

Automatically Ground Control Point Matching on Remote Sensing Images

การจับคู่จุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่ายดาวเทียมอัตโนมัติ

พศิน อินทามระ¹ พัสยา อินเนียร¹ มงคล รักษาพัชรวงศ์ และ ชุติรัตน์ จรัสกุลชัย¹

¹ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ABSTRACT - Satellite imagery at level 2 is geometric distortion. Resolving this problem by human may cause errors and very time consuming. Ground control point (GCP) is a valuable resource for vertex matching and to correct the geometric distortion. This paper presented a database to store the ground control points with related imagery level 3 which created from ENVI program and these GCPs were referencing coordinate from Google Map. Furthermore, these GCPs are used in image matching with Satellite image. The various algorithms and band spectral of an image are explored in this paper. The results shown that a red band spectral and Phase Correlation is out performs.

KEYWORDS – ground control point, database to store the ground control point of imagery, image matching.

บทคัดย่อ - ภาพถ่ายดาวเทียมระดับสองมีค่าพิกัดคลาดเคลื่อนกับพิกัดที่แท้จริงบนโลก การแก้ไขด้วยสายตาตามมนุษย์ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงและเสียเวลามาก จุดควบคุมภาคพื้นดินเป็นข้อมูลที่สำคัญในการปรับเชิงเรขาคณิต รายงานฉบับนี้นำเสนอฐานข้อมูลสำหรับเก็บจุดควบคุมภาคพื้นดินโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามซึ่งสร้างมาจากจุดควบคุมภาคพื้นดินที่อ้างอิงค่าพิกัดจาก Google Map ด้วยโปรแกรม ENVI นอกจากนี้ยังทำการทดลองเปรียบเทียบรูปภาพระหว่างจุดควบคุมภาคพื้นดินกับภาพถ่ายดาวเทียม โดยทำการทดลองกับหลายๆ ขั้นตอนวิธีและช่วงเคลื่อนความถี่ของภาพ ในการทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีแบบ Phase Correlation และช่วงเคลื่อนความถี่สีแดงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

คำสำคัญ - จุดควบคุมภาคพื้นดิน, ฐานข้อมูลสำหรับเก็บจุดควบคุมภาคพื้นดิน, เปรียบเทียบรูปภาพ

1. บทนำ

ภาพถ่ายดาวเทียมระดับสองค่าพิกัดยังมีความคลาดเคลื่อนกับพิกัดที่แท้จริงบนโลก ซึ่งเกิดจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลให้เซนเซอร์ที่ทำหน้าที่คำนวณพิกัดผิดพลาด อาทิ การแกว่งตัวของดาวเทียม ระดับความสูงกับมุมมองของภาพที่ถ่ายมา อุณหภูมิ และการหักเหของแสง เป็นต้น จึงต้องทำการปรับปรุงค่าพิกัดให้ถูกต้อง โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP,

Ground Control Point) ที่ได้มาจากการสำรวจพื้นที่จริง มาทำการลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งปกติมนุษย์จะทำการอ้างอิงโดยใช้สายตาของมนุษย์ในการเลือกตำแหน่งของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีลักษณะเหมือนจุดควบคุมภาคพื้นดิน และทำการแก้ไขค่าพิกัดบนตำแหน่งนั้นโดยใช้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินซึ่งเป็นค่าพิกัดที่ถูกต้องเข้าไป

แทน เมื่อทำแบบนี้ซ้ำหลายๆตำแหน่ง เราจะนำพิกัดเหล่านี้มาสร้างเป็นภาพใหม่ (resample) ซึ่งก็คือภาพถ่ายดาวเทียมระดับสาม

การใช้สายตามนุษย์ในการค้นหาตำแหน่งในปริมาณมาก นอกจากสร้างภาระให้กับมนุษย์แล้วยังใช้เวลา และก่อโอกาสให้เกิดความผิดพลาดจากมนุษย์มากขึ้น โครงการจึงนำเสนอวิธีการที่จะทำการจับคู่จุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่ายดาวเทียมอัตโนมัติ โดยนำภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามที่ทำการอ้างอิงพิกัดจาก Google Map ทำการเลือกและจัดเก็บข้อมูลของจุดควบคุมภาคพื้นดินจากภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามไว้ในฐานข้อมูลโดยใช้สายตาเพียงครั้งเดียว ซึ่งฐานข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินได้ทำการจัดเก็บข้อมูลของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่จำเป็นเพื่อเอาไว้ใช้ในการอ้างอิงและรองรับงานอื่นๆในอนาคต และใช้เทคนิคการเปรียบเทียบรูปภาพ (image matching) เพื่อทำการตรวจสอบว่าจุดควบคุมภาคพื้นดินชนิดภาพถ่ายในฐานข้อมูล อยู่บนตำแหน่งใดของภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเราจะได้ผลลัพธ์เป็นคู่อันดับระหว่างค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินและตำแหน่งบนภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงเพื่อทำการลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินภาพถ่ายดาวเทียมได้ ประโยชน์ที่ได้จากวิธีการนี้คือสามารถช่วยทำการจับคู่พิกัดได้ง่ายขึ้น ไม่ต้องใช้สายตาในการเลือกพิกัดและจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อการอ้างอิงต่อไป ซึ่งสามารถช่วยลดภาระของมนุษย์ได้

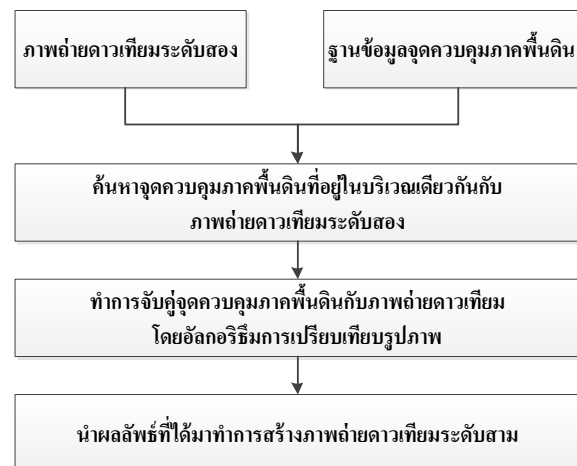
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. การลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน

การลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน คือการทำงานกับภาพถ่ายดาวเทียมระดับสองเพื่อที่จะเปลี่ยนจากภาพถ่ายดาวเทียมระดับสองเป็นระดับสาม เพราะพิกัดที่ได้จากการคำนวณที่ภาพถ่ายดาวเทียมระดับสองจะไม่ถูกต้อง 100% ทำให้เราต้องเพิ่มความแม่นยำของพิกัดให้แก่ภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินที่เป็นจุดบนพื้นผิวของโลกซึ่งรู้พิกัดที่แน่นอน โดยหาพิกัดได้จากการสำรวจสถานที่จริง มีประโยชน์ในการใช้อ้างอิงตำแหน่งบนภาพถ่ายทางภูมิศาสตร์ซึ่งจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ดีควรจะเป็นตำแหน่งที่มีลักษณะเด่นชัดเจน สังเกตได้ง่าย และไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยจุดเหล่านี้นิยมใช้จุดที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนเมื่อมองดู

ในภาพถ่ายดาวเทียม และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่น จุดตัดแยกของถนน ตึกอาคารสูงใหญ่ อนุสาวรีย์ชัย เป็นต้น ซึ่งเราจะนำตำแหน่งพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน มาใช้ในการอ้างอิงพิกัดของภาพถ่ายดาวเทียมว่าตำแหน่งพิกัดที่ถูกต้องนั้น ควรเป็นตำแหน่งใด ซึ่งถ้ามีจุดควบคุมภาคพื้นดินหลายๆจุดบนภาพถ่ายดาวเทียมของเรา จะทำให้ภาพถ่ายดาวเทียมของเรามีตำแหน่งพิกัดที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยที่ตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินนั้นควรได้จากการวัดที่ถูกต้องจากสถานที่จริงเพื่อให้ค่าพิกัดของภาพถ่ายดาวเทียมมีความถูกต้องมากที่สุด

หลังจากทำการกำหนดพิกัดให้แก่จุดบนภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินแล้วสามารถนำไปดึงขยายภาพโดยใช้สมการพหุนาม และทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นมาเป็นภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามได้ [1]



รูปที่ 1 แสดงการทำงานของงานวิจัยที่ทำการลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินอัตโนมัติ

2.2. การลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินอัตโนมัติ

งานวิจัย [2][3][4][5][6][7] ได้ทำศึกษาวิจัยให้การลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดิน ให้สามารถทำได้โดยอัตโนมัติ มีการศึกษาและออกแบบฐานข้อมูลสำหรับจุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินชนิดภาพถ่าย และใช้อัลกอริทึมในการจับคู่รูปภาพช่วยในการหาตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่ายดาวเทียมระดับสองดังรูปที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยต่างๆได้เลือกใช้

อัลกอริธึมในการจับคู่รูปภาพที่แตกต่างกันไป แต่สิ่งที่เหมือนกันคือมีการออกแบบและจัดเก็บฐานข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน ดังนั้นการจัดเตรียมฐานข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินจึงเป็นสารสนเทศที่สำคัญที่ใช้ในการปรับพิกัดภาพถ่ายให้อ้างอิงซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีเปิดเผยแพร่วัดภาคพื้นดิน ด้วยเห็นผลเชิงพาณิชย์

3. ขั้นตอนการจับคู่จุดควบคุมภาคพื้นดิน

3.1. การออกแบบฐานข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน

โครงการขั้นนี้ได้ทำการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินในรูปแบบภาพถ่ายขนาด 200x200 พิกเซล ซึ่งได้จากการครอบ (crop) ภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามที่มีพิกัดถูกต้องอ้างอิงจาก Google Map โดยได้ทำการเก็บรายละเอียดข้อมูลของจุดควบคุมภาคพื้นดินดังต่อไปนี้ 1.ค่า X,Y ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพถ่ายจุดควบคุมภาคพื้นดิน (ค่า X,Y คือค่าตำแหน่งพิกัดบนโลกแบบ UTM) 2.ชื่อของจุดควบคุมภาคพื้นดิน 3.คำอธิบายของจุดควบคุมภาคพื้นดิน 4.วันที่ทำการเก็บข้อมูลพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน หรือวันที่ทำการถ่ายภาพดาวเทียมระดับสาม 5.ความถี่ (Band) ของภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งข้อมูลทำการเก็บเหล่านี้ถูกออกแบบไว้สำหรับการใช้งานจุดควบคุมภาคพื้นดิน สารสนเทศที่สามารถใช้ในการปรับแก้ไข และสามารถนำมาใช้กับระบบสารสนเทศเชิงพื้นที่ ที่ต้องการทราบพิกัดจุดในงานประยุกต์อื่นๆ เป็นต้น

3.2. ภาพที่นำมาจัดทำจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินต้องเป็นภาพถ่ายดาวเทียมระดับสาม แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการหาภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามด้วยส่วนใหญ่ใช้ในเชิงพาณิชย์ เราจึงนำภาพถ่ายดาวเทียมระดับสอง มาทำการลงทะเบียนพิกัดจุดภาพด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินผ่านโปรแกรม ENVI โดยทำการอ้างอิงพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินจาก Google Map ซึ่งทำโดยนำพิกัดที่ได้จาก Google Map ของตำแหน่งบนแผนที่ที่มีลักษณะเหมือนกับตำแหน่งที่ต้องการ

ลงทะเบียนพิกัดบนภาพถ่ายดาวเทียม จำนวนไม่ต่ำกว่าสิบตำแหน่งบริเวณรอบภาพถ่าย และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่โปรแกรม ENVI คำนวณได้ไม่เกิน 1 และสั่งให้โปรแกรม ENVI นำค่าพิกัดที่ทำการลงทะเบียนมาทำการดึงขยายภาพเพื่อสร้างภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามขึ้นมา

เมื่อมีภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามแล้ว เราสามารถสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินเพื่อเก็บลงฐานข้อมูลได้ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการจัดหาจุดควบคุมภาคพื้นดินในอนาคต และสามารถนำข้อมูลที่เก็บไว้ไปใช้กับโครงการอื่นต่อไป โดยโครงการนี้ได้พัฒนาโปรแกรมการจับคู่จุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่ายดาวเทียมอัตโนมัติ ทำการกำหนดจุดที่จะใช้เป็นจุดควบคุมภาคพื้นดินได้ผ่านทางกรเพิ่มจุดควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งจุดที่นิยมใช้เป็นจุดควบคุมภาคพื้นดิน ควรมีคุณสมบัติ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.

3.3. อัลกอริธึมในการเปรียบเทียบรูปภาพ

การเปรียบเทียบรูปภาพ (Image Matching) คือ วิธีการหรือกระบวนการที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดของภาพสองภาพ ซึ่งอัลกอริธึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบรูปภาพของงานวิจัยขั้นนี้มีทั้งหมด 3 อัลกอริธึม โดยกำหนดให้ ค่าสีของพิกเซลมีค่าตั้งแต่ 0-255 เนื่องจากเป็นภาพเกรย์สเกล [8]

3.3.1 Sum of Squared Differences

ใช้หลักการทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปภาพทั้งสองรูป โดยเลือกค่าตอบจากจุดที่มีค่าผลรวมของผลต่างแล้วยกกำลังสองระหว่างจุดบนภาพแม่แบบกับภาพอ้างอิงที่มีค่าน้อยที่สุด นิยมใช้ในการทำงานบนการเปรียบเทียบภาพแบบ Template Matching

$$SSD(\Delta x, \Delta y) = \sum [i_1(x, y) - i_2(x + \Delta x, y + \Delta y)]^2 \quad (1)$$

3.3.2 Normalized Cross-correlation

ทำการจับคู่โดยดูจากความเข้มข้นของภาพถ่าย และไม่สนใจโครงสร้างใด ทั้งสิ้น ถ้าภาพมีการหมุนหรือขนาดไม่เท่ากันเพียงเล็กน้อยก็ยังสามารถจับคู่ได้ ทำการหาค่าตอบโดยเลือกจุดที่มีค่าผลรวมของผลคูณระหว่างภาพแม่แบบลบ

ค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพแม่แบบกับภาพอ้างอิงลบค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพอ้างอิงหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่ามากที่สุด

$$NCC(\Delta x, \Delta y) = \frac{\sum (i_1(x,y) - \bar{i}_1)(i_2(x+\Delta x, y+\Delta y) - \bar{i}_2)}{\sqrt{\sum (i_1(x,y) - \bar{i}_1)^2 \sum (i_2(x+\Delta x, y+\Delta y) - \bar{i}_2)^2}} \quad (2)$$

3.3.3 Phase Correlation based on Fourier Shift Theorem

ทำการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างภาพสองจากจากโดเมนความถี่ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นภาพสเปกตรัม ที่บ่งบอกว่าภาพทั้งสองภาพจุดที่เหมือนกันอยู่ที่ตำแหน่งใด ซึ่งก็คือตำแหน่งที่มีค่าสูงสุด สมการจะมีการแปลงค่าของ $i_2(x, y)$ ให้อยู่ในรูปแบบของ Fourier Transform ซึ่งก็คือ $I_2(\omega_x, \omega_y)$

$$\text{จาก } I_2(\omega_x, \omega_y) = I_1(\omega_x, \omega_y) e^{-j(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y)}$$

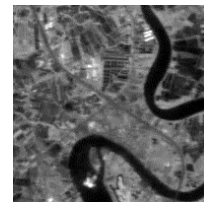
$$\begin{aligned} PCC(\Delta x, \Delta y) &= \operatorname{argmax} \left\{ F^{-1} \left\{ \frac{I_1(\omega_x, \omega_y) I_2^*(\omega_x, \omega_y)}{|I_1(\omega_x, \omega_y) I_2^*(\omega_x, \omega_y)|} \right\} \right\} \\ &= \operatorname{argmax} \left\{ F^{-1} \left\{ e^{j(\omega_x \Delta x + \omega_y \Delta y)} \right\} \right\} \\ &= \operatorname{argmax} \{ \delta(x + \Delta x, y + \Delta y) \} \quad (3) \end{aligned}$$

ตารางที่ 1 แสดงความหมายของตัวแปรในอัลกอริธึม

ตัวแปร	ความหมาย
i_1	ภาพแม่แบบหรือภาพถ่ายดาวเทียมของจุดควบคุมภาคพื้นดิน
i_2	ภาพอ้างอิงหรือภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการแก้ไขพิกัดให้ถูกต้อง
$i_1(x, y)$	ค่าสีของพิกเซลที่ตำแหน่ง x, y ของภาพแม่แบบ
$i_2(x+\Delta x, y+\Delta y)$	ค่าสีของพิกเซลบนภาพอ้างอิงที่มีตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่ง x, y บนภาพแม่แบบ
$\Delta x, \Delta y$	ตำแหน่งของภาพแม่แบบบนภาพอ้างอิง

3.4. การเปรียบเทียบรูปภาพ

โครงการนี้ได้กำหนดให้ภาพแม่แบบคือภาพถ่ายดาวเทียมของจุดควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งเป็นภาพถ่ายขนาดเล็กและถือว่าตำแหน่งตรงจุดศูนย์กลางของภาพเป็นตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดินและมีค่าพิกัดของตำแหน่งนั้นเก็บไว้ในฐานข้อมูลเมื่อโปรแกรมรับภาพที่ต้องการทำการแก้ไขพิกัด โปรแกรมจะทำการตัดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณที่มีค่าพิกัดเหมือนค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อนำมาใช้เป็นภาพอ้างอิงในการเปรียบเทียบรูปภาพดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2 แสดงภาพแม่แบบ



รูปที่ 3 แสดงภาพอ้างอิง

คำตอบที่เราต้องการจากการเปรียบเทียบรูปภาพคือตำแหน่งของภาพแม่แบบบนภาพอ้างอิง หรือก็คือค่า $\Delta x, \Delta y$ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบภาพ

4. การทดลอง

ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในโครงการชิ้นนี้ได้มาจากโครงการสร้างดาวเทียมอเนกประสงค์ขนาดเล็ก (Small Multi-Mission Satellite Project and Related Activities: SMMS) ซึ่งเป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากดาวเทียม SMMS (หรือดาวเทียม HJ1A) บนอุปกรณ์ถ่ายภาพสี CCD แบบ 4 แถบความถี่ ได้แก่ น้ำเงิน เขียว แดง และ Near-Infrared ที่รายละเอียดจุดภาพ 30 เมตร/จุด [1]

โครงการชิ้นนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการเปรียบเทียบรูปภาพโดยทำการเลือกจุดควบคุมภาคพื้นดินทั้งหมด 15 ตำแหน่งจากภาพถ่ายดาวเทียมระดับสามที่สร้างขึ้นมาจากโปรแกรม ENVI โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งถ่ายในเวลาที่แตกต่างกัน นำมาสร้างจุดควบคุมภาคพื้นดินทั้งหมด 3 ชุด แบ่งเป็น 15 ตำแหน่ง 2 ชุด และ 12 ตำแหน่ง 1 ชุด โดยแต่ละตำแหน่งมี 4 ภาพต่อชุด ซึ่งเกิดจากภาพถ่ายดาวเทียมมีความถี่ของภาพทั้งหมด 4 ความถี่ ได้แก่ น้ำเงิน เขียว แดง และ near-infrared ดังตารางที่ 2 ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสามชุดอยู่บริเวณภาคกลาง-อีสานของประเทศไทย

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างภาพถ่ายจุดควบคุมภาคพื้นดินชุดที่ 1 (ซ้าย), 2 (กลาง), 3(ขวา) ที่ใช้ในการทดสอบ

Band	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
Blue			
Green			
Red			
Near-Infrared			

ในการทดสอบ ภาพถ่ายดาวเทียมหนึ่งชุด จะทำการทดสอบอัลกอริทึมการเปรียบเทียบรูปภาพทั้ง 3 อัลกอริทึม ได้แก่ 1.Sum of Squared Differences (SSD) 2.Normalized Cross-Correlation (NCC) 3.Phase Correlation based on Fourier Shift Theorem กับภาพถ่ายดาวเทียมทุกความถี่ และทำการตรวจสอบผลลัพธ์การทำงานของการทำงานของการเปรียบเทียบรูปภาพทุกครั้ง ซึ่งเราได้ทำการทดสอบกับภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมด 9 ชุดซึ่งถูกถ่ายต่างเวลากัน บนบริเวณภาคกลาง-อีสาน ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สร้างจุดควบคุมภาคพื้นดิน

ในการตรวจสอบผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบรูปภาพของแต่ละอัลกอริทึม ผู้ใช้จะทำการตรวจสอบว่าภาพบนตำแหน่งผลลัพธ์ที่ได้มาจากอัลกอริทึม กับภาพของจุดควบคุมภาคพื้นดินกับใช้ภาพเดียวกันหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ผู้ใช้สามารถทำการแก้ไขโดยการเลือกตำแหน่งจุดบนภาพถ่ายดาวเทียมใหม่ ซึ่งเดิมที่ถ้าไม่มีการแก้ไขผลลัพธ์ ค่าความผิดพลาด (Error) จะมีค่าเป็น 0 แต่ถ้ามีการแก้ไขผลลัพธ์ค่าความผิดพลาดจะมีค่าใหม่ที่ได้จากการคำนวณสูตร

$$\text{Error} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4)$$

ซึ่ง (x_1, y_1) แทนตำแหน่งจุดพิกัดผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบรูปภาพ และ (x_2, y_2) แทนจุดพิกัดที่ผู้ใช้ทำการแก้ไข ซึ่งในกรณีนี้ เราจะถือว่าค่าพิกัดตำแหน่งผลลัพธ์ที่แท้จริงคือ based line evaluation ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ทั้ง 3 อัลกอริทึม

ในการตรวจสอบถ้าผู้ใช้พบเหตุการณ์ที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าผลลัพธ์การเปรียบเทียบรูปภาพที่อัลกอริทึมคำนวณออกมาได้คือผลลัพธ์ที่ถูกต้อง อาจด้วยปัจจัยการเปลี่ยนแปลงทางภูมิประเทศของรูปภาพ เมฆบัง ความเข้มของสีภาพบนภาพถ่ายดาวเทียมกับจุดควบคุมภาคพื้นดินมีความแตกต่างกัน เป็นต้น ผู้ใช้สามารถทำการลบผลลัพธ์การเปรียบเทียบรูปภาพที่ตำแหน่งนั้นได้ เพื่อป้องกันไม่ให้มีการนำผลลัพธ์ที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ไปใช้งานต่อไป

ประสิทธิภาพของ Phase Correlation ทำงานได้ไม่ดีในกรณีที่ภาพที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีค่ารบกวน (noise) สูง อยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หรือเมฆบัง ส่งผลให้อัลกอริทึมไม่สามารถตรวจสอบจุดที่เหมือนกันได้ ซึ่ง Phase Correlation มีเงื่อนไขในการจบการทำงานอยู่สองข้อคือ 1.ค่า Δx , Δy มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดทั้งสองค่า (ในการทดลองกำหนดเป็น ± 100) 2.หลังจากทำการเปรียบเทียบไปหลายครั้ง ถ้าพบว่าคำตอบจากการเปรียบเทียบในแต่ละครั้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทางที่ดีขึ้น ให้กำหนดว่าผลลัพธ์ของตำแหน่งนี้ไม่สามารถหาค่าได้ โดยให้กำหนดค่า Ref X, Ref Y เป็น NaN

(Not a Number) และในกรณีที่จุดเหล่านี้มีการแก้ไขพิกัดจากผู้ใช้ในการทำงานส่วนตรวจสอบผลลัพธ์ให้กำหนดค่าความผิดพลาด (Error) เป็น NaN เช่นกัน

5. ผลการทดลอง

5.1. ประสิทธิภาพการเปรียบเทียบของแต่ละอัลกอริทึม

จากการทดสอบกับภาพถ่ายดาวเทียมทั้ง 9 ชุด เราได้นำตารางผลลัพธ์ที่ได้จากผลสรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมทั้งสามชุด มาทำการหาค่าเฉลี่ยกันเพื่อทำการสรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม ซึ่งค่าในตารางผลสรุปเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมคือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดต่อจุดซึ่งเกิดจากผลรวมของค่าความผิดพลาดในแต่ละความถี่หารด้วยจำนวนภาพที่ผู้ใช้ทำการตรวจสอบได้และไม่มีค่าความผิดพลาดเป็น NaN

ตารางที่ 3 แสดงผลรวมค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดต่อจุดของอัลกอริทึม Sum of Squared Differences

รหัส	Sum of Squared Differences			
	Blue	Green	Red	Near-Infrared
232080	125.87	116.13	38.43	13.79
2404	125.94	93.55	54.22	52.55
3217	139.20	129.43	101.71	86.10
4191	130.52	128.69	101.93	116.09
4200	109.91	94.50	89.86	80.36
4333	86.98	63.42	59.12	46.26
4406	155.03	149.75	126.38	119.94
4476	102.66	105.03	90.78	85.32

6160	56.95	50.36	20.52	34.41
รวม	1033.07	930.86	682.95	634.81

ตารางที่ 4 แสดงผลรวมค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดต่อจุดของอัลกอริทึม Normalized Cross-Correlation

รหัส	Normalized Cross-Correlation			
	Blue	Green	Red	Near-Infrared
232080	35.37	16.67	35.20	13.16
2404	10.35	7.05	22.75	16.90
3217	27.53	16.45	33.18	36.95
4191	100.82	97.31	45.08	81.88
4200	56.09	57.56	50.44	103.85
4333	36.10	24.52	51.38	56.91
4406	151.24	127.50	116.39	126.64
4476	109.30	113.07	97.14	124.78
6160	47.43	37.65	22.32	37.35
รวม	574.22	497.76	473.89	598.41

ตารางที่ 5 แสดงผลรวมค่าเฉลี่ยค่าความผิดพลาดต่อจุดของอัลกอริทึม Phase Correlation

รหัส	Phase Correlation			
	Blue	Green	Red	Near-Infrared
232080	27.81	28.19	28.37	26.25
2404	5.76	5.59	5.50	6.50

3217	8.29	9.55	9.04	13.69
4191	21.23	5.68	5.28	8.00
4200	3.52	3.49	7.18	8.36
4333	17.19	18.24	17.42	17.34
4406	49.49	48.93	53.85	44.99
4476	55.44	48.70	43.39	55.61
6160	108.44	110.90	111.09	113.62
รวม	297.17	279.29	281.11	294.35

สรุปผลการทดลองของอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึมสรุปลงในตารางที่ 3-5 อัลกอริทึม Phase Correlation (ตารางที่ 4) มีความผิดพลาดรวมน้อยที่สุด จึงสรุปได้ว่าอัลกอริทึม Phase Correlation เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปภาพที่ดีที่สุดจากทั้งสามอัลกอริทึม

5.2. คุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมที่จะนำแก้ไขพิกัด

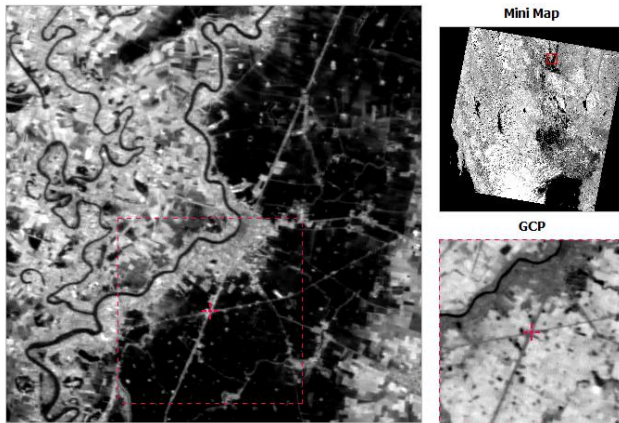
ภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาแก้ไขพิกัดควรเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่ไม่มีเมฆหมอกบังบริเวณตำแหน่งเดียวกันกับจุดควบคุมภาคพื้นดิน เพราะจะส่งผลให้อัลกอริทึมไม่สามารถตำแหน่งที่ของจุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการแก้ไขพิกัดได้

5.3. ความถี่ของภาพถ่ายดาวเทียมที่เหมาะสมต่อการเปรียบเทียบรูปภาพ

จากตารางที่ 3-5 แสดงให้เห็นว่าแต่ละอัลกอริทึมทำงานได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดบนความถี่ของภาพที่แตกต่างกัน ที่อัลกอริทึม Sum of Squared Differences ภาพถ่ายดาวเทียมความถี่ Near-Infrared มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปภาพที่ดีที่สุด ที่อัลกอริทึม Normalized Cross-

Correlation ภาพถ่ายดาวเทียมความถี่สีแดงมีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปภาพที่ดีที่สุด ที่อัลกอริทึม Phase Correlation ภาพถ่ายดาวเทียมความถี่เขียวและสีแดงมีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปภาพที่ดีที่สุด ซึ่งถ้านำผลรวมความผิดพลาดของแต่ละอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบกันจะพบได้ว่าความถี่สีแดงให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดน้อยที่สุด

แต่จากการทดลองพบว่าที่ภาพความถี่ Near-Infrared สายตามนุษย์สามารถมองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจนมากที่สุด แต่ค่าความผิดพลาดยังมากกว่าความถี่สีแดง เกิดจากกรณีที่รูปภาพที่ทำการเปรียบเทียบนั้นแตกต่างกันเกินไป เช่นภาพจุดควบคุมภาคพื้นดินมีบริเวณพื้นที่เป็นสีขาว แต่บนภาพถ่ายดาวเทียมนั้นพื้นที่เป็นสีดำแทนดังรูปที่ 4 ส่งผลให้อัลกอริทึมการเปรียบเทียบมีประสิทธิภาพต่ำและไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่แท้จริงได้



รูปที่ 5 แสดงภาพจุดควบคุมภาคพื้นดินพื้นเป็นสีขาว แต่บนภาพถ่ายดาวเทียมพื้นเป็นสีดำ

5.4. การเลือกใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบรูปภาพ

จากการทดลองที่จุดควบคุมภาคพื้นดินตำแหน่งเดียวกันแต่คนละชุด ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบรูปภาพที่ได้จะแตกต่างกัน ซึ่งจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการเปรียบเทียบรูปภาพ ควรจะต้องเลือกใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินที่สร้างจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ถ่ายทำในช่วงเวลา

เดียวหรือเดือนเดียวกันกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ต้องการแก้ไขพิกัด เพราะภาพถ่ายดาวเทียมของทั้งสองภาพจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน

6. สรุป

การออกแบบฐานข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดินและเทคนิคการเปรียบเทียบรูปภาพเป็นส่วนสำคัญในการจับคู่พิกัดแบบอัตโนมัติ ซึ่งสามารถช่วยลดภาระของมนุษย์ และความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ได้ จากการทดลองจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมต่างเวลาจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเปรียบเทียบรูปภาพ ความถี่ที่ดีที่สุดในการทำการเปรียบเทียบรูปภาพคือความถี่สีแดง อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปภาพที่ดีที่สุดคือ Phase Correlation โปรแกรมสามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ครบทุกข้อ แต่ในด้านประสิทธิภาพถือว่ายังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีนักเพราะผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบรูปภาพยังมีค่าความผิดพลาดสูง แต่ก็ยังเป็นแนวทางเริ่มต้นในการลดภาระในระดับหนึ่ง ถ้าเราสามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบรูปภาพที่แม่นยำยิ่งขึ้น ถึงเวลานั้น โปรแกรมจะช่วยลดภาระของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์จัดการและประยุกต์ใช้งานดาวเทียม สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มก. ที่ให้ความอนุเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการวิจัยในโครงการฉบับนี้ และขอขอบเจ้าหน้าเจ้าวิจัยที่ให้ความรู้ด้านภาพถ่ายดาวเทียม

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: โครงการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดาวเทียม

- อเนกประสงค์ขนาดเล็ก (Small Multi-Mission Satellite Project and Related Activities : SMMS). หน้า 2-3,7-8.
- [2] Jian Yang and Zhongming Zhao, “A Fast Geometric Rectification of Remote Sensing Imagery Based on Feature Ground Control Point Database”, International Journal of Computers, issue 1, vol. 3, pp. 133-142, 2009.
- [3] Q. H. Chen, X. G. Liu, W. Gao, T. L. Liu, “An Automatic Ground Control Point Matching Based on GCP Chip Database for Remote Sensing Images” in Image Analysis and Signal Processing, Taizhou, April 2009, pp. 13-17.
- [4] Xiuping Jia, “Automatic Ground Control Points Refinement For Remote Sensing Imagery Registration” in Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing Conference, Dec. 2005, pp. 145-149.
- [5] Taejung Kim and Yong-Jo Im, “Automatic Satellite Image Registration by Combination of Matching and Random Sample Consensus”, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, issue 5, vol. 41, pp. 1111-1117, May 2003.
- [6] Chahira Serief, Youcef Bentoutou, Mourad Barkat, “Automatic Registration of Satellite Images” in Advances in Satellite and Space Communications, Colmar, July 2009, pp. 85-89.
- [7] Tai Hu and Ligang Li, “A New Ground Control Point Image-chip Automatic Matching Method for Remote Sensing Image Location Processing” in IT in Medicine and Education (ITME), Cuangzhou, Dec. 2011, pp. 445-448.
- [8] S’ebastien Leprince: Measuring Horizontal Ground Deformation Using Optical Satellite Images, pp. 24-26, 12 May 2009.