

การสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากภาพหลายภาพ สำหรับมรดกทางวัฒนธรรม

3D Model Reconstruction from Multiple Images for Cultural Heritage

นฤตม์ สุนทรานนท์ ภาณุ เศรษฐฐเสถียรและปรีสาร รักวาทีน

Narut Soontranon Panu Srestasathierand Preesan Rakwatin

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

120 ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติฯ (อาคาร B) ม.3 ถ.แจ้งวัฒนะ หลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

โทรศัพท์ 02-141-4604 โทรสาร 02-143-9595 e-mail: narut@gistda.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการเก็บข้อมูล สำหรับมรดกทางวัฒนธรรมในประเทศไทย ที่สามารถจับต้องได้ในรูปแบบของแบบจำลองสามมิติ ข้อมูลขาเข้าจะใช้รูปภาพจากหลายมุมมองรอบๆ วัตถุที่สนใจ ซอฟต์แวร์ระบบเปิดMICMAC ถูกมาใช้ประโยชน์ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ แบบอัตโนมัติ แผนภาพการทำงานสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การลงทะเบียนรูปภาพ (Image registration) การปรับแก้ความผิดเพี้ยนและการหาตำแหน่งรูปภาพ (Image calibration & orientation) และการสร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยการจับคู่จุดบนภาพสเตอริโอ (Stereo image matching) ซึ่งในการศึกษาเบื้องต้นจะมุ่งไปที่มรดกทางวัฒนธรรมขนาดเล็กซึ่งมีความสูงไม่เกิน 3 เมตรการเก็บข้อมูลรูปภาพจะใช้กล้องดิจิทัลประเภท DSLR ระดับผู้ใช้งานเริ่มต้นซึ่งมี ต้นทุนต่ำ ข้อมูลสามมิติเหล่านี้ สามารถใช้ในการนำเสนอผ่านสื่อกลางต่างๆ เช่น เว็บไซต์ ทีวีดี เอกสารจัดพิมพ์ ฯลฯ หรือข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลอ้างอิงกรณีที่มีมรดกทางวัฒนธรรมนั้นต้องการบูรณะซ่อมแซม เนื่องจากความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งาน หรือภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ไฟไหม้ในบทความฉบับนี้ นำเสนอผลการดำเนินงานของแบบจำลอง 3 มิติจำนวน 2 ชิ้น ได้แก่ รอยพระพุทธรูปจำลอง และ พระราหูอมจันทร์

คำสำคัญ : แบบจำลอง 3 มิติ มรดกทางวัฒนธรรม ซอฟต์แวร์ระบบเปิด (MICMAC), การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ

ABSTRACT

The paper proposes a method used to collect and record 3D models of cultural heritage in Thailand. Input data is a set of multiple images acquired from different views around the interest object. An open source software called MICMAC is used to automatically compute for the 3D model. An overview diagram consists of 3 steps: I) Image registration II) Image calibration & orientation and III) 3D reconstruction from stereo dense matching. For the initial phase, we are focusing on small heritage objects which are not exceed than 3 meters high. The collected images are acquired by using a low cost DSLR camera. The 3D models can be used to publish on various media such as website, DVD, printing materials etc. For the high accurate models, they can be used as reference data if they have to be restored due to the deterioration of lifetime or disaster effects (e.g. flood, fire). In this paper, 3D models are reconstructed and experimented for the results as follows: Buddha footprint and Phra Rahu.

KEYWORDS: 3D model, cultural heritage, open source software (MICMAC), 3D reconstruction

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีมรดกทางวัฒนธรรม ที่จับต้องได้ (Tangible cultural heritage) เช่น โบราณวัตถุ หรือโบราณสถานต่างๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งถือเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศ บทความนี้นำเสนอ แนวทางการเก็บข้อมูลมรดกทางวัฒนธรรมเชิงวัตถุขนาดเล็กในรูปแบบข้อมูล 3 มิติ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเผยแพร่สู่เยาวชนหรือผู้สนใจอื่นๆ นอกจากนี้แบบจำลอง 3 มิติที่มีความถูกต้องสูงยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงฐานข้อมูล เพื่อการศึกษาวัฒนธรรม ประวัติศาสตร์ รวมไปถึงการบูรณะซ่อมแซมเมื่อมรดกทางวัฒนธรรมเหล่านั้นเกิดความเสียหายอีกด้วย

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณลักษณะเด่นและด้อยของอุปกรณ์แต่ละประเภทที่ใช้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ

ประเภท	ข้อเด่น	ข้อด้อย
การวัดระยะด้วยมือแล้วบันทึก	<ol style="list-style-type: none"> 1. ถือเป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้ในการเก็บข้อมูล 3 มิติ 2. มีต้นทุนต่ำที่สุด 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีการสัมผัสโดยตรงกับวัตถุ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับวัตถุซึ่งมีความเปราะบางได้ง่าย 2. ใช้เวลานาน ทำให้อาจเกิดความผิดพลาดจากความเหนื่อยล้าของผู้วัดและบันทึกได้
กล้อง Kinect [2]	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ 3D laser scanner 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถใช้ได้กับวัตถุขนาดเล็ก 2. มีข้อจำกัดในเรื่องระยะทางระหว่างตัวตรวจวัด (Sensor) กับวัตถุที่ระยะไม่เกิน 2.5 เมตร
อุปกรณ์ 3D laser scanner[6]	<ol style="list-style-type: none"> 1. แบบจำลอง 3 มิติที่ได้มีความถูกต้องทางเรขาคณิตสูง 2. ถือเป็นเทคโนโลยีที่ปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีต้นทุนสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ 2. การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ 3D laser scanner (ขนาดใหญ่กว่าอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ) เข้าไปในพื้นที่บริเวณจำกัด สามารถทำได้ยาก 3. ต้องการหน่วยความจำ (Storage, hard disk) ในการเก็บข้อมูลจำนวนมาก
กล้องถ่ายภาพดิจิทัลร่วมกับซอฟต์แวร์ประมวลผล	<ol style="list-style-type: none"> 1. กล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้งานอย่างแพร่หลาย 2. ต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ 3D laser scanner 3. ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์จำนวนมากสามารถนำมาใช้คำนวณเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากภาพหลายภาพ 4. ในอนาคตเมื่อมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถลดขั้นตอนการถ่ายภาพไปได้ โดยการใช้ฐานข้อมูลรูปภาพ เช่น google image, flickr, instagram, facebook ฯลฯ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความถูกต้องทางเรขาคณิตน้อยกว่า 3 D laser scanner 2. จำเป็นต้องใช้ซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการคำนวณแบบจำลอง 3 มิติ

เมื่อกล่าวถึงการวัดระยะเพื่อบันทึกและจัดเก็บข้อมูล 3 มิติของวัตถุที่สนใจ สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น การวัดระยะด้วยมือแล้วบันทึก กล้อง Kinect [2] อุปกรณ์ 3D laser scanner [6] กล้องถ่ายภาพดิจิทัลร่วมกับซอฟต์แวร์ประมวลผล ฯลฯ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีคุณลักษณะเด่นและด้อยที่แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์แต่ละประเภทที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ

หากพิจารณาจากข้อเด่นและข้อด้อยของอุปกรณ์แต่ละประเภทแล้ว การวัดระยะด้วยมือเป็นวิธีการดั้งเดิมซึ่งไม่เหมาะกับวัตถุที่มีเสียหายง่ายเมื่อถูกสัมผัส ส่วนการใช้กล้อง Kinect ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางและขนาดของวัตถุโดยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลถือเป็นอุปกรณ์ที่ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ และมีต้นทุนต่ำกว่า 3D laser scanner อยู่มาดั่งนั้น บทความฉบับนี้ จึงนำศึกษาการใช้งานข้อมูลรูปภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัล นำมาสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ บนพื้นฐานของซอฟต์แวร์แบบเปิด เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของมรดกทางวัฒนธรรมที่มีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับได้

บทความนี้ ประกอบไปด้วย ส่วนที่ 2 วัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินงาน ส่วนที่ 3 แผนภาพการทำงานของซอฟต์แวร์ ส่วนที่ 4 ตัวอย่างของแบบจำลอง 3 มิติที่สร้างขึ้นจากรูปภาพหลายมุมมอง ส่วนที่ 5 ผลการดำเนินงาน และส่วนที่ 6 อภิปรายสรุปและแนวทางการทำงานในอนาคต

2. วัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินงาน

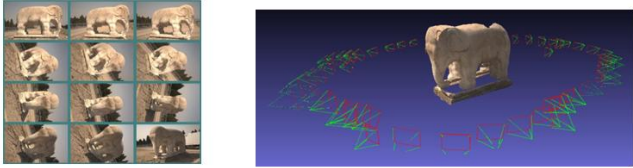
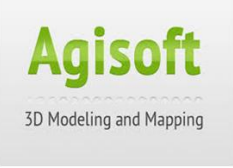
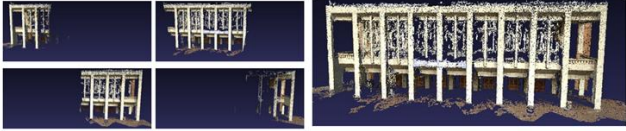



วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

- เพื่อให้การเก็บข้อมูลมรดกทางวัฒนธรรมที่มี ความถูกต้อง สูง โดยใช้ต้นทุนต่ำโดยใช้กล้อง ดิจิทัลประเภท Digital Single Lens Reflex (DSLR)ยี่ห้อ Nikonรุ่น 3100Dบันทึกภาพรอบวัตถุที่สนใจ (สำหรับข้อเสนอแนะคือ การถ่ายภาพ มีความจำเป็นต้องบันทึกภาพข้างเคียงให้มีส่วนซ้อนทับกันเกินกว่า 70–80%เพื่อลดความผิดพลาดระหว่างทำ Image orientationและประโยชน์ในการสร้างข้อมูล 3 มิติ)
- เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลกรณีที่มีมรดกทางวัฒนธรรมนั้นต้องการการบูรณะ ซ่อมแซม เนื่องจาก ความเสื่อมสภาพจากอายุการใช้งาน หรือภัยธรรมชาติ เช่น น้ำท่วม ไฟไหม้
- เพื่อการนำเสนอผ่านสื่อกลางต่างๆ เช่น เว็บไซต์ ทีวีดีเอชอาร์จัดพิมพ์ ฯลฯ ข้อมูลเผยแพร่เหล่านี้สามารถก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับผู้ด้อยโอกาสที่ไม่สามารถเดินทางไปยังสถานที่จริงได้อีกทั้งยังสามารถใช้ เพื่อประโยชน์ในการส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทยได้ในอนาคต

วิธีการดำเนินงาน

- ใช้หลักการพื้นฐานของการสร้างแบบจำลอง 3 มิติสำหรับรูปภาพหลายภาพ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ทั้งในรูปแบบสำหรับการค้า (Commercial use)และการศึกษาวิจัย (Academic use)ซึ่งเรียกว่า ซอฟต์แวร์ระบบเปิด (Open source software) โดยในบทความฉบับนี้ จะมุ่งไปที่ซอฟต์แวร์ระบบเปิด ซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายสำหรับค่าลิขสิทธิ์ และยังสามารถใช้งานได้ยืดหยุ่นกว่าซอฟต์แวร์ทางการค้า กล่าวคือ ซอฟต์แวร์ระบบเปิดถูกออกแบบให้สามารถเข้าถึงการกำหนดรูปแบบการคำนวณได้โดยตรง อีกทั้งยังเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานพัฒนาระเบียบวิธีการคำนวณได้ด้วยตนเอง เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลอง 3 มิติที่มีความถูกต้องสูง

- เนื่องจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ สำหรับมรดกทางวัฒนธรรมขนาดใหญ่ เช่น วัด โบราณสถาน สถาปัตยกรรมต่างๆ จำเป็นต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลยาวนาน เพื่อให้เกิดความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลมากที่สุด ในเบื้องต้นบทความฉบับนี้จึงแสดงตัวอย่างสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัดฤๅษณาดเล็ก ซึ่งสามารถทำได้ในกรอบระยะเวลาจำกัดในบทความนี้จะแสดงผลการทดสอบกับพระพุทธรูปบาทจำลอง และพระราหูอมจันทร์ ซึ่งมีขนาดความสูงประมาณ 50 เซนติเมตร

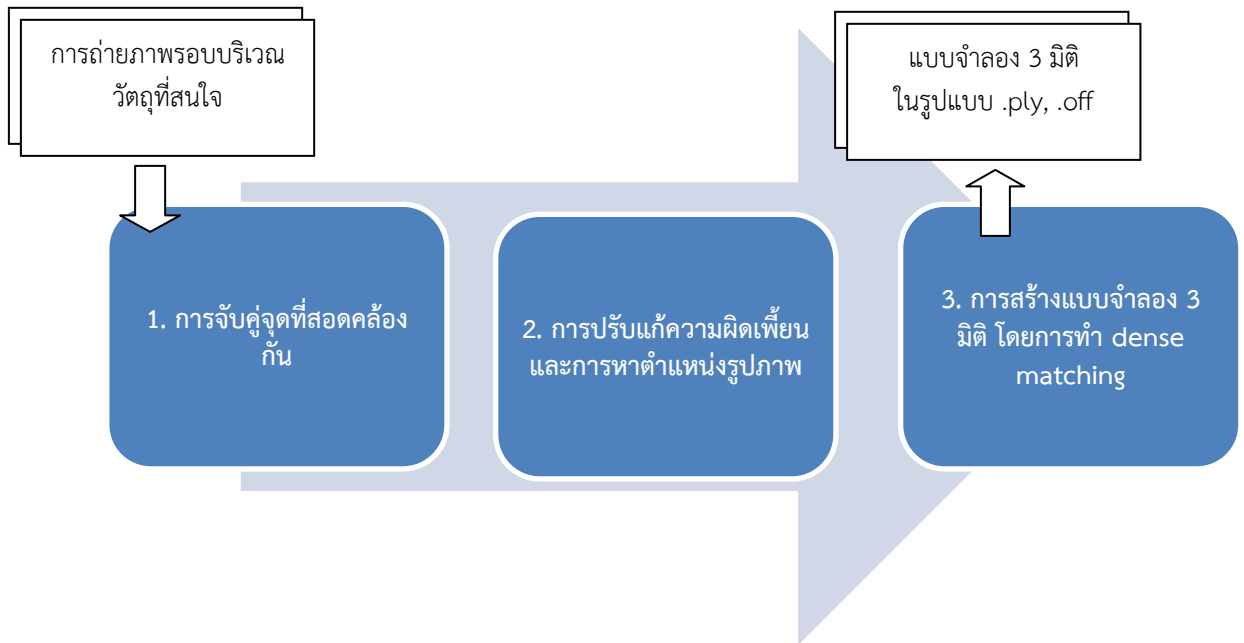
Academic use	Commercial use
	
MICMAC	
	
Clustering Views for Multi-views Stereo (CMVS)	
	
Bundler	Acute 3D

รูปที่ 2 ตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากรูปภาพหลายมุมมอง

ในรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากรูปภาพหลายมุมมอง เช่น MICMAC [7], CVMS (Clustering Views for Multi-views Stereo) [8], Bundler [17], Agisoft [9], Pix4D [10], Acute3D [11] ฯลฯ

3. แผนภาพการทำงานของซอฟต์แวร์

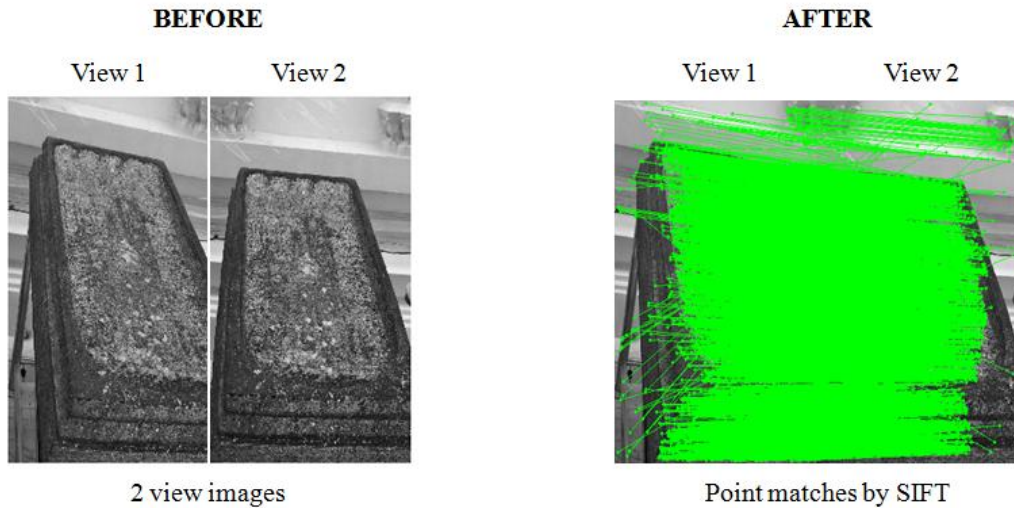
ปัจจุบันมีซอฟต์แวร์เป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากภาพหลายมุมมอง ในซอฟต์แวร์เหล่านี้จะประกอบไปด้วยหลักการทำงานพื้นฐาน 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1. การจับคู่จุดที่สอดคล้องกัน 2. การปรับแก้ความผิดเพี้ยนและการหาตำแหน่งรูปภาพ 3. การสร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยการทำให้ Dense matching แผนภาพการทำงานแสดงในรูปที่ 3 จะอธิบายแต่ละขั้นตอนโดยสังเขปในหัวข้อย่อยถัดไป



รูปที่ 3 แผนภาพการทำงานพื้นฐานของซอฟต์แวร์

3.1 การจับคู่จุดที่สอดคล้องกัน (Corresponding point matches)

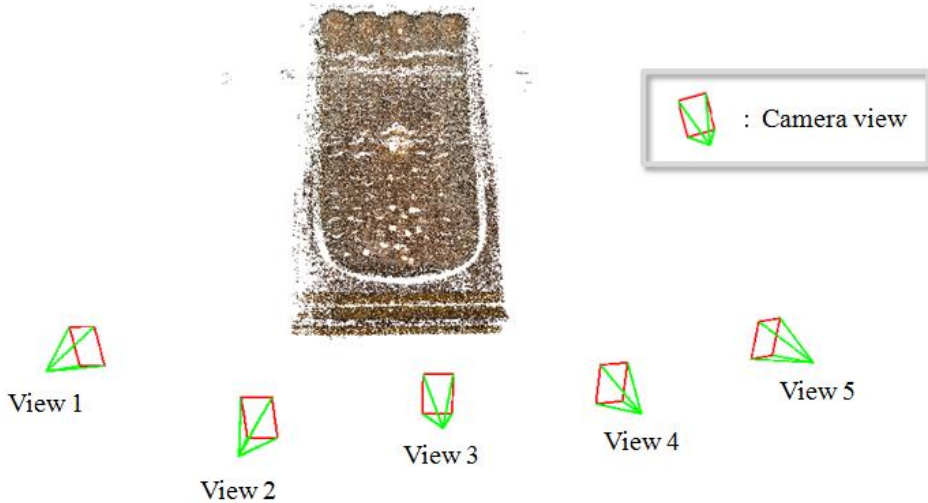
จากรูปภาพหลายมุมมองที่ถูกถ่ายบริเวณรอบๆ วัตถุสนใจ สามารถทำการหาความสัมพันธ์ ด้วยวิธีการจับคู่จุดที่สอดคล้องกันบนคู่ภาพสเตอริโอ (Stereo pair image) ตัวอย่างของระเบียบวิธีที่ใช้ในการจับคู่จุดที่สอดคล้องกันบนคู่ภาพสเตอริโอ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีได้แก่ Scale Invariant Feature Transform (SIFT) [1], SURF (Speeded Up Robust Features) [5], MSER (Maximally Stable Extremal Region) [3] ฯลฯ ข้อสังเกตสำหรับระเบียบวิธีจับคู่จุดที่สอดคล้องกันที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถถูกนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับคู่ภาพสเตอริโอที่มีส่วนซ้อนทับเกินกว่า 60 - 70% และมีระยะของมุมมองที่ห่างกันในแนวราบไม่ควรเกินกว่า 20 องศา หรืออีกนัยหนึ่งคือ มีความเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต (Geometry) ของมุมมองของภาพสูง ระเบียบวิธีที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตดังกล่าว สามารถอ้างอิงถึงระเบียบวิธีดังต่อไปนี้ [4, 12, 13, 14] อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่ จึงอ้างอิงวิธีการจับคู่จุดแบบดั้งเดิม (SIFT, SURF) เพื่อให้การประมวลผลมีประสิทธิภาพที่ดี คู่ภาพที่อยู่ติดกันจึงไม่ควรมีความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงของมุมมองที่สูงมาก อย่างไรก็ตามการจับคู่จุดที่ได้ในเบื้องต้นอาจมีคู่จุดที่ผิดพลาดบ้าง วิธีการลดความผิดพลาดที่นิยมใช้ได้แก่ RANdom SAmpleConsensus (RANSAC) [15] ตัวอย่างการจับคู่จุดภาพที่สอดคล้องกันบนคู่ภาพสเตอริโอ โดยใช้ระเบียบวิธีของ SIFT แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การจับคู่จุดภาพที่สอดคล้องกันบนคู่ภาพสเตอริโอ โดยใช้ระเบียบวิธีของSIFT [1]

3.2 การปรับแก้ความผิดเพี้ยนและการหาตำแหน่งรูปภาพ

เมื่อทราบถึงจุดที่สอดคล้องกันบนภาพที่ถูกถ่ายจากมุมมองต่างๆ แล้ว การปรับแก้ความผิดเพี้ยนของเลนส์กล้อง (Lens distortion correction) อันเนื่องมาจากเลนส์มีความโค้ง รวมทั้งการหาตำแหน่งรูปภาพ (Image orientation) สามารถถูกคำนวณได้โดยอัตโนมัติ [16]ผลลัพธ์ของการคำนวณหาตำแหน่งของรูปภาพแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การตำแหน่งของรูปภาพถูกจัดวางบนระบบแกน 3 มิติ ที่ใช้อ้างอิง

3.3 การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยการทำให้ Dense matching

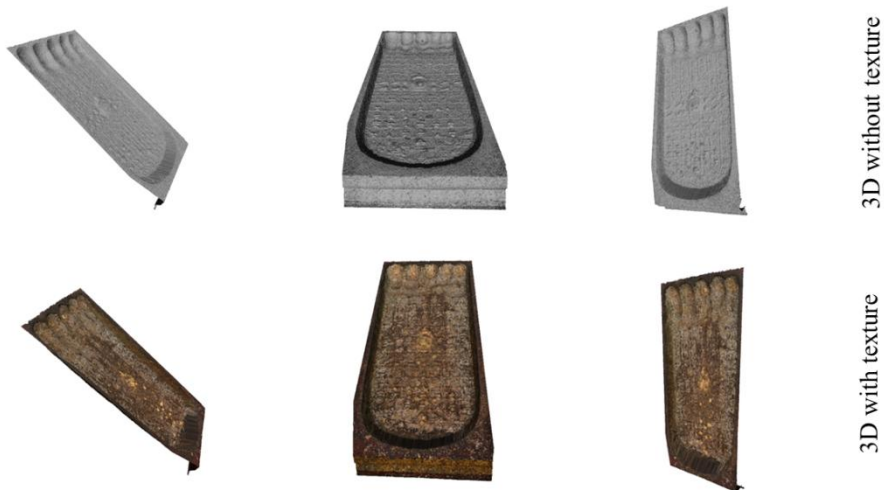
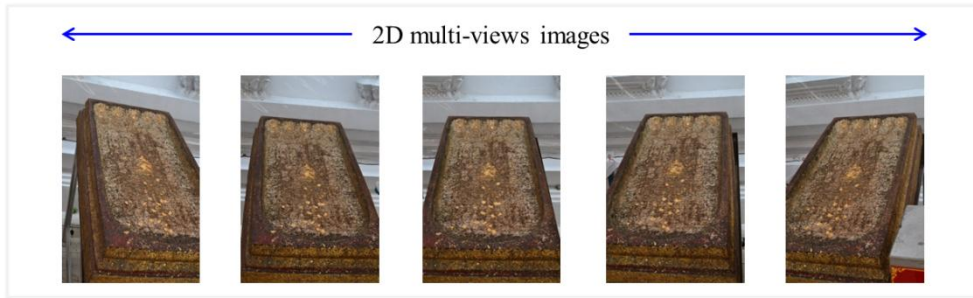
หลังจากทำการปรับค่าความผิดเพี้ยนและกำหนดตำแหน่งรูปภาพแล้ว ในขั้นตอนสุดท้าย คือ การคำนวณหาแบบจำลอง 3 มิติของบริเวณที่กำหนด บนพื้นฐานของการทำให้ Dense matching ดังแสดงในรูปที่ 6 ในที่นี้บริเวณที่สนใจจะถูกสร้างขึ้นโดยผู้ใช้ซอฟต์แวร์ กรณีที่ต้องการกำหนดแบบอัตโนมัติสามารถทำได้โดยเพิ่มขั้นตอนของเทคนิคการแยกส่วนรูปภาพ (Image segmentation)



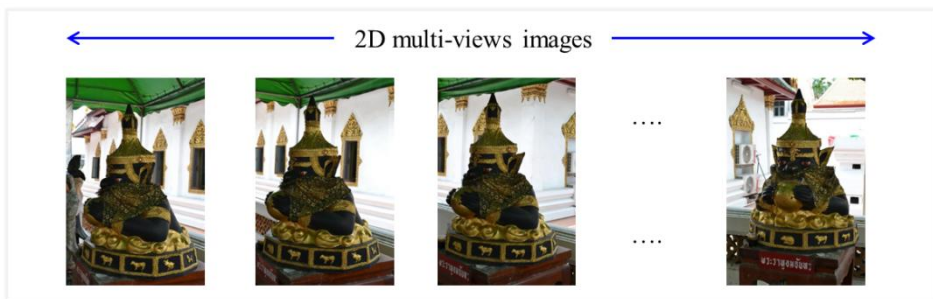
รูปที่ 6 การทำ Dense matching จากภาพสเตอริโอ หลังจากผ่านการคำนวณตำแหน่งของรูปภาพแล้ว

4. ตัวอย่างแบบจำลอง 3 มิติ

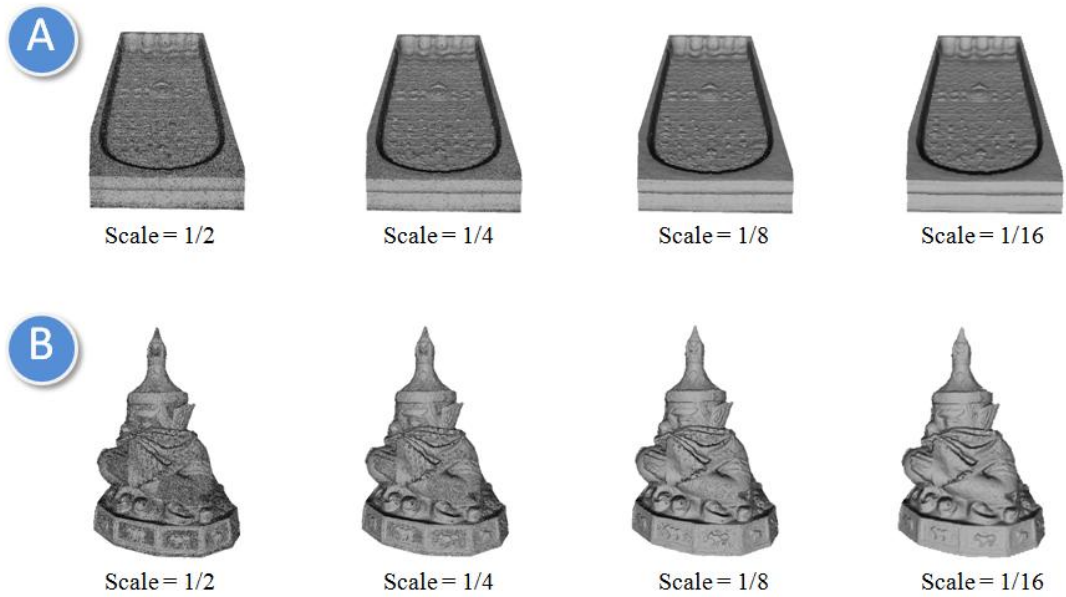
ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างของแบบจำลอง 3 มิติที่ได้จากรูปภาพหลายมุมมอง การถ่ายภาพใช้กล้อง DSLR Nikon D3100 และชุดเลนส์ Kit (AFs 18-55 มม.) บันทึกในรูปแบบ JPEG มีความละเอียดภาพ 4,608 x 3,072 จุดภาพในรูปที่ 7 แสดงรูปภาพ (2D ที่บันทึกจากกล้อง DSLR) และแบบจำลอง 3 มิติของรอยพระพุทธรูปบาทจำลอง ในรูปที่ 8 แสดงรูปภาพและแบบจำลอง 3 มิติของพระราหูอมจันทร์ สำหรับการบันทึกข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติที่ขนาดความละเอียดต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 9 และตารางที่ 2 จะสังเกตได้ว่า การบันทึกที่ความละเอียดสูง (เช่น Scale = 1/2) จะมีขนาดไฟล์ที่ใหญ่ แต่จะสามารถแสดงรายละเอียดของวัตถุได้ดี ในทางกลับกันการบันทึกที่ความละเอียดต่ำ (เช่น Scale = 1/16) จะมีขนาดไฟล์ที่เล็กกว่า แต่รายละเอียดของวัตถุจะถูกลดทอนลงไป ดังนั้น ในการนำไปใช้งานแต่ละประเภท จะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าว ตัวอย่างเช่น การนำเสนอผ่านเว็บไซต์ซึ่งไม่ต้องการความละเอียดและถูกต้องของแบบจำลองที่สูงมาก แต่ต้องการความรวดเร็วในการนำเสนอ หรือมีพื้นที่จำกัดในการเก็บข้อมูล ควรเลือกใช้ขนาดความละเอียดที่ต่ำ เป็นต้น



รูปที่ 7 แบบจำลอง 3 มิติของรอยพระพุทธรูปบาทจำลอง



รูปที่ 8 แบบจำลอง 3 มิติของพระราหูอมจันทร์



รูปที่ 9 การแบบจำลอง 3 มิติ ถูกบันทึกที่ขนาด (Scale) ความละเอียด ต่างๆ กัน

ตารางที่ 2 แบบจำลอง 3 มิติ ที่ขนาดต่างๆ จะมีจำนวนจุด (Vertices) ระนาบ (Faces) และขนาดไฟล์ที่แตกต่างกัน

แบบจำลอง	ขนาด (Scale)	จุด (Vertices)	ระนาบ (Faces)	ขนาดไฟล์(KB)
A	1/2	2,295,812	4,585,320	85,117
	1/4	576,173	1,149,190	21,342
	1/8	144,050	286,522	5,326
	1/16	36,202	71,616	1,334
B	1/2	1,306,486	2,606,852	48,406
	1/4	328,551	654,043	12,154
	1/8	82,131	162,735	3,029
	1/16	20,729	40,694	760

5. ผลการดำเนินงาน

บทความฉบับนี้ได้ดำเนินการทดลองและสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากมรดกทางวัฒนธรรมขนาดเล็ก ที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 2 ชิ้น คือ รอยพระพุทธบาทจำลอง และ พระราหูอมจันทร์ การทดสอบการใช้งานซอฟต์แวร์ระบบเปิด MICMAC เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากรูปภาพหลายมุมมองดังกล่าว ให้ผลที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการนำเสนอผ่านสื่อต่างๆ ได้ เช่น เว็บไซต์ เอกสารจัดพิมพ์ ฯลฯ แต่หากต้องการนำข้อมูลดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการบูรณะซ่อมแซมจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงกระบวนการในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงต่อไป การวัดค่าเรขาคณิต (Geometry measurement) โดยตรงจากวัตถุหรือการสร้างจากแบบจำลอง 3 มิติจากอุปกรณ์แบบ Active เช่น 3D laser scanner อาจมีความจำเป็นเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลอง 3 มิติอ้างอิง สำหรับการเปรียบเทียบเพื่อหาอัตราความถูกต้อง (Accuracy rate) ของแบบจำลอง 3 มิติ ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ระบบเปิดดังกล่าว

6. สรุปและแนวทางการทำงานในอนาคต

จากตัวอย่างแบบจำลอง 3 มิติที่ได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเผยแพร่ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์หรือสื่อออนไลน์ได้ ซึ่งการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้กล้องดิจิทัลร่วมกับซอฟต์แวร์ระบบเปิด MICMAC ถือว่ามีต้นทุนต่ำ และคุณภาพอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ แนวทางการทำงานในอนาคตจำเป็นที่จะต้องสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ที่มีรูปแบบและขนาดที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น สถาปัตยกรรมขนาดใหญ่ รวมถึงหาข้อจำกัดของซอฟต์แวร์ที่อาจจะเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อมีข้อมูลจำนวนมากเพียงพอ สามารถนำไปสู่การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลดังกล่าว เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ด้อยโอกาสหรือผู้พิการ ซึ่งไม่มีความสะดวกในการเดินทางไปยังสถานที่จริงได้ หรือใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว หรือหากมีการเก็บข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงและมีมาตรวัดอ้างอิง จะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้เป็นฐานข้อมูล เพื่อประโยชน์ในการบูรณะซ่อมแซมต่อไป

ข้อเสนอแนะต่างๆ ไปของการใช้ซอฟต์แวร์เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จากภาพหลายนมุมมอง

- การถ่ายภาพข้างเคียง (คู่ภาพสเตอริโอ) ถูกแนะนำให้คู่ภาพมีส่วนที่ซ้อนทับเกินกว่า 70–80%
- มุมมองระหว่างคู่ภาพข้างเคียงถูกแนะนำที่น้อยกว่า 20 องศา เพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิต (Geometric effects)
- พื้นผิวของวัตถุที่สนใจต้องไม่มีความเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous texture) ซึ่งจะทำให้สร้างคุณลักษณะเด่นและจับคู่ของจุดสนใจ (Feature descriptor and matching) ในขั้นตอนการลงทะเบียนรูปภาพได้ยาก
- ควรบันทึกภาพในรูปแบบ Raw format ซึ่งจะลดปัญหาการสูญเสียข้อมูลจากการบีบอัดรูปภาพ เมื่อบันทึกในรูปแบบ JPEG, TIFF หรือรูปแบบการบีบอัดภาพอื่นๆ
- คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าแสง (Radiometric change) อย่างฉับพลันในรูปภาพชุดเดียวกันซึ่งถูกถ่ายมาที่มุมมองที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพย้อนแสง หรือตามแสง ย่อมให้ค่าตอบสนองทางแสงที่ต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผลได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lowe, D. G., “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints”, International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- [2] <http://www.xbox.com/en-US/kinect>(Accessed 22 Aug 2014)
- [3] J. Matas, O. Chum, M. Urban, and T. Pajdla. “Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions”, Proc. of British Machine Vision Conference, pages 384–396, 2002.
- [4] K. Mikolajczyk, T. Tuytelaars, C. Schmid, A. Zisserman, T. Kadir and L. Van Gool, “A Comparison of Affine Region Detectors”, International Journal of Computer Vision, Volume 65, Numbers 1-2 / November, 2005, pp. 43–72
- [5] Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool, “SURF: Speeded Up Robust Features”, Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3, pp. 346–359, 2008
- [6] FARO, <http://www.faro.com/home>(Accessed 22 Aug 2014)
- [7] <http://forum-micmac.forumprod.com/> (Accessed 22 Aug 2014)
- [8] <http://www.di.ens.fr/cmvs/>(Accessed 22 Aug 2014)
- [9] <http://www.agisoft.ru/>(Accessed 22 Aug 2014)
- [10] <http://pix4d.com/>(Accessed 22 Aug 2014)
- [11] <http://www.acute3d.com/>(Accessed 22 Aug 2014)
- [12] J.M. Morel and G.Yu, “ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison”, SIAM Journal on Imaging Sciences, vol. 2, issue 2, 2009.

[13] N. Soontranon, M. Pierrot-Deseilligny, E. Mouaddib. “Photometric based 3D Registration”, in IAPR Int. Conf. on Machine Vision Applications, Kyoto, Japan, 2013.

[14] C. Wu, B. Clipp, X. Li, J.-M. Frahm, and M. Pollefeys, “3D model matching with Viewpoint-Invariant Patches (VIP)”, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), June 2008.

[15] M. A. Fischler and R. C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography”, Comm. of the ACM, pp.381–395, 1981.

[16] M. Pierrot-Deseilligny and I. Clery APERO, “An Open Source Bundle Adjustment Software for Automatic Calibration and Orientation of A Set of Images”, ISPRS Commission V, 2011.

[17] N. Snavely, S. M. Seitz and R. Szeliski, “Modeling the world from internet photo collections”, International Journal of Computer Vision, vol. 80, no. 2, pp. 189–210, 2008.