บทที่ 3

การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม

ภาพที่บันทึกได้จากดาวเทียมบางครั้งอาจจะมีความไม่สม่ำเสมอของสัญญาณภาพ อันเนื่องมาจากมีสัญญาณรบกวน อันเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของระบบอุปกรณ์สำรวจ มุมมองภาพถ่าย และมุมของดวงอาทิตย์ ทำให้ภาพที่ได้ไม่เหมาะกับการใช้งาน เนื่องจากขาดความคมชัดของภาพ เกิดจุดที่เป็นสัญญาณรบกวนแพร่กระจายไปทั่ว ทำให้ภาพเกิดความไม่ราบเรียบ ยากแก่การวิเคราะห์ตีความ ดังนั้นเพื่อให้การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมได้ดีขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้สัญญาณรบกวนให้ลดน้อยลง ในขณะเดียวกันก็เน้นรายละเอียดของภาพให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนทั้งในด้านการปรับระดับความเข้มแสงและการเน้นลักษณะทิศทางของโครงสร้างบางอย่างเฉพาะเจาะจง เพื่อให้การใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียมเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะของข้อมูลดาวเทียม การกระจายข้อมูลภาพ (Histogram) และการเน้นภาพ (Image Enhancement)

3.1 ลักษณะข้อมูลดาวเทียม

ในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรนั้น ข้อมูลที่ได้มีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ ข้อมูลในลักษณะของรูปถ่ายและข้อมูลในลักษณะเชิงตัวเลข โดยข้อมูลของรูปถ่ายจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และตีความด้วยสายตา ส่วนข้อมูลเชิงตัวเลขจะถูกบันทึกลงในแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นสูง และสามารถนำมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งเทปแม่เหล็กที่บรรจุข้อมูลเชิงตัวเลขใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เรียกว่า Computer Compatible Tape (CCT)

ข้อมูลที่ได้จากข้อมูลดาวเทียมทั้งรูปถ่ายและภาพเชิงตัวเลขจะแสดงด้วยค่าระดับการสะท้อนแสง หรือการแผ่รังสีของวัตถุที่ปกคลุมบนผิวโลก ซึ่งค่าการสะท้อนแสงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่แตกต่างกันบนผิวโลก

3.1.1 **ข้อมูลรูปถ่าย** รูปถ่ายของแต่ละช่วงคลื่นของการถ่ายภาพจะอยู่ในลักษณะภาพขาว ดำ โดยค่าการสะท้อนแสงจะอยู่ในระดับสีขาว เทา และดำ โดยสีขาวจะแสดงต่อการสะท้อนสูงสุดคือ 100% จนถึงสีดำซึ่งมีค่าสะท้อน 0% คือมีการดูดกลืนแสง 100% และสีเทาจะแสดงค่าการสะท้อนที่แตกต่างกันออกไปในระดับปานกลาง นอกจากรูปถ่ายของแต่ละช่วงคลื่นแล้ว ยังสามารถนำรูปถ่ายของแต่ละช่วงคลื่นมาทำเป็นภาพสีผสมได้ โดยใช้จำนวนช่วงคลื่นอย่างน้อย 3

ช่วงคลื่นมารวมกัน ทำให้เกิดภาพสีผสม โดยทั่วไปแล้วมักนิยมให้สีน้ำเงิน เขียว แดง แก่ภาพถ่ายในช่วงคลื่นสั้นและยาวขึ้นมาในย่านของคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงช่วงคลื่นอินฟราเรด ภาพที่ได้จากการรวม 3 ช่วงคลื่น หรือ 3 ภาพ เข้าด้วยกันจะได้ภาพที่มีลักษณะเหมือนภาพอินฟราเรด คือพืชพรรณต่างๆ จะปรากฏเป็นสีแดง เนื่องจากมีการสะท้อนแสงสูงที่ช่วงคลื่นอินฟราเรด ภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้ลักษณะพืชเป็นสีแดง ซึ่งผิดจากธรรมชาติที่พืชมีสีเขียว เรียกว่า ภาพสีผสมเท็จ (False Color Composite)

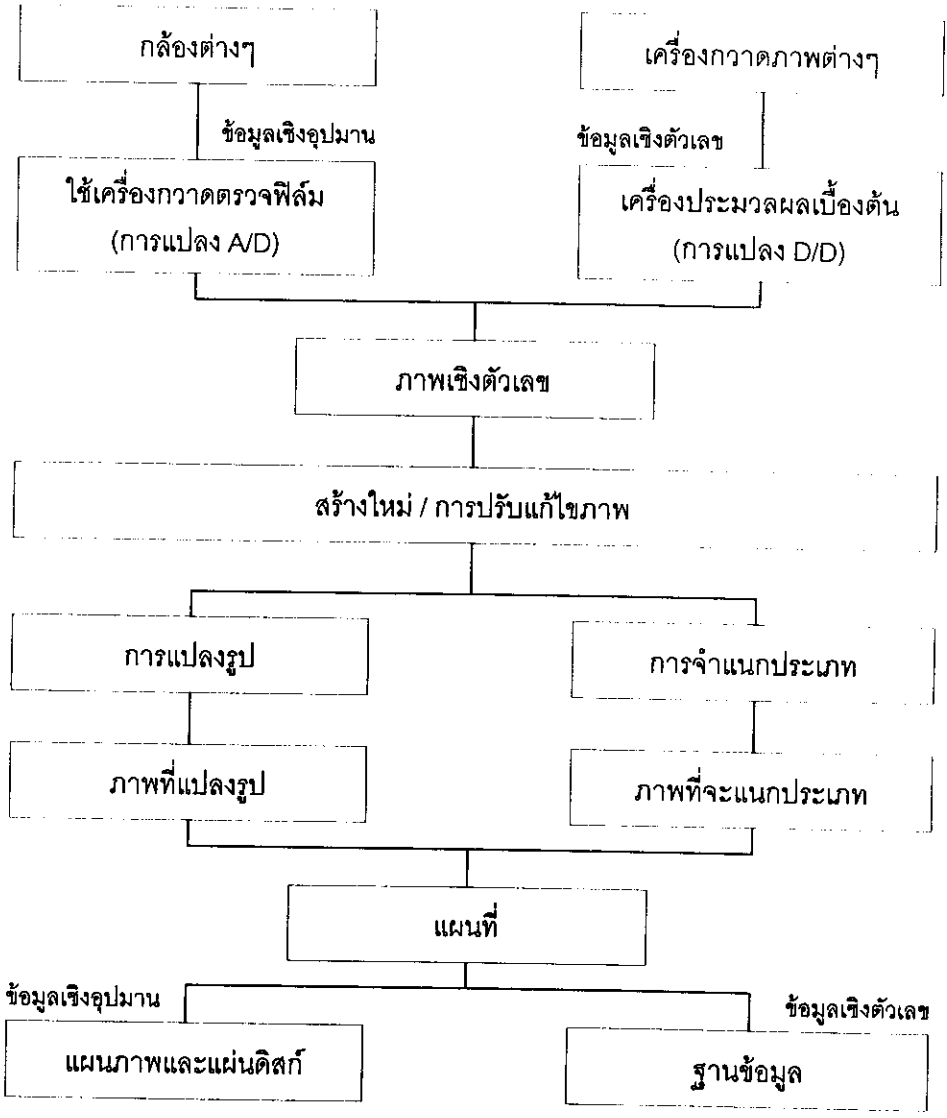
3.1.2 **ข้อมูลเชิงตัวเลข** ข้อมูลเชิงตัวเลขจะใช้ตัวเลขแทนค่าการสะท้อนแสงที่ระดับต่างๆ กัน โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะเลขฐานสอง 8 บิท (2^8) โดยจะมีค่าการสะท้อนแสงอยู่ในระดับสีเทาอยู่ 256 ระดับ หรือเรียกว่า Digital Number (DN) คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 โดยที่ระดับ 0 จะแสดงค่าการสะท้อนที่ต่ำสุด คือ สีจะออกดำ และค่าที่ระดับ 255 จะแสดงถึงการสะท้อนมากที่สุด คือ สีจะออกขาว

ภาพจากดาวเทียมที่ได้มานั้น นอกจากจะต้องมีการปรับแก้เชิงคลื่นรังสี อันเนื่องมาจากความไวที่แตกต่างกันของเครื่องมือ อุปกรณ์ตรวจวัด ทิศทางการถ่ายภาพและอิทธิพลของชั้นบรรยากาศแล้ว ยังต้องปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งหรือเรขาคณิต ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวทางรูปร่างอันเนื่องมาจากอิทธิพลการหมุนรอบตัวเองของโลกขณะที่ดาวเทียมถ่ายภาพ ความไม่สม่ำเสมอในการทรงตัวของดาวเทียม การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงและความเร็วในการโคจร ซึ่งการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางแสงและเรขาคณิต สามารถทำได้โดยการสร้างสมการขึ้นเพื่อปรับแก้ข้อมูล ตลอดจนกรรมวิธีทางข้อมูลโดยอาศัยคอมพิวเตอร์เข้าช่วยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากขึ้น

นอกจากข้อมูลภาพจากดาวเทียมที่มีปัญหาความคลาดเคลื่อนทางแสงและตำแหน่งอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของระบบอุปกรณ์ดังที่กล่าวแล้ว ในบางกรณีข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมอาจมีความไม่คมชัดของภาพ และให้รายเอียดของความแตกต่างระหว่างพื้นผิวของวัตถุต่างประเภทไม่ชัดเจน อาจเนื่องมาจากสภาพสองสว่างที่ไม่ดีพอหรือมีความขุ่นมัวในชั้นบรรยากาศ และคุณสมบัติการสะท้อนแสงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพข้อมูลในลักษณะนี้ สามารถกระทำได้โดยวิธีการเน้นภาพ เพื่อดึงหรือเน้นรายละเอียดของข้อมูลภาพของวัตถุที่ต้องการเห็นความแตกต่างให้เด่นชัดขึ้นมา ซึ่งวิธีดังกล่าวจะได้กล่าวต่อไป

3.2 ระบบประมวลผลภาพ

3.2.1 **ระบบประมวลผลข้อมูล** ข้อมูลโทรนิทัศน์ ส่วนมากมักจะเป็นข้อมูลประเภทภาพเชิงตัวเลข ด้วยเหตุนี้การประมวลผลภาพในโทรนิทัศน์จึงเป็นการประมวลผลด้วยเครื่องประมวลภาพเชิงตัวเลข โดยมีขั้นตอนแปลงข้อมูลทั้งหมด 5 ขั้นตอน ตามภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 ลำดับข้อมูลในงานโทรนิทัศน์

1) ข้อมูลรับเข้า (Input data) มีแหลงข้อมูล 2 แบบ คือ ข้อมูลเชิงอุปมาน (Analog data) และข้อมูลเชิงตัวเลข(Digital data) ได้แก่ ข้อมูลเครื่องกวาดตรวจหลายช่วงคลื่น แปลงจากเทปเชิงตัวเลขความหนาแน่นสูง (HDDT) ไปเป็นเทปคอมพิวเตอร์ (CCT) เพื่อการวิเคราห์

คอมพิวเตอร์ให้ง่ายขึ้น ส่วนข้อมูลเชิงอุปมาน ได้แก่ แผ่นฟิล์มสร้างภาพโดยเครื่องกวาดตรวจ หรือเครื่องกวาดตรวจชนิดม้วนเข้าสู่ข้อมูลภาพเชิงตัวเลข

2) การสร้างภาพใหม่และปรับแก้ภาพ (Reconstruction and Correction) การสร้างภาพใหม่ คือ หน่วยเก็บภาพใหม่ และ หรือ การปรับแก้ของรังสีภาพ (Radiometric) และเชิงเรขาคณิต ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรดำเนินการในการประมวลผลภาพ

3) การแปลงรูป (Transformation) การเน้นภาพ (Enhancement) เป็นการแปลงเชิงพื้นที่และรูปทรงเรขาคณิต และ หรือ การจัดข้อมูลไปเป็นการจัดเตรียมอย่างธรรมดา โดยการแสดงผลเป็นแผนที่ทั่วไปหรือฐานข้อมูล

4) การจำแนกประเภท (Classification) รูปลักษณ์ของภาพจะถูกแบ่งเป็นประเภท ซึ่งเรียกว่า การป้ายสี (Label) ในการ ประมวลผลภาพมักใช้เทคนิคการเรียนรู้ การจำแนกประเภท การแบ่งส่วน และการจับคู่

5) แสดงผล (Output) มีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ ข้อมูลแสดงผลภาพเชิงประมาณ ได้แก่ ฟิล์มหรือภาพพิมพ์ และวิธีที่สองคือ ข้อมูลที่แสดงผลของฐานข้อมูล ซึ่งมักแสดงเป็นแต่ละชั้น ของข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

3.2.2 **ระบบประมวลผลภาพ** ระบบประมวลผลภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนตัวเครื่อง บริภัณฑ์รอบข้าง และส่วนชุดคำสั่ง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1) ส่วนเครื่อง ในส่วนเครื่องประมวลผลภาพแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- ระบบประมวลผลภาพที่มีตัวประมวลผลภาพเฉพาะ เป็นเครื่องประมวลผลภาพที่มีกรอบพักข้อมูล ต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เครื่องประมวลผลภาพ มีการทำงานของการประมวลผลภาพด้วยความเร็วสูง และรับเข้า แสดงผลข้อมูลระบบ ส่วนเครื่องขึ้นอยู่กับชนิดของคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยทั่วไปมักจะเลือกพวกคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) สถานีงาน (Work Station) มินิคอมพิวเตอร์ (Mini-computer) คอมพิวเตอร์วัตถุประสงค์ทั่วไป เป็นต้น และเครื่องดังกล่าวนำไปใช้เพื่อเหมาะสมกับงาน

- คอมพิวเตอร์วัตถุประสงค์ทั่วไป คอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่มีกรอบพักข้อมูล โดยเหตุที่ว่าการประมวลผลภาพ เป็นผลของการพัฒนาโปรแกรมหรือโดยผู้ใช้คำนึงถึงสมรรถะแสดงผลของระบบได้คล่องตัว ขนาดของโปรแกรมธรรมดาค่อนข้างใหญ่มาก คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือสถานีงานมักจะถูกจัดเลือกให้เป็นระดับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Host computer)

2) บริภัณฑ์รอบข้าง (Peripherals) ระบบประมวลผลภาพต้องใช้อุปกรณ์หลายอย่าง อาทิเช่น อุปกรณ์รับภาพเข้าที่สามารถแปลงเป็นเชิงอนุมาน เชิงตัวเลข อุปกรณ์แสดงผลข้อมูล

สำหรับแสดงภาพ เครื่องบันทึกภาพ ซึ่งผลิตภาพดาวเทียม และอุปกรณ์บักทึกภาพ จนถึงจัดตั้งการเก็บข้อมูลอย่างถาวร

3) ส่วนชุดคำสั่ง (Software) ส่วนของชุดคำสั่งของการประมวลผลภาพ มีระบบย่อยพื้นฐานดังต่อไปนี้

- รับเข้า แสดงผลข้อมูล ได้แก่ อ่านและบันทึกลงบน CCT เป็นต้น
- แสดงผลภาพและดำเนินการ ได้แก่อ่านผลลัพธ์ ดำเนินการเน้นขอบภาพ เป็นต้น
- การสร้างภาพใหม่และการปรับแก้ภาพ ได้แก่ การปรับแก้เชิงเรขาคณิต ปรับแก้คลื่นรังสีภาพ เป็นต้น
- งานวิเคราะห์ภาพ ได้แก่ การแปลงรูป การจำแนกประเภท เป็นต้น
- แสดงผลภาพ ได้แก่ การพิมพ์ ฟิล์มบันทึก เป็นต้น

3.2.3 **ระบบรับภาพเข้า** (Image Input System) ระบบรับภาพเข้านิยามไว้ว่า เป็นส่วนตัวแปลงเชิงอนุมาน ไปเป็นเชิงตัวเลข ภาพเชิงอุปมาน ระบบรับภาพเข้าจัดเตรียมข้อมูลเชิงตัวเลข ซึ่งถูกดัดแปลงระดับความเข้มหรือสีของฟิล์ม หรือภาพพิมพ์ ในกรณีของภาพสีองค์ประกอบของสีเบื้องต้นทั้งสาม (สีแดง เขียวและน้ำเงิน) สร้างภาพโดยใช้ตัวกรองสีทั้งสาม ชุดคำสั่งของระบบรับภาพเข้าขึ้นอยู่กับตัวประกอบคือ ขนาดของฟิล์ม รายละเอียดเชิงพื้นที่ ระดับความเข้ม ความเร็ว สภาพแวดล้อม ความแม่น ชนิดของภาพ

1) เครื่องกวาดตรวจเชิงกล นำภาพวางรอบแท่งกระบอก (Drum) ถูกกวาดโดยการใช้หมุนวนของแท่งกระบอก และเลื่อนขยับของต้นแสง แม้ความเร็วของการกวาดตรวจไม่สูงมาก ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะให้รายละเอียดเชิงพื้นที่ และความหนาแน่นสูงมาก ปัจจุบันได้มีการนำแสงเลเซอร์มาใช้เป็นตัวให้แสง ซึ่งสามารถให้ความเร็วมากขึ้น

2) หลอดภาพอิเล็กทรอนิกส์ อาทิเช่น กล้องทีวีสำหรับใช้เป็นตัวแปลงเชิงอุปมาน เป็นเชิงตัวเลข อย่างไรก็ตามรายละเอียดเชิงพื้นที่ รายละเอียดความหนาแน่น และความแม่นของตำแหน่งมีค่าต่ำ ข้อดีคือราคาถูกและใช้ง่าย

3) กล้องอุปกรณ์ถ่ายเทปประจุ (CCT) หลอดภาพอิเล็กทรอนิกส์ถูกแทนที่โดยกล้องอุปกรณ์ถ่ายเทปประจุที่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ และความหนาแน่นตำแหน่งสูงกว่า ระบบเหล่านี้กระทัดรัดและน้ำหนักเบา

4) กล้องอุปกรณ์ถ่ายเทปประจุแถวลำดับเชิงเส้น (Line Array CCT Camera) มีรายละเอียดสูงมาก ยกตัวอย่างเช่น 409 จุดภาพต่อเส้น หน่วยขับเชิงกลสามารถสร้างภาพด้วยการกวาดตรวจแบบโต๊ะที่แบนราบ

5) จุดการบิน (Flying Spot) จุดภาพแสดงบนหลอดภาพ (CRT) ฉายโยงลงบนแผ่นฟิล์มตรงพิกัดที่ให้ความเร็วสูง ความหนาแน่นของฟิล์ม สามารถแปลงเป็นตัวเลขอย่างเป็นระเบียบเช่นเดียวกับการสุ่มตัวอย่าง ขึ้นอยู่กับพิกัดนำเข้า ข้อเสียคือ ต้องอยู่ภายในห้องมืด

ตาราง 3-1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์รับภาพเข้า เป็นตัวอย่างการเปรียบเทียบ ระหว่างรายละเอียดเชิงพื้นที่ รายละเอียดความหนาแน่น ความแม่นตำแหน่ง เป็นต้น

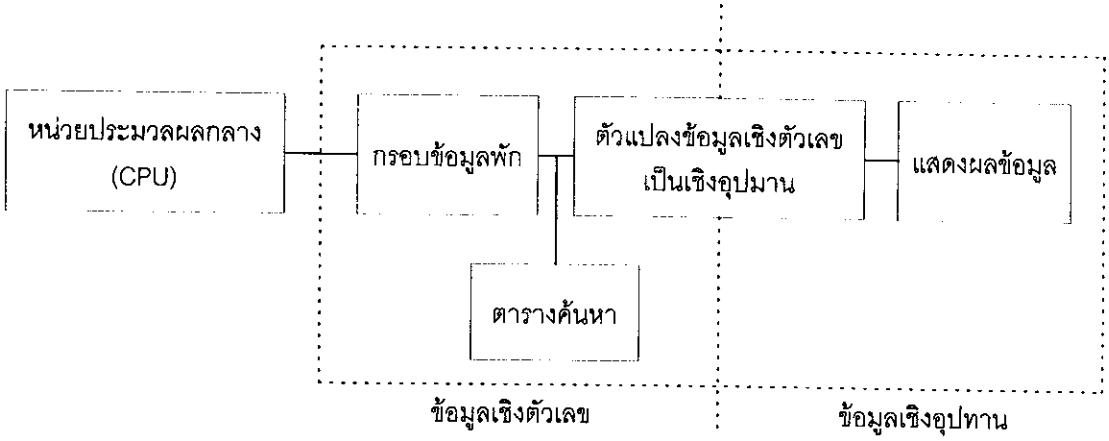
ตาราง 3-1 ลักษณะอุปกรณ์รับภาพเข้า

วิธีตรวจกวาด	รายละเอียดเชิงพื้นที่	รายละเอียดความหนาแน่น	ความแม่นตำแหน่ง	ตัวอย่าง
เชิงกล	สูงมาก	สูงมาก	สูงมาก	เครื่องตรวจกวาดเชิงกระบอก
เชิงอิเล็กทรอนิกส์ (หลอดภาพ)	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	กล้องทีวี
เชิงอิเล็กทรอนิกส์/เชิงกล	สูงมาก	เสถียรภาพแต่ช่วงพิสัยแคบ	สูง	กล้อง CCD กล้องทีวี
อิเล็กทรอนิกส์	สูง	เสถียรภาพแต่ช่วงพิสัยแคบ	สูง	กล้อง CCD กล้องทีวี
กวาดตรวจด้วยแสง	สูงมาก	อิทธิพลต่อแสง	อิทธิพลต่อแสง	เครื่องตรวจจุดการบิน

3.2.4 **ระบบแสดงผลภาพ** (Image Display System) แสดงผลภาพใช้เพื่อข้อมูลภาพเชิงตัวเลข แสดงผลลงในภาพที่ตามองเห็น เป็นเครื่องมือเพื่อระบบทำงานแบบทันที เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างคนกับเครื่องจักร ระบบแสดงภาพประกอบด้วย กรอบที่พักข้อมูล ตารางค้นหา ตัวแปลงเป็นเชิงอุปมานและแสดงผล ดังแสดงในภาพประกอบ 3-2

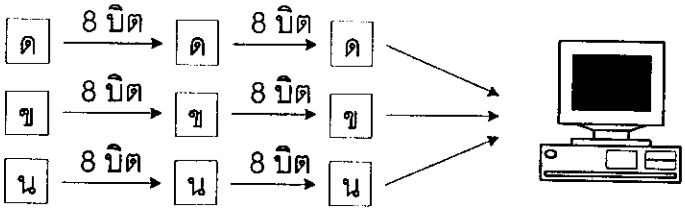
1) กรอบที่พัก (Frame Buffer) เป็นส่วนความจำภาพที่ยอมให้อ่านข้อมูลภาพเชิงตัวเลขด้วยความเร็วสูง ขนาดของความจำภาพมักเป็น 512 x 512 ถึง 2048 x 2048 จุดภาพ

2) ตารางค้นหา (Lookup Table) เป็นชุดคำสั่งเบื้องต้น ที่สามารถแปลงจากสัญญาณรับเข้า ไปสู่สัญญาณและแสดงผลระบบทำงานแบบทันที ได้แก่ ชุดคำสั่งเชิงเส้น ชุดคำสั่งเน้นภาพตัดกัน ชุดคำสั่งแกมม่า ชุดคำสั่งแบบล็อค เป็นต้นในภาพประกอบ 3-2 ตัวแปลงเป็นเชิงอนุมาน แปลงข้อมูลภาพเชิงตัวเลขในกรอบที่พักข้อมูลไปสู่ สัญญาณวิดีทัศน์เชิงอุปมาน



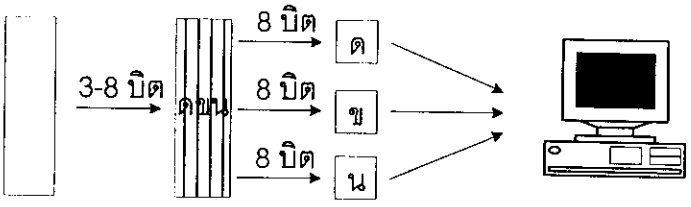
ภาพประกอบ 3-2 การจัดองค์กรเครื่องมือแสดงภาพถ่าย

ซึ่งชนิดของการแยกสีแดง เขียว และน้ำเงิน ด้วยระบบประมวลผลเชิงอุปมาน แสดงไว้ตามภาพประกอบ 3-3 ขณะที่ชนิดของภาพพิมพ์สี ระบบสร้างรูปไม่ได้ขึ้นอยู่กับที่พักข้อมูล และตารางค้นหาได้เทียบกับสีแดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งสามารถควบคุมแต่ละสีตามภาพประกอบ 3-4 ดังนั้นภาพเต็มสี (256 x 256 x 256 = 16,787,216 สี) สามารถผลิตได้ ระบบถัดต่อมาคือมีกรอบที่พักข้อมูลเดียว และตารางค้นหา แยกสีแดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งยอมให้แค่ผลิตสีอย่างจำกัด ยกตัวอย่างทั้ง 256 สี ในกรณีเป็นการรวมของ 8 บิต ของกรอบที่พักข้อมูล และ 8 บิต ของแต่ละสีแดง เขียว และน้ำเงิน การแสดงผลมีด้วยกันหลายชนิด อาทิเช่น CRT แสดงผลผลึกเหลว การแสดงผลพลาสมา



กรอบที่พัก ตารางค้นหา ตัวแปลงเชิงตัวเลข / เชิงอุปมาน

ภาพประกอบ 3-3 ตัวอย่างการค้นหาชนิดแยกสีแดง เขียว น้ำเงิน แสดงครบทุกสี



กรอบที่พัก ตารางค้นหา ตัวแปลงเชิงตัวเลข / เชิงอุปมาน

ภาพประกอบ 3-4 ตัวอย่างการค้นหาชนิดแผนที่สี แสดงสี 256 สีจากสีที่ครบ

3.2.5 **ระบบสิ่งพิมพ์ออก** (Hand Copy System) ระบบสิ่งพิมพ์ออกหรือระบบผลลัพธ์ภาพที่ใช้ผลิตภาพเชิงอุปมาน บนกระดาษหรือบนฟิล์มจากข้อมูลภาพเชิงตัวเลข ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบ สิ่งบันทึก รายละเอียดภาพ ระดับความเข้ม ขนาดผลลัพธ์ อัตราส่งออก ราคา และความถาวร

1) ภาพถ่ายเคลือบด้วยเงินเฮไลด์ (Silver Halide Photography) เรียกว่าตัวบันทึกฟิล์ม ซึ่งสามารถผลิตของผลิตภัณฑ์ฟิล์ม จากข้อมูลภาพเชิงตัวเลขด้วยแสง เช่น ลำแสง CRT และเลเซอร์ มีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดทรงกระบอกกับชนิดแผ่นระนาบ แสดงรายละเอียดและความเข้มได้ดีเยี่ยม อีกทั้งระบบพัฒนาใช้ความร้อน ปัจจุบันได้กลับกลายเข้ามาแทนที่การดำเนินงานของระบบพัฒนาที่ใช้สารเคมี

2) ภาพถ่ายซุบด้วยไฟฟ้า (Electro Photograph) เป็นภาพเนกาทีฟ ที่ผลิตขึ้นครั้งแรกด้วยระบบทรงกระบอกความไวภาพ ตัวความเข้มทั้งสองเป็นภาพแทนที่เชิงอิเล็กทรอนิกส์ตามภาพเนกาทีฟ ตัวความเข้มที่สามถูกบันทึกลงบนกระดาษระนาบ ข้อดีคือเสียค่าใช้จ่ายถูก ใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่นเดียวกับสิ่งพิมพ์ออกทั่วไป

3) ตัวบันทึกซุบด้วยไฟฟ้าสถิต (Electro Static Recorder) กระดาษเคลือบด้วยอิเล็กทรอนิกส์ครั้งแรก ให้ประจุไฟฟ้าในรูปเนกาทีฟ ตามด้วยแบบจุดของภาพ ตัวความเข้มสีครั้งที่สองแทนที่จุดต่อจุดที่ซุบด้วยไฟฟ้าสถิต ข้อดีคือ ให้ผลลัพธ์ขนาดใหญ่ สามารถรับได้ในช่วงเวลาที่สั้น ราคาปานกลาง บางคราวเรียกว่า เครื่องพิมพ์แบบจุดสถิตซุบไฟฟ้า หรือ เครื่องพิมพ์แบบจุดอย่างธรรมดา

3.2.6 **หน่วยเก็บข้อมูลภาพ** (Storage of Image Data) ปริมาณของข้อมูลภาพโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่ อุปกรณ์หน่วยเก็บที่มีปริมาตรใหญ่คือ ต้องการบันทึกข้อมูลภาพต้นฉบับไว้ได้ทั้งหมด เช่นเดียวกับผลของการประมวลผลภาพ ความจุของปริมาตรสื่อกลางบันทึกได้เพิ่มขึ้นปีต่อปี เนื่องจากการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม

1) เทปแม่เหล็ก (Magnetic Tape) เทปแม่เหล็กใช้กันแพร่หลายเช่นเดียวกับคอมพิวเตอร์ชนิดวัตถุประสงค์ทั่วไป หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลมาตรฐานรู้จักกันดี ดังนั้นจึงสามารถถ่ายโอนได้ ข้อเสียคือ ขนาดของเทปแม่เหล็ก ดังนั้นหน่วยบันทึกแม่เหล็กจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะมีช่องความจำว่างให้พอกับหน่วยเก็บได้ทั้งหมด

2) เทปไหล (Streamer Tape) เป็นเทปขนาดเล็กของเทปกลัก (Cartridge tape) ที่นิยมใช้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) หรือสถานีงาน (WS)

3) เทปโสตเชิงตัวเลข (Digital Audio Tape-DAT) เพราะขนาดของมันเล็กกว่าเทปไหลและความจุใหญ่กว่าและราคาถูกกว่า ดังนั้นเทปโสตเชิงตัวเลขกลายเป็นที่นิยมสำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และสถานีงาน ข้อเสียคือ อัตราถ่ายโอนข้อมูลต่ำ

4) เทปวิดีทัศน์ขนาด 8 มิลลิเมตร (8 mm. Radio Tape) มีราคาถูกและความจุหน่วยเก็บใหญ่กว่าแบบเทปโสตเชิงตัวเลขอัตราการถ่ายโอนข้อมูลไม่เร็วมาก แต่เร็วขึ้นกว่าเทปแบบไหลและเทปโสตเชิงตัวเลข

5) เทปด้วยแสง (Optical Tape) มีความจุประมาณ 1 เทราไบต์ (Terabyte) อัตราถ่ายโอนข้อมูลเร็วกว่า 10 เท่าของเทปโสตเชิงตัวเลข (เร็วกว่าเทปแม่เหล็ก) สามารถเขียนทับใหม่ได้ และเป็นอุปกรณ์สามารถแลกเปลี่ยนได้ ขณะนี้มีโรงงานจำนวนน้อยผลิตอุปกรณ์ และราคาแพงมาก ความจุข้อมูลและอายุของเทป ทำให้ประหยัดสำหรับผู้ใช้ปริมาณมาก

6) จานบันทึกแม่เหล็กแบบแสง (MO-DISK) มีขนาดกระทัดรัดและความจุมากเช่นกัน คล้ายกับจานบันทึกแบบแข็งทั่วไป (Hard Disk) เพราะสามารถเขียนทับได้ มีคุณประโยชน์โอนแลกเปลี่ยนกันได้ อัตราการถ่ายโอนข้อมูลเร็วมาก สื่อกลางเทปที่ราคาถูก สื่อกลางชนิดนี้เป็นที่นิยมมาก โดยเฉพาะสำหรับใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และสถานีงาน

7) จานบันทึกด้วยแสงแบบเขียนครั้งเดียวอ่านได้หลายครั้ง จานที่ไม่สามารถเขียนทับได้ มีผู้ใช้น้อย อย่างไรก็ตามมีความจุมากกว่าแบบจานบันทึกแม่เหล็กแบบแสงเล็กน้อย และอายุหน่วยเก็บได้ยาวนานกว่า

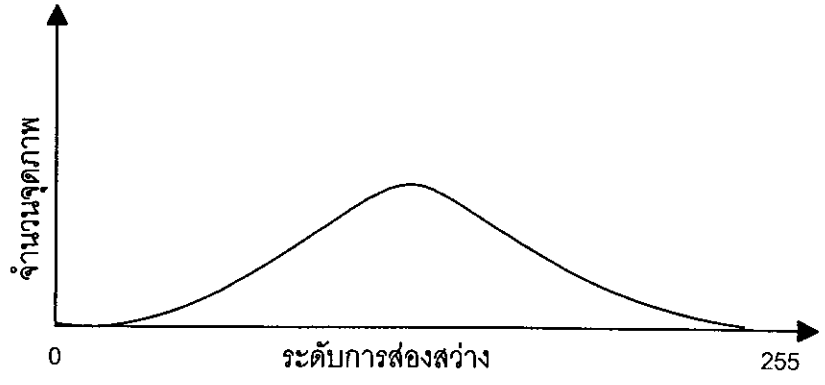
8) แผ่นบันทึก (Floppy Disk) เป็นหน่วยเก็บที่นิยมมากที่สุดสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ข้อเสียคือ ความจุจำกัดไม่กี่เมกกะไบท์ และอัตราถ่ายโอนข้อมูลต่ำ ข้อดีคือ ราคาถูกและสามารถเปลี่ยนข้อมูลได้

3.3 **ฮีสโตแกรมของภาพ** (Image Histogram)

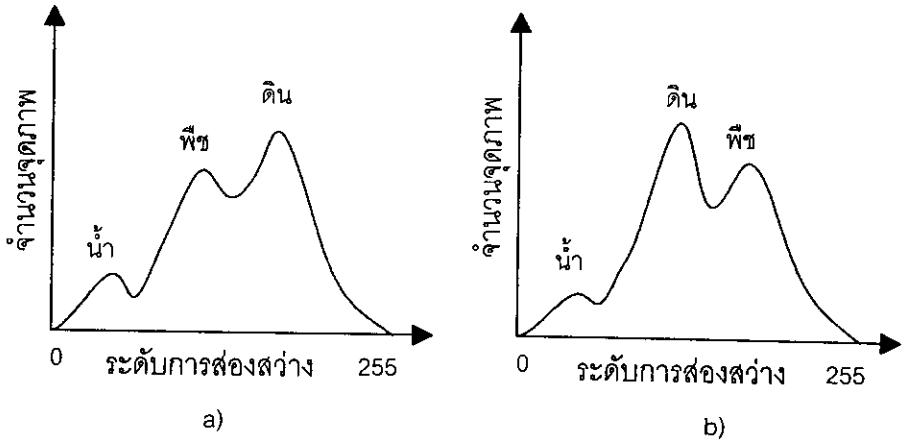
ภาพถ่ายจากดาวเทียมประกอบด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาดเล็กเรียงต่อกันไป ซึ่งสี่เหลียมขนาดเล็กนี้เรียกว่าจุดภาพ (Pixel) ซึ่งขนาดของจุดภาพจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบบันทึกข้อมูล ถ้าจุดภาพมีขนาดเล็กมากเท่าใดก็จะทำให้ได้รายละเอียดมากขึ้นเท่านั้น จุดภาพแต่ละจุดภาพจะเป็นค่าผลรวมของค่าส่องสว่างหรือระดับการสะท้อนในระดับสีเทาที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของประเภทวัตถุที่ปกคลุมพื้นที่ภายในจุดภาพนั้น ซึ่งจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ Thematic (TM) มีรายละเอียดของภาพ 30 x 30 ตารางเมตร ดาวเทียมระบบ Multispectral Scanner (MMS) มีรายละเอียดของภาพ 80 x 80 ตารางเมตร และ Panchromatic มีรายละเอียดของภาพ 10 x 10 ตารางเมตร

ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมประกอบด้วยข้อมูลที่กระจายอยู่ในลักษณะความถี่หรือความมากน้อยของข้อมูล (จำนวนจุดภาพ) ที่ค่าระดับของการส่องสว่างหนึ่ง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255 ระดับ เรียกว่า ฮีสโตแกรมหรือกราฟแท่งซึ่งฮีสโตแกรมจะแสดงการกระจายทางสถิติของจุดภาพในระดับค่าส่องสว่างของภาพในรูปของจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่ค่าระดับการส่องสว่างของแต่ละจุดภาพตามภาพประกอบที่ 3-5

ข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม 1 ภาพ ในแต่ละช่วงคลื่นจะมีการกระจายของประเภทข้อมูลอยู่มากมาย ซึ่งฮีสโตแกรมของแต่ละประเภทข้อมูลจะมีการกระจายในรูปแบบที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับการสะท้อนแสงของประเภทข้อมูลนั้นที่ตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน เช่น การกระจายของประเภทข้อมูลของน้ำ ดิน และพืชสีเขียว ในช่วงคลื่นสีแดง และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ จะมีลักษณะแตกต่างกันตามภาพแสดง 3-6



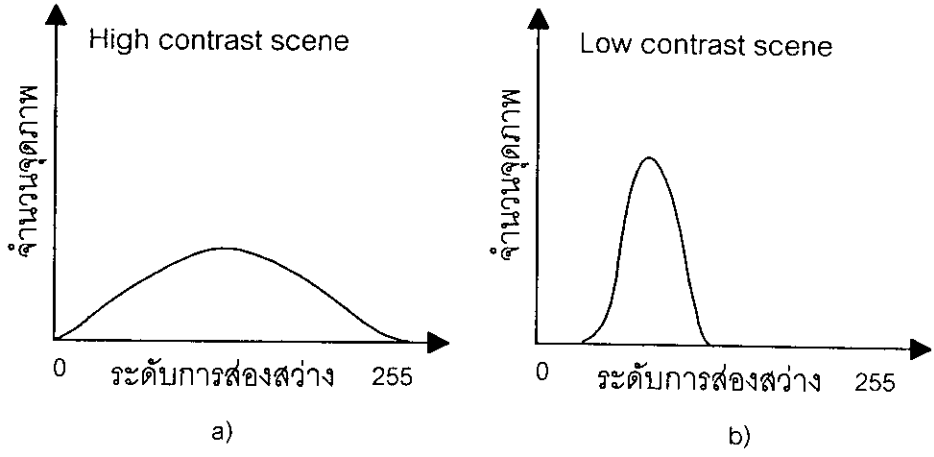
ภาพประกอบ 3-5 การกระจายของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมที่ระดับการสะท้อนแสงต่างๆ



ภาพประกอบ 3-6 แสดงการกระจายของข้อมูล ของน้ำ ดิน และพืชในช่วงคลื่นสีแดง a) และช่วงอินฟราเรดช่วงใกล้ b)

ฮีสโตแกรมของภาพถ่ายดาวเทียมมีประโยชน์อย่างมากสำหรับใช้เป็นแนวทางในขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ การทราบลักษณะการกระจายฮีสโตรแกรมเป็นสิ่งที่มีประโยชน์และมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในการเน้นภาพ และนอกจากนั้นในการจำแนกภาพ ฮีสโตแกรมจะเป็นตัวบ่งบอกว่าในพื้นที่ที่สุ่มตัวอย่างมาศึกษา จะมีความสม่ำเสมอของข้อมูลหรือไม่ ถ้าฮีสโตแกรมมีลักษณะเป็นยอดเดียว พื้นที่ตัวอย่างนี้จะเป็นตัวแทนของข้อมูลที่เหมาะสมในการจำแนกภาพ เนื่องจากเป็นกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเป็นหนึ่งเดียว หรือ Spectral Homogeneity แต่ถ้าฮีสโตแกรมมีลักษณะเป็น Bimodal หรือมียอดมากกว่าหนึ่ง พื้นที่ตัวอย่างในลักษณะนี้จะไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลในการจัดจำแนกภาพ เนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวมีประเภทของข้อมูลที่ผสมกัน ซึ่งมีลักษณะของ Spectral Heterogeneity ซึ่งพื้นที่ตัวอย่างจะทำให้การจำแนกภาพผิดพลาด จำเป็นต้องเลือกพื้นที่ตัวอย่างใหม่

นอกจากรูปร่างของฮีสโตแกรมจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความเป็นอันหนึ่งอันเดียวหรือความแตกต่างกันของประเภทข้อมูลแล้ว ยังใช้เป็นตัวบอกถึงความเปรียบต่างที่ชัดเจน (Contrast) ของภาพอย่างกว้างๆ ได้อีกด้วย โดยทั่วไปฮีสโตแกรมที่มียอดที่แคบและมีการกระจายของข้อมูลที่ระดับการส่องสว่างในช่วงที่แคบหรือต่ำ จะแสดงถึงรายละเอียดหรือความคมชัดของวัตถุบนภาพค่อนข้างต่ำ ส่วนภาพที่ฮีสโตแกรมที่มีจุดยอดกว้างและมีการกระจายของข้อมูลที่ระดับการส่องสว่างในช่วงที่กว้างขึ้น จะให้ความคมชัดของวัตถุบนภาพมากขึ้น ตามภาพประกอบ 3-7



ภาพประกอบ 3-7 แสดงลักษณะของฮีสโตแกรมที่ให้ความเปรียบต่างที่ชัดเจน a) และความเปรียบต่างที่ให้ความชัดเจนน้อยกว่า b)

3.4 การเน้นภาพ (Image Enhancement)

การเน้นภาพหรือการปรับปรุงคุณภาพของภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงรายละเอียดของภาพในระดับสีเทาของวัตถุที่อยู่ในภาพให้เด่นชัดมากขึ้น โดยวัตถุที่มีระดับสีเทาใกล้เคียงกันสามารถแสดงความแตกต่างของระดับสีเทาให้เห็นเด่นชัดขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประมวลผลภาพด้วยสายตาได้ดีขึ้น การเน้นภาพอาจเลือกเน้นข้อมูลส่วนใหญ่ที่บรรจุอยู่ในภาพหรือเลือกเน้นเฉพาะข้อมูลบางส่วนตามความต้องการของผู้ประมวล ซึ่งจะเป็นการเน้นในแง่ของคุณภาพของภาพเพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการแปลผลด้วยสายตาหรือใช้คอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปการเน้นภาพจะเป็นการปรับค่าระดับสีเทาของจุดภาพแต่ละจุดภาพ (pixel by pixel) เพื่อจะเน้นความแตกต่างของภาพให้ชัดเจนขึ้น และจะกระทำหลังจากที่ได้มีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางคลื่นรังสีแล้ว มิฉะนั้นจะเสริมให้เกิดการผิดพลาดขึ้น ซึ่งการเน้นภาพสามารถกระทำได้หลายวิธี

3.4.1 Contrast Stretching เป็นการปรับแต่งทางด้านความเข้มหรือความเปรียบต่างของภาพเชิงตัวเลข โดยยืดหรือดึงให้ภาพเชิงตัวเลขที่อยู่ในช่วงความเปรียบต่างของระดับสีเทาหรือระดับการส่องสว่างที่เกาะกลุ่มกันอยู่ในช่วงความเปรียบต่างที่แคบให้กระจายออกกว้างขึ้น เป็นผลทำให้ได้ภาพที่มีความเปรียบต่างดีขึ้น

ข้อมูลภาพเชิงตัวเลขประกอบด้วยค่าระดับสีเทาอยู่ 256 ระดับ โดยมีค่าต่ำสุดจาก 0 ซึ่งเป็นสีดำ ไปจนถึงค่าสูงสุด 255 ซึ่งเป็นสีขาว โดยที่ข้อมูลของภาพส่วนใหญ่อยู่ในช่วงระดับสีเทา

20 ถึง 16 การเน้นภาพทำโดยการปรับค่า 20 ให้เป็น 0 และปรับค่า 160 เป็น 255 ดังนั้นข้อมูลที่อยู่ระหว่าง 20 ถึง 160 จะถูกยืดให้ขยายออกไปทั้ง 2 ด้านจนเต็มช่วง 0 ถึง 255 ทำให้เห็นความแตกต่างของระดับสีเทาของภาพได้เด่นชัดมากขึ้น การยืดภาพในลักษณะ Contrast Stretching มีอยู่หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้แก่

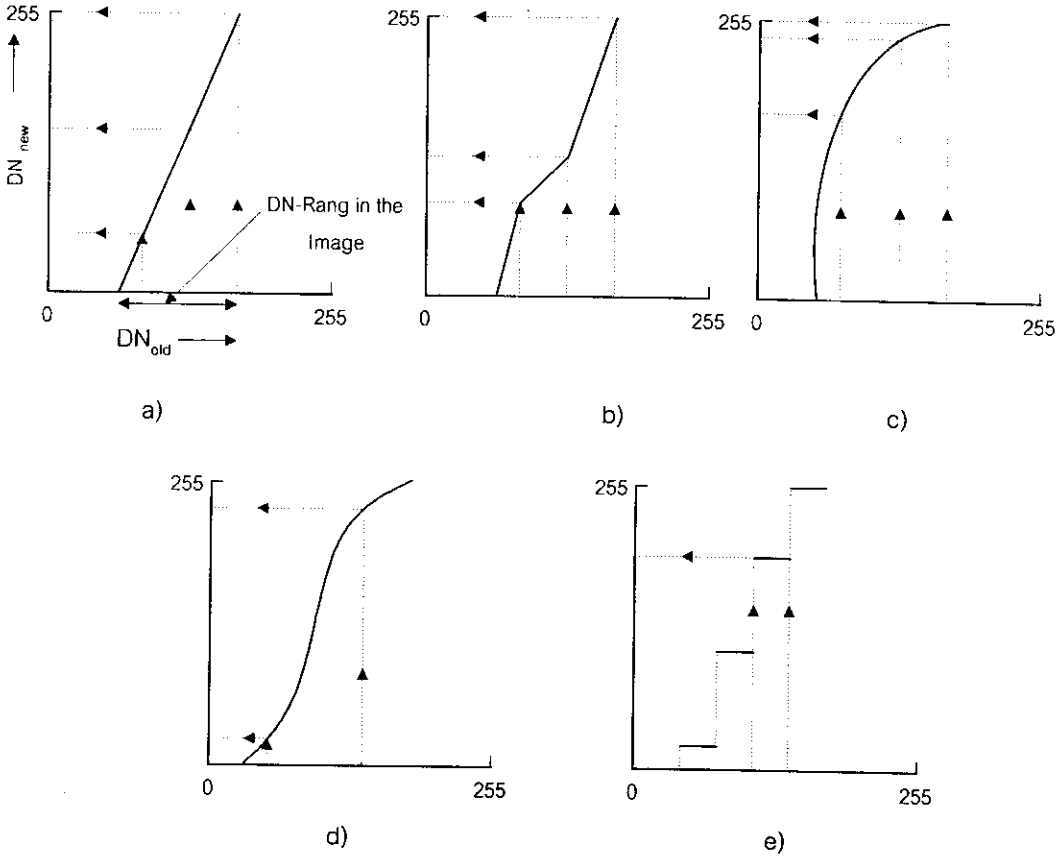
1) Linear Contrast stretch เป็นวิธีการยืดภาพที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าระดับสีเทาของภาพเดิมมีค่าน้อยสุด และมีค่ามากสุด จะถูกขยายเชิงเส้นตรงเพื่อให้ได้ภาพใหม่ที่มีค่าระดับสีเทาช่วง 0 ถึง 255 เช่นการขยายค่าระดับสีเทาเดิมจาก 20 ถึง 160 เป็น 0 ถึง 255 เป็นต้น อย่างไรก็ตามการยืดภาพลักษณะนี้ แม้จะให้รายละเอียดของข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพค่อนข้างดี แต่ก็จะทำให้มีการสูญเสียข้อมูลในว่าส่วนที่ต่ำกว่า 20 และมากว่า 160 เพราะค่าเหล่านี้จะถูกปรับให้เป็นค่า 0 และ 255 ตามลำดับ

2) Multiple Linear Stretch เป็นวิธีการเน้นภาพโดยค่าระดับส่องสว่างเดิมที่ต้องการขยายสามารถเลือกยืดบางส่วน หรือหลายช่วง ในลักษณะของเส้นตรง และในแต่ละช่วงจะขยายให้เป็นค่าใดๆ ก็ได้ตามที่ต้องการ แต่ต้องต่อเนื่องกันไปตลอด 0 ถึง 255

3.4.2 Logarithmic Stretch จัดเป็นการเน้นภาพแบบไม่เชิงเส้น ข้อมูลของภาพจะถูกขยายออกโดยใช้ Logarithmic Function วิธีนี้จะมีประโยชน์สำหรับเพิ่มรายละเอียดของความแตกต่างของภาพในบริเวณที่มีค่าการส่องสว่างต่ำ (บริเวณที่มืดของภาพ) ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพดูสว่างขึ้น

3.4.3 Histogram Equalization Stretch หรือเรียกอีกอย่างว่า Ramp Stretching จัดเป็นการเน้นภาพแบบไม่เป็นเชิงเส้น การใช้วิธีนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่มีการกระจายไม่ปกติให้เป็นแบบปกติและปรับจำนวนจุดภาพในแต่ละค่าความส่องสว่างให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน ข้อมูลส่วนใหญ่ที่อยู่ตอนกลางของฮีสโตแกรมของภาพเดิม จะได้รับการขยายให้กว้างมากขึ้น ความชัดเจนจะดีขึ้น ส่วนข้อมูลส่วนปลายทั้งสองข้าง จะถูกบีบให้แคบลง ดังนั้นภาพใหม่ที่ได้จะมีค่าความแตกต่างของระดับสีเทาเพิ่มมากขึ้น

3.4.4 Density Slicing เป็นการเปลี่ยนค่าความเข้มของภาพ โดยที่ระดับค่าการส่องสว่างเดิมถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ ซึ่งช่วงที่แบ่งอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ และในช่วงที่แบ่งอาจแทนด้วยค่าตัวเลขตัวหนึ่งหรืออักษรตัวหนึ่งหรือสีใดสีหนึ่ง โดยทั่วไปการจำแนกแบบนี้จะได้ข้อมูลที่อาจจะหยาบกว่าข้อมูลเดิมก็ได้ เพราะจะเหลือจำนวนข้อมูลประเภทข้องข้อมูลลดลง แต่จะสะดวกต่อการวิเคราะห์



ภาพประกอบ 3-8 แสดงระดับค่าการส่องสว่างใหม่ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนค่าส่องสว่างเดิมโดยผ่านฟังค์ชั่นของกราฟที่เป็น linear contrast stretch a), multiple linear stretch b), logarithmic Stretch c), histogram equalization stretch d) และ density slicing e)

การเน้นภาพหรือการปรับปรุงคุณภาพของภาพ นอกจากสามารถทำได้กับช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งแล้ว ยังสามารถทำได้มากกว่า 1 ช่วงคลื่น คือ 3 ช่วงคลื่นที่ต้องการได้ โดยแต่ละช่วงคลื่นที่ต่างกัน ที่มีการให้สีแล้วจะถูกยืดภาพออกจากระดับความเข้มที่แคบไปจนถึง 0 ถึง 255 หลังจากนั้นนำภาพ 3 ช่วงคลื่น ที่ผ่านการขยายระดับความเข้มแล้วมาซ้อนทับกัน จะได้ภาพสีผสมที่แสดงรายละเอียดของวัตถุบนผิวโลกที่ความแตกต่างของสีได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะง่ายต่อการแยกประเภทข้อมูลด้วยสายตาหรือด้วยคอมพิวเตอร์

แต่การเน้นภาพหรือปรับปรุงคุณภาพของภาพข้างต้นที่กล่าวมายังเป็นการเน้นภาพที่แยกอิสระต่อกันของแต่ละช่วงคลื่น ซึ่งผลที่ได้ยังไม่ดีพอ ในการวิจัยนี้ได้ทำการเน้นภาพโดยใช้ภาพทั้ง 3 ช่วงคลื่น มาทำการเน้นภาพแบบ 3 มิติ โดยใช้หลักการ Dirichlet tessellation ซึ่งจะได้ผลการเน้นภาพที่ดีกว่าแบบมิติเดียวที่แยกจากกัน