

Phân tích ảnh hưởng của khí quyển bề mặt và độ rung máy đến độ chính xác của máy quét laser mặt đất phục vụ giảng dạy Công nghệ Lidar

Nguyễn Xuân Bắc*

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

Received: 5/11/2023; Accepted: 12/11/2023; Published: 23/11/2023

Abstract: The article describes the negative impact of the atmosphere, especially the lower atmospheric layer, on the measurement accuracy of ground laser scanning systems, including values such as distance, horizontal and vertical angles, intensity, and true color of object surfaces. In evaluating the factors influencing measurements due to the lower atmospheric layer, considerations include phenomena like scattering, intensity reduction, and color variation of object surfaces. Other factors such as vibrations and random fluctuations of electromagnetic waves also affect the accuracy of the scanning process. The study suggests using a formula to calculate the refractive index to optimize measurement conditions.

Keywords: Atmosphere, vibration, Accuracy of angle and distance measurements, Ground scanners, electromagnetic wave.

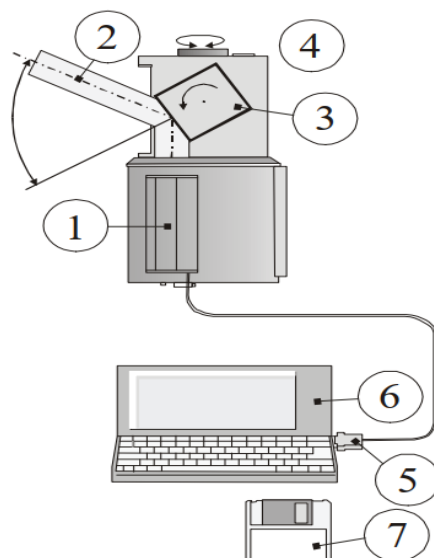
1. Đặt vấn đề

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 yếu tố ảnh hưởng đến kết quả đo đạc. Trong bài báo này tác giả xét đến ảnh hưởng của khí quyển bề mặt đất và độ rung động máy đến sai số kết quả đo.

2. Nội dung nghiên cứu

Các giá trị được đo bằng hệ thống quét laser (Scan lazer) mặt đất

(khoảng cách, góc bằng và góc đứng, cường độ và màu thực của bề mặt vật thể phản xạ tín hiệu) bị ảnh hưởng tiêu cực bởi khí quyển, đặc biệt là tầng khí thấp. Tầng này có sự biến động đáng kể về mật độ không khí, di chuyển và dao động của khối không khí, dẫn đến giảm tốc độ lan truyền của ánh sáng và thay đổi hướng phát ra (hiện tượng khúc xạ), cũng như giảm cường độ của tín hiệu phản xạ và truyền màu không đúng (hiệu ứng “sương mù”) [1,4].



- 1- Bộ phận đo xa bằng laser;
- 2- Bộ phận thu phát của máy dò xa;
- 3- hệ kính của máy quét (gương quét)
- 4- Đầu quét của máy quét;
- 5- Dây cáp kết nối máy quét với máy tính;
- 6- Máy tính chuyên dụng với phần mềm chuyên biệt;
- 7- Ổ ghi

Hình 2.1. Hệ thống quét laser mặt đất

Do ảnh hưởng của việc khúc xạ tia sáng, khối đo khoảng cách bằng quang học đo chiều dài sóng, cho kết quả lớn hơn chiều dài hình học thực. Ngoài ra, khí quyển còn thay đổi các tham số vật lý của bức xạ [1], gây ra:

- Sự suy giảm (suy giảm cường độ), xuất phát từ việc năng lượng sóng bị hấp thụ và phân tán trong khí quyển;

- Sự thay đổi ngẫu nhiên của các tham số sóng, do độ không ổn định của không khí trong khí quyển.

Sự suy giảm của dao động sóng điện từ do tác động của khí quyển là một đặc trưng quan trọng đối với dải quang học được sử dụng trong tất cả các hệ thống lidar của máy quét laser (Scan laser) mặt đất. Ảnh hưởng của khí quyển bề mặt dẫn đến giảm khoảng cách đo đặc hiệu quả của máy quét cũng như độ chính xác về khả năng phản xạ của đối tượng trong quá trình quét laser từ mặt đất.

Các biến động ngẫu nhiên của các tham số sóng điện từ dưới ảnh hưởng của sự nhiễu loạn bao gồm sự dao động của biên độ (cường độ), pha, tần số, cực, hướng phân bố không gian truyền sóng và góc phân kỳ của tia laser. Tác động của những biến động này được thể hiện thông qua việc tăng mật độ phổ gây tăng nhiễu tín hiệu đầu vào của máy thu, dẫn đến sự kém hiệu quả của tỷ lệ “tín hiệu/độ nhiễu” [1]. Hiện tượng biến động này có thể thấy rõ qua việc thực hiện đo đặc trong dải quang. Phương pháp tốt nhất để loại bỏ tác động của sự nhiễu loạn của khí quyển là chọn điều kiện đo lường tối ưu, được biết đến do kết quả thực nghiệm trong lĩnh vực trắc địa bản đồ “thời điểm hình ảnh yên”.

Lỗi trong việc xác định vận tốc ánh sáng chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố. Trong số chúng, yếu tố chính là sai số đáng kể trong việc xác định giá trị tích phân trung bình của hệ số khúc xạ sóng điện từ trên đoạn giữa bộ quét và điểm đối tượng. Bởi vì vận tốc ánh sáng trong chân không hiện đã được đo với sai số tương đối khoảng 10^{-9} , điều này không gây ảnh hưởng đáng kể đến sai số tổng thể trong việc xác định vận tốc ánh sáng trong khí quyển.

Lỗi của chỉ số khúc xạ phụ thuộc vào thành phần phân tán và sai số trong quá trình xác định các thông số khí tượng theo hướng của tia laser. Việc sử dụng các nguồn laser hẹp phổ chất lượng (đặc trưng cho tất cả các phát triển mới trong lĩnh vực đo dải quang học và quét laser) như nguồn tín hiệu cho phép bỏ qua lỗi phân tán [5].

Chỉ số khúc xạ n cho điều kiện cụ thể của môi trường được biểu diễn dưới dạng một hàm mật độ của không khí, để xác định n cần đo đặc áp suất, nhiệt độ và độ ẩm của không khí [10].

Vì nguyên tắc đo khoảng cách của đo dải quang học và hệ thống quét laser mặt đất là tương tự nhau, vì vậy để tính chỉ số khúc xạ của sóng điện từ với các dữ liệu khí tượng khi quét đối tượng, có thể sử dụng công thức [8]:

$$n_R = 1 + \frac{n_G - 1}{1 + \alpha(T + 273,16)} \frac{p}{760} - \frac{55E}{1 + \alpha(T + 273,16)} \cdot 10^{-9} \quad (1)$$

Trong đó α - hằng số khí, bằng $1/273,16$;

p - áp suất khí quyển, tính theo mm cột thủy ngân;

E - độ ẩm tuyệt đối của không khí, tính theo g/cm^3 ;

T - nhiệt độ không khí, tính theo Kelvin;

n_G - chỉ số khúc xạ không khí tiêu chuẩn, tính theo công thức [8]

$$(n_G - 1) \cdot 10^{-7} = 2876,04 + \frac{16,288}{\lambda^2} + \frac{0,136}{\lambda^4} \quad (2)$$

λ - độ dài sóng của nguồn phát;

Tốc độ lan truyền của dao động điện từ trong môi trường đặc (trường hợp riêng trong không khí), như có thể thấy từ các công thức (1), phụ thuộc vào các tính chất vật lý của môi trường và độ dài sóng điện từ. Chỉ số khúc xạ của sóng điện từ trong điều kiện bình thường của môi trường cho một độ dài sóng cụ thể có thể được tính toán bằng công thức [2].

$$(n - 1) \cdot 10^{-8} = A + \frac{B}{C - \sigma^2} + \frac{D}{E - \sigma^2} + \frac{F(G - \sigma)}{K + (G - \sigma)^2} \quad (3)$$

Trong đó A, B, C, D, E, F, G, K - các hệ số được đề xuất theo các nghiên cứu khác nhau.

σ - đại lượng nghịch đảo độ dài sóng trong môi trường chân không, tính theo μ^{-1}

Để giải quyết vấn đề của việc tính toán ảnh hưởng của điều kiện khí quyển đến kết quả đo khoảng cách trên cơ sở sử dụng điện từ trường, nhiều phương pháp khác nhau đã được áp dụng, trong đó phương pháp phân tán để xác định tích phân trung bình của chỉ số khúc xạ được coi là hiệu quả nhất, sử dụng công thức (3). Để thực hiện phương pháp này, thường sử dụng hai bộ phát với các tần số mang khác nhau [6].

Xét theo ý nghĩa vật lý độ lệch hướng ngang là một hàm số của chỉ số khúc xạ của sóng điện từ trong các lớp khác nhau của khí quyển. Hàm số này được mô tả toán học rất phức tạp đối với môi trường khí quyển không đồng nhất. Vì vậy theo thực nghiệm tính toán độ lệch hướng ngang sử dụng công thức

trong đó tính tới các chỉ số tích phân của khí quyển như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm.

Nghiên cứu được thực hiện bởi các chuyên gia trong các lĩnh vực khác nhau [3, 9, 11] chứng minh rằng độ sai lệch lớn trong đo hướng có thể xảy ra trong trường khúc xạ tự nhiên của cấu trúc. Trong một số trường hợp, ảnh hưởng của các trường khúc xạ này có thể đáng kể đến giá trị hướng đo (sai số đến 20'' khi đo góc bằng, khi các tia ánh sáng đi gần cấu trúc ở khoảng cách đến 1,5 mét).

Hiện tượng khúc xạ dọc là một trong những hiện tượng được nghiên cứu nhiều, để tính toán nó cần phải đo nhiệt độ và áp suất. Ảnh hưởng độ rung của hệ thống Lidar với tần số không dưới 50 Hz dẫn đến sai số trong đo góc và đo khoảng cách. Rung động làm cho thiết bị chuyển dịch dọc theo phương đo, cũng như theo mặt cắt ngang và dọc trong các mặt phẳng thẳng đứng và nằm ngang.

Rung động là yếu tố chủ yếu ảnh hưởng đến các kết quả đo lường của thiết bị đo xa, gây ra sự chuyển động hỗn loạn của tia laser so với hướng đã đặt vào điểm quét và dẫn đến các biến động ngẫu nhiên về biên độ và pha. Ảnh hưởng của sự thay đổi ngẫu nhiên về biên độ của tín hiệu do rung cảm biến tương đương với sự tác động của nhiễu nhân tử. Trong nghiên cứu [7], đã lưu ý rằng thành phần nhân tử này có thể dẫn đến độ sai lệch lớn trong đo khoảng cách. Sự biến động pha ngẫu nhiên liên quan đến không đồng nhất về pha của tia phát xạ, và theo kết quả của các nghiên cứu được trình bày trong các công trình [1, 7], nó tạo ra sai số trong khoảng cách đo lường khoảng 1-2 mm.

Do rung lắc, khi thiết bị ở khoảng cách từ 20 đến 30 m so với đối tượng cần quét, sai số đo khoảng cách tăng lên khoảng 40-50% so với sai số khi không có rung. Ở khoảng cách từ 60 đến 70 m, sai số này tăng lên 3-4 lần. Ở khoảng cách 80-90 m, sai số dao động từ 10 đến 15 cm. Ảnh hưởng của rung luôn gây ra sai số trong kết quả đo khoảng cách và nó tỷ lệ thuận với khoảng cách đo được.

Hầu hết các yếu tố được xem xét trong phần này, ảnh hưởng đến độ chính xác của quá trình quét gần như không được xem xét khi thực hiện quá trình quét laser từ mặt đất. Tuy nhiên, như phân tích của tài liệu tham khảo cho thấy, chúng dẫn đến sự giảm đáng kể về các đặc tính hình học của máy quét.

3. Kết luận

Trong nghiên cứu trên các yếu tố ảnh hưởng đến

độ chính xác đo góc và cạnh của máy quét laser, cần xét đến ảnh hưởng của khí quyển bề mặt và độ rung động máy quét, nó tác động trực tiếp đến hiệu quả đo khoảng cách, đo góc của máy quét cũng như độ chính xác về khả năng phản xạ của đối tượng trong quá trình quét laser từ mặt đất.

Độ rung động là yếu tố chủ yếu ảnh hưởng đến các kết quả đo lường của thiết bị quét, gây ra sự chuyển động hỗn loạn của tia laser so với hướng đã đặt vào điểm quét và dẫn đến các biến động ngẫu nhiên về biên độ và pha.

Như vậy khoảng cách, góc quét và cường độ tín hiệu bị ảnh hưởng bởi khí quyển bề mặt, độ rung động và các yếu tố khác. Ảnh hưởng này đặt ra thách thức trong việc duy trì độ chính xác và ổn định trong quá trình đo lường, yêu cầu các phương pháp và điều kiện đo lường phù hợp.

Tài liệu tham khảo

1. Bolsakov V.D. và nnk (1985), *Đo dài vô tuyến trắc địa và điện quang*, NXB: Nedr, tr 303.
2. Galkin Iu.S, R.A. Zakharov, R.A.Tatievian (1997), *Công thức mới về không khí tiêu chuẩn với phổ nhìn thấy và gần dải phổ hồng ngoại*, Tạp chí Trắc địa và Bản đồ số 11, tr. 14-18
3. Iakovlev N.V. (1989) *Trắc địa cao cấp*, NXB: Nedr, tr 445.
4. Kamen X (1982), *Phương pháp điện tử đo khoảng cách trong trắc địa*, NXB: Nedr, tr 132.
5. Mikheev V.S. (1979), *Đo dài điện quang trong trắc địa*, NXB: Nedr, tr 222.
6. Prilepin M.T., A.N. Golubiev *Phương pháp sử dụng thiết bị trắc địa đo khúc xạ*, Tạp chí VINITI, tập 15, tr.37-82
7. Seridovich V.A., Đ.V. Komisarov (2006) *Xây dựng mô hình 3D nhà hát búp bê tỉnh Novosibirsk*, Tạp chí Novosibirsk, tr. 175-178
8. Sudakov C.G. (1975) *Mạng lưới trắc địa cơ sở*, NXB: Nedr, tr 368
9. Khrgian A. Kh (1961) *Câu hỏi về lý thuyết khúc xạ bên sườn*, Tạp chí Trắc địa và ảnh hàng không, số 3, tr 17-22
10. Voronkov N.N., V.S. Plotnikov, E.I. Kalantarov và nnk (1991), *Trắc địa. Thiết bị trắc địa và ảnh số*, NXB: Nedr, tr 429.
11. Ziuzin A.S (1956), *Khúc xạ bên sườn khi đo góc tại các mốc đo đa giác của thành phố*, Tạp chí Trắc địa và Bản đồ số 6, tr. 18-26