บทความวิจัย

การพัฒนาระบบสแกนวัตถุเพื่อการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูงสำหรับพื้นผิวแบบระนาบและไม่ระนาบ

เฉลิมยศ เที่ยงจรรยา* และ ธนาสัย สุคนธ์พันธุ์
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 1429 9959 อีเมล: webmaster@paepe.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.036
รับเมื่อ 1 เมษายน 2563 แก้ไขเมื่อ 26 มิถุนายน 2563 ตอบรับเมื่อ 3 กรกฎาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 25 พฤษภาคม 2564
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิกมีความเจริญก้าวหน้าเป็นอย่างมากจึงเป็นที่มาของความต้องการสร้างแบบจำลองสามมิติที่มีความสมจริง เพื่อนำไปใช้แสดงผลบนหน้าจอของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมทางด้านภาพยนตร์ วิดีโอเกม แอนิเมชัน ประติมากรรม สถาปัตยกรรม การออกแบบผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีความจริงเสริมและความจริงเสมือน และการสั่งพิมพ์แบบจำลองสามมิติผ่านเครื่องพิมพ์สามมิติ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสแกนวัตถุ เพื่อการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูงสำหรับพื้นผิวแบบระนาบและไม่ระนาบ โดยใช้วิธีการถ่ายภาพจากวัตถุจริงหลายมุมมองด้วยกล้องดิจิทัล DSLR เพื่อเก็บภาพความละเอียดสูงโดยมีขั้นตอนการปรับสีของภาพวัตถุให้ตรงกับสีจริงของวัตถุด้วยวิธีการสอบเทียบสีจากแผนภูมิทดสอบสี 24 สี (Color Checker) โดยขั้นตอนการถ่ายภาพวัตถุจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งใช้กล่องสตูดิโอที่มีการติดตั้งแถบหลอดไฟแอลอีดีสีขาวในการถ่ายภาพวัตถุแบบ 360 องศา เพื่อนำไปประมวลผลภาพด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติและภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุ ส่วนที่สองใช้เครื่องสแกนเนอร์สามมิติสำหรับสแกนพื้นผิวในการถ่ายภาพวัตถุในมุมมองเดียวกันแต่อยู่ภายใต้การส่องสว่างของแสงจากหลอดไฟ 8 ดวง ในทิศทางที่แตกต่างกันเพื่อนำภาพไปประมวลผลภาพด้วยวิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric Stereo) สำหรับสร้างภาพแผนที่สีพื้น ภาพแผนที่แนวฉาก และภาพแผนที่ความสูง สุดท้ายเมื่อนำภาพแผนที่ต่างๆ ไปใส่ให้แก่แบบจำลองสามมิติแล้วทำการเรนเดอร์ภาพแบบจำลองสามมิติส่งผลให้แบบจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นมีความนูนสูงหรือนูนต่ำ รอยขรุขระ ร่องลึก ลวดลายต่างๆ และสีพื้นผิวที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวมีความสอดคล้องกับวัตถุจริง

คำสำคัญ: เครื่องสแกนเนอร์สามมิติ การรังวัดด้วยภาพ โฟโตเมตริกสเตอริโอ แบบจำลองสามมิติ

การอ้างอิงบทความ: เฉลิมยศ เที่ยงจรรยา และ ธนาสัย สุคนธ์พันธุ์, "การพัฒนาระบบสแกนวัตถุเพื่อการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูงสำหรับพื้นผิวแบบระนาบและไม่ระนาบ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 31, ฉบับที่ 4, หน้า 793–804, ต.ค.–ธ.ค. 2564.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 31, ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2564
The Journal of KMUTNB., Vol. 31, No. 4, Oct.–Dec. 2021

Research Article

Development of an Object Scanning System for Storing the High Definition 3D Data of the Planar and Non-Planar Surfaces

Chalermyos Thiengchanya* and Tanasai Sucontphunt
Department of Computer Science and Information Systems, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 1429 9959, E–mail: webmaster@paepe.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.05.036
Received 1 April 2020; Revised 26 June 2020; Accepted 3 July 2020; Published online: 25 May 2021
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Computer graphics technologies are significantly advanced. This results in the requirements for 3D models that are realistic in order to display on the screens of the electronic devices, in the movie, video game, animation, sculpture, architecture, product design, augmented reality (ar), and virtual reality (vr) technologies industries as well as to print the 3D models through 3D printers. The purpose of this research study is to design and develop the object scanning system for storing the high definition 3D data of the planar and non-planar surfaces by taking the photos of real objects in many angles with the DSLR digital camera to store high definition photos. The colors of the photos of the objects were adjusted with the color calibration method from the color checker with 24 colors. To take photos, the photos of the objects were divided into two main parts. For the first part, the studio camera with white LED was used for taking 360 degree photos being processed with photogrammetry in order to create 3D models and texture maps of the objects. For the second part, a 3D scanner was used in order to scan the surfaces of the objects at the same angle with the different directions of lights from eight light bulbs in order to process the photos with photometric stereo for creating base color maps, normal maps and heightmaps. Finally, the map photos were inputted in the 3D models. Then, the 3D models were rendered. As a result, the 3D models had high reliefs, bas reliefs, rugged surfaces, deep grooves and patterns. Additionally, the colors on the surfaces were consistent with the real objects.

Keywords: 3D Scanner, Photogrammetry, Photometric Stereo, 3D Model

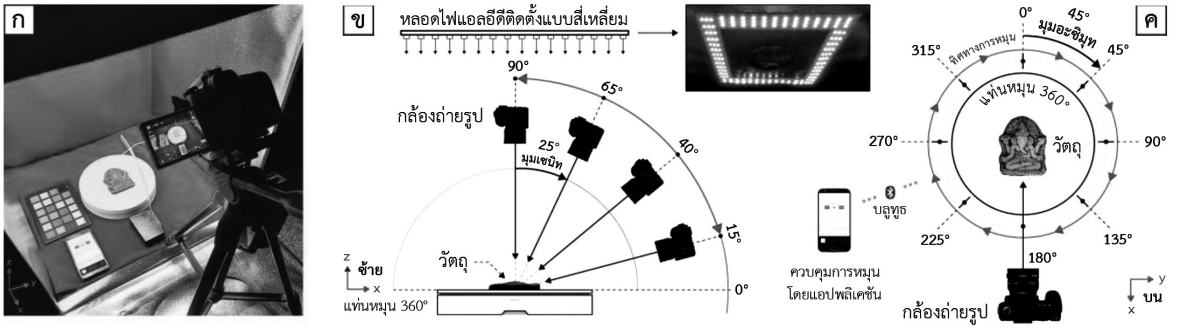
Please cite this article as: C. Thiengchanya and T. Sucontphunt, "Development of an object scanning system for storing the high definition 3D data of the planar and non-planar surfaces," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 4, pp. 793–804, Oct.–Dec. 2021 (in Thai).

1. บทนำ

การสร้างแบบจำลองสามมิติ (3D Model) เพื่อนำไปแสดงผลภาพสามมิติผ่านหน้าจอของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับนำเสนอผลงานทางด้านภาพยนตร์ วิดีโอเกม แอนิเมชัน เทคโนโลยีความจริงเสริมและความจริงเสมือน ฯลฯ [1], [2] ที่ผ่านมาเป็นหน้าที่ของผู้สร้างแบบจำลองที่มีทักษะการใช้โปรแกรม เช่น 3ds Max, Maya และ Zbrush โดยปกติมักพบเจอปัญหาในกรณีที่วัตถุต้นแบบมีพื้นผิวที่มีรายละเอียดสลับซับซ้อนซึ่งไม่สามารถสร้างรายละเอียดบนพื้นผิวได้อย่างถูกต้องด้วยมือ เช่น พระเครื่องหรือรูปปั้น ส่งผลให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีขนาดและรายละเอียดบนพื้นผิวมีความไม่ถูกต้องและคลาดเคลื่อนไปจากวัตถุต้นแบบ เนื่องจากใช้วิธีการวัดโดยการประมาณด้วยสายตา เมื่อผ่านกระบวนการเรนเดอร์ (Rendering) เป็นขั้นตอนการคำนวณค่าสีและความสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตำแหน่งต่างๆ บนแบบจำลอง จากนั้นจะทำการฉายแบบจำลองลงบนระนาบสองมิติเพื่อทำการสร้างจุดภาพที่มีหน่วยพิกเซล (Pixel) และลงสีแต่ละพิกเซลด้วยระบบสีแบบอาร์จีบี (RGB) ก่อนส่งไปแสดงผลบนจอภาพ [3]

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ในกระบวนการสร้างแบบจำลองที่เรียกว่าสแกนเนอร์สามมิติ (3D Scanner) ประกอบด้วยหลายประเภทด้วยกัน [4] วิธีหนึ่งที่นิยม คือ วิธีการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) ปัจจุบันมีหลายแอปพลิเคชัน เช่น Agisoft [5] ประมวลผลด้วยวิธีรังวัดด้วยภาพใช้วิธีถ่ายภาพวัตถุหลายมุมมองเพื่อนำข้อมูลสีพิกเซลของแต่ละภาพไปคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของกล้องและหาระยะความลึกของแต่ละจุดบนภาพที่อยู่บนพิกัดของตำแหน่งเดียวกันเพื่อสร้างเมฆจุด (Point Cloud) นำไปสู่การสร้างพื้นผิวของแบบจำลองและนำค่าสีพิกเซลไปสร้างภาพแผนที่สีพื้นผิว การสแกนวัตถุที่นิยมอีกวิธีหนึ่งคือการสแกนด้วยเลเซอร์ (Laser Scanning) Alshawabkeh และคณะ [6] ใช้ระบบเลเซอร์สแกนเนอร์สามมิติของไลก้า (Leica) เพื่อสแกนโบราณวัตถุที่อยู่ภายในพื้นที่พระราชวัง Qasr Al-Abidit ประเทศจอร์แดน เพื่อเก็บข้อมูลความชำรุดเสียหายของพื้นผิวเพื่อการอนุรักษ์พบว่า รายละเอียดบนพื้นผิวถูกลดทอนลงไปแม้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะมีความละเอียดของจำนวนเมฆจุดหลักล้านจุด

ปัจจุบันการเรนเดอร์ภาพแบบจำลองให้มีความสมจริงจะใช้วิธีการเรนเดอร์บนพื้นฐานของฟิสิกส์ (Physically Based Rendering; PBR) ใช้วิธีจำลองการคำนวณแสงจริงเมื่อแสงกระทบบนพื้นผิวที่มีการกำหนดคุณสมบัติเฉพาะ เช่น ระดับความสูงหรือต่ำบนพื้นผิวควบคุมด้วยภาพแผนที่แนวฉาก (Normal Map) เป็นภาพสีที่แปลงมาจากเวกเตอร์แนวฉากที่ตั้งฉากกับพื้นผิวถูกคำนวณร่วมกับทิศทางของเวกเตอร์แสงที่ส่องบนพื้นผิวทำให้การสะท้อนแสงบริเวณจุดใดๆ บนพื้นผิวเปลี่ยนไปเสมือนว่ามีระดับความนูนสูงหรือนูนต่ำเกิดขึ้น หรือการใช้ภาพแผนที่ความสูง (Height Map) เป็นภาพสีขาวดำ โดยสีขาวและสีดำใช้กำหนดระดับความสูงและต่ำตามลำดับ [7] Neubelt และคณะ [8] พัฒนาระบบสแกนเนอร์สามมิติโดยใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ (Photometric Stereo) คิดค้นโดย Woodham [9] เป็นวิธีคำนวณทิศทางการหันหน้าของพื้นผิวโดยใช้ข้อมูลแสงที่ตกกระทบบนวัตถุจากภาพถ่ายภายใต้ทิศทางของแสงที่แตกต่างกันโดยติดตั้งไฟแอลอีดี 10 ดวง แล้วถ่ายภาพผ้าเพื่อสร้างภาพแผนที่แนวฉาก เพื่อบันทึกรายละเอียดของผ้าและภาพแผนที่สีพื้นผิวของผ้า เพื่อใส่ให้แก่แบบจำลองของเสื้อผ้าที่สวมใส่โดยตัวละครในเกม The Order: 1886 ใช้วิธีการเรนเดอร์แบบ PBR ผ่านเกมเอนจินส่งผลให้พื้นผิวของเสื้อผ้ามีรายละเอียดที่มีความสมจริง Tunwatatanapong และคณะ [10] ได้พัฒนาเครื่องสแกนเนอร์สามมิติที่สามารถสแกนวัตถุที่มีความแวววาวได้วัตถุจะถูกวางอยู่บนแท่นหมุนเพื่อถ่ายภาพวัตถุให้ครบ 360 องศา โดยติดตั้งไฟแอลอีดี 17,000 ดวง และกล้องความละเอียดสูง 6 ตัว ที่ถูกตั้งเวลาถ่ายภาพให้เข้ากับจังหวะการปรับระดับความเข้มแสงของไฟแอลอีดีช่วยให้ทราบตำแหน่งของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวของวัตถุได้อย่างแม่นยำ และตัดแสงสะท้อนที่สว่างจ้าออกทำให้การคำนวณทิศทางของพื้นผิวมีความแม่นยำสูงขึ้นเพื่อนำไปใช้สร้างแบบจำลอง ภาพแผนที่สีพื้นผิวที่แยกแสงออก (Albedo Map) และภาพแผนที่สะท้อน (Specular Map)



รูปที่ 1 (ก) การติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพวัตถุ และแผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพจากมุมมอง (ข) ด้านซ้าย (ค) ด้านบน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบสแกนวัตถุโดยใช้วิธีการถ่ายภาพวัตถุ เพื่อนำภาพวัตถุไปประมวลผลด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพ เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองและภาพแผนที่สีพื้นผิวรวมถึงทำการสร้างเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุโดยใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ เพื่อสร้างภาพแผนที่แนวฉากและภาพแผนที่ความสูงสำหรับจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูง เมื่อนำภาพแผนที่ทั้งหมดใส่ให้แก่แบบจำลองแล้วใช้วิธีเรนเดอร์บนพื้นฐานของฟิสิกส์จะทำให้ได้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่มีขนาด สีพื้นผิว และรายละเอียดบนพื้นผิวมีความสอดคล้องกับวัตถุจริง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบภาพวัตถุจริงกับภาพแบบจำลองที่มีพื้นผิวรายละเอียดสูงและให้ความเสมือนจริงของภาพที่ปรากฏต่อสายตามากกว่าการเปรียบเทียบความผิดพลาดระหว่างจุดต่อจุดบนพื้นผิว และเพิ่มรายละเอียดบนพื้นผิวของแบบจำลองที่สร้างจาก Agisoft ให้ชัดเจนขึ้น

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 เครื่องมือถ่ายภาพสำหรับการสแกนวัตถุ

การสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายวัตถุด้วยวิธีการรังวัดด้วยภาพประกอบด้วย 6 อุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1) กล้องดีเอสแอลอาร์ความยาวโฟกัส 18–55 มม.

2) กล้องสตูดิโอถ่ายภาพขนาดความกว้าง สูง ลึก ยาวด้านละ 40 ซม. พร้อมติดตั้งแถบไฟแอลอีดีสีขาวโดยจัดเรียงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังแสดงในรูปที่ 1 (ก)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 วัตถุที่นำมาทดสอบการสร้างแบบจำลองสามมิติ (ก) พระพิฆเนศ (ข) พระพุทธ (ค) ช้าง

3) แท่นหมุน 360 องศา ควบคุมองศาการหมุนด้วยแอปพลิเคชันที่ติดตั้งภายในสมาร์ตโฟนผ่านการเชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูท (Bluetooth) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ค)

4) สมาร์ตโฟนใช้สำหรับควบคุมองศาการหมุน

5) ขาตั้งสร้างจากวัสดุอะคริลิกใสใช้กำหนดระยะห่างระหว่างวัตถุกับเลนส์กล้องขณะทำการถ่ายภาพ ควบคุมองศาการถ่ายภาพวัตถุ 4 ระดับ โดยอ้างอิงตามมุมเซนิทคือ มุมตามแนวเส้นโค้งของวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข)

6) แผนภูมิทดสอบสี 24 สี ใช้วัดสอบสีเพื่อตรวจสอบความถูกต้องระหว่างสีของภาพวัตถุกับสีจริงของวัตถุ

2.2 การเตรียมวัตถุที่ใช้ทดสอบ

วัตถุที่ใช้ทดสอบมีทั้งหมด 3 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยแต่ละชิ้นมีคุณสมบัติของวัสดุ รูปทรง และขนาดที่ต่างกัน ทำการวัดขนาดจากวัตถุจริงดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดและประเภทวัสดุของวัตถุทดสอบ

วัตถุ	ประเภทวัสดุ	กว้าง (ซม.)	สูง (ซม.)	หนา (ซม.)
พระพิฆเนศ	หินทราย	8.5	10.8	1.1
พระพุทธ	เรซินผิวมัน	6.1	8.0	1.1
ช้าง	เรซิน	7.5	6.5	1.6

2.3 เครื่องสแกนเนอร์สามมิติสำหรับสแกนพื้นผิววัตถุ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 เพื่อถ่ายภาพวัตถุจากมุมมองด้านบนแต่อยู่ภายใต้การส่องสว่างจากไฟแอลอีดี 8 ดวง ในทิศทางที่แตกต่างกันโดยแสงที่ตกกระทบบนวัตถุจะสว่างหรือมืดขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทางการหันหน้าของพื้นผิวไปยังแหล่งกำเนิดแสง เมื่อนำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีบนภาพวัตถุจะสามารถนำไปประมวลผลเพื่อสร้างภาพแผนที่ต่างๆ ประกอบด้วย 8 อุปกรณ์ ดังต่อไปนี้

1) กล้องถ่ายรูปใช้ตัวเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 2.1

2) รีโมทชัตเตอร์ป้องกันกล้องสั่นไหวขณะถ่ายภาพ

3) แผ่นเหล็กความกว้าง 25 ซม. สูง 61 ซม. หนา 0.3 ซม. ประกอบเป็นแปดเหลี่ยมและสร้างฝาปิดเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอกดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) ติดตั้งขั้วหลอดไฟตามตำแหน่งและทิศทางดังแสดงในรูปที่ 4

4) หลอดไฟแอลอีดีแสงโทนสีขาว อุณหภูมิสี 6,500 องศาเคลวิน กำลังไฟฟ้า 10 วัตต์ จำนวนทั้งหมด 8 ดวง

5) สวิตซ์ปลั๊กไฟ 5 ช็อกเก็ต จำนวน 2 ชุด

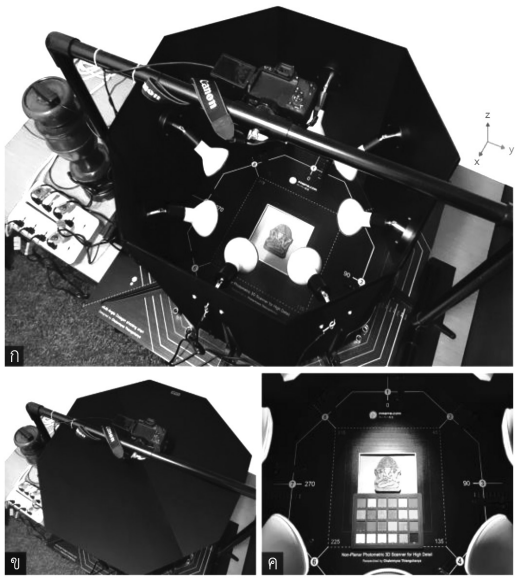
6) ขาตั้งกล้องติดตั้งนอตสกรูสำหรับติดที่ฐานกล้อง

7) แผนภูมิทดสอบสี 24 สี ใช้ตัวเดียวกับหัวข้อ 2.1

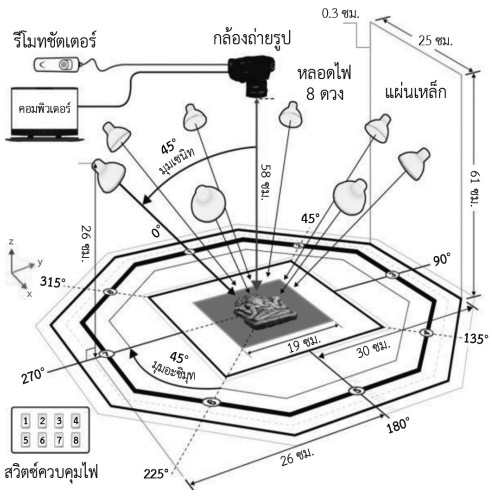
8) เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU Intel Core i7-9750H (2.6 GHz), Graphics GeForce RTX 2070, Ram 32 GB

2.4 โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ

1) Adobe DNG Converter 12.2 , 2) DNG Profile Editor 1.0.0.46 , 3) Lightroom 4 , 4) Agisoft Metashape 1.6.2, 5) Blender 2.75, 6) 3ds Max 2019, 7) V-ray Next for 3ds Max 3.1, 8) Substance Designer 2019.3.3, 9) Python 3.6.4 and OpenCV



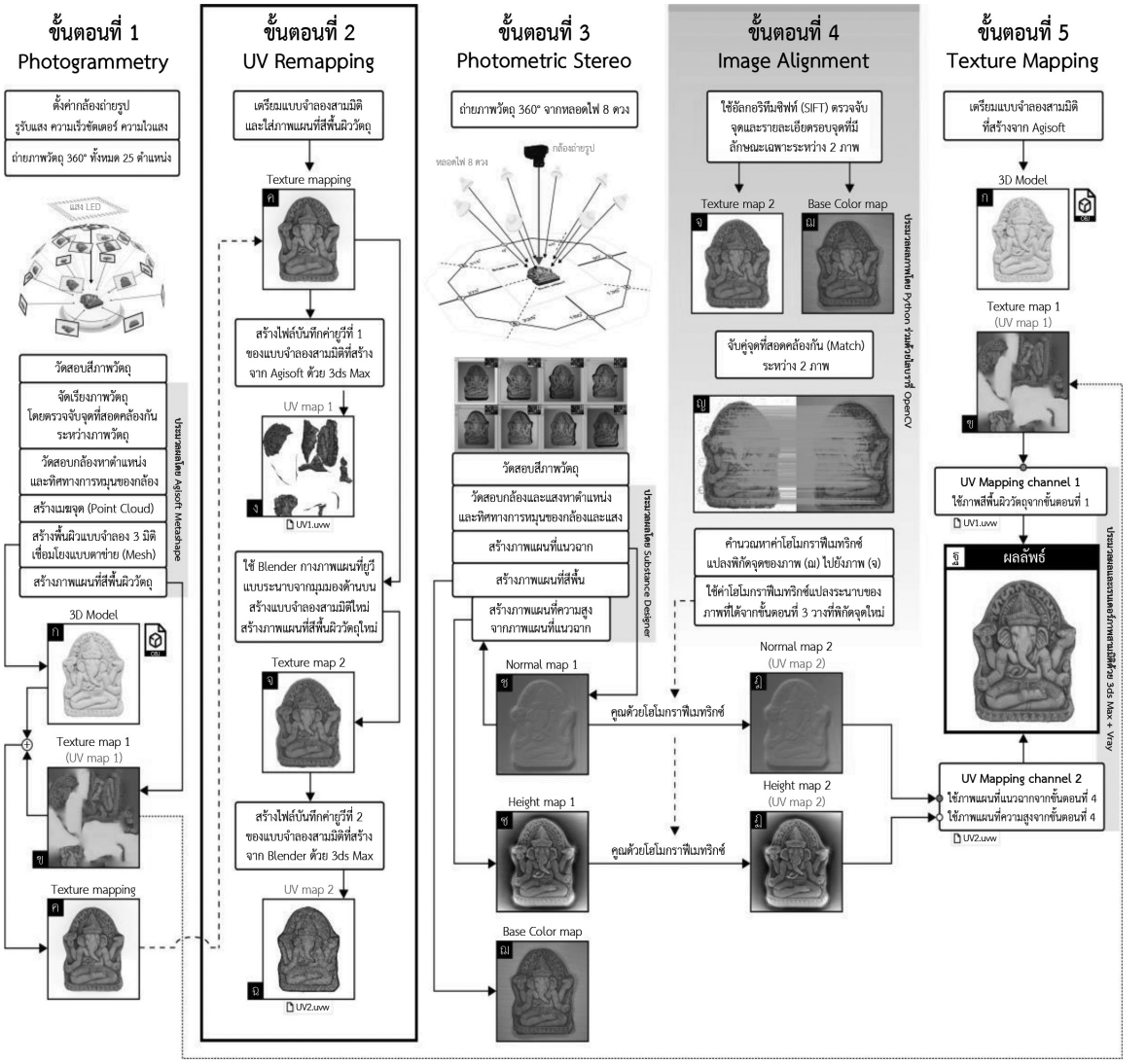
รูปที่ 3 (ก) การติดตั้งเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุ (ข) ขณะปิดฝาด้านบน (ค) การส่องแสงจากหลอดไฟไปยังวัตถุ



รูปที่ 4 แผนภาพการออกแบบเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุ

3. การออกแบบและทดสอบระบบสแกนวัตถุ

ผู้วิจัยเลือกรูปปั้นพระพิฆเนศ เพื่อใช้อธิบายการทำงานของระบบสแกนวัตถุ เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ สีพื้นผิว และรายละเอียดบนพื้นผิวประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 5 การทดสอบวัตถุอีก 2 ชิ้น จะใช้วิธีการ ขั้นตอน และ

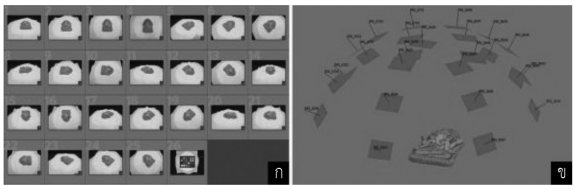


รูปที่ 5 ภาพรวมของระบบสแกนวัตถุเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติและภาพแผนที่ต่างๆ

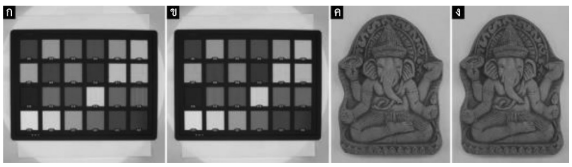
สภาวะแวดล้อมขณะทำการทดสอบเหมือนกันมีเพียงการตั้งค่าความไวแสงและความยาวโฟกัสของกล้องในขั้นตอนที่ 1 และ 3 ที่แตกต่างกัน เนื่องจากระดับความสว่างภายในกล่องสตูดิโอกับเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุและระยะห่างระหว่างเลนส์กับวัตถุมีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 โดยการตั้งค่าดังกล่าว เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพวัตถุที่มีความสว่างและความคมชัดทั่วเท่ากันทั้งภาพ

ตารางที่ 2 การตั้งค่ากล้องถ่ายรูปที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นตอนที่	รูรับแสง	ความเร็วชัตเตอร์	ความไวแสง (ISO)	ความยาวโฟกัส
1	f/11.0	1/125 วินาที	800	18 มม.
3	f/11.0	1/125 วินาที	400	55 มม.



รูปที่ 6 (ก) ภาพวัตถุจากการถ่ายภาพในมุมมองแบบ 360° จำนวน 25 ภาพ (ข) แบบจำลองสามมิติสร้างจาก Agisoft



รูปที่ 7 เปรียบเทียบภาพก่อนและหลังการสอบเทียบสี

3.1 ขั้นตอนที่ 1 การรังวัดด้วยภาพ

ใช้กล้องสตูดิโอถ่ายภาพวัตถุโดยวางตำแหน่ง และทิศทางการหมุนของกล้องดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) และ (ค) จะทำให้ได้ภาพวัตถุในมุมมองแบบ 360 องศา รวมทั้งหมด 25 ภาพ และภาพแผนภูมิทดสอบสี 1 ภาพ แสดงในรูปที่ 6 (ก) ทำการแปลงไฟล์ภาพนามสกุล CR2 เป็นนามสกุล DNG ด้วย Adobe DNG Converter นำภาพแผนภูมิทดสอบสีมามาวัดสอบสีดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) เพื่อคำนวณค่าสมดุลสีขาวทำหน้าที่ควบคุมสีของภาพวัตถุให้ตรงกับสีจริงของวัตถุด้วย DNG Profile Editor ประกอบด้วย 2 ค่า คั่นด้วยเครื่องหมายทับ ค่าที่ 1 คือ ค่าอุณหภูมิสีกับค่าที่ 2 คือ ค่าความจางของสีตามระดับสีขาวที่ผสมอยู่ [11] ก่อนประมวลผลมีค่าสมดุลสีขาว 5100/6 หลังการวัดสอบสีมีค่า 5400/1 ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) นำค่าใหม่ไปทำการแก้ไขให้แก่ 25 ภาพวัตถุด้วย Lightroom ดังแสดงในรูปที่ 7 (ค) และ (ง)

นำ 25 ภาพวัตถุ มาจัดเรียงภาพด้วย Agisoft โดยคำนวณหาจุดที่สอดคล้องกันของแต่ละภาพเป็นขั้นตอนการวัดสอบกล้องเพื่อคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหมุนของกล้องดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) จากนั้นทำการสร้างเมฆจุด ต่อมาทำการสร้างตาข่ายพื้นผิวเรียกว่าโพลีกอน (Polygon) เรียงต่อกันอ้างอิงจากตำแหน่งเมฆจุดเกิดเป็นพื้นผิวทำให้ได้ผลลัพธ์ของไฟล์แบบจำลองนามสกุล obj ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) ต่อมา

รูปที่ 8 ภาพวัตถุถ่ายจาก 8 ทิศทางของแสงที่แตกต่างกัน

ทำการสร้างไฟล์ภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุนามสกุล tif ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) โดยใช้ค่ายูวีที่จัดเก็บไว้ในแบบจำลองในการอ้างอิงตำแหน่งการลงสีบนภาพแผนที่สีพื้นผิวให้ตรงกับพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติ

3.2 ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงยูวีใหม่

การกางยูวีคือ วิธีการกางโพลีกอนของแบบจำลองบนภาพที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยมใช้สำหรับกำหนดพิกัดของภาพเพื่อนำภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุไปวางบนแต่ละโพลีกอนของแบบจำลอง ต่อมาทำการบันทึกค่ายูวีเป็นไฟล์ชื่อ UV1.uvw ด้วย 3ds Max [12] ไฟล์ยูวีนี้จะเก็บค่ายูวีของภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุที่สร้างจาก Agisoft ดังแสดงในรูปที่ 5 (ง) จากนั้นทำการนำแบบจำลองเดิมที่มีการใส่ภาพแผนที่สีพื้นผิวมาทำการกางยูวีใหม่ด้วยวิธีการฉายแบบระนาบจากมุมมองด้านบนด้วย Blender [13] จะทำให้ได้ภาพแผนที่ยูวีใหม่ที่มีการกางยูวีเหมือนกับรูปร่างของวัตถุต้นแบบ บันทึกไฟล์ภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 5 (จ) และบันทึกไฟล์แบบจำลองที่บันทึกค่ายูวีใหม่ด้วย Blender นำไฟล์แบบจำลองมาบันทึกค่ายูวีเป็นไฟล์ชื่อ UV2.uvw ด้วย 3ds Max ดังแสดงในรูปที่ 5 (ฉ)

3.3 ขั้นตอนที่ 3 โฟโตเมตริกสเตอริโอ

ถ่ายภาพวัตถุและภาพแผนภูมิทดสอบสี 24 สี ด้วยเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุดังแสดงในรูปที่ 8 แม้ว่าหลอดไฟจะมียี่ห้อและรุ่นเดียวกันควรวัดสอบสี เพื่อปรับค่าสมดุลสีขาวใหม่ให้แก่ภาพวัตถุดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสมดุลสีขาวในขั้นตอนโฟโตเมตริกสเตอริโอ

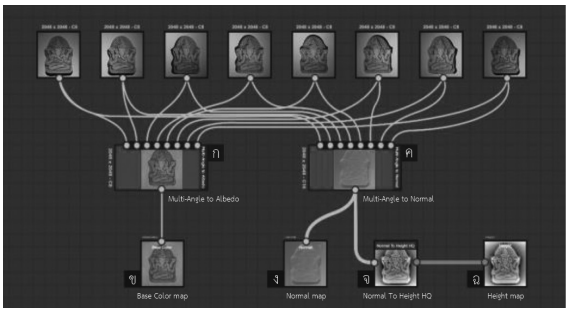
ค่าสมดุลสีขาว \ ภาพที่	1 (0°)	2 (45°)	3 (90°)	4 (135°)	5 (180°)	6 (225°)	7 (270°)	8 (315°)
ก่อน	5550/9	5450/7	5350/13	5200/6	5300/7	5500/6	5500/12	5450/9
หลัง	5700/11	5650/9	5600/15	5600/10	5700/11	5750/9	5600/16	5600/10

นำ 8 ภาพวัตถุ เข้ามาที่ Substance Designer ดังแสดงในรูปที่ 9 เริ่มต้นทำการเชื่อมกับโหนด (ก) Multi-Angle to Albedo สำหรับสร้าง (ข) ภาพแผนที่สีพื้นและเชื่อมกับโหนด (ค) Multi-Angle to Normal สำหรับสร้าง (ง) ภาพแผนที่แนวฉาก นำโหนด (ค) เชื่อมกับโหนด (จ) Normal To Height HQ เพื่อสร้าง (ฉ) ภาพแผนที่ความสูง โดยโปรแกรมจะทำการวัดสอบกล้องและแสง เพื่อคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางการหมุนของกล้อง และแหล่งกำเนิดแสงก่อนสร้างภาพแผนที่ต่างๆ ตามลำดับ [14]

3.4 ขั้นตอนที่ 4 การจัดเรียงภาพแผนที่

การจัดเรียงภาพเพื่อกำหนดตำแหน่งของรายละเอียดบนพื้นผิวของภาพแผนที่ที่สร้างจาก Substance Designer เพื่อให้ภาพมีตำแหน่งและรายละเอียดบนพื้นผิวตรงกับของภาพแผนที่สีพื้นผิวที่สร้างจาก Blender การจัดเรียงภาพใช้โฮโมกราฟีเมทริกซ์ (Homography Matrix; *H*) ประกอบ ด้วยตัวแปร *h* 9 ตัวแปร ทำหน้าที่แปลงค่าจุดระหว่างพิกัดใช้วิธีจับคู่พิกัดอย่างน้อย 4 จุด ที่สอดคล้องกันระหว่าง 2 ภาพด้วยอัลกอริทึมซิฟท์ (SIFT) โดยใช้ OpenCV เมื่อนำพิกัดตำแหน่ง *(x, y)* ใดๆ บนภาพแผนที่สีพื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 5 (ฌ) คูณกับค่า *H* จะทำให้ทราบพิกัดตำแหน่ง *(X,Y)* ใหม่ของภาพที่อยู่ที่พิกัดตำแหน่งเดียวกับภาพแผนที่สีพื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 5 (จ) ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



รูปที่ 9 ภาพแผนที่ต่างๆ สร้างจาก Substance Designer

นำภาพแผนที่แนวฉากและภาพแผนที่ความสูงคูณกับโฮโมกราฟีเมทริกซ์ เพื่อสร้างภาพแผนที่ทั้ง 2 ที่มีการจัดเรียงระนาบภาพใหม่ [15] ดังแสดงในรูปที่ 5 (ฎ) และ (ฏ)

3.5 ขั้นตอนที่ 5 การนำภาพใส่ให้แก่แบบจำลองสามมิติ

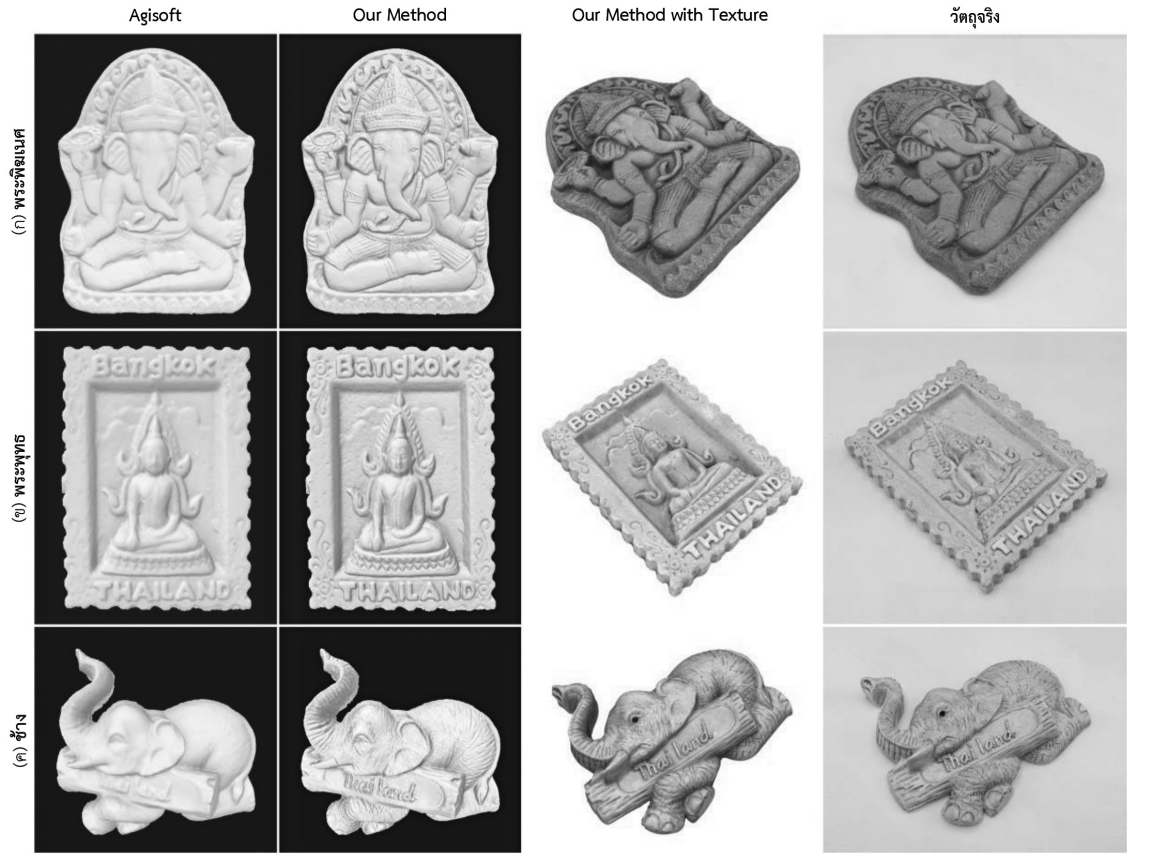
นำไฟล์แบบจำลองเข้ามาใน 3ds Max กำหนดการจัดยูวี 2 รูปแบบ โดยที่ UV Channel ที่ 1 ใช้ไฟล์ UV1.uvw จัดยูวีภาพแผนที่สีพื้นผิวจาก Agisoft รูปที่ 5 (ข) และ Channel ที่ 2 ใช้ไฟล์ UV2.uvw จัดยูวีภาพแผนที่แนวฉากและภาพแผนที่ความสูงจาก Substance Designer รูปที่ 5 (ฎ) และ (ฏ) ที่ช่องใส่ภาพของ Vray นำภาพแผนที่สีพื้นผิวใส่ที่ช่อง Diffuse กำหนด Map Channel : 1 นำภาพแผนที่แนวฉากใส่ในช่อง Normal นำภาพแผนที่ความสูงใส่ที่ช่อง Bump กำหนด Map Channel : 2 [16] ทำการเรนเดอร์ภาพจะแสดงผลลัพธ์แบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 5 (ฐ)

4. ข้อมูลและระยะเวลาจากการทดสอบ

การสร้างแบบจำลองและภาพแผนที่ต่างๆ จากการถ่ายภาพวัตถุจริงใช้เวลาที่ต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4 เริ่มต้นถ่ายภาพวัตถุแบบ 360 องศา 25 รูป/วัตถุ และภาพแผนภูมิทดสอบสีใช้เวลาเฉลี่ย 18 นาที นำ 25 ภาพวัตถุไปประมวลผลในขั้นตอนที่ 1 ด้วย Agisoft การสร้างเมฆจุดกับพื้นผิวของแบบจำลองและการสร้างภาพแผนที่สีพื้นผิว เลือกคุณภาพระดับสูงในการประมวลผล [5] จากข้อมูลพบว่า เวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและภาพแผนที่สีพื้นผิวขึ้นอยู่กับปริมาณรายละเอียดบนพื้นผิวของภาพวัตถุสังเกตได้จาก

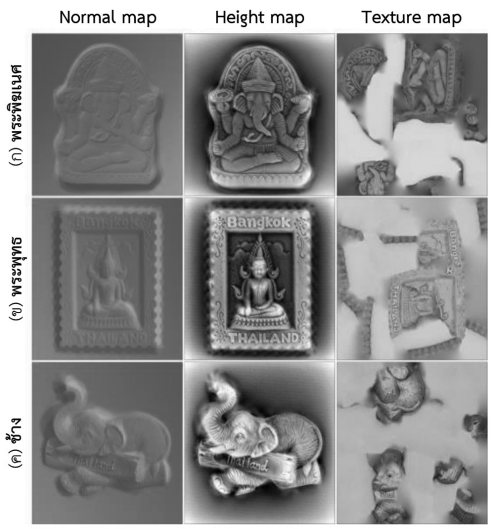
ตารางที่ 4 ข้อมูลและระยะเวลาในการสร้างแบบจำลองและภาพแผนที่ต่างๆ ของระบบสแกนวัตถุในงานวิจัยนี้

วัตถุ	ขั้นตอนที่ 1 (การรังวัดด้วยภาพ) ประมวลผลโดยโปรแกรม Agisoft						ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 3	ขั้นตอนที่ 4		รวมเวลาทั้งหมด (นาที)	ผลต่างเวลา Agisoft กับระบบสแกนงานวิจัยนี้ (นาที)
	ถ่ายภาพวัตถุและวัดสอบสี (นาที)	สร้างเมชจุด (นาที)	สร้างพื้นผิว (วินาที)	สร้างภาพแผนที่สีพื้นผิว (นาที)	รวมเวลาขั้นตอนที่ 1 (นาที)	จำนวนจุด Vertice	การจัดเรียงยูวีใหม่ (นาที)	โฟโตเมตริกสเตอริโอ (นาที)	จำนวนจุดที่ตรงกัน Feature Match	การจัดเรียงภาพแผนที่ (วินาที)		
พระพิฆเนศ	เวลาเฉลี่ย 18 นาที	23.1266	1.151	2.7785	43.9242	45,069	เวลาเฉลี่ย 6 นาที	เวลาเฉลี่ย 5 นาที	857	18.57	55.2337	11.3095
พระพุทธ		20.9393	0.929	7.8142	46.7689	44,144			314	8.48	57.9103	11.1414
ช้าง		12.4020	0.822	2.1193	32.5350	14,308			215	3.96	43.6010	11.0660



รูปที่ 10 เปรียบเทียบผลลัพธ์แบบจำลองสามมิติกับวัตถุจริง (ก) พระพิฆเนศ (ข) พระพุทธ (ค) ช้าง

จำนวนจุด ขั้นตอนที่ 2 การจัดยูวีใหม่ใช้เวลาเฉลี่ย 6 นาที ขั้นตอนที่ 3 นำ 8 ภาพวัตถุไปประมวลผลภาพเพื่อสร้างภาพแผนที่สีพื้น แนวฉาก และความสูงด้วย Substance Designer ใช้เวลาเฉลี่ย 5 นาที ขั้นตอนที่ 4 เวลาที่ใช้คำนวณหาจุดที่สอดคล้องกันระหว่าง 2 ภาพ เพื่อหาค่าโฮโมกราฟีเมทริกซ์ ขึ้นอยู่กับปริมาณรายละเอียดบนพื้นผิวของภาพวัตถุ สุดท้ายขั้นตอนที่ 5 การเรนเดอร์ภาพแบบจำลองใช้การเรนเดอร์แบบแสดงผลทันที จากข้อมูลสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและภาพแผนที่ต่างๆ แปรผันตรงกับปริมาณรายละเอียดบนพื้นผิวและสีพื้นผิวของภาพวัตถุ การ



รูปที่ 11 ภาพแผนที่แนวฉาก ภาพแผนที่ความสูง และภาพแผนที่สีพื้นผิวของ (ก) พระพิฆเนศ (ข) พระพุทธ (ค) ช้าง

สแกนวัตถุด้วย Agisoft กับวิธีการสแกนวัตถุของงานวิจัยนี้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.1723 นาที เพื่อเพิ่มการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูง

5. การเปรียบเทียบผลแบบจำลองสามมิติกับวัตถุจริง

รูปที่ 10 (คอลัมน์ที่ 1) แสดงแบบจำลองที่สร้างจาก Agisoft พบว่า รายละเอียดบนพื้นผิวถูกลดทอนลงไปอย่างเห็นได้ชัด รูปที่ 10 (คอลัมน์ที่ 2) แสดงแบบจำลองเมื่อนำภาพแผนที่แนวฉากดังแสดงในรูปที่ 11 (คอลัมน์ที่ 1) และภาพแผนที่ความสูงดังแสดงในรูปที่ 11 (คอลัมน์ที่ 2) มาใส่พบว่ามีรายละเอียดปรากฏบนพื้นผิวเพิ่มขึ้นโดยสามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน โดยภาพแผนที่แนวฉากทำหน้าที่ปรับแสงบนพื้นผิวเพื่อให้ดูเสมือนว่าพื้นผิวมีการปรับระดับความสูงหรือต่ำเกิดขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแบบจำลอง ภาพแผนที่ความสูงทำหน้าที่ปรับระดับความสูงหรือต่ำบนพื้นผิว โดยมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจริงของแบบจำลอง เมื่อนำมาใช้งานร่วมกันจะให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่มีรายละเอียดบนพื้นผิวเสมือนจริงมากขึ้น [17] รูปที่ 10 (คอลัมน์ที่ 3) แสดงแบบจำลองเมื่อนำภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุดังแสดงในรูปที่ 11 (คอลัมน์ที่ 3) มาใส่เพิ่มจะส่งผลให้แบบจำลองมีทั้งสีและรายละเอียดบนพื้นผิวเสมือนกับวัตถุจริงดังแสดงในรูปที่ 10 (คอลัมน์ที่ 4)

6. สรุป

การสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ระบบสแกนวัตถุจากภาพถ่ายของวัตถุหลายมุมมองจำนวนทั้งหมด 25 ภาพ ในงานวิจัยนี้สามารถสร้างแบบจำลองและภาพแผนที่สีพื้นผิวของวัตถุจากการประมวลผลโดยใช้วิธีการรังวัดด้วยภาพด้วยโปรแกรม Agisoft โดยที่สีของภาพวัตถุตรงกับสีจริงของวัตถุ เนื่องจากมีการวัดสอบสีโดยใช้แผนภูมิทดสอบสี 24 สี รวมถึงการถ่ายภาพวัตถุจากเครื่องสแกนพื้นผิววัตถุโดยใช้วิธีโฟโตเมตริกสเตอริโอ เพื่อสร้างภาพแผนที่แนวฉากและภาพแผนที่ความสูงสำหรับจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูงด้วยโปรแกรม Substance Designer ช่วยทำให้แบบจำลองสามมิติมีระดับความนูนสูงหรือนูนต่ำ รายละเอียดที่มีความสลับซับซ้อนต่างๆ สอดคล้องกับรายละเอียดบนพื้นผิวของวัตถุจริงส่งผลให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นมีความเสมือนจริงมากขึ้น จากผลการทดสอบการสแกนวัตถุด้วยโปรแกรม Agisoft กับวิธีการสแกนวัตถุของงานวิจัยนี้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.1723 นาที เพื่อเพิ่มการจัดเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติรายละเอียดสูง ผลลัพธ์ของไฟล์แบบจำลองสามมิตินามสกุล .obj และไฟล์ภาพแผนที่ต่างๆ นามสกุล .tif จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานต่อในการเรนเดอร์ภาพสามมิติผ่านโปรแกรมเรนเดอร์ที่สนับสนุนการเรนเดอร์บนพื้นฐานของฟิสิกส์ ข้อจำกัดของระบบนี้คือ ไม่สามารถสแกนวัตถุที่มีพื้นผิวที่มีความโปร่งใสหรือมีความสะท้อนแสงมากๆ ได้ เนื่องจากสีพิกเซลบนพื้นผิวของภาพวัตถุจะเปลี่ยนไปตามทิศทางของแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวในมุมมองที่แตกต่างกัน ขณะทำการถ่ายภาพวัตถุแบบ 360 องศา โดยจะส่งผลให้การประมวลผลภาพวัตถุเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองสามมิติและภาพแผนที่ต่างๆ มีโอกาสเกิดความผิดพลาดขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยในโครงการ

“ทุนรางวัลค้นคว้าในวิทยาการงานวิจัยสมบูรณ์แบบ” จากสำนักวิจัยแห่งสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Wagstaff and D. Derakhshani, “Technical 3D jobs and other industries,” in *Getting a Job in Computer Graphics: Real Advice from Reel People,* 1st ed., Hoboken, NJ: John Wiley and Sons, 2004, ch. 2, pp. 29–46.

[2] T. Jung and MC. T. Dieck, “Augmented reality, virtual reality and 3D printing for co-creation of value for visitor experience at cultural heritage places,” *Journal of Place Management and Development*, vol. 10, no. 2, pp. 140–151, 2017.

[3] T. Akenine-Möller, E. Haines, and N. Hoffman, “The graphics rendering pipeline,” in *Real-Time Rendering,* 4th ed., Boca Raton, FL: CRC Press, 2018, ch. 2, pp. 11–25.

[4] D. Lanman and G. Taubin, “Build your own 3D scanner : 3D photography for beginners,” ACM *SIGGRAPH 2009 Courses,* no. 8, pp. 1–94, 2009.

[5] Agisoft LLC. (2018). Agisoft PhotoScan User Manual, Professional edition, Version 1.4, Agisoft LLC, St. Petersburg, Russia, 2018. [Online] .Available: https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf

[6] Y. Alshawabkeh, M. El-Khalili, E. Almasri, F. Bala’awi, and A. Al-Massarweh, “The case study of qasr al-abidit, Jordan. digital applications in archaeology and cultural heritage,” *Heritage Documentation Using Laser Scanner and Photogrammetry,* vol. 16, p. e00133, 2020.

[7] W. McDermott. (2018, February). The Pbr Guide-Part 1. Adobe Inc., San Jose, CA. [Online]. Available: https://academy.substance3d.com/courses/the-pbr-guide-part-1

[8] D. Neubelt and M. Pettineo, “Crafting a next-gen material pipeline for the order: 1886,” in *Proceedings SIGGRAPH Physically Based Shading in Theory and Practice courses,* 2013, pp. 357–370.

[9] R. J. Woodham, “Photometric method for determining surface orientation from multiple images,” *Optical Engineering,* vol. 19, no. 1, pp. 139–144, 1980.

[10] B. Tunwatatanapong, W. Eaksarayut, and P. Sitthi-amorn, “Lumio3D: Rapid 3D geometry and reflectance acquisition from continuous spherical illumination,” in *Proceedings SIGGRAPH '16: ACM SIGGRAPH 2016*, 2016, pp. 1.

[11] J. Schewe. (2004). *A Digital Workflow for Raw Processing Part 3: White Balance.* [Online]. Available: https://www.adobe.com/digitalimag/pdfs/ps_workflow_sec3.pdf

[12] Autodesk. (2019). UVW Mapping Modifiers, Autodesk Inc., San Rafael, CA. [Online]. Available: http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2019/ENU/?guid=GUID-1C6B9174-8AEC-46AB-B756-61916D2FBA32

[13] Blender. (2019). *Mapping Types*, Blender Foundation, Amster-dam, Netherlands. [Online]. Available: https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/editing/uv/unwrapping/mapping_types.html

[14] Adobe. (2018). Substance Designer Documentation, Adobe Inc. San Jose, CA, 2018. Accessed: Jan. 12, 2020. [Online]. Available:

https://docs.substance3d.com/sddoc

[15] M. Beyeler, “Finding 0bjects via feature matching and perspective transforms,” in *OpenCV with Python Blueprints.* Birmingham, United Kingdom: Packt Publishing, 2015, ch. 3, pp. 47–68.

[16] Chaos Software. (2019). V-Ray Material | VRayMtl, Chaos Software Ltd., Culver City, LA. [Online]. Available: https://docs.chaosgroup.com/display/VRAY3MAX/V-Ray+Material+%7C+VRayMtl

[17] Unity Technologies. (2020, June.). Heightmap. Unity Technologies, San Francisco, CA. [Online]. Available: https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterHeightMap.html