บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การหลอมข้อมูล (Fusion)

Vandermeer (1997) ได้กล่าวไว้ว่า การหลอมภาพ หรือการรวมภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกัน ได้ถูกประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ หลากหลายสาขา ของการสำรวจจากระยะไกล บ่อยครั้งที่จุดมุ่งหมาย เพื่อเพิ่มสามารถในการมองเห็นข้อมูล เช่นภาพผลลัพธ์จากการรวมกันของภาพรายละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำแต่มีรายละเอียดเชิงคลื่นสูง กับภาพที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่สูง ผลที่ได้ก็คือ สามารถปรับปรุงให้ภาพชุดใหม่ที่ได้ มีความสวยงามขึ้น โดยการนำวิธีการทางสถิติมาคำนวณหาวาริโอแกรม (Variogram) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของรายละเอียดภาพ ไม่มีผลต่อค่ากลางเฉลี่ย (Mean) และ ค่ามัธยฐาน (Median) ของฮิสโตแกรมของภาพ แต่มีผลทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และการแผ่ออกของกราฟลดลง ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงของการแผ่ออก จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางพื้นที่ของภาพ สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เช่น มีความต่อเนื่องทางพื้นที่ ทำให้มีช่วงการกระจายของข้อมูลน้อย การแผ่ออกของกราฟจะลดลงมากกว่าข้อมูลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สรุปได้ว่า การหลอมภาพ มีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงรายละเอียดของการมองเห็น และการตีความ พบว่าจะประสบความสำเร็จในข้อมูลที่เป็นเนื้อเดียวกัน มากกว่าที่มีเนื้อต่างกัน

การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2540) การสำรวจระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่ใช้ในการบ่งบอก จำแนก หรือวิเคราะห์ คุณลักษณะของวัตถุต่าง ๆ โดยปราศจากการสัมผัสโดยตรง โดยการใช้เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ (Remote Sensor) ที่ติดตั้งกับยานสำรวจ (Platform) ดังนั้นจึงสามารถหาคุณลักษณะของวัตถุได้ จากลักษณะการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้น ๆ ซึ่ง วัตถุแต่ละชนิด จะมีลักษณะการสะท้อนแสง หรือการแผ่รังสีเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ คลื่นรังสี (Spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) การเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

คุณลักษณะของข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ศึกษา

ระบบบันทึกข้อมูล (Sensor) สามารถพิจารณาแบ่งออกได้เป็นหลายระบบ ได้แก่

1. Photographic System and Electronic System เชาวลิต ศิลปทอง (2546) ได้กล่าวว่า ในการสำรวจข้อมูลระยะไกลนั้น แยกระบบเครื่องมือบันทึกข้อมูลตามสื่อบันทึกได้ 2 แบบ คือ Photographic System และ Electronic System โดยในส่วนของ Photography ค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เคลือบบนแผ่นฟิล์ม ทำให้เกิดความแตกต่างตามพลังงานและช่วงคลื่นที่ได้รับ โดยข้อมูลที่ได้ออกมาเรียกว่า Photograph เป็นระบบกล้องถ่ายภาพ (Photographic Camera) นั่นเอง ระบบนี้มีความสามารถบันทึกช่วงคลื่นระหว่าง 0.3-0.9 ไมครอนเท่านั้น ส่วนระบบ Electronic นั้น ค่าพลังงานจะถูกบันทึกในลักษณะสัญญาณไฟฟ้าหรือข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital) ซึ่งจะให้ข้อมูลออกมาเรียกว่า Image ระบบบันทึกข้อมูลแบบนี้รวมเรียกว่า Scanner ระบบนี้สามารถบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นกว้างกว่า ตั้งแต่ 0.3-14 ไมครอน

2. Passive Sensor and Active Sensor เชาวลิต ศิลปทอง (2546) กล่าวว่า หากพิจารณาจากแหล่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราสามารถแบ่งระบบบันทึกได้ 2 รูปแบบเช่นกัน ได้แก่ Passive Sensor เป็นระบบบันทึกข้อมูลพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งภายนอกหรือจากธรรมชาติ ซึ่งแหล่งพลังงานธรรมชาติที่สำคัญได้แก่ดวงอาทิตย์นั่นเอง เป็นระบบการสำรวจข้อมูลจากระยะไกลที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วไป ในขณะที่ Active Sensor เป็นระบบที่สร้างพลังงานขึ้นมาแล้วส่งออกไปยังเป้าหมายแล้วรับพลังงานที่สะท้อนกลับจากเป้าหมายนั้น ที่รู้จักกันดีได้แก่ ระบบเรดาห์ (Radar)

3. Multispectral Scanner เชาวลิต ศิลปทอง (2546) อธิบายว่าเป็นระบบบันทึกข้อมูลที่ใช้งานอย่างกว้างขวางในทางการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล คือ ระบบกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner) ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่าง ๆ ระหว่าง 0.3-14 ไมครอน (ช่วงคลื่นตามองเห็น อินฟราเรดใกล้ อินฟราเรดกลาง และช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน)

4. Imaging Radar (SAR) เชาวลิต ศิลปทอง (2546) อธิบายว่า คือ ระบบถ่ายภาพเรดาห์ (Imaging Radar) เป็นระบบบันทึกข้อมูลแบบ Active ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นความถี่ระหว่าง 3-12.5 GHz (ความยาวคลื่นระหว่าง 2.4-100 เซนติเมตร) ระบบทำการผลิตและส่งช่วงคลื่นหรือสัญญาณ Microwave ออกไปยังเป้าหมายและรับสัญญาณการสะท้อนกลับ การทำงานระบบนี้จะต้องอาศัยจานที่ทำหน้าที่ส่ง และรับสัญญาณไว้ในตัวสลับหน้าที่ส่งหรือรับอย่างละครั้ง (Pulse) สัญญาณที่กลับมาจากวัตถุจะต้องถูกบันทึกเอาไว้

5. Ground Resolution & Pixel เชาวลิต ศิลปทอง (2546) ได้อธิบายว่า คือหลักการบันทึกในลักษณะข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) ดังนั้นความหยาบละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(Spatial Resolution) จึงขึ้นกับรายละเอียดภาคพื้นดิน (Ground Resolution) ซึ่งหมายถึงขนาดของพื้นที่ที่เล็กที่สุดที่จะมองเห็นด้วยดาวเทียม หมายความว่าเป็นกรอบพื้นที่ขนาดเล็กที่สุดที่จะถูกแทนที่ด้วยค่าเชิงตัวเลข 1 ค่า โดยเป็นค่าพลังงานรวมของการสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่รวมกันในกรอบดังกล่าวนั้น เช่น ข้อมูลรายละเอียด 20 เมตร หมายถึงว่าแต่ละจุดขนาด 20 เมตร บนภาคพื้นดินจะมีค่าสะท้อนรวมเพียง 1 ค่า เป็นตัวแทนของวัตถุในกรอบนั้น ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาสร้างภาพ(แสดงในลักษณะความเข้มหรือค่าระดับสีเทา (Intensity or Gray Scale) โดยแต่ละจุดบนภาพ เรียกว่า Pixel หรือ Picture Element ดังนั้นหากต้องการให้ได้รายละเอียดของข้อมูลมากก็จะต้องให้ขนาดของ Ground Resolution มีขนาดเล็ก

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

1. ดาวเทียม Landsat

สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ (2546) อธิบายว่า ดาวเทียม Landsat -1 ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี 2515 นับเป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของโลก พัฒนาโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Aeronautics and Space Administrator-NASA) ต่อมาโครงการนี้ได้โอนกิจการให้ EOSAT ซึ่งเป็นบริษัทเอกชน เพื่อดำเนินการเชิงพาณิชย์ ปัจจุบันดาวเทียมดวงที่ยังคงปฏิบัติการอยู่คือ ดาวเทียม Landsat-5 ระบบเก็บข้อมูลที่สำคัญของดาวเทียม Landsat มี 2 ระบบ คือ ระบบ MSS (Multispectral Scanner) มี 4 ช่วงคลื่น คือ แบนด์ 4 และ 5 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศ ทางน้ำ ถนน แหล่งชุมชน การใช้ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ ป่าไม้ พื้นที่เพาะปลูก แบนด์ 6 และ 7 ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างพื้นดินกับพื้นน้ำ พื้นที่น้ำท่วม ธรณีสัณฐานและธรณีโครงสร้าง ข้อมูล MSS 1 ภาพครอบคลุมพื้นที่ 185 x 185 ตารางกิโลเมตร มีรายละเอียดข้อมูล (Resolution)80 x 80 เมตร อีกระบบหนึ่งที่ได้รับการปรับปรุงให้ได้รายละเอียดดีกว่า MSS คือ ระบบ TM (Thematic Mapper) มีการบันทึกข้อมูลใน 7 ช่วงคลื่น โดยช่วงคลื่นที่ 1-3 หรือ แบนด์1-3 เหมาะสำหรับใช้ในการทำแผนที่บริเวณชายฝั่งและจำแนกความแตกต่างระหว่างดินกับพืชพรรณ แบนด์ 4 ใช้กำหนดปริมาณของมวลชีวภาพ (Biomass) และจำแนกแหล่งน้ำ แบนด์ 5 ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นของดิน ความแตกต่างระหว่างเมฆกับหิมะ แบนด์ 6 ใช้หาแหล่งความร้อน แบนด์ 7 ใช้จำแนกชนิดของหิน และการทำแผนที่แสดงบริเวณ Hydrothermal มีรายละเอียดข้อมูล 30 เมตร (ยกเว้นแบนด์ 6 มีรายละเอียด 120 เมตร)

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2548 ก) ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า ปัจจุบัน Landsat-7 เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติของสหรัฐอเมริกา โดยมีหน่วยงานรับผิดชอบ 3 หน่วยงาน คือ NASA (National Aeronautic and Space Administration), NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) และ USGS (United States of

Geological Survey) ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2542 ตัวดาวเทียมมีขนาดความยาว 159 นิ้ว และเส้นผ่าศูนย์กลาง 108 นิ้ว, แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด 89 นิ้ว ×126 นิ้ว และมีน้ำหนัก 2,150 กิโลกรัม Landsat-7 มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูลหลายช่วงคลื่น (Multispectral) ที่ให้รายละเอียด 30 เมตร, ช่วงคลื่นความร้อนให้รายละเอียด 60 เมตร และระบบบันทึกข้อมูลช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic) ให้รายละเอียด 15 เมตร

2. ดาวเทียม SPOT

สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ (2546) อธิบายว่า ดาวเทียม SPOT (Le System Probatoire d' Observation de la Terre) อยู่ในความรับผิดชอบของสถาบันอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส ร่วมกับประเทศในกลุ่มยุโรป อุปกรณ์บันทึกข้อมูลของดาวเทียม SPOT ประกอบด้วย High Resolution Visible (HRV) จำนวน 2 กล้อง คือระบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral Mode) มี 3 ช่วงคลื่น ให้รายละเอียด 20 x 20 เมตร และระบบช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic Mode) ให้รายละเอียด 10 x 10 เมตร สมรรถนะของ HRV ที่สำคัญประการหนึ่งคือสามารถถ่ายภาพแนวเฉียงและนำมาศึกษาในลักษณะ 3 มิติได้ ซึ่งให้รายละเอียดได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT สามารถนำไปใช้ศึกษาพื้นที่ป่า การทำแผนที่การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา อุทกวิทยา แหล่งน้ำ สมุทรศาสตร์ และชายฝั่ง การพังทลายและการตกตะกอน การติดตามการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อม และมลภาวะ การขยายตัวเมืองและการตั้งถิ่นฐาน ส่วนดาวเทียม SPOT-3 และ4 จะใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลซึ่งเป็น Charged Coupled Device (CCD) ที่ทำในฝรั่งเศสและจะเพิ่มอีก 1 ช่วงคลื่นในอินฟราเรดใกล้ เพื่อประโยชน์ในการติดตามพืชเกษตร โดยมีรายละเอียดของภาพ 20 x 20 เมตร มี 4 ช่วงคลื่น คล้ายกับระบบ MSS ของดาวเทียม Landsat ช่วงคลื่นขาวดำในดาวเทียม SPOT-1 และ 2 จะแทนที่ด้วยช่วงคลื่น 0.61-0.68 ไมครอน ซึ่งมีรายละเอียด 10 x10 เมตร นอกจากนี้ใน SPOT-3 และ 4 จะมีอุปกรณ์ใหม่คือ Vegetation ให้ข้อมูลเกี่ยวกับพืชพรรณ 1 x 1 กิโลเมตร ใน 4 ช่วงคลื่นเหมือน HRV

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2548 ง) ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า ดาวเทียม SPOT-5 ประกอบด้วยอุปกรณ์ถ่ายภาพ 3 ระบบด้วยกันคือ

(1) High Resolution Geometric Camera (HRG) สามารถถ่ายภาพที่รายละเอียด 5 เมตร สำหรับภาพขาว-ดำ ทั้งนี้ระบบได้ออกแบบให้การถ่ายภาพมีการเหลื่อมกันของภาพถ่ายสองภาพ (Line Shifted) ทำให้สามารถนำภาพมาประมวลผล Super-Mode ได้รายละเอียดภาพ 2.5 เมตร พร้อมทั้งสามารถถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น โดยมีรายละเอียด 10 เมตร

(2) High Resolution Stereoscopic Instrument (HRS) เป็นกล้องที่ออกแบบมาเพื่อการถ่ายภาพคู่ซ้อน (Stereopair Images) สำหรับภาพขาว-ดำ เพื่อวัตถุประสงค์ในการสร้างแบบจำลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความสูงภูมิประเทศที่รายละเอียด10 เมตร การถ่ายภาพในลักษณะ Forward และ Aft Looking ในวงโคจรเดียวกันของดาวเทียม ทำให้การประมวลผลภาพเชิงซ้อนมีความถูกต้องของข้อมูลสูง

(3) Vegetation 2 Instrument (VGT 2) เป็นกล้องถ่ายภาพที่ออกแบบมาเพื่อการถ่ายภาพพื้นที่กว้างระดับภูมิภาคมีแนวการถ่ายภาพกว้าง 2,500 กิโลเมตร รายละเอียดภาพ 1 กิโลเมตร

3. ดาวเทียม IRS

สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ (2546) อธิบายว่า ดาวเทียมชุด IRS (Indian Remote Sensing Satellite) เป็นดาวเทียมเพื่อการสำรวจทรัพยากรของประเทศอินเดีย โดยดาวเทียมดวงแรกในชุดนี้ ซึ่งได้แก่ IRS-1A ได้ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 17 มีนาคม 2531 ต่อมา วันที่ 29 สิงหาคม 2534 ดาวเทียมดวงที่ 2 คือ IRS-1B ก็ได้ส่งขึ้นสู่วงโคจร โดยมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับดวงแรก หลังจากนั้น ในวันที่ 15 ตุลาคม 2538 อินเดียก็ได้ส่งดาวเทียมดวงที่ 3 ของชุดนี้คือ IRS-P2 ขึ้นสู่วงโคจร และตามด้วยดาวเทียมดวงที่ 4 และ 5 คือ IRS-1C เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2538 และ IRS-1D เมื่อวันที่ 29 กันยายน 2540 สำหรับข้อมูลดาวเทียมที่นำมาใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ดาวเทียม IRS-1C, 1D

นอกจากนี้ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2548 ข) ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า ดาวเทียม IRS-1C, 1D มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูล 3 ระบบ คือ Panchromatic (PAN), Linear Imaging and Self Scanning Sensor (LISS-III) และ Wide Field Sensor (WIFS) อุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ ระบบ LISS-III บันทึกข้อมูลช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดรวม 4 ช่วงคลื่น รายละเอียด 23.5 เมตร ระบบ Panchromatic รายละเอียด 5.8 เมตร และระบบ WIFS รายละเอียด 188 เมตร โดยบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรด

4. ดาวเทียม Radarsat

สุรชัย รัตนเสริมพงศ์ (2546) อธิบายว่า ดาวเทียม Radarsat เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของประเทศแคนาดา โดยองค์การอวกาศแคนาดา (Canadian Space Agency: CSA) ส่งขึ้นสู่วงโคจร เมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน 2538 ติดตั้งเครื่องมือบันทึกข้อมูลในระบบเรดาห์ (SAR) ช่วงคลื่น C-Band-HH สามารถบันทึกข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ 7 รูปแบบ โดยให้รายละเอียดของข้อมูลแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ 10 เมตร ถึง 100 เมตร ครอบคลุมพื้นที่เป็นแนวกว้างตั้งแต่ 45 ถึง 500 กิโลเมตร

นอกจากนี้ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) (2548 ค) ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า อุปกรณ์บันทึกข้อมูล SAR ของดาวเทียม Radarsat-1 ต่างจากอุปกรณ์บันทึกข้อมูล Optical เช่น ETM+ ของดาวเทียม Landsat-7 กล่าวคือ ระบบ Optical บันทึกพลังงานที่สะท้อนตามธรรมชาติจากวัตถุบนพื้นผิวโลกในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นถึงช่วงคลื่นอินฟราเรด โดยอาศัยคุณสมบัติของการสะท้อนที่แตกต่างกันของแต่ละวัตถุ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในช่วงคลื่นเดียวกัน ข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นจึงหารายละเอียดเฉพาะของทรัพยากรแตกต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูล Optical สามารถวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลช่วงคลื่นเดียวหรือหลายช่วงคลื่น และยังสามารถทำภาพสีโดยใช้ข้อมูลหลายช่วงคลื่นรวมกัน ในขณะที่ระบบ SAR ของดาวเทียม Radarsat-1 ส่งคลื่นไมโครเวฟช่วงคลื่นเดียวไปยังวัตถุบนพื้นโลกและบันทึกสัญญาณสะท้อนกลับของวัตถุ โดยขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิว, ลักษณะภูมิประเทศ, คุณสมบัติทางกายภาพ เป็นต้น ถึงแม้ว่าข้อมูล SAR เป็นข้อมูลเพียงช่วงคลื่นเดียว แต่สามารถนำข้อมูลหลายช่วงเวลา (Multidate) หรือข้อมูลต่างระบบ (Multisensor) มาใช้ร่วมกันเพื่อทำเป็นภาพสีผสมสำหรับติดตามการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มรายละเอียดเนื้อหาของข้อมูล

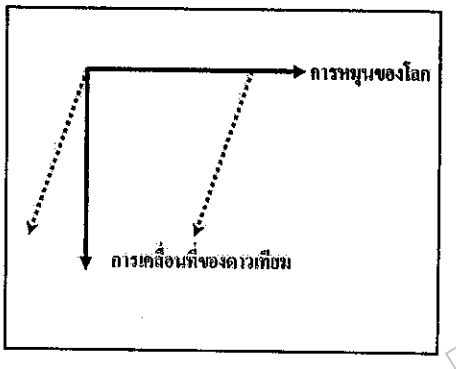
เทคนิคการการปรับแก้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction)

ในการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม กระบวนการปรับแก้ข้อมูลภาพเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งที่ควรคำนึงถึง ทั้งนี้เพราะขณะดาวเทียมบันทึกภาพครั้งหนึ่ง ๆ นั้นมักจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอยู่เสมอ ส่งผลให้ภาพมีความผิดเพี้ยนไปจากที่ควรจะเป็น และเมื่อได้นำภาพที่ได้เหล่านี้ไปใช้งานก็อาจจะทำให้ผลที่ได้ผิดเพี้ยนไปด้วย ดังนั้นจึงควรมีการปรับแก้ข้อมูลตามความเหมาะสม อีกทั้งทำให้สามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมร่วมกับข้อมูลอื่นได้สะดวกยิ่งขึ้น เช่น การหลอมหรือการซ้อนข้อมูลดาวเทียมต่างดวง (Data Fusion/ Merging) หรือต่างรายละเอียดเชิงพื้นที่ (ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์, 2546)

อัฌชา ก.บัวเกษร (2542) อธิบายว่า การได้มาซึ่งข้อมูลทางด้าน Remote Sensing โดยเฉพาะข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เช่น Landsat หรือ SPOT ข้อมูลดิบจะมีความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometrical Error) อยู่เสมอ ซึ่งเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น วงโคจรและความสูงที่แตกต่างกัน (Orbit and Altitude Anomalies) ความเร็วของดาวเทียมไม่คงที่ ความโค้งของผิวโลก (Earth Curvature) การหมุนรอบตัวเองของโลก (Earth Rotation) ทำให้เกิดภาพโย้ (Image Skew) การกวาดแกว่งกระจกในการเก็บข้อมูลไม่สม่ำเสมอ (Mirror Velocity Nonlinearity) และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการส่งข้อมูลในแต่ละบรรทัดผิดพลาดทำให้ขนาดของแต่ละจุดภาพไม่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส แนวทางแก้ไขเชิงเรขาคณิตนั้นจะต้องบิดภาพกลับ

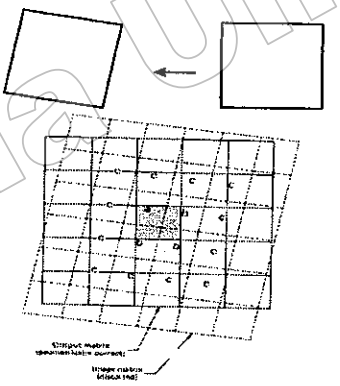
1. ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิต (Geometric Distortions)

อัฌชา ก.บัวเกษร (2542) อธิบายว่า Coordinate Transformation คือ ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นโดยต่อเนื่อง (Systematic Geometric Distortion) เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก (Earth Rotation) ระหว่างที่กำลังกวาดข้อมูลทำให้ภาพโย้ (Skew) ดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 การเคลื่อนที่ของดาวเทียม (อัฌชา ก.บัวเกษร, 2542)

การกวาดของกระจกในการเก็บข้อมูลไม่สม่ำเสมอ (Mirror Velocity Nonlinearity) ความผิดพลาดที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความสูงของดาวเทียม (Orbit and Altitude) เป็นต้น การแก้ไขเชิงเรขาคณิตดังกล่าว ได้ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ใช้สมการที่เรียกว่า Polynomial เพื่อให้ภาพบิดกลับดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 Matrix ของข้อมูลที่แก้ไขเชิงเรขาคณิตแล้วซ้อนกับ Matrix ของภาพที่ยังไม่ได้แก้ไขเชิงเรขาคณิต (อัฌชา ก.บัวเกษร, 2542)

2. การปรับแก้ทางเรขาคณิต (Geometric Correction)

ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิต (Geometric Distortions) คือความคลาดเคลื่อนบนภาพระหว่างพิกัดภาพที่เป็นจริง กับพิกัดภาพอุดมคติที่ได้รับจากการฉายตามทฤษฎี โดยใช้เครื่องวัดอุดมคติและภายใต้เงื่อนไขอุดมคติ ความบิดเบี้ยวนี้อาจแก้ไขได้ด้วยวิธีที่เรียกว่า การแปลงเชิง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เรขาคณิต (Geometric Transformation) หรือเรียกโดยทั่วไปว่าการปรับแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) (ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์, 2546) มีวิธีการปรับแก้ดังนี้

2.1 การปรับแบบภาพกับจุดควบคุมทางพื้นดิน (Image to GCP or Map) เป็นการปรับแก้ตำแหน่งทางเรขาคณิตของข้อมูล โดยใช้จุดควบคุมที่ทราบค่าตำแหน่งทางพื้นดินหรือแผนที่ภูมิประเทศที่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่แล้วเป็นสิ่งอ้างอิง ผลลัพธ์ทำให้ข้อมูลมีตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ในระบบเดียวกันกับระบบพิกัดที่นำมาใช้อ้างอิง (สุรพล โปร่งเฉลยลาภ, 2545)

2.2 การปรับแบบภาพกับภาพ (Image to Image Registration) เป็นการปรับแก้ตำแหน่งทางเรขาคณิตของข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเดียวกัน โดยใช้ภาพบริเวณพื้นที่เดียวกันที่ได้รับการปรับแก้ทางเรขาคณิตแล้วเป็นสิ่งอ้างอิง ผลลัพธ์ทำให้ข้อมูลมีตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ในระบบเดียวกับระบบพิกัดที่นำมาใช้อ้างอิง (สุรพล โปร่งเฉลยลาภ, 2545)

3. การเลือกจุดควบคุมหรือจุดโยงยึด (Collection of Control Points)

ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์ (2546) อธิบายไว้ว่า จุดควบคุมควรมีลักษณะ ดังนี้

3.1 จะต้องเป็นตำแหน่งใด ๆ ที่สอดคล้องตรงกัน (Exactly Matching Point) ทั้งในภาพและข้อมูลอ้างอิง

3.2 ควรเป็นจุดเด่นชัดสังเกตได้ง่าย (Landmarks)

3.3 ควรเป็นจุดที่ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงง่าย

3.4 ควรพยายามเลือกให้จุดควบคุมกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพหรือมีระยะห่างระหว่างจุดใกล้เคียงกัน

ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์ (2546) ได้อธิบายการกำหนดจำนวนของจุดควบคุมไว้ดังนี้ จำนวนจุดควบคุมขึ้นกับขนาดภาพและลักษณะการกระจายของจุดควบคุม จำนวนของจุดควบคุมควรมากกว่าจำนวนตัวแปรไม่ทราบค่า เพื่อให้เพียงพอต่อการคำนวณความผิดพลาดต่าง ๆ แล้วแก้ไขด้วยวิธียกกำลังน้อยที่สุด (Least Square) ซึ่งความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมระหว่างข้อมูลภาพและข้อมูลอ้างอิงจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบยกกำลังน้อยที่สุดเพื่อตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของ สมการแปลงพิกัดซึ่งเกี่ยวพันกับภาพที่บิดเบี้ยวและเส้นโครงแผนที่ที่ใช้

อันดับของโพลิโนเมียลที่เลือกใช้จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อยจำนวนหนึ่งเพื่อให้เพียงพอต่อการคำนวณ ดังนี้

0^{th} Order จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อย 3 จุด

1^{st} Order จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อย 4 จุด

2^{nd} Order จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อย 6 จุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3rd Order จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อย 10 จุด

4th Order จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อย 16 จุด

5th Order จะต้องมีจุดควบคุมอย่างน้อย 21 จุด

โดยปกติโพลิโนเมียลอันดับยิ่งสูง ค่าคงเหลือจะยิ่งต่ำ สมการโพลิโนเมียลอันดับสามก็เพียงพอสำหรับภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น Landsat, SPOT, IRS การเลือกใช้สมการโพลิโนเมียล มีข้อควรระวังคือ โพลิโนเมียลอันดับสูงจะทำให้ตำแหน่งจุดภาพถูกต้องเฉพาะบริเวณใกล้ ๆ จุดควบคุม แต่อาจคลาดเคลื่อนมาเมื่ออยู่ห่างจุดควบคุม ดังนั้นถ้าจุดควบคุมครอบคลุมไม่ทั่วถึงก็อาจเกิดความคลาดเคลื่อนที่แย่กว่าเดิม (ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์, 2546)

เทคนิคการปรับปรุงขนาดจุดภาพข้อมูลดาวเทียม (Resampling)

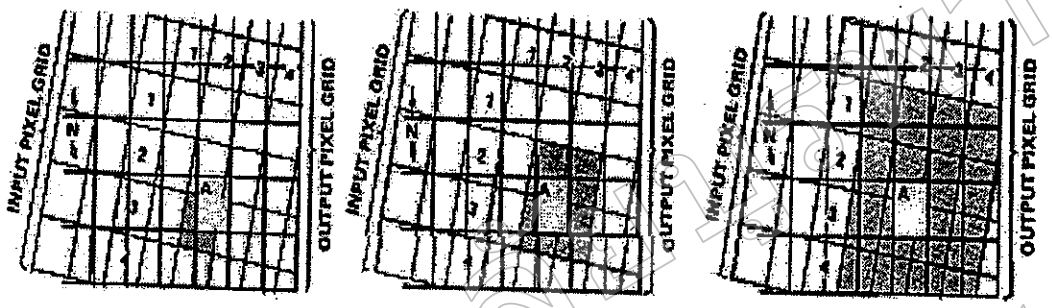
วิธีการปรับปรุงขนาดจุดภาพข้อมูลดาวเทียม หรือ (Resampling) อัฌชา ก.บัวเกสร (2542) ได้อธิบายวิธีการแก้โดยใช้วิธี Interpolation คือ หลังจากบิดภาพกลับแล้ว ค่าของความเข้มใน Matrix ของข้อมูลที่แก้ไขทางเรขาคณิตแล้วจะต้องคำนวณค่าความเข้มหรือ DN (Digital Number) ใหม่ ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์ (2546) ได้สรุปไว้ว่า การคำนวณค่าความเข้มโดยทั่วไปจะใช้วิธีที่เรียกว่า Resampling Method ซึ่งเป็นการปรับระดับสีเทา (Gray Level) ของจุดภาพ ณ ตำแหน่งใหม่ให้สอดคล้องกับความเข้มของจุดภาพ ณ ตำแหน่งเดิม ซึ่งมี 3 วิธีให้เลือก

1. การแทนค่าจากตำแหน่งใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor) ด้วยวิธีที่เรียกว่า Sampling – Base Resampling Method วิธีนี้ข้อมูลภาพจะได้รับการจัดใหม่ (Resampling) เป็นข้อมูลภาพใหม่ที่มีขนาดจุดภาพ และมีตำแหน่งทิศทางการวางตัวที่ต่างจากเดิม โดยคำนวณได้จากระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของแต่ละจุดภาพใหม่จากสี่จุดภาพเดิม ที่ใกล้ที่สุด ค่าความเข้มของจุดภาพเดิมที่อยู่ใกล้ที่สุด จะถูกกำหนดให้เป็นค่าความเข้มของจุดภาพใหม่ โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงใด ๆ วิธีการแทนค่าจากตำแหน่งใกล้ที่สุดนี้ เหมาะสำหรับข้อมูลภาพที่ไม่ต่อเนื่องมากกว่าข้อมูลที่ต่อเนื่อง

2. การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ (Bilinear Interpolation) เป็นวิธีคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าความเข้มให้กับจุดภาพใหม่จากค่าความเข้มเดิมขนาด 2 x 2 จุดภาพที่อยู่ติดกัน โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่าการประมาณค่าในช่วง (Interpolation – Base Resampling Method) ซึ่งเป็นการประมาณค่าโดยการตั้งสมมุติฐานเบื้องต้นว่าค่าความเข้มที่ต้องการนั้นอยู่บนเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดภาพที่มีขนาดจุดภาพและการวางตำแหน่งที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. การประมาณค่าในช่วงเชิงลูกบาศก์ (Cubic Convolution Interpolation) จะเป็นการคำนวณค่าความเข้มให้กับจุดภาพใหม่ด้วยโพลิโนเมียลเชิงลูกบาศก์ ขนาด 4x4 จุดภาพ ที่อยู่ติดกัน โดยปกติภาพที่ได้จะมีความคมชัด และจะเรียบหรือต่อเนื่องกว่า



Nearest Neighbor **Bilinear Interpolation** **Cubic Convolution Interpolation**

ภาพที่ 2-3 การปรับค่าความเข้มแบบต่าง ๆ (ราเชนทร์ ศรีภูมินทร์, 2546)

วิธีการจัดค่าใหม่แบบประมาณค่าในช่วงทั้งสองชนิด เหมาะสำหรับข้อมูลที่ต่อเนื่องเท่านั้น เช่น ข้อมูลภาพที่แสดงระดับสีเทา แสดงระดับความสูง แสดงการปกคลุมของพืชพรรณ อนึ่ง การแทนค่าด้วยวิธีตำแหน่งใกล้ที่สุดไม่ใช่เทคนิคการประมาณค่าในช่วง จึงไม่มีการคำนวณค่าความเข้มให้กับจุดภาพใหม่ เพียงแต่เป็นการแทนค่าความเข้มของจุดภาพใหม่ ด้วยค่าความเข้มจุดภาพเดิมเท่านั้น ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว ส่วนวิธีการประมาณค่าในช่วงเชิงลูกบาศก์จะใช้เวลาคำนวณมากกว่า จึงช้ากว่าวิธีอื่น ๆ

ในทางปฏิบัติ การแปลงตำแหน่งและการปรับค่าความเข้มจะมีศัพท์เทคนิคเฉพาะเรียกว่าการวอร์ป (Warp) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การเลือก Warp Order หรือ Polynomial Order

Huang (1994 อ้างถึงใน สุรพล โปร่งเฉลยลาภ, 2545) แสดงการเปรียบเทียบ วิธีการในการปรับปรุงค่า DN แบบการประมาณค่าวิธีลูกบาศก์ ไม่ได้ช่วยในการปรับปรุงในการมองเห็นได้ดีกว่าแบบเชิงเส้นสองทาง แต่ใช้เวลามากกว่าถึง 2 เท่า ซึ่งสำหรับในปัจจุบันความเร็วของคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลสูงขึ้น โดยทั่ว ๆ ไป หากไม่ใช่การแปลงข้อมูลที่มีปริมาณมาก ทั้ง 2 วิธีนี้ ใช้เวลาไม่ต่างกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การประมาณค่า เพื่อปรับปรุงค่า DN ในแต่ละวิธีมีการสูญเสียข้อมูล ไพศาล สันติธรรมนนท์ (2546 อ้างถึงใน สุรพล โปร่งเฉลยลาภ, 2545) ได้ทดลองทำการปรับปรุงค่า DN ที่เรียกว่าวิธีจุดภาพที่ใกล้ที่สุด วิธีเชิงเส้นสองทางและวิธีลูกบาศก์สามารถสรุปผลที่ได้ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงการสูญเสียข้อมูลจากการประมาณค่าด้วยวิธีการต่าง ๆ (สุรพล โปร่งเฉลยลาภ, 2545)

William		ไพศาล สันติธรรมนนท์	
วิธีการประมาณค่า	การสูญเสียข้อมูล (%)	วิธีการประมาณค่า	การสูญเสียข้อมูล (%)
Square	15.7	จุดภาพที่ใกล้ที่สุด	15
Triangle	3.7	เชิงเส้นสองทาง	4
Cubic B-Apline	0.3	ลูกบาศก์	<1

เทคนิคการเน้นข้อมูลดาวเทียม (Image Enhancement)

สุภาพิศ ผลงาม (2546) ได้อธิบายถึง การเน้นข้อมูลภาพ (Image Enhancement) ว่าเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา (Gray Level Value) หรือค่าความเข้มของข้อมูล หรือบางครั้งเรียกว่า DN (Digital Number) เพื่อเพิ่มความแตกต่างของแต่ละประเภทข้อมูล เป็นผลให้ข้อมูลที่ได้มีความชัดเจนขึ้น ง่ายต่อการจำแนกประเภทข้อมูล โดยมีหลักการในการเน้นข้อมูลภาพดังนี้

1. ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการเน้นข้อมูล ต้องการหรือคาดหวังจะได้ข้อมูลประเภทใดเด่นชัด ซึ่งสัมพันธ์กับสาขางานที่นำไปประยุกต์ใช้

2. ขึ้นกับค่าความเข้มของข้อมูล ซึ่งข้อมูลดาวเทียมแต่ละควงถูกบันทึกในช่วงคลื่นแตกต่างกัน บางควงมีช่วงคลื่นเดียวหรือหลายช่วงคลื่น จะต้องทำความเข้าใจรูปแบบของการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุพื้นฐาน เช่น พืชพรรณ ดิน และน้ำ ในแต่ละช่วงคลื่น

3. หลังการเน้นข้อมูลภาพจะต้องตรวจสอบค่าสถิติ

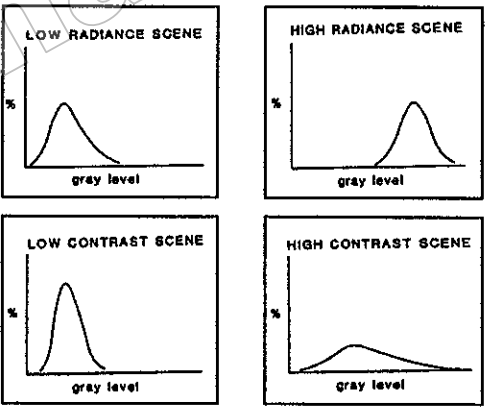
4. ขึ้นกับประสบการณ์

ในการเน้นข้อมูลภาพจะใช้ตารางค้นหา (Look up Table: LUT) เป็นตัวกลางในการปรับเปลี่ยนค่าบนจอแสดงภาพชั่วคราว ซึ่งค่า DN ข้อมูลภาพเดิมยังไม่เปลี่ยนแปลง แต่เมื่อต้องการเปลี่ยนข้อมูลเดิมแบบถาวรผ่านตารางค้นหาก็กระทำได้ โดยการเก็บตารางค้นหาแล้วประยุกต์ผ่านคำสั่งในการเปลี่ยนข้อมูลแบบถาวร และจะทำให้ค่าระดับสีเทาแต่ละจุดภาพของข้อมูลเดิม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เปลี่ยนไป การเน้นข้อมูลภาพมีด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีจะแตกต่างกันไป ผู้ใช้จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลดาวเทียมและสาขาของงาน การเน้นข้อมูลบนข้อมูลดาวเทียมระบบ Passive และ Active จะแตกต่างกัน เช่น ข้อมูลระบบ Active แบบ SAR ชนิด 16 บิต มักเลือกใช้วิธีการเน้นข้อมูลแบบรูท (Root Enhancement) ซึ่งจะให้ผลดีต่อข้อมูลภาพที่มีการกระจายค่าระดับสีเทาเยื้องไปทางขวาของแผนภูมิภาพ ผลลัพธ์ข้อมูลมีความสว่างทั้งภาพ สำหรับข้อมูล SAR ที่มีการปรับช่วงข้อมูลเป็นชนิด 8 บิต จะเลือกใช้วิธีการเปลี่ยนรูปแบบไม่ใช่เชิงเส้น (Non Linear Contrast Stretch) ซึ่งถูกออกแบบให้ใช้กับข้อมูล SAR (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

Histogram หรือแผนภูมิภาพ จะเป็นตัวแทนที่จะแสดงการกระจายทางสถิติของค่าระดับสีเทาของข้อมูล ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับสีเทาของจุดภาพกับจำนวนจุดภาพทั้งหมด ในแต่ละค่าระดับสีเทานั้น ๆ โดยทั่วไป Histogram ของภาพส่วนใหญ่จะกระจายแบบ Gaussian หรือกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ในการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลทุกวิธีจะต้องใช้แผนภูมิภาพในการกำหนดช่วงข้อมูลที่ต้องการ โดยใช้ตารางค้นหา (Look up Table: LUT) เป็นตัวกลางเพื่อแสดงข้อมูลบนจอแสดงภาพชั่วคราวในการดูความแตกต่างของข้อมูลภาพให้ชัดเจน โดยที่ข้อมูลภาพเดิมยังไม่เปลี่ยนแปลง หากต้องการเปลี่ยนข้อมูลเดิมแบบถาวรผ่านตารางค้นหา ก็กระทำได้โดยการเก็บตารางค้นหา แล้วประยุกต์ผ่านคำสั่งในการแปลงข้อมูลแบบถาวร ผลของค่าระดับสีเทาเดิมจะเปลี่ยนไป



ภาพที่ 2-4 รูปแบบต่าง ๆ ของ Histogram (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

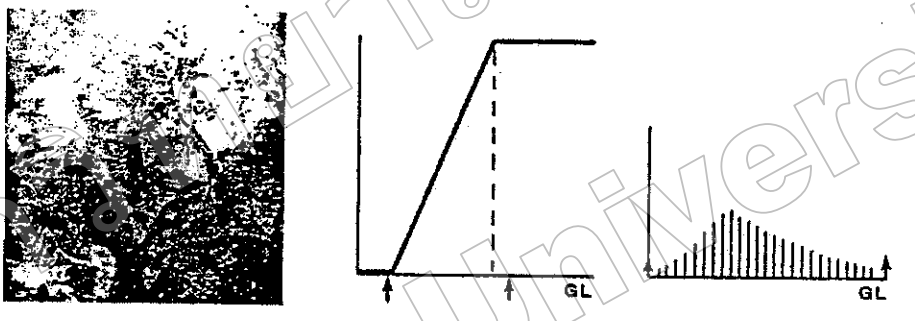
จากภาพที่ 2-4 จะเห็นว่า Range ระดับสีเทายิ่งกว้าง ข้อมูลภาพยิ่งมี Contrast มากยิ่งขึ้น และแสดงความแตกต่างของประเภทข้อมูลได้ชัดขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

รูปแบบการเน้นข้อมูลภาพ

สุภาพิศ ผลงาม (2546) อธิบายไว้ว่า รูปแบบการเน้นข้อมูลภาพสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. การเน้นข้อมูลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงจุดภาพต่อจุดภาพ (Pixel by Pixel Transformation) การเปลี่ยนแปลงแบบนี้ได้แก่ การทำ Contrast Enhancement เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาให้กว้างขึ้น เป็นผลให้ข้อมูลภาพชัดเจน ซึ่งในเชิงคณิตศาสตร์ สามารถทำได้หลายลักษณะ เช่น Linear Contrast Stretch เป็นการขยาย Range ของค่าระดับสีเทาจากค่าต่ำสุด และสูงสุดของข้อมูลไปยัง 0 และ 255 ซึ่งเป็นช่วงข้อมูลชนิด 8 บิต ดังภาพที่ 2-5

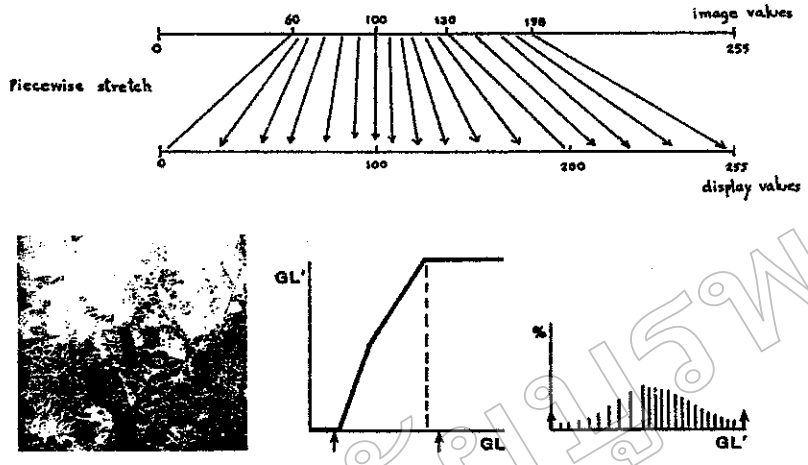


ภาพที่ 2-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาแบบ Linear Contrast Stretch (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

2. การเน้นข้อมูลภาพโดยการเปลี่ยนแปลงจุดภาพข้างเคียง (Neighborhood Transformation) การเปลี่ยนแปลงแบบนี้ได้แก่ การทำ Spatial Enhancement เป็นเทคนิคการแปลงข้อมูลออกเป็นส่วน ๆ โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Spatial Filtering ซึ่งแบ่งตามความถี่ได้หลายวิธี เช่น

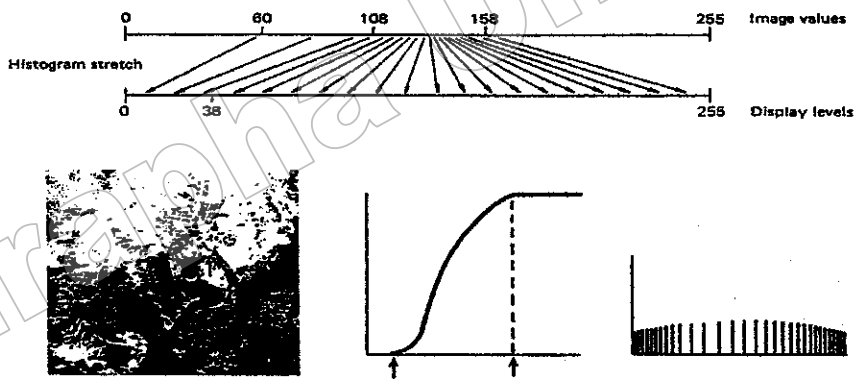
2.1 Piecewise Stretch เป็นการขยาย Range ของระดับสีเทาที่ต้องการเป็นหลาย ๆ ช่วง แต่ละช่วงจะขยายให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 ดังภาพที่ 2-6

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาแบบ Piecewise Stretch (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

2.2 Histogram Equalization เป็นการขยาย Range ระดับสีเทาให้เป็นแบบปกติ ซึ่งมักลด Contrast บริเวณที่ขาวหรือดำมาก ๆ ของข้อมูล สำหรับ Histogram Equalization ถือว่าเป็น Non Linear Contrast Enhancement ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 แสดงการเปลี่ยนระดับสีเทาแบบ Histogram Equalization (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

เทคนิคการหลอมข้อมูลภาพ

Pohl (1996 อ้างถึงใน สุรพล โปร่งเฉลยลาภ, 2545) สรุปไว้ว่า โดยทั่วไปสามารถแบ่งเทคนิคการหลอมข้อมูลออกได้เป็น 3 เทคนิค คือ

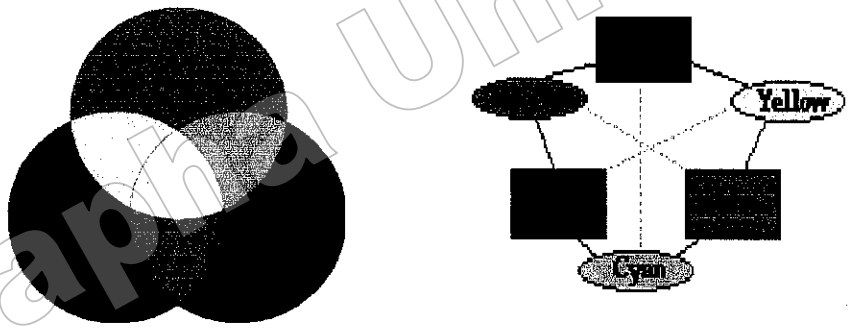
1. เทคนิคด้านสี (Color-Related Techniques)
2. เทคนิคทางสถิติ (Statistical Techniques)
3. เทคนิคทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Techniques)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับวิธีการทางด้านสี จะเป็นการกล่าวถึงการรวมสีผสมของ 3 ช่อง (Channel) ในระบบสีองค์ประกอบพื้นฐาน คือ แดง เขียว น้ำเงิน หรือนิยมเรียกย่อว่า RGB หรือลักษณะอื่นที่คล้ายคลึงกันในระบบสีของ Hue Saturation Intensity (HSI) กับ Hue Saturation Value (HSV) สำหรับวิธีทางสถิติได้ถูกพัฒนาบนพื้นฐานของหลักสถิติ เช่น Principal Component Analysis (PCA) และสหสัมพันธ์ (Regression) ส่วนวิธีทางคณิตศาสตร์ จะใช้หลักทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย ๆ เช่น บวก ลบ คูณ หาร หรือฟังก์ชันอื่น ๆ กระทำกับข้อมูล โดยการเพิ่ม ลดทอน ความแรงสัญญาณก่อนทำการหลอมเข้าด้วยกัน โดยเทคนิคแต่ละวิธีการ มีรายละเอียดดังนี้

เทคนิค RGB Color Composite (Red: Green: Blue)

สุภาพิศ ผลงาม (2546) อธิบายไว้ว่า การแสดงข้อมูลจากจานแม่เหล็กขึ้นสู่จอแสดงภาพ (Video Display) ซึ่งแต่ละแบนด์จะเป็นภาพขาวดำ ที่มีระดับข้อมูล 256 ระดับ (0-255) เมื่อต้องการสร้างภาพสีต้องนำข้อมูลที่บันทึกใน 3 ช่วงคลื่น หรือ 3 แบนด์ มาซ้อนทับกันโดยผ่านฟิลเตอร์สี 3 สี คือ สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน ในแต่ละแบนด์ ผลที่ได้เรียกว่าภาพสีผสม (Color Composite) ดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 แสดงหลักการผสมสี RGB (เชาวลิต ศิลปทอง, 2546)

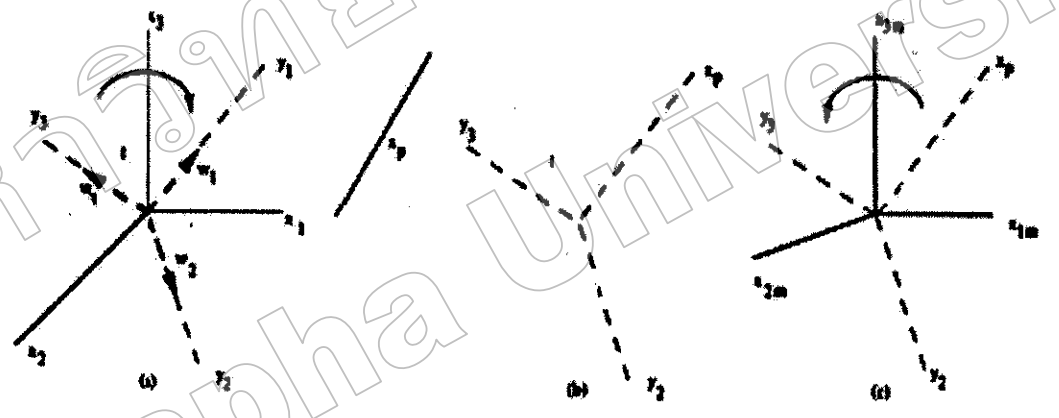
ภาพสีผสมที่นิยมใช้คือภาพสีผสมเท็จ (False Color Composite) ซึ่งพืชพรรณทุกชนิดแสดงด้วยสีแดงและภาพสีผสมจริง (True Color Composite) พืชพรรณทุกชนิดเป็นสีเขียว หลักการสร้างภาพสีผสมเท็จหรือสีผสมจริง คือให้กำหนดข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.76-0.90 μ) ผ่านฟิลเตอร์สีแดงเมื่อต้องการภาพสีผสมเท็จ และผ่านฟิลเตอร์สีเขียวเมื่อต้องการภาพสีผสมจริง ส่วนอีก 2 แบนด์ที่เลือกใช้อาจจะบันทึกในช่วงตามองเห็น (ตั้งแต่ความยาวคลื่น 0.45-0.69 μ) ให้ผ่านฟิลเตอร์สีเขียวและสีน้ำเงินของภาพสีผสมเท็จและผ่านฟิลเตอร์สีแดงและสีน้ำเงินของภาพสีผสมจริง สำหรับภาพสีผสมธรรมชาติต้องเลือกใช้ช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงิน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เขียว แดง ตามลำดับ (จะเห็นได้ว่าภาพสีผสมแบบ NCC จะมีเฉพาะข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นแสงสีน้ำเงินเท่านั้น)

เทคนิค HSI Color Transformation (Hue Saturation Intensity)

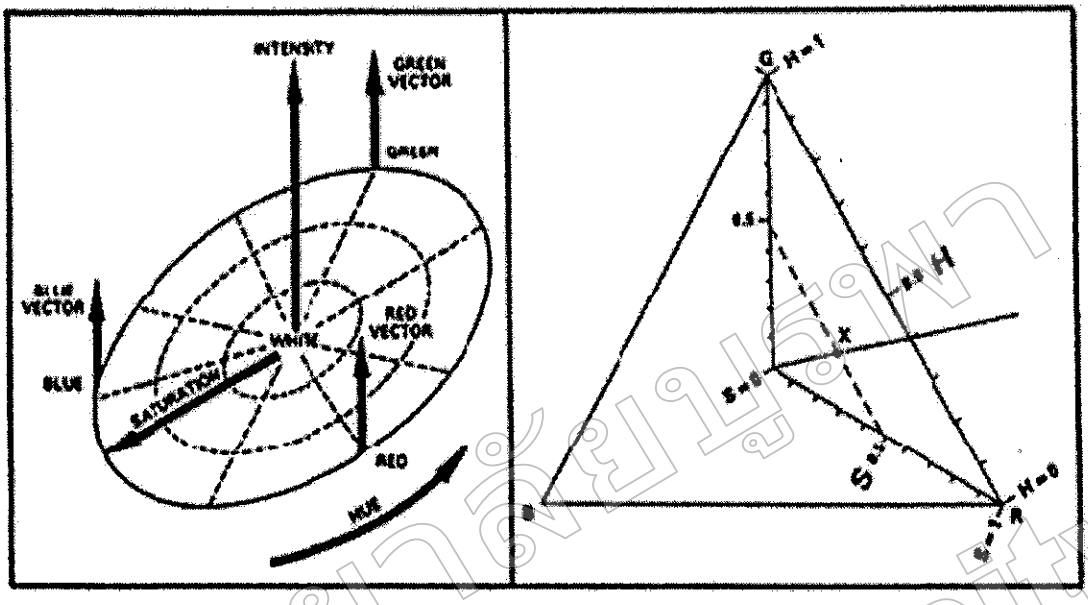
วิธีการนี้เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในการหลอมข้อมูล เมื่อมีการหลอมข้อมูลที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันเข้าด้วยกัน วิธีการนี้มาจากพื้นฐานการมองเห็นสีของสายตามนุษย์ สำหรับข้อมูลภาพเชิงตัวเลขสามารถถูกแสดงได้ในสองแนวทางด้วยกัน ได้แก่ระบบการผสมสีโดยอาศัยการแทนที่ในแม่สีบวก Red (แดง), Green (เขียว) และ Blue (น้ำเงิน) หรือ (RGB) และในรูปแบบสีที่ประกอบด้วย Hue (พื้นผิว) Saturation (ความบริสุทธิ์) และIntensity (ค่าความสว่างเฉลี่ย) หรือ (HSI) วิธีการเหล่านี้ ถูกสร้างเพื่อใช้เป็นแบบอย่างสำหรับการแสดงผลข้อมูลเชิงตัวเลข (Carper et al., 1990)



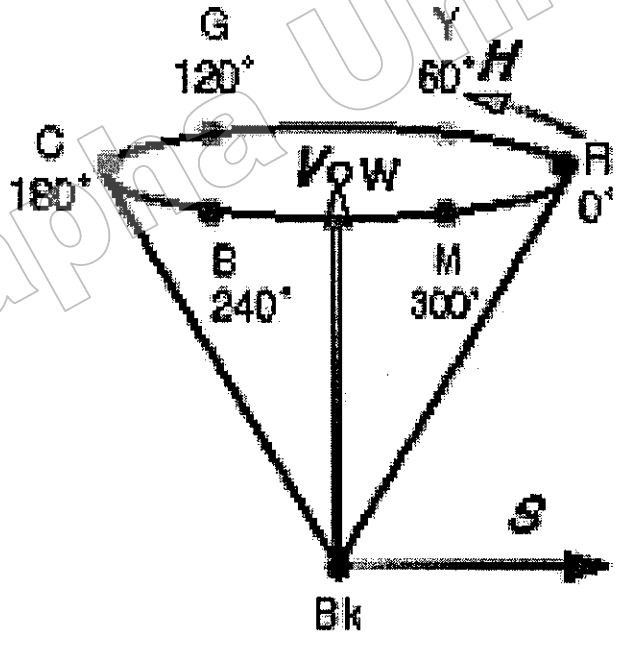
ภาพที่ 2-9 แผนผังกรอบแนวคิดของวิธีการในระบบสี HSI (Shettigara, 1992)

Carper et al. (1990) ได้อธิบาย ในวิธีการนี้ว่า ข้อมูลหลายช่วงคลื่นจำนวน 3 แบนด์ที่มีรายละเอียดภาพต่ำจะแสดงในแม่สีแดง, เขียวและน้ำเงิน (แกน x_1 ถึง x_3) ถูกเปลี่ยนรูปกลายเป็นระบบสี HSI (แกน y_1 ถึง y_3) องค์ประกอบของค่าความสว่าง (I) (แกน y_1) จะถูกแทนที่ด้วยภาพข้อมูลรายละเอียดสูงของระบบPanchromatic (แกน x_p) จากนั้นทั้งสามแบนด์ พลิกแกนกลับไปเป็นระบบสีแบบ RGB

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-10 แบบจำลองระบบสีแบบ RGB และ HSI (Carper et al., 1990)



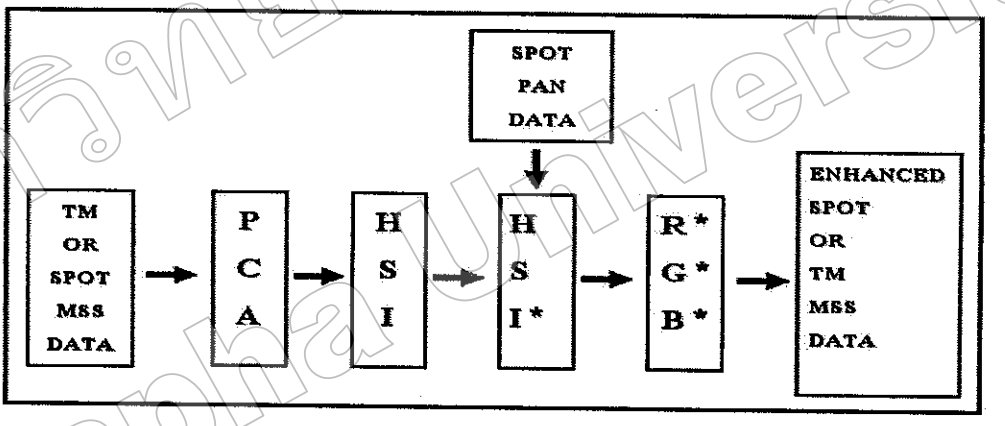
ภาพที่ 2-11 แบบจำลองระบบสีแบบ HSI (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เทคนิค Principal Component Analysis (PCA)

Chavez et al. (1991) อธิบายว่า วิธีการนี้คล้ายคลึงกันกับวิธีการแบบ HSI อย่างไรก็ตาม แทนที่จะใช้ข้อมูลภาพรายละเอียดต่ำครั้งละ 3 แบนด์ จากระบบหลายช่วงคลื่นสำหรับแสดงในระบบแม่สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน การดำเนินงาน จะใช้ข้อมูลในทุกช่วงคลื่นที่บันทึกทั้งหมดมาดำเนินการลดความหลากหลายของข้อมูลลง โดยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Axes)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จะตัดทอนข้อมูลส่วนที่มากเกินในทุกรูปภาพ ก่อนที่จะทำการแปลงไปสู่ระบบสี HSI องค์ประกอบในเรื่องความสว่าง (I) จะถูกแทนที่ด้วยข้อมูลภาพรายละเอียดสูงจากระบบ Panchromatic จากนั้นทั้งสามแบนด์จะถูกแปลงกลับไปเป็นระบบสีแบบ RGB (Chavez et al., 1991)



ภาพที่ 2-12 แผนผังกรอบแนวคิดของวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก PCA (Ehlers, 1991)

สุภาพิศ ผลงาม (2546) สรุปไว้ว่า เป้าหมายการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก คือ

1. ลดปริมาณข้อมูลภาพที่มีความหลากหลายในช่วงคลื่นที่ให้ค่าระดับสีเทาคล้ายคลึงกัน

2. ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีรายละเอียดมากกว่าข้อมูลเดิม

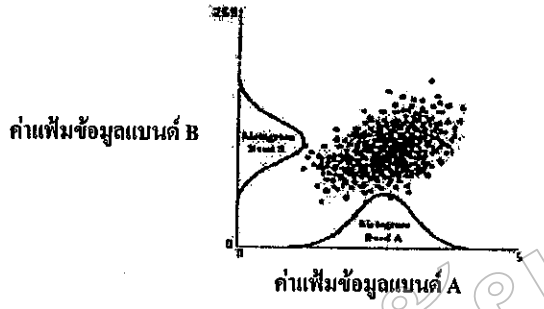
สุภาพิศ ผลงาม (2546) สรุปหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ไว้ ดังนี้

1. แผนภูมิภาพของข้อมูลแต่ละช่วงคลื่นหรือแบนด์มีความสำคัญต่อการนำมาศึกษาเบื้องต้น

2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่น (2 ช่วงคลื่นหรือมากกว่า) เพื่อดูการกระจายข้อมูล เป็นแบบวงรี ซึ่งเป็นแบบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการแสดงแผนภูมิภาพแบบกระจาย (Scattergram) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก แกนของ Spectral

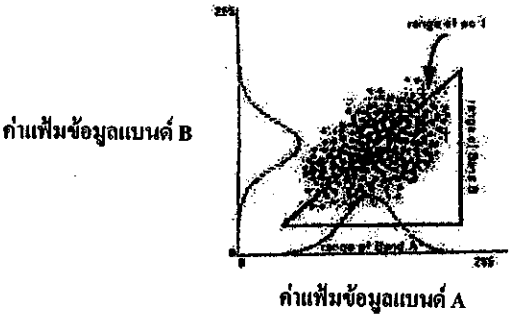
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Space จะถูกหมุนและเปลี่ยนพิกัดแกนใหม่และค่าระดับสีเทาของจุดภาพผลลัพธ์นี้จะขนานกับแกนวงรี ดังภาพที่ 2-13



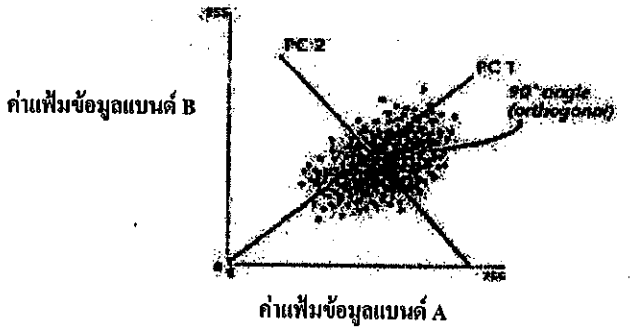
ภาพที่ 2-13 การลงจุดแบบกระจายระหว่าง 2 แบนด์ (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

3. องค์ประกอบหลักที่ 1 (First Principal Component: PC1) หรือองค์ประกอบหลักถัดไป คือข้อมูลภาพผลลัพธ์ใหม่ที่ได้จากการคำนวณวิธีการทางพีชคณิตเมทริกซ์ เพื่อหาความยาวคือค่าเจาะจง (Eigen Value) และทิศทางของแกน คือ เวคเตอร์เจาะจง (Eigen Vector) แกนหลักที่ยาวที่สุดของวงรี เป็นองค์ประกอบหลักที่ 1 ส่วนทิศทางขององค์ประกอบหลักที่ 1 คือ เวคเตอร์เจาะจง จะเห็นว่าองค์ประกอบหลักที่ 1 มีความแปรปรวนข้อมูลมากที่สุด ให้ข้อมูลที่มีรายละเอียดมาก ส่วนองค์ประกอบถัดไป คือ PC2 จะมีความแปรปรวนข้อมูลน้อยลง และจะเป็นแนวแกนตัดผ่านตั้งฉากกับ PC1 จะลดรายละเอียดข้อมูลลง (สุภาพิศ ผลงาม, 2546) ดังภาพที่ 2-14 และดังภาพที่ 2-15



ภาพที่ 2-14 องค์ประกอบหลักที่ 1 (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-15 องค์ประกอบหลักที่ 2 (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

เทคนิค (Brovey Transformation)

Vrabel (1996) ได้อธิบายว่า Brovey Transformation เป็นวิธีการพื้นฐานของการหลอมข้อมูล และมีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีการหาสัดส่วน อัตราส่วน ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพแต่ละภาพ วิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ เช่น การบวกและการคูณ สามารถใช้ในการรวมภาพโดยการเปลี่ยนแปลงระดับค่าข้อมูลของข้อมูลเชิงตัวเลขโดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละภาพ ตัวอย่าง เช่น ภาพดาวเทียม SPOT สามารถทำการรวมด้วยการบวกเพิ่มกับภาพดาวเทียมระบบ TM โดยการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 50% ให้กับภาพระบบ TM แต่ละภาพ หรือภาพ SPOT หนึ่งภาพมีระดับความสำคัญในอัตราส่วน 70 ต่อ 30

Brovey เป็นวิธีการที่มีกระบวนการบนพื้นฐานของสมการคณิตศาสตร์ ได้แก่ การหารแบนด์ที่จะนำมาใช้แสดงผลในแม่สี ด้วยผลรวมของข้อมูลทุกแบนด์ในตำแหน่งจุดภาพเดียวกันที่จะนำมาใช้ผสมสี (ตัวอย่าง เช่น สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน) และจากนั้นทำการคูณด้วยแบนด์ที่จะมาแสดงในค่าความสว่าง (I) เช่นภาพรายละเอียดสูงจากดาว SPOT ระบบ Panchromatic (Vrabel, 1996) ดังสมการที่ 2.1 (โดยที่ R = สีแดง, G = สีเขียว, B = สีน้ำเงิน และ I = ความสว่าง (แบนด์ Panchromatic/ SAR))

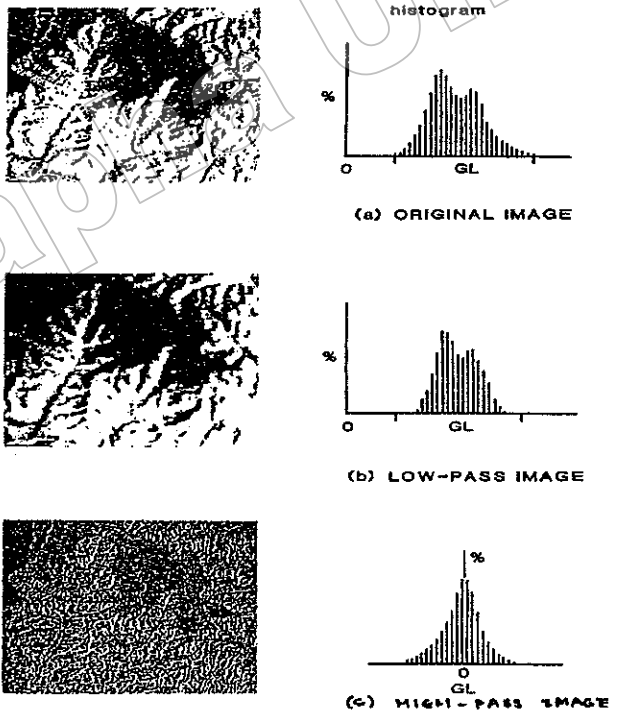
$$\left.\begin{aligned} R &= \frac{R}{(R+G+B)} * I \\ G &= \frac{G}{(R+G+B)} * I \\ B &= \frac{B}{(R+G+B)} * I \end{aligned}\right\} \text{สมการที่ 2. 1}$$

เทคนิค High Pass Filter (HPF)

วิธีการ High Pass Filter (HPF) หรือ เทคนิคการกรองข้อมูลค่าความถี่สูง จะถูกประยุกต์ใช้กับข้อมูลรายละเอียดสูง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ High Pass Filter คือองค์ประกอบของข้อมูลความถี่สูง ที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบเชิงพื้นที่ของข้อมูล ผลลัพธ์ หรือข้อมูลที่ได้จากวิธีการ High Pass Filter จะถูกเพิ่มเข้าไปยังข้อมูลภาพรายละเอียดต่ำแบบพิกเซลต่อพิกเซล (Chavez et al., 1991)

Low Pass Filter (LPF) เป็นการสร้างภาพใหม่ โดยที่ค่าระดับสีเทาในแต่ละจุดภาพของข้อมูลใหม่ จะได้จากการหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาของหน้าต่างตัวกรอง (Window Filter) ที่นำมาสร้างระดับสีเทาของภาพใหม่ วิธีนี้จะทำให้ข้อมูลภาพใหม่ที่ Smooth ขึ้น (สุภาพิศ ผลงาม, 2546) ดังภาพที่ 2-16

High Pass Filter (HPF) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Edge Enhancement เป็นการสร้างภาพใหม่ จากการเอาค่าความเข้มที่ได้ในแต่ละจุดภาพของ LPF ไปลงบนค่าระดับสีเทาเดิม (Original Data) ดังนั้นข้อมูลภาพใหม่จะถูกเน้นให้ภาพชัดเจนเช่นกัน โดยเฉพาะบริเวณขอบของประเภทข้อมูล (สุภาพิศ ผลงาม, 2546) ดังภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-16 แสดงการแปลงค่าระดับสีเทาแบบ Low Pass Filter และ High Pass Filter (สุภาพิศ ผลงาม, 2546)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สุภาพิศ ผลงาม (2546) อธิบายไว้ว่า สำหรับข้อมูลระบบ SAR จะมีลักษณะข้อมูลแตกต่างไป คือ ข้อมูลมักมีสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงด้วยการเฉลี่ยค่าระดับสีเทา หรือเรียกสัญญาณรบกวนแบบพหูคูณ (Multiplicative) เป็นผลให้ข้อมูลภาพมีจุดกระจายทั่วทั้งภาพ เรียกจุดกระนี้ว่า Speckle Noise หรือบางครั้งเรียกว่า Salt and Pepper (เกลือและพริกไทย) ดังนั้นก่อนนำข้อมูลมาวิเคราะห์จะต้องทำการลบจุดกระก่อน เทคนิคหรือวิธีการลบจุดกระส่วนใหญ่ใช้หลักการ การเน้นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Enhancement) ซึ่งจะต้องใช้ค่าระดับสีเทาของจุดภาพรอบข้างตามขนาดของหน้าต่างตัวกรอง (Window Filter) ซึ่งประกอบด้วยขนาดจุดภาพ และขนาดบรรทัดที่เลือกใช้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าระดับสีเทาของภาพผลลัพธ์ โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ หรือกำหนดเมทริกซ์ของตัวเลข เพื่อใช้ในการเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพด้วยค่าของจุดภาพข้างเคียงในรูปแบบต่าง ๆ มีหลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล และวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน

สุภาพิศ ผลงาม (2546) สรุปไว้ว่าวิธีกรองจุดกระบนข้อมูล SAR บางวิธีใช้หลักการการเน้นข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถแบ่งเป็น2 ประเภทหลัก คือ

1. การกรองจุดกระด้วยตัวกรองข้อมูลทั่วไป (Non Speckle Specified Filter) เช่น ตัวกรองเฉลี่ย (Mean Filter) ตัวกรองซ้ำ (Mode Filter) และตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter) วิธีการกรองจุดกระโดยตัวกรองดังกล่าวข้างต้น มักทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้ ลดความคมชัดของขอบเขตประเภทข้อมูล แม้ว่าข้อมูลผลลัพธ์จะเรียบ อีกทั้งข้อมูลเชิงลายเส้นจะขาดการต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับขนาดของหน้าต่างตัวกรอง ซึ่งจะสัมพันธ์กับขนาดของภาพที่ต้องการลบจุดกระ

2. ตัวกรองจุดกระด้วยตัวกรองจำเพาะ (Speckle Specified Filter) ตัวกรองแบบนี้จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับข้อมูลระบบ SAR ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของข้อมูลใหม่ คงสภาพของขอบเขตแต่ละประเภทข้อมูลให้ชัดเจนเหมือนเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลเชิงเส้นจำพวก ถนน ทางรถไฟ และแม่น้ำ ลำคลอง ยังคงต่อเนื่อง เช่น ตัวกรองแบบควน (Kuan Filter) ตัวกรองแบบลี (Lee Filter) ตัวกรองแบบซิกมา (Sigma Filter) และตัวกรองแบบแกรมมา (Gamma Filter) เป็นต้น

ในขั้นตอนนี้จะต้องพิจารณาเลือกใช้ตัวกรองที่เหมาะสมที่สุด โดยจะต้องพิจารณาจากปัจจัยหลายอย่างคือ

1. ขนาดของหน้าต่างตัวกรองที่เลือกใช้ต้องไม่เล็กหรือไม่ใหญ่เกินไป เมื่อเทียบกับขนาดของภาพที่ต้องการลบจุดกระ หากเลือกใช้ขนาดเล็กเกินไป อาจลบจุดกระไม่หมด หรือเลือกขนาดใหญ่เกินไปอาจทำให้รายละเอียดของข้อมูลบางส่วนหายไป

2. จำนวนมุมมอง (Number of Look) หากกำหนดให้จำนวนมุมมองมีค่ามากจะลบจุดกระได้มาก ข้อมูลผลลัพธ์จะเรียบแต่รายละเอียดของภาพจะลดลง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหลอมข้อมูล

Saraf (1999) ได้ใช้กลวิธีการหลอมภาพโดยวิธีการ HSI Color Transformation เพื่อเพิ่มความสามารถในการแปลภาพหลายช่วงคลื่นของดาวเทียม IRS-1C ระบบ LISS -III โดยการเพิ่มความเด่นชัด ด้วยข้อมูลจากระบบ Panchromatic จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพอย่างหนึ่งของข้อมูลดาวเทียมในการจัดทำแผนที่บริเวณเมืองนิวเดลีและพื้นที่โดยรอบ ช่วยให้เกิดความประหยัดเวลาและงบประมาณ

Notes (1997) ได้รายงานว่า บริษัท RGI (Resources, GIS and Imaging) Ltd. ตั้งอยู่ที่เมือง Vancouver รัฐ British Columbia ได้ทำการหลอมข้อมูลดาวเทียม Landsat ระบบ TM กับภาพจากดาวเทียมIRS-1C ระบบ Panchromatic เพื่อหาแหล่งที่ตั้งโครงสร้างธรณีวิทยาเล็ก ๆ ในพื้นที่แห่งหนึ่ง บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศเม็กซิโก เนื่องจากอาจจะมี การสะสมตัวของแร่ทองในพื้นที่ดังกล่าว

Worawattanamateekul, Canisius and Samarakoon (2005) ใช้วิธีการหลอมข้อมูลดาวเทียม Landsat ระบบ TM และ JERS ระบบ SARด้วยวิธีการต่าง ๆ ในพื้นที่เมือง Semarang บนเกาะ Java ประเทศ Indonesia เพื่อประมาณผลผลิตข้าวในพื้นที่ศึกษาโดยเฉพาะในช่วงที่มีเมฆเป็นอุปสรรค

Zhang (2002) ได้พยายามพัฒนา Application ที่จะทำให้การหลอมข้อมูลภาพระหว่างระบบ Multispectral กับระบบ Panchromatic ของดาวเทียม Landsat-7 และระหว่างระบบ Multispectral ของดาวเทียม Landsat-7 กับระบบ Panchromatic ดาวเทียมIKONOS เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีรายละเอียดสูงขึ้น โดยยังคงสภาพระดับสีของข้อมูล รวมถึงการคงสภาพรายละเอียดของข้อมูลไว้ด้วย โดยการวิเคราะห์ เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์สูตรใหม่ ที่มีความเหมาะสม ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีขึ้นลดปัญหาเรื่อง ความบิดเบือนของสี (Color Distortion) และความบิดเบือนเชิงพื้นที่ (Spatial Distortion) เพื่อพัฒนาความสามารถให้กับ Software ด้าน Remote Sensing

Moigne, Laporte and Netanyahu (2001) ได้ศึกษาการจำแนกพื้นป่าไม้เขตร้อน ที่พื้นที่มักมีอุปสรรคในเรื่องของเมฆฝน เพื่อหาวิธีการที่สะดวกรวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งในการศึกษาได้ทดลองใช้ข้อมูลดาวเทียมระบบ SAR รายละเอียดข้อมูล 6 เมตร ร่วมกับระบบ Optical ของดาวเทียม Landsat-5 ระบบ TM รายละเอียดข้อมูล 30 เมตร มาทำการหลอมข้อมูล (Fusion) และทำการ Classified โดยวิธีการ Supervised Classification และ Unsupervised Classification โดยกำหนดกลุ่มข้อมูลออกเป็น 10 กลุ่มจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทำการ Unsupervised Classification จากข้อมูลดาวเทียม Landsat-5

Aiazzia et al. (2000) ได้ทำการหลอมข้อมูลภาพดาวเทียม SPOT 5ระบบPanchromatic รายละเอียดข้อมูล 2.5 เมตร กับภาพดาวเทียม SPOT 5 ระบบ Multispectral รายละเอียดข้อมูล 10x10 เมตร โดยผ่านการกรองข้อมูล (Filter) ด้วยวิธีการ Laplacian Pyramid แบบต่าง ๆ (High Pass/ Low Pass) โดยผ่านการกรอง ที่ขนาดหน้าต่าง (Window Filter) ขนาดต่าง ๆ ทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่แสดงรายละเอียด ระดับความคมชัดของข้อมูลภาพในแต่ละวิธีการ ไม่เท่ากัน

Liu (2000) ได้ศึกษาการหลอมข้อมูลดาวเทียม Landsat-7 ETM+ รายละเอียดภาพ 30 เมตร ร่วมกับดาวเทียม Landsat-7 ETM+ ระบบ Panchromatic เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการหลอม ระหว่างข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น Landsat-7 ETM+ รายละเอียดภาพ 30 เมตร กับข้อมูลจากดาวเทียม SPOT ระบบ Panchromatic รายละเอียดภาพ 10 เมตร จากเทคนิควิธีการทำ Fusion แบบต่าง ๆ เช่น HSI และ Brovey Transformation

Pohl (1999) ได้ทำการศึกษาและสรุปเครื่องมือและเทคนิควิธีการต่าง ๆ ในการดำเนินการเกี่ยวกับการหลอมข้อมูลภาพดาวเทียม ที่มีความแตกต่างในเรื่องของขนาดรายละเอียดข้อมูล (Spatial Resolution) ระหว่างภาพดาวเทียม SPOT ระบบ Panchromatic รายละเอียดข้อมูล 10 เมตรกับภาพดาวเทียม SPOT ระบบ Multispectral รายละเอียดข้อมูล 20 เมตร

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University