

Đánh giá độ chính xác khi xây dựng mô hình số hóa đối tượng và địa hình bằng phương pháp quét laser mặt đất phục vụ giảng dạy Công nghệ Lidar

Trần Thị Thu Trang*, Phạm Thị Thu Hương*, Nguyễn Thị Lệ Hằng**

*ThS, ** TS. Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Received: 5/11/2024; Accepted: 11/11/2024; Published: 18/11/2024

Abstract: This article evaluates the accuracy of constructing digital models of objects and terrain using ground-based laser scanning methods. The study shows that errors in the vectorization process of objects depend on the divergence of the laser beam. The scanners are classified into two groups based on this divergence, which affects the accuracy of terrain map construction. The results indicate significant differences in the accuracy of 3D models constructed from ground laser scan data across various types of scanners. The accuracy of 3D models is influenced by various factors and measurement errors. Experimental results show that the errors in constructing 3D models range from one to seven times the standard error of the measurement results, depending on the scanning mode and other factors.

Keywords: Ground-based laser scanning, 3D models, TIN, Mesh, NURBS, errors.

1. Đặt vấn đề

Máy quét 3D là thiết bị sử dụng công nghệ quét để thu thập thông tin về hình dạng và cấu trúc của các đối tượng trong không gian ba chiều. Điều này cho phép tạo ra mô hình số hóa 3D của các vật thể. Ngày nay thiết bị quét 3D được đưa vào giảng dạy trong các trường đại học ngành Kỹ thuật trắc địa – bản đồ và một số chuyên ngành kỹ thuật khác. Với các ưu điểm vượt trội về tốc độ và hiệu suất, khả năng tự động hóa, ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực khác nhau như quản lý kiến trúc và xây dựng, công nghiệp sản xuất, nghệ thuật và văn hóa, ... Trong nghiên cứu, giảng dạy về máy quét laser cần chú ý đến phân tích các phương pháp đánh giá độ chính xác kết quả đo đạc và xây dựng mô hình. Bài báo này đánh giá độ chính xác khi xây dựng mô hình số hóa đối tượng và địa hình bằng phương pháp quét laser mặt đất.

2. Nội dung nghiên cứu

Các nguyên tắc chung trong đánh giá độ chính xác khi xây dựng mô hình số hóa đối tượng và địa hình.

Một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến sai số tổng hợp khi lập bản đồ địa hình sử dụng công nghệ quét laser mặt đất là sai số vector hóa đối tượng. Về tổng quát, sai số vị trí mặt bằng của các điểm địa hình trên bản đồ được tạo ra từ dữ liệu quét laser mặt đất có thể được biểu diễn như một hàm phụ thuộc vào độ phân kỳ của tia laser từ máy quét:

$$m_r = k \cdot f(\Psi) \quad (1)$$

Do tất cả các phần mềm để lập bản đồ địa hình từ

dữ liệu quét laser mặt đất đều hỗ trợ chế độ tương tác để vẽ các đối tượng, phương pháp hiệu quả nhất để xác định hệ số k trong biểu thức (1) là so sánh các mô hình địa hình do nhiều người thực hiện từ cùng một bộ dữ liệu quét. Trong hình 2.1 các dữ liệu quét laser được sử dụng được thu thập từ các máy quét: Riegl LMS-Z210, LMS-Z360, LMS-Z420i, Leica C10.

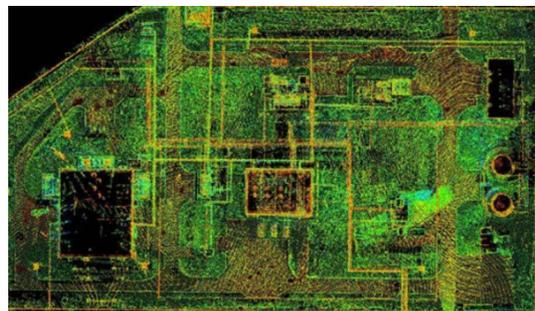
Trong đó:

$\left(m_r/\Psi\right)_{b_1}$ là giá trị trung bình được tính cho các

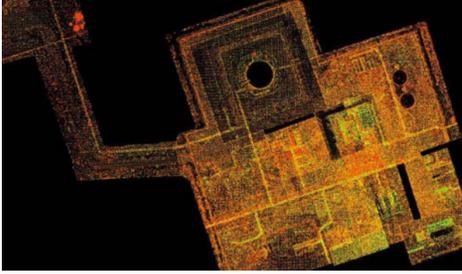
máy quét có độ phân kỳ của tia laser $\Psi < 1$ mrad (như Riegl VZ400, Leica C10, Leica Scan2, Mensi GS200, LMS Z420)

$\left(m_r/\Psi\right)_{b_2}$ là giá trị trung bình được tính cho các

máy quét có độ phân kỳ của tia laser $\Psi > 1$ mrad (như Riegl LMS Z210, Riegl LMS Z360).



Riegl LMS-Z420i



HJIC Leica C10

Hình 2.1. Dữ liệu thu được từ các máy quét khác nhau, dùng để nghiên cứu độ chính xác của quá trình vector hóa mô hình điểm nhằm tạo bản đồ địa hình

Các đối tượng trong hình 2.1 được thực hiện bởi những người có chuyên môn với kinh nghiệm khác nhau. Các đối tượng được chọn để vector hóa là những đối tượng dễ nhận biết rõ ràng trên các mô hình điểm, bao gồm: đường ống, tòa nhà, tâm của giếng, các trụ đỡ đường ống, và giá đỡ cáp. Trong mỗi khu vực khảo sát, tọa độ của khoảng 100 điểm kiểm tra đã được xác định. Sai số trung phương trong việc hiển thị các đối tượng trên bản đồ, dựa trên dữ liệu quét laser mặt đất từ các máy quét khác nhau, được trình bày trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Sai số trung phương trong quá trình vector hóa các mô hình điểm thu được từ các máy quét khác nhau

Loại máy quét	m_x	m_y	m_L	Ψ	m_L/Ψ	$\left(\frac{m_L}{\Psi}\right)_i$	$\left(\frac{m_L}{\Psi}\right)_i$	$\left(\frac{m_L}{\Psi}\right)_{b_1}$	$\left(\frac{m_L}{\Psi}\right)_{b_2}$
	m	m	m	mrاد	m/mrad	m/mrad	m/mrad	%	%
Riegl VZ400	0,026	0,024	0,0359	0,30	0,11972	-0,0089	-	-6,90	-
Leica C10	0,014	0,011	0,0175	0,14	0,12502	-0,0036	-	-2,77	-
Leica Scan2	0,011	0,011	0,0159	0,12	0,13237	0,0038	-	2,95	-
Mensi GS200	0,006	0,006	0,0081	0,06	0,13558	0,0070	-	5,44	-
LMS Z420	0,022	0,024	0,0326	0,25	0,13023	0,0016	0,0008	1,28	-
Riegl LMS3,00 Z360	0,024	0,024	0,0340	2,00	0,01691	-	-0,0008	-	5,03
Riegl LMS Z210	0,033	0,032	0,0460	3,00	0,01529	-	-	-	-5,03
					$\left(\frac{m_L}{\Psi}\right)_{b_1}$	0,12858			
					$\left(\frac{m_L}{\Psi}\right)_{b_2}$	0,01610			

Từ bảng 2.1, có thể thấy rằng độ chính xác của việc vẽ đối tượng từ các mô hình điểm, được tạo ra

bởi các máy quét có độ phân kỳ laser khác nhau, khác biệt đáng kể. Dựa trên các kết quả thu được từ quá trình quét laser mặt đất (LMS), có thể phân loại các máy quét thành hai nhóm độc lập sau: (1) Nhóm các máy quét laser có độ phân kỳ của tia laser $\Psi < 1$ mrad; (2) Nhóm các máy quét laser có $\Psi > 1$ mrad.

Với kết quả thực nghiệm thể hiện trong bảng 2.1 tính được giá trị của $\frac{m_L}{\Psi}$ mrad, các biểu thức ước

lượng độ chính xác vị trí mặt bằng của các đối tượng trên bản đồ địa hình được tạo ra từ dữ liệu máy quét laser mặt đất.

Trong trường hợp sử dụng máy quét có độ phân kỳ của tia laser $\Psi < 1$ mrad

$$m_L = 0,12858 \cdot \Psi \quad (2)$$

Trong trường hợp sử dụng máy quét có độ phân kỳ của tia laser $\Psi > 1$ mrad

$$m_L = 0,01610 \cdot \Psi \quad (3)$$

Biểu thức (2) và (3) dùng để ước lượng độ chính xác của quá trình vector hóa mô hình điểm khi tạo bản đồ địa hình theo cơ sở lý thuyết của công thức (1).

Nguyên tắc chung để đánh giá độ chính xác khi xây dựng các mô hình số hóa 3D của đối tượng và địa hình. Các mô hình số hóa 3D của đối tượng và địa hình có thể được xây dựng từ dữ liệu LMS bằng cách sử dụng sau: (1) Các bề mặt TIN, Mesh, NURBS; (2) Các hình học cơ bản và khối (như cầu, nón, mặt phẳng, rãnh chữ U, dầm chữ I, v.v.).

Độ chính xác khi xây dựng các mô hình 3D của đối tượng dựa trên các bề mặt TIN, Mesh, NURBS, nếu thỏa mãn các điều kiện của lý thuyết Kotelnikov-Shannon, được đặc trưng bởi sai số tính theo công thức:

$$m_2 = m_{dh} + m_{do} \quad (3)$$

Trong đó m_{dh} - sai số trung phương của định hướng ngoài; m_{do} - sai số trung phương xác định tọa độ điểm đo của mô hình, được coi là ảnh hưởng sai số của thiết bị máy quét laser do chịu ảnh hưởng của môi trường và các yếu tố đối tượng đo.

Khi thực hiện các công việc thực tế, việc đảm bảo mật độ dày đặc của mô hình điểm là khó khả thi. Điều này được giải thích như sau:

- Để xây dựng các mô hình sử dụng toàn bộ tập hợp điểm với khối lượng dữ liệu lớn, và để hiển thị các mô hình này một cách động (xoay, di chuyển, thu phóng), cần một lượng lớn thời gian thao tác máy móc. Vì vậy, việc

giải quyết các bài toán ứng dụng dựa trên các mô hình 3D đã tạo ra là một quá trình phức tạp, tốn thời gian. Trong thực tế, việc xây dựng các bề mặt TIN, Mesh, NURBS thường được thực hiện trên các mô hình giảm mật độ, nhưng vẫn bảo toàn các đường cấu trúc của đối tượng.

Việc thiết lập công thức đánh giá độ chính xác khi xây dựng mô hình 3D của đối tượng sử dụng bề mặt TIN, Mesh, NURBS là một nhiệm vụ phức tạp, bởi sai số trong quá trình mô hình hóa 3D phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm:

- (1) Độ gián đoạn của mô hình điểm được sử dụng để xây dựng bề mặt TIN, Mesh, NURBS;
- (2) Mức độ phân tán của các gradient trong các hàm mô tả bề mặt;
- (3) Sai số đo lường tọa độ của từng điểm cụ thể;
- (4) Độ lệch của điểm so với vị trí của đường cấu trúc;
- (5) Ảnh hưởng ngẫu nhiên khi tổng quát hóa mô hình 3D đã xây dựng.

Phân tích các kết quả xử lý từ một lượng lớn dữ liệu quét laser mặt đất trong thực tế, cũng như các nghiên cứu thực nghiệm, cho thấy rằng sai số trong việc xây dựng mô hình 3D bằng bề mặt TIN, Mesh, NURBS dao động trong khoảng từ m_{do} đến $7m_{do}$, trong đó m_{do} là sai số trung phương của một lần đo đơn lẻ bằng máy quét.

Qua đánh giá độ chính xác khi xây dựng mô hình 3D thực tế sử dụng bề mặt TIN, Mesh, NURBS, việc sử dụng các phương pháp mô hình hóa toán học sẽ hợp lý hơn.

Độ chính xác khi xây dựng mô hình 3D của địa hình được mô tả tương tự như độ chính xác trong việc xây dựng các mô hình 3D của đối tượng, sử dụng các bề mặt TIN, Mesh, NURBS.

Khi xây dựng mô hình 3D của đối tượng bằng cách sử dụng các hình học cơ bản và khối, có ba chế độ được áp dụng: (1) Chế độ tự động; (2) Chế độ bán tự động; (3) Chế độ tương tác.

Độ chính xác khi xây dựng mô hình 3D bằng các hình học cơ bản và khối phụ thuộc vào các yếu tố sau: (1) Sai lệch ngẫu nhiên của các đối tượng so với mô hình toán học lý tưởng; (2) Độ gián đoạn trong các phép đo bằng máy quét laser mặt đất; (3) Độ chính xác của phép đo đơn lẻ bằng máy quét; (4) Sai số do con người điều khiển khi sử dụng chế độ bán tự động và tương tác.

Phân tích kết quả xử lý dữ liệu quét laser mặt đất trong thực tế công việc cho thấy rằng, để ước lượng độ chính xác khi xây dựng các mô hình 3D của đối tượng, có thể sử dụng các biểu thức tương tự như các công thức (2) và (3).

Trong trường hợp sử dụng máy quét có độ phân kỳ của tia laser $\Psi > 1$ mrad

$$m_L = 0,01610 \cdot k \cdot \Psi \quad (4)$$

Trong trường hợp sử dụng máy quét có độ phân kỳ của tia laser $\Psi < 1$ mrad

$$m_L = 0,12499 \cdot k \cdot \Psi \quad (5)$$

Trong đó k là hệ số phụ thuộc vào lựa chọn chế độ quét laser 3D.

Dựa trên ước lượng hậu nghiệm về độ chính xác trong việc mô hình hóa các đối tượng khác nhau từ dữ liệu LMS, các giá trị hệ số đã được xác định như sau: (1) Chế độ tương tác: $k=(0,95-1,0)$; (2) Chế độ bán tự động: $k=(0,70-0,85)$; (3) Chế độ tự động: $k=(0,30-0,70)$.

Bằng cách sử dụng các biểu thức (4) và (5), có thể thực hiện ước lượng độ chính xác khi xây dựng mô hình 3D sử dụng các hình khối và hình học cơ bản.

3. Kết luận

Trong bài viết đã đánh giá độ chính xác khi xây dựng mô hình số hóa đối tượng và địa hình bằng phương pháp quét laser mặt đất. Nghiên cứu chỉ ra rằng độ phân kỳ của tia laser có ảnh hưởng lớn đến sai số trong quá trình vector hóa đối tượng, điều này ảnh hưởng trực tiếp đến sai số tổng hợp trong việc lập bản đồ địa hình. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ chính xác của các mô hình 3D xây dựng từ dữ liệu quét laser có sự khác biệt rõ rệt giữa các loại máy quét. Các yếu tố như chế độ quét, mật độ điểm và độ chính xác của thiết bị đo đều đóng góp vào độ chính xác cuối cùng của mô hình. Kết quả thực nghiệm cho thấy sai số trong việc xây dựng mô hình 3D có thể dao động từ một đến bảy lần sai số trung phương của kết quả đo, điều này nhấn mạnh sự phức tạp và sự biến động của quá trình mô hình hóa.

Tài liệu tham khảo

1. Anikushkin, M. N. (2005), *Hệ thống quét laser mặt đất. Kinh nghiệm làm việc*, Tạp chí Geoprofi.– Số 1. – Tr. 49–50.
2. Batrakov, S. I. (1988), *Mạch điện và tín hiệu vô tuyến*, NXB Đại học trang 448
3. Grunin, A. G. (2003), *Hệ thống quét laser mặt đất*, Tạp chí Geoprofi, số 2. – Tr. 23.
4. Komissarov, A. V., Shirokova, T. A., Komissarov, A. V., Egorchenkova, E. A., Korochenko N.S, (2012), *Đánh giá tiên nghiệm độ chính xác khi xây dựng mô hình số hóa địa hình và địa vật từ dữ liệu quét laser mặt đất*, Tạp chí Kỹ thuật khảo sát. Số 12. – Tr. 58–60.
5. Komissarov, A. V. (2004), *Nghiên cứu độ chính xác của các máy quét laser mặt đất, tạp chí hội thảo: Các vấn đề hiện đại của khoa học kỹ thuật "Tiềm năng trí tuệ của Siberia"*. Ch. 3. – Novosibirsk, Tr. 104.