

Một nghiên cứu thực nghiệm kiểm định và quan trắc cầu bằng thiết bị toàn đạc laser mặt đất

An experiment study of inspection and monitoring bridge using ground laser scanner total station

Vũ Ngọc Quang⁽¹⁾, Vũ Đình Chiêu⁽²⁾, Phạm Thị Thanh Hòa⁽³⁾

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu khả năng sử dụng máy quét laser mặt đất trong kiểm định, quan trắc chuyển dịch công trình cầu, một cách tiếp cận mới cho công tác kiểm định công trình. Nghiên cứu sử dụng một máy toàn đạc điện tử quét laser mặt đất, Topcon GTL-1000 để quét dữ liệu độ cao bề mặt dưới của một đoạn dầm cầu ngắn trong suốt quá trình kiểm định công trình bằng đồng hồ so trong hai trường hợp của sơ đồ tải trọng là: Không tải và tải trọng đúng tâm. Kết quả cho thấy máy quét toàn đạc laser mặt đất có thể trích xuất hàng ngàn điểm đo trên một bề mặt của kết cấu cần kiểm định với một độ chính xác cao. Kết quả thu nhận được không chỉ là độ võng tại một vài vị trí tương ứng với các điểm đơn trên kết cấu mà là cả một bề mặt võng của kết cấu. Cách tiếp cận đề xuất trong bài báo có thể được áp dụng trong các nhiệm vụ kiểm định thực tế và mang tới cho các kỹ sư khảo sát một công cụ hữu hiệu trong quan trắc ứng xử của kết cấu.

Từ khóa: VD: Máy quét laser mặt đất, Đám mây điểm, Kiểm định, Quan trắc cầu, Chuyển dịch, Độ võng, Topcon GTL

Abstract

This paper studies the ability of a ground terrestrial laser scanner for inspection and monitoring displacement of the bridge, a new approach for works inspection. The study used a high accuracy laser scanner total station, Topcon GTL-1000 to acquire elevation data of the underside of a short span during bridge inspection by clock dial-micrometer in two cases of payload diagram including no loading and centric loading. The results showed that a ground laser scanner can extract thousands of points on the surface of the inspected structure with high accuracy. The results are not only deflection of several single points at different positions, but also a surface of deflection on the entire structure. The approach proposed in this paper can be applied in practical inspection tasks and brings surveyors an efficient tool for observing the behavior of the structure.

Key words: Ground laser scanner, Point cloud, Inspection, Bridge monitoring, Displacement, Deflection, Topcon GTL

(1) ThS, Giảng viên, khoa Công trình, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Email: quangvn@utt.edu.vn

(2) ThS, Giảng viên, khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Email: chieuvd@nuce.edu.vn

(3) ThS, Giảng viên, khoa Trắc địa bản đồ và quản lý đất đai, ĐH Mô-Địa chất, Email: phamthithanhhoa@hmg.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/03/2022

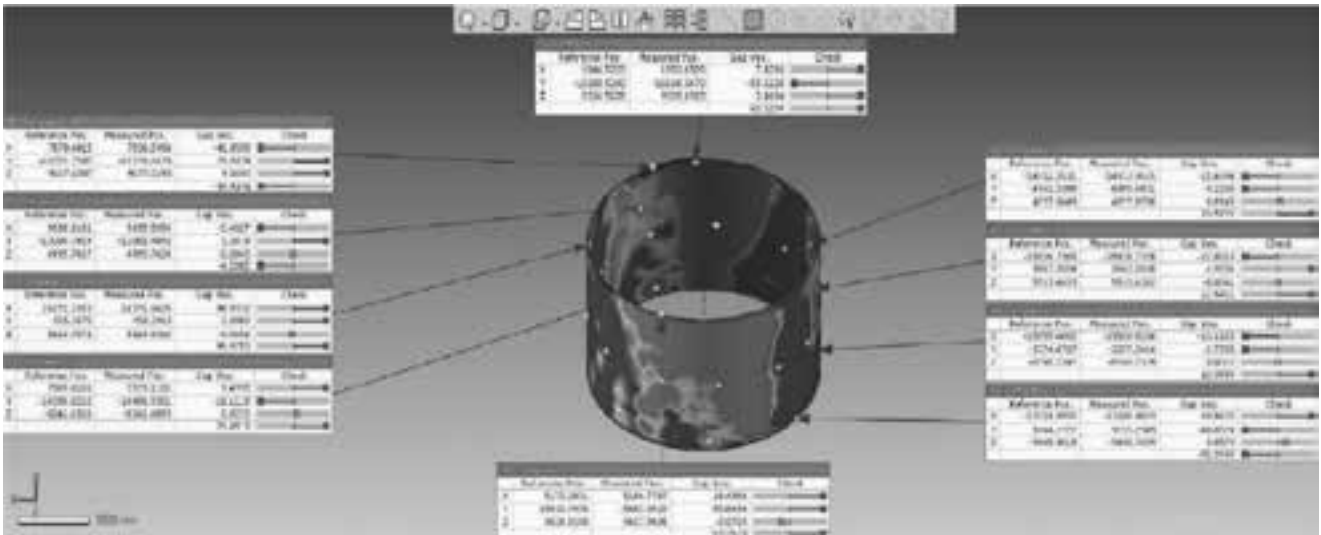
Ngày sửa bài: 05/04/2022

Ngày duyệt đăng: 5/7/2022

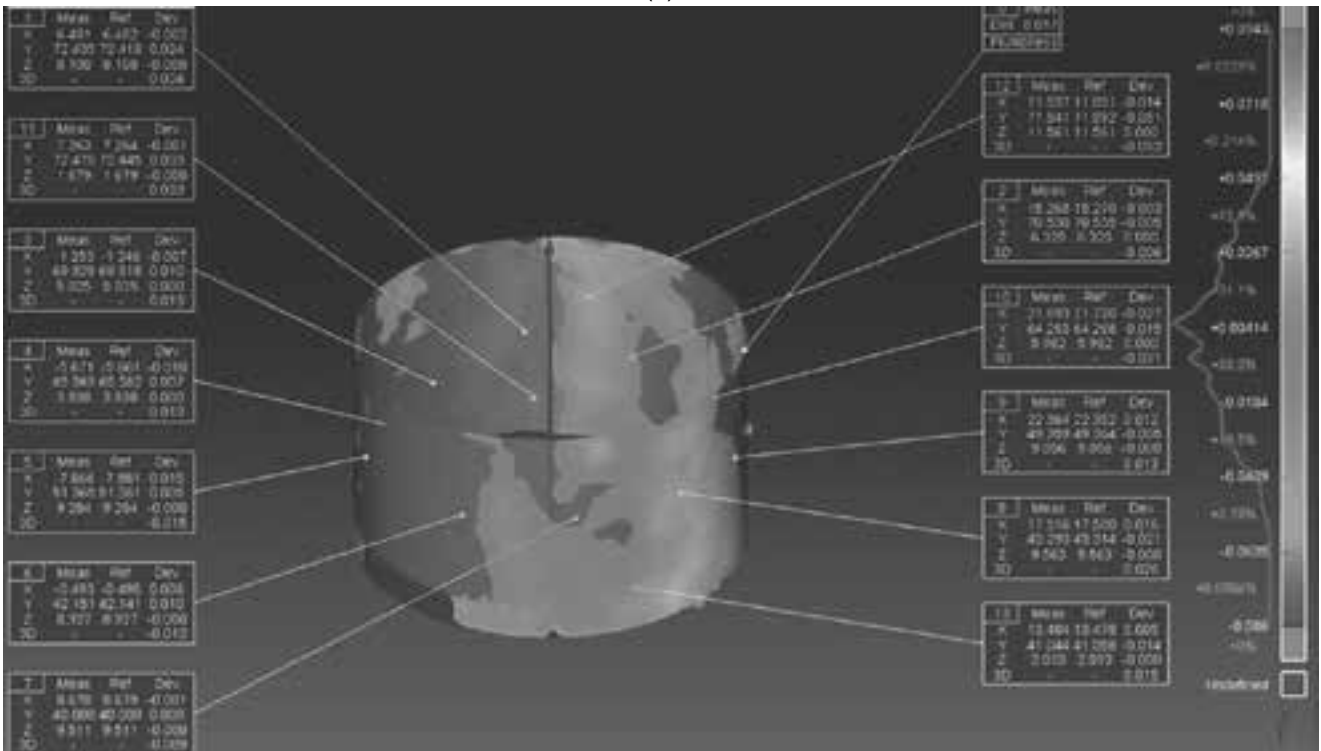
1. Tổng quan

Kiểm định và quan trắc là một yêu cầu quan trọng trước khi đưa công trình vào vận hành chính thức cũng như trong suốt quá trình sử dụng. Thông thường, các phương pháp truyền thống đòi hỏi hình thức tiếp cận trực tiếp để thực hiện các phép đo hay để gắn các thiết bị đo đạc chuyên dụng ở trên các cấu kiện. Đây là phương pháp đòi hỏi thời gian [1], đôi khi là có cả những yếu tố nguy hiểm kèm theo do hạn chế về điều kiện tiếp cận các kết cấu. Sự phát triển của các thiết bị hiện đại cho phép thực hiện các phép đo kiểm định, quan trắc không tiếp cận trực tiếp, mang lại cho các kỹ sư lựa chọn mới trong giải quyết các bài toán kiểm định và thiết bị quét laser mặt đất là một trong số đó. Thiết bị quét mặt đất (Ground laser scanner) ra đời đã được ứng dụng nhiều trong xây dựng mô hình 3D của các kết cấu hay của cả một công trình với hàng triệu điểm bề mặt được trích xuất, mang lại hình ảnh, mô hình chân thực nhất [2]. Mô hình bề mặt của kết cấu sẽ được hình thành bằng cách xây dựng các mạng lưới tam giác dày đặc dựa trên các đám mây điểm lên tới hàng nghìn điểm trên mỗi mét vuông diện tích của kết cấu [3]. Các số liệu đám mây điểm hỗ trợ nhanh chóng hình thành các bản vẽ hoàn công tổng thể của công trình hay kết cấu với các kích thước chi tiết nhất [4–6]. Các thiết bị quét mặt đất có khả năng thu nhận thông tin không gian của các đối tượng một cách độc lập hoặc kết hợp với các thiết bị chuyên dụng khác [7–9] cho các mục đích chuyên biệt với từng dạng công trình tương ứng. Các ứng dụng của GLS trong quan trắc, kiểm định công trình cầu bao gồm xây dựng mô hình 3D của các kết cấu, kiểm tra độ lệch của dầm, kiểm tra độ võng bề mặt trong các sơ đồ tải khác nhau. Các kết quả từ một số thiết bị quét mặt đất được đánh giá cao khi so sánh với một số phương pháp khác như I-Site TLS so sánh với phương pháp ảnh số, thiết bị Riegl LMS Z390i so với Leica TCR 1102 [10–12]. Ứng dụng trong phát hiện các hư hỏng bề mặt kết cấu của công trình có thể tham khảo trong nghiên cứu [13]. Đặc biệt, trong công trình nghiên cứu [14], số liệu từ thiết bị quét mặt đất sau khi xây dựng mô hình đã phát hiện chính xác tới 87% diện tích bề mặt bị hư hỏng. Bên cạnh đó, kết quả trong mô hình được xây dựng từ các đám mây điểm dày đặc cho phép đánh giá các điều kiện kỹ thuật của các công trình mang tính chất lịch sử một cách trực quan [15] hay phát hiện sự không liên tục, đứt gãy và chuyển dịch của các đập chắn có kiến trúc bằng đá [16], kiểm tra các kích thước hình học thuần túy của các cấu kiện [17–19]. Với các công trình kiến trúc lớn, có kết cấu phức tạp và có nhu cầu lưu giữ cho các mục đích phục dựng sau thời gian dài, thiết bị quét laser cũng là một giải pháp hiệu quả khi các bản vẽ hoàn công được xây dựng tới các chi tiết nhỏ nhất [20–22]. Trong phát triển và xây dựng hệ thống thông tin công trình (BIM), số liệu từ các máy quét laser mặt đất là không thể thiếu [23, 24]. Giải pháp này giúp giảm thời gian thực hiện các phép đo truyền thống, nâng cao độ chính xác xác định các yếu tố kỹ thuật và tối ưu hóa trong việc xây dựng các mô hình dự báo các rủi ro tiềm ẩn trong tương lai. Một số hình ảnh về ứng dụng thiết bị quét laser mặt đất trong việc thu thập số liệu thông tin để quan trắc và phân tích biến dạng công trình được thể hiện trong hình 1 (a),(b).

Về mặt tổng quan, có thể thấy rằng thiết bị quét mặt đất có rất nhiều ưu điểm trong công tác quan trắc và kiểm định [22]. Tuy nhiên, với các phép đo đặc thù như kiểm định và quan trắc cầu, với yêu cầu độ chính xác rất cao thì với mỗi thiết bị mới đều cần phải có những



(a)



(b)

Hình 1. GIS phục vụ phân tích biến dạng tank chứa dầu thô Nhà máy lọc dầu Nghi Sơn (NEH Engineering Survey & Mapping)

đánh giá, nghiên cứu, thực nghiệm nhằm khẳng định tính khả thi của giải pháp.

2. Nguyên tắc hoạt động

Các thiết bị máy quét laser về cơ bản sử dụng một trong hai phương pháp để xác định yếu tố khoảng cách bao gồm phương pháp đo xung và phương pháp đo pha. Trong khi phương pháp đo xung có thể mạnh về phạm vi đo đạc và giảm nhiễu thì phương pháp đo pha có ưu thế về độ chính xác và tốc độ thu nhận tín hiệu, một yêu cầu rất cao trong các phép đo quan trắc và kiểm định. Một ví dụ điển hình về thiết bị quét theo phương pháp đo xung có thể kể đến Topcon GLS-2000 với khoảng cách quét lên tới 500m tốc độ quét là 120,000 điểm trên mỗi giây và độ chính xác xác định yếu tố khoảng cách lên tới 3.5mm. Đại diện cho phương pháp đo

pha là Faro FocusS 150 thì khoảng cách giảm chỉ còn 150m nhưng mật độ điểm lên tới 976,000 điểm trên giây và độ chính xác lên tới 1mm với khoảng cách 25m [25]. Ngoài các thiết bị trên thì còn rất nhiều thiết bị quét của các hãng khác nhau như Leica, Trimble...

Về nguyên tắc hoạt động, các thiết bị có các thông số kỹ thuật khác nhau, sử dụng phương pháp đo khác nhau nhưng về nguyên tắc thì có thể nói hệ thống đo khoảng cách trong máy quét chính là yếu tố then chốt. Các thành phần tọa độ không gian của đối tượng cần quét xác định thông qua các yếu tố khoảng cách, góc định hướng và góc đứng hoặc góc thiên đỉnh (Hình 2)

Các giá trị khoảng cách từ vị trí máy quét tới các điểm đo đối với phương pháp đo xung và đo pha được xác định tương ứng với các công thức 1 và 2 như sau : [26, 27].

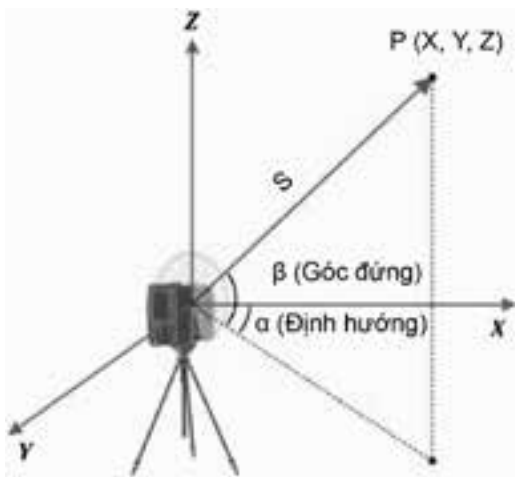
$$S = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t \quad (1)$$

$$s = \frac{1}{2} (N \cdot \lambda + \lambda \frac{\Delta \varphi}{2\pi}) \quad (2)$$

Ba thành phần tọa độ được xác định qua công thức cơ bản trong bài toán trắc địa như trong công thức 3. Trong trường hợp có nhiều trạm quét, các đám mây điểm được ghép với nhau bằng các điểm khống chế trên kết cấu hoặc các trạm quét có tọa độ, độ cao trong một hệ thống nhất như một hệ lưới khống chế.

$$\begin{aligned} X_p &= S \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \\ Y_p &= S \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha \\ Z_p &= S \cdot \cos \beta \end{aligned} \quad (3)$$

Cần lưu ý rằng, hệ tọa độ ở đây là hệ tọa độ của máy quét. Các máy quét cũng có thể được cài đặt trên hệ tọa độ cục bộ của công trình hoặc hệ tọa độ chung trên cơ sở các điểm khống chế khác.



Hình 2. Nguyên tắc hoạt động của máy quét laser [25]



Hình 3. Topcon GTL-1000



Hình 4. Quan trắc, kiểm định công trình cầu

3. Thực nghiệm và kết quả

Nghiên cứu sử dụng thiết bị Topcon GTL-1000, một thiết bị có khả năng quét không gương lên tới 800m với độ chính xác $(2+2\text{ppm.D})\text{mm}$ và $(1+2\text{ppm.D})\text{mm}$ khi có gương, hiển thị đo khoảng cách tới 0.1mm [28]. Về cấu tạo, GTL-1000 là thiết bị hai trong một, là sự kết hợp của một máy toàn đạc điện tử robotic và một máy quét Laser Scan 3D (Hình 3).

Topcon GTL-1000 có thể ứng dụng trong nhiều lĩnh vực bao gồm quan trắc và kiểm định kết cấu (Hình 4).

Nhóm tác giả đã sử dụng thiết bị Topcon GTL-1000 để quét nhịp cầu P13-P14 thuộc dự án xây dựng tuyến đường bộ trên cao dọc đường vành đai 2, đoạn từ cầu Vĩnh Tuy đến Ngã tư sở theo hình thức hợp đồng BT. Quy trình thực hiện được thể hiện trong Hình 5.

Kết quả xác định độ võng bằng đồng hồ so với tải trọng đúng tâm trong bảng 1

Bảng 1: Độ võng tải trọng thử nhịp P13-P14 (CCU-HUCE)

Ký hiệu	Vị trí	Tb	Độ võng	Ghi chú
V1	Cánh dầm phải tuyến	507.33	5.07	Tải trọng đúng tâm
V2	Đáy dầm phải tuyến	458.00	4.58	
V3	Đáy dầm trái tuyến	445.00	4.45	
V4	Cánh dầm trái tuyến	499.00	4.99	

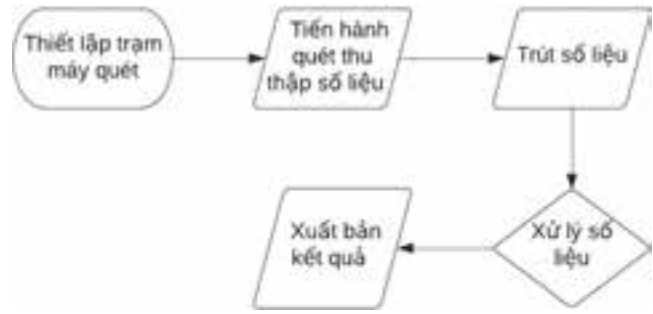
Đồng thời với quá trình kiểm tra độ võng bằng đồng hồ so, một máy quét laser GTL-1000 được vận hành để thu thập sự thay đổi các thành phần tọa độ không gian (đặc biệt là cao độ) của dầm cầu trong quá trình kiểm tra độ võng trong hai trường hợp là không tải và tải trọng đúng tâm. Sơ đồ bố trí thiết bị đo võng (Hình 6).

Kết quả quét mặt dưới dầm cầu khi không có tải và có tải sau khi quét được xử lý bằng phần mềm Rithm của và có thể tương thích với các phần mềm Revit, Recap, sketchup... Hình ảnh quét đại diện thể hiện trong hình 7a, b

Để so sánh với kết quả xác định độ võng của dầm cầu bằng đồng hồ so, 4 điểm ở vị trí giữa theo chiều dọc của dầm được chọn để xác định sự thay đổi cao độ trong hai trường hợp không tải và sơ đồ tải đúng tâm. Kết quả xác định độ võng tương ứng với các vị trí trong bảng 2.

Bảng 2: Kết quả xác định độ võng bằng số liệu quét laser

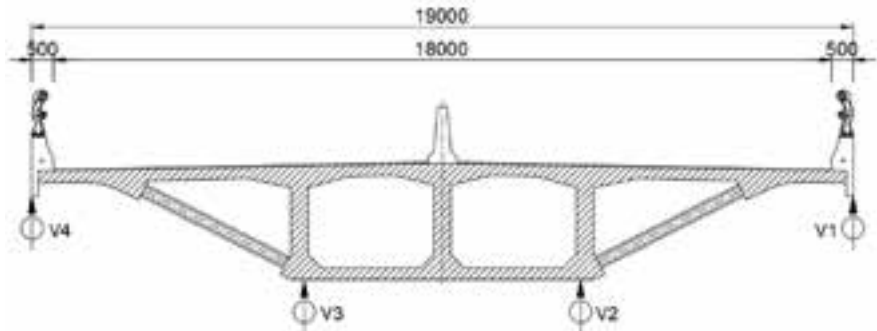
Ký hiệu	Vị trí	Độ cao không tải	Độ cao có tải đúng tâm	Độ võng khi tải đúng tâm (mm)
V1A	Cánh dầm phải tuyến	8.1362	8.1303	5.90
V2A	Đáy dầm phải tuyến	6.2732	6.2705	2.70
V3B	Đáy dầm trái tuyến	6.2342	6.2315	2.70
V4C	Cánh dầm trái tuyến	8.1462	8.1425	3.70



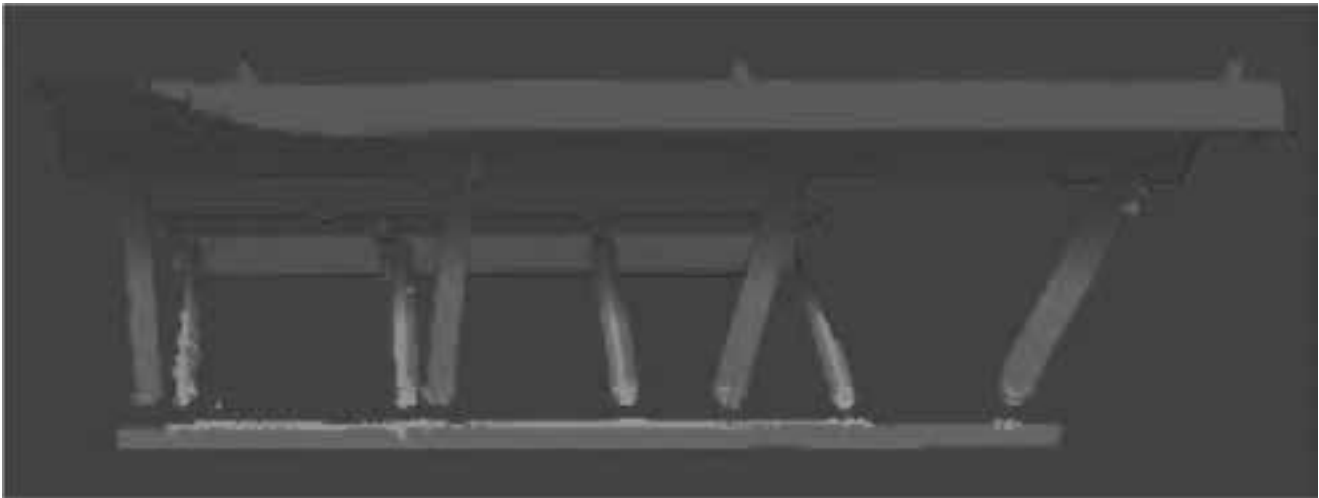
Hình 5: Quy trình thực hiện

Kết quả xác định độ võng thông qua độ cao của điểm quét trên mô hình đám mây điểm Point cloud tại các vị trí là tương đương với kết quả thu nhận từ đồng hồ so về mặt vị trí võng lớn nhất, nhỏ nhất. Tuy nhiên, về mặt giá trị của các giá trị độ võng thì đang lệch 0.83mm với vị trí võng lớn nhất và 1.75mm với vị trí võng nhỏ nhất, giá trị lệch lớn nhất là 1.88mm.

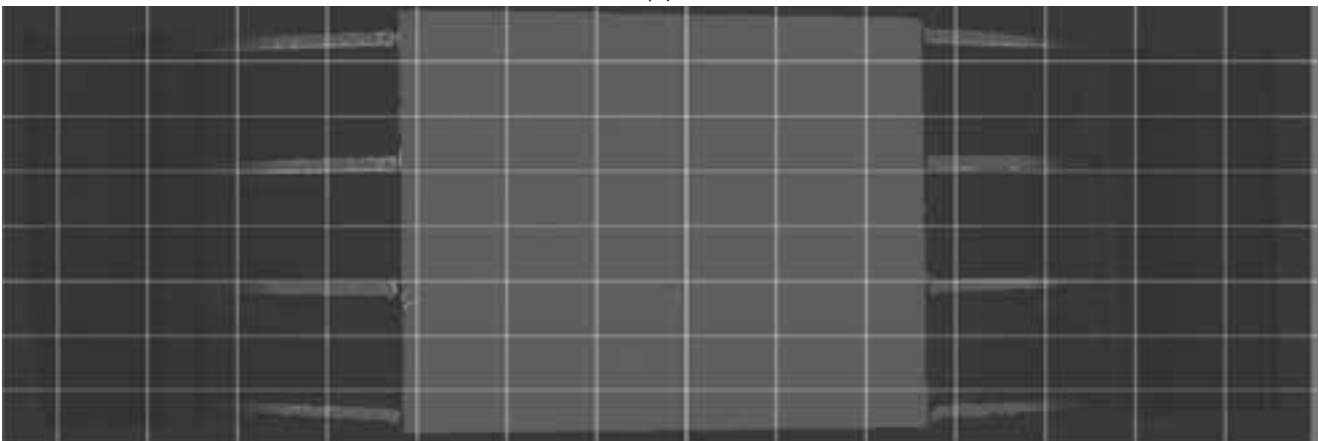
Nguyên nhân của các giá trị độ lệch này có thể là do các thiết bị đồng hồ so đọc giá trị nhiều nhiều lần và lấy trung



Hình 6. Bố trí thiết bị đo võng bằng đồng hồ so (CCU-HUCE)



(a)



(b)

Hình 7. Point cloud trên Autodesk Recap

binh còn thiết bị GTL-1000 lại quét tức thời lên tới trăm nghìn điểm trên mỗi giây, chưa tính đến giá trị biên độ dao động trong quá trình kiểm định. Các thiết bị quét hoạt động giống như một thiết bị toàn đạc điện tử nên chịu ảnh hưởng sai số từ một số nguồn khác như định tâm máy, định hướng, sai số điểm khống chế, ghép mô hình.... Ngoài ra, vị trí các điểm chọn không được đánh dấu bằng các gương phản xạ chuyên dụng do mục tiêu ban đầu là đo đạc, kiểm định không tiếp xúc trực tiếp.

4. Kết luận và thảo luận

Kết quả thực nghiệm quét laser mặt đất bằng thiết bị GTL-1000 đạt được hiệu quả cao về năng suất lao động, tiết kiệm thời gian và đáp ứng tính đa mục tiêu chỉ với một tác vụ quét.

Công tác vận hành thiết bị không đòi hỏi nhiều nhân lực, chỉ cần một kỹ sư có thể vận hành cho cả một công trình lớn nhờ quy trình quét đơn giản.

Các thực nghiệm cần được tiếp tục thực hiện với phương pháp quét khác nhau như đặt các gương phản xạ chuyên dụng hay thay đổi với thiết bị quét sử dụng phương pháp đo pha để nâng cao độ chính xác định các đại lượng đo.

5. Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn công ty NEH-Engineering Survey and Mapping đã cung cấp nhưng tư liệu, hình ảnh thực cho báo cáo và kỹ sư Nguyễn Như Tuấn Anh, công ty Topcon Singapore Positioning PTE.LTD đã giúp đỡ trong việc thu thập số liệu cho quá trình nghiên cứu, thực nghiệm./.

Tài liệu tham khảo

1. P. Tang and B. Akinci. Formalization of workflows for extracting bridge surveying goals from laser-scanned data. *Automation in Construction*, Vol. 22, 306–319, 2012.
2. B. Riveiro, P. Morer, P. Arias, and I. De Arteaga. Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, 1726–1735, 2011.
3. B. Riveiro, P. Morer, P. Arias, and I. De Arteaga. Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges. *Construction and Building Materials*, Vol. 25, 1726–1735, 2011.
4. I. Gumilar, T. Hawaari, T.P. Sidiq, and A. Lukmanulhakim. As-built drawing generation of LFM building ITB using terrestrial laser scanner. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing, 2020.
5. R.J. Ross, B.K. Brashaw, and S.J. Anderson. Use of Laser Scanning Technology to Obtain As-Built Records of Historic Covered Bridges, 2012.
6. I. Lubowiecka, J. Armesto, P. Arias, and H. Lorenzo. Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. *Engineering Structures*, Vol. 31, 2667–2676, 2009.
7. I. Lubowiecka, J. Armesto, P. Arias, and H. Lorenzo. Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. *Engineering Structures*, Vol. 31, 2667–2676, 2009.
8. B. Muhammad Shumail Farooq and D.D. Tran Ph Brian Lines Ph D Michael Panethiere PE. An Approach to Bridge Inspection Using 3D Laser Scanners and Digital Photographs. 2017.
9. C. Zhang, D. Arditi, and Z. Chen. DOCUMENTATION AND VISUALIZATION OF AN AS-BUILT TUNNEL BY COMBINING 3D LASER SCANNING AND WEB MAPPING. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. pp. 139–144, 2013.
10. D. Lichti, S. Gordon, M. Stewart, J. Franke, and M. Tsakiri. Comparison of Digital Photogrammetry and Laser Scanning Vision-Based Deformation and Crack Monitoring in Bridges View project. Vol. Vol. 00, 39–44, 2002.
11. B. Riveiro, H. González-Jorge, M. Varela, and D. V. Jauregui. Validation of terrestrial laser scanning and photogrammetry techniques for the measurement of vertical underclearance and beam geometry in structural inspection of bridges. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 46, 784–794, 2013.
12. T. Lovas, A. Barsi, L. Dunai, et al. Terrestrial Laserscanning in Deformation Measurements of Structures. In: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. pp. 527–532, 2008.
13. L. Zhao, J. Mbachu, B. Wang, Z. Liu, and H. Zhang. Installation Quality Inspection for High Formwork Using Terrestrial Laser Scanning Technology. *Symmetry*, Vol. 14, 1–31, 2022.
14. G. Teza, A. Galgaro, and F. Moro. Contactless recognition of concrete surface damage from laser scanning and curvature computation. *NDT and E International*, Vol. 42, 240–249, 2009.
15. J.A. Pawłowicz. The TLS technique as a way of identification and measurement of damaged elements of a historic sacral building.
16. A. Riquelme, M. Cano, R. Tomás, and A. Abellán. Identification of Rock Slope Discontinuity Sets from Laser Scanner and Photogrammetric Point Clouds: A Comparative Analysis. In: *Procedia Engineering*. pp. 838–845. Elsevier Ltd, 2017.
17. T.P. Kersten, H. Sternberg, and K. Mechelke. Geometrical Building Inspection by Terrestrial Laser Scanning Determination of Intensity-Based Stochastic Models for Terrestrial Laser Scanners Utilising 3D-Point Clouds View project. In: *FIG working week in Eilat, Israel 2*. pp. 1–6, 2009.
18. L. Zhao, J. Mbachu, B. Wang, Z. Liu, and H. Zhang. Installation Quality Inspection for High Formwork Using Terrestrial Laser Scanning Technology. *Symmetry*, Vol. 14, 2022.
19. P. Arias, B. Riveiro, J. Armesto, and M. Solla. TERRESTRIAL LASER SCANNING AND NON PARAMETRIC METHODS IN MASONRY ARCHES INSPECTION. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. pp. 39–44, 2010.
20. M. Tkáč, P. Mesároš, and T. Mandičák. Terrestrial laser scanning - Effective technology for creating building information models. *Pollack Periodica*, Vol. 13, 61–72, 2018.
21. M. Przyborski and P. Tysiąc. As-built inventory of the office building with the use of terrestrial laser scanning. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018.
22. C. Wu, Y. Yuan, Y. Tang, and B. Tian. Application of terrestrial laser scanning (Tls) in the architecture, engineering and construction (aec) industry. *Sensors*, Vol. 22, 1–32, 2022.
23. H. Sadikin, A. Hernandi, A. Yusup Saptari, et al. The Study of Terrestrial Laser Scanning (TLS) Survey for Three-Dimensional (3D) Building Documentation (7621) The Study of Terrestrial Laser Scanning (TLS) Survey for Three-Dimensional (3D) Building Documentation. In: *FIG Working Week*. pp. 1–18, 2015.
24. A. Aryan, F. Bosché, and P. Tang. Planning for Terrestrial Laser Scanning in Construction: A Review.
25. C. Wu, Y. Yuan, Y. Tang, and B. Tian. Application of terrestrial laser scanning (Tls) in the architecture, engineering and construction (aec) industry. 2022.
26. A. Berberan, I. Ferreira, E. Portela, et al. Overview on Terrestrial Laser Scanning As a Tool for Dam Overview on Terrestrial Laser Scanning As a Tool. In: *6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DAM ENGINEERING*. pp. 1–11, 2011.
27. U. Stilla and B. Jutzi. Book Review. In: *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, 2008.
28. Topcon. GTL-1000 Laser Scanner Total Station., https://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/GTL-1000_E.html.