



การออกแบบเป้าหมายหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์เพื่อใช้ประเมินความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์

DESIGN OF GABLE ROOF LCP FOR GEOMETRIC EVALUATION OF POINT-CLOUD

ธีรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์^{1*}, พลวัต สันติธรรมนนท์², ภัคธร เพชรรุ่งรัมย์², เทพฤทธิ์ ศรีรัฐฉูณไพศาล³,

โชคชัย พัวธนาโชคชัย⁴ และไพศาล สันติธรรมนนท์⁵

^{1*} นักวิจัย, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² นิสิตบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³ เจ้าหน้าที่ทหารประจำแผนกสำรวจข้อมูลแผนที่, กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย

⁴ ผู้อำนวยการกองแผนและโครงการ, กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย

⁵ รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Corresponding author, E-Mail: thirawat.bannakulpihat@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทำการออกแบบเป้าหมายหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์เพื่อใช้ประเมินความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์จากยูเอวีเลเซอร์สแกน โดยเป็นการออกแบบจุดควบคุมภาคพื้นดินให้มีลักษณะเป็นหลังคาทรงจั่วเพื่อให้จุดควบคุมนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบและปรับแก้ข้อมูลทางราบและทางตั้งของข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้จากเลเซอร์สแกนต่อได้ในการบวนการปรับแก้ระหว่างแนวนอน งานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้ซอฟต์แวร์ภาษาไพธอนเป็นเครื่องมือประมวลผลเพื่อคำนวณหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเป้าหมายหลังคาเพื่อใช้กำหนดจุดควบคุมในขั้นตอนการประมวลผลปรับแก้ระหว่างแนวนอน โดยมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ *ChkStrip_LCP* สำหรับช่วยตรวจสอบจำนวนจุดที่ตั้งเป้าหมายหลังคาทรงจั่วที่อาจปรากฏอยู่ในแถบบินไลดาร์มากกว่า 1 แถบได้และพัฒนาซอฟต์แวร์ *Estim_LCP* สำหรับใช้คำนวณค่าพิกัดตัวแทนของพอยต์คลาวด์ได้แม่นยำ การประมวลผลข้อมูลพอยต์คลาวด์เพื่อคำนวณหาตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเป้าหมายหลังคาเพื่อนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้มาด้วยกรรมวิธีการรังวัดแบบจลน์ในพื้นที่ ในกรณีศึกษาการบินไลดาร์เพื่อทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับติดตั้งระบบเลเซอร์สแกนยี่ห้อ *CHC รุ่น AA450* ในพื้นที่ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร จากการวิจัยพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ 11 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้ง 14 เซนติเมตร

คำสำคัญ: ไลดาร์; เลเซอร์สแกน; เป้าหมายหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์; พอยต์คลาวด์; ยูเอวีเลเซอร์สแกน

Thirawat Bannakulpihat^{1*}, Pollawat Santitamnont², Pakathorn Petchrungrussamee², Thepparit Srirattanapaisarn³, Chokchai Puatanachokchai⁴ and Phisan Santitamnont⁵

^{1*} Researcher, Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

² Graduate Student, Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

³ Officer of Survey Subdivision, Mapping Division, Royal Thai Survey Department, Thailand.

⁴ Director of Planning and Project Division, Royal Thai Survey Department, Thailand.

⁵ Associate Professor, Department of Survey Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

ABSTRACT

This research study has designed a Gable-roof Lidar Control Plane (LCP) target for lidar applications to assess the positional accuracy of cloud points from a UAV laser scanner. The design involves creating ground control points in the form of Gable-roof Lidar Control Plane (LCP), which can be used to validate and calibrate the horizontal and vertical data of the point-cloud obtained from each strip of laser scanner during the strip-adjustment process. The research proposes the use of Python language software as a processing tool to calculate the position of the centroid of the roof target in order to determine control points in the strip-adjustment of LiDAR data processing steps. Two software tools have been developed, namely ChkStrip_LCP and Estim_LCP. The development of the ChkStrip_LCP software assists in verifying the number of ground control points falling onto each Lidar strip. The Estim_LCP software is developed to accurately calculate the representative hip coordinates of the point-cloud. The representative hip centroid coordinates of the roof target, which can be compared with the coordinates obtained using GNSS RTK. In the case study of lidar mapping with unmanned aerial vehicles equipped with the CHC AA450 laser scanning system in an approximately 1-square-kilometer area, the research found a horizontal deviation of 11 centimeters and a vertical deviation of 14 centimeters.

KEYWORD: Light Detection and Ranging (LiDAR); Laser Scanning; Gable Roof LiDAR Control Plane (Gable Roof LCP); Point-cloud; UAV Laser Scanning (ULS)

1. บทนำ

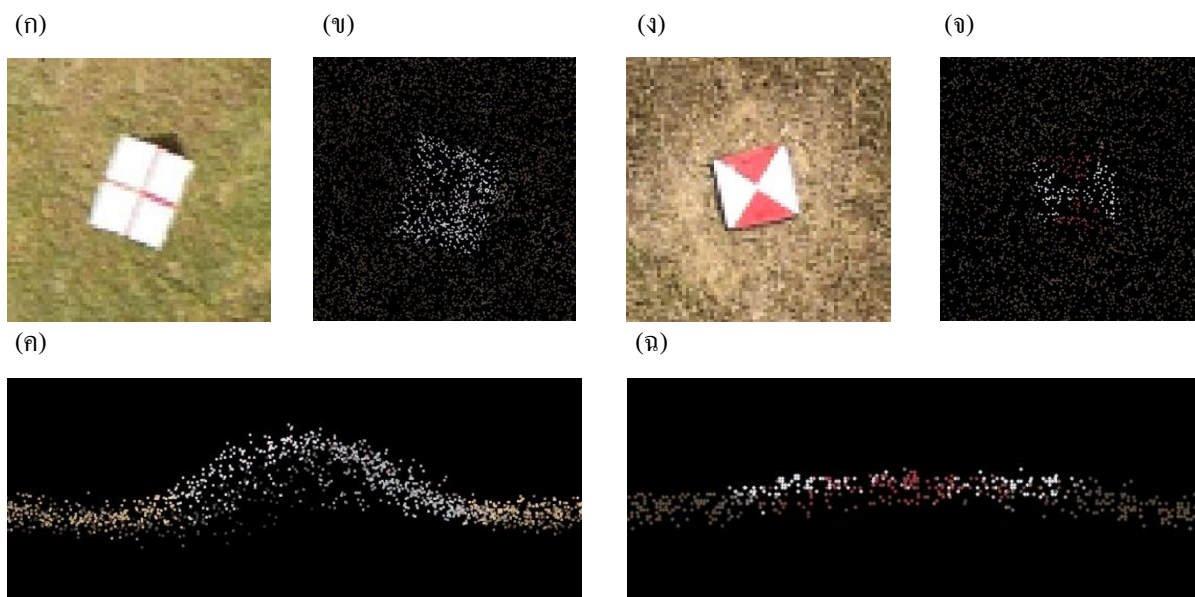
ปัจจุบันการสำรวจรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle; UAV) เป็นหนึ่งในวิธีการสำรวจรังวัดรูปแบบหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้าน การสำรวจรังวัดทำแผนที่ การผลิตภาพออร์โธและการผลิตแบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลข โดยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาเซนเซอร์เลเซอร์สแกนบนหลักการของไลดาร์ (Light Detection And Ranging; LiDAR) อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา กินไฟน้อยและราคาของอุปกรณ์ถูกลงไปมาก อุปกรณ์เลเซอร์สแกนนี้สามารถติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับและบินสำรวจในพื้นที่ขนาดเล็กถึงปานกลาง ครอบคลุมพื้นที่หลายตารางกิโลเมตรต่อวันได้ ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลแผนที่เป็นที่ทราบกันดีว่า มีความจำเป็นต้องประมวลผลข้อมูลทั้งที่มาจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศหรือมาจากข้อมูลเลเซอร์สแกน โดยต้องมีการประมวลผลร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points; GCPs) และจุดตรวจสอบ (Check Points; CPs) เพื่อเป็นการบังคับแบบจำลองและประเมินตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจรังวัดมา แต่อย่างไรก็ตามจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับบล็อภาพถ่ายทางอากาศไม่เหมาะสมกับบล็อกข้อมูลเลเซอร์สแกนที่เป็นข้อมูลจุดที่เรียกว่า พอยต์คลาวด์ (Point-cloud) ที่ เป็นจุดที่มีค่าพิกัดทางราบและทางตั้ง (X,Y,Z) พร้อมข้อมูลแอตทริบิวต์ประกอบ โดยข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้จากเลเซอร์สแกนที่ติดตั้งบนยูเอวีในงานวิจัยนี้มีความหนาแน่นของข้อมูลพอยต์คลาวด์ประมาณ 275 จุดต่อตารางเมตร ซึ่งถือว่ามีความหนาแน่นมากหากเทียบกับความละเอียดคุณภาพจากการถ่ายภาพทางอากาศ ตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพทางอากาศที่มีความละเอียดคุณภาพ 2 เซนติเมตร สำหรับพื้นที่บนเป้าประมาณ 1 ตารางเมตรจะมีข้อมูลจุดภาพปรากฏมากถึง 2,500 จุดภาพ ทำให้การรังวัดค่าพิกัดเป็นไปได้โดยง่าย ดังนั้นการจัดทำจุดควบคุมภาคพื้นดิน

สำหรับตรวจสอบค่าพิกัดของกลุ่มพอยต์คลาวด์จากเลเซอร์สแกนจะต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษ การออกแบบเป้าหมายสำหรับพอยต์คลาวด์จะต้องคำนึงรูปแบบการผลิต วัสดุที่ใช้ วิธีการติดตั้งจุดควบคุมในสนาม และวิธีการรังวัดค่าพิกัดของเป้าหมายที่เกิดจากตัวแทนเมื่อข้อมูลพอยต์คลาวด์ตกกระทบบนจุดควบคุม โดยจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับการทำแผนที่ด้วยเลเซอร์สแกนในงานวิจัยนี้เรียกว่า เป้าหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์ (Gable Roof LiDAR Control Plane; Gable Roof LCP ในบทความนี้จะเรียกว่า เป้าหลังคา หรือย่อเป็น LCP) การรังวัดค่าพิกัดบนเป้าหมายหลังคาจะมีส่วนช่วยแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ซ้อนทับกันระหว่างแนวนอนที่เป็นจุดตกกระทบที่มีลักษณะบนพื้นผิววัตถุเช่นเดียวกันแต่ก็มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางตั้งแตกต่างกัน ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้อาจมีขนาดสูงถึงหลายเซนติเมตรไปจนถึงเดซิเมตร ผลการรังวัดเป้าหมายนี้อาจนำไปประมวลผลร่วมกับข้อมูลพอยต์คลาวด์ในขั้นตอนการปรับแก้ดังกล่าวที่เรียกว่า การปรับแก้ระหว่างแนวนอน (Strip Adjustment) ในกระบวนการหลอมรวมพอยต์คลาวด์ที่ได้จากหลายแนวนอนที่มีส่วนซ้อนกัน 30% - 50% ในการรังวัดข้อมูลพอยต์คลาวด์จำนวนมากที่ตกลงบนระนาบทรงจั่วผู้ประมวลผลต้องทราบค่าพิกัดของตำแหน่งจุดกึ่งกลางที่ตัดกันของข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่สะท้อนบนเป้าหมายเพื่อใช้ในการกำหนดเป็นจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับปรับแก้ข้อมูลระหว่างแนวนอน เป้าหลังคาทรงจั่วที่ออกแบบยังมีข้อดีคือ รูปทรงเป้าหมายหลังคามีคุณลักษณะกายภาพเป็นสามมิติ ทำให้ผู้รังวัดรับรู้เห็นรูปทรงเป้าหมายมีความสูงเป็นแนวสันหลังคาขึ้นมาเหนือตำแหน่งที่ได้ทำการวางเป้าหมายซึ่งช่วยให้สามารถตรวจจับข้อมูลเลเซอร์ได้สะดวกยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับความพยายามในการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินบนระนาบที่มีลักษณะเป็นเป้าหมายเรียบขนานไปกับพื้นดินในลักษณะสองมิติซึ่งยากต่อการประมาณค่าตำแหน่งสามมิติดังรูปที่ 1

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เสนอการใช้ซอฟต์แวร์ภาษาไพธอนพัฒนาเป็นเครื่องมือในการประมวลผลเพื่อคำนวณหาตำแหน่งตัวแทนของจุดกึ่งกลางของเป้าหมายหลังคาที่ละเอียดถูกต้องน่าเชื่อถือ ในงานวิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ภาษาไพธอนกับค่าพิกัดที่ได้มาจากการรังวัดด้วยกรรมวิธีจีเอ็นเอสเอสด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic; RTK) เพื่อประเมินความละเอียดถูกต้องและความสอดคล้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์ก่อนจะนำไปประมวลผลปรับแก้ระหว่างแนวนอนในขั้นตอนการทำงานต่อไป

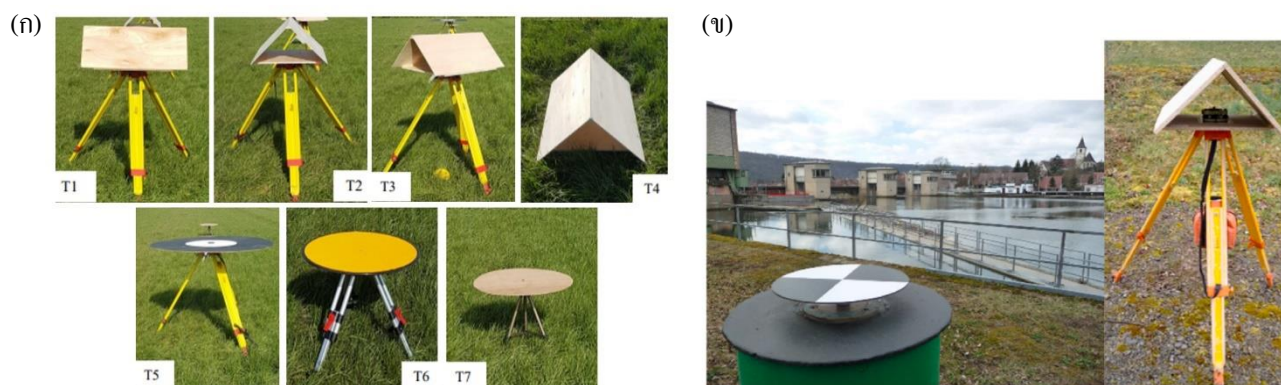
2. เป้าหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์ (Gable Roof LiDAR Control Plane)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยหาแบบของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ใช้ในการควบคุมและประเมินประสิทธิภาพข้อมูลเลเซอร์สแกนที่ได้ทำการสำรวจมา Davidson et al. (2019) [1] ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบของจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับงานสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศที่ติดตั้งบนยูเอวี เนื่องจากข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้จากการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศต้องมีการประมวลผลภายหลังร่วมกับจุดควบคุมภาคพื้นดินเพื่อให้ข้อมูลถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการทดสอบรูปแบบของเป้าหมายที่เหมาะสมในการใช้ทำเป็นจุดควบคุมภาคพื้นดินทั้งหมด 7 รูปแบบ ดังรูปที่ 2 (ก)



รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินที่บันทึกได้ (ก), (ข), (ค) คือภาพออร์โธ, พอยต์คลาวด์มุมมองด้านบน, พอยต์คลาวด์มุมมองด้านข้างของเป้าหมายทางจั่วสำหรับเลเซอร์สแกน ตามลำดับ และ (ง), (จ), (ฉ) คือภาพออร์โธ, พอยต์คลาวด์มุมมองด้านบน, พอยต์คลาวด์มุมมองด้านข้างของเป้าหมายสำหรับโฟโตแกรมเมตรี ตามลำดับ

โดยผลจากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่าเป้ารูปทรงหลักมีความเหมาะสมที่สุด ทั้งในเรื่องของรูปทรงเรขาคณิตของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มีลักษณะที่ชัดเจนที่ง่ายต่อการตรวจจับและมองเห็น การเลือกตำแหน่งที่ติดตั้งเป้าหมายให้มีมุมตกกระทบที่สอดคล้องกับการบินสำรวจเลเซอร์สแกนได้ อีกทั้งเป้าหมายยังช่วยให้สามารถตรวจสอบการเรียงตัวของพอยต์คลาวด์ที่ผิดปกติได้ โดยหากทำการปรับแก้ข้อมูลพอยต์คลาวด์ระหว่างแนวนอน จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนลงได้และจะได้ผลลัพธ์ของการเรียงตัวที่ดีขึ้น Haala et al. (2022) [2] ได้ทำการวิจัยศึกษารูปแบบการเพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำให้กับข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่มีการผสมผสานระหว่างข้อมูลพอยต์คลาวด์ร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศ ในงานวิจัยยังคงใช้การปรับแก้ข้อมูลพอยต์คลาวด์ระหว่างแนวนอน ซึ่งมีการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินทั้งแบบที่ใช้สำหรับกับข้อมูลเลเซอร์สแกนคือ เป้าหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์ (LiDAR Control Plane; LCP) และแบบที่ใช้กับภาพถ่ายทางอากาศคือ เป้าระนาบสำหรับโฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetric Control Plane; PCP) ดังรูปที่ 2 (ข) เพื่อสามารถใช้เป็นจุดควบคุมของแต่ละข้อมูลได้ โดยผลจากการวิจัย หากพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเป้าหมาย LCP และเป้าหมาย PCP พบว่าเป้าหมาย LCP ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับข้อมูลพอยต์คลาวด์ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งจุดควบคุมสำหรับการปรับแก้ จุดตรวจสอบ และยังสามารถใช้ได้กับทั้งทางราบและทางตั้ง เนื่องจากการสร้างเป้ารูปแบบนี้มีการกำหนดมุมหลักที่ชัดเจนและมีการกำหนดขนาดเป้าเอาไว้เมื่อพอยต์คลาวด์ที่เป็นจุดบนหลังคาเรียงตัวไม่เป็นไปตามรูปทรงสามมิติของหลังคา จะทำให้ทราบถึงความผิดปกติได้ทันทีแต่ถ้าเป็นเป้าหมาย PCP แบบกลมแบนราบเมื่อนำมาใช้ในการประมวลผลร่วมกับข้อมูลพอยต์คลาวด์จะเป็นได้แค่จุดตรวจสอบความถูกต้องทางตั้งเท่านั้นไม่สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องเชิงพื้นที่ทางราบของข้อมูลพอยต์คลาวด์ได้

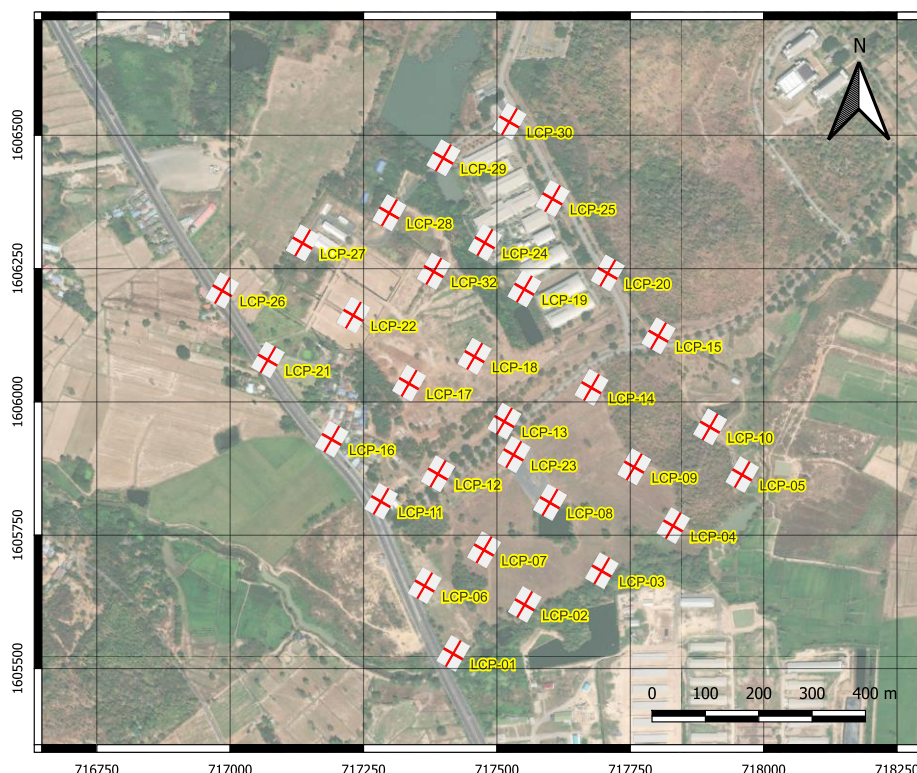


รูปที่ 2 (ก) ตัวอย่างจุดควบคุมภาคพื้นดินการสำรวจด้วยไลดาร์ทางอากาศ [1] (ข) ตัวอย่างจุดควบคุมภาคพื้นดินแบบที่ใช้กับภาพถ่ายทางอากาศ PCP (Photogrammetric Control Plane) และแบบที่ใช้สำหรับกับข้อมูลเลเซอร์สแกน LCP (LiDAR Control Plane) [2]

ในการวิจัยครั้งนี้เลือกออกแบบจุดควบคุมภาคพื้นดินสำหรับข้อมูลเลเซอร์สแกนโดยคำนึงถึงขนาด คุณภาพของวัสดุ และลักษณะการวางตัวของเป้าหลังคาในพื้นที่การศึกษา โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุฟิวเจอร์บอร์ดมาสร้างประกอบกันเพื่อเป็นเป้าหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์ โดยเลือกซื้อแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดขนาดพอดีไม่ต้องตัดให้สิ้นเปลืองและสะดวกรวดเร็วในการประกอบเป็นเป้าทรงหลังคา แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดมีขนาดความกว้าง 0.650 เมตร ยาว 1.220 เมตร เมื่อประกอบเป็นทรงหลังคาได้กำหนดระยะที่ทำการกางออกในสนามเป็น 1.100 เมตร ดังรูปที่ 3 เป้าหลังคาที่ออกแบบและผลิตถูกนำไปทดสอบโดยได้เลือกพื้นที่ทดสอบเป็นบริเวณศูนย์เครื่องข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี พื้นที่ทดสอบนี้เป็นพื้นที่สนามทดสอบจีเอ็นเอสเอสและยูเอวีสำหรับงานแผนที่ (Geodetic GNSS and UAV Testing Facility) ภายใต้โครงการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยบริเวณพื้นที่การวิจัยในครั้งนี้มีเป้าหลังคากระจายตัวรอบพื้นที่เป็นจำนวน 31 จุด ดังรูปที่ 4 และมีการวางตัวทำมุมเฉียง 45 องศาบนแนวนอนที่ได้ทำการออกแบบไว้เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของการกวาดของเลเซอร์สแกนเพื่อให้พอยต์คลาวด์มีโอกาสตกกระทบกับเป้าหลังคามากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 (ก) ตัวอย่างเป้าหลังคาสำหรับไลดาร์ที่ได้ทำการออกแบบ (ข) เป้าหลังคาที่ติดตั้งในพื้นที่การศึกษา

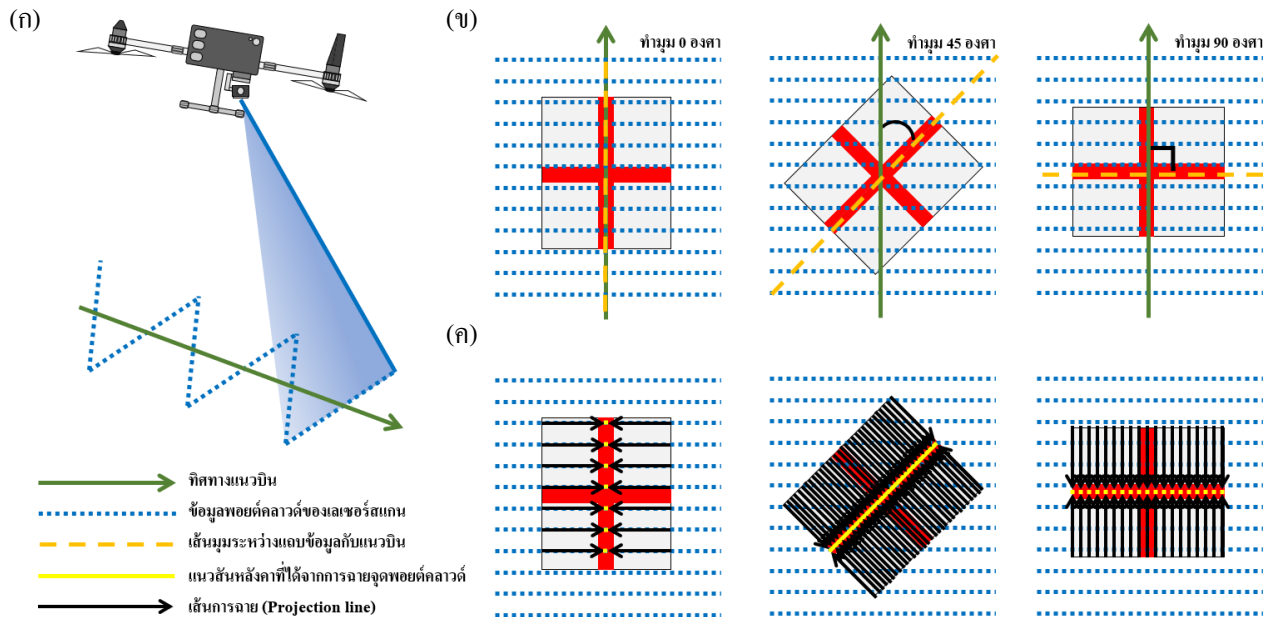


รูปที่ 4 การกระจายตัวของตำแหน่งเป้าหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์บริเวณพื้นที่การศึกษา

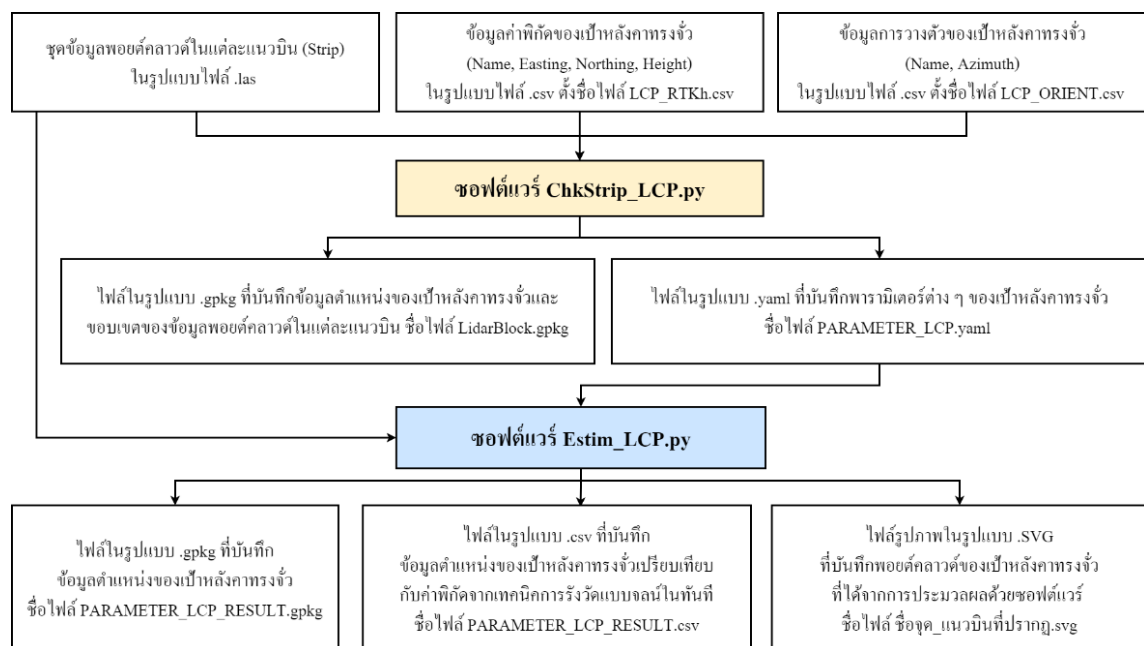
เหตุผลที่ต้องให้เป้าหลังคาทรงจั่วสำหรับไลดาร์วางตัวทำมุม 45 องศา กับแนวนอน เนื่องจากจะเป็นการเพิ่มโอกาสให้พอยต์คลาวด์ตกลงบนระนาบทั้งสองได้สมบูรณ์ และเมื่อทำการฉายจุดพอยต์คลาวด์บนระนาบไปยังแนวลำตัวของเป้าหลังคา จะมีข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ไปปรากฏบนสันหลังคาได้ครบถ้วนสมบูรณ์ โดยเฉพาะพอยต์คลาวด์ในบริเวณตำแหน่งของหัวและท้ายของสันหลังคาที่จะนำไปคำนวณเป็นพิกัดจุดกึ่งกลางรูปทรงหลังคาตามที่ต้องการ หลักการวางตัวของสันหลังคาทำมุม 45 องศา กับแนวนอนไลดาร์และอัลกอริทึมในการฉายจุดพอยต์คลาวด์จากระนาบหลังคาทั้งสองไปยังสันหลังคาแสดงไว้ ดังรูปที่ 5

3. ระบบซอฟต์แวร์สำหรับช่วยคำนวณตำแหน่งของเป้าหลังคาทรงจั่ว

งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบและพัฒนาซอฟต์แวร์โมดูลชื่อว่า “ChkStrip_LCP” และ “Estim_LCP” สำหรับช่วยในการคำนวณหาตำแหน่งค่าพิกัดสามมิติกึ่งกลางของเป้าหลังคาภายในบล็อกข้อมูลเลเซอร์สแกน [3] เนื่องจากการหาตำแหน่งของตำแหน่งค่าพิกัดเป้าหลังคาด้วยสายตาทำได้ยาก หากทำได้อาจใช้เวลาที่ค่อนข้างนานและมีความถูกต้องไม่น่าเชื่อถือ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นประกอบไปด้วย 2 โมดูลซอฟต์แวร์ ได้แก่ 1. โมดูล ChkStrip_LCP.py และ 2. โมดูล Estim_LCP.py ทั้ง 2 ซอฟต์แวร์ถูกพัฒนาด้วยภาษาไพธอนและออกแบบให้เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software) ที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลได้ทันที โดยแผนผังข้อมูลที่ต้องนำเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ทั้ง 2 แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 (ก) การวาดแนวเลเซอร์สแกน (ข) รูปแบบการวางเป้าหมายทำมุม 0, 45, 90 องศา ตามลำดับกับทิศทางแนวนิน
(ค) แนวเส้นหลังคาที่ได้จากการฉายจุดพอยต์คลาวด์ของการวางเป้าหมายทำมุม 0, 45, 90 องศา ตามลำดับกับทิศทางแนวนิน



รูปที่ 6 แผนผังข้อมูลที่ได้นำเข้าเพื่อใช้ในการประมวลผล และผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP และซอฟต์แวร์ Estim_LCP

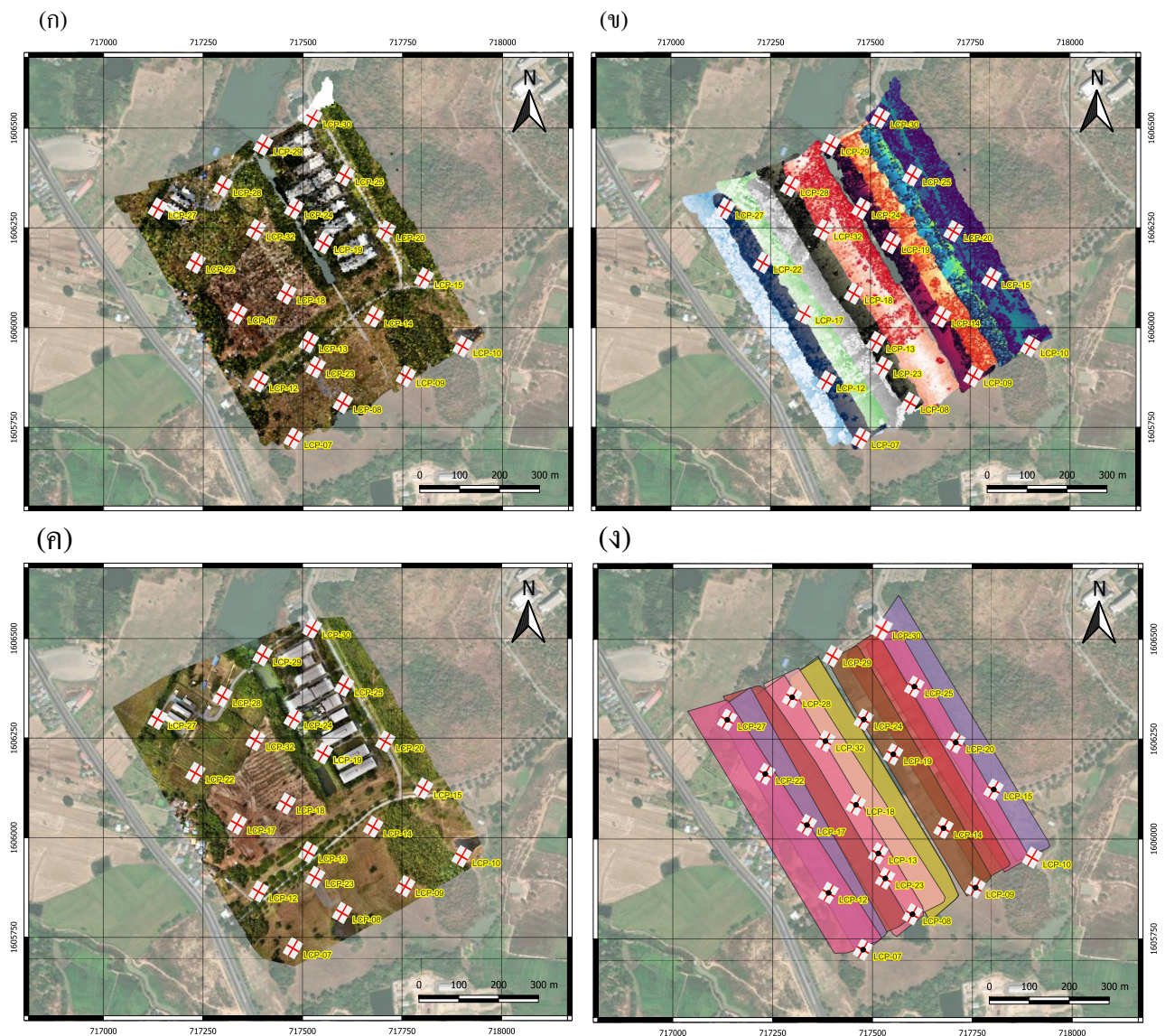
และเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ได้ งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลเลเซอร์สแกนจากเครื่องมือยี่ห้อ CHC รุ่น AA450 บันทึบทึกรูปภาพที่มีความสูง 77 เมตรเหนือภูมิประเทศ ค่าส่วนซ้อนระหว่างแถบแนวนอนของเลเซอร์ 50% ค่าส่วนซ้อนในแนวนอนเดียวกันของภาพถ่าย (Overlap) 90% ค่าส่วนซ้อนระหว่างแนวนอนของภาพถ่าย (Side lap) 60% โดยบันทึกข้อมูลมาทั้งหมดจำนวน 694 ภาพ มีจำนวนแนวนอน 11 แนวนอน การบันทึกดำเนินการเมื่อวันที่ 5 - 7 พฤศจิกายน 2565

3.1 ซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP

เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลพอยต์คลาวด์ในแต่ละแนวนอน (Strip) เพื่อทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของเป้าหมายที่ปรากฏอยู่บนหลายแนวนอน รวมถึงที่ปรากฏ ณ บริเวณขอบของแนวนอนแล้วข้อมูลพอยต์คลาวด์ปรากฏไม่ครบเป็นรูปทรงของเป้าหมายก็จะทำการบอกให้ผู้ใช้งานทราบ โดยข้อมูลที่ต้องนำเข้าเพื่อใช้สำหรับประมวลผลซอฟต์แวร์ประกอบไปด้วยข้อมูลพอยต์คลาวด์ในแต่ละแนวนอนที่ได้มาจากการรังวัดด้วยเลเซอร์สแกน ข้อมูลค่าพิกัดของเป้าหมายและข้อมูลการวางตัวของเป้าหมาย หลังจากผู้ใช้ประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยไฟล์ในรูปแบบ Geopackage ที่บันทึกข้อมูลตำแหน่งของเป้าหมายและขอบเขตของข้อมูลพอยต์คลาวด์ในแต่ละแนวนอนที่มีชื่อว่า LidarBlock.gpkg โดยสามารถเปิดดูผ่านซอฟต์แวร์ทางด้าน GIS เช่น Quantum GIS ดังรูปที่ 7 นอกจากนี้ยังผลิตไฟล์ที่บันทึกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเป้าหมายเพื่อใช้คำนวณในซอฟต์แวร์ Estim_LCP ในรูปแบบ “YAML” ที่มีชื่อว่า PARAMETER_LCP.yaml ดังรูปที่ 8

3.2 ซอฟต์แวร์ Estim_LCP

เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับตรวจจับและคำนวณหาค่าพิกัด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของเป้าหมาย โดยซอฟต์แวร์จะทำการประมวลผลคัดกรองข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ตกกระทบบนเป้าหมายเนื่องจากมีข้อมูลพอยต์คลาวด์บางส่วนที่ตกกระทบลงบนเป้าหมายแต่ห่างออกไปมากผิดปกติ ข้อมูลที่ตรวจจับเป็นข้อมูลผิดปกติเรียกว่า Outlier อัลกอริทึมที่เลือกใช้ภายในซอฟต์แวร์ในการตรวจจับความผิดปกติของข้อมูลคือ RANSAC (Random sample consensus) เพื่อกรองให้เหลือแต่ข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่มีคุณภาพ จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ด้วยการสร้างระนาบ (Plane) ที่เป็นตัวแทนของระนาบเป้าหมายไปหา ณ ตำแหน่งเป้าหมายของทั้งสองด้าน จากหลักการเมื่อมีระนาบ 2 ระนาบมาตัดกันจะเกิดเป็นเส้นตรง 1 เส้น เส้นตรงที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวแทนของสันหลังคาของเป้าหมาย จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการฉายจุดพอยต์คลาวด์ที่ตกบนระนาบไปยังแนวเส้นสันหลังคาเพื่อคำนวณหาตัวแทนของจุดกึ่งกลางของเป้าหมาย โดยข้อมูลที่ต้องนำเข้าเพื่อใช้สำหรับประมวลผลซอฟต์แวร์ประกอบไปด้วยข้อมูลพอยต์คลาวด์ในแต่ละแนวนอนที่ได้มาจากการรังวัดด้วยเลเซอร์สแกน และไฟล์ที่บันทึกพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเป้าหมายในรูปแบบ “YAML” ที่ประมวลผลได้จากซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP หลังจากผู้ใช้ประมวลผลผ่านซอฟต์แวร์ ผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบไปด้วยไฟล์ในรูปแบบ Geopackage ที่บันทึกข้อมูลตำแหน่งของเป้าหมายที่ชื่อว่า PARAMETER_LCP_RESULT.gpkg ไฟล์ในรูปแบบ “CSV” ที่บันทึกข้อมูลตำแหน่งของเป้าหมายเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยมีชื่อไฟล์ PARAMETER_LCP_RESULT.csv นอกจากนี้ยังผลิตไฟล์รูปภาพที่บันทึกพอยต์คลาวด์ของเป้าหมายที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ในรูปแบบ “SVG” ดังรูปที่ 9



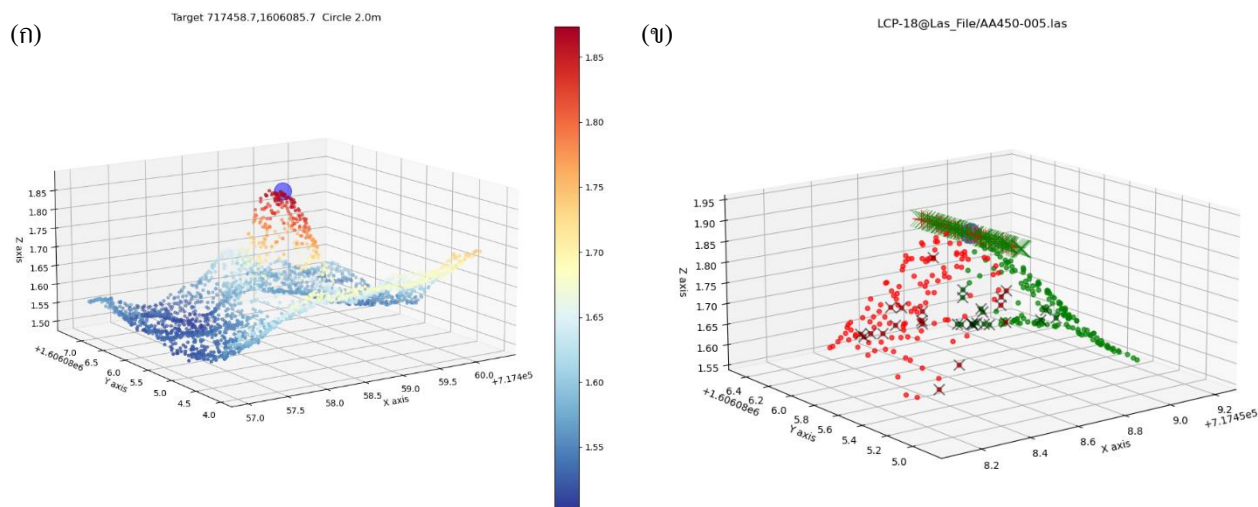
รูปที่ 7 (ก) พอยต์คลาวด์แบบ RGB (ข) พอยต์คลาวด์แบบไล่สีตามความเข้ม (Intensity) (ค) ภาพออร์โธที่ผลิตได้จากภาพถ่ายทางอากาศ (ง) ภาพตำแหน่งของเป้าหมายและขอบเขตของข้อมูลพอยต์คลาวด์ในแต่ละแนวนอนที่มีชื่อว่า LidarBlock.gpkg ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP

```
1 # configuration and data file for lidar control plane
2 #
3 # LCP definition
4 BASE : 1.100 # m separation of the two planes from field
5 WIDTH : 0.65 # m of the future board
6 LENGTH : 1.220 # m of the future board
7 #
8 #
9 BUFF_RIDGE : 1.2 # %buffer from actual LCP size
10 BUFF_LFRT : [0.1,0.8] # %buffer to the left&right of LCP ridge line
11 #
12 # Lidar sensor response via "pyransac3d"
13 MINPOINTS : 100
14 THRESH : 0.05 # meter
15 MAXITER : 1000
16 FLIGHT_LINE :
17   Las_File/AA450-001.las:
18     - [ LCP-27,717136.305,1606298.496,0.421,18.3 ]
19     - [ LCP-22,717231.352,1606163.019,-0.663,16.6 ]
20     - [ LCP-12,717389.87,1605865.322,3.341,22.0 ]
21   Las_File/AA450-002.las:
22     - [ LCP-27,717136.305,1606298.496,0.421,18.3 ]
23     - [ LCP-22,717231.352,1606163.019,-0.663,16.6 ]
24     - [ LCP-17,717335.724,1606035.136,1.051,10.6 ]
25     - [ LCP-12,717389.87,1605865.322,3.341,22.0 ]
```

รูปที่ 8 ตัวอย่างไฟล์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเป้าหมายที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP รูปแบบ “YAML”

ในไฟล์ “YAML” ประกอบไปด้วย

- คีย์ “BASE” ค่าตัวเลขระยะฐานที่เป้าหมายทรงจั่วทำมุมกันในหน่วย เมตร
- คีย์ “WIDTH” ค่าตัวเลขความกว้างของเป้าหมายในหน่วย เมตร
- คีย์ “LENGTH” ค่าตัวเลขความยาวของเป้าหมายในหน่วย เมตร
- คีย์ “BUFF_RIDGE” ค่าตัวเลขเปอร์เซ็นต์ขนาดรัศมีของบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการตัดขอบเขตจากสันหลังคาเพื่อตัดพอยต์คลาวด์ใกล้สันหลังคาออก
- คีย์ “BUFF_LFRT” ค่าตัวเลขเปอร์เซ็นต์ของระยะที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตข้อมูลสำหรับตัดข้อมูลพอยต์คลาวด์จากขอบปลายบนพื้นดิน ซึ่งอาจมีพอยต์คลาวด์ตกบนหญ้าพืชพรรณและพื้นดินบริเวณที่ตั้งที่รับกวนข้อมูลได้
- คีย์ “MINPOINTS” ค่าตัวเลขจำนวนจุดอย่างน้อยที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อกรองข้อมูลพอยต์คลาวด์บนเป้าหมาย
- คีย์ “THRESH” ค่าตัวเลขระยะห่างระหว่างจุดพอยต์คลาวด์กับระนาบของเป้าหมายทรงจั่วที่มีความไม่แน่นอน การคัดกรองพอยต์คลาวด์ที่ใกล้ชิดกับระนาบหลังคาใช้อัลกอริทึม RANSAC ประมวลผลร่วมด้วย
- คีย์ “MAXITER” ค่าตัวเลขจำนวนครั้งที่ใช้สูงสุดในในการคำนวณซ้ำด้วย RANSAC
- คีย์ “FLIGHT_LINE” ตัวอักษรที่บอกในแต่ละแนวนอนมีเป้าหมายทรงจั่วกี่เป้าหมาย รวมถึงบอกชื่อของเป้าหมายทิศทางราบทางตั้ง และการวางตัวของเป้าหมาย
-



รูปที่ 9 ผลลัพธ์รูปภาพที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Estim_LCP (ก) พอยต์คลาวด์แบบไล่สีตามความสูง (Height) (ข) พอยต์คลาวด์ของเป้าหมายคานทรงจั่ว

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการประมวลผลด้วยระบบซอฟต์แวร์สำหรับช่วยในการคำนวณหาตำแหน่งของเป้าหมายคานทรงจั่ว โดยเริ่มจากนำข้อมูลประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP เพื่อเป็นการตรวจสอบและอ่านข้อมูลพอยต์คลาวด์ในแต่ละแนวนอนเพื่อทำการวิเคราะห์ตำแหน่งของเป้าหมายคานที่ปรากฏอยู่บนหลายแนวนอนแล้วทำการบอกให้ผู้ใช้งานทราบในรูปแบบของ Geopackage และเมื่อนำไปเปิดดูผ่านซอฟต์แวร์ทางด้าน GIS จะได้ดังภาพที่ 7 (ง) โดยที่ผลลัพธ์จะบันทึกขอบเขตของข้อมูลพอยต์คลาวด์ในรูปแบบเส้นปิด (Polygon) ของแถบแนวนอนพร้อมแสดงตำแหน่งของจุดกึ่งกลางด้วยข้อมูลจุด (Point) หากประมวลผลตามพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้แล้วในบางจุดค่าพิกัดไม่อยู่ในขอบเขตของพอยต์คลาวด์ซอฟต์แวร์จะไม่บันทึกข้อมูลค่าพิกัดของจุดนั้น สำหรับในงานวิจัยนี้เมื่อตรวจสอบผ่านซอฟต์แวร์ที่ได้กล่าวไปในข้างต้นเสร็จเรียบร้อยแล้วจะเห็นได้ว่ามีจุดที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลต่อในขั้นถัดไปทั้งหมด 18 จุดควบคุม จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Estim_LCP เพื่อคำนวณเปรียบเทียบค่าพิกัดที่เป็นตัวแทนของจุดกึ่งกลางของเป้าหมายที่ได้มาจากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์กับค่าพิกัดที่ได้มาจากการวัดวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที โดยซอฟต์แวร์จะคำนวณเปรียบเทียบค่าต่างและแจ้งให้ผู้ประมวลผลทราบและเมื่อนำค่าต่างจากซอฟต์แวร์ไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) ทางราบและทางตั้งดังภาพผนวก ก) จะเห็นได้ว่าค่าพิกัดของจุดกึ่งกลางของเป้าหมายมีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ 11 เซนติเมตร ทางตั้ง 14 เซนติเมตร

5. บทสรุป

การศึกษานี้ได้ทำการออกแบบเป้าหมายคานทรงจั่วสำหรับไลดาร์เพื่อใช้ประเมินความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์จากยูเอวีเลเซอร์สแกน โดยเป็นการออกแบบจุดควบคุมภาคพื้นดินให้มีลักษณะเป็นคานทรงจั่วเพื่อให้จุดควบคุมนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบและปรับแก้ข้อมูลทางราบและทางตั้งของข้อมูลพอยต์คลาวด์ที่ได้จากเลเซอร์สแกนต่อไป

กระบวนการปรับแก้ระหว่างแนวมิน งานวิจัยมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ ChkStrip_LCP ช่วยตรวจสอบจำนวนจุดที่ตั้งหลังคาทรงจั่วที่อาจปรากฏอยู่ในแนวมินไลดาร์มากกว่า 1 แถบได้ และพัฒนาซอฟต์แวร์ Estim_LCP ช่วยคำนวณค่าพิกัดตัวแทนของพอยต์คลาวด์ได้แม่นยำ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบซอฟต์แวร์สำหรับช่วยคำนวณตำแหน่งของเป้าหมายหลังคาทรงจั่ว ตั้งแต่อ่านพอยต์คลาวด์ วิเคราะห์จัดเตรียมข้อมูล และประมวลผลข้อมูลพอยต์คลาวด์เพื่อคำนวณหาค่าพิกัดตัวแทนจุดกึ่งกลางของเป้าหมายเพื่อนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้มาด้วยกรรมวิธีการรังวัดแบบจลน์ในพื้นที่ ในกรณีศึกษาการบินไลดาร์เพื่อทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับติดตั้งระบบเลเซอร์สแกนนิ่งที่ชื่อ CHC รุ่น AA450 ในพื้นที่ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร จากการวิจัยพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ 11 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้ง 14 เซนติเมตร

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ประจำปีงบประมาณ 2565 ในหัวข้อวิจัยเรื่อง การศึกษาการจัดทำจุดเป้าหมายบนพื้นดินสำหรับยูเอวีเลเซอร์สแกน (A Study on Ground Control Targeting for UAV Laser Scanning)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Davidson, L. et al. Airborne to UAS LiDAR: An analysis of UAS LiDAR ground control targets. *ISPRS Geospatial Week*, 2019.
- [2] Haala, N. et al. Hybrid georeferencing of images and LiDAR data for UAV-based point cloud collection at millimeter accuracy. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 4, 100014.
- [3] Santitamnont, P. *LidarTarget_LCP*. Bangkok: GitHub, 2022. Available from: https://github.com/phisan-chula/UAV_Research/tree/main/LidarTarget_LCP [Accessed 1 February 2023]

ภาคผนวก ก) ตารางการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสองทางราบ (ซ้าย) ทางตั้ง (ขวา) ของเป้าหลังคาทรงจั่ว สำหรับไคลด์ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากซอฟต์แวร์กับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที

แนวบิน	ข้อจุด	ΔX	ΔY	ΔX^2	ΔY^2
1	LCP-27	-0.02	0.03	0.000	0.001
1	LCP-22	0.01	0.09	0.000	0.008
1	LCP-12	0.00	-0.01	0.000	0.000
2	LCP-27	0.16	-0.07	0.027	0.005
2	LCP-22	0.09	0.00	0.008	0.000
2	LCP-17	0.05	0.04	0.003	0.002
2	LCP-12	0.18	-0.10	0.031	0.009
2	LCP-07	0.17	0.01	0.028	0.000
2	LCP-17	-0.13	0.06	0.016	0.004
3	LCP-28	0.01	-0.01	0.000	0.000
4	LCP-18	0.18	0.00	0.032	0.000
4	LCP-13	0.01	0.01	0.000	0.000
4	LCP-23	0.05	-0.05	0.003	0.002
4	LCP-08	0.02	0.01	0.000	0.000
5	LCP-28	-0.06	0.01	0.004	0.000
5	LCP-18	0.05	-0.01	0.002	0.000
5	LCP-13	-0.11	0.10	0.012	0.009
5	LCP-23	-0.12	0.00	0.013	0.000
5	LCP-08	-0.16	0.05	0.026	0.003
5	LCP-32	-0.05	0.02	0.002	0.000
6	LCP-32	0.14	-0.01	0.019	0.000
7	LCP-32	0.15	-0.02	0.021	0.001
8	LCP-24	0.10	0.01	0.011	0.000
8	LCP-19	0.15	-0.01	0.023	0.000
8	LCP-14	0.11	-0.02	0.013	0.000
8	LCP-09	0.10	-0.02	0.009	0.001
10	LCP-25	0.03	0.01	0.001	0.000
11	LCP-20	-0.02	-0.02	0.001	0.000
11	LCP-25	-0.08	0.03	0.006	0.001
11	LCP-20	-0.07	-0.03	0.005	0.001
11	LCP-15	-0.02	-0.04	0.001	0.001
Sum				0.32	0.05
Average				0.01	0.00
RMSE X [m]				0.10	-
RMSE Y [m]				-	0.04
RMSE XY [m]				0.11	

แนวบิน	ข้อจุด	ΔZ	ΔZ^2
1	LCP-27	0.12	0.0149
1	LCP-22	0.15	0.0222
1	LCP-12	0.11	0.0119
2	LCP-27	0.15	0.0231
2	LCP-22	0.14	0.0193
2	LCP-17	0.11	0.0110
2	LCP-12	0.19	0.0357
2	LCP-07	0.20	0.0416
2	LCP-17	0.14	0.0196
3	LCP-28	0.08	0.0062
4	LCP-18	0.14	0.0202
4	LCP-13	0.12	0.0142
4	LCP-23	0.08	0.0071
4	LCP-08	0.13	0.0166
5	LCP-28	0.11	0.0123
5	LCP-18	0.09	0.0086
5	LCP-13	0.17	0.0282
5	LCP-23	0.13	0.0164
5	LCP-08	0.18	0.0328
5	LCP-32	0.12	0.0132
6	LCP-32	0.18	0.0339
7	LCP-32	0.18	0.0320
8	LCP-24	0.19	0.0361
8	LCP-19	0.16	0.0250
8	LCP-14	0.16	0.0240
8	LCP-09	0.15	0.0228
10	LCP-25	0.12	0.0139
11	LCP-20	0.12	0.0139
11	LCP-25	0.12	0.0149
11	LCP-20	0.12	0.0139
11	LCP-15	0.10	0.0098
Sum			0.62
Average			0.02
RMSE Z [m]			0.14