

Định hướng tuyệt đối gián tiếp trong công nghệ quét laser mặt đất áp dụng cho công trình dạng tuyến

Phạm Trung Dũng*, Nguyễn Thị Hà, Nguyễn Thị Kim Thanh, Trần Thùy Linh
Trường Đại học Mở - Địa chất

TÓM TẮT

Định hướng tuyệt đối sử dụng để chuyển đổi tọa độ đám mây điểm về hệ tọa độ trắc địa. Trong bài báo này, quy trình của bài toán định hướng tuyệt đối gián tiếp được trình bày thông qua hai bước gồm: (1) ghép nối các đám mây điểm về một hệ tọa độ chung và (2) chuyển tọa độ của đám mây điểm sau khi đã ghép nối về hệ tọa độ trắc địa. Phương pháp định hướng tuyệt đối gián tiếp được áp dụng để chuyển đổi tọa độ đám mây điểm thu được bằng máy quét Faro Focus^{3M} X130 về hệ tọa độ trắc địa dựa trên các điểm khống chế được thành lập bằng máy toàn đạc điện tử Leica TS06 plus. Ảnh hưởng của đồ hình (vị trí và số lượng điểm định hướng mô hình) đến độ chính xác mô hình được so sánh trong bốn phương án. Bài báo này chỉ ra rằng độ lệch theo trục z có thể đạt 1 m nếu các điểm định hướng nằm ở cùng một phía và cùng trên đường thẳng. Ngược lại, khi các điểm định hướng được lựa chọn trải đều trên toàn mô hình (với chỉ tối thiểu 4 điểm) thì độ lệch lớn nhất chỉ khoảng 15 cm. Khi số lượng điểm định hướng tăng lên (với ít nhất 1 điểm cho mỗi trạm máy quét) thì độ lệch lớn nhất khoảng 4 cm. Do đó các điểm định hướng cần được phân bố đồng đều trên toàn bộ đối tượng quét và theo các trục tọa độ và nên chọn ít nhất một điểm định hướng tại mỗi trạm quét. Cần tránh các điểm định hướng ở một phía của mô hình hoặc nằm trên cùng đường thẳng hoặc mặt phẳng. Bài báo là một đóng góp quan trọng cho công tác chuyển đổi tọa độ công trình dạng tuyến được quét bằng máy laser mặt đất về hệ tọa độ trắc địa trên phương diện lựa chọn đồ hình điểm định hướng.

Từ khóa: Máy quét laser mặt đất; định hướng tuyệt đối gián tiếp; công trình dạng tuyến.

1. Tổng quan

Máy quét laser mặt đất (TLS) là một thiết bị cho phép thu thập dữ liệu đám mây điểm (point cloud) nhanh chóng và chính xác. Dữ liệu đám mây điểm của đối tượng quét cần được xác định trong hệ tọa độ tham chiếu (hệ tọa độ trắc địa). Thủ tục để chuyển tọa độ đám mây điểm về hệ tọa độ trắc địa được gọi là định hướng tuyệt đối “georeferencing”. Định hướng tuyệt đối thường dựa vào các điểm khống chế trắc địa được thành lập bởi toàn đạc điện tử hoặc công nghệ định vị vệ tinh (GNSS) tại thực địa. Thông thường, định hướng tuyệt đối có thể được chia thành hai phương pháp cơ bản là định hướng tuyệt đối trực tiếp và gián tiếp.

Phương pháp định hướng tuyệt đối trực tiếp dựa trên các thiết bị phụ trợ như các cảm biến và ống kính để xác định tọa độ và để định hướng ngay khi thu thập dữ liệu. Các thiết bị phụ trợ này thường là loại cảm biến ví dụ như bộ định vị quán tính (IMU), bộ thu dữ liệu GNSS-RTK. Định hướng tuyệt đối cũng có thể đơn giản thực hiện bởi một bộ định tâm quang học và một ống kính ngắm định hướng được gắn trên máy quét (Scaioni 2005). Máy thu GNSS-RTK có thể được sử dụng cho định hướng tuyệt đối trực tiếp trong đó một máy thu được cố định tại tâm của máy quét và máy còn lại tại tâm của điểm định hướng (Altuntas, Karabork et al. 2014). Ngoài ra, Schuhmacher and Böhm (2005) sử dụng la bàn số với bộ định vị vệ tinh giá rẻ để thực hiện thủ tục định hướng tuyệt đối. Định hướng tuyệt đối cũng có thể sử dụng với các máy quét thế hệ mới có tích hợp tính năng của toàn đạc điện tử được biến đổi như máy quét-toàn đạc điện tử. Theo đó các chức năng như định tâm, giao hội nghịch được bổ sung cho phép định hướng trực tiếp khi đo ngoài thực địa (Pham, Nguyen et al. 2022). Ngoài các nghiên cứu trên, định hướng tuyệt đối trực tiếp trong máy quét laser mặt đất có thể tìm trong các tài liệu (Paffenholtz 2012) và (Paffenholtz, Alkhatib et al. 2010). Cùng với sự phát triển về các thiết bị phụ trợ trong định hướng tuyệt đối trực tiếp, phân tích về các nguồn sai số của phương pháp này cũng được đề cập chi tiết trong (Lichti, Gordon et al. 2005), (Reshetyuk 2009), và (Pandžić, Pejić et al. 2017). Mặc dù, phương pháp định hướng tuyệt đối trực tiếp cho phép giảm thời gian xử lý dữ liệu nội nghiệp nhưng việc trang bị thêm các thiết bị có thể làm tăng chi phí giá thành

* Tác giả liên hệ

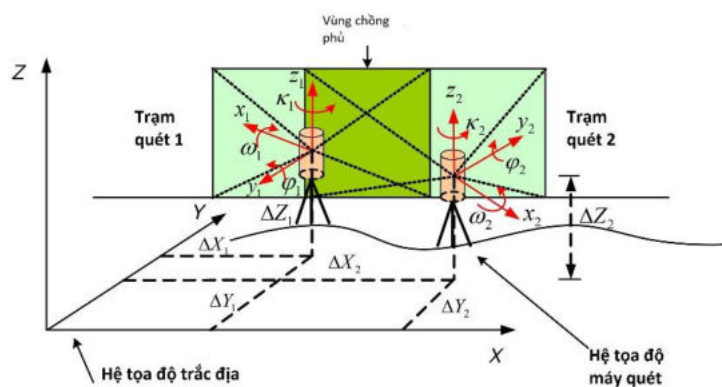
Email: phamtrungdung@humg.edu.vn

(Reshetyuk 2009). Ngoài ra sự khó khăn và thêm thời gian trong việc hiệu chỉnh thiết bị phụ trợ cũng là một nhược điểm chính của định hướng tuyệt đối trực tiếp (Khoshelham and Gorte 2009). Thêm vào đó độ chính xác thấp của phương pháp định hướng tuyệt đối trực tiếp cũng là trở ngại lớn để cân nhắc khi áp dụng phương pháp này (Reshetyuk 2009).

Ngược lại, phương pháp định hướng tuyệt đối gián tiếp có thể cho phép thu thập dữ liệu điểm với độ chính xác cao (Reshetyuk 2009). Nhiều nghiên cứu về phương pháp này có thể tìm trong các tài liệu (Lichti and Gordon 2004), (G 2005), (Tait, Fox et al. 2004), (Bornaz, Lingua et al. 2003), (Schuhmacher and Böhm 2005), và (Mikhail, Bethel et al. 2001). Phương pháp định hướng tuyệt đối gián tiếp có thể được chia thành hai phương pháp sau: phương pháp một bước “one-step approach” và phương pháp hai bước “two-step approach” (Reshetyuk 2006). Phương pháp một bước thực hiện định hướng tuyệt đối độc lập tại mỗi trạm quét với ít nhất ba điểm khống chế. Điều này dẫn tới tăng thời gian thành lập các điểm khống chế trắc địa bởi các phương pháp khác. Tuy vậy, phương pháp một bước không cần sự chồng phủ giữa hai trạm quét nên có thể giảm thời gian quét (Reshetyuk 2009). Phương pháp hai bước dựa trên thủ tục định hướng tương đối của nhiều đám mây điểm tại các trạm quét khác nhau trong một hệ tọa độ chung “common coordinate” và sau đó đám mây điểm này được chuyển về hệ tọa độ trắc địa dựa vào các điểm khống chế trắc địa. Mặc dù cần tối thiểu từ 25-30% độ chồng phủ giữa hai đám mây điểm có thể làm tăng thời gian quét nhưng số lượng điểm khống chế vừa đủ là lợi ích lớn nhất của phương pháp hai bước. Đến nay còn thiếu các nghiên cứu một cách có hệ thống về phương pháp định hướng trực tiếp theo hai bước và ứng dụng nó cho các công trình đặc biệt là công trình dạng tuyến. Chính vì vậy, bài báo này nhằm đánh giá ảnh hưởng của đồ hình đến độ chính xác mô hình và đề xuất phương án hợp lý cho định hướng trực tiếp mô hình áp dụng cho công trình dạng tuyến.

2. Định hướng tuyệt đối gián tiếp

Định hướng tuyệt đối là phép chuyển đổi đám mây điểm từ hệ tọa độ của máy quét về hệ tọa độ trắc địa “geodetic coordinate” dựa trên các điểm khống chế. Để chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ trong không gian 3 chiều cần xác định sáu tham số chuyển đổi. Hình 1 ví dụ về chuyển đổi hệ tọa độ máy quét về hệ tọa độ trắc địa. Nếu hai đám mây điểm được quét bởi cùng một máy quét thì tham số tỉ lệ bằng 1. Do đó, trong kỹ thuật quét laser mặt đất, đám mây điểm có thể chuyển đổi về hệ tọa độ trắc địa bởi sáu tham số bao gồm ba góc xoay (φ , ω , κ) và ba giá trị tọa độ (X , Y , Z). Để xác định sáu tham số này cần ít nhất sáu giá trị tọa độ trong cả hai hệ tọa độ hoặc ba điểm đã biết tọa độ. Những điểm khống chế trắc địa thường được thành lập bởi máy toàn đạc điện tử hoặc máy thu GNSS.



Hình 1. Mối quan hệ giữa hệ tọa độ máy quét, hệ tọa độ trắc địa và sáu tham số chuyển đổi (Reshetyuk 2009)

Định hướng tuyệt đối có thể thực hiện bởi hai phương pháp cơ bản theo quy trình của bài toán một bước “one-step approach” hoặc hai bước “two-step approach”. Phương pháp một bước cho phép chuyển toàn bộ dữ liệu quét về tọa độ trắc địa một cách trực tiếp. Ngược lại phương pháp hai bước cho phép chuyển tọa độ các điểm máy quét về hệ tọa độ trắc địa thông qua hai bước độc lập. Trong khuôn khổ của bài báo này, chỉ có phương pháp hai bước được áp dụng để định hướng tuyệt đối đám mây điểm thu được bởi công nghệ quét laser mặt đất do đó các phần sau đây sẽ chỉ tập trung giới thiệu về phương pháp hai bước.

2.1. Thuật toán định hướng tuyệt đối gián tiếp

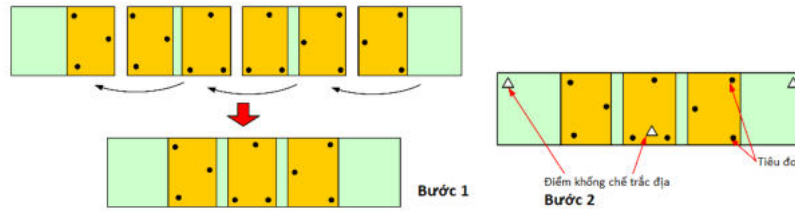
Phương pháp định hướng tuyệt đối hai bước (xem Hình 2) được thực hiện bởi quy trình sau: (1) Bước thứ nhất, đám mây điểm được thu từ nhiều trạm quét được định hướng tương đối trong một hệ tọa độ chung

“common coordinate”. Bài toán định hướng tương đối có thể sử dụng các phương pháp như (i) dựa vào tiêu đo, (ii) điểm địa vật rõ nét, (iii) ghép bề mặt, (iv) dựa vào đối tượng hình học chung hoặc (v) sử dụng kết hợp các phương pháp nêu trên. (2) Bước thứ hai, tọa độ đám mây điểm trong hệ tọa độ chung “common coordinate” sẽ được định hướng tuyệt đối trong hệ tọa độ trắc địa “geodetic coordinate”. Cần ít nhất ba điểm đã biết tọa độ trắc địa để thực hiện việc định hướng tuyệt đối.

Phương trình toán học của phương pháp hai bước có thể được miêu tả như sau: bước thứ nhất, tọa độ đám mây điểm trong hệ tọa độ máy quét “scanner coordinate” X_i được chuyển về hệ tọa độ chung của nhiều trạm quét “common coordinate” X_g theo công thức:

$$X_g = \Delta X_{ig} + R_{ig} X_i \quad (1)$$

với R_{ig} và ΔX_{ig} tương ứng là ma trận xoay và véc tơ chuyển đổi từ hệ tọa độ máy quét về hệ tọa độ chung.



Hình 2. Phương pháp hai bước trong định hướng tuyệt đối trực tiếp (Reshetyuk 2009)

Trong bước thứ hai, tọa độ của đám mây điểm trong hệ tọa độ chung được chuyển về hệ tọa độ trắc địa bởi:

$$X_e = \Delta X_{ge} + R_{ge} X_g \quad (2)$$

với R_{ge} và ΔX_{ge} tương ứng là ma trận xoay và véc tơ chuyển đổi giữa hệ tọa độ chung và hệ tọa độ trắc địa. Thay công thức (1) vào (2) được:

$$X_e = \Delta X_{ge} + R_{ge} (\Delta X_{ig} + R_{ig} X_i) \quad (3)$$

Ma trận xoay là hàm của ba góc xoay ω , ϕ , và κ theo các trục tọa độ x, y, và z tương ứng. Ma trận xoay có thể được tính bởi:

$$R = R_3(\kappa) R_2(\phi) R_1(\omega) \quad (4)$$

với $R_1(\omega)$, $R_2(\phi)$, và $R_3(\kappa)$ là các ma trận xoay quanh trục x, y và z tương ứng.

2.2. Các nguồn sai số trong định hướng tuyệt đối gián tiếp

Như đã trình bày ở trên, định hướng tuyệt đối có thể thực hiện thông qua hai bước. Sau khi đã ghép nối (định hướng tương đối) tọa độ của đám mây điểm chung được chuyển trực tiếp về hệ tọa độ trắc địa bởi công thức (2). Sai số trong định hướng tuyệt đối trực tiếp ảnh hưởng bởi sai số ngẫu nhiên của máy quét và sai số của tham số chuyển đổi. Ma trận hiệp phương sai của tọa độ đám mây điểm trong hệ tọa độ trắc địa có thể xác định bởi công thức (Pandžić, Pejić et al. 2017):

$$C_{X_e} = J_{trans} C_{trans} J_{trans}^T + R_{ie} J C_{int} J^T R_{ie}^T \quad (5)$$

trong đó J_{trans} là ma trận Jacobian (ma trận chứa các phần tử là giá trị đạo hàm bậc nhất của hàm số theo các biến số tương ứng) của tọa độ đám mây điểm trong hệ tọa độ trắc địa tương ứng với các tham số chuyển đổi, J là ma trận Jacobian của tọa độ các điểm đo trong hệ tọa độ máy quét tương ứng với các trị đo (góc bằng, góc đứng và khoảng cách). C_{trans} là ma trận hiệp phương sai của tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ của máy quét và hệ tọa độ trắc địa. C_{int} là ma trận hiệp phương sai bao gồm sai số của các trị đo và sai số

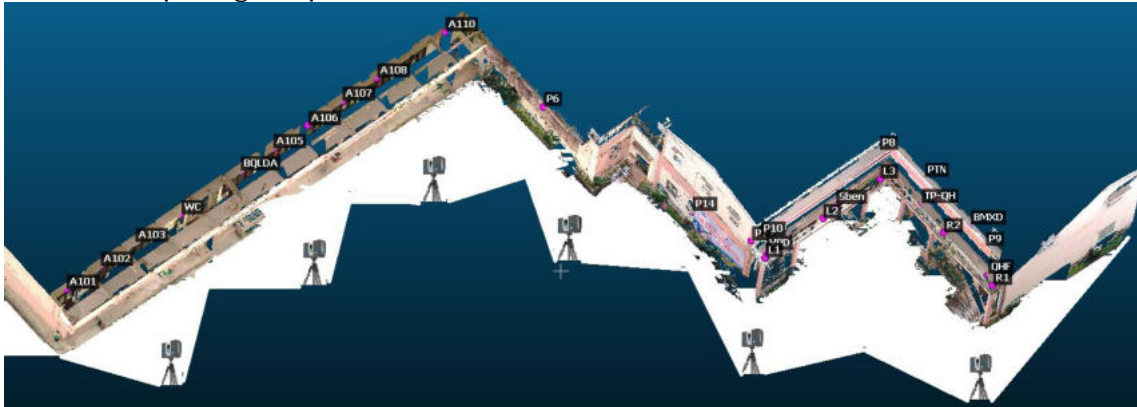
do độ rộng của chùm tia laser (Lichti and Gordon 2004):

$$C_{int} = \text{diag}(\sigma_r^2 \quad \sigma_\varphi^2 + \sigma_{beam}^2 \quad \sigma_\theta^2 + \sigma_{beam}^2) \quad (6)$$

với $\sigma_r^2, \sigma_\varphi^2, \sigma_\theta^2$, and σ_{beam}^2 tương ứng là phương sai của khoảng cách, góc ngang và góc đứng và độ rộng chùm tia.

3. Thực nghiệm

Thực nghiệm nhằm đánh giá ảnh hưởng của phương pháp định hướng tuyệt đối hai bước với độ chính xác của mô hình cho công trình dạng tuyến nhằm ứng dụng cho các công trình thực tế như đường hầm, cầu, tuyến đường ống... Để mô tả cho công trình dạng tuyến, thực nghiệm đã tiến hành quét bề mặt của dãy nhà A (tầng 1) và nhà F (tầng 1 và 2) tại khu A trường Đại học Mở-Địa chất có chiều dài khoảng 120 m. Sử dụng máy quét Faro Focus^{3M} X130, loại máy quét không được trang bị bộ định tâm, với sáu trạm quét như được miêu tả trong Hình 3 để thu nhận dữ liệu bề mặt của đối tượng quét trên. Cần sử dụng sáu trạm quét để đảm bảo độ chồng phủ giữa hai đám mây điểm liên tiếp lớn hơn 25-30% đồng thời giảm các tia quét có góc lệch lớn vì khoảng cách từ máy đến bề mặt đối tượng nhỏ chỉ từ 10-20 m. Để nâng cao mật độ điểm quét, chế độ phân giải được cài đặt tại mức 4X tương đương với mật độ 6 mm/1 điểm tại khoảng cách 10 m. Các tiêu đo sử dụng cho định hướng tuyệt đối là các điểm địa vật rõ nét và các bảng ngắm (checkerboard) được xác định tọa độ trong hệ tọa độ VN-2000 bằng máy toàn đạc điện tử TS06 Plus. Sai số xác định vị trí điểm của các điểm địa vật rõ nét trong thực nghiệm này bảo đảm nhỏ hơn 5 mm cả mặt bằng và độ cao.



Hình 3. Sơ đồ bố trí các trạm máy quét bề mặt nhà A và nhà F tại khu A trường Đại học Mở- Địa chất

Trong thực nghiệm này, độ chính xác của mô hình được đánh giá thông qua độ lệch của tập hợp nhiều điểm rõ nét trên mô hình. Độ lệch này được so sánh giữa giá trị tọa độ xác định bằng toàn đạc điện tử và tọa độ đo được trên mô hình đám mây điểm sau khi đã định hướng tuyệt đối mô hình. Độ lệch trong không gian ba chiều giữa hai giá trị tọa độ được xác định bởi công thức:

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2 + d_z^2} \quad (7)$$

trong đó d_x, d_y và d_z là độ lệch theo các trục tọa độ và được tính bởi: $d_x = x_{TD} - x_{MH}$, $d_y = y_{TD} - y_{MH}$ và $d_z = z_{TD} - z_{MH}$ với x_{TD}, y_{TD}, z_{TD} là tọa độ xác định bằng toàn đạc điện tử và x_{MH}, y_{MH}, z_{MH} là tọa độ được đo từ mô hình đám mây điểm.

Thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng đồ hình trong định hướng tuyệt đối đến độ chính xác của mô hình được tiến hành theo bốn phương án như sau (xem Hình 4):

- Phương án 1: Sử dụng bốn điểm tiêu đo được phân bố tương đối thẳng hàng ở một phía (bên trái) của mô hình để định hướng mô hình và sử dụng 10 điểm còn lại của mô hình để so sánh các giá trị độ lệch của mô hình.

- Phương án 2: Bốn điểm tiêu đo có phân bố tương đối đồng đều theo cả ba trục x, y và z ở một phía của mô hình (bên phải) để định hướng mô hình. Sử dụng 10 điểm còn lại để so sánh độ lệch của mô hình.

- Phương án 3: Sử dụng bốn điểm tiêu đo phân bố trên cả mô hình và sử dụng 10 điểm còn lại của mô hình để so sánh độ lệch của mô hình.

- Phương án 4: Sử dụng bảy điểm tiêu đo phân bố đều trên toàn bộ mô hình để định hướng mô hình trong đó sử dụng ít nhất một điểm định hướng cho mỗi trạm máy quét. Sử dụng 10 điểm còn lại để so sánh độ lệch của mô hình.



Hình 4. Sơ đồ vị trí các điểm định hướng tuyệt đối khi so sánh giữa bốn phương án 1, 2, 3 và 4

4. Kết quả và thảo luận

Kết quả xác định độ lệch khoảng cách trong không gian theo công thức (7) của bốn phương án được thể hiện trong các biểu đồ ở Hình 7.

Đối với phương án 1 (Hình 7 (a)), độ lệch d có xu hướng tăng tỉ lệ thuận với khoảng cách tính từ các điểm định hướng đến điểm xét và giá trị độ lệch này từ 1 cm đến 1 m. Thành phần độ lệch d_x và d_y cũng tỉ lệ với khoảng cách tuy nhiên giá trị của nó nhỏ hơn 0.2 m. Độ lệch d_z tăng nhanh với khoảng cách đo từ 1 cm đến 1 m và được biểu diễn trực quan trên Hình 5.



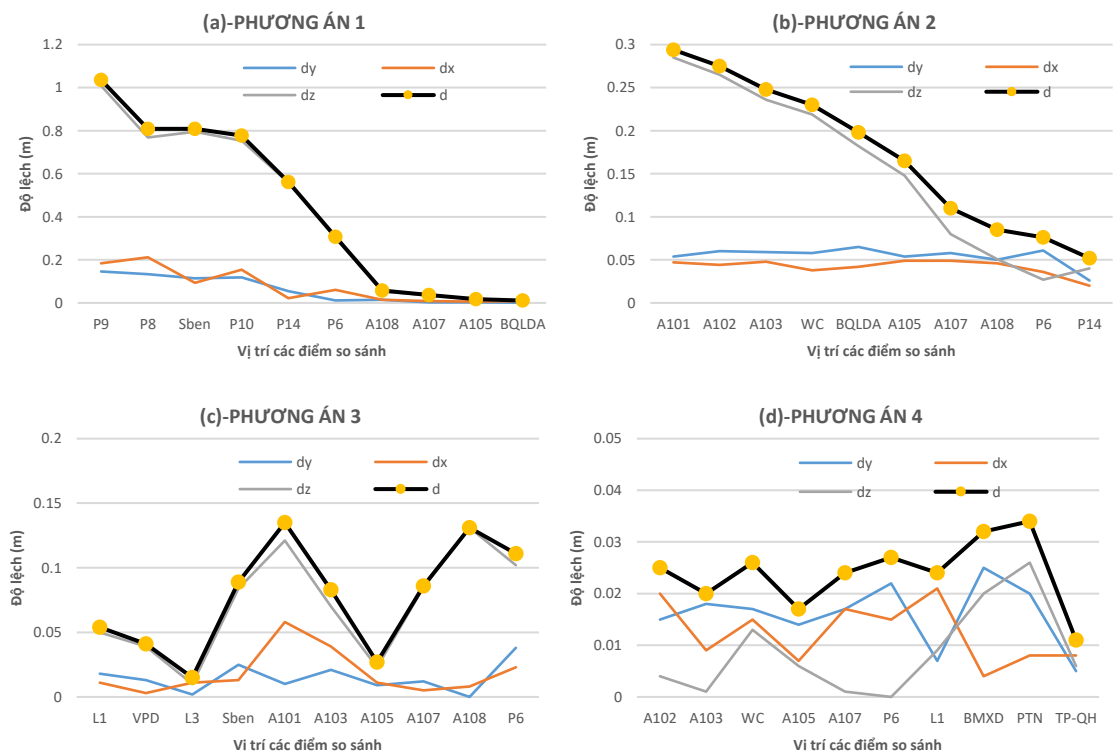
Hình 5. Độ lệch theo độ cao d_z của các điểm trong phương án 1

Đối với phương án 2 (Hình 7 (b)), độ lệch d có xu hướng tăng đáng kể với khoảng cách, tuy nhiên giá trị độ lệch nhỏ hơn so với phương án 1 và nhỏ hơn 0.3 m. Giá trị độ lệch d_x và d_y đều nhỏ hơn 5 cm trong khi d_z lớn và tăng tuyến tính với khoảng cách từ điểm định hướng đến điểm xét (xem Hình 5).



Hình 6. Độ lệch theo độ cao d_z của các điểm trong phương án 2

Đối với phương án 3 (Hình 7(c)), độ lệch d của tất cả các điểm đều nhỏ hơn 0.15 m và không đồng đều. Các điểm ở cách xa điểm định hướng như (Sben, A101, A103, A107 và A108) có độ lệch lớn hơn các điểm ở gần. Giá trị độ lệch theo trục d_z cũng lớn nhất so với giá trị độ lệch d_x và d_y . Đối với phương án 4 (Hình 7(d)), giá trị độ lệch đều rất nhỏ ($d < 4\text{cm}$) và đồng đều theo các trục tọa độ d_x , d_y và d_z .



Hình 7. Sơ đồ độ lệch của các điểm so sánh theo ba trục d_x , d_y , d_z và độ lệch trong không gian d của bốn phương án 1, 2, 3 và 4

Các kết quả trên có thể giải thích bởi chất lượng đồ hình hình học (gồm vị trí và số lượng) của các điểm định hướng tuyệt đối mô hình ảnh hưởng đến chất lượng mô hình cụ thể như sau:

Khi các điểm định hướng ở một phía của đối tượng quét (phương án 1 và 2), độ lệch có xu hướng tăng tỉ lệ với khoảng cách từ điểm so sánh đến các điểm định hướng. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết lan truyền sai số. Độ lệch trong phương án 1 lớn gấp gần 4 lần so với phương án 2 vì các điểm được chọn cho định hướng tuyệt đối mô hình nằm gần trên đường thẳng và chỉ tập trung ở một phía của mô hình. Giá trị độ lệch của điểm xa nhất trong mô hình lên đến 1 m. Kết quả này là do đồ hình hình học của phương án 1 là đồ hình rất xấu và cũng là dạng đồ hình cần tránh khi định hướng mô hình. Ngược lại, tuy phương án 2 cũng sử dụng bốn điểm định hướng ở một phía của mô hình nhưng các điểm được phân bố tương đối đều theo các trục tọa độ (x , y , z) ở một đầu của mô hình nên độ lệch có giá trị tương đối nhỏ.

Khi các điểm định hướng phân bố đều trên đối tượng quét (phương án 3 và 4), giá trị độ lệch tương đối nhỏ. Phương án 3 chỉ sử dụng 4 điểm định hướng, độ lệch không đồng đều, một số vị trí ở xa điểm định hướng có độ lệch lớn. Ngược lại khi số lượng điểm định hướng tăng lên (bảy điểm trong phương án 4) và được phân bố đồng đều trên toàn bộ mô hình thì độ lệch đồng đều và nhỏ theo cả ba trục tọa độ. Độ lệch trong phương án 4 là nhỏ nhất và chỉ bằng khoảng $\frac{1}{4}$ lần độ lệch trong phương án 3.

So sánh phương án 2 và 3 (cùng có bốn điểm định hướng), độ lệch của phương án 3 giảm một nửa so với phương án 2 là do các điểm định hướng trong phương án 3 phân bố đều trên cả mô hình. Như vậy có thể thấy rằng ngoài số lượng điểm định hướng thì vị trí của các điểm định hướng là yếu tố quyết định đến chất lượng định hướng mô hình trong trường hợp này.

Ngoài ra, dễ dàng nhận thấy rằng trong cả ba phương án 1, 2 và 3 độ lệch tổng hợp (d) chủ yếu phụ thuộc vào thành phần độ lệch theo độ cao (d_z). Điều này là do các điểm sử dụng để định hướng mô hình có giá trị độ cao chênh lệch nhau không lớn (khoảng 2-3 m) đối với chiều dài trên 100 m của đối tượng quét. Đây

cũng là một đặc điểm khó khắc phục đối với các công trình dạng tuyến thường hẹp, chiều cao không lớn so với chiều dài. Chú ý rằng độ chính xác của thành phần độ cao xác định theo phương pháp đo cao lượng giác thấp hơn thành phần tọa độ.

Những hạn chế cần được đề cập trong nghiên cứu này là chưa xét tới ảnh hưởng của độ chính xác vị trí của các điểm khống chế trắc địa đến độ chính xác của mô hình. Ngoài ra, ảnh hưởng của độ chính xác khi ghép nối các đám mây điểm (định hướng tương đối mô hình) đến độ chính xác của phương pháp định hướng tuyệt đối mô hình cũng chưa được đề cập.

5. Kết luận

Chuyển tọa độ đám mây của các công trình thu nhận được từ máy quét laser mặt đất về hệ tọa độ trắc địa còn được gọi là định hướng tuyệt đối mô hình. Kết quả bài báo chỉ ra rằng, đồ hình hình học của điểm định hướng là một trong những yếu tố quan trọng có thể ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng của mô hình đặc biệt là đối với công trình dạng tuyến. Do đó công tác thiết kế và lựa chọn các điểm định hướng đóng vai trò đặc biệt quan trọng, một số kết quả nổi bật của bài báo có thể được tóm tắt như sau:

Phương pháp định hướng tuyệt đối gián tiếp hai bước là phương pháp phù hợp để chuyển tọa độ mô hình đám mây điểm về hệ tọa độ trắc địa đối với các loại máy quét không được trang bị bộ phận định tâm quang học. Phương pháp này cũng phù hợp để áp dụng cho các công trình dạng tuyến bởi vì nó cho phép giảm đáng kể số lượng điểm khống chế trắc địa thông qua định hướng tương đối mô hình (so sánh với phương pháp một bước). Giảm số lượng điểm khống chế trắc địa cũng đồng nghĩa với giảm chi phí và thời gian cho công tác ngoại nghiệp.

Đồ hình hình học của điểm định hướng có ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác định hướng tuyệt đối mô hình. Trong bài báo này nếu các điểm định hướng nằm ở cùng một phía và cùng trên đường thẳng thì độ lệch có thể lên đến 1 m. Ngược lại, khi các điểm định hướng được lựa chọn trải đều trên mô hình (với chỉ tối thiểu 4 điểm) thì độ lệch lớn nhất chỉ khoảng 15 cm. Nếu số lượng điểm định hướng tăng lên (với ít nhất 1 điểm cho mỗi trạm máy quét) thì độ lệch lớn nhất nhỏ hơn 4 cm. Do đó, đối với công trình dạng tuyến nên lựa chọn các điểm định hướng phân bố đồng đều trên công trình theo cả mặt phẳng và độ cao và nên chọn lựa ít nhất một điểm định hướng tại mỗi một trạm máy quét. Cần tránh chọn các điểm định hướng trên một đường thẳng hoặc trong một mặt phẳng và tránh các điểm định hướng ở một phía của công trình.

Ảnh hưởng của sai số vị trí điểm khống chế trắc địa cũng như sai số ghép nối các trạm quét hay định hướng tương đối (gồm số lượng điểm tham gia định hướng, độ chùng phù của đám mây điểm, mật độ điểm quét) đến sai số mô hình đám mây điểm cần tiếp tục được nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- Altuntas, C., H. Karabork and E. Tusat (2014). "Georeferencing of ground-based LIDAR data using continuously operating reference stations." *Optical Engineering* 53(11): 114110.
- Bornaz, L., A. Lingua and F. Rinaudo (2003). "Multiple scanner registration in LIDAR close-range applications." *International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences* 34(5/W12): 72-77.
- G, J. (2005). "Registration and Geo-referencing." from http://www.leicageosystems.com/hds/en/lgs_29445.htm. Last access on 20th June 2022
- Khoshelham, K. and B. Gorte (2009). Registering pointclouds of polyhedral buildings to 2D maps. *Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009:* 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures", Trento, Italy, 25–28 February 2009, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Lichti, D. D. and S. J. Gordon (2004). "Error propagation in directly georeferenced terrestrial laser scanner point clouds for cultural heritage recording." *Proc. of FIG Working Week*, Athens, Greece, May: 22-27.
- Lichti, D. D., S. J. Gordon and T. Tipdecho (2005). "Error models and propagation in directly georeferenced terrestrial laser scanner networks." *Journal of surveying engineering* 131(4): 135-142.
- Mikhail, E. M., J. S. Bethel and J. C. McGlone (2001). "Introduction to modern photogrammetry." New York 19.
- Paffenholz, J.-A. (2012). Direct geo-referencing of 3D point clouds with 3D positioning sensors, Hannover: Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover.
- Paffenholz, J.-A., H. Alkhatib and H. Kutterer (2010). "Direct geo-referencing of a static terrestrial laser scanner."
- Pandžić, J., M. Pejić, B. Božić and V. Erić (2017). TLS data georeferencing-error sources and effects.

NGEO 2017–7th International Conference on Engineering Surveying, Portugal, Lisbon, October 18-20, 2017, Laboratório nacional de engenharia civil, Lisboa.

Pham, D. T., A. T. N. Nguyen, C. X. Cao, T. D. Le, C. V. Le and C. S. Ngo (2022). "Resection method for direct georeferencing in Terrestrial Laser Scanner." *Tap chí khoa học kỹ thuật Mô Địa chất* 62(3): 54-63.

Reshetyuk, Y. (2006). Investigation and calibration of pulsed time-of-flight terrestrial laser scanners, KTH.

Reshetyuk, Y. (2009). Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning, KTH.

Scaioni, M. (2005). "Direct georeferencing of TLS in surveying of complex sites." Proceedings of the ISPRS Working Group 4: 22-24.

Schuhmacher, S. and J. Böhm (2005). "Georeferencing of terrestrial laserscanner data for applications in architectural modeling."

Tait, M., R. Fox and W. Teskey (2004). A Comparison and full error budget analysis for close range Photogrammetry and 3D terrestrial laser scanning with rigorous ground control in an industrial setting. *Proceedings of INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying*, Bratislava, Slovakia, November.

ABSTRACT

Indirect georeferencing in Terrestrial Laser Scanner for long-span constructions

Pham Trung Dung*, Nguyen Thi Ha, Nguyen Thi Kim Thanh, Tran Thuy Linh
Hanoi University of Mining and Geology

Georeferencing is to transform the coordinate of the point cloud in the scanner system into the geodetic coordinate system. In this paper, the procedure of indirect georeferencing is presented in two steps including the point clouds being transformed into a common coordinate system and then they are transformed into the geodetic coordinate system. The indirect georeferencing method is used for point clouds collected by Faro Focus^{3M} X130 based on control points established by Leica TS06 plus. The influence of geometry configuration (number and location of control points) on the model's accuracy is compared in four cases. The paper indicates that the deviation can reach 1 m in the z direction if all control points lie on one side and in a line. In contrast, when the control points spread out the scanned object (at least four points), the deviation is approximately 15 cm. In the case of increasing the number of control points (at least one control point at a scanner station) the deviation decreases to 4 cm. Therefore, the control points should be distributed around the scanned object with at least one control point at a scanner station. The control point should be avoided at one side of the scanned object or in a line/plane. The result of the paper plays an important role in georeferencing procedure of TLS used for long-span constructions in terms of control points' configuration.

Keywords: Terrestrial laser scanner, Indirect georeferencing; Long-span constructions.