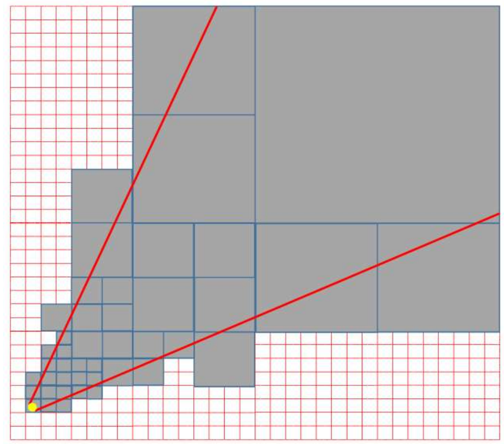
Trình kết xuất đồ họa Potree dựa trên nghiên cứu từ Instant Points [15], dùng để kết xuất đám mây điểm trên trình duyệt Web. Potree có thể truyền trực tuyến nhanh chóng vì sử dụng một biến thể của cấu trúc MNO (Modifiable Nested Octree) với một phương pháp lấy mẫu con khác và phân vùng phân cấp thành các phần nhỏ hơn [9].

Với cấu trúc dữ liệu đa biến bát phân (Multi–resolution octree) của Potree, mỗi nút của cây được lưu trữ trong tệp. Định dạng của tệp octree là định dạng hệ nhị phân, cụ thể như LAS hoặc LAZ. Để giảm thời gian tải ban đầu, toàn bộ hệ thống phân cấp octree được lưu trữ trong nhiều tệp phụ trợ. Công cụ PotreeConverter [16] được sử dụng để chuyển các bộ dữ liệu đầu vào (dạng LAS, LAZ, PTX hoặc PLY) thành cấu trúc đa biến bát phân. Quy trình thực hiện của công cụ thể hiện ở hình 4. Đầu tiên, CAABB (Cubic Axis–Aligned Bounding Box) sẽ được tính toán. Tiếp theo, phạm vị không gian của các nút bát phân ở các cấp độ khác nhau được xác định từ CAABBC và độ sâu được xác định từ người dùng. Cuối cùng, tính toán điểm–nút được thực hiện bằng cách sử dụng tham số khoảng cách. Với mỗi điểm, nếu khoảng cách đến bất kỳ điểm nào khác bên trong nút gốc lớn hơn khoảng cách đã định, thì điểm đó sẽ được thêm vào nút gốc. Nếu đã có một điểm khác ở gần, điểm đó sẽ được chuyển sang cấp tiếp theo và việc kiểm tra tương tự được lặp lại với một nửa khoảng cách ở trên. Quy trình này lặp lại đến khi điểm đã được thêm vào một nút hoặc độ sâu cây bát phân vượt quá giới hạn [17].

Lợi ích của cấu trúc đa biến bát phân của Potree là tốc độ kết xuất nhanh dựa trên hiệu quả của vùng không gian và tính toán cấp độ chi tiết. Cụ thể, các nút nằm ngoài vùng nhìn thấy sẽ không được kết xuất và các nút ở gần vùng nhìn sẽ được ưu tiên kết xuất trước so với nút ở xa (hình 5). Ưu điểm thứ hai là việc triển khai kết xuất sử dụng các công nghệ web tiêu chuẩn như WebGL, Three.js và Javascript không yêu cầu bổ sung các plugin trong quá trình sử dụng trình duyệt Web.



Hình 4. Các bước thực hiện của công cụ PotreeConverter để tạo 3 cấp độ cây octree đa biến [18].



Hình 5. Mô hình hóa đơn giản kết xuất đồ họa theo vùng nhìn thấy của Potree. Dữ liệu độ phân giải thấp nằm xa và tăng dần độ phân giải khi lại gần vùng nhìn [18].

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Quy trình thực hiện theo thứ tự các bước thu thập dữ liệu ảnh UAV, xử lý dữ liệu tạo đám mây điểm thông qua phần mềm Agisoft Metashape (Hình 6).

Hình 6. Quy trình bay chụp và xử lý dữ liệu.

2.3.1. Thu thập dữ liệu

Khu vực được khoanh vùng và thiết kế trong phần mềm DJI Pilot dành cho hệ điều hành Android (Hình 7). Khu vực được khảo sát theo dạng Oblique nhằm xây dựng đầy đủ các mặt của tòa nhà. Trong hoạt động bay, hai bộ dữ liệu khác nhau của hình ảnh UAV đã được thu thập, theo phương thẳng đứng và xiên. Kế hoạch bay gồm có 5 tuyến bay là bay chụp thẳng đứng và xiên góc theo các hướng Đông Tây Nam Bắc.

Các thông số thiết kế quan trọng gồm có độ phủ ảnh và độ cao bay chụp. Độ cao bay chụp ảnh hưởng đến độ phân giải ảnh mong muốn. Độ phủ ảnh bao gồm độ phủ khi chụp thẳng đứng và khi chụp góc nghiêng. Kết quả thể hiện ở Bảng 1.

Trong quá trình thực địa, tác giả thiết lập và đo tọa độ 5 điểm GCP bằng thiết bị RTK ComNav T300. Các điểm được phân bổ đều trong toàn bộ khu vực nghiên cứu và được sử dụng tham chiếu địa lý cho các mô hình.

Bảng 1. Thông số bay chụp bằng UAV tại khu vực.

Thông số	Bay chụp thẳng đứng	Bay chụp xiên góc
Độ cao (m)	110	110
Độ phủ dọc (%)	75	70
Độ phủ ngang (%)	70	60
Góc chụp (°)	90	60
Số ảnh	605439.884	1189153.795

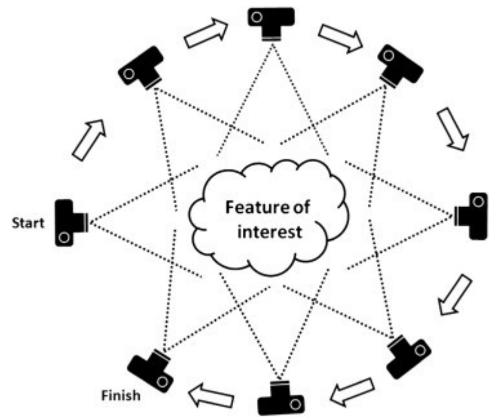
Hình 7. Kế hoạch bay chụp bằng DJI Pilot: một mặt thẳng đứng và bốn mặt hướng quanh khu vực.

2.2.2. Xử lý dữ liệu

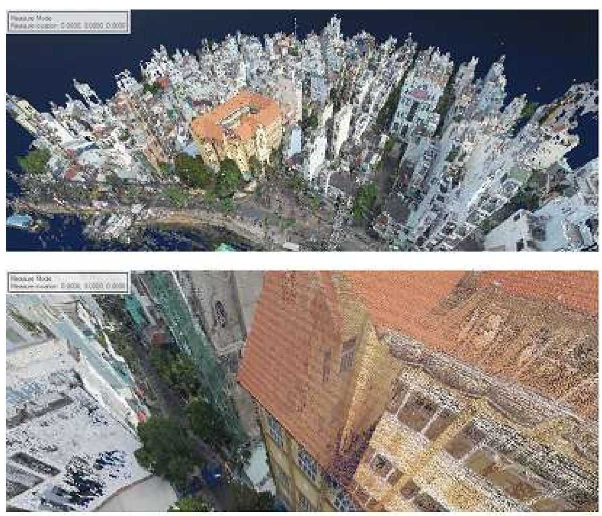
Dữ liệu ảnh được xử lý bằng phương pháp Structure–from–Motion. Phương pháp sử dụng các đối tượng giống nhau trên các ảnh được khớp lại với nhau (hình 8). Các đối tượng này được tự động khớp liên tục, cho phép ước tính về vị trí ban đầu và tọa độ của đối tượng [19]. Phương pháp này phù hợp với ảnh có độ chồng phủ cao, và theo lộ trình thiết kế sẵn. Bộ dữ liệu được xử lý trong phần mềm Pix4D Mapper phiên bản Trial [20], sử dụng 5 điểm GCP để làm điểm tham chiếu tọa độ thực (Hình 3). Kết quả xử lý gồm đám mây điểm dày đặc, DEM và ảnh trực giao.

Dữ liệu đám mây điểm của khu vực nghiên cứu được lưu trữ dưới dạng LAS với hơn 69 triệu điểm (hình 9). Quy trình xử lý đám mây điểm với Potree gồm 2 bước. Thứ nhất, đám mây điểm được chuyển đổi sang định dạng cấu trúc đa biến bát phân của Potree công cụ

PotreeConverter. Thứ hai, tác giả tiến hành cài đặt một máy chủ, sau đó tải lên tất cả dữ liệu đã xuất ra ở bước chuyển đổi vào máy chủ. Từ đó, đám mây điểm được hiển thị lên nền tảng Web và có thể chia sẻ cho các người dùng khác nhau.



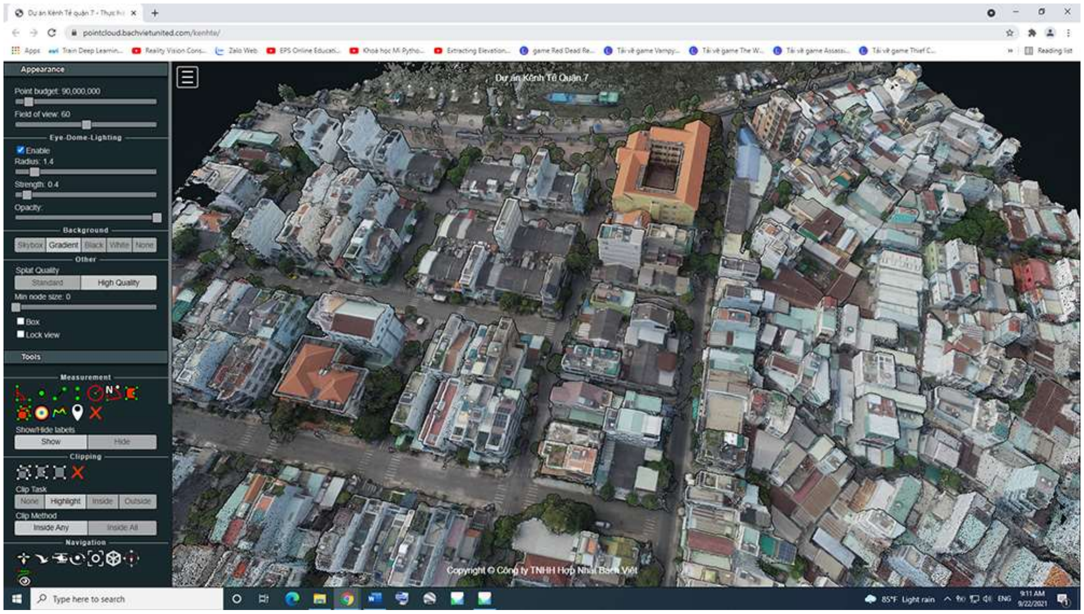
Hình 8. Structure–from–Motion (SfM).



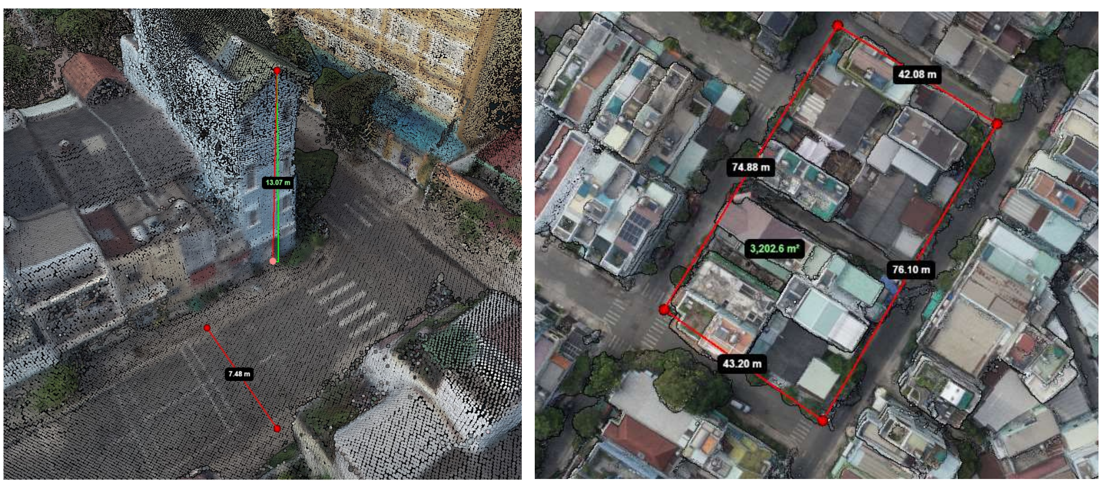
Hình 9. Đám mây điểm nhìn từ xa và gần.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Chức năng hiển thị web bằng các áp dụng thuật toán mã nguồn mở Potree để trực quan hóa dữ liệu đám mây điểm dung lượng lớn. PotreeConverter được sử dụng để chuyển đổi dữ liệu LAS thành dữ liệu dịch vụ để hiển thị. Theo mặc định, Potree bao gồm một bản đồ hiển thị tổng quan vị trí tương tác và vùng nhìn của người xem, các tùy chọn và cài đặt điều hướng khác nhau. Đồng thời, Potree còn bao gồm một số công cụ đo lường cho phép người dùng ghi lại các phép đo đơn giản như khoảng cách, diện tích, thể tích và mặt cắt địa hình. Sau khi chuyển đổi, các tệp và cấu trúc thư mục có thể được thêm vào máy chủ lưu trữ web và phân phối thông qua một miền web tiêu chuẩn. Môi trường phần cứng và hệ điều hành máy chủ ảo (VPS) cấu hình 1 CPU, ram 2GB, ổ cứng SSD 55GB và băng thông 2TB/ tháng. Môi trường phần mềm là hệ điều hành Ubuntu 64bit phiên bản 20.04. Người dùng sử dụng trình duyệt Chrome. Thời gian phản hồi lần truyền đầu tiên của nền tảng là 1.7 giây và thời gian phản hồi trung bình 35 giây. Tốc độ chuyển vùng của nền tảng nhanh chóng và kết xuất hình ảnh trôi chảy.



Hình 10. Hiển thị đám mây điểm thông qua Potree (https://pointcloud.bachvietunited.com/kenhte/).



Hình 11. Một vài tính năng trên Potree.

Hình ảnh trực quan trên web của dữ liệu đám mây điểm cuối cùng thể hiện ở chế độ RGB (hình 10). Trực quan hóa dữ liệu lên Potree giúp chia sẻ dễ dàng với người dùng. Người dùng có thể trực tiếp sử dụng các chức năng trên Potree, như đo khoảng cách, đo cao độ, tính diện tích, thể tích, xem thông tin theo điểm, v.v. (Hình 11).

Dựa trên kết quả thu được, tác giả đánh giá ưu, nhược điểm chính của Potree gồm:

- Ưu điểm: hiệu suất cao khi xử lý đám mây điểm lớn và trực quan hóa mô hình dạng lưới; có sẵn các công cụ đo lường; có một số tùy chọn khi thiết lập tạo kiểu.
- Nhược điểm: Không có dữ liệu phi đồ họa nào có thể được tích hợp. Không cho phép trực quan hóa các bộ dữ liệu khác dưới dạng lớp, chẳng hạn như dịch vụ bản đồ web (WMS).

4. Kết luận

Ứng dụng thiết bị bay không người lái nhằm thu thập dữ liệu đám mây điểm trở nên nhanh chóng, dễ dàng và tiết kiệm hơn. Nghiên cứu kết hợp phương pháp Structure–from–Motion xử lý từ ảnh UAV cho ra đám mây điểm với phương pháp chuyển đổi để hiển thị trên

Potree. Khu vực nghiên cứu 10ha được bay chụp với 5 hướng (thẳng đứng và xiên góc theo các hướng) với tổng lượng ảnh là 277. Bộ dữ liệu sau khi được xử lý tạo ra đám mây điểm dày đặc được lưu trữ dưới định dạng .LAS, được chuyển đổi thông qua công cụ PotreeConvert thành cấu trúc Multi–resolution octree để hiển thị trong Potree. Tác giả sử dụng máy chủ ảo để trực quan hóa khu vực và chia sẻ cho các người dùng khác để truy cập. Người dùng có thể sử dụng các chức năng để đo lường các thông số và xem các thông tin của mỗi điểm trực tiếp thông qua ứng dụng. Cuối cùng là một vài ưu nhược điểm được tác giả đúc kết từ việc sử dụng Potree. Tác giả kiến nghị kết hợp thêm dữ liệu bản đồ 2D và WebGIS để cung cấp đầy đủ thông tin cần thiết đến cho người dùng nhằm giúp cho việc ra quyết định dễ dàng hơn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.N.V., N.H.Đ.; Điều tra, khảo sát, phân tích số liệu: C.M.Q., P.N.A.; Viết bản thảo bài báo: C.M.Q., P.N.A.; Chỉnh sửa bài báo: P.N.V., N.H.Đ.

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. Department of Economic and Social Affairs – Population Division. World Urbanization Prospects The 2018 Revision. United Nations, New York, 2019.
2. United Nations, United Nations Sustainable Development Goal 11 (Sustainable Cities and Communities), [Online]. Available: https://sdgs.un.org/goals/goal11. [Accessed 15 August 2020].
3. Fernandez–Anez, V.; Fernández–Güell, J.M.; Giffinger, R. Smart City implementation and discourses: An integrated conceptual model. The case of Vienna. *Cities* **2018***, 78(1)*, 4–16.
4. Lamsfus, C.; Martín, D.; Alzua–Sorzabal A.; Torres–Manzanera, E. Smart Tourism Destinations: An Extended Conception of Smart Cities Focusing on Human Mobility. *Inf. Commun. Technol. Tourism*. **2015**, 363–375.
5. Zhang, X.; Zhu, Q.; Wang, J. 3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design. *Assoc. Chin. Professionals Geog. Inf. Sys.* **2004***, 10*, 82–86.
6. Magarotto M.; Costa, M. F.; Tenedório, J. A.; Silva, C. P.; Pontes, T.L.M. Methodology for the development of 3D GIS models in the Coastal Zone. *J. Coastal Rs.* **2014**, *70*, 479–484.
7. Wang, W.; Lv, Z.; Li, X.; Xu, W.; Zhang, B.; Zhang, X. Virtual Reality Based GIS Analysis Platform. International Conference on Neural Information Processing 22nd, Istanbul, Turkey, 2015.
8. Sketchfab, 2012. [Online]. Available: https://sketchfab.com/.
9. Schütz, M. Potree: Rendering Large Point Clouds in Web Browsers. TU Wien, Vienna, Autria, 2015.
10. Carrivick, J.L.; Smith, M.W.; Quincey, D.J. Structure from Motion in the Geosciences, Wiley–Blackwell, 2016.
11. Pavlis, T.L.; Mason, K.A. The New World of 3D Geologic Mapping. *GSA Today* **2017***, 27(9)*, 4–10.
12. Nieminski, N. M.; Graham, S. A. Modeling Stratigraphic Architecture Using Small Unmanned Aerial Vehicles and Photogrammetry: Examples From the Miocene East Coast Basin, New Zealand. *J. Sediment. Res.* **2017***, 87(2),* 126–132.
13. Battersby, S. E.; Finn, M. P.; Usery, E. L.; Yamamoto, K. H. Implications of Web Mercator and Cartographica*. Int. J. Geog. Inf. Geovisualization* **2014***, 49(2)*, 85–101.
14. European Organization for the Safety of Air Navigation and Institute of Geodesy and Navigation, WGS 84 Implementation Manual, 1998.

15. Wimmer, M.; Scheiblauer, C. Instant Points: Fast Rendering of Unprocessed Point Clouds, Proceedings Symposium on Point–Based Graphics, Boston, USA, 2006.
16. Martinez–Rubi, O.; Verhoeven, S.; Meersbergen, M.V.; Schũtz, M.; Oosterom, P. V.; Tijssen, R.G.A.T. Taming the beast: Free and open–source massive point cloud web visualization. Capturing Reality, Salzburg, Austria, 2015.
17. Schütz, M. PotreeConverter. [Online]. Available: https://github.com/potree/PotreeConverter. [Accessed 20 05 2021].
18. Schüt, M.Z. PotreeConverter – Uniform Partitioning of Point Cloud Data into an Octree.
19. Snavely, K.N. Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections, Washington: University of Washington Seattle 2008, WA, USA ©2009.
20. Pix4D Development Team, Pix4D 2011. [Online]. Available: https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper–photogrammetry–software. [Accessed 20 06 2021].

Visualize 3D point cloud data online on potree platform for design work

Phan Nguyen Viet[1*], Chung Minh Quan[1], Phung Ngoc Anh[1], Nguyen Huu Duc[2]

[1] Hop Nhat Bach Viet co., ltd; viet@bachvietunited.com; anh.phung@bachvietunited.com; quan.chung@bachvietunited.com
[2] Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment; nhduc@hcmunre.edu.vn

Abstract: Unmanned aerial vehicles (UAVs) are increasingly being used. Even small UAVs can provide valuable data like 3D Point Cloud for surveying dangerous and inaccessible areas. 3D point cloud data offers new opportunities to present information and analysis about objects in design and planning activities. However, accessing and retrieving 3D point cloud data types is still limited and complicated in practice. With the development of WebGL technology, building a 3D graphics platform that connects users becomes easier. The paper presents a method to represent and customize 3D point cloud to the web through the open–source platform Potree. This solution has brought excellent benefits to users because it helps to interact online, multi–device, and visually for planning and landscape design.

Keywords: Unmanned aerial vehicles; UAVs; Potree; 3D point cloud; WebGL.