



เทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับงานสถาปัตยกรรมไทย กรณีศึกษา มณฑล พระพุทธรสิหิงค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

พุดิพงษ์ สุดจ่านงค์ และ ณรงค์ พูนพจน์มาศ*

สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 9234 4306 อีเมล: narong.p@mail.rmutk.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.01.001

รับเมื่อ 12 กันยายน 2567 แก้ไขเมื่อ 5 พฤศจิกายน 2567 ตอรับเมื่อ 12 ธันวาคม 2567 เผยแพร่ออนไลน์ 10 มกราคม 2568

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

จากปัญหาการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เชิงเลขของสถาปัตยกรรมไทยที่มีรายละเอียดซับซ้อนไม่สามารถใช้เพียงอุปกรณ์ชนิดใดชนิดหนึ่งได้เนื่องจากเซนเซอร์แต่ละชนิดให้มุมมองและความละเอียดที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแบบจำลองสามมิติให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เชิงเลขเพื่อการบูรณาการข้อมูลภาพถ่ายจากเซนเซอร์ 3 ประเภท ประกอบด้วย 1) ภาพถ่ายจาก DJI Mavic 3 Classic โดยการบินวนเป็นวงกลมรอบมณฑล (POI) ที่ระดับความสูงที่ต่างกัน 6 ระดับ 2) บันทึกข้อมูลภาพถ่ายด้วย Canon DSLR เลนส์คงที่ 20 มม. ภายในพื้นที่ส่วนพระพุทธรสิหิงค์และรายละเอียดภายในมณฑล และ 3) บันทึกข้อมูลภาพถ่ายด้วยสมาร์ทโฟนในส่วนของรายละเอียดบันได การประมวลผลบล็อกลำแสงของภาพถ่ายทั้งหมด แบ่งจากเซนเซอร์ 3 ประเภท เป็น 4 บล็อกลำแสง การบูรณาการเพื่อประมวลผลบล็อกลำแสงภาพถ่ายร่วมกันด้วยเงื่อนไขการกำหนดจุดร่วมและจุดควบคุมภาพถ่าย โดยปัจจัยการกระจายตัวของจุดร่วมมีผลต่อการทับซ้อนและการเรียงตัวของบล็อกลำแสง ผลลัพธ์การสร้างแบบจำลองสามมิติของมณฑลพระพุทธรสิหิงค์ที่สร้างมีสีพื้นผิว รูปร่าง ตำแหน่งของวัตถุ มีความแม่นยำ และรายละเอียดสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการเซนเซอร์สามารถปรับปรุงข้อจำกัดของการใช้เซนเซอร์เพียง 1 ชนิดซึ่งเหมาะสมสำหรับงานทางสถาปัตยกรรมไทย

คำสำคัญ: การสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ แบบจำลองสามมิติ สถาปัตยกรรมไทย



The Close Range Photogrammetry Technique for Thai-architecture: A Case Study Sihing Buddha Statue Mandapa at RMUTK

Puttipong Sudjamnong and Narong Poonpotmas*

Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 9234 4306, E-mail: narong.p@mail.rmuth.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.01.001

Received 12 September 2024; Revised 5 November 2024; Accepted 12 December 2024; Published online: 10 January 2025

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The challenge of generating three-dimensional models using digital close range photogrammetry technique in Thai architecture, characterized by intricate features, necessitates the usage of many equipment types, as each sensor offers distinct perspectives and resolutions. To enhance the comprehensiveness of the 3D model, the aim of this research was to investigate a digital close range photogrammetry method for amalgamating photographic data from three sensor types: 1) images captured by the DJI Mavic 3 Classic while orbiting the point of interest at six distinct altitudes; 2) photographic data recorded with a Canon DSLR equipped with a 20 mm fixed lens within the Buddha Sihing area and the mandap's interior; and 3) photographic data obtained with a smartphone focusing on the staircase details. Processing of all photographic bundle blocks segmented into four bundle blocks from three types of sensors. The system integrated photo bundle blocks and sets parameters for identifying manual tie points and photo control points. The distribution factor of the manual tie points influenced the overlap and alignment of bundle blocks. The outcomes of the three-dimensional modelling of the Buddha Sihing mandap encompassed a comprehensive and precise representation of color, texture, shape, and spatial positioning of things. It demonstrated that sensor integration could enhance the constraints associated with utilizing a singular sensor type, making it appropriate for Thai architectural applications.

Keywords: Close Range Photogrammetry, 3D Model, Thai Architecture

Please cite this article as: P. Sudjamnong and N. Poonpotmas, "The close range photogrammetry technique for Thai-architecture: A case study Sihing buddha statue mandapa at RMUTK," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 4, pp. 1–12, ID. 254-7677, Oct.–Dec. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

การสำรวจด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) ในปัจจุบันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติซึ่งความสามารถดังกล่าวมีประโยชน์อย่างมากในด้านการศึกษาเพราะโบราณสถานหรือโบราณวัตถุบางชิ้นที่ไม่สามารถจัดการได้เนื่องจากความเก่าแก่หรือบอบบางเกินไป แบบจำลองสามมิติจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายนี้จะทำให้ผู้ศึกษาด้านโบราณสถานหรือโบราณวัตถุสามารถทราบถึง ขนาด ปริมาตร ลายเนื้อ [1] ความสำคัญของการบันทึกโบราณสถานไม่ใช่แค่เพียงการบันทึกข้อมูลในรูปแบบสามมิติเท่านั้นแต่ยังเป็นการอนุรักษ์ความทรงจำของสถานที่อันเปราะบางไว้สำหรับรุ่นต่อไป ซึ่งสถานที่เหล่านี้เกิดความเสียหายอย่างต่อเนื่องอันเนื่องมาจากธรรมชาติเช่นที่เกิดจากฝน น้ำท่วม แสงแดด ความชื้น แผ่นดินไหว มนุษยชาติ และอื่น ๆ โบราณสถานหลายแห่งมักเกิดการเสื่อมสภาพของโครงสร้างดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการที่เหมาะสมและยืดหยุ่นอย่างเร่งด่วนสำหรับประเมินความเสี่ยงของโครงสร้างทางประวัติศาสตร์และแหล่งมรดกทางวัฒนธรรม การแปลงสถาปัตยกรรมอันล้ำค่าให้เป็นข้อมูลดิจิทัลกลายเป็นสิ่งจำเป็นในการทำนุบำรุง เพื่อใช้ในการซ่อมแซมหรือปรับปรุงเท่าที่เป็นไปได้ซึ่งขึ้นอยู่กับการสำรวจที่น่าเชื่อถือ [2]-[7]

ซึ่งปัจจุบันการตรวจสอบด้วยสายตาถือเป็นหลักปฏิบัติที่ทำโดยทั่วไป เพื่อการระบุความเสียหายที่มีอยู่และประเมินสภาพของโครงสร้าง เช่น รอยแตกร้าว การหลุดร่อนของคอนกรีต และการทรุดตัวของโครงสร้าง แต่เนื่องจากความซับซ้อนของโครงสร้าง ส่งผลให้การตรวจสอบโดยมนุษย์มักใช้เวลานาน และต้องอาศัยผู้ประเมินที่มีประสบการณ์และเทคนิคเฉพาะ [6] จึงมีแนวคิดสร้างแบบจำลองสามมิติซึ่งมีความแม่นยำสูงสำหรับประเมินโบราณสถานด้วยเหตุผลนี้จึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคนิคด้านวิศวกรรมสำรวจโดยทั่วไปมี 2 วิธีหลัก คือ การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photogrammetry) และการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน (Terrestrial Photogrammetry) [4], [8]

การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศซึ่งในอดีตมีต้นทุน

ค่อนข้างสูงเนื่องจากค่าจัดจ้างเครื่องบินและต้องปฏิบัติตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด จึงถูกจำกัดในหน่วยงานราชการ รัฐวิสาหกิจ และหน่วยงานเอกชนจำนวนน้อย [9] จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจเก็บข้อมูลโบราณสถานใช้ครั้งแรกในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 และแพร่หลายในศตวรรษที่ 20 [10] ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) มีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพสูงจึงมีการทำวิจัยอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ดีว่า UAV มีความเหมาะสมสำหรับการอนุรักษ์โบราณเนื่องจาก มีขนาดเล็ก มีความยืดหยุ่น และมีความแม่นยำสูง [2], [3], [5], [6], [11]

ผลลัพธ์ของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจาก UAV ได้แก่ แบบจำลองภูมิประเทศ (Topographic Model) แสดงลักษณะภูมิประเทศและสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น [12] พอยต์คลาวด์ (Point Cloud) เป็นจุดพิกัดสามมิติซึ่งประกอบด้วยค่าพิกัด X, Y, Z พร้อมแสดงสี R, G, B [13], [14] แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ (Digital Surface Model) แสดงความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น [10], [15] และภาพถ่ายออร์โธ (Orthography Photograph) ภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเนื่องจากความสูง สามารถหาค่าพิกัดตำแหน่ง รูปร่าง และขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพได้เสมือนแผนที่ [4], [16] แต่ UAV มีข้อจำกัดในการเก็บภาพถ่ายภายในอาคารและวัตถุขนาดเล็กเนื่องจากการทำงานต้องเป็นพื้นที่สามารถมองเห็นได้ชัดปราศจากสิ่งบดบัง [10] ด้วยเหตุผลนี้จึงต้องมีการประยุกต์ใช้ การสำรวจภาคพื้นดิน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลในส่วนของ UAV ไม่สามารถบันทึกภาพถ่ายได้

เทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ (Close Range Photogrammetry) ที่ผ่านมามีการใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (Digital Single-lens Reflex Camera; DSLR) ในการถ่ายภาพสำหรับสร้างพื้นผิวของวัตถุขนาดเล็ก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความสมบูรณ์ของรายละเอียดครบถ้วน เพราะกล้องสามารถเลือกขนาดเลนส์และโฟกัสที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่สมบูรณ์ที่สุด เพื่อ

ลดความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จากการประมวลผลภาพถ่าย [1], [8], [17] สำหรับรายละเอียดของแบบจำลองสามมิติขนาดเล็กสามารถใช้ภาพถ่ายจากโทรศัพท์มือถือ (Smartphone) ร่วมกับแอปพลิเคชัน ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานหรือสถาปัตยกรรมขนาดเล็ก [18]

การใช้ภาพถ่ายจาก UAV ร่วมกับภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลในงานวิจัยที่ผ่านมาได้สร้างแบบจำลองสามมิติของสถาปัตยกรรม ซึ่งผลลัพธ์ของแบบจำลองสามมิติสามารถยืนยันได้ว่าทั้ง 2 วิธี สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้ [2] ดังนั้นการวางแผนการถ่ายภาพที่เหมาะสม เช่น การทับซ้อนของภาพถ่าย (Overlap) ส่งผลต่อการประมวลผลภาพถ่าย กล่าวคือเมื่อร้อยละการทับซ้อนของภาพถ่ายต่ำ จะส่งผลให้การจับคู่จุดรั้งวัดร่วม (Tie-Point) มีจำนวนน้อย ทำให้รายละเอียดของแบบจำลองสามมิติไม่ครบถ้วน ขนาดของจุดภาพในภูมิประเทศ (Ground Sample Distance; GSD) เป็นค่าที่แสดงขนาดของจุดภาพถ่ายโดยแปรผันตามระยะห่างของการถ่ายภาพ (The Shooting Distance) กับความละเอียดของภาพถ่าย (Resolution) ตามสมการที่ (1) ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลต่อความละเอียดของแบบ

จำลองสามมิติของสถาปัตยกรรม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงในตารางที่ 1 สำหรับนำมาปรับใช้ให้เหมาะสม

$$GSD = \left(\frac{H}{f}\right) * \text{Actual pixel size} \quad (1)$$

โดยที่ H คือ ความสูงบิน

f คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์

Actual pixel size คือ ขนาดจริงของจุดภาพ

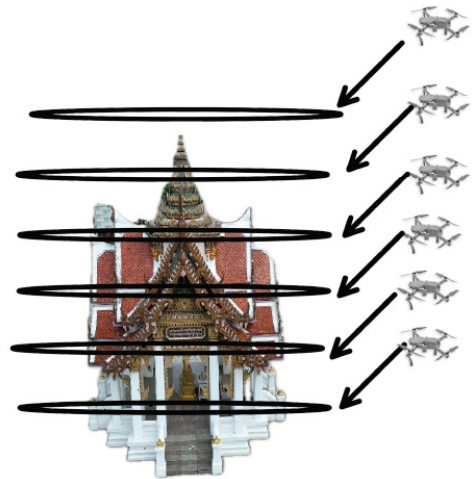
จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น UAV สามารถเก็บข้อมูลภาพถ่ายมุมสูงได้ดี ในพื้นที่ที่จำกัดอาจได้ข้อมูลไม่ครบถ้วน จึงอาศัยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลและสมาร์ทโฟนเพื่อแก้ปัญหาการขาดหายของข้อมูลภาพถ่ายในพื้นที่ดังกล่าว งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อบูรณาการเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายในการสร้างแบบจำลองสามมิติของมณฑลพระพุทธรูปสังขารด้วยข้อมูลภาพถ่ายจาก UAV กล้องถ่ายภาพดิจิทัล และสมาร์ทโฟน เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของมณฑลพระพุทธรูปสังขาร สำหรับใช้เป็นเอกสารดิจิทัลในการอนุรักษ์และทำนุบำรุงสถาปัตยกรรมไทยต่อไป

ตารางที่ 1 รายละเอียดการวางแผนถ่ายภาพและคุณสมบัติของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลจากงานวิจัยที่ผ่านมา

อ้างอิง	ประเภท	รุ่นอุปกรณ์	ความละเอียด (ล้านพิกเซล)	การทับซ้อน (เปอร์เซ็นต์)	ระยะห่างของการถ่ายภาพ (เมตร)
[1]	Camera	Nikon D3100	8	15-20	1-2
[2]	Camera, UAV	Sony Alpha NEX-7	18	60	43
[3]	Camera, UAV	Pentax Optio A40	12	75	80
[4]	UAV	DJI Phantom 3 Pro	12	-	15
[5]	UAV	-	-	55-65	50
[6]	UAV	DJI Phantom 4 Pro	20	80	5-10
[8]	Camera	Nikon D800 FX	34	60	1-2
[10]	UAV	Sony DSC-RX1	24	50-70	-
[11]	UAV	DJI Phantom 4 Pro	20	60	80
[14]	Camera	Sony Alpha 7R-II	42	-	-
[18]	Smartphone	Huawei Mate Pro 20	40	-	7-20
[19]	UAV	DJI Phantom 3 Pro	12	40-60	-



รูปที่ 1 มณฑปพระพุทธสิหิงค์



รูปที่ 2 แนวการบินถ่ายภาพทั้ง 6 ระดับจาก UAV

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่กรณีศึกษา

มณฑปพระพุทธสิหิงค์ เป็นพื้นที่กรณีศึกษาที่ตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ 13.714491 เหนือ ละติจูด 100.538924 ตะวันออก ลองจิจูด มีพื้นที่ประมาณ 277 ตารางเมตร และความสูง 15.800 เมตรมีลักษณะเป็นสถาปัตยกรรมไทยฐานล่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีลักษณะหลังคาเครื่องยอดเป็นยอดแหลมและมีพระพุทธสิหิงค์จำลองขนาดหน้าตัก 24 นิ้วประดิษฐานอยู่เป็นศูนย์กลางของมณฑป แสดงในรูปที่ 1

2.2 อุปกรณ์ในการศึกษา

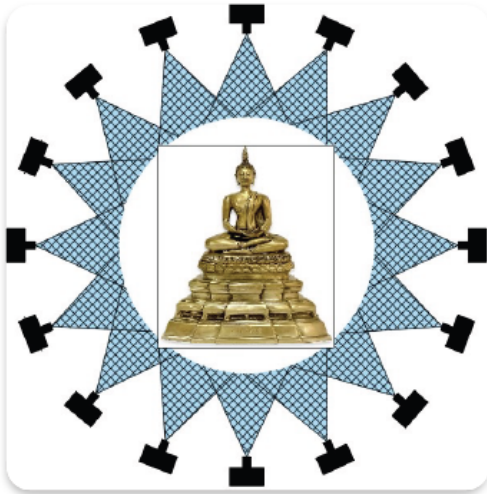
2.2.1 อุปกรณ์ถ่ายภาพมณฑปพระพุทธสิหิงค์ทางอากาศ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายส่วนภายนอกที่เป็นภาพถ่ายมุมกว้างจากด้านบนและด้านข้างของพื้นที่กรณีศึกษา โดยใช้ UAV DJI รุ่น Mavic 3 Classic มีความละเอียดภาพถ่าย 5280 X 3956 จุดภาพ (20 ล้านจุดภาพ) กำหนดลักษณะการบินแบบ Point Of Interest (POI) ซึ่งเป็นการบินรอบจุดหรือวัตถุที่เราสนใจและมีทิศทางของมุมกล้องเข้าหาศูนย์กลาง



รูปที่ 3 DSLR Canon EOS รุ่น 1DX

มีความสูงบิน 6 ระดับ ที่ 6 10 15 18 23 และ 25 เมตร เหนือระดับพื้นดิน ควบคุมกับการกำหนดมุมกล้องเป็น 0° 15° 25° 32° 45° และ 60° จากแนวราบ แสดงในรูปที่ 2 มีการทับซ้อนของภาพถ่ายประมาณร้อยละ 80 และระยะห่างวัตถุประมาณ 5-6 เมตร เป็นไปตามข้อจำกัดของสภาพแวดล้อมในพื้นที่กรณีศึกษา

2.2.2 อุปกรณ์ถ่ายภาพมณฑปพระพุทธสิหิงค์ภาคพื้นดิน สำหรับพื้นที่ภายในมณฑปใช้กล้องถ่ายภาพ DSLR Canon EOS รุ่น 1DX มีความละเอียดภาพถ่าย 5202 x 3533 จุดภาพ (18 ล้านจุดภาพ) แสดงในรูปที่ 3 ร่วมกับเลนส์ Canon Lens EF 20 มิลลิเมตร การถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพ



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 (ก) ถ่ายภาพรอบจุดศูนย์กลางโดยให้มุมกล้องเข้าหาจุดศูนย์กลาง และ (ข) ถ่ายภาพรอบจุดศูนย์กลางโดยให้มุมกล้องหันออกนอกจุดศูนย์กลาง

DSLR มี 2 มุมมอง 1) ถ่ายภาพรอบจุดศูนย์กลางโดยให้มุมกล้องเข้าหาจุดศูนย์กลาง แสดงในรูปที่ 4 (ก) 2) ถ่ายภาพรอบจุดศูนย์กลางโดยให้มุมกล้องหันออกนอกจุดศูนย์กลาง แสดงในรูปที่ 4 (ข) มีการทับซ้อนของภาพถ่ายประมาณร้อยละ 60-80 และระยะห่างวัตถุประมาณ 1-2 เมตร สมาร์ทโฟน iPhone 12 Pro ความละเอียดภาพถ่าย 1440 ×

1920 จุดภาพ (12 ล้านจุดภาพ) สำหรับถ่ายภาพในพื้นที่ที่ไม่ครอบคลุมและเพื่อศึกษาการบูรณาการข้อมูลภาพถ่ายจากเซนเซอร์มากกว่า 2 ชนิดร่วมกันในการสร้างแบบจำลองสามมิติของมณฑลพระพุทธรูปสังขาร

2.2.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS CHC รุ่น i73 สำหรับรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) เพื่อเชื่อมโยงภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับภาพถ่ายภาคพื้นดิน โดยใช้วิธีการรังวัดแบบจลนในทันทีด้วยระบบเครือข่าย การรับสัญญาณดาวเทียมความถี่ 1 เฮิรตซ์ เวลา 1 นาที จำนวน 4 จุด อ้างอิงระบบพิกัด WGS 84 / UTM Zone47 N ทำให้แบบจำลองสามมิติของมณฑลพระพุทธรูปสังขารมีการอ้างอิงทางตำแหน่งตามระบบพิกัดที่กล่าวมาข้างต้น และมีความถูกต้องเชิงมาตราส่วนสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนของการรังวัดแบบจลนในทันทีด้วยระบบเครือข่าย

2.2.4 โปรแกรม Pix4Dmapper สำหรับการทำแผนที่ภาพออร์โธด้วยเทคนิคทาง Photogrammetry เพื่อสร้างพอยต์คลาวด์สามมิติ แบบจำลองสามมิติพื้นผิวเสมือนจริง และภาพออร์โธ โดยขั้นตอนการประมวลผลประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก 1) ปรับแก้บล็อกลำแสงของภาพถ่าย 2) การสร้างพอยต์คลาวด์สามมิติและแบบจำลองพื้นผิว และ 3) การสร้างแผนที่ภาพออร์โธ ในการศึกษาขั้นประมวลผลภาพถ่ายด้วยขั้นตอนดังนี้ 1) การหาองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย 2) การวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่าย 3) การปรับแก้บล็อกลำแสงของภาพถ่าย (Bundle Block Adjustment) และ 4) การสร้างพอยต์คลาวด์ (Generate 3D Point Cloud) อาศัยการจับคู่ภาพและสร้างพื้นผิว (Generate 3D Texture Mesh) [19]

2.3 วิธีการดำเนินงาน

เทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ซึ่งบูรณาการข้อมูลภาพถ่ายจากอุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดข้างต้น เริ่มต้นจากการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับ UAV บริเวณภายนอกมณฑลพระพุทธรูปสังขารจำนวน 4 จุดและสร้างจุดรังวัดร่วม (Manual Tile Point; MTP) เพื่อใช้สำหรับเชื่อมโยงบล็อกลำแสงของแต่ละอุปกรณ์ให้อยู่ในแบบจำลองสามมิติทาง

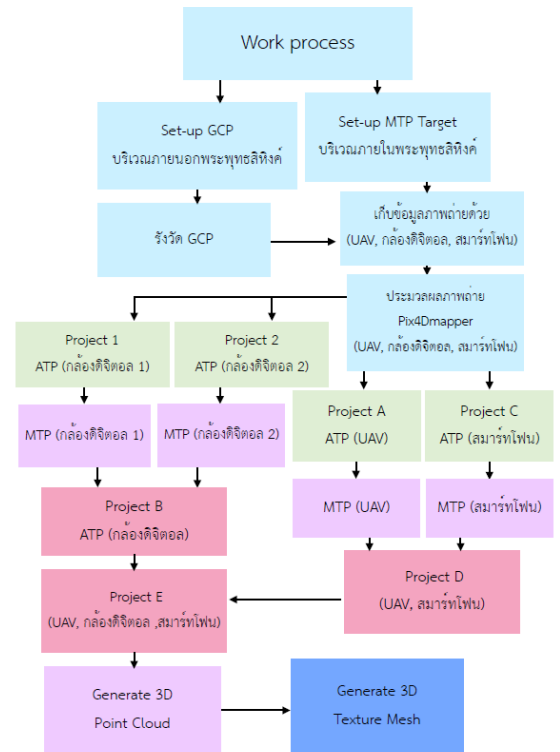
สถาปัตยกรรมไทยเดียวกัน นำภาพถ่ายจาก UAV ที่ได้มาประมวลผลขั้นต้นด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper กำหนดเป็น Project A เพื่อสร้าง Automatic Tile Point สำหรับใช้ในการปรับแก้บล็อกลำแสงของภาพถ่าย หลังจากนั้นจึงวัด MTP สำหรับเชื่อมโยง Project ของข้อมูลภาพถ่ายจากสมาร์ตโฟน

ติดตั้งจุดสัญญาณที่ใช้เป็นจุดรังวัดรวมภายในมณฑปพระพุทธรูปสำหรับกล้องถ่ายภาพ DSLR 2 มุมมอง นำภาพไปประมวลผลขั้นต้นเพื่อสร้าง ATP สำหรับใช้ในการปรับแก้บล็อกลำแสงของภาพถ่าย โดยข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ DSLR แยกกันประมวลผลเป็น 2 บล็อกเพื่อลดภาระในการประมวลผลภาพถ่ายจำนวนมากในคราวเดียวกัน ได้แก่ Project 1 มุมมองถ่ายภาพรอบจุดศูนย์กลางโดยให้มุมกล้องเข้าหาจุดศูนย์กลางและ Project 2 มุมมองถ่ายภาพรอบจุดศูนย์กลางโดยให้มุมกล้องหันออกนอกจุดศูนย์กลาง หลังจากนั้นจึงวัด MTP ใน Project 1 และ 2 เพื่อเชื่อมโยงบล็อกลำแสงภาพถ่ายของ Project 1 และ Project 2 โดยอ้างอิง MTP ที่กล่าวมาข้างต้นโดยกำหนดเป็น Project B

ทำการตรวจสอบข้อมูล ATP ของบล็อกลำแสงภาพถ่ายในทุก ๆ Project เพื่อหาส่วนที่รายละเอียดไม่สมบูรณ์ในแบบจำลองสามมิติและใช้สมาร์ตโฟนเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายในส่วนรายละเอียดที่ขาดหายไปข้างต้น นำภาพถ่ายที่ได้มาประมวลผลขั้นต้นเพื่อสร้าง ATP และปรับแก้บล็อกลำแสงกำหนดเป็น Project C

ทำการ Merged Project A และ C เป็น Project D หลังจากนั้นนำ Project D ไป Merged Project B เป็น Project E ซึ่งเป็นการบูรณาการบล็อกลำแสงจาก UAV กล้องถ่ายภาพ DSLR และสมาร์ตโฟน

เงื่อนไขการ Merged Project ใน Pix4Dmapper ต้องรังวัด MTP ที่มีชื่อเดียวกันและตำแหน่งเดียวกันสำหรับเชื่อมโยงบล็อกลำแสงของภาพถ่ายมากกว่า 1 บล็อกเข้าด้วยกัน นำบล็อกลำแสงของ Project E ไปสร้าง Point Cloud เพื่อเพิ่มรายละเอียดจุดสามมิติสำหรับการสร้างแบบจำลองพื้นผิวสามมิติต่อไปแสดงในรูปที่ 5 หลังจากนั้นประเมินความสมบูรณ์ของแบบจำลองสามมิติด้วยสายตาและพิจารณา



รูปที่ 5 กระบวนการสร้างแบบจำลองสามมิติของมณฑปพระพุทธรูปหิังค์

ความถูกต้องเชิงมาตราส่วนของแบบจำลองสามมิติจากระยะทางในแบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบกับข้อมูลรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมจำนวน 7 ระยะ โดยเป็นระยะที่เห็นได้ชัดเจนในแบบจำลองสามมิติและสภาพแวดล้อมจริง

3. ผลการทดลอง

3.1 การประมวลผลภาพถ่ายจาก UAV

ผลจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับบริเวณมณฑปพระพุทธรูปหิังค์ โดยการบินแบบ POI บริเวณมณฑปพระพุทธรูปหิังค์ จำนวน 6 ระดับความสูง ทำให้ได้จำนวนภาพถ่ายทั้งหมด 240 ภาพ โดยมีจุดควบคุมภาคพื้นดินจำนวน 4 จุด มีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสสีขาว-ดำขนาด 50 × 50 เซนติเมตร ตามรูปที่ 10 ซึ่งมีค่าพิกัด ดังตารางที่ 2 และประมวลผลขั้นต้นใน Pix4Dmapper ในชื่อ Project A สำหรับสร้าง ATP แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการประมวลผลภาพถ่ายจาก UAV พร้อมจุด GCP (Project A)

ตารางที่ 2 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน

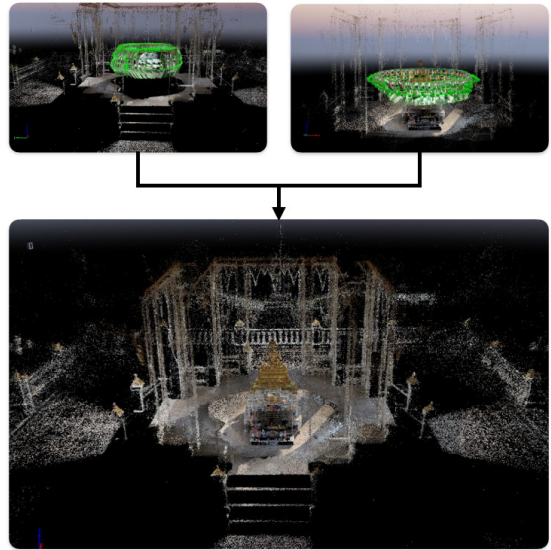
ชื่อจุด	เหนือ (เมตร)	ตะวันออก (เมตร)	ค่าระดับ (เมตร)
GCP101	1516689.229	666415.148	2.476
GCP102	1516683.582	666404.075	2.437
GCP103	1516673.860	666409.221	2.464
GCP104	1516679.478	666420.318	2.465

3.2 การประมวลผลภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล

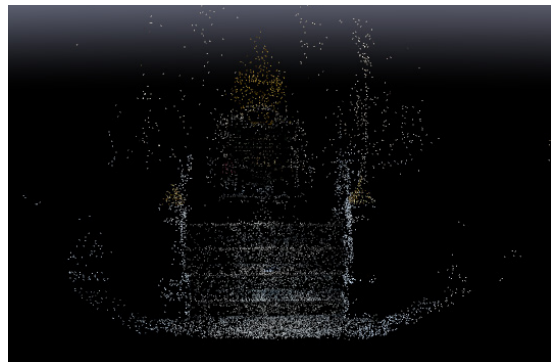
ผลจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลทั้ง 2 มุมมอง มุมมองที่ 1 ได้ภาพถ่าย 138 ภาพ ประมวลผลบล็อกลำแสง Project 1 และมุมมองที่ 2 ได้ภาพถ่าย 431 ภาพ ประมวลผลบล็อกลำแสง Project 2 โดยรังวัดจุด MTP สำหรับรังวัดรวมจำนวน 12 จุดเพื่อเชื่อมโยงบล็อกลำแสงภาพถ่ายของ Project 1 และ Project 2 ในชื่อ Project B โดยใช้ MTP สำหรับเชื่อมโยงภาพถ่ายทั้ง 2 มุมมองจำนวน 12 จุด สีเขียวแสดงตำแหน่งและการเรียงตัวของภาพถ่ายในแต่ละมุมมอง แสดงในรูปที่ 7

3.3 การประมวลผลภาพถ่ายจากสมาร์ตโฟน

ผลจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายจากสมาร์ตโฟนบริเวณบันไดด้านหน้าองค์พระพุทธรูปสีหิงค์ได้ภาพถ่ายทั้งหมด 15 ภาพ ประมวลผลขั้นต้นใน Pix4Dmapper ในชื่อ Project C สำหรับสร้าง ATP แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 แสดงผลการเชื่อมโยงบล็อกลำแสงภาพถ่ายของ Project 1 และ Project 2 (Project B)



รูปที่ 8 ผลการประมวลผลภาพถ่ายจากสมาร์ตโฟน (Project C)

3.4 ผลการสร้างแบบจำลองสามมิติจากอากาศยานไร้คนขับ ภาพถ่ายกล้องดิจิทัล และภาพถ่ายสมาร์ตโฟน

การประมวลผลขั้นต้น กำหนดเงื่อนไขสกัดหาจุดสำคัญ 1 เท่าของภาพ ผลการประมวลผลขั้นต้น ขนาดเฉลี่ยของจุดภาพในภูมิประเทศ Ground Simple Distance เท่ากับ 4.3 มิลลิเมตร หมายถึงหนึ่งจุดภาพของภาพถ่ายมีขนาด 4.3 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าต่างสัมพัทธ์ขององค์ประกอบภายในกล้องถ่ายภาพ DSLR ร้อยละ 3.76 ค่ามัธยฐานของการค้นหา

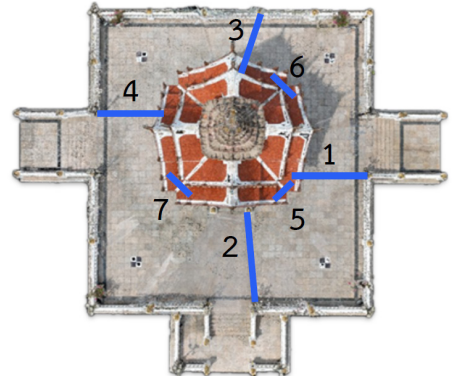


รูปที่ 9 แสดงผลการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติ มณฑลพระพุทธรูปสังคหิ

จุดสำคัญเท่ากับ 41,456 จุดต่อภาพ ค่ามัธยฐานของการจับคู่จุดสำคัญ 17,376.9 จุดต่อภาพ มีค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อนกำลังสองของการวัดจุดควบคุม 0.006 ม. และค่าความคลาดเคลื่อนของการฉายย้อนกลับ (Reprojection Error) เท่ากับ 0.211 จุดภาพ เงื่อนไขการประมวลผลสร้างพอยต์คลาวด์ การค้นหาจุดสำคัญพิจารณาข้อมูลภาพที่ความละเอียด 1 เท่าของภาพถ่าย และการจับคู่จุดสำคัญปรากฏอยู่บนภาพถ่ายไม่น้อยกว่า 3 ภาพ สามารถสร้างพอยต์คลาวด์จำนวนทั้งสิ้น 96,307,952 จุด และความหนาแน่นของจำนวนจุดพอยต์คลาวด์สามมิติเฉลี่ยเท่ากับ 606,916 จุดต่อลูกบาศก์เมตรประมวลผลสร้างพื้นผิวภายใต้เงื่อนไข High Resolution สามารถสร้างพอยต์คลาวด์จำนวนทั้งสิ้น 96,307,952 จุด และความหนาแน่นของจำนวนจุดพอยต์คลาวด์สามมิติเฉลี่ยเท่ากับ 606,916 จุดต่อลูกบาศก์เมตร แสดงในรูปที่ 9

3.5 ผลการตรวจสอบความถูกต้องเชิงมาตราส่วนของแบบจำลองสามมิติ

การตรวจสอบความถูกต้องเชิงมาตราส่วนของแบบจำลองสามมิติด้วยการรังวัดระยะทางราบ NE จากการรังวัดพิกัดสามมิติของพอยต์คลาวด์เปรียบเทียบกับรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม (Total Station; TS) ที่กระจายตัวอยู่โดยรอบของมณฑลพระพุทธรูปสังคหิโดยระยะสอบเทียบเป็นเส้นสีน้ำเงินแสดงรูปที่ 10 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ



รูปที่ 10 ตำแหน่งรังวัดแบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบกับข้อมูลรังวัดกล้องประมวลผลรวม (TS) และ GCP

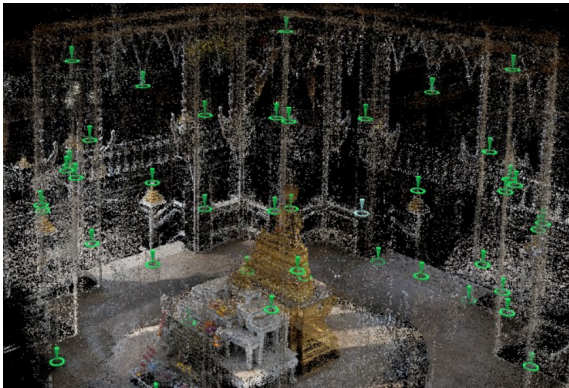
ระยะทางราบของแบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบกับข้อมูลรังวัดจาก TS ± 0.069 เมตร แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะทางของแบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบกับข้อมูลรังวัดกล้องประมวลผลรวม

เส้นฐาน	กล้องประมวลผลรวม (เมตร)	แบบจำลองสามมิติ (เมตร)	ข้อผิดพลาด (เมตร)
1	3.653	3.620	0.033
2	5.606	5.570	0.036
3	3.466	3.440	0.026
4	3.670	3.670	0.000
5	1.277	1.270	0.007
6	1.264	1.300	-0.036
7	1.260	1.280	-0.020
RMS			0.069

4. อภิปรายผลและสรุป

การบูรณาการจากข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ กล้องดิจิทัล และสมาร์ตโฟนด้วยโปรแกรม Pix4Dmapper เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของมณฑลพระพุทธรูปสังคหิ ที่อาศัยเทคนิคการประมวลผลแบบ Photogrammetry ซึ่งช่วยในกระบวนการจัดตำแหน่งของภาพถ่ายในบล็อกลำแสงเพื่อสร้างพอยต์คลาวด์สำหรับแบบจำลองสามมิติที่แสดง



รูปที่ 11 ตำแหน่ง MTP ที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมโยงบล็อก
ลำแสง (จุดสีเขียว)

คุณสมบัติของสีพื้นผิว รูปร่าง ตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ค่อนข้างมีความแม่นยำและรายละเอียดสมบูรณ์ เป็นผลมาจากระยะห่างวัตถุและตำแหน่งถ่ายภาพ ความละเอียดของอุปกรณ์ และการทับซ้อนของภาพถ่าย ข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นแปรผันกับค่า GSD เมื่อประมวลผลบล็อกลำแสงร่วมกันค่า GSD ที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยจากเงื่อนไขข้างต้น สิ่งที่สำคัญสำหรับการเชื่อมโยงเซนเซอร์ทั้ง 3 อุปกรณ์ คือ MTP ซึ่งช่วยในการปรับแก้ตำแหน่งของพอยคราวด์ให้มีลักษณะสอดคล้องกันโดยการรังวัดจุดร่วมเดียวในแต่ละบล็อกซึ่งส่งผลโดยตรงกับความบิดเบี้ยว สี ระยะเวลา และอื่น ๆ ของแบบจำลอง

ข้อเสนอแนะของการบูรณาการข้อมูลจากหลายอุปกรณ์นั้น ต้องคำนึงถึงการเชื่อมโยงบล็อกลำแสงที่ควรพิจารณาการกระจายของจุด MTP ตัวอย่างเช่น เมื่อจุด MTP มีปริมาณน้อยเกินไปอาจส่งผลให้เกิดความบิดเบี้ยวของแบบจำลองสามมิติทั้งในทางราบและทางตั้ง ดังนั้นจึงควรมี MTP กระจายตัวทุกด้านของแบบจำลองสามมิติทั้งทางราบและทางตั้งตามรูปที่ 11 ปริมาณและการกระจายตัวของ MTP ที่เหมาะสมต้องพิจารณาตามสัดส่วนของแบบจำลองสามมิติ

การประเมินความสมบูรณ์ของแบบจำลองสามมิติ โดยเน้นคุณลักษณะเฉพาะ เช่น รูปร่าง ความสม่ำเสมอของพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจะเห็นได้ว่า รายละเอียดภายนอกอาคารได้แก่ โคมไฟ กำแพง บันได และศาลา

อาคารมีลักษณะ เป็นสถาปัตยกรรมแบบภูษาคาศาลาที่มียอดแหลมลักษณะคล้ายยอดปราสาท โดยมีส่วนประกอบดังนี้ ยอดปลายแหลม ลายนกไทย จากการพิจารณาด้วยสายตาเห็นได้ว่า บริเวณสถาปัตยกรรมแบบไทยเห็นรอยหักที่ตามการเว้าของพื้นผิวค่อนข้างชัดเจน เมื่อพิจารณาลงสีของแบบจำลองอาจผิดเพี้ยนเนื่องจากช่วงเวลาการถ่ายที่ต่างกันและการไม่มีการจัดสถานะแสงขณะถ่ายภาพ

งานวิจัยนี้พิจารณาความสมบูรณ์ของแบบจำลองด้วยการสังเกตด้วยสายตาซึ่งยังไม่สามารถชี้วัดความถูกต้องได้อย่างมีมาตรฐาน การใช้ MTP ในการตรวจสอบคลาดเคลื่อนโดยอาศัยค่าคลาดเคลื่อนของการฉาย (Projection Error; PE) ซึ่งระบุค่าเชิงตัวเลขจากการรังวัดภาพถ่ายทั้งหมดจากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดที่มีจุด MTP ในภาพถ่ายนั้นซึ่งมีผลลัพธ์เป็นตัวเลขของแต่ละจุด MTP ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานในการพิจารณา PE ดังนั้นในอนาคตควรมีเกณฑ์มาตรฐานโดยอ้างอิงค่า PE สำหรับงานเอกสารดิจิทัลสำหรับงานสถาปัตยกรรมไทย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลจากโครงการบูรณาการข้อมูลพอยคราวด์ จากอากาศยานไร้คนขับ กล้องดิจิทัล ชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว และสมาร์ตโฟน เพื่องานสถาปัตยกรรม ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนทรัพยากรต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Kaufman, A. E. W. Rennie, and M. Clement, "Single camera photogrammetry for reverse engineering and fabrication of ancient and modern artifacts," *Procedia CIRP*, vol. 36, pp. 223–229, 2015.
- [2] R. Pierdicca, "Mapping Chimu's settlements for conservation purposes using UAV and close range photogrammetry. The virtual

- reconstruction of Palacio Tschudi, Chan Chan, Peru,” *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 8, pp. 27–34, 2018.
- [3] F. Carvajal-Ramírez, A. D. Navarro-Ortega, F. Agüera-Vega, P. Martínez-Carricondo, and F. Mancini, “Virtual reconstruction of damaged archaeological sites based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry and 3D modelling. Study case of a southeastern Iberia production area in the Bronze Age,” *Measurement*, vol. 136, pp. 225–236, 2019.
- [4] N. Cavalagli, M. Giofrè, S. Grassi, V. Gusella, C. Pepi, and G. M. Volpi, “On the accuracy of UAV photogrammetric survey for the evaluation of historic masonry structural damages,” *Procedia Structural Integrity*, vol. 29, pp. 165–174, 2020.
- [5] Z. Liu, “Extraction and mapping of component information of ancient buildings in Huizhou based on UAV technology,” *Ecological Informatics*, vol. 66, pp. 101437, 2021.
- [6] X. Kong and R. G. Hucks, “Preserving our heritage: A photogrammetry-based digital twin framework for monitoring deteriorations of historic structures,” *Automation in Construction*, vol. 152, pp. 104928, 2023.
- [7] D. Chapinal-Heras, C. Díaz-Sánchez, N. Gómez-García, S. España-Chamorro, L. Pagola-Sánchez, M. Parada López de Corselas, and M. Elías Rey-Álvarez Zafria, “Photogrammetry, 3D modelling and printing: The creation of a collection of archaeological and epigraphical materials at the university,” *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 33, pp. e00341, 2024.
- [8] G. Fioretti, C. Campobasso, and S. Capotorto, “Digital photogrammetry as tool for mensiochronological analysis: The case of st. Maria Veterana archaeological site (Triggiano, Italy),” *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 19, pp. e00158, 2020.
- [9] D. Mathakullachat, “Engineering maps must declare their accuracy and uav is not a magic tool,” *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 34, no. 2, pp. 39–51, 2023 (in Thai).
- [10] M. V. Vavulin, K. V. Chugunov, O. V. Zaitceva, E. V. Vodyasov, and A. A. Pushkarev, “UAV-based photogrammetry: Assessing the application potential and effectiveness for archaeological monitoring and surveying in the research on the ‘valley of the kings’ (Tuva, Russia),” *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 20, pp. e00172, 2021.
- [11] J. M. Vilbig, V. Sagan, and C. Bodine, “Archaeological surveying with airborne LiDAR and UAV photogrammetry: A comparative analysis at Cahokia Mounds,” *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 33, pp. 102509, 2020.
- [12] W. Yu, H. Huang, Q. Liu, and J. Wang, “Integrating physical model and image simulations to correct topographic effects on surface reflectance,” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 211, pp. 356–371, 2024.
- [13] Li, Jun, Shangwei Guo, Luhan Wang, and Shaokun Han, “CompleteDT: Point cloud completion with information-perception transformers,” *Neurocomputing*, vol. 592, pp. 127790, 2024.



- [14] P. Thong-in, P. Klungboonkrong, C. Waisurasingha, P. Punrattanasin, and C. Waisurasingha, "Use of terrestrial photogrammetry together with structure from motion technique for Architectural heritage of ayutthaya-era thai temple: A case study of prasat temple," *Engineering Journal of Research and Development*, vol. 33, no. 2, pp. 91–101, 2022 (in Thai).
- [15] Y. Nakata, K. Iwasaki, S. Shimoda, and H. Torita, "Understanding microtopography changes in agricultural landscapes through precision assessments of digital surface models by the UAV-RTK-PPK method without ground control points," *Smart Agricultural Technology*, vol. 5, pp. 100269, 2023.
- [16] E. Nocerino and F. Menna, "In-camera IMU angular data for orthophoto projection in underwater photogrammetry," *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 7, pp. 100027, 2023.
- [17] A. Clinch, "Photogrammetry for the analysis of plaster technology and ancient painting techniques: A case study on painted plasters from Amarna, Egypt," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 32, pp. e00307, 2024.
- [18] N. Mohareb, A. Alsalloum, and N. Webb, "A morphological analysis of historic buildings entries using affordable photogrammetry techniques: Old Tripoli, Lebanon," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 28, pp. e00261, 2023.
- [19] A. Thanimkarn, S. Krobklang, and J. Makklang, "The application of unmanned aerial vehicle for creating 3D model database in architecture case study: Building 3 and Building 22, Architecture Program Rajamangala University of Technology Isan Nakhon Ratchasima," *Journal of Building Energy & Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 53–62, 2020 (in Thai).