

การประเมินความถูกต้องของเซ็นเซอร์การวัดระยะด้วยไลดาร์บนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติ

Accuracy Assessment of LiDAR Sensors on Mobile Devices for 3D Modeling

ธนโชติ เมืองใจ^{1*} พุทธิพล ดำรงชัย² เขตโสภณ ภิญโญ²

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

² อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: thanachot.m@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความถูกต้องของเซ็นเซอร์ไลดาร์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ เปรียบเทียบกับเครื่องสแกนไลดาร์แบบพกพาสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติให้มีความถูกต้อง ในการทดสอบความถูกต้องของเซ็นเซอร์ไลดาร์ ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นบ้านพักอาศัยชั้นเดียวขนาด 20 ตารางเมตร และกำหนดจุดควบคุมภายในอาคารจำนวน 8 จุดเพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้อง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลภายในอาคารจากการสแกนด้วยเซ็นเซอร์ไลดาร์ของอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่และเครื่องสแกนไลดาร์แบบพกพา เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติจากการประมวลผลข้อมูลจุดเมฆ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติที่ได้จากโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครื่องสแกนไลดาร์สามมิติแบบพกพา โดยเปรียบเทียบกับระยะระหว่างจุดควบคุมภายในอาคาร ผลการศึกษาพบว่า เซ็นเซอร์การวัดระยะด้วยแสงบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.060 เมตร ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองสามมิติที่ได้จากเซ็นเซอร์ไลดาร์บนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถนำไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมก่อสร้างที่ต้องการความถูกต้องในระดับเซนติเมตร เช่น การตรวจสอบความก้าวหน้าของงานก่อสร้าง

คำสำคัญ: แบบจำลองสามมิติ, เครื่องสแกนสามมิติแบบพกพา, ไลดาร์

Abstract

This research aims to evaluate the accuracy of a light detection and ranging (LiDAR) sensor installed on a mobile device by comparing it with a handheld LiDAR scanner for high-accuracy 3D modeling. To assess the accuracy of the LiDAR sensor, the researchers selected a single-story residential building with an area of 20 square meters as the study site. Eight control points were established within the building to serve as reference points for accuracy testing. Data were collected by scanning the building's interior using both the mobile device's

LiDAR sensor and the handheld LiDAR scanner to generate 3D models through point cloud processing. Subsequently, the accuracy of the 3D models obtained from the mobile device and the handheld LiDAR scanner was evaluated by comparing the distances between the control points within the building. The results of the study indicate that the LiDAR sensor on the mobile device achieves accuracy at the centimeter level, and the accuracy of root mean square error (RMSE) is 0.060 m. These findings suggest that 3D models generated using the mobile device's LiDAR sensor can be effectively applied in construction engineering tasks that require centimeter-level accuracy, such as monitoring progress in construction projects.

Keywords: 3D Model, Handheld 3D scanner, LiDAR

1. ที่มาและความสำคัญ

การใช้เครื่องมือสำรวจแบบดั้งเดิม เช่น เทปวัดระยะ ระดับน้ำ เลเซอร์วัดระยะ ฯลฯ มีความแม่นยำจำกัด และใช้เวลานานในการเก็บข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ขนาดใหญ่หรือพื้นที่ที่มีอุปสรรคขวางกั้น การถ่ายภาพทางอากาศ แม้ว่าจะให้ภาพรวมของพื้นที่ได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของความละเอียดของข้อมูล และไม่สามารถเก็บข้อมูลภายในอาคารได้อย่างละเอียด การสร้างแบบจำลองอาคารแบบดั้งเดิม อาศัยข้อมูลจากแบบแปลนและการวัดหน้างาน ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากการวัดที่ไม่แม่นยำ หรือการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการก่อสร้าง และงานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

ปัจจุบันการใช้เครื่องสแกนไลดาร์แบบพกพา (Handheld LiDAR) การนำข้อมูลที่ได้อาจประมวลผลและสร้างแบบจำลองสามมิติ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน[1]-[2] เช่น การทำแผนที่สามมิติ การสร้างโมเดลสามมิติของงานอุโมงค์ รวมไปถึงการก่อสร้างต่าง ๆ การออกแบบและก่อสร้างเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบแปลนก่อนการก่อสร้าง ช่วยในการวางแผนการก่อสร้าง และการจัดการวัสดุก่อสร้าง ใช้ใน

การตรวจสอบความคืบหน้าของงานก่อสร้าง การบำรุงรักษาอาคารใช้ในการตรวจสอบสภาพของอาคาร เพื่อหาตำแหน่งที่ชำรุดเสียหายช่วยในการวางแผนการซ่อมแซมและปรับปรุงอาคาร

การพัฒนาเทคโนโลยีดิจิทัลล่าสุดได้ทำให้เครื่องมือวัดสำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติเข้าถึงได้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการย่อขนาดเซ็นเซอร์ภาพถ่ายในปัจจุบันช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่น่าสนใจมากขึ้นจากสมาร์ตโฟนธรรมดา และในลักษณะเดียวกัน เรากำลังมุ่งหน้าไปสู่กระบวนการสแกนเลเซอร์แบบเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นโดยเทคโนโลยี LiDAR ที่รวมอยู่ในอุปกรณ์ล่าสุดของ Apple ในปี 2020 Apple ได้ผลิต Sensor LiDAR ที่ติดตั้งมาพร้อมกับ iPad Pro ซึ่งได้รับความนิยมมากในกลุ่มของผู้บริโภค เทคโนโลยี LiDAR Scanner ที่ผสานเข้ากับ iPad Pro มีความทันสมัยด้วยความสามารถในการวัดระยะวัตถุได้อย่างแม่นยำสูงสุด 5 เมตร ทั้งในและนอกอาคาร ทำงานได้รวดเร็วในระดับนาโนวินาที และเมื่อทำงานร่วมกับกล้องและเซ็นเซอร์อื่น ๆ ซึ่งข้อมูลจะถูกประมวลผลด้วย A12Z Bionic สามารถสร้างโมเดลสามมิติสมจริงและตอบสนองได้อย่างดี [3]-[5]

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์ประโยชน์ของการนำเทคโนโลยี เครื่องสแกนไลดาร์แบบพกพามาเปรียบเทียบความถูกต้องกับเซ็นเซอร์สแกนบนอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ในการสแกนโครงสร้างภายในอาคาร รวมถึงเทคนิคการประมวลผลจุดเมฆเพื่อสร้างแบบจำลองอาคารเพื่อสร้างแบบจำลองอาคารสามมิติ รองรับการทำงานก่อสร้างหรืองานปรับปรุงอาคาร หรืองานตรวจสอบอาคารที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหว ในอนาคตให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพโดยการนำเอาเครื่องมือด้านงานสำรวจที่ทันสมัย และวิธีการใหม่ในการรังวัด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนและพัฒนาวิธีการในการใช้งานเครื่องมือดังกล่าวต่อไป

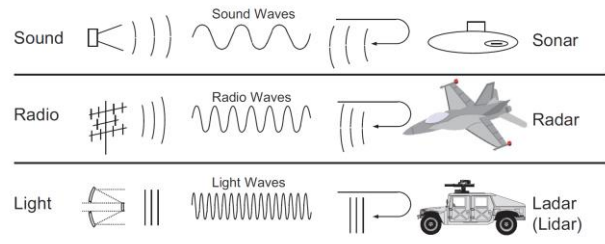
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการจำแนกประเภทของคลื่น

ความแตกต่างระหว่างคลื่นเสียง (sonar), คลื่นวิทยุ (Radar), และคลื่นแสง (Ladar or LiDAR) คือ ลักษณะของคลื่นที่ถูกส่งออกไปและรับกลับมากลื่นโซนาร์ทำงานด้วยระบบของคลื่นเสียง เรดาร์ทำงานด้วยระบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นวิทยุ ส่วนไลดาร์ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นแสงเลเซอร์(ดังรูปที่ 1) ซึ่งทั้งสามคลื่นจำแนกด้วยความแตกต่างกันของความถี่และความยาวคลื่นที่ใช้ [6] ซึ่งจะจำแนกความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นต่าง ๆ ได้ตามสมการที่ (1)

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

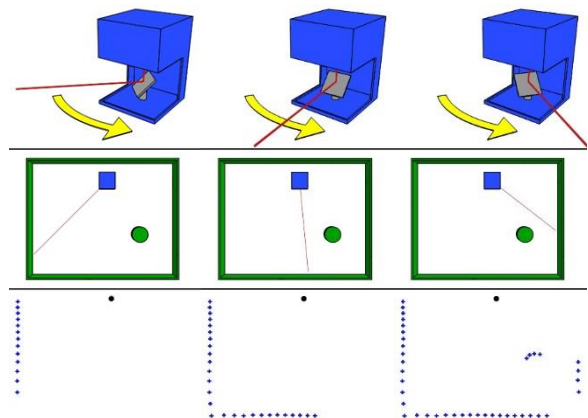
เมื่อ f คือ ความถี่
 λ คือ ความยาวคลื่น
 v คือ ความเร็ว (3×10^8 เมตรต่อวินาทีสำหรับคลื่นเสียง, 2.998×10^8 เมตรต่อวินาทีสำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยส่วนมากมักใช้ตัวแปร c)



รูปที่ 1 แสดงการทำงานจากเครื่องกำเนิดคลื่นและสะท้อนกลับของคลื่นทั้งสามระบบ, คลื่นเสียง(Sonar), คลื่นวิทยุ (Radar), คลื่นแสง (LiDAR) [6]

2.2 หลักการทำงานเบื้องต้นของ Light Detection And Ranging (LiDAR)

ระบบ LiDAR พื้นฐานประกอบด้วยเครื่องวัดระยะเลเซอร์ที่สะท้อนโดยกระจกหมุน (ดังรูปที่ 2) เครื่องสแกนไลดาร์มีการปล่อยพลังงานแสงจากเครื่องกำเนิดโดยแสงจะถูกปล่อยแบบกระจายทั่วพื้นที่ไปกระทบกับวัตถุต่าง ๆ เช่น พื้นดิน อาคาร สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ ลำแสงจะสะท้อนกลับมายังเซ็นเซอร์ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุและช่องว่างโดยรอบ เครื่องสแกนไลดาร์จะวัดระยะเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางไปกลับซึ่งระยะเวลาที่วัดได้ สามารถคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องสแกนกับวัตถุนั้น ๆ ได้อย่างแม่นยำ [7]



รูปที่ 2 พื้นฐานการทำงานของระบบยิงลำแสงเลเซอร์ของเครื่องสแกนไลดาร์ [7]

2.3 ระบบ LiDAR ในรูปแบบของ Time of flight (ToF)

เครื่องสแกนไลดาร์จะส่งลำแสงออกไปและบันทึกเวลาที่แสงเริ่มต้นจากเซ็นเซอร์และเวลาที่แสงสะท้อนกลับมากเพื่อคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางกลับไปยังแหล่งกำเนิดของเครื่องสแกนไลดาร์ ดังนั้น สามารถใช้สมการ (2) เพื่อคำนวณระยะทางที่ลำแสงเดินทางไปและกลับจากวัตถุได้

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

เมื่อ d คือ ระยะทางไปจากเครื่องสแกนไปยังวัตถุ
 c คือ ความเร็วของลำแสง
 t คือ เวลาที่คลื่นสัญญาณพัลส์เดินทางไปกลับ

2.4 ระบบ LiDAR ในรูปแบบของ Phase based

เครื่องเลเซอร์สแกนในรูปแบบเฟสจะมีการส่งแสงเลเซอร์ด้วยความถี่คงที่ไปที่วัตถุเป้าหมายแล้วทำการ เปรียบเทียบความแตกต่างเฟสของสัญญาณที่สะท้อนกลับมากับสัญญาณอ้างอิงในตัวเครื่อง เพื่อหาระยะทางระหว่างเครื่องสแกนและวัตถุ ความแตกต่างของเฟสระหว่างคลื่นแสงที่ตกกระทบวัตถุและคลื่นแสงที่สะท้อนกลับ[8] สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$d = \frac{c \Delta\phi}{4\pi f} \quad (3)$$

เมื่อ $\Delta\phi$ คือ ความต่างเฟสระหว่างคลื่นสัญญาณที่ส่งออกไปและคลื่นที่สะท้อนกลับมา

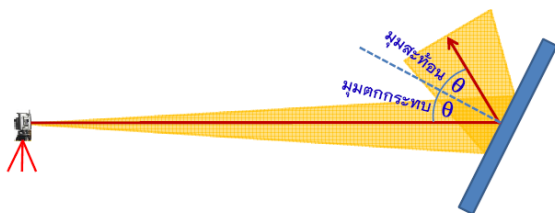
c คือ ความเร็วของลำแสง

f คือ ความถี่ของคลื่น

d คือ ระยะทางไปจากเครื่องสแกนไปยังวัตถุ

2.5 การสะท้อนของลำแสงเลเซอร์เมื่อกระทบกับพื้นผิววัตถุเป้าหมาย

ลำแสงเลเซอร์ในการสแกนวัตถุเป้าหมาย จะให้ความถูกต้องในการวัดได้ดีที่สุด หากทิศทางของลำแสงตกกระทบตั้งฉากกับพื้นที่เป้าหมาย ในขณะที่ความถูกต้องในการวัดจะลดลง หากมุมตกกระทบ “ θ ” (incidence) ของลำแสงเพิ่มมากขึ้น (ดังรูปที่ 3) จนกระทั่งความเข้มของสัญญาณสะท้อนเบาบางหรือไม่มีสัญญาณสะท้อนกลับสู่เครื่องสแกนได้ ซึ่งความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนในการยืดตัวของสัญญาณ (elongation errors) ในขณะที่พลังงานของลำแสงเลเซอร์ก็จะน้อยลงที่ระยะทางหนึ่ง (ในที่นี้จะเรียกว่าระยะหวังผล) ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ในเครื่องสแกนแต่ละยี่ห้อและถ้าหากเกินระยะนั้นเครื่องไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้ ปัจจัยทางสภาพอากาศต่าง ๆ เช่น ควัน ความร้อนจากแสงอาทิตย์ ฝน ฝุ่นละอองและหมอก ก็อาจจำกัดระยะหวังผลของการสแกนให้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น [9]



รูปที่ 3 การสะท้อนของลำแสงเลเซอร์เมื่อกระทบกับพื้นผิววัตถุเป้าหมาย [4]

2.6 รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE : Root Mean Square Error)

ความถูกต้องของข้อมูลสามารถอธิบายด้วยค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่แท้จริง การที่ลักษณะทางตำแหน่งของข้อมูลคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงถือว่าเป็นความผิดพลาดของข้อมูล ซึ่งอาจมีผลมาจากการได้มาซึ่งข้อมูลทั้งจาก

ระบบสำรวจและระบบการประมวลผลภาพ การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในการนำข้อมูลไปใช้ การวัดความถูกต้องจะอธิบายด้วยค่าความคลาดเคลื่อนที่หาจากวิธีการทางสถิติ ซึ่งในงานวิจัยในครั้งนี้จะใช้ค่าตามสมการที่ (4)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

เมื่อ $\hat{x}_i$ คือ ข้อมูลที่วัดได้จากการทดสอบครั้งที่ i

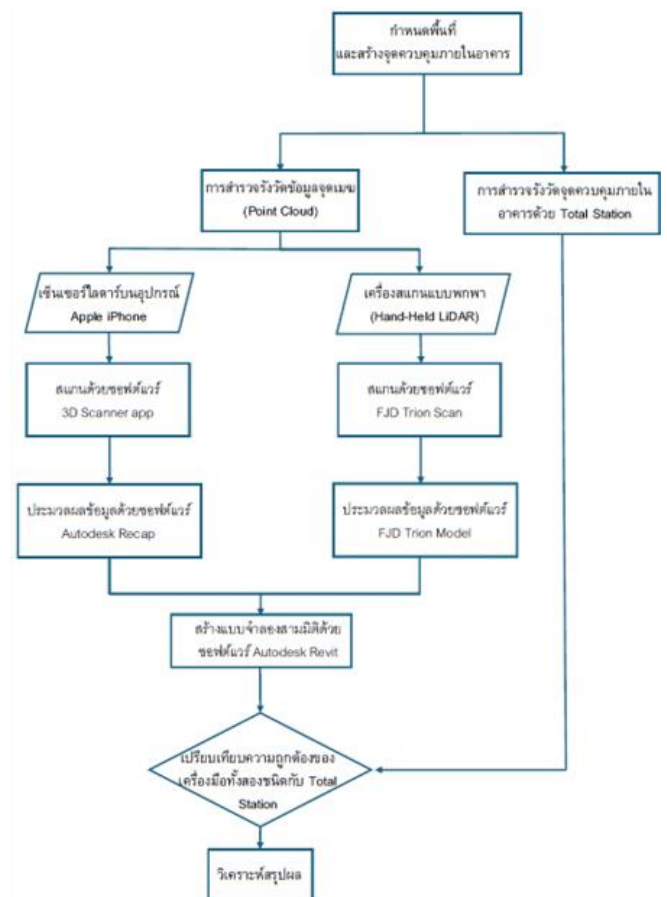
x_i คือ ข้อมูลที่วัดได้จากการทดสอบครั้งที่ i ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

n คือ จำนวนครั้งในการทดสอบหรือเก็บข้อมูล

i คือ จำนวนครั้งทดสอบที่ 1 ถึง n

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

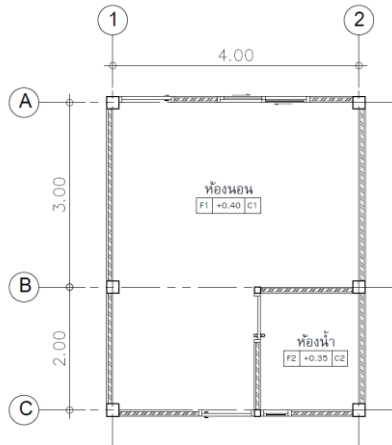
ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองภายในอาคารสามมิติของบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นเดียว ด้วยอุปกรณ์ FJD Handheld LiDAR และ iPhone 15 Pro Max สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดพื้นที่ทำการวิจัย

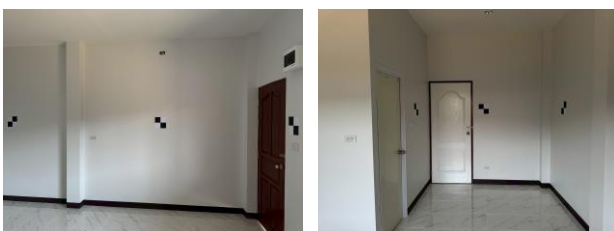
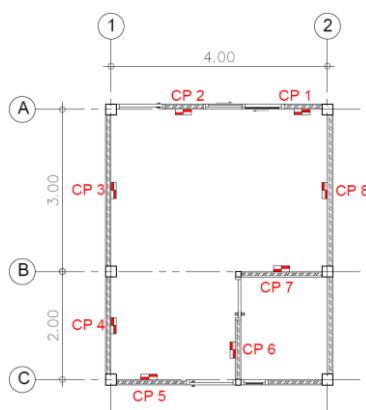
ผู้ทำวิจัยได้เลือกรูปแบบอาคารเป็นอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียว ขนาดความยาว 5.0 เมตร ความกว้าง 4.0 เมตร โดยมีพื้นที่ใช้สอย 20 ตารางเมตร (ดังรูปที่ 5) ที่ตั้งอยู่ใน ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ลักษณะอาคารเป็นอาคารบ้านพักอาศัยมีห้องนอนจำนวน 1 ห้อง และห้องน้ำจำนวน 1 ห้อง โดยการศึกษาจะเลือกศึกษาเฉพาะพื้นที่ในส่วนห้องนอน



รูปที่ 5 แผนบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นเดียว ขนาด 5.0 x 4.0 เมตร

3.2 การกำหนดจุดควบคุมภายในอาคาร

การกำหนดจุดควบคุมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องจะใช้เป้ากระดาษสีเหลี่ยมจัตุรัสสีขาวดำขนาด 15 เซนติเมตร โดยสร้างจุดควบคุมทั้งหมด 8 จุดบริเวณกำแพงของอาคาร (ดังรูปที่ 6) หลังจากนั้นใช้กล้องประมวลผลรวม (Total Station) เก็บค่าพิกัดของจุดควบคุม ใช้ในการวัดระยะทางระหว่างจุดควบคุมเพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องในส่วนของระยะทางที่ได้จากแบบจำลองสามมิติของอุปกรณ์สแกนไลดาร์ทั้ง 2 ชนิด

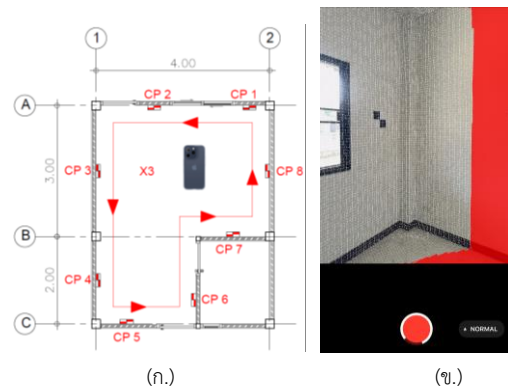


รูปที่ 6 กำหนดจุด Check Point จำนวน 8 จุด ที่ถูกติดตั้งอยู่บนผนังของห้อง

3.3 การเก็บข้อมูลและประมวลผลจากเซ็นเซอร์ไลดาร์ Apple iPhone 15 Pro Max

การสแกนได้เลือกใช้แอปพลิเคชัน “3d Scanner App” โดยตั้งค่าการสแกนในโหมด NORMAL และได้วางแผนการเดินสแกนเป็นวงรอบทั้งหมด 3 รอบ (ดังรูปที่ 7 ก.) เนื่องจากเซ็นเซอร์ไลดาร์บนอุปกรณ์นี้มีความสามารถโดยปกติที่ระยะทางไม่เกิน 5 เมตร จะได้ความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 300 จุดต่อตารางเมตร[3] และการศึกษาครั้งนี้พื้นที่ที่ศึกษาอยู่ภายในอาคารขนาดเล็กซึ่งอยู่ในระยะการทำงานที่เหมาะสมของเซ็นเซอร์ไลดาร์ดังกล่าวเพื่อความครบถ้วนของข้อมูลจะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลของจุดที่ถูกสแกนโดยจุดต่าง ๆ จะแสดงผลทันทีผ่านแอปพลิเคชัน (ดังรูปที่ 7 ข.)

เมื่อได้รับข้อมูล Point Cloud จากการสแกนของ iPhone 15 Pro Max จะทำการประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Autodesk Recap เพื่อจัดบางส่วนของ Point Cloud ที่ถูกรบกวนด้วยแสงและเงาต่าง ๆ

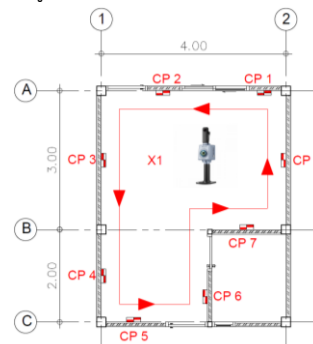


รูปที่ 7 (ก.) การเดินเก็บข้อมูล Point Cloud ของอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max (ข.) ข้อมูลที่ถูกสแกนผ่านแอปพลิเคชัน 3d scanner app

3.4 การเก็บข้อมูลและการประมวลผลจาก FJD Trion P1

การสแกนจะถูกกำหนดด้วยแอปพลิเคชัน “FJD Trion Scan” โดยการวางแผนการเดินสแกนเป็นวงรอบเพียง 1 รอบ (ดังรูปที่ 8) เนื่องจากเครื่องสแกนดังกล่าวสามารถยิงระยะทางได้ไกลสุดถึง 40 เมตร และมีความละเอียดของจุดที่สแกน (Point Density) เท่ากับ 200,000 จุดต่อวินาที

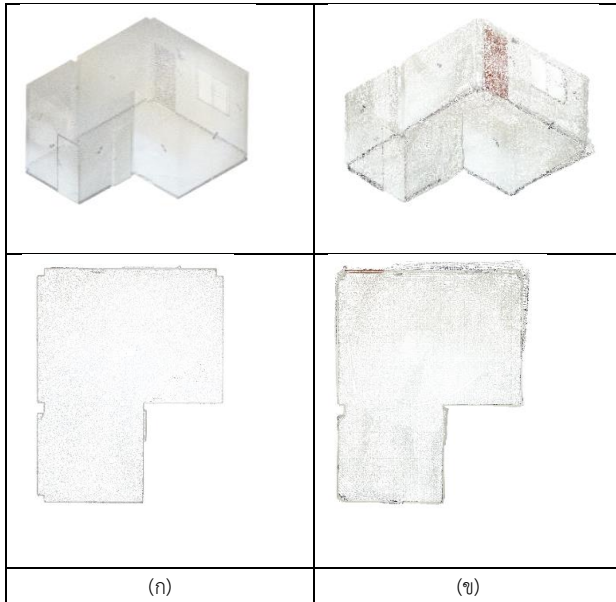
เมื่อได้รับข้อมูล Point Cloud จากการสแกนของ FJD Trion P1 จะทำการประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า FJD Trion Model เพื่อจัดบางส่วนของ Point Cloud ที่ถูกรบกวนด้วยแสงและเงาต่าง ๆ



รูปที่ 8 แผนการเดินเก็บข้อมูล Point Cloud ของอุปกรณ์ FJD Handheld LiDAR

3.5 การสร้างแบบจำลองภายในของอาคารสามมิติ

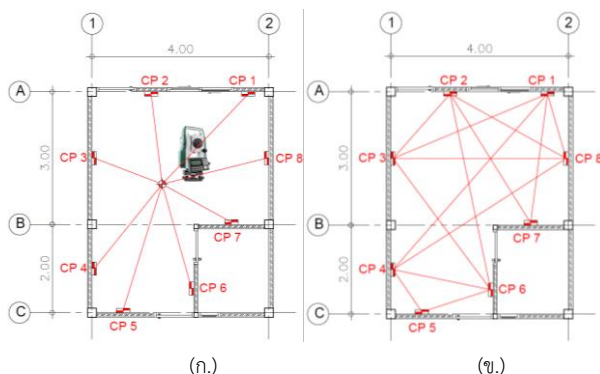
เนื่องจากอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นเดียวมีโครงสร้างแน่นอน จึงเลือกใช้โปรแกรม Revit สร้างแบบจำลองภายในอาคารสามมิติ โดยเริ่มจากการกำหนดระดับความสูงของพื้น เสา คาน และฝ้าเพดาน ตามข้อมูล Point Cloud (ดังรูปที่ 9(ก.) 9(ข.)) หลังจากนั้นขึ้นรูป Grid Line ด้วยระยะห่างของแนวและแถวจาก Point Cloud เพื่อกำหนดความกว้างและความยาวสำหรับวางตำแหน่งเสาในจุดตัดของตาราง Grid Line [10]



รูปที่ 9 (ก.)ข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากการเครื่องสแกน FJD Handheld LiDAR , (ข.)ข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากการอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max

3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองภายในอาคาร

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติที่สร้างจาก Point Cloud ด้วยการทำการวัดระยะทางระหว่างจุด Check Point ที่ถูกติดตั้งกับผนังห้อง โดยจะวัดระยะทางทั้งหมด 26 เส้น (ดังรูปที่ 10(ก.) 10(ข.)) แล้วนำระยะทางไปเปรียบเทียบกับความถูกต้องกับระยะระหว่าง Check Point ที่วัดได้จากกล้องประมวลผลรวม (Total Station)



รูปที่ 10 (ก.)การรังวัดค่าพิภคของจุด Check Point ด้วยกล้อง Total Station , (ข.) การวัดระยะทางระหว่างจุด Check Point เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสามมิติ

4. ผลการทดสอบ

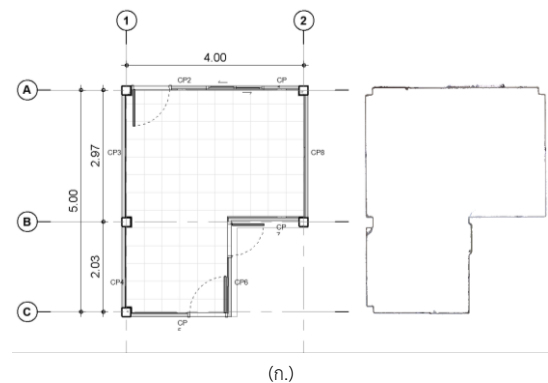
4.1 ผลจากการสร้างแบบจำลองสามมิติจากข้อมูล Point Cloud

4.1.1 การเปรียบเทียบระยะระหว่าง Grid Line ของแบบจำลองภายในอาคารสามมิติที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์

ผลจากการสร้างแบบจำลองสามมิติจากข้อมูล Point Cloud ที่ได้มาจากทั้งสองอุปกรณ์พบว่าอุปกรณ์ FJD Handheld LiDAR สามารถสร้างแบบจำลองที่มีขนาด Grid Line เท่ากับ 5.0×4.0 เมตร ส่วนอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max สร้างแบบจำลองที่มีขนาด Grid Line 5.10×4.06 เมตร และมีความแตกต่างกันในส่วนของระยะ Grid Line ค่าความต่างของระยะทางระหว่าง Grid Line A-B เท่ากับ 0.10 เมตร ค่าความต่างของระยะทางระหว่าง Grid Line B-C เท่ากับ 0.01 เมตร ค่าความต่างของระยะทางระหว่าง Grid Line A-C เท่ากับ 0.10 เมตร ค่าความต่างของระยะทางระหว่าง Grid Line 1-2 เท่ากับ 0.06 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงระยะทางระหว่าง Grid Line ของแบบจำลองสามมิติที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์

อุปกรณ์	ระยะทางระหว่าง Grid Line (m.)			
	A-B	B-C	A-C	1-2
FJD Handheld LiDAR	2.97	2.03	5.00	4.00
iPhone 15 Pro Max	3.07	2.02	5.10	4.06
Diff. (m.)	0.10	0.01	0.10	0.06

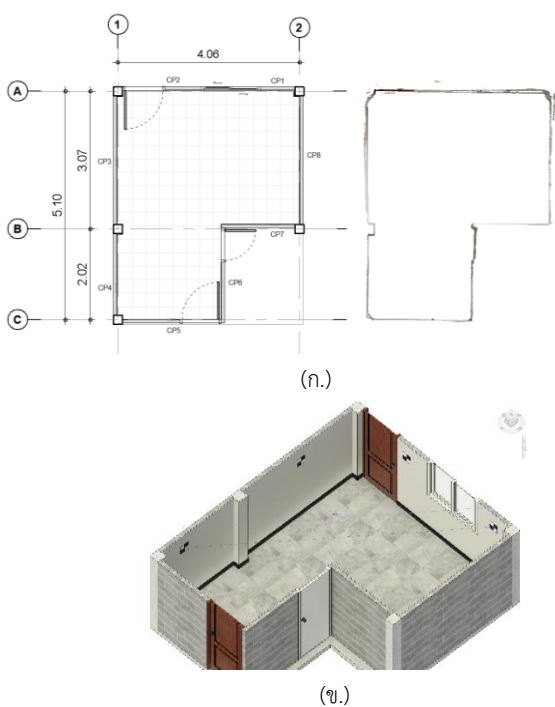


(ก.)



(ข.)

รูปที่ 11 (ก.)แบบแปลนที่ถูกวาดจาก Point Cloud ที่ได้จาก FJD Handheld LiDAR, (ข.)แบบจำลองสามมิติที่สร้างจาก FJD Handheld LiDAR



รูปที่ 12 (ก.)แบบแปลนที่ถูกวาดจาก Point Cloud ที่ได้จาก iPhone 15 Pro Max ,
(ข.)แบบจำลองสามมิติที่สร้างจาก iPhone 15 Pro Max

4.1.2 เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุด Check Point

การเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุด Check Point จะใช้ระยะที่รังวัดได้จากกล้อง Total Station เป็นระยะอ้างอิง หลังจากนั้นนำระยะห่างระหว่างจุด Check Point ที่วัดได้จากแบบจำลองสามมิติของทั้งสองอุปกรณ์ มาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะวัดระยะห่างระหว่างจุดทุกจุดแบบโครงข่าย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงระยะห่างระหว่าง Check Point ของแบบจำลองสามมิติที่ได้จากทั้งสองอุปกรณ์ เปรียบเทียบกับระยะห่างระหว่าง Check Point ที่วัดจากกล้อง Total Station

วัดระยะจากจุด Check Point	Total Station (m.)	iPhone (m.)	FJD (m.)	TS vs. iPhone (m.)	TS vs. FJD (m.)
CP1 CP2	2.324	2.246	2.320	-0.078	-0.004
CP1 CP3	3.850	3.787	3.857	-0.063	0.007
CP1 CP4	5.576	5.578	5.638	0.002	0.062
CP1 CP5	5.580	5.509	5.594	-0.071	0.014
CP1 CP6	4.451	4.475	4.456	0.024	0.005
CP1 CP7	2.922	2.870	2.970	-0.052	0.048
CP1 CP8	1.516	1.504	1.549	-0.012	0.033
CP2 CP3	1.944	1.898	1.978	-0.046	0.034
CP2 CP4	4.477	4.514	4.564	0.037	0.087
CP2 CP5	5.072	5.030	5.095	-0.042	0.023
CP2 CP6	4.414	4.454	4.433	0.040	0.019
CP2 CP7	3.721	3.644	3.771	-0.077	0.050

CP2	CP8	3.179	3.103	3.210	-0.076	0.031
CP3	CP4	2.791	2.920	2.832	0.129	0.041
CP3	CP5	3.755	3.833	3.727	0.078	-0.028
CP3	CP6	3.596	3.717	3.573	0.121	-0.023
CP3	CP7	3.788	3.803	3.794	0.016	0.006
CP3	CP8	4.057	4.030	4.066	-0.027	0.009
CP4	CP5	1.434	1.447	1.397	0.013	-0.037
CP4	CP6	2.307	2.300	2.321	-0.007	0.014
CP4	CP7	3.782	3.806	3.806	0.024	0.024
CP4	CP8	4.978	4.978	5.025	0.000	0.047
CP5	CP6	1.352	1.246	1.367	-0.107	0.015
CP5	CP7	3.152	3.116	3.116	-0.036	-0.036
CP5	CP8	4.625	4.551	4.629	-0.074	0.004
CP6	CP7	1.817	1.901	1.790	0.084	-0.027
CP6	CP8	3.346	3.394	3.335	0.048	-0.011
CP7	CP8	1.591	1.546	1.613	-0.045	0.022

4.2 ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองภายในอาคารสามมิติ

ผลจากการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองภายในอาคารสามมิติที่สร้างจากข้อมูล Point Cloud ของทั้งสองอุปกรณ์ พบว่าแบบจำลองภายในอาคารสามมิติที่สร้างจาก FJD Handheld LiDAR ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STDEV) เท่ากับ 0.030 เมตร รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.033 เมตร แบบจำลองภายในอาคารสามมิติของอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max ให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.061 เมตร รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.060 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองภายในอาคารสามมิติเปรียบเทียบกับกล้อง Total Station

อุปกรณ์	Min. (m.)	Max. (m.)	Mean (m.)	S.D. (m.)	RMSE (m.)
FJD Handheld LiDAR	-0.037	0.087	0.015	0.030	0.033
iPhone 15 Pro Max	-0.107	0.129	-0.007	0.061	0.060

5. สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปผลการสร้างแบบจำลองภายในอาคารสามมิติของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดคือ 1.FJD Handheld LiDAR 2.iPhone 15 Pro max โดยใช้สถานที่ในการเก็บข้อมูลเดียวกันคือบ้านพักอาศัยคอนกรีตเสริมเหล็กชั้นเดียว ที่มีด้านยาว 5.0 เมตร ด้านสั้น 4.0 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยประมาณ 20 ตารางเมตร โดยการเก็บข้อมูล Point Cloud เฉพาะภายในอาคาร หลังจากนั้นได้นำข้อมูลไปประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลองภายในอาคารสามมิติ

ผลจากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองภายในอาคารสามมิติเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่รังวัดได้จากกล้องประมวลผลรวม (Total Station)

พบว่าแบบจำลองภายในอาคารสามมิติของอุปกรณ์ FJD Handheld LiDAR มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.030 เมตร รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.033 เมตร และแบบจำลองภายในอาคารสามมิติของอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.061 เมตร รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 0.060 เมตร

จากค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสามารถสรุปผลได้ว่าอุปกรณ์แบบจำลองภายในอาคารสามมิติที่สร้างจาก FJD Handheld LiDAR ให้ค่าความถูกต้องในช่วง ± 3 เซนติเมตร เนื่องจากข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากอุปกรณ์ดังกล่าวมีจำนวนจุดและความคมชัดของจุดที่สูง ทำให้สามารถขึ้นรูปแบบจำลองภายในอาคารสามมิติได้ง่ายและความถูกต้องของข้อมูลมีความถูกต้องที่ดีสามารถใช้สร้างแบบจำลองภายในอาคารสามมิติที่ต้องการความละเอียดได้ แบบจำลองภายในอาคารสามมิติที่ได้จากอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max ที่มีค่าความถูกต้องอยู่ในช่วง ± 6 เซนติเมตร การขึ้นรูปแบบจำลองทำได้ยากและซับซ้อนกว่าเนื่องจากข้อมูล Point Cloud ที่ได้จากอุปกรณ์มีความฟุ้งกระจายมาก ความหนาแน่นของข้อมูลน้อยความคมชัดของข้อมูลน้อย จึงไม่สามารถขึ้นรูปร่างที่แน่นอนของโครงสร้างภายในอาคารได้ แต่อย่างไรก็ตาม LiDAR บนอุปกรณ์ iPhone 15 Pro Max มีความถูกต้องเทียบเท่ากับ FJD Handheld LiDAR และสามารถนำไปใช้ในทางงานทางด้านวิศวกรรมก่อสร้างที่ต้องการความถูกต้องในระดับเซนติเมตรได้ เช่น การตรวจสอบความก้าวหน้าของงานก่อสร้าง และการสร้างแบบจำลองอาคารที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงได้

ทั้งนี้งานวิจัยในครั้งนี้ได้ประเมินถึง ระยะทางระหว่างวัตถุกับเครื่องสแกน แสงเลเซอร์ พื้นผิววัตถุ และการสแกนงานภายนอกอาคาร ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณครอบครัวพี่ปัทริณีย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องสถานที่สำหรับการเก็บข้อมูลภายในอาคารเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองภายในอาคารสามมิติ ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยสนับสนุนในการดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนการศึกษาจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dewez, T. J. B., Plat, E., & others. (2016, September). Handheld Mobile Laser Scanners Zeb-1 and Zeb-Revo to map an underground quarry and its above-ground surroundings. Conference Paper. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/308163385>
- [2] James, M. R., & Quinton, J. N. (2014). Ultra-rapid topographic surveying for complex environments: the hand-held mobile laser scanner (HMLS). *Earth Surface Processes and Landforms*, 139(2), 138–142. <https://doi.org/10.1002/esp.3489>
- [3] Tee Ann Teo, Chen Chia Yang (2023). Evaluating the accuracy and quality of an iPad Pro's built-in lidar for 3D indoor mapping. *Developments in the Built Environment*.14, April 2023, 100169
- [4] Spreafico, A., Chiabrando, F., Teppati Losè, L., & Giulio Tonolo, F. (2021). THE IPAD PRO BUILT-IN LIDAR SENSOR: 3D RAPID MAPPING TESTS AND QUALITY ASSESSMENT. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Vol. 1 XLIII-B1-2021, pp. [63-69]). XXIV ISPRS Congress.
- [5] M. Vogt, A. Rips, and C. Emmelmann, "Comparison of iPad Pro's LiDAR and True Depth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution," *Technologies*, vol. 9, no. 2, p. 25, Apr. 2021. DOI: 10.3390/technologies9020025.
- [6] Halmos, M. J. (2024). Introduction to Laser Radar: A New Light on Imaging. <https://doi.org/10.1117/3.2669193>
- [7] Ebrahim, M. A. (2014). 3D Laser Scanners: History, Applications, and Future. ResearchGate (DOI: 10.13140/2.1.3341.2194)
- [8] Abdelhafiz, A. (2009, February). Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning (Unpublished master's thesis). Assiut University, Assiut, Egypt. <https://www.researchgate.net/publication/278157315>
- [9] บุญฤทธิ์ เขียวอร่าม. (2560). การประเมินความถูกต้องของวิธีการรังวัดเพื่อหาปริมาตรขุดขนหน้าดินและถ่านหินบริเวณเหมืองถ่านหิน Accuracy assessment of survey methods for volume determination of overburden and coal excavations / บุญฤทธิ์ เขียวอร่าม. เชียงใหม่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ <https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:125202>
- [10] พิรภพ โพธิ์พงษ์, รุ่งโรจน์ จักภระ (2566). การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามมิติที่สร้างโดยข้อมูลจุดเมฆ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28, วันที่ 24-26 พฤษภาคม 2566 จ.ภูเก็ต, หน้า SGI13-1 ถึง SGI13-6