เทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับเพื่อขจัดการฟุ้งกระจายของค่าผิดปกติจากข้อมูลพอยต์คลาวน์ในแบบจำลองสามมิติที่ได้การรังวัดบนภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

Manual Mensuration of the Image-tie-point Technique for Removing Outliers from Scattered Point-cloud-data in 3D Model Derived from Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry

วิสูตร เอ่นนู (Wisoot Ennoo)* ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ (Dr.Chattichai Waisurasingha)[1]**
สุรัตน์ ประมวลศักดิกุล (Surat Pramualsakdikul)*** อนันต์ ศรีเดช (Anant Sridet)****
ดร.ชุติมา ไวยสุระสิงห์ (Dr.Chutima Waisurasingha)*****
ดร.ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์ (Dr.Sirorat Pattanapairoj) ******

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการทำงานและประมวลผลที่ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลพอยต์คลาวน์สามมิติที่ลดความผิดปกติในลักษณะที่เกิดเป็นการฟุ้งกระจายจุดที่ไม่เหมาะสมออกไป ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลพอยต์คลาวน์สามมิติที่มีความสมบูรณ์ของรูปร่างในเชิงเรขาคณิตที่รองรับการนำไปประยุกต์ใช้งานทั้งในเชิงวิศวกรรมและเชิงสถาปัตยกรรม การศึกษานี้ได้เสนอเทคนิคแบบผสมผสานโดยมีการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับผสมผสานกับการจับคู่ภาพอัตโนมัติ ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่เสนอแนะได้นำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคที่ใช้เพียงการจับคู่ภาพอัตโนมัติเท่านั้น พบว่าเทคนิคแบบผสมผสานที่เสนอแนะสามารถช่วยลดความผิดปกติของรูปร่างวัตถุออกไปจากข้อมูลพอยต์คลาวน์ประมาณ 98% ซึ่งดีกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคที่ใช้เพียงการจับคู่ภาพอัตโนมัติเท่านั้นเป็นอย่างมาก

ABSTRACT

This article aimed to develop the working process and computation of the work outcomes in three-dimensional point clouds that reduced outliers of inappropriate dispersed points. The obtained three-dimensional point clouds will be geometrically perfect and can be applied both in engineering and architectural works. This study proposes a hybrid of manual-image-matching and automatic-image-matching technique for the adjustment process. The results derived from our suggested hybrid technique have been compared to those derived from the common technique using only automatic-tie-point measurement. We found that our suggested hybrid technique can significantly reduce approximately 98% of the irregularity of the form of objects from three-dimensional point cloud data and it shows the efficiency over the use of only automatic-tie-point technique.

คำสำคัญ: การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ข้อมูลพอยต์คลาวน์ การจับคู่ภาพอัตโนมัติ การจับคู่ภาพด้วยมือ

Keywords: Photogrammetry from unmanned aerial vehicle, Point-cloud data, Automatic image matching, Manual image matching

[1]*Corresponding author:chattichai@gmail.com*

**นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

****อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

*****อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน*

******อาจารย์ ภาควิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

*******อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

บทนำ

ประเทศไทยในยุคไทยแลนด์ 4.0 ถือเป็นยุคที่วงการวิศวกรรมสำรวจได้ให้ความสำคัญกับการใช้เครื่องมือและนวัตกรรมเพื่องานสำรวจรังวัด และผลงานจากวงการด้านวิศวกรรมสำรวจมีบทบาทอย่างยิ่งในการผลักดันประเทศไทยให้ก้าวเข้าสู่ความเป็นยุคแห่งอภิมหาข้อมูล (big data) ทั้งนี้เนื่องมาจากวิวัฒนาการของเครื่องมือและนวัตกรรมในการสำรวจและเก็บข้อมูลได้มีการปรับเปลี่ยนทั้งในมิติเครื่องมือ วิธีการ และผลผลิต ซึ่งเพิ่มขีดความสามารถในการสำรวจให้ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูงภายในระยะเวลาอันสั้น จากการนี้ได้เพิ่มขีดความสามารถผลิตแผนที่สำหรับงานด้านวิศวกรรมโยธา และงานด้านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งนี้เพราะผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียดเชิงตำแหน่งที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลลัพธ์ในรูปแบบของข้อมูลพอยต์คลาวน์ (point cloud) ของวัตถุใด ๆ ที่จัดเป็นข้อมูลประเภทใหม่สำหรับวงการวิศวกรรมสำรวจ และข้อมูลพอยต์คลาวน์นี้มีบทบาทสำคัญในการเป็นข้อมูลขั้นกลางที่พร้อมจะแปรรูปเป็นแบบจำลอง 3 มิติเชิงเลข (3-dimentional digital model) เพื่อใช้ในการสนับสนุนงานออกแบบและก่อสร้างต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นถนน อาคารและสาธารณูปโภค เป็นต้น [1-3]

จากการศึกษาของ [4] พบว่า กระบวนการเก็บข้อมูลพอยต์คลาวน์เพื่อมาสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิตินั้นสามารถกระทำการสำรวจรังวัดได้ใน 2 ลักษณะตามประเภทของเครื่องมือที่ใช้งานคือ (1) การใช้เครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ภาคพื้นดิน (terrestrial laser scanner, TLS) และ (2) การสำรวจรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลที่ผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (hybrid digital photogrammetry and computer-vision technology) ซึ่งแต่ละกระบวนการนั้นมีหลักการที่แตกต่างกัน กล่าวคือ (1) การใช้เครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ภาคพื้นดินมีกระบวนการทำงานโดยอาศัยการส่งคลื่นแสงเป็นสัญญาณออกไปเพื่อกวาดเก็บข้อมูลของวัตถุใด ๆ แล้วรับสัญญาณที่สะท้อนกลับ (backscatter) มายังตัวรับ (receiver) ซึ่งจะเป็นการบันทึกระยะทางและมุมของแสง ณ ขณะที่กวาดข้อมูล จากนั้นนำมาใช้ในการประมวลผลเป็นค่าพิกัดของจุดใด ๆ บนวัตถุแล้วถ่ายทอดออกมาเป็นรูปแบบของข้อมูลพอยต์คลาวน์ที่แสดงถึงทรวดทรง รูปร่าง รวมถึงมิติความสูงต่ำของวัตถุนั้น ๆ ได้ ในขณะที่ (2) การสำรวจรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลที่ผสมผสานกับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์นั้นเป็นการนำภาพถ่ายดิจิทัลใด ๆ ของวัตถุ ที่ได้จากโครงข่ายการถ่ายภาพที่ออกแบบไว้ (image configuration network) แล้วนำมาประมวลผลโดยได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นข้อมูลพอยต์คลาวน์ด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลที่ผสมผสานกับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะมีจุดฟุ้งกระจาย (scattered point) ที่เป็นจุดซึ่งผิดปกติไปจากรูปร่างวัตถุที่ควรจะเป็น (noise) อยู่มากเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เครื่องเลเซอร์แสกนเนอร์ [5] อย่างไรก็ตาม การสำรวจรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลที่ผสมผสานกับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในปัจจุบันยังคงได้รับความนิยมที่สูงกว่าการใช้เครื่องเลเซอร์แสกนเนอร์ ทั้งนี้เพราะต้นทุนของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานที่ถูกกว่า กล่าวคือ เครื่องเลเซอร์แสกนเนอร์ภาคพื้นดินที่มีคุณภาพเหมาะสมกับงานด้านสำรวจรังวัดยังคงเป็นเครื่องมือที่ยังมีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการสำรวจรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลที่ผสมผสานกับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์

เนื่องจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุใด ๆ จากกระบวนการสำรวจรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลที่ผสมผสานกับเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ในปัจจุบันนิยมนำเอาภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัลที่ติดบนอากาศยานไร้คนขับมาเป็นข้อมูลดิบในการประมวลผลสำหรับรังวัดด้วยภาพถ่าย อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดิบเหล่านี้มักจะได้รับผลกระทบจากแสง ณ ขณะที่ทำการถ่ายภาพ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของข้อมูลพอยต์คลาวน์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ กล่าวคือ ผลผลิตข้อมูลพอยต์คลาวน์ที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีการฟุ้งกระจายของจุดในลักษณะที่ผิดปกติบนแบบจำลองค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า แหล่งของความคลาดเคลื่อนที่สำคัญประการหนึ่งคือ คุณภาพของแสงไม่เหมาะสม จึงก่อให้เกิดการ

จับคู่ภาพอัตโนมัติที่มีความผิดเพี้ยนไป ยิ่งไปกว่านั้น การปฏิบัติการประมวลผลข้อมูลในยุคปัจจุบันมีการละเลยการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับ (manual-tie-point) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่จะช่วยในการลดความคลาดเคลื่อนในการจับคู่ภาพอัตโนมัติได้เป็นอย่างดี โดยเหตุนี้เอง เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว การศึกษาถึงแนวทางในการลดความคลาดเคลื่อนในการประมวลผลข้อมูลจากภาพถ่ายที่มีคุณภาพของแสงไม่ดีพอจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่เสนอแนะแนวทางในการผนวกการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับ (manual-tie-point) เข้าไว้เป็นแนวปฏิบัติที่ดีสำหรับการประมวลผลข้อมูลสำหรับอากาศยานไร้คนขับเพื่อใช้ในการรังวัดบนภาพถ่ายซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของข้อมูลพอยต์คลาวน์ที่สมบูรณ์แบบ

วัตถุประสงค์การวิจัย

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการเสนอแนะวิธีการประมวลผลข้อมูลโดยเป็นวิธีการบูรณาการแบบผสมผสานเทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับควบคู่กับการจับคู่ภาพอัตโนมัติตามหลักการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์ ผ่านการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ออกเป็นกรณีศึกษาทั้งในแบบที่มีและไม่มีการผสมผสานเทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับเข้าร่วมด้วย ทั้งนี้ได้วิเคราะห์ผลลัพธ์ทั้งในมิติของความถูกต้องเชิงตำแหน่งและมิติของการลดฟุ้งกระจายของจุดบนข้อมูลพอยต์คลาวน์ผ่านการตรวจสอบทั้งในเชิงตัวเลขและการวัดผลด้วยสายตา

การประยุกต์ใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับการสร้างแบบจำลองสามมิติ

การศึกษาวิจัยในอดีต [6-8] ได้บ่งชี้ว่า การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสามารถนำไปใช้ในการทำแผนที่ภาพถ่ายออร์โธมาตราส่วนใหญ่พร้อมด้วยศักยภาพในการสร้างแบบจำลองสามมิติในรูปแบบของข้อมูลพอยต์คลาวน์ ด้วยขีดความสามารถดังกล่าวการศึกษาในอดีตจึงบ่งชี้ว่ามีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมโยธาทั้งในมิติของการสำรวจออกแบบ หรือกระทั่งการสร้างแบบจำลองอาคาร 3 มิติเพื่อสนับสนุนภารกิจการควบคุมและบริหารงานก่อสร้างผ่านเทคโนโลยีแบบจำลองสารสนเทศของอาคาร (building information modelling: BIM) ทั้งนี้เพราะความคล่องตัวในการทำงานที่สามารถส่งอากาศยานขึ้นบินได้อย่างต่อเนื่อง

จุดเด่นสำคัญของการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับคือ การบินถ่ายที่ระดับความสูงของแนวบินต่ำเมื่อเทียบกับการบินถ่ายด้วยเครื่องบิน โดยส่วนใหญ่อากาศยานไร้คนขับมักจะออกแบบการบินถ่ายที่ระดับความสูงแนวบินไม่เกิน 300 เมตร ซึ่งระยะดังกล่าวนี้เป็นระยะที่สามารถประยุกต์ใช้หลักการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ (close-range photogrammetry) ที่เอื้อต่อการประยุกต์ใช้หลักการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์มาช่วยในการประมวลผลภาพถ่าย ทั้งนี้เพื่อสร้างจุดโยงยึดระหว่างภาพถ่ายใด ๆ ที่อยู่ภายในข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (aerial triangulation: AT) เดียวกันเข้าไว้ด้วยกันพร้อมทั้งยึดตรึงเข้ากับหมุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน (ground control point: GCP) ด้วยหลักการเล็งสกัดย้อนในปริภูมิ (space resection) วิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบภาพถ่ายภายนอก (exterior orientation parameters) ผ่านหลักการสภาวะร่วมเส้น (collinearity condition) ที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างจุดควบคุมภาพถ่ายบนพื้นดิน จุดควบคุมภาพถ่ายบนภาพและจุดเปิดถ่ายภาพ ซึ่งสามารถเขียนออกมาเป็นสมการสภาวะร่วมเส้น (สมการที่ 1 และ 2) สำหรับใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่งตำแหน่งของจุดเปิดถ่ายภาพ (X_0, Y_0, Z_0) และการวางตัวของภาพถ่าย (ω, ϕ, κ) ของภาพถ่ายแต่ละภาพ และอาศัยค่าองค์ประกอบภาพถ่ายภายนอกเหล่านี้ร่วมกับค่าพิกัดบนภาพถ่ายของจุด ๆ เดียวบนภาพถ่ายแต่ละภาพมาวิเคราะห์ร่วมกันผ่านสมการสภาวะร่วมเส้นโดยอาศัยหลักการเล็งสกัดภาพคู่ (two-photo intersection) ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าพิกัดฉาก 3 มิติของจุดใด ๆ บนวัตถุ และจุดเหล่านี้เมื่อนำมาพล็อตรวมกันในปริภูมิ (space) จะเกิดคล้ายกับเป็นเมฆหมอกของจุดใด ๆ ซึ่งจะ

ให้เป็นรูปร่างหรือทรวดทรงใด ๆ ของวัตถุที่เรียกว่า “ข้อมูลพอยต์คลาวน์ (point-cloud data)” และเมื่อนำมารวมกับค่าสีของวัตถุนั้น ๆ จะทำให้เกิดเป็นวัตถุเสมือนจริงในรูปแบบของข้อมูลพอยต์คลาวน์ที่พร้อมจะนำไปใช้งานต่อไป

$$x = -f\frac{r_{11}(X-X_0)+r_{12}(Y-Y_0)+r_{13}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0)+r_{32}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (1)$$

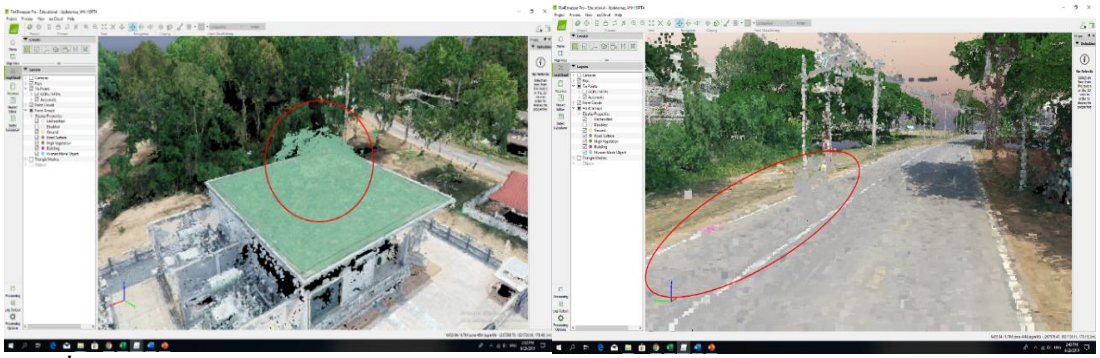
$$y = -f\frac{r_{21}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{23}(Z-Z_0)}{r_{31}(X-X_0)+r_{32}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos\phi\ \cos\kappa & \sin\omega\sin\phi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa & -\cos\omega\sin\phi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa \\ -\cos\phi\sin\kappa & -\sin\omega\sin\phi\sin\kappa + \cos\omega\cos\kappa & \cos\omega\sin\phi\sin\kappa + \sin\omega\cos\kappa \\ \sin\phi & -\sin\omega\cos\phi & -\cos\omega\cos\phi \end{bmatrix}$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าเทคนิคทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์มีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์เพื่อจับคู่ภาพของจุด ๆ เดียวกันบนภาพถ่ายแต่ละภาพ ซึ่งอัลกอลิทึมที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์คือ อัลกอลิทึม Scale Invariant Feature Transform (SIFT) ที่เป็นวิธีในการค้นหาจุดเด่น ๆ หรือ จุดสำคัญ (key point) บนภาพแต่ละภาพที่มีจุดคล้องกัน โดยไม่ขึ้นกับขนาดหรือทิศทางของวัตถุในภาพ ทั้งนี้ลักษณะเด่นที่ได้จากวัตถุชิ้นเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน การใช้อัลกอริทึม SIFT ซึ่งมีส่วนสำคัญอย่างมากในการจับคู่จุดสำคัญบนภาพถ่ายต่าง ๆ ในเวลาอันรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการจับคู่ภาพอัตโนมัติคือ คุณภาพของแสง โดยถ้าหากการถ่ายภาพในแต่ละภาพได้รับแสงสะท้อนจากวัตถุที่ไม่เท่ากัน ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือการจับคู่ภาพที่มีความคลาดเคลื่อนที่สูง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเกิดกับภาพที่มีสมดุลแสงสีขาว (white balance: WB) ที่ออกมาสว่างเกินไปบนวัตถุผิวเรียบอย่างเช่นพื้นผิวถนนและพื้นผิวหลังคา และผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายในลักษณะนี้จะเกิดการฟุ้งกระจายของจุดบนวัตถุในลักษณะที่ผิดปกติ ดังภาพที่ 1 ที่แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของพอยต์คลาวน์ที่เป็นการฟุ้งกระจายของจุดบนวัตถุที่เป็นถนน หรือ พื้นผิวหลังคา ประกอบกับการประมวลผลภาพถ่ายในปัจจุบันนิยมมากที่จะใช้เฉพาะการจับคู่ภาพอัตโนมัติจึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มักจะเกิดความคลาดเคลื่อนในรูปแบบดังกล่าว และเพื่อที่จะลดการฟุ้งกระจายของจุดบนวัตถุในลักษณะที่ผิดปกตินี้ การประมวลผลด้วยเทคนิคที่ผสมผสานการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับร่วมกับการจับคู่ภาพอัตโนมัติจึงเป็นสิ่งจำเป็น



ภาพที่ 1 การฟุ้งกระจายของกลุ่มจุดบริเวณบนหลังคาของอาคาร และการฟุ้งกระจายของกลุ่มจุดบริเวณผิวถนน

อนึ่งกล้องที่ใช้บนอากาศยานไร้คนขับโดยส่วนใหญ่เป็นกล้องแบบนอนเมตริกซ์ (non-metric camera) ซึ่งไม่ได้มีการออกแบบมาไว้สำหรับการรังวัดบนภาพถ่ายโดยตรง แต่ก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้โดยต้องมีการวัดสอบองค์ประกอบภาพภายใน (interior orientation) ซึ่งประกอบด้วยความยาวโฟกัส ตำแหน่งจุดมุขยสำคัญ (principal point) สัมประสิทธิ์ความเพี้ยนของเลนส์ทั้งในแนวรัศมี (radial lens distortion) และในแนวสัมผัส (tangential lens distortion) ขนาดของจุดภาพบนเซนเซอร์ รวมถึงขนาดของเซนเซอร์รับภาพทั้งด้านกว้างและด้านยาว และองค์ประกอบภาพภายในเหล่านี้มีความสำคัญอย่างมากจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เพื่อใช้ในการคำนวณปรับแก้ ยิ่งไปกว่านั้น อากาศยานไร้คนขับที่นิยมใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ราคาไม่เกิน 60,000 บาท (ประมาณ 2,000 เหรียญดอลล่าร์สหรัฐ คิดที่ 1 เหรียญดอลล่าร์สหรัฐ มีค่า 30 บาท) ซึ่งจะติดตั้งกล้องประเภทที่มีชัตเตอร์แบบ rolling shutter โดยในการถ่ายภาพด้วยกล้องแบบ rolling shutter นี้เซ็นเซอร์จะทำการเปิดรับภาพโดยจะสแกนเส้นจากบนลงล่าง ซึ่ง ณ ขณะเวลาที่ถ่ายภาพวัตถุด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้นภาพจะมีการขยับอย่างรวดเร็ว ผลลัพธ์ที่ตามมาคือ ภาพที่ได้จะมีตำแหน่งของวัตถุที่คลาดเคลื่อนหรือผิดเพี้ยนไปจากความจริง ทั้งนี้เพราะการทำงานของเซ็นเซอร์มีการสแกนวัตถุจากบนลงล่างต่อการถ่ายภาพ 1 เฟรม ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งจุดภาพวัตถุก็ขยับออกจากที่เดิมที่ควรจะเป็น (pixel displacement) ดังนั้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนแบบ pixel displacement ดังกล่าว จึงควรอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการทำงานของกล้อง rolling shutter อย่างไรก็ตาม กล้องบนอากาศยานไร้คนขับในปัจจุบันได้มีการพัฒนาชัตเตอร์การถ่ายภาพไปมากอย่าง DJI Phantom 4 Pro มีการพัฒนาชัตเตอร์เชิงกล (mechanic shutter) จึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งถึงการกำจัดขีดจำกัดในการถ่ายภาพของชัตเตอร์ในมิติของความเพี้ยนแบบ rolling shutter ซึ่งจะได้มีการพิจารณาไว้ในการศึกษาวิจัยนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาและพื้นที่ศึกษา

DJI Phantom 4 Professional UAV

อากาศยานไร้คนขับที่นำมาใช้สำรวจข้อมูลเป็นรุ่น DJI Phantom 4 Professional ที่เป็นแบบปีกหมุนจำนวน 4 ใบพัด พร้อมกับกล้องขนาด 20 ล้านจุดภาพ ความยาวโฟกัส 8.6 มิลลิเมตร เซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS มีความละเอียดจุดภาพขนาด 2.3 ไมครอน มีชัตเตอร์แบบเชิงกล (mechanic shutter) ที่แก้ไขปัญหา rolling shutter ทั้งนี้กล้องสามารถปรับค่ารูรับแสง ได้ ตั้งแต่ F/2.8 – F/11 และ ความเร็ว shutter 1/8000 – 8 วินาที

Pix4D Mapper Software

ซอฟแวร์ Pix4D Mapper คือซอฟแวร์ด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลการถ่ายภาพ โดยรองรับการจับคู่ภาพอัตโนมัติและการจับคู่ภาพแบบวัดมือ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์จับคู่ภาพอัตโนมัติของซอฟแวร์ Pix4D ใช้อัลกอลิทึม SIFT ซอฟแวร์ตัวนี้มีขีดความสามารถในการเพิ่มจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินเพื่อยึดตรึงและคำนวณปรับแก้หาค่าองค์ประกอบภาพภายนอกโดยอาศัยหลักการสภาวะร่วมเส้นดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลจะได้ออกมาในรูปแบบของข้อมูลภาพถ่ายออร์โธ เส้นชั้นความสูง ข้อมูลพอยต์คลาวน์รวมถึงค่าพิกัดของจุดตรวจสอบ (check point)

เครื่องรับสัญญาณพิกัดดาวเทียม (global navigation satellite system: GNSS)

การศึกษาวิจัยนี้ใช้เครื่อง GNSS ยี่ห้อ Leica รุ่น Viva GS16 ที่มีขีดความสามารถในการรับสัญญาณในหลายความถี่จากดาวเทียม GPS ดาวเทียม GLONASS และดาวเทียม BeiDou มีขีดความสามารถเครื่องมือในการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธีสถิตอย่างเร็ว (rapid static) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการรังวัดค่าพิกัดหมุดบังคับภาพภาคพื้นดิน และจุดตรวจสอบที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยให้ค่าความถูกต้อง (accuracy) ทางราบ ±(3 mm+0.5ppm) และทางดิ่ง ±(5 mm+0.5ppm)

หมุดบังคับภาพและหมุดตรวจสอบ

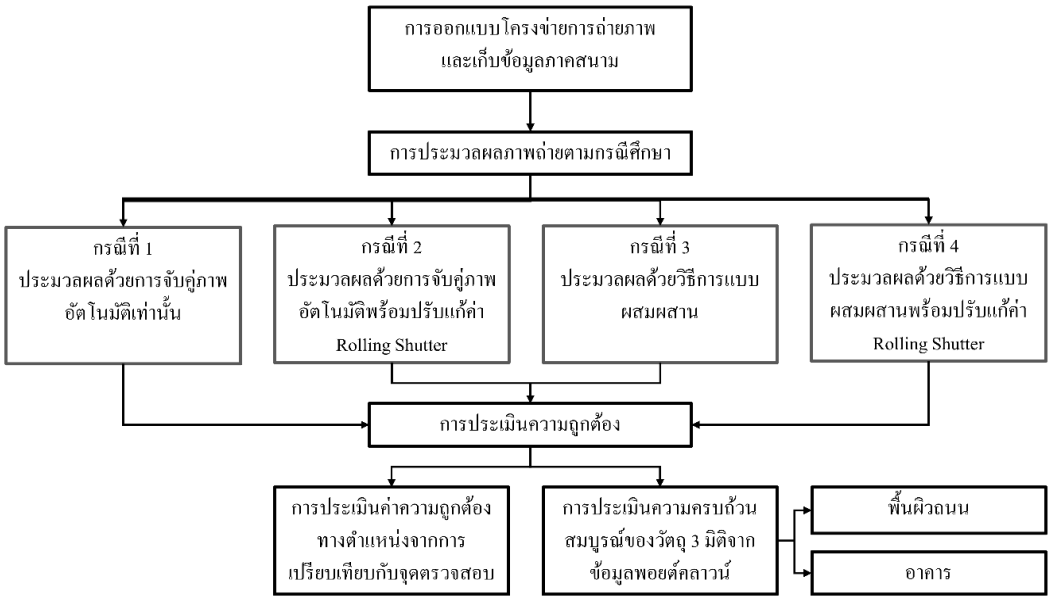
การศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้หมุดบังคับภาพจำนวน 16 จุดโดยเป็นเป้าแบบให้สัญญาณและเป้าแบบธรรมชาติอย่างละ 8 จุด และหมุดตรวจสอบจำนวน 35 จุดซึ่งเป้าแบบให้สัญญาณจำนวน 10 จุด และเป้าแบบธรรมชาติจำนวน 25 จุด ที่กระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษาและวัตถุต่างๆ

รายละเอียดพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้พื้นที่ทดสอบขนาด 200x400 ตารางเมตร (ประมาณ 50 ไร่) ในมหาวิทยาลัยขอนแก่น บริเวณอาคารสถานีไฟฟ้าแรงสูงมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งมีรายละเอียดที่ประกอบด้วยอาคารสิ่งก่อสร้าง เช่น อาคารขนาดเล็ก ถนนผิวแอสฟัลต์ และเสาไฟฟ้า เป็นต้น โดยรายละเอียดเหล่านี้ถือเป็นสิ่งจำเป็นต่อการนำมาวิเคราะห์ในทางเทคนิคดังนี้ (1) อาคารขนาดเล็กที่เป็นหลังคาสีเขียวมันวาวซึ่งมีการสะท้อนแสงที่สูง หรือ (2) ผิวถนนเป็นผิวแอสฟัลต์คอนกรีตมีสีดำเข้มและผิวเรียบซึ่งมีผลต่อการสะท้อนของแสงขณะถ่ายภาพ และเสาไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดเงารบกวนเป็นแนวเส้น โดยองค์ประกอบเหล่านี้จะมีผลกระทบอย่างมากต่อการควบคุมแสงในขณะที่ทำการถ่ายภาพ ซึ่งส่งผลทำให้ความผิดเพี้ยนในการจับคู่ภาพอัตโนมัติด้วยหลักการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์

วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ (1) ส่วนการออกแบบโครงข่ายการถ่ายภาพและเก็บข้อมูลภาคสนาม (2) ส่วนการประมวลผลภาพถ่ายออกเป็นกรณีศึกษาแบบต่างๆ และ (3) ส่วนการประเมินความถูกต้องทั้งในเชิงตำแหน่งและเชิงความครบถ้วนสมบูรณ์ โดยจะมีรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ดังนี้

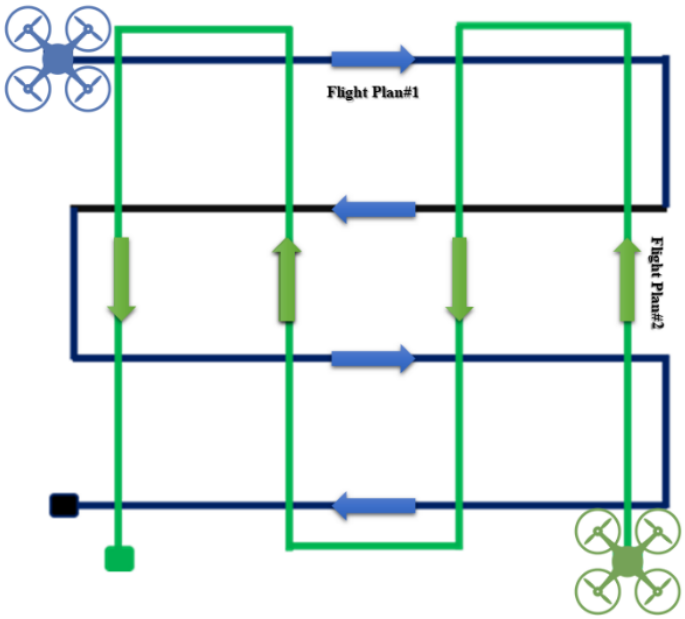


ภาพที่ 2 ผังแสดงกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย

ส่วนการออกแบบโครงข่ายการถ่ายภาพและเก็บข้อมูลภาคสนาม มีรายละเอียดดังนี้

ก. การออกแบบความสูงและออกแบบเส้นทางแนวบิน เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ต้องการสร้างแบบจำลองสามมิติสำหรับการใช้งานในเชิงวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ซึ่งมาตราส่วนที่เหมาะสมกับการทำงานดังกล่าวควรจะ

เป็นแผนที่มาตราส่วนใหญ่ โดยในการศึกษานี้ได้ออกแบบไว้ที่มาตราส่วน 1:500 ดังนั้น การออกแบบและวางแผนแนวบินจึงควรออกแบบให้มีผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับมาตราส่วนดังกล่าว โดยใช้มาตรฐานของ American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (2014) [9] ที่เกี่ยวกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศซึ่งได้แนะนำให้ใช้ระยะสุ่มภาคพื้นดิน (ground sampling distance: GSD) 12.5 เซนติเมตร หรือละเอียดกว่า ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีความสูงแนวบินประมาณ 90 เมตร พบว่าสามารถผลิตแผนที่ภาพออร์โธที่มีค่า GSD ละเอียดตามต้องการ โดยได้มีการบินแบบ 2 ทิศทางรวมกัน (double grid) ดังภาพที่ 3 พร้อมทั้งกำหนดส่วนซ้อนระหว่างภาพตามแนวบิน (overlap) และส่วนซ้อนของภาพระหว่างแนวบิน (Side lap) อยู่ที่ 75%



ภาพที่ 3 ทิศทางของแนวบิน

ข. ขั้นออกแบบและรังวัดพิกัดหมุดควบคุม ผู้วิจัยได้มีการออกแบบตำแหน่งของหมุดบังคับภาพให้กระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา โดยได้ใช้วิธีการรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบพิกัดดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS) ด้วยวิธี rapid static ทั้งนี้ได้รับสัญญาณจุดละ 30 นาที

ค. การบินถ่ายภาพ เพื่อให้เกิดสภาพแสงที่สม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงได้มีการบินถ่ายภาพโดยได้เลือกช่วงเวลาของการบินถ่ายภาพระหว่าง 10.00 – 14.00 น. ทั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการบินถ่ายภาพตามแนวบินที่ได้มีการวางแผนไว้ข้างต้นโดยเป็นการบินอัตโนมัติและตั้งเวลาในการถ่ายภาพเพื่อให้เกิดส่วนซ้อนตามที่ได้ออกแบบไว้

ส่วนการประมวลผลภาพถ่าย ได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 4 กรณีตามเทคนิคการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ มีรายละเอียด ดังนี้

ก. กรณีที่ 1 การประมวลผลด้วยการจับคู่ภาพอัตโนมัติ

ข. กรณีที่ 2 การประมวลผลด้วยการจับคู่ภาพอัตโนมัติพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter

ค. กรณีที่ 3 การประมวลผลด้วยวิธีการผสมผสานการจับคู่ภาพอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ

ง. กรณีที่ 4 การประมวลผลด้วยวิธีการผสมผสานการจับคู่ภาพอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter

ส่วนการประเมินความถูกต้องผลลัพธ์ ในการศึกษาวิจัยนี้ได้แบ่งการประเมินความถูกต้องของผลลัพธ์ออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ (1) การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจากการเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ และ (2) การประเมินความครบถ้วนสมบูรณ์ของวัตถุ 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวน์ มีรายละเอียด ดังนี้

<u>การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจากการเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบ</u> ผู้วิจัยได้มีการรังวัดจุดตรวจสอบจำนวน 35 จุด โดยใช้วิธีการรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบดาวเทียมนำหนที่จะใช้ค่าพิกัด 3 มิติของจุดตรวจสอบภาคพื้นดินจำนวน 30 จุด และใช้วิธีเล็งสกัดพร้อมด้วยตรีโกณมิติ เพื่อหาค่าพิกัดตะวันออก (E), พิกัดเหนือ(N), และความสูงออร์โธเมตริกซ์ (H) ของจุดใด ๆ บนวัตถุ โดยพิกัดทางราบอยู่ในระบบ UTM WGS84 Zone 48N และมีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง EGM96 ในการวิเคราะห์หาความสูงออร์โธเมตริกซ์ ของจุดตรวจสอบบนอาคารจำนวน 5 จุด ทั้งนี้ได้มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์แล้ววิเคราะห์โดยอาศัยหลักสถิติเบื้องต้นเพื่อวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error, SE) หรือ ค่าเฉลี่ยรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error, RMSE) จากสมการต่อไปนี้

$$RMSE_E = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(E_i - E_{check})^2/n} \quad (3)$$

$$RMSE_N = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(N_i - N_{check})^2/n} \quad (4)$$

$$RMSE_H = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(H_i - H_{check})^2/n} \quad (5)$$

กำหนดให้

$RMSE_E$ คือ Root Mean Square Error ในแนวแกนพิกัดตะวันออก (E)

$RMSE_N$ คือ Root Mean Square Error ในแนวแกนพิกัดเหนือ (N)

$RMSE_H$ คือ Root Mean Square Error ของค่าความสูงออร์โธเมตริกซ์ (H)

E_{check},N_{check}, H_{check} คือ ค่าพิกัดทางราบและค่าความสูงออร์โธเมตริกซ์ของจุดตรวจสอบ

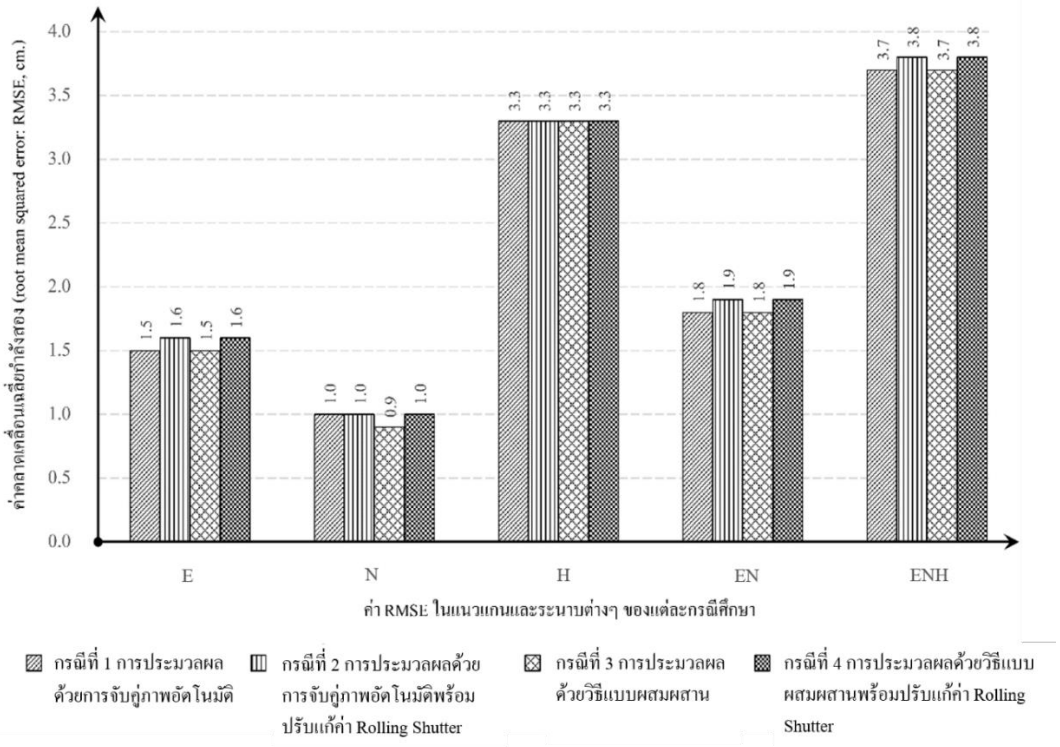
E, N, H คือ ค่าพิกัดทางราบและค่าความสูงออร์โธเมตริกซ์ที่ได้จากข้อมูลในแต่ละกรณีศึกษา

n คือจำนวนจุดที่ใช้ตรวจสอบทั้งหมด

<u>การประเมินความครบถ้วนสมบูรณ์ของวัตถุ 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวน์</u> ผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ผลิตขึ้นของแต่ละกรณีศึกษาว่า ตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุ ซึ่งในที่นี้คือ อาคาร และ ถนน ที่อยู่ในรูปของข้อมูลพอยต์คลาวน์ โดยวิธีเคราะห์หาความผิดปกติของรูปร่างนั้น มีตำแหน่งใดเกิดการฟุ้งกระจายของกลุ่มจุดสามมิติที่ทำให้เกิดการผิดรูปร่างของวัตถุออกไปจากความเป็นจริง ซึ่งการประเมินในลักษณะนี้ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความถูกต้องของกลุ่มจุดด้วยสายตาและเปรียบเทียบการกระเจิงของกลุ่มจุดในแต่ละกรณีศึกษา

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากภาพที่ 3 จะเห็นว่า ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มีการบินถ่ายภาพโดยออกแบบให้ใช้บล็อคการบินถ่ายภาพแบบความละเอียดสูงพร้อมด้วยการบินพาดขวาง กล่าวคือ มีการบินในแนวทิศทางเหนือ-ใต้ (N-S) ที่ออกแบบให้มีส่วนซ้อนของภาพตามแนวบินและส่วนซ้อนของภาพด้านข้างเท่ากันที่ร้อยละ 75 พร้อมทั้งบินถ่ายภาพในแนวทิศทางตะวันออก-ตะวันตก (E-W) ด้วยส่วนซ้อนของภาพตามแนวบินและส่วนซ้อนของภาพด้านข้างที่เท่ากันเช่นกัน ดังนั้นการบินถ่ายภาพครั้งนี้จึงถือว่า มีการออกแบบการบินเก็บข้อมูลที่มีความละเอียดสูงมาก พร้อมกันนี้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้มีการรังวัดหมุดควบคุมกระจายทั่วทั้งพื้นที่จำนวน 16 จุด และดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องในเชิงตำแหน่งโดยการใช้หมุดตรวจสอบจำนวน 35 จุดซึ่งประกอบด้วยหมุดที่กระจายอยู่บนพื้นที่ดินและอาคาร จากนั้นนำมาประมวลผลข้อมูลตามกรณีศึกษาทั้ง 4 ที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น และหลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลพอยต์คลาวน์ที่ได้จากกรณีศึกษาต่าง ๆ เหล่านี้มาเปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบแล้วได้ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 4 และเมื่อนำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งได้แสดงค่าคลาดเคลื่อนในทางราบในรูปแบบของค่า circular error และค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งในรูปแบบของค่า linear error ตามมาตรฐาน National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) ขององค์กรคณะกรรมการมาตรฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ (The Federal Geographic Data Committee: FGDC) [10] นอกจากนี้ ยังได้มีการประเมินความครบถ้วนสมบูรณ์ของวัตถุ 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวน์ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละกรณีศึกษา

ตารางที่ 1 และภาพที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความถูกต้องในเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยทำการเปรียบเทียบกับจุด CP ของแต่ละกรณีศึกษาได้ดังนี้

กรณีที่ 1 การจับคู่ภาพอัตโนมัติ มีค่าคลาดเคลื่อนในทางราบ (circular error) = ±3.1 เซนติเมตร และค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง (linear error) = ±3.7 เซนติเมตร ผลลัพธ์ของกลุ่มจุดสามมิติมีการกระเจิงที่ทำให้เกิดการผิดรูปร่างของวัตถุโดยมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงค่อนข้างสูง

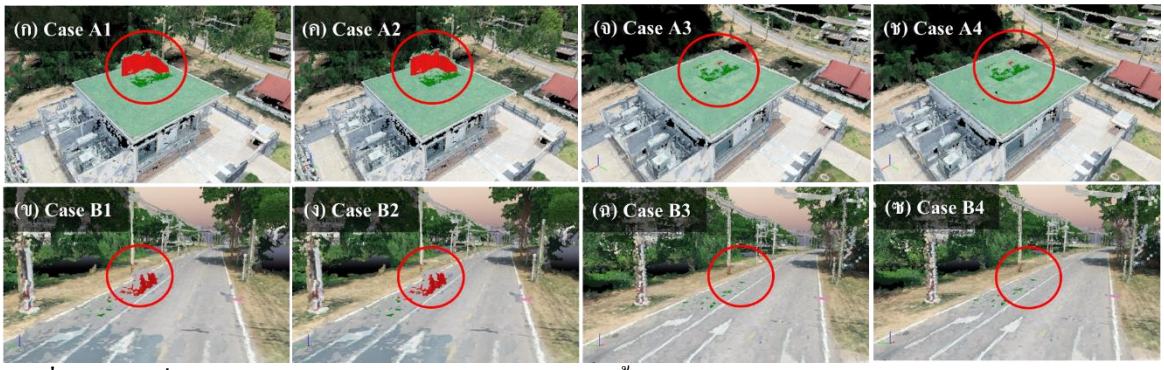
กรณีที่ 2 การประมวลผลด้วยการจับคู่ภาพอัตโนมัติพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter มีค่า circular error = ±3.3 เซนติเมตร และค่า linear error = ±3.8 เซนติเมตร ผลลัพธ์ของกลุ่มจุดสามมิติมีการกระเจิงที่ทำให้เกิดการผิดรูปร่างของวัตถุโดยมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนออกไปจากความเป็นจริงค่อนข้างสูง

กรณีที่ 3 การประมวลผลด้วยวิธีแบบผสมผสาน มีค่า circular error = ±3.1 เซนติเมตร และค่า linear error = ±3.7 เซนติเมตร ผลลัพธ์ของกลุ่มจุดสามมิติมีการกระเจิงน้อยมากทำให้ได้กลุ่มจุดสามมิติที่มีรูปร่างของวัตถุซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงสูง

กรณีที่ 4 การประมวลผลด้วยวิธีแบบผสมผสานพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter มีค่า circular error = ±3.1 เซนติเมตร และค่า linear error = ±3.8 เซนติเมตร ผลลัพธ์ของกลุ่มจุดสามมิติมีการกระเจิงน้อยมากทำให้ได้กลุ่มจุดสามมิติที่มีรูปร่างของวัตถุซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงสูง

ตารางที่ 1 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับจุด CP ของแต่ละกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	รายละเอียดของกรณีศึกษาตามกรณีการประมวลผล	ค่า circular error (เซนติเมตร)	ค่า linear error (เซนติเมตร)	ค่า volume of scatter point (m^3)	
				case A หลังคาของอาคาร	case B ผิวถนน
1	การจับคู่ภาพอัตโนมัติ	±3.1	±3.7	52.34	5.76
2	การจับคู่ภาพอัตโนมัติพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter	±3.3	±3.8	52.34	5.76
3	การผสมผสานการจับคู่ภาพอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ	±3.1	±3.7	1.66	0.01
4	การผสมผสานการจับคู่ภาพอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter	±3.1	±3.8	1.66	0.01



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในกรณีศึกษาต่าง ๆ ดังนี้ (ก) – (ข) การจับคู่ภาพอัตโนมัติ (ค) – (ง) การจับคู่ภาพอัตโนมัติพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter; (จ) – (ฉ) การผสมผสานการจับคู่ภาพอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ และ (ช) – (ซ) การจับคู่ภาพด้วยมือพร้อมปรับแก้ค่า rolling shutter

ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อวิเคราะห์แผนภูมิแท่งดังแสดงในภาพที่ 4 และค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ดังแสดงในตารางที่ 1 ในประเด็นความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับจุดตรวจสอบที่มีค่าอ้างอิงทั้งทางราบและดิ่ง พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลข้อมูลในแต่ละกรณีนั้นให้ความถูกต้องที่ใกล้เคียงกัน หากแต่ว่า เมื่อวิเคราะห์ในเชิงลึกถึงความครบถ้วนสมบูรณ์ของวัตถุ 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวน์ของอาคารและถนนโดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยสายตา (visual analysis) ดังแสดงในภาพที่ 5 แล้วพบว่า กรณีที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นการจับคู่ภาพด้วยวิธีอัตโนมัตินั้นจะให้ผลลัพธ์ที่มีการกระเจิงของกลุ่มจุดสามมิติที่ทำให้เกิดการผิดรูปร่างของวัตถุโดยมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนออกไปจากความเป็นจริงค่อนข้างมากคิดเป็นปริมาตรของการฟุ้งกระจายได้เท่ากับ 52.34 และ 5.76 ลบ.ม. สำหรับกรณีศึกษาที่เป็นหลังคาของอาคารและพื้นผิวถนน ตามลำดับ ในขณะที่กรณีที่ 3 และ 4 นั้นรูปร่างของอาคารและถนนมีรูปร่างที่สอดคล้องกับความเป็นจริงโดยมีปริมาตรลดลงเหลือ 1.66 และ 0.01 ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของการฟุ้งกระจายคิดเป็นร้อยละ 96.8 และ 99.8 ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นการลดลงของการฟุ้งกระจายที่มีนัยสำคัญที่สูงมาก ผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการประมวลผลข้อมูลในมิติของการรังวัดโดยใช้วิธีการบูรณาการแบบผสมผสานเทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับควบคู่กับการจับคู่ภาพอัตโนมัติตามหลักการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะให้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นแบบจำลอง 3 มิติที่สอดคล้องกับรูปร่างของวัตถุในความเป็นจริงโดยมีการกระเจิงของจุดลดโดยเฉลี่ยถึงร้อยละ 98 ซึ่งหลงเหลือน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการประมวลผลที่ใช้เพียงเฉพาะการจับคู่ภาพอัตโนมัติเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้การจับคู่ภาพด้วยเทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือนั้นจะกระทำโดยรังวัด ณ ตำแหน่งเด่นชัดใด ๆ ที่ปรากฏบนภาพถ่ายซึ่งมีลักษณะเป็นเป้าธรรมชาติ และหากจำนวนจุดร่วมที่รังวัดด้วยมือยิ่งมีจำนวนมากและกระจายทั่วทั้งพื้นที่ศึกษายิ่งทำให้เกิดรูปร่าง 3 มิติของแบบจำลองที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้นเท่านั้น นอกจากนี้ หากวิเคราะห์ถึงการปรับแก้ rolling shutter แล้วจะเห็นว่า ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ชัตเตอร์แบบเชิงกล (mechanic shutter) ของอากาศยานไร้คนขับรุ่น DJI Phantom 4 Pro Version 2 มีขีดความสามารถในการถ่ายภาพใกล้เคียงกับชัตเตอร์แบบองค์รวม (global shutter) ของอากาศยานไร้คนขับที่มีไว้สำหรับงานด้านการสำรวจโดยเฉพาะท้ายที่สุด ผลการศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นว่า ในการประเมินความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการประเมินใน 2 รูปแบบคือ (1) การประเมินความถูกต้องในเชิงตำแหน่งโดยเทียบกับค่าพิกัดของจุดอ้างอิงและ (2) การประเมินความถูกต้องครบถ้วนของแบบจำลองสามมิติ

ผ่านการประเมินด้วยสายตาถึงความสมบูรณ์แบบของแบบจำลองสามมิติ โดยพิจารณาถึงลักษณะการเกิดขึ้นของการกระเจิงของจุดที่ผิดปกติจากรูปร่างความเป็นจริง

บทสรุป

การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องในเชิงตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีการแบบผสมผสานโดยเป็นการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับผสมผสานกับการจับคู่ภาพอัตโนมัติเปรียบเทียบกับเทคนิควิธีการที่ใช้เพียงการจับคู่ภาพอัตโนมัติเท่านั้นผ่านการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลข้อมูลพอยต์คลาวน์ของอาคารและถนน โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยสายตา (visual analysis) เพื่อประเมินความครบถ้วนสมบูรณ์ของวัตถุ 3 มิติจากข้อมูลพอยต์คลาวน์ของอาคารและถนน โดยผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการแบบผสมผสานที่เสนอแนะไว้ในการศึกษานี้จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปร่างของอาคารและถนนมีรูปร่างที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีการจับคู่ภาพอัตโนมัติเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ ผลลัพธ์จากวิธีการจับคู่ภาพอัตโนมัติเพียงอย่างเดียวนั้นจะให้ผลลัพธ์ที่มีการกระเจิงของกลุ่มจุดสามมิติที่ทำให้เกิดการผิดรูปร่างของวัตถุโดยมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนออกไปจากความเป็นจริงค่อนข้างมาก ดังนั้น จึงสามารถกล่าวได้ว่า กระบวนการประมวลผลข้อมูลในมิติของการรังวัดโดยใช้วิธีแบบผสมผสานที่เป็นเทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือปรับควบคู่กับการจับคู่ภาพอัตโนมัติตามหลักการทางคอมพิวเตอร์วิทัศน์จะให้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นแบบจำลอง 3 มิติที่สอดคล้องกับรูปร่างของวัตถุในความเป็นจริงโดยมีการฟุ้งกระจายของจุดลดลงโดยเฉลี่ยถึงร้อยละ 98 ซึ่งมีการฟุ้งกระจายหลงเหลืออยู่เพียงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับการประมวลผลที่ใช้เพียงเฉพาะการจับคู่ภาพอัตโนมัติเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้การจับคู่ภาพด้วยเทคนิคการวัดจุดร่วมแบบใช้มือนั้นจะกระทำโดยรังวัด ณ ตำแหน่งเด่นชัดใด ๆ ที่ปรากฏบนภาพถ่ายซึ่งมีลักษณะเป็นเป้าธรรมชาติ และถ้าหากจำนวนจุดร่วมที่รังวัดด้วยมือยิ่งมีจำนวนมากและกระจายทั่วทั้งพื้นที่ศึกษายิ่งก็ทำให้เกิดรูปร่าง 3 มิติของแบบจำลองที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ในอนาคตควรจะต้องมีการวิเคราะห์ถึงจำนวนและลักษณะการกระจายตัวของจุดร่วมแบบใช้มือปรับ โดยพิจารณาในประเด็นของปริมาณและตำแหน่งที่เหมาะสมที่ช่วยในการลดการกระเจิงของจุดพอยต์คลาวน์ของวัตถุซึ่งมีผลกับรูปร่างที่แท้จริงของวัตถุนั้น ๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิทยานิพนธ์จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยจากศูนย์วิจัยพัฒนามูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงในความอนุเคราะห์ข้อมูลจากโครงการการศึกษาออกแบบรายละเอียดระบบขนส่งสาธารณะในเขตจังหวัดขอนแก่นและผลกระทบสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยพัฒนามูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ สถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Ennoo W. Application of UAV update geo-spatial information for smart city development: a case study of Khon Kaen City [M.Eng]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2019. Thai.
2. Sumalee A. Smart City. Bangkok: King Prajadhipok's Institute; 2015.

3. Pajíć V, Govedarica M, Amovíć M. Model of Point Cloud Data Management System in Big Data Paradigm ISPRS International Journal Geo-Informatics. 2018; 7(7): 265.
4. Zang Y, Yang B, Li J, Guan H. An Accurate TLS and UAV Image Point Clouds Registration Method for Deformation Detection of Chaotic Hillside Areas Remote Sensing. 2019; 11(6): 647.
5. Peterson S, Lopez J, Munjy, R. Comparison of UAV imagery derived point cloud to terrestrial laser scanner point cloud. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. IV-2/W5. 149-155. 10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-149-2019; 2019.
6. Berteska T, Ruzgiene B. Photogrammetric mapping based on UAV imagery. Geodesy and Cartography. 2013; 39(4):158-163
7. Uysal M, Toprak AS, Polat N. DEM generation with UAV Photogrammetry and accuracy analysis in Sahitler hill. Measurement. 2015; 73: 539–543.
8. Melo R, Leão B, Dayana C, Ferreira EAM. BIM analysis of the potential use of point cloud collected from UAS for BIM modeling and safety systems. Conference: 6th international workshop - When Social Sciences meets Lean and BIM; 2017.
9. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2014; 81(3): A1-A26.
10. Federal Geographic Data Committee. Geospatial Positioning Accuracy Standards. National Spatial Data Infrastructure. FGDC-STD: 007.3-1998; 1998.