

การปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพดาวเทียม

Geometric Corrections of Image Satellite

ธีระ ลาภิชชยางกุล

วศ.ม. (วิศวกรรมสำรวจ)

Theera Laphitchayangkul

M.Eng. (Surveying Engineering)

อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department of civil Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi,

คำสำคัญ : ภาพดาวเทียม, พิกัด, การปรับแก้ภาพ, การปรับแก้ทางเรขาคณิต

Key words : Image Satellite, Coordinate, Image Rectification, Geometric Corrections

บทนำ

ในการทำงานสำรวจระยะไกลภาพดาวเทียมถูกนำมาใช้ในการตรวจจับข้อมูลบนพื้นผิวภูมิประเทศเป็นหลักเพื่อนำมาใช้ในการแปลภาพถ่ายและสร้างแผนที่ของพื้นที่ที่ต้องการ ซึ่งภาพดาวเทียมที่ได้จากการตรวจจับภาพจะวางตัวตามแนววงโคจรของดาวเทียมที่หมุนรอบโลกอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ภาพดาวเทียมที่จะนำมาใช้ในการทำงานไม่ถูกต้องตรงกับความเป็นจริงและไม่สัมพันธ์กับลักษณะการวางตัวของพื้นผิวภูมิประเทศ ทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งได้อย่างแท้จริงในการบอกตำแหน่งของวัตถุ ดังนั้นในการนำภาพดาวเทียมไปใช้จึงต้องมีการปรับแก้ภาพ (Image Rectification) ให้มีความถูกต้องทางเรขาคณิตและมีตำแหน่งของวัตถุบนภาพที่สัมพันธ์กับบนพื้นผิวภูมิประเทศเสียก่อนแล้วจึงนำไปปรับแก้ความสว่างและจำแนกภาพดาวเทียมสำหรับแปลภาพแล้วสร้างออกมาเป็นแผนที่ ซึ่งกระบวนการ

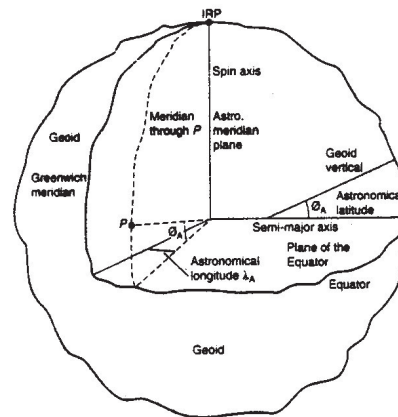
การปรับแก้ภาพจะเป็นการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพด้วยการกำหนดลักษณะพิกัดของบริเวณที่ต้องการด้วยหมุดควบคุมทางราบที่อ้างอิงจากหมุดหลักฐานแผนที่ในบริเวณที่ใช้งาน แล้วจึงทำการหาความสัมพันธ์ของค่าพิกัดภาพดาวเทียมและพิกัดแผนที่บนพื้นที่ทำการถ่ายภาพด้วยสมการแอฟฟายน์ทรานส์ฟอร์มชัน (Affine Transformations) เพื่อนำไปใช้ในการแปลงค่าพิกัดระหว่างบนภาพดาวเทียมและบนภูมิประเทศจริงให้มีความถูกต้องเป็นจริงสำหรับการนำไปใช้ในการทำงานได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งยังทำให้ภาพดาวเทียมมีการวางตัวที่ถูกต้องและสัมพันธ์กับพื้นที่บริเวณนั้น จากวิธีการดังกล่าวผู้ใช้งานภาพดาวเทียมจึงต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับระบบค่าพิกัด ควบคุมทางราบ ระบบสมการในการปรับแก้และวิธีการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพดาวเทียมเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

ระบบพิกัด

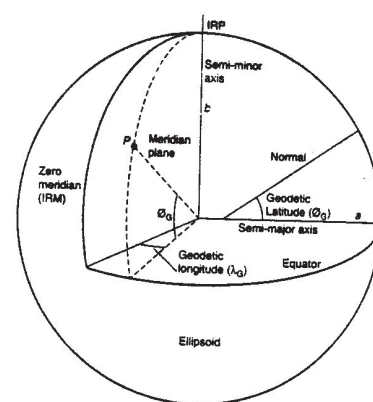
พิกัดเป็นการบอกตำแหน่งของวัตถุบนพื้นผิวภูมิประเทศที่อ้างอิงจากจุดกำเนิดที่กำหนดไว้เป็นสากล ซึ่งรับรู้กันทั่วไป โดยปกติทั่วไประบบพิกัดนี้จะเป็นค่าของตัวเลขหรือค่ามุมในแนวแกนเหนือใต้และออกตกจากจุดกำเนิด ในการทำงานสำรวจจะมีการแบ่งระบบพิกัดที่ใช้ในการทำงานออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ด้วยกัน คือ (ยรรยง, 2537)

1. ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographical Coordinate) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบพิกัดดาราศาสตร์ เป็นระบบพิกัดบนพื้นผิวโลก ที่กำหนดค่าพิกัดจากแนวขั้วโลกที่กำหนดขึ้นจากสภาพเป็นจริง โดยค่าพิกัดจะวัดตามแนวเส้นรุ้ง (Latitude - ϕ_A) ที่นับออกจากเส้นศูนย์สูตรที่ 0 องศา ไปทางขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ 90 องศา โดยมีสัญลักษณ์ N และ S ตามลำดับ กำกับหลังตัวเลขในการใช้ทุกครั้ง คือ 90°N, 90°S และตามแนวเส้นแวง (Longitude - λ_A) ที่นับจากเมืองกรีนนิชที่มีค่าศูนย์องศาไปทางตะวันออกและตะวันตก 180 องศา โดยมีสัญลักษณ์ E และ W ตามลำดับ กำกับหลังตัวเลขในการใช้ทุกครั้ง คือ 180°E, 180°W ซึ่งระบบพิกัดแบบนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในการทำงานสำรวจขั้นสูงหรืองานดาราศาสตร์ที่ต้องการความถูกต้องสูง
2. ระบบพิกัดยี่ห้อเดค (Geodetic Coordinate) เป็นพิกัดบนพื้นผิวโลกซึ่งได้คำนวณค่าพิกัดดาราศาสตร์ (ϕ_A, λ_A) ให้อยู่ในระบบภาพฉาย (Projection) นั้นๆ ของแต่ละประเทศเพื่อให้แนบสนิทกับพื้นผิวภูมิประเทศของแต่ละประเทศที่สมมุติให้เป็นรูปทรงรี (Ellipsoid) เป็นพิกัดยี่ห้อเดคที่เป็นค่ามุมในแนวเหนือใต้และออกตก (ϕ_G, λ_G) ตามระบบภาพฉายนั้นๆ และสามารถแปลงค่าพิกัดดังกล่าวไปเป็น

ค่าพิกัดฉาก (x, y) จากค่าคงที่ที่ได้คำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยระบบพิกัดฉากที่รู้จักกันดีก็คือ ระบบพิกัดฉาก UTM (Universal Transverse Mercator) ดังนั้นระบบพิกัดยี่ห้อเดคที่ถูกแปลงให้อยู่ในระบบพิกัดฉากที่อ้างอิงจากพื้นผิวสมมติจะถูกนำมาใช้ในงานสำรวจทั่วไป



a)



b)

รูปที่ 1 ลักษณะของระบบพิกัด a) ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ b) ระบบพิกัดยี่ห้อเดค (ยรรยง, 2537)

จากระบบพิกัดดังกล่าวทั้ง 2 แบบจะพบว่าในการทำงานสำรวจพื้นราบ สำรวจภาพถ่ายทางอากาศและสำรวจระยะไกล จะใช้ระบบพิกัดจากเป็นส่วนใหญ่ที่ได้จากการแปลงจากระบบพิกัดยี่ห้อเดิมที่อ้างอิงจากพื้นผิวโลกสมมติในการบอกตำแหน่งของรายละเอียดบนภาพที่สัมพันธ์กับพื้นผิวภูมิประเทศในการทำงานสำรวจ ซึ่งค่าพิกัดที่ใช้จึงต้องมีมูลหลักฐานทางราบ (Horizontal Control Point) บนภาพถ่ายดาวเทียมที่เห็นได้ชัดเจนในบริเวณที่ทำการถ่ายภาพบนพื้นผิวภูมิประเทศแล้วจึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมกับพื้นผิวภูมิประเทศจากระบบสมการ

หมุดควบคุมและระบบสมการ

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดทั้ง 2 แบบที่มีจุดกำเนิดไม่เหมือนกันจำเป็นต้องทราบค่าพิกัดของหมุดควบคุมที่ตำแหน่งเดียวกันในระบบพิกัดทั้งสองแบบนั้น ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการปรับแก้เพื่อหาตัวแปรที่เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดทั้ง 2 ระบบจากรายละเอียดที่ปรากฏบนภาพถ่ายดาวเทียมจะมีตำแหน่งของวัตถุเดียวกันกับพื้นผิวภูมิประเทศ ดังนั้นตำแหน่งที่จะเลือกให้เป็นหมุดควบคุมบนพื้นดินจะต้องเป็นตำแหน่งที่มีความชัดเจน เห็นเด่นชัดบนภาพและสามารถเข้าถึงได้บนพื้นผิวภูมิประเทศ โดยที่จำนวนของหมุดควบคุมควรมีประมาณ 3-5 หมุด (Welch et al., 1985) แต่ถ้าจำนวนหมุดควบคุมมีจำนวนมากขึ้นความถูกต้องของตัวแปรในการแปลงค่าพิกัดระหว่างบนภาพกับพื้นผิวภูมิประเทศจะมีความถูกต้องสูงขึ้นแต่การปรับแก้จะมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังตารางที่ 1 เป็นลักษณะของสมการและจำนวนหมุดควบคุมที่ต้องการใช้ในการปรับแก้เพื่อแก้สมการหาตัวแปรในการหาความสัมพันธ์ของค่าพิกัดสำหรับการแปลงค่าพิกัดทั้งสองระบบ ถ้าในการทำงานใช้จำนวนหมุดควบคุมมากกว่าที่ระบบสมการต้องการการปรับแก้จะต้องใช้วิธีการปรับแก้แบบลีสทาส์แควร์สำหรับหาค่าตัวแปรจากจำนวนระบบสมการที่มากกว่าค่าที่ต้องการทราบในการคำนวณปรับแก้

ตารางที่ 1 รูปแบบสมการหลายตัวแปรในการตัดแก้ภาพ. (David L. Verbyla., 1995)

กำลัง	รูปแบบสมการ	จำนวน น้อยสุดของ จุด GCPs ที่ต้องการ
1	$\bar{X} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y$ $\bar{Y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y$	3
2	$\bar{X} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot x^2 + a_4 \cdot x \cdot y + a_5 \cdot y^2$ $\bar{Y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3 \cdot x^2 + b_4 \cdot x \cdot y + b_5 \cdot y^2$	6
3	$\bar{X} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y + a_3 \cdot x^2 + a_4 \cdot x \cdot y + a_5 \cdot y^2 + a_6 \cdot x^3 + a_7 \cdot x^2 \cdot y + a_8 \cdot x \cdot y^2 + a_9 \cdot y^3$ $\bar{Y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3 \cdot x^2 + b_4 \cdot x \cdot y + b_5 \cdot y^2 + b_6 \cdot x^3 + b_7 \cdot x^2 \cdot y + b_8 \cdot x \cdot y^2 + b_9 \cdot y^3$	10

ลักษณะความผิดพลาดทางเรขาคณิตของภาพ

จากความรู้เรื่องระบบพิกัดและการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิกัดทั้งสองระบบจากสมการที่นำมาใช้ในการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งในงานสำรวจระยะไกลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากการถ่ายพื้นที่บริเวณที่ต้องการจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นซึ่งความผิดพลาดเหล่านี้จะต้องทำการปรับแก้เสียก่อนการนำไปใช้งานให้มีความถูกต้องไม่เช่นนั้นค่าพิกัดต่างๆ บนภาพจะไม่สามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงได้อย่างถูกต้อง โดยความผิดพลาดทางเรขาคณิตของภาพจะเกิดจากแหล่งข้อมูลและระบบการถ่ายภาพซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

1. ความผิดพลาดทางเรขาคณิตจากภายใน (Internal Geometric Error) เป็นความผิดพลาดจาก

ระบบการสำรวจระยะไกลของเครื่องที่ทำ การบันทึกภาพที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบจาก การบินถ่ายภาพ, การหมุนของระบบการ กวาดภาพและการหมุนรอบตัวและความโค้ง ของโลก สิ่งเหล่านี้มีผลต่อความผิดพลาด ที่เกิดขึ้นที่ทำให้ภาพมีค่าของขนาดจุดภาพ ไม่เท่ากัน ระบบของสี่ที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งความถูกต้องทางเรขาคณิตของวัตถุ บนภาพ

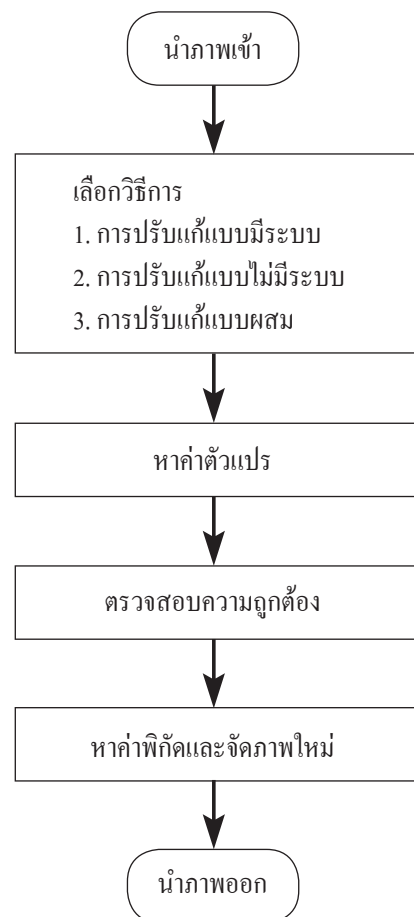
2. ความผิดพลาดทางเรขาคณิตจากภายนอก (External Geometric Error) เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นตามเวลาและธรรมชาติที่ไม่สามารถ ควบคุมได้ โดยจะมีผลเกี่ยวข้องกับ ความสูงของดาวเทียมหรือเครื่องบินที่ทำ การถ่ายภาพอย่างชัดเจนในด้านการแกว่งของ เครื่องทางแกน x, y และ z, การเลื่อนและการ บิดเบี้ยว รวมทั้งขนาดของภาพเมื่อความ สูงต่างกันออกไป

จากความผิดพลาดทั้ง 2 แบบจะพบว่าความ ผิดพลาดทางเรขาคณิตจากภายในเป็นลักษณะความ ผิดพลาดจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงานและระบบ ถ่ายภาพของเครื่องมือที่สามารถควบคุมได้จากการ ปฏิบัติงานตามขั้นตอนและตามข้อกำหนดของเครื่อง ถ่ายภาพในการทำงานซึ่งถ้าปฏิบัติตามก็จะทำให้ค่า ความผิดพลาดลดลงในระดับหนึ่ง ส่วนความผิดพลาดทางเรขาคณิตจากภายนอกเป็นความผิดพลาดที่แฝงและไม่สามารถ ควบคุมได้ซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับแก้เพื่อให้ค่าความ ผิดเหล่านั้นลดลงหรือเท่ากับศูนย์ในระดับความถูกต้อง ที่ยอมรับได้ที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

รูปแบบการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพ (Types of Geometric Correction)

จากความผิดพลาดทางเรขาคณิตของภาพดาวเทียม ทั้งภายในและภายนอกของภาพดาวเทียมเช่นลักษณะ การวางตัวและความถูกต้องของตำแหน่งวัตถุบนภาพ

จะถูกนำมาปรับแก้ทางเรขาคณิตเพื่อให้ความเพี้ยนเชิง เรขาคณิตของภาพดาวเทียมเชิงเลขหมดไป โดยกระบวนการปรับแก้จะหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพกับพื้นดิน หรือภาพกับแผนที่จากการกำหนดตำแหน่งที่เหมือนกัน ทั้งสองภาพด้วยหมุดควบคุมพื้นดินแล้วจึงทำการปรับแก้ เพื่อหาค่าความสัมพันธ์จากสมการ โดยมีขั้นตอนดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการปรับแก้เรขาคณิตของภาพ
(JARS, 1996)

ซึ่งจากลักษณะการปรับแก้ทางเรขาคณิตจึงเป็น ความสัมพันธ์ของค่าพิกัดและตำแหน่งของจุดที่เหมือน บนภาพหรือแผนที่ในระบบพิกัดทั้งสองแบบให้ค่าพิกัด

บนภาพสัมพันธ์กับพิกัดบนภูมิประเทศที่ตำแหน่งเดียวกัน สำหรับนำไปปรับแก้ภาพดาวเทียมทั้งภาพ ซึ่งลักษณะของรูปแบบการปรับแก้ทางเรขาคณิตมี 2 แบบคือ (John R. Jensen., 2005; John A. Richards and Xiuping Jia, 2005)

1. การปรับแก้ทางเรขาคณิตระหว่างภาพกับภาพ (Image to Image Rectification) ที่จะหาความสัมพันธ์ของภาพดาวเทียม 2 ภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ณ สถานที่เดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบและดูการเปลี่ยนแปลงของวัตถุบนภาพ
2. การปรับแก้ระหว่างแผนที่กับภาพ (Image to Map Rectification) เป็นกระบวนการปรับเรขาคณิตของภาพทางด้านพื้นที่ ที่ศทางและระยะทางบนภาพให้สัมพันธ์กับแผนที่ที่ใช้ในการอ้างอิงด้วยการกำหนดหาควคุม สำหรับการจัดการและวางแผนในพื้นที่

โดยการเลือกรูปแบบการปรับแก้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ความต้องการข้อมูลและข้อมูลที่จะเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าพิกัด เมื่อเลือกรูปแบบได้ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพดาวเทียม โดยมีขั้นตอนในการปรับแก้ที่สำคัญคือการเลือกวิธีการในการปรับแก้จากรูปที่ 2 หลังจากนั้นภาพเข้าสู่การปรับแก้เพื่อหาความสัมพันธ์และปรับแก้ความผิดพลาดทางของเรขาคณิตของภาพ ซึ่งมีวิธีการปรับแก้ด้วยกัน 3 แบบ (JARS, 1996) คือ

1. การปรับแก้แบบมีระบบ (Systematic Correction) เป็นการปรับแก้ทางเรขาคณิตของเครื่องบินหรือเครื่องบินที่มีความเพี้ยนอย่างมีระบบตามทฤษฎี ของเลนส์ ความยาวโฟกัสและจุดคั่น (fiducial mark) เป็นต้นที่สามารถแก้ไขได้เบื้องต้นก่อนการทำงาน
2. การปรับแก้แบบไม่มีระบบ (Non - Systematic Correction) เป็นการนำสมการมาใช้ในการปรับแก้ภาพจากระบบหนึ่งไปอีกระบบหนึ่ง โดยใช้

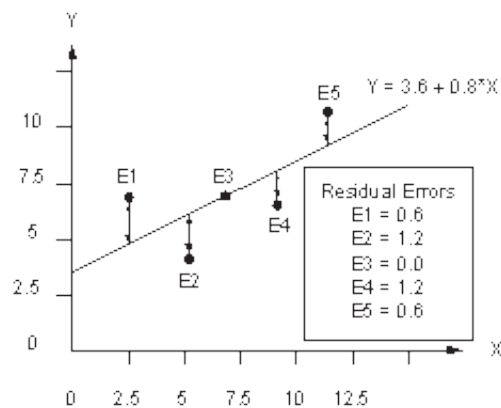
วิธีการลีสท์สแควร์ในการหาค่าตัวแปรเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ในการปรับแก้ ซึ่งการปรับแก้จะใช้สมการอยู่ด้วยกัน 2 แบบ (David L. Verbyla., 1995) คือ

2.1 รูปแบบสมการเส้นตรง (liner models)

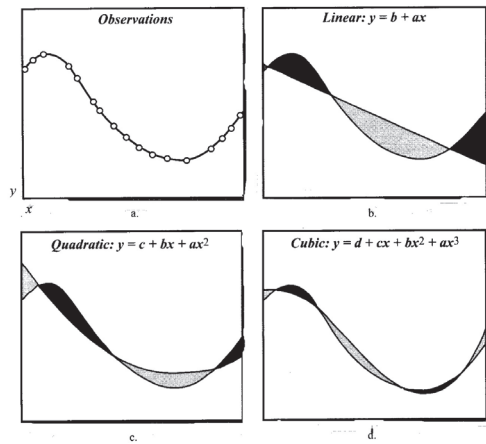
2.2 รูปแบบสมการหลายตัวแปร (polynomial models)

2.1 รูปแบบสมการเส้นตรง

เป็นการนำสมการเส้นตรงที่อยู่ในรูปของ $Y = a + bX$ มาทำการแปลงค่าพิกัดบนเส้นตรงเมื่อ Y เป็นค่าที่ได้มาจากตัวแปร X โดยที่ b เป็นความชันของเส้นตรงและ a เป็นจุดตัดแกน Y เมื่อ X เท่ากับศูนย์ จากตัวอย่างดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นจุด 5 จุดที่รู้ค่าพิกัด x, y เมื่อแปลงพิกัดให้ทุกจุดอยู่บนสมการเส้นตรงจะพบว่า ทั้ง 5 จุดจะมีค่าเศษเหลือ (residual error) เกิดขึ้นจากระยะทางจากจุดที่ห่างจากสมการเส้นตรงซึ่ง ถ้าค่าความผิดรวมน้อยก็ยิ่งจะทำให้แนวเส้นที่แปลงค่าพิกัดเข้าสู่เส้นตรงมีค่าดียิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกันถ้าสมการที่ใช้เป็นสมการในรูปกำลังสอง (Quadratic) หรือกำลังสาม (Cubic) แบบไม่เชิงเส้นดังรูปที่ 4 เมื่อสมการกับค่าพิกัดของแต่ละจุดใกล้เคียงกันมากก็จะทำให้ค่าเศษเหลือ (residual error) ลดลงทำให้สมการมีความใกล้เคียงกับตำแหน่งยิ่งขึ้น



รูปที่ 3 รูปแบบสมการเส้นตรงจากการวัดค่าของจุดทั้ง 5 จุด.



รูปที่ 4 วิธีการกำหนดสมการพื้นผิวจากค่าสังเกต a) ค่าสังเกตจากการรังวัด b) รูปแบบสมการกำลัง 1 ในการกำหนดสมการจากค่าสังเกต c) รูปแบบสมการกำลัง 2 ในการกำหนดสมการจากค่าสังเกต d) รูปแบบสมการกำลัง 3 ในการกำหนดสมการจากค่าสังเกต. (John R. Jensen. 2005 : 266-276)

2.2 รูปแบบสมการหลายตัวแปร

โดยปกติในการทำงานแปลงค่าพิกัด 2 แบบของภาพดาวเทียมเพื่อปรับแก้เรขาคณิตของภาพนั้นจะใช้สมการ Affine Transformation ซึ่งในสมการจะประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่มีกำลังหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับมาตราส่วน (Scale) การเลื่อน (Translation) การหมุน (Rotation) หรือการบิดเบี้ยว (Skew) ประกอบในตัวแปรตามสมการที่ 1 มีรูปแบบดังนี้

$$\bar{X} = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot y \text{ และ } \bar{Y} = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y \quad (1)$$

โดย

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ = ค่าพารามิเตอร์ของสมการ
Affine Transformation

$\bar{X}, \bar{Y}$ = ค่าพิกัดบนแผนที่

x, y = ค่าพิกัดบนภาพ

ดังนั้นจากสมการที่ 1 จะพบว่าจะมีพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า 6 ตัวแปรจึงต้องมีหาคำควบคุมทางพื้นดินอย่างน้อย

3 จุดในการแก้สมการหาค่าตัวแปร อีกทั้งยังสามารถแปลงค่าพิกัดแผนที่ที่กลับไปยังพิกัดบนภาพได้อีกด้วยจากสมการที่ 1 เมื่อแปลงกลับจะได้สมการที่ 2 ดังนี้

$$x = a_0 + a_1 \cdot \bar{X} + a_2 \cdot \bar{Y} \text{ และ } y = b_0 + b_1 \cdot \bar{X} + b_2 \cdot \bar{Y} \quad (2)$$

ผลจะทำให้สามารถหาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งในการแปลงค่าพิกัด เมื่อได้ตำแหน่งของภาพที่ได้ปรับแก้เรขาคณิตของภาพแล้วแปลงกลับมาให้อยู่ในรูปของพิกัดบนจุดภาพที่เรียกว่า รากความผิดพลาดกำลังสอง (Root-Mean-Square Error; RMS_{error}) ที่ได้จากสมการ

$$RMS_{error} = \sqrt{(x' - x_{orig})^2 + (y' - y_{orig})^2} \quad (3)$$

โดย

x', y' = ค่าพิกัดจากการคำนวณจาก GCP
กลับไปบนภาพ,

x_{orig}, y_{orig} = ค่าพิกัดบนภาพเดิม

จึงทำให้การทำงานสามารถตรวจสอบค่าพิกัดที่ได้แปลงแล้วว่ามีค่าความถูกต้องมากหรือน้อยจากค่าพิกัดเดิมก่อนการปรับแก้ จากตัวแปรที่ได้หาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อนำมาใช้แปลงค่าพิกัดในสมการ

3. การปรับแก้แบบผสม (Combined Method) เป็นการปรับแก้โดยเริ่มต้นจากการปรับแก้แบบมีระบบและใช้สมการจากการปรับแก้แบบไม่มีระบบต่อเพื่อลดความผิดพลาดที่ยังมีอยู่ในการปรับแก้แบบมีระบบที่หาค่าความผิดพลาดลดลงแล้วเมื่อนำมาปรับแก้ด้วยวิธีการปรับแก้แบบไม่มีระบบอีกครั้งมีค่าน้อยลงหรือเท่ากับศูนย์

หลังจากการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพจะได้ตำแหน่งของจุดต่างๆ บนภาพใหม่และลักษณะการวางตัวของภาพจะสัมพันธ์กับภูมิประเทศ โดยที่ค่าความสว่างของจุดภาพบนภาพก็จะถูกปรับแก้เพื่อประมาณค่าใหม่จากการเทียบค่าพิกัดใหม่จากภาพเดิมเพื่อหาค่าความสว่างบนภาพใหม่ โดยเรียกวิธีการนี้ว่า resampling ซึ่งมีลักษณะการทำงานอยู่ 3 วิธีคือ (Jörg and Walter, 1989:253-254)

ดังนี้

- 1) Nearest neighbour เป็นการสุ่มระดับสีจากจุดภาพเก่าที่อยู่ใกล้เคียงกับจุดภาพใหม่ที่พิจารณาในภาพเก่า
 - 2) Bilinear interpolation เป็นการสุ่มระดับสีที่จะพิจารณาจุดภาพเก่าที่อยู่รอบๆ 4 จุดภาพของจุดภาพใหม่ที่พิจารณา
 - 3) Bicubic spline คล้ายกับวิธี Bilinear interpolation แต่จะพิจารณาจุดภาพเก่าที่อยู่รอบๆ จุดภาพใหม่ที่พิจารณาโดยขึ้นอยู่กับ 16 จุดภาพบนภาพเก่าที่ใกล้เคียงจุดภาพใหม่
- ภาพที่ถูกปรับแก้ทางเรขาคณิตและปรับแก้ค่าความสว่างใหม่แล้วก็สามารถนำไปอ้างอิงได้อย่างถูกต้องในการทำงานด้านแผนที่ต่อไป

สรุป

การนำภาพดาวเทียมมาใช้ในการทำแผนที่หรืออ้างอิงตำแหน่งในบริเวณที่ทำการถ่ายภาพจะต้องทำการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพดาวเทียมเพื่อให้ค่าพิกัดและการวางตัวของภาพดาวเทียมให้สัมพันธ์กับภูมิประเทศอย่างถูกต้อง ซึ่งในการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพจะปรับแก้ทั้งวิธีการปฏิบัติงานในการถ่ายภาพตามข้อกำหนดให้ถูกต้องเพื่อลดค่าความผิดพลาดเนื่องจากการทำงานและการคำนวณจากสมการที่นำมาใช้ในการหาค่าพิกัดเพื่อให้ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งบนภาพมีค่าน้อยที่สุดหรือเท่ากับศูนย์ ในระดับที่ยอมรับได้ที่สามารถนำไปใช้งานได้ในแต่ละลักษณะของงานที่ผู้ใช้งานต้องการ ดังนั้นถ้าผู้ปฏิบัติงานและผู้ใช้งานทำการปรับแก้ทางเรขาคณิตของภาพดาวเทียมแบบผสมก็คือ ทำการปรับแก้แบบมีระบบและต่อเนื่องด้วยการปรับแก้แบบไม่มีระบบ มาใช้ร่วมกัน อีกทั้งเข้าใจขั้นตอนการทำงานและวิธีการหาค่าพิกัดตำแหน่งบนภาพดาวเทียมก็จะทำให้ภาพมีความถูกต้องก่อนนำไปใช้งานเป็นผลทำให้การทำงานรวดเร็วประหยัดค่าใช้จ่าย และได้งานที่มีความถูกต้องสูง

บรรณานุกรม

- ยรรยง ทรัพย์สุทธอำนวย. (2537). วิชาการสำรวจ. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ.
- David L. Verbyla. (1995). Satellite remote sensing of natural resources. U.S.A.: CRC press, Inc.
- Japan Association of Remote Sensing (JARS). (1996). Remote Sensing Note. National Space Development Agency of Japan (NASDA) / Remote Sensing Technology Center of Japan (RESTEC)
- John R. Jensen. (2005). Introductory Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective. U.S.A.: Pearson Prentice Hall.
- John A. Richards and Xiuping Jia (2005). Remote Sensing Digital Image Analysis. 4th ed. . Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- JÖrg Albertz and Walter Kreling. (1989). Photogrammetric Guide. Germany: Herbert Wichmann.
- Welsh, R., Jordan, R. and M. Ehlers. (1985). Comparative Evaluation of the Geodetic Accuracy and Cartographic Potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Image Data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 51(11) : 1799-1812, 51: 1249-1262