

ĐÁNH GIÁ TIỀN NGHIỆM VỀ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA KẾT QUẢ QUÉT LASER MẶT ĐẤT PHỤC VỤ GIẢNG DẠY HỌC PHẦN CÔNG NGHỆ LIDAR VÀ BẢN ĐỒ HỌC HIỆN ĐẠI

Nguyễn Xuân Bắc, Nguyễn Thị Thúy Hạnh, Quách Thị Chúc
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp xác định sai số trung phương trong quá trình quét laser mặt đất để tạo ra mô hình số địa hình. Sai số này liên quan đến sai số trong việc định hướng ngoại vi của các bản quét, sai số trong việc xác định tọa độ mặt bằng và độ cao của các điểm quét. Các yếu tố gây sai số bao gồm thiết bị đo, môi trường và các mốc định vị. Phương pháp trực tiếp định hướng ngoại vi cung cấp độ chính xác cao hơn so với phương pháp phân tích, nhưng yêu cầu có thiết bị quét ổn định. Kết quả chỉ ra rằng độ chính xác quét laser mặt đất phụ thuộc vào sai số đo góc và khoảng cách, với các yếu tố ảnh hưởng đến tọa độ các điểm quét.

Từ khóa: sai số, quét laser mặt đất, tọa độ, định hướng ngoại vi, độ chính xác.

A PRIORI ASSESSMENT OF THE ACCURACY OF GROUND LASER SCANNING RESULTS FOR TEACHING THE LIDAR TECHNOLOGY AND MODERN MAPPING COURSE

Nguyen Xuan Bac, Nguyen Thi Thuy Hanh, Quach Thi Chuc
Hanoi University of Natural Resources and Environment

Abstract: The article presents the method for determining the root mean square error in ground laser scanning to create digital terrain models. This error is related to the misalignment in the external orientation of the scans and errors in determining the coordinates and elevation of the scanned points. Contributing factors to the error include measurement devices, the environment, and reference points. The direct external orientation method provides higher accuracy than the analytical method but requires stable scanning equipment. The results indicate that the accuracy of ground laser scanning depends on the errors in angle and distance measurements, which affect the coordinates of the scanned points.

Keywords: Error, ground laser scanning, coordinates, external orientation, accuracy.

Nhận bài: 12/10/2024

Phản biện: 02/12/2024

Duyệt đăng: 06/12/2024

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Máy quét 3D là một 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, từ đó tạo ra mô hình số hóa 3D của vật thể. Hiện nay, thiết bị quét 3D đã được đưa vào giảng dạy trong các trường đại học, đặc biệt là các ngành Kỹ thuật trắc địa – bản đồ và các chuyên ngành kỹ thuật liên quan. Với những ưu điểm nổi bật về tốc độ, hiệu suất, khả năng tự động hóa và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như quản lý kiến trúc và xây dựng, công nghiệp sản xuất, nghệ thuật và văn hóa, máy quét 3D ngày càng trở nên phổ biến. Trong nghiên cứu và giảng dạy về máy quét laser, việc phân tích các phương pháp đánh giá độ chính xác của kết quả đo đạc và xây dựng mô hình là rất quan trọng. Trong bài báo này nhằm đánh giá tiên nghiệm độ chính xác của kết quả quét laser

mặt đất, từ đó đưa ra những nhận định về các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác trong quá trình đo đạc và mô phỏng.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Kết quả của quét laser mặt đất là một tập hợp các điểm có tọa độ không gian đã biết, sau đó được chuyển đổi thành một hệ tọa độ có thứ bậc cao hơn.

Sai số trung phương tổng thể trong việc xác định tọa độ mặt bằng và độ cao của các điểm trong mô hình số của địa hình, được tạo ra bằng phương pháp quét laser mặt đất, có thể được tính bằng công thức sau:

$$m^2 = m_s^2 + m_q^2 + m_h^2 + m_o^2 \quad (1)$$

Trong đó:

m_s, m_q là sai số trung phương của tọa độ các điểm trong mô hình, gây ra bởi sai số trong việc

tạo lập hệ thống cơ sở và quan trắc mặt bằng, độ cao cho quá trình quét. Độ lớn phụ thuộc vào độ chính xác trong việc xác định tọa độ của các mốc chuyên dụng (điểm quan trắc), được sử dụng để thực hiện định hướng ngoại vi của các bản quét.

m_{dh} là sai số trung phương, do sai số trong định hướng ngoại vi của các bản quét gây ra;

m_{do} là sai số trung phương trong việc xác định tọa độ các điểm của mô hình, bị ảnh hưởng bởi sai số dụng cụ của máy quét, môi trường bên ngoài và các đặc tính đo lường của đối tượng được quét.

Công thức (1) áp dụng cho trường hợp các yếu tố định hướng ngoại vi của các bản quét được xác định bằng phương pháp phân tích. Khi sử dụng phương pháp trực tiếp, sai số mqđ sẽ không xuất hiện.

Hiện nay, hệ cơ sở mặt bằng-độ cao trong quét laser mặt đất thường được tạo ra bằng cách sử dụng thiết bị định vị vệ tinh hoặc sử dụng các điểm của mạng lưới tọa độ, độ cao quốc gia. Trong một số trường hợp, lưới đường chuyên được thiết lập bằng máy máy toàn đạc điện tử.

Việc chuẩn bị hệ cơ sở mặt bằng-độ cao làm việc trong quét laser mặt đất được thực hiện bằng cách sử dụng máy toàn đạc điện tử. Do đó, sai số trung phương khi tạo ra hệ cơ sở này có thể được biểu diễn bằng công thức:

$$m_{XY,qt}^2 = m_{rt}^2 + m_{dh}^2 + m_{do}^2 \quad (2)$$

$$m_{H,qt}^2 = m_h^2 + m_{do}^2 \quad (3)$$

Trong đó:

- $m_{XY,qt}$ và $m_{H,qt}$ sai số trung phương trong việc xác định tọa độ mặt bằng và độ cao của các điểm quan trắc trong hệ cơ sở đo đạc tương ứng;

- m_{rt} và m_{dh} sai số trung phương do sai số khi định tâm và định hướng máy toàn đạc gây ra, tương ứng;

- m_h sai số trung phương khi xác định độ cao của thiết bị;

- m_{do} sai số trung phương khi xác định tọa độ các điểm trong hệ cơ sở, bị ảnh hưởng bởi sai số dụng cụ của máy toàn đạc và tác động của môi trường bên ngoài.

Sai số định tâm của các máy toàn đạc điện tử hiện đại, được trang bị bù nghiêng và thiết bị định tâm bằng laser, là 1,5 mm. Sai số xác định độ cao của thiết bị cũng là 1,5 mm. Sai số định hướng của máy toàn đạc được xác định bởi độ chính xác của phép đo góc. Đối với hầu hết các máy toàn đạc hiện đại sử dụng trong đo đạc bản đồ, sai số đo góc không vượt quá 5". Với khoảng cách đến

điểm đo không quá 150 m, điều này dẫn đến sai số về vị trí không gian của điểm khoảng 4 mm. Độ chính xác xác định tọa độ mặt bằng của các mốc đặc biệt, khi sử dụng máy toàn đạc hoạt động ở chế độ không phản xạ, thường là 3 mm ± 2 mm/km. Do đó: sai số trung phương trong việc xác định tọa độ mặt bằng của các điểm trong hệ cơ sở là 5 mm, sai số trung phương xác định độ cao là 4 mm.

Sai số trung phương của việc định hướng ngoại vi các bản quét phụ thuộc vào số lượng, hình học sắp xếp của các mốc đặc biệt và khoảng cách từ các mốc này đến máy quét. Chúng ta sẽ chỉ ra ảnh hưởng của sai số từ các yếu tố định hướng ngoại vi của các bản quét đến tổng sai số trong việc xác định tọa độ các điểm của đối tượng được quét. Để làm điều này, ta sẽ lấy ví phân các biểu thức theo các yếu tố định hướng ngoại vi. Khi đó, sai số trung phương của việc xác định tọa độ Xng của điểm thuộc đối tượng sẽ được xác định bằng công thức sau:

$$m_{Xng}^2 = m_{X_0}^2 + \left[\left(\frac{\partial a_1}{\partial \varepsilon} \right)^2 m_\varepsilon^2 + \left(\frac{\partial a_1}{\partial \eta} \right)^2 m_\eta^2 + \left(\frac{\partial a_1}{\partial \xi} \right)^2 m_\xi^2 \right] X^2 + \left[\left(\frac{\partial a_2}{\partial \varepsilon} \right)^2 m_\varepsilon^2 + \left(\frac{\partial a_2}{\partial \eta} \right)^2 m_\eta^2 + \left(\frac{\partial a_2}{\partial \xi} \right)^2 m_\xi^2 \right] Y^2 + \left[\left(\frac{\partial a_3}{\partial \varepsilon} \right)^2 m_\varepsilon^2 + \left(\frac{\partial a_3}{\partial \eta} \right)^2 m_\eta^2 + \left(\frac{\partial a_3}{\partial \xi} \right)^2 m_\xi^2 \right] Z^2$$

trong đó $\left(\frac{\partial a_1}{\partial \varepsilon} \right), \left(\frac{\partial a_1}{\partial \eta} \right), \left(\frac{\partial a_1}{\partial \xi} \right), \dots, \left(\frac{\partial a_3}{\partial \xi} \right)$

là các đạo hàm riêng theo hướng cosin theo các yếu tố định hướng ngoại vi của bản quét ε, η, ξ .

Tương tự, có thể nhận được các công thức biểu diễn sai số trung phương của m_{Yng} và m_{Zng} . Vì các yếu tố góc định hướng ngoại vi của các bản quét ε và η là rất nhỏ, để đơn giản hóa việc phân tích công thức, ta giả sử rằng $\cos \varepsilon \approx \cos \eta \approx 1$, $\sin \varepsilon \approx \varepsilon$ và $\sin \eta \approx \eta$. Với các giả định trên, sau khi thực hiện một số phép biến đổi, công thức phụ thuộc của sai số trong việc xác định tọa độ của điểm mô hình vào độ chính xác của định hướng ngoại vi các bản quét sẽ có dạng:

$$\begin{cases} m_{Xng}^2 = m_{X_0}^2 + m_\varepsilon^2 Y^2 + m_\xi^2 Z^2 \\ m_{Yng}^2 = m_{Y_0}^2 + m_\varepsilon^2 X^2 + m_\eta^2 Z^2 \\ m_{Zng}^2 = m_{Z_0}^2 + m_\varepsilon^2 X^2 + m_\eta^2 Y^2 \end{cases} \quad (5)$$

Thay thế các giá trị sai số trong việc xác định

các yếu tố tuyến tính và góc của định hướng ngoại vi các bản quét bằng phương pháp trực tiếp và phân tích vào biểu thức (5), với giả định khoảng cách đến điểm đo là 150 m (dựa trên kinh nghiệm thực hiện các công việc với việc sử dụng máy quét laser mặt đất), ta sẽ nhận được sai số trung phương trong việc xác định tọa độ mặt bằng mX, mY và độ

cao mZ của các điểm quét trên địa hình, như được trình bày trong bảng 2.1. Bảng 2.1 cho thấy rằng phương pháp trực tiếp định hướng ngoại vi các bản quét là chính xác. Tuy nhiên, độ chính xác trong việc xác định các yếu tố tuyến tính của định hướng ngoại vi các bản quét bằng phương pháp phân tích lại cao hơn (khoảng 1 mm).

Bảng 2.1. Sai số trung phương trong việc xác định tọa độ các điểm của đối tượng tùy thuộc vào sai số của các yếu tố định hướng ngoại vi của bản quét laser mặt đất

Phương pháp định hướng ngoại	m_x, m	m_y, m	m_{mb}, m	m_z, m
Trực tiếp (phương án 1)	X= 150m, Y= 0m, Z= 0m			
	0,0020	0,0055	0,0058	0,0039
	X= 150m, Y= 0m, Z= 0m			
	0,0055	0,0020	0,0058	0,0039
	X= 106,066m, Y= 106,066m, Z= 0m.			
	0,0041	0,0041	0,0058	0,0039
	X= 75m, Y= 75m, Z= 106,066m			
	0,0035	0,0035	0,0037	0,0049
$m_{x_0} = m_{y_0} = 2,0mm$ $m_{z_0} = 3,5mm$ $m_\varepsilon = m_\eta = 2,5''$ $m_\xi = 7''$	X= 0m, Y= 0m, Z= 150m.			
	0,0027	0,0027	0,0038	0,0035
	Phân tích			
	X= 150m, Y= 0m, Z= 0m.			
	0,0182	0,0183	0,0257	
	X= 0m, Y= 150m, Z= 0m.			
	0,0018	0,0183	0,0257	
	X= 106,066m, Y= 106,066m, Z= 0m.			
0,0129	0,0183	0,0257		
X= 75m, Y= 75m, Z= 106,066m.				
0,0203	0,0287	0,0182		
X= 0m, Y= 0m, Z= 150m.				
0,0257	0,00363	0,0018		
Kết hợp (các yếu tố tuyến tính của định hướng ngoại vi và góc ξ được xác định theo tọa độ của các mốc cơ sở, tức là bằng phương pháp phân tích, còn ε, η tính trực tiếp).	X= 150m, Y= 0m, Z= 0m.			
	0,0182	0,0018	0,0183	0,0025
	X= 0m, Y= 150m, Z= 0m.			
	0,0182	0,0018	0,0183	0,0257
	X= 106,066m, Y= 106,066m, Z= 0m.			
	0,0129	0,0129	0,0183	0,0025
	X= 75m, Y= 75m, Z= 106,066m.			
	0,0093	0,0093	0,0132	0,0022
X= 0m, Y= 0m, Z= 150m.				
0,0026	0,0026	0,0036	0,0018	
$m_{x_0} = m_{y_0} = 1,8mm$ $m_{z_0} = 1,77mm$ $m_\varepsilon = m_\eta = 2,5''$ $m_\xi = 24,9''$				

Kết quả phân tích cho phép rút ra các kết luận sau:
 Phương pháp trực tiếp định hướng ngoại vi các bản quét là phương pháp ưu tiên, vì nó cung cấp độ chính xác cao hơn và yêu cầu ít công sức hơn. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là khó thực hiện bù góc nghiêng của máy quét khi sử dụng các thiết bị có khối lượng lớn.

Trong các hệ thống quét laser mặt đất, cả hai phương pháp định hướng ngoại vi các bản quét laser mặt đất đều cần được thực hiện. Trong thực tế, có những trường hợp khi quét các đối tượng, góc nghiêng dọc và ngang của máy quét cố định được đặt lớn để loại trừ các "vùng chết" gần máy quét. Trong trường hợp này, phương pháp trực tiếp định hướng ngoại vi các bản quét không thể áp dụng. Tuy nhiên, trong các tình huống khác, khi có thể sử dụng phương pháp này, nó cho phép xác định chính xác hơn các yếu tố góc của định hướng ngoại vi các bản quét laser mặt đất.

Để xác định độ chính xác cuối cùng của

phương pháp quét laser mặt đất, cần xem xét các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của phép đo khoảng cách và góc của máy quét. Các sai số tổng hợp trong xác định tọa độ của các điểm đối tượng quét, liên quan đến độ chính xác dụng cụ của quét laser mặt đất và môi trường.

III. KẾT LUẬN

Nội dung nghiên cứu chỉ ra độ chính xác trong quét laser mặt đất phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm sai số trong việc xác định tọa độ và độ cao của các điểm quét, cũng như các sai số từ quá trình định hướng ngoại vi. Phương pháp định hướng trực tiếp mang lại độ chính xác cao hơn so với phương pháp phân tích, tuy nhiên yêu cầu thiết bị quét ổn định và có khối vừa phải. Để nâng cao độ chính xác của phương pháp quét laser mặt đất cần xem xét sai số từ nhiều nguồn khác nhau, trong đó có sai số từ công cụ đo đạc và ảnh hưởng của môi trường xung quanh, giúp cải thiện kết quả và độ chính xác của mô hình địa hình được tạo ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- A. N. Lobanov, V. B. Dubinovsky, A. I. Sarantsev (1989), *Mô hình phân tích của địa hình và ảnh (ảnh mô hình)*, NXB: M. Nedra, 140 trang.
- Anikushkin, M. N. (2005), *Hệ thống quét laser mặt đất*. Kinh nghiệm làm việc, Tạp chí: Geoprofi.– Số 1. – Tr. 49–50.
- Grunin, A. G. (2003), *Hệ thống quét laser mặt đất*, Tạp chí: Geoprofi, số 2. – Tr. 23.
- I. M. Danilin, E. M. Medvedev, S. R. Melnikov. Krasnoyarsk (2005), *Giáo trình định vị laser đất và rừng*, NXB: Viện Lâm nghiệp V. N. Sukachev SO RAN, 182 trang.
- 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.
- 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.
- Komissarov, A. V. (2005), *Nghiên cứu độ ổn định của hệ thống quét laser Riegl LMS Z-360, Tập luận khoa học của nghiên cứu sinh và các nhà khoa học trẻ tại Học viện Đo đạc Nhà nước Siberia*. Tập 2 Novosibirsk Tr. 62–66.
- V. A. Sereodovich, A. V. Komissarov, D. V. Komissarov, T. A. Shirokova. (2009), *Quét laser mặt đất*, NXB Novosibirsk SGG, 261 tr.