

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

LOCAL ENHANCEMENT OF EACH CLASS OBTAINED FROM
MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFIER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

จพ.
ศ 254 ก
2547
ธ. 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **51113**
วัน,เดือน,ปี- 2 ก.ค. 2547

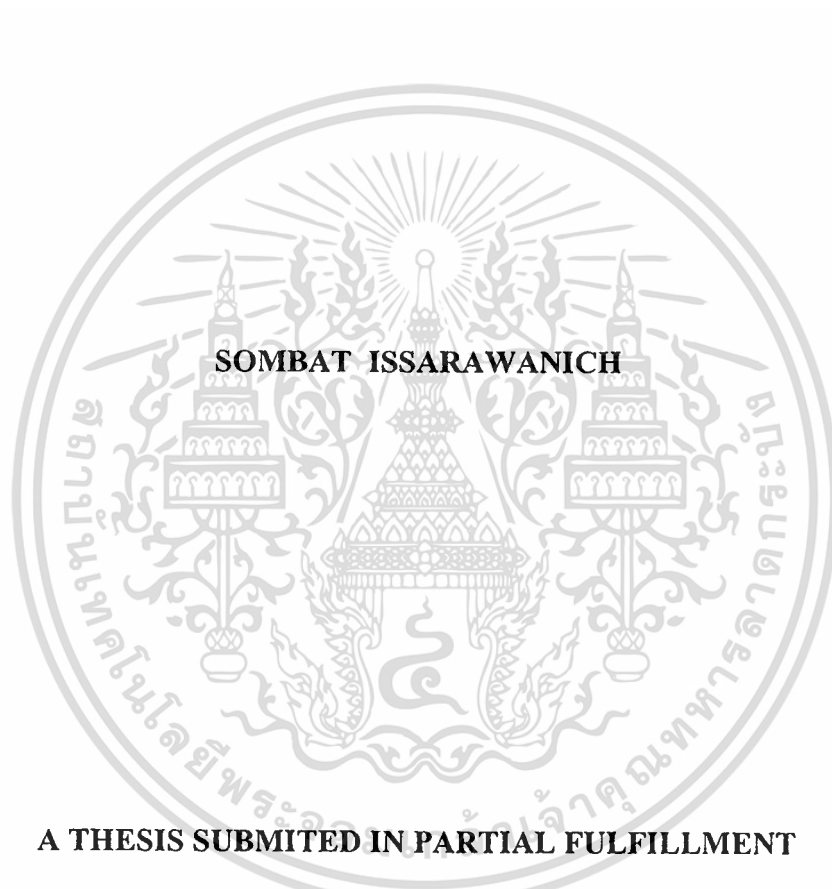
ISBN 974-9680-09-X

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

บม ๙๖14๖๒

**LOCAL ENHANCEMENT OF EACH CLASS OBTAINED FROM
MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFIER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2004

ISBN 974-9680-09-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความ
เหมือนสูงสุด

นักศึกษา

นาย สมบัติ อิศระวาณิชย์

รหัสนักศึกษา

43061402

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมการวัดคุม

พ.ศ.

2547

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. พุศศักดิ์ จีวีสุวิทย์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยใช้วิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อยจากการจำแนกข้อมูลภาพด้วยดาวเทียมแบบที่ต้องมีการกำกับดูแลพร้อมกันหลายแบนด์ด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งเป็นตัวจำแนกที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทคลาสของภาพจากกลุ่มจุดภาพตัวอย่างที่ได้เลือกไว้ โดยตัวจำแนกนี้ได้มาจากลักษณะของค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนร่วมของกลุ่มจุดภาพจากคลาสที่เลือก ซึ่งสามารถนำตัวจำแนกนี้มาประยุกต์ใช้ในการแบ่งส่วนพื้นที่ของภาพ โดยพื้นที่ที่ถูกแบ่งจะมีลักษณะที่สอดคล้องกันกับคลาสตัวอย่างที่ได้เลือกไว้ ซึ่งจะนำมาใช้งานร่วมกับการแยกองค์ประกอบหลักเพื่อลดมิติของภาพลง ดังนั้นข้อมูลภาพที่นำมาวิเคราะห์มีอยู่ด้วยกัน 2 ชุดด้วยกัน ชุดที่ 1 คือภาพถ่ายดาวเทียมเลนแซท 7 แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5, และ 7 และชุดที่ 2 คือภาพถ่ายดาวเทียมเลนแซท 7 ชุดเดียวกันที่ผ่านการแยกองค์ประกอบหลัก โดยจะเลือกเอาเฉพาะสามองค์ประกอบแรกไปใช้งาน จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับวิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบที่ต้องมีการกำกับดูแลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

Thesis Title	Local enhancement of each class obtained from maximum likelihood classifier
Student	Mr. Sombat Issarawanich
Student ID.	43061402
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Fusak Cheevasuvit

ABSTRACT

This thesis proposes the image enhancement based on local area histogram equalization from classified area by multispectral supervised classification, maximum likelihood classifier. This classifier is a powerful operator in order to classify a given pixel into the determined land cover category classes. The classifier characterizes the mean and covariance of each class for the given pixel values. By applying this classifier to an image, we can obtain a segmented image. The segmented regions will be corresponded to the assigned classes in the classifier. Also this image enhancement method can be applied to multi-spectral image by using principal component analysis (PCA) to reduce dimensionality. Hence, there are 2 sets of image data for evaluation, the visible band satellite image of Landsat 7 and the first three PCA images of visible band satellite image of Landsat 7. The result will be compared with supervised neural network classifier.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็ด้วยความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือในการทำวิจัยจากท่าน รศ.ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ได้กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยด้วยดีตลอดมา จนทำให้ผู้เขียนสามารถทำงานวิจัยได้ลุล่วงมาเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ. สักกรียา ชิตวงษ์ และท่าน รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในงานวิจัย

ขอขอบคุณครอบครัว ญาติ พี่น้อง เพื่อนๆ รุ่นพี่และทุกๆ คนที่ให้กำลังใจ คำปรึกษา และผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมบัติ อิศระวาณิชย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับภาพถ่ายดาวเทียม.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลักการและความหมายของการสำรวจระยะไกล.....	6
2.3 ทฤษฎีคลื่น.....	10
2.4 คุณสมบัติของแสงและการวัดค่าการสะท้อน.....	14
2.5 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร.....	17
2.6 บทสรุป.....	25
บทที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก.....	26
3.1 บทนำ.....	26
3.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก.....	26
3.3 วิธีการประยุกต์ทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับภาพถ่ายดาวเทียม.....	31
3.3.1 นิยามของตัวแปร.....	31
3.3.2 วิธีการแปลงข้อมูลภาพ.....	32
3.3.3 วิธีการหาค่าความแปรปรวนของข้อมูล.....	33
3.3.4 วิธีการคำนวณหาค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.5 วิธีการคำนวณหาค่าเงาเงงและเวกเตอร์เงาเงง.....	34
3.3.6 วิธีการโปรเจกชัน.....	35
3.3.7 การสเกลลิ่ง.....	36
3.4 ผลการทดลอง.....	37
3.5 สรุปผลการทดลอง.....	40
บทที่ 4 การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	41
4.1 บทนำ.....	41
4.2 ความหมายของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	42
4.3 การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล.....	43
4.4 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล.....	45
4.5 ตัวจำแนกประเภทแบบระยะห่างต่ำสุด.....	46
4.6 ตัวจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน.....	47
4.7 ตัวจำแนกประเภทรูปต้นไม้การตัดสินใจ.....	49
4.8 การจำแนกประเภทโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต.....	50
4.9 การจำแนกประเภทโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ.....	51
4.10 การจำแนกประเภทด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	52
4.11 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	52
4.12 ขั้นตอนการฝึกสอน.....	53
4.13 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล.....	59
4.14 ขั้นตอนผลลัพธ์.....	61
4.15 การประเมินผลความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	61
บทที่ 5 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	64
5.1 บทนำ.....	64
5.2 ทฤษฎีทางสถิติที่เกี่ยวข้อง.....	64
5.3 ทฤษฎีการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม.....	64
5.4 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข.....	68
5.5 ทฤษฎีของเบย์.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.6 ทฤษฎีการตัดสินใจ.....	70
5.7 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางสถิติในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	73
5.8 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	75
5.9 ตัวอย่างการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	77
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง.....	81
6.1 บทนำ.....	81
6.2 ขอบเขตของการทดลอง.....	81
6.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	82
6.4 ผลการจำแนกข้อมูลภาพ.....	95
6.5 การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม....	99
6.6 การตรวจสอบคุณภาพของภาพ.....	105
6.7 บทสรุป.....	107
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	109
7.1 สรุปผลการวิจัย.....	109
7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	110
เอกสารอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	11
2.2 รายละเอียดของดาวเทียม LANDSAT	18
2.3 ศักยภาพของดาวเทียม LANDSAT ระบบบันทึกภาพ MSS รายละเอียด 80 เมตร.....	20
2.4 ศักยภาพของดาวเทียม LANDSAT ระบบบันทึกภาพ TM รายละเอียด 30 เมตร.....	20
2.5 รายละเอียดของดาวเทียม JERS-1.....	24
3.1 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณหาค่าเงาเงาและเวกเตอร์เงาเงา.....	35
3.2 ค่าเงาเงา, เปอร์เซ็นต์ค่าความแปรปรวนและเปอร์เซ็นต์สะสมค่าความแปรปรวน.....	40
4.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกประเภทแบบใช้ระยะห่างต่ำสุด.....	47
4.2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน.....	48
4.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกประเภทแบบประเภทต้นไม้การตัดสินใจ.....	50
4.4 ความรู้สำหรับการวาดแนวปะทะน้ำขึ้นน้ำลงในแผนที่สภาพผิวหน้าทะเล.....	51
4.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	54
4.6 เมตริกซ์ค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกเซตข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน.....	62
5.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ที่ใช้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์.....	77
ของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด	
5.2 รูปแบบของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม.....	80
6.1 จำนวนจุดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ.....	85
6.2 รายละเอียดของจุดภาพที่ใช้ฝึกสอนของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7.....	88
6.3 รายละเอียดของจุดภาพที่ใช้ฝึกสอนของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3.....	90
6.4 ค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลฝึกสอนของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7.....	90
6.5 ค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลฝึกสอนของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3.....	91
6.6 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพ.....	95
แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7	
6.7 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพ.....	96
แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7	
6.8 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพ.....	97
องค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.9 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพองค์ประกอบหลัก.....	98
ที่ 1, 2 และ 3	
6.10 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ.....	99
6.11 ค่าความแปรปรวนของภาพถ่ายดาวเทียม แบนด์ที่ 4, 5 และ 7.....	106
ที่ผ่านการอีควาไลซ์ฮิสโตแกรมแบบต่างๆ	
6.12 ค่าความแปรปรวนของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3.....	106
ที่ผ่านการอีควาไลซ์ฮิสโตแกรมแบบต่างๆ	



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการเก็บข้อมูลโดยการสำรวจระยะไกล.....	7
2.2 กระบวนการสำรวจระยะไกล.....	8
2.3 คุณสมบัติของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีคลื่น.....	10
2.4 แสดงความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสำรวจระยะไกล.....	11
2.5 เปรียบเทียบปรากฏการณ์การสะท้อนแสงในลักษณะการสะท้อนกลับหมด.....	15
การสะท้อนแบบกระจาย และการสะท้อนแบบผสม	
2.6 กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ใช้บนเครื่องบิน.....	16
2.7 เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่นที่ใช้บนดาวเทียม LANDSAT.....	16
2.8 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม LANDSAT 7.....	21
2.9 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม MOS-1.....	23
2.10 ลักษณะของดาวเทียม JERS-1.....	23
3.1 การหมุนของแกนในสองมิติ.....	30
3.2 เวกเตอร์เงาเงและค่าเงาเงในสองมิติ.....	30
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง.....	31
3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักลำดับแรกของข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำ.....	31
3.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบ.....	32
3.6 แสดงขั้นตอนการแปลงข้อมูล.....	32
3.7 โพลีชาร์ทการสเกลลิง.....	36
3.8 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 ขนาด 512x512 จุดภาพ.....	37
3.9 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 ที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก.....	38
4.1 แนวคิดของการจำแนกประเภทข้อมูลที่สำรวจจากระยะไกล.....	43
4.2 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบกำกับดูแล.....	44
4.3 แผนภาพการกระจายของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลตัวอย่าง.....	46
4.4 แนวคิดของการจำแนกประเภทแบบใช้ระยะห่างต่ำสุด.....	46
4.5 แนวคิดของตัวจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน.....	48
4.6 การจำแนกประเภทโดยตัวจำแนกประเภทแบบต้นไม้การตัดสินใจ.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 การเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีเซตธรรมดากับพีชซีเซต.....	50
4.8 แผนที่สภาพผิวหน้าทะเลโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	51
4.9 แนวคิดของตัวจำแนกประเภทแบบตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	53
4.10 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่กำหนดโดยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด.....	54
4.11 การเลือกรูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่ตัวอย่าง.....	56
4.12 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของพื้นที่ตัวอย่างจากข้อมูลประเภททุ้งหญ้า.....	57
4.13 การพล็อตที่แสดงความสอดคล้องกันแบบเชิงคลื่นของข้อมูลตัวอย่าง.....	58
4.14 สเปกตรัมคลาสของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสองแบนด์.....	59
5.1 ลักษณะของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล 2 มิติ.....	67
5.2 เวกเตอร์ของจุดภาพในรูป 3 มิติ.....	68
5.3 แผนภาพของเวกเตอร์ที่ชี้ขึ้นของปริภูมิตัวอย่าง.....	69
5.4 ฟังก์ชันดิสคริมิเนนท์ของกฎการตัดสินใจของเบย์.....	76
6.1 ภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี ขนาด 512x512 จุดภาพ.....	83
แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7	
6.2 ภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี ขนาด 512x512 จุดภาพ.....	83
ที่ผ่านการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบหลักให้เหลือ 3 ภาพ	
6.3 ภาพสีผสมที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7.....	85
6.4 บริเวณจุดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและการทดสอบ ซึ่งแสดงบนภาพองค์ประกอบหลักที่ 1.....	85
6.5 ฮิสโตแกรมของพื้นที่ตัวอย่างจากข้อมูลประเภทต่างๆ.....	86
6.6 แผนภาพการกระจายของข้อมูลตัวอย่าง.....	88
6.7 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพ 6 แบนด์.....	93
6.8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพ 3 องค์ประกอบหลัก.....	93
6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการฝึกสอนกับค่าผลรวมความผิดพลาด.....	94
ของโครงข่ายประสาทเทียม	
6.10 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพ.....	95
แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7	
6.11 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7.....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.12 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพองค์ประกอบหลัก.....97 ที่ 1, 2 และ 3	
6.13 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3..... 98	
6.14 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรีขนาด101 512x512 จุดภาพ โดยวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7	
6.15 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรีขนาด102 512x512 จุดภาพ โดยวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3	
6.16 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรีขนาด102 512x512 จุดภาพ โดยวิธีจำแนกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7	
6.17 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี ขนาด.....103 .512x512 จุดภาพ โดยโครงข่ายประสาทเทียม ของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3	
6.18 ภาพสีผสมของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 ขนาด 512x512 จุดภาพ.....103	
6.19 เปรียบเทียบภาพขยายจากภาพสีผสมของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7.....104	
6.20 ภาพสีผสมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3.....104	
6.21 เปรียบเทียบภาพขยายจากภาพสีผสมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3.....105	

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันศาสตร์ทางการประมวลผลภาพ (Digital Image Processing) ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการประยุกต์ใช้งานไมโครคอมพิวเตอร์ทางด้านต่างๆ ซึ่งการสำรวจระยะไกลเป็นการนำเอาเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการบ่งบอก จำแนกและวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลก โดยอาศัยข้อมูลข่าวสารต่างๆ ที่อยู่ในรูปของภาพทางดิจิทัล เพื่อใช้ในการแยกแยะประเภทและทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมต่างๆ จากลักษณะเฉพาะตัวของ การสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีของวัตถุต่างๆ บนผิวโลก ในขณะที่ลักษณะของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลจะอยู่ในรูปแบบของข้อมูลภาพดิจิทัล แผ่นฟิล์มและอื่นๆ ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องบินสำรวจระยะไกลหรือบนยานอวกาศที่อยู่นอกโลก ในขณะเดียวกันสถานีรับสัญญาณดาวเทียมที่อยู่บนพื้นโลกจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่ถ่ายทอดลงมาและทำการบันทึกข้อมูลต่างๆ เก็บไว้เพื่อการใช้งาน รวมถึงควบคุมการโคจรรอบโลกของดาวเทียมนั้นๆ ให้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น การพาณิชย์ อุตสาหกรรม ความมั่นคง ทางด้านการศึกษา การสำรวจทรัพยากร การแพทย์และทางด้านการทหาร

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการแปลความหมายของภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อวิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศในบริเวณคลาสน์ที่สนใจ เช่น การหาบริเวณที่มีต้นข้าว การหาบริเวณที่มีน้ำท่วม หรือแม้แต่การสำรวจหาพื้นที่ป่าไม้ที่อุดมสมบูรณ์ และป่าเสื่อมโทรม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากในแง่ภูมิศาสตร์และเศรษฐกิจ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของคลาสน์ที่ได้จากการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด จึงเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูลภาพ วิธีปรับปรุงภาพที่มักนำมาใช้วิธีการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) ซึ่งเป็นวิธีการง่ายและมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพจะใช้ฮิสโตแกรมของข้อมูลภาพทั้งภาพ ซึ่งเรียกว่าการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรมในวงกว้าง (Global Histogram Equalization : GHE) แต่ปัญหาของวิธีการนี้ก็คือทำให้เกิดการอิมตัวของพื้นที่ในภาพซึ่งรายละเอียดของภาพในบริเวณนั้นถูกทำลาย แต่สามารถแก้ไขได้ด้วยการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรมเฉพาะพื้นที่ (Local Area Histogram Equalization : LHE) โดยที่พื้นที่เฉพาะดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่ผ่านการจำแนกมาแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมที่จัดเก็บมาได้ นั้น เกิดการสูญเสียไปบางส่วนจากการถูกลดคลื่น และเกิดการกระจายโดยอนุภาคต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดความไม่คมชัดของภาพ หรืออาจจะมีสัญญาณรบกวนต่างๆ เกิดขึ้น ดังนั้นการที่จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปใช้ประโยชน์นั้นจำเป็นต้องนำภาพผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพเสียก่อน การที่จะทำการปรับปรุงภาพก่อนที่จะนำมาแปลความหมายด้วยวิธีการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรมในวงกว้างนั้นทำให้เกิดการอ้อมตัวของค่าระดับสีเทาในภาพ จึงทำให้การจำแนกข้อมูลในส่วนนั้นทำได้ยาก

ดังนั้นในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงภาพในพื้นที่ย่อยจากภาพที่ผ่านการจำแนกคลาส และเพื่อความถูกต้องแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพนั้น ควรจะทำการจำแนกข้อมูลภาพพร้อมกันหลายแบนด์ แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีจำนวนมากก็ต้องใช้เวลาตามไปด้วย จึงนำเสนอวิธีการที่จะลดขนาดหรือมิติของภาพลงเพื่อเป็นการลดเวลาประมวลผลข้อมูล

1.3 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในบทความนี้ได้นำเสนอการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม โดยการนำเอาภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการวิเคราะห์ห่อองค์ประกอบหลักเพื่อลดมิติภาพ มาทำการจำแนกข้อมูลภาพออกเป็นคลาสหรือกลุ่มภาพต่างๆ โดยอาศัยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งเป็นตัวจำแนกแบบที่ต้องมีการกำกับดูแล เมื่อได้ภาพที่ผ่านการจัดกลุ่มภาพจากวิธีดังกล่าวแล้วนำภาพที่ได้ไปทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรมเฉพาะพื้นที่

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งได้เป็นสองส่วนหลักๆ อย่างแรกคือ การทดสอบหาความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดเพื่อทำการจำแนกข้อมูลภาพออกเป็นคลาสหรือกลุ่มภาพที่มีความสอดคล้องกับคลาสตัวอย่างที่ได้เลือกไว้ และส่วนที่สองคือการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ย่อยที่ผ่านการจำแนกการขึ้นตอนแรกมาแล้ว โดยใช้วิธีการอิกวาไลซ์ฮิสโตแกรมเฉพาะพื้นที่ โดยที่จะนำเสนอวิธีการที่จะลดจำนวนมิติหรือข้อมูลภาพที่ต้องทำการวิเคราะห์โดยไม่สูญเสียรายละเอียดของข้อมูลภาพ ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์ห่อองค์ประกอบหลักมาช่วยในการลดมิติของภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัม แล้วจึงนำภาพองค์ประกอบหลักแรกสามองค์ประกอบของภาพมาทำการวิเคราะห์ต่อไป และจะนำวิธีการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบในผลการทดลอง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอการปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด โดยมีรายละเอียดทั้งหมดแบ่งเป็น 7 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ

เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา แนวความคิดที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา วัตถุประสงค์และขอบเขตของการทำวิจัย

บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสำรวจระยะไกล

กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของการสำรวจระยะไกล คุณลักษณะของภาพถ่ายดาวเทียม หลักการของการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุและ พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ย่านความยาวคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า คุณสมบัติการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วงโคจรของดาวเทียมและยานสำรวจและรายละเอียดในการบันทึกข้อมูลภาพของดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติแต่ละดวง และการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล

บทที่ 3 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลัก

เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลักและขั้นตอนในการนำไปประยุกต์ใช้งานกับภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัม เพื่อทำการลดมิติของภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัมลง

บทที่ 4 การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

กล่าวถึงทฤษฎีการจำแนกคลาสของภาพ เพื่อแสดงให้เห็นถึงแนวคิดและหลักการของการจำแนกคลาสด้วยวิธีต่างๆ และข้อดีข้อเสียของแต่ละวิธี

บทที่ 5 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

กล่าวถึงคุณลักษณะของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด และขั้นตอนของการนำตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ไปประยุกต์เพื่อใช้ในการจำแนกคลาสของภาพ

บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง

การถึงผลการทดลองในแต่ละขั้นตอนที่นำเสนอในบทก่อนหน้า และการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่นำเสนอกับผู้อื่นๆ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่างๆ

ในส่วนท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นภาคผนวก ซึ่งแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับวารสารที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการสำรวจระยะไกล

2.1 บทนำ

โลกที่เราอาศัยอยู่นี้มีขนาดขอบเขตและทรัพยากรที่จำกัด ทรัพยากรบางอย่างสามารถสร้างขึ้นมาทดแทนได้ แต่หลายอย่างก็หมดไปโดยไม่สามารถทดแทนได้ การที่จำนวนประชากรของโลกได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั้น ทำให้มีความต้องการและการใช้ทรัพยากรเพื่อการที่จะดำรงชีพอยู่ต่อไปเพิ่มขึ้นด้วย และทำให้เกิดการขาดความสมดุลขึ้น การที่จะคงไว้ซึ่งความสมดุลเหล่านี้ จะต้องมีการวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้อง สิ่งเหล่านี้จะทำได้ดีต่อเมื่อมีการจัดทำสารบบทรัพยากรธรรมชาติในช่วงเวลาต่างๆ ให้ถูกต้อง อันเป็นงานใหญ่และสำคัญมาก ซึ่งจะต้องมีรายละเอียดที่ให้ประโยชน์แก่ผู้ปฏิบัติงานในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติเหล่านั้น สิ่งที่จะทำให้งานใหญ่นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ก็คือ การนำเอาเทคโนโลยีรีโมทเซนซิงมาใช้นั่นเอง ผู้เชี่ยวชาญได้กล่าวไว้ว่า เทคโนโลยีรีโมทเซนซิงนั้น มีขีดความสามารถสูง และหากได้นำ มาใช้ควบคู่ไปกับวิชาการทำแผนที่และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) ด้วยแล้วจะทำให้มีประสิทธิภาพภาพเหนือกว่าเทคโนโลยีธรรมดาเป็นอันมาก เพราะเทคโนโลยีรีโมทเซนซิงสามารถตรวจเก็บและบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ได้ข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุสิ่งของหรือพื้นที่เป้าหมายเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนการแก้ปัญหา และการจัดการทรัพยากรต่าง ๆ

การสำรวจระยะไกล หรือรีโมทเซนซิง (Remote Sensing) เป็นวิทยาการแขนงหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในการสำรวจข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อม โดยสามารถบ่งบอกจำแนกและวิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลกที่ปราศจากการสัมผัสโดยตรงโดยอาศัยพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ เนื่องจากสามารถให้รายละเอียดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อเหตุการณ์ และประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวางแผนในการบริหาร จัดการ วิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสภาพแวดล้อมของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องอาศัยข้อมูล ข้อเท็จจริงที่ทันต่อสภาพการณ์ปัจจุบัน

การสำรวจจากระยะไกล ได้เริ่มเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในหมู่นักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานอยู่ ณ สถานีวิจัยของกองทัพเรือสหรัฐ 2 ในตอนนั้นคำจำกัดความอย่างกว้าง ๆ ของรีโมทเซนซิง ก็คือ "เป็นวิชาการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัตถุทางธรรมชาติ หรือวัตถุที่มนุษย์ได้สร้างขึ้น โดยอุปกรณ์เครื่องมือในการวัดนั้น ไม่ได้สัมผัสโดยตรงกับวัตถุที่กำลังวัดเพื่อรวบรวมข้อมูลแต่อย่างใด" เครื่องมือที่ใช้ตรวจบันทึก ได้รับการนำไปบนอากาศยานหรือ ยานอวกาศ ทำให้มองเห็นลงมายังบริเวณที่ศึกษาได้บริเวณกว้าง เพื่อรับและบันทึกสัญญาณที่เป็นข้อมูลซึ่งส่งขึ้นไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของการสะท้อนพลังงาน หรือการส่งพลังงานออกจากตัวเอง โดยวิธีการความร้อน (Emission) พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วยให้รีโมทเซนซิงเป็นไปได้ การนำเอาเครื่องมือชนิดที่มีขีดความสามารถต่าง ๆ กันขึ้นไปบนยานอวกาศ และทำการบันทึกข้อมูลจากพื้นโลกโดยการสะท้อนหรือการส่งพลังงาน จึงเป็นเทคโนโลยีรีโมทเซนซิงและการนำเอาข้อมูลเบื้องต้นมาทำการวิเคราะห์โดยผ่านกรรมวิธีจัดเรียงข้อมูลก่อนนั้นเป็นขั้นตอนของการทำงานในระบบนี้

ประเทศไทยได้เข้าร่วมในโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมขององค์การนาซา (NASA) สหรัฐอเมริกา เมื่อวันที่ 14 กันยายน 2514 [8] โดยคณะรัฐบาลได้ทำการจัดตั้งโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมและหอปฏิบัติการลอยฟ้า ภายใต้การดำเนินงานของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ให้ทำหน้าที่ประสานงาน ส่งเสริม และสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากข้อมูลดาวเทียมและความรู้ด้านการสำรวจระยะไกล รวมทั้งเป็นศูนย์แจกจ่ายข้อมูลจากดาวเทียม ซึ่งในภายหลังได้ทำการเปลี่ยนสถานภาพเป็นกองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ข้อมูลจากดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในหลายด้าน เช่น ด้านป่าไม้ การเกษตร การใช้ที่ดิน ธรณีวิทยา อุทกวิทยา ฯลฯ รัฐบาลจึงให้ความสนใจที่จะพัฒนาการใช้ประโยชน์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้เร็วไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงอนุมัติให้ดำเนินการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมขึ้นที่เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อวันที่ 21 กันยายน 2525 นับเป็นสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งตลอดเวลาที่ผ่านมากองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมได้ทำหน้าที่รับสัญญาณจากดาวเทียมของหลายประเทศ อาทิเช่น LANDSAT และ NOAA ของสหรัฐอเมริกา ดาวเทียม SPOT ของฝรั่งเศส ดาวเทียม MOS และ JERS-1 ของญี่ปุ่น และดาวเทียม ERS-1 ขององค์การอวกาศแห่งยุโรป และได้ทำการผลิตข้อมูลออกมาในรูปของฟิล์มขาว-ดำ และสี, ภาพพิมพ์ขาว-ดำ และสี, เทปข้อมูลคอมพิวเตอร์ เพื่อให้บริการแก่นักวิจัยและผู้สนใจทั้งในภาครัฐและภาคเอกชนรวมถึงประเทศเพื่อนบ้าน โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย

2.2 หลักการและความหมายของการสำรวจระยะไกล

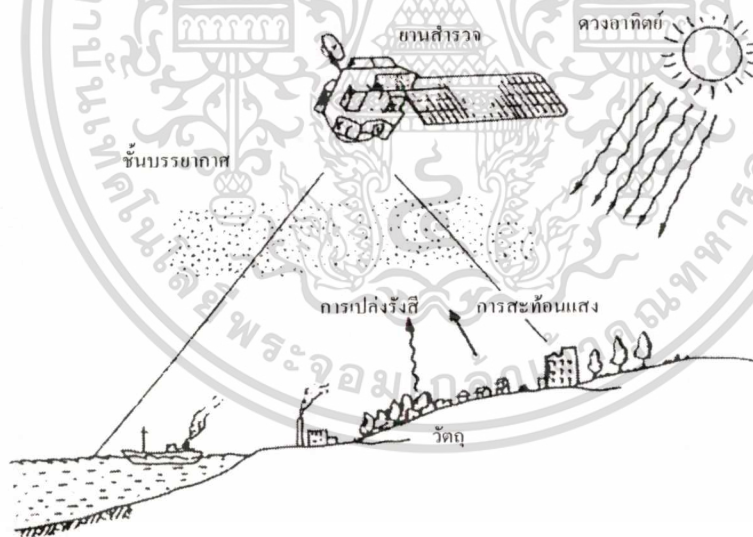
ในอดีตที่ผ่านมาเทคโนโลยีภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph) และทางภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Imagery) เป็นคำที่ใช้แยกจากกัน ต่อมาได้มีการกำหนดศัพท์ให้รวมใช้เรียกคำทั้งสองรวมกัน ตลอดจนถึงเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกี่ยวกับข้อมูลซึ่งได้จากตัวรับสัญญาณระยะไกลที่เรียกว่ารีโมทเซนซิง (Remote Sensing) เป็นประโยคที่ประกอบขึ้นมาจากการรวม 2 คำ ซึ่งแยกออกได้ดังนี้ คือ รีโมท (Remote) หมายถึงระยะไกล และเซนซิง (Sensing) หมายถึงการรับรู้ จากการรวมคำ 2 คำเข้าด้วยกัน คำว่า รีโมทเซนซิง จึงหมายถึง "การรับรู้จากระยะไกล" โดยมีนิยามความหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ได้กล่าวไว้ว่า “เป็นการสำรวจตรวจสอบคุณสมบัติสิ่งใดๆ ก็ตามโดยที่มีได้สัมผัสกับสิ่งเหล่านั้นเลย” ดังนั้นคำว่า รีโมทเซนซิง จึงมีความหมายที่นิยมเรียกอย่างหนึ่งว่า การสำรวจจากระยะไกล

การสำรวจระยะไกลหรือรีโมทเซนซิง หมายถึงวิทยาศาสตร์และศิลป์ของการได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ (Object) พื้นที่หรือปรากฏการณ์ (Phenomena) ต่างๆ บนพื้นผิวโลกจากเครื่องมือบันทึกข้อมูลโดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุ ทั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น(Spectral) รูปทรงสัณฐานของวัตถุบนพื้นโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal)

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกล ในที่นี้จะหมายถึงข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพทางเครื่องบินในระดับต่ำที่เรียกว่าภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photo) และข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพจากดาวเทียมในระดับสูงกว่า เรียกว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image) องค์ประกอบที่สำคัญของการสำรวจข้อมูลระยะไกล คือ คลื่นแสง ซึ่งเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ หรือเป็นพลังงานจากตัวเอง ซึ่งระบบการสำรวจ ข้อมูลระยะไกลโดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติ เรียกว่า Passive Remote Sensing ส่วนระบบบันทึกที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยัง วัตถุเป้าหมาย เรียกว่า Active Remote Sensing เช่น ระบบเรดาร์ เป็นต้น



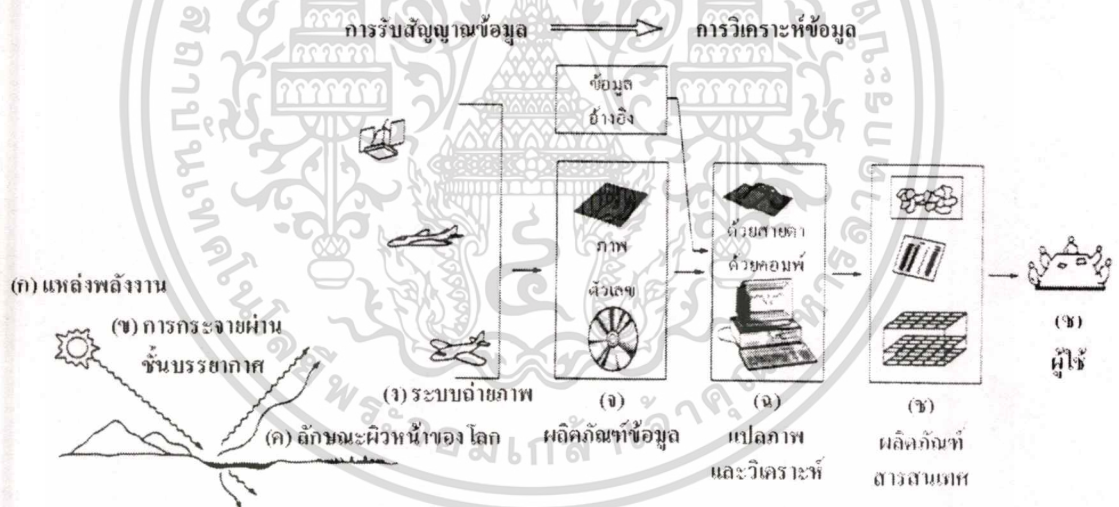
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเก็บข้อมูลโดยการสำรวจระยะไกล

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ หรือพื้นผิวโลกมักจะเป็นต้นกำเนิดของข้อมูลที่สำรวจจากระยะไกล อย่างไรก็ตามตัวกลางอื่นๆ เช่น สนามโน้มถ่วงหรือ สนามแม่เหล็กก็อาจนำมาใช้ในการสำรวจได้เช่นกัน และเครื่องมือที่ใช้วัดหรือบันทึกค่าของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือตัวกลางอื่นๆ ที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุหรือพื้นผิวโลก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า เครื่องรับสัญญาณจากระยะไกล (Remote Sensor) หรือ เครื่องรับสัญญาณ (Sensor) ตัวอย่าง เช่น กล้องถ่ายรูป หรือเครื่องกวาดภาพ (Scanner) ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้จะถูกติดตั้งอยู่กับ ยานพาหนะ (Platform) ที่ใช้ในการสำรวจอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ดาวเทียม ยานอวกาศหรือเครื่องบิน

การสำรวจระยะไกล สามารถจำแนกออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ดังนี้

1. การรับสัญญาณข้อมูล (Data Acquisition) เป็นกระบวนการบันทึกพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือส่งผ่านของวัตถุด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนยานสำรวจ แล้วทำการส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดิน เพื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตเป็นข้อมูลทั้งในรูปแบบภาพถ่ายและข้อมูลเชิงตัวเลข
2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) มีอยู่ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ด้วยสายตา (Visual Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลออกมาในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ไม่สามารถวัดออกมาเป็นค่าตัวเลขได้แน่นอน ซึ่งอาจจะตีออกมาในรูปของสีและอีกวิธีหนึ่งคือการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลในเชิงปริมาณ (Quantitative) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าตัวเลขได้



รูปที่ 2.2 กระบวนการสำรวจระยะไกล

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เหมือนสื่อการส่งผ่านระหว่างวัตถุและเครื่องวัด ประกอบไปด้วยย่านพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่างๆ เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศในลักษณะเป็นคลื่นเท่าความเร็วแสง โดยช่วงคลื่นที่ใช้ประโยชน์ในการสำรวจระยะไกลจะอยู่ในช่วง 0.3-14 ไมโครเมตร และช่วง 0.1-30 เซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือรับและบันทึกข้อมูลได้หลายอย่าง รูปที่ 2.3 แสดงความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสำรวจระยะไกล ส่วนตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ภาพถ่ายจากระยะไกล หรือภาพถ่ายดาวเทียมได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นข้อมูลในการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมนั้น อาจเป็นเพราะคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมในหลายด้านที่เอื้ออำนวยและมีความเหมาะสม ได้แก่

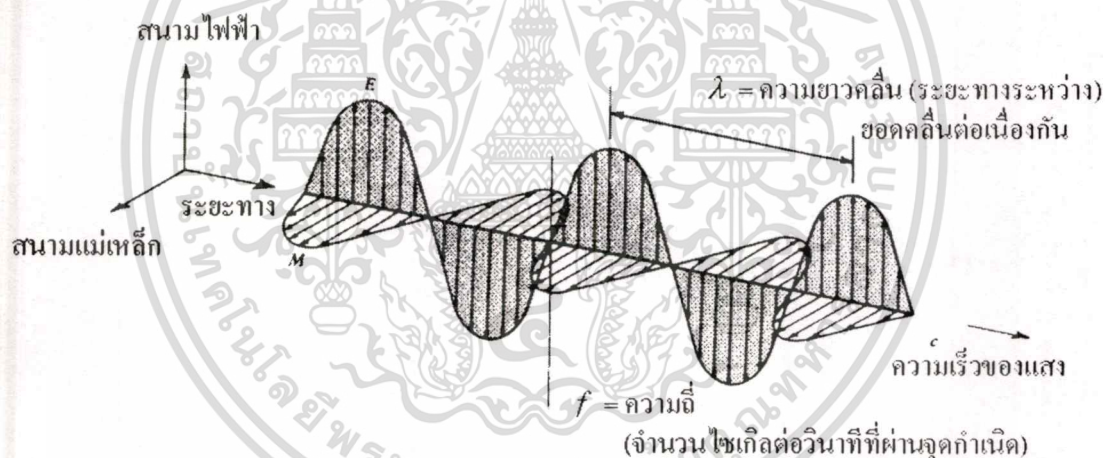
1. **บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น** ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีระบบกล้องสแกนเนอร์ ที่บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นในบริเวณเดียวกัน ทั้งในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นที่สายตามนุษย์มองไม่เห็น ทำให้มีประสิทธิภาพในการแยกวัตถุต่างๆ บนผิวโลกได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น ระบบ TM ของดาวเทียม LANDSAT มี 7 ช่วงคลื่น เป็นต้น
2. **ให้รายละเอียดหลายระดับ** ภาพจากดาวเทียมให้รายละเอียดในหลายระดับ มีผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ภาพจากดาวเทียม SPOT ระบบ PLA มีรายละเอียด 10 ม. สามารถศึกษาเป็นตัวเมือง เส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน ภาพสีระบบ MLA มีรายละเอียด 20 ม. ศึกษาการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เฉพาะจุดเล็กๆ และแหล่งน้ำขนาดเล็ก และภาพระบบ TM รายละเอียด 30 ม. ศึกษาสภาพการใช้ที่ดินระดับจังหวัด เป็นต้น
3. **บันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic View)** ภาพจากดาวเทียมภาพหนึ่งๆ ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะต่อเนื่องในระยะเวลาบันทึกภาพสั้นๆ สามารถศึกษาสภาพแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณกว้างขวางต่อเนื่องในเวลาเดียวกันทั้งภาพ เช่น ภาพจาก LANDSAT MSS และ TM หนึ่งภาพ ครอบคลุมพื้นที่ 185 x 185 ตร.กม. หรือ 34,225 ตร.กม. ภาพจาก SPOT ครอบคลุมพื้นที่ 3,600 ตร.กม. เป็นต้น
4. **บันทึกภาพบริเวณเดิม (Repetitive Coverage)** ดาวเทียมสำรวจมิวโคโนกราฟีจากเหนือลงได้ และกลับมายังจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นอย่างสม่ำเสมอ และในช่วงเวลาที่แน่นอน ตัวอย่างเช่น ดาวเทียม LANDSAT โจรกลับมาที่เดิมทุกๆ 16 วัน ส่วนดาวเทียม MOS โจรกลับมาที่เดิมทุกๆ 17 วัน เป็นต้น ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกในหลายๆ ช่วงเวลาเหล่านี้ ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบและติดตามการเปลี่ยนแปลงต่างๆ บนพื้นโลกได้เป็นอย่างดี
5. **การเน้นหรือปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement)** ภาพจากดาวเทียมต้นฉบับสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพให้มีรายละเอียดเพิ่มขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเข้ม ระดับสีเทา เพื่อเน้นข้อมูลที่ต้องการศึกษาให้มีความเด่นชัดขึ้น
6. **ภาพจากดาวเทียมสามารถให้สีผสม (False Color Composite)** ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการขยายรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้เด่นชัด โดยสามารถผสมสีให้แตกต่างจากสิ่งแวดล้อมได้

2.3 ทฤษฎีคลื่น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานต่อเนื่องที่มีค่าความยาวของช่วงคลื่นหลายเมตรถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร (Nanometer; 10^9 ม.) ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในรูปแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะแผ่พลังงานไปตามทฤษฎีของคลื่น (Wave Theory) ที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Harmonic) มีช่วงซ้ำและจังหวะเท่ากันในเวลาหนึ่งมีความเร็วเท่าแสง (c) ระยะทางจากยอดคลื่นถึงยอดคลื่นถัดไปเรียกว่าความยาวคลื่น (λ) และจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนผ่านจุดคงที่จุดหนึ่งต่อหน่วยเวลา เรียกว่า ความถี่คลื่น (f) ซึ่งมีความสัมพันธ์ กับความเร็วคลื่น คือ

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

- เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่น (mm)
 c คือ ความเร็วของแสงมีค่าคงที่ (3×10^8 ม./วินาที)
 f คือ ความถี่ของคลื่น (รอบ/วินาที หรือ Hertz)



รูปที่ 2.3 คุณสมบัติของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีคลื่น

ความยาวคลื่นและความถี่คลื่น มีความสัมพันธ์กันแบบผกผัน คือ ความยาวคลื่นมากความถี่จะน้อย ความยาวคลื่นมีหน่วยวัดเรียกว่า ไมโครมิเตอร์ (Micrometer, μm) หรือไมครอน (Micron) ซึ่งเท่ากับ 10^{-6} ม. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกได้ตามความยาวของคลื่นที่เรียกว่า ช่วงคลื่น (Band) ตั้งแต่ช่วงคลื่นที่มีความยาวสั้นที่สุด คือ รังสีคอสมิก (Cosmic ray) มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 10^{-10} ไมครอน จนถึงช่วงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นหลายกิโลเมตร สำหรับคุณสมบัติของช่วงคลื่นประกอบไปด้วยช่วงคลื่นตามลำดับของความยาวดังนี้ รังสีแกมมา, รังสีเอ็กซ์, รังสีอัลตราไวโอเล็ต, ตามองเห็น, อินฟราเรด, ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ต่อ)

ช่วงคลื่น	ความยาวช่วงคลื่น	รายละเอียด
ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible)	0.4 – 0.7 μm	บันทึกภาพด้วยฟิล์มและอุปกรณ์บันทึกภาพได้รวมทั้งช่วงคลื่นที่โลกมีการสะท้อนพลังงานสูงสุดที่ 0.5 ไมโครเมตร ช่วงคลื่นแคบที่มีผลตอบสนองต่อตามนุษย์แบ่งได้ 3 ช่วงย่อย คือ 0.4 – 0.5 ไมโครเมตร สีน้ำเงิน 0.5 – 0.6 ไมโครเมตร สีเขียว 0.6 – 0.7 ไมโครเมตร สีแดง
อินฟราเรด (Infrared)	0.7 – 100 μm	มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุตามความยาวคลื่นและการส่งผ่านชั้นบรรยากาศมีการดูดกลืนในบางช่วงคลื่นสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับช่วงความร้อนของวัตถุ ช่วงคลื่น 0.7 – 0.9 ไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพด้วยฟิล์ม เรียกว่า Photographic IR band
อินฟราเรดใกล้หรืออินฟราเรดสะท้อน (Reflected IR band)	0.7 – 3 μm	
อินฟราเรดความร้อน (Thermal IR band)	3 – 5 μm และ 8 – 14 μm	การบันทึกภาพต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น สแกนเนอร์
ไมโครเวฟ (Microwave)	0.1 – 100 cm	ช่วงคลื่นยาวสามารถทะลุผ่านเมฆหมอกและฝนได้ ใช้ประโยชน์ในการถ่ายภาพเรดาร์

แหล่งพลังงานและการแผ่รังสี (Energy Sources and Radiation)

แสงสว่างเป็นรูปหนึ่งของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแผ่รังสีไปตามทฤษฎีของคลื่น การอธิบายลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายังสามารถอธิบายได้อีกด้วย ทฤษฎีอนุภาค (Particle Theory) กล่าวคือ การแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบด้วยหน่วยอิสระที่เรียกว่าโฟตอน (Photon) หรือ ควันตา (Quanta) พลังงานแต่ละควันตาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของคลื่น ดังนี้

$$E = hf \quad (2.2)$$

เมื่อ E คือ พลังงาน 1 ควอนตัม (Quantum), จูล (Joules)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck Constant) $6.626 \times 10^{-34} \text{ Joules} - \text{Sec}$

f คือ ค่าความถี่คลื่น (Hz)

$$\text{หรือ} \quad E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่น คือ ความยาวคลื่นมากจะให้พลังงานต่ำ ดังนั้นถ้าวัตถุใดส่งพลังงานช่วงคลื่นยาว เช่น ไมโครเวฟ การตรวจรับพลังงานโดยอุปกรณ์ทางรีโมทเซนซิ่งในช่วงคลื่นนี้จะยากกว่าการตรวจรับพลังงานในช่วงคลื่นสั้น ถ้าต้องการบันทึกพลังงานช่วงคลื่นจะต้องบันทึกพลังงานในบริเวณกว้าง และใช้เวลาในการบันทึกนานพอ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สำคัญที่สุดของการสำรวจระยะไกล อย่างไรก็ตาม สสารทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า องศาสมบูรณ์ (0 องศา K หรือ -273 องศา C) จะสามารถเปล่งพลังงานที่มีขนาดและส่วนประกอบของช่วงคลื่นแตกต่างกันไป ซึ่งพลังงานที่วัตถุแผ่ออกมามากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของผิววัตถุ สามารถคำนวณได้จากกฎของ Wicns ดังนี้

$$W = T^4 \quad (2.4)$$

เมื่อ W คือ พลังงานที่เปล่งจากพื้นผิววัตถุ wm^{-2}

$$\text{Stefan - Boltzmann } 5.6697 \times 10^{-8} \text{ } wm^{-2}, \text{ } ^\circ K^{-4}$$

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ ($^\circ K$)

ความเปล่งรังสีทั้งหมดจากวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสมบูรณ์กำลัง 4 จะเห็นได้ว่าความเปล่งรังสีที่ออกมาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จะเห็นได้ว่าความเปล่งรังสีที่ออกมาจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ และความยาวช่วงคลื่น แสดงการกระจายช่วงคลื่นและอุณหภูมิที่มีความสัมพันธ์กับความเปล่งรังสีออกมาต่อ 1 ไมครอนของช่วงคลื่น ดังนั้นเมื่อทราบอุณหภูมิก็สามารถคำนวณหาความยาวคลื่นที่ให้พลังงานสูงสุดได้จากกฎการแทนที่ของเวียน (Wien's Displacement Law)

$$m = C/T \quad (2.5)$$

เมื่อ m คือ ความยาวคลื่นที่ให้พลังงานสูงสุด

$$C = 2.898 \times 10^{-3} m^\circ K$$

$$T = ^\circ K$$

ทฤษฎีทั้งสองนี้อธิบายเกี่ยวกับการเปล่งรังสีของวัตถุที่มีคุณสมบัติเหมือนกับเทหวัตถุดำ (Black Body) ซึ่งหมายถึง "วัตถุหรือมวลที่สามารถดูดซึมพลังงานทั้งหมดที่ตกกระทบได้สมบูรณ์ และขณะเดียวกันก็เปล่งพลังงานที่ตกกระทบได้อย่างสมบูรณ์ที่ทุกๆ อุณหภูมิ" เทหวัตถุดำจึงเป็นสิ่งสมมุติฐานขึ้น เพราะไม่มีมวลใดๆ ในโลกที่มีคุณสมบัติดังกล่าว แต่มีสภาพใกล้เคียงเท่านั้น

2.4 คุณสมบัติของแสงและการวัดค่าการสะท้อน

ปฏิกริยาระหว่างพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าและพื้นผิวโลกเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการสำรวจระยะไกล เพราะเป็นค่าที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์สำรวจในลักษณะของพลังงาน ซึ่งจะสะท้อนจากพื้นผิวโลกในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติของแต่ละพื้นผิวในการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นจึงต้องเข้าใจปรากฏการณ์ดังกล่าว เพื่อประโยชน์ในการแปลความหมายจากภาพถ่ายดาวเทียม

การสะท้อนแสงของวัตถุ เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบบนพื้นผิวโลกแล้วสะท้อนกลับ ปริมาณแสงที่สะท้อนจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของพื้นผิว เป็นลักษณะเรียบหรือขรุขระ มุมตกกระทบของแสง ความสามารถหรืออัตราสะท้อนแสงของพื้นผิวและโพลาไรเซชันของแสงที่ตกกระทบ การสะท้อนกลับเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ

- 1) การสะท้อนกลับหมดในทิศทางตรงข้าม จะเกิดในกรณีที่พื้นผิววัตถุมีลักษณะราบเรียบ โดยที่มิติของความขรุขระที่ผิวมีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{10}$ ของความยาวคลื่น โดยแสงที่ตกกระทบทั้งหมดจะสะท้อนกลับในทิศทางที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ มักจะเกิดกับแสงที่มีความยาวคลื่นค่อนข้างยาว การสะท้อนในลักษณะนี้นอกจากจะไม่เกิดประโยชน์ต่อการสำรวจระยะไกลแล้ว ยังบดบังสภาพพื้นผิวที่แท้จริงที่ปรากฏบนภาพด้วย ลักษณะนี้เราเรียกว่า “ประกายแดด” ปรากฏการณ์เช่นนี้ มักเกิดกับบริเวณผิวน้ำ ดินบางชนิดและหินที่โผล่เหมือนผิวดิน
- 2) การสะท้อนแบบกระจาย เป็นการสะท้อนจากพื้นผิวที่ค่อนข้างขรุขระ แต่อยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอและเกิดในย่านแสงที่ตามองเห็นเป็นส่วนใหญ่
- 3) การสะท้อนแบบผสม เป็นลักษณะที่มักเกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ โดยรวมลักษณะการสะท้อนกลับหมดและการสะท้อนแบบกระจายเข้าไว้ด้วยกัน

ค่าการสะท้อนตามความยาวคลื่นเรียกว่า ค่าการสะท้อนเชิงคลื่น (Spectral reflectance) ส่วนค่าการสะท้อนของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงที่มีทิศทางในการตกกระทบและมีค่าสะท้อนที่แน่นอนจะเรียกว่า ค่าการสะท้อนแบบเชิงทิศทาง (Directional reflectance) ทิศทางของแสงที่ตกกระทบและที่สะท้อนนี้อาจเป็นแบบเชิงทิศทาง แบบรูปกรวยหรือแบบคลุมซีกโลก ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดิน โดยวิธีสำรวจจากระยะไกลได้ด้วยการสังเกตค่าการสะท้อนเชิงคลื่นหรือค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นจากพื้นผิวนั้นๆ



การสะท้อนกลับทั้งหมด

การสะท้อนแบบกระจาย

การสะท้อนแบบผสม

รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบปรากฏการณ์การสะท้อนแสงในลักษณะการสะท้อนกลับหมด การสะท้อนแบบกระจาย และการสะท้อนแบบผสม

การดูดกลืน ปรากฏการณ์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศโลก เมื่อมีพลังงานตกกระทบพื้นผิวโลก บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับ ในขณะที่บางส่วนจะถูกดูดกลืน ปริมาณการดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวของวัตถุ ตลอดจนขนาดและความหนา นอกจากนี้การดูดกลืนของวัตถุ ยังจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละความยาวคลื่น บางพื้นผิวจะดูดกลืนได้ดีในช่วงคลื่นสั้นและพื้นผิวบางประเภทก็จะดูดกลืนได้ดีในช่วงคลื่นยาว อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานบางส่วนเกิดขึ้น พลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความร้อน อุณหภูมิของวัตถุจะเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวมันเองกลายเป็นต้นกำเนิดพลังงาน

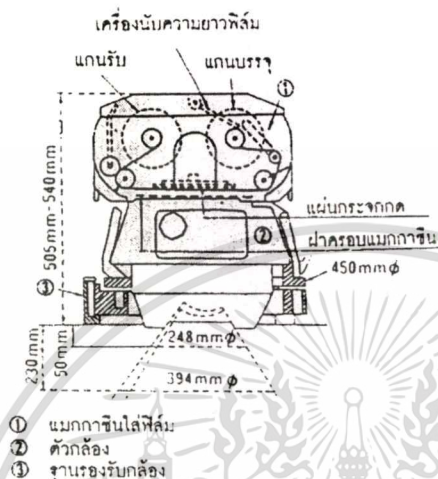
การส่งผ่าน เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกับการดูดกลืนพลังงานของพื้นผิว โดยพลังงานส่วนที่รับการดูดกลืนจะถูกถ่ายทอดไปยังส่วนที่อยู่ติดลงไป ค่าการส่งผ่านรังสีของวัตถุใดๆ ก็คือ สัดส่วนของปริมาณพลังงาน ณ จุดซึ่งพลังงานได้เคลื่อนที่ไปต่อพลังงานที่ตกกระทบทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วค่าการส่งผ่านจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นผิวและสำหรับพื้นผิวหนึ่งๆ ก็จะเกิดการส่งผ่านได้ดีบางช่วงคลื่นเท่านั้น

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าการสะท้อนของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่งหรือหลายช่วงคลื่นของแถบพลังงาน ที่ครอบคลุมจากช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจนถึงไมโครเวฟที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก พลังงานที่สะท้อนเข้าเครื่องวัดนี้ อาจจะมาจกสิ่งที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ อย่างเช่น จากดวงอาทิตย์ สำหรับอุปกรณ์สำรวจแบบพาสซีฟ (Passive) ส่วนอุปกรณ์ที่สามารถผลิตพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อที่จะส่งไปกระทบยังพื้นผิวโลกโดยไม่ต้องอาศัยธรรมชาติ แล้วค่อยวัดค่าการสะท้อนของพลังงานที่ส่งกลับมามีอีกต่อหนึ่งเป็นระบบที่เรียกว่า แบบแอคทีฟ (Active) หรือเรียกกันทั่วไปว่า เรดาร์ (Radar)

ระบบพาสซีฟ มักจะเป็นระบบที่ใช้สำหรับคลื่นสั้น คือ ช่วงที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดไกลและช่วงคลื่นความร้อน ส่วนระบบแอคทีฟ มักจะใช้สำหรับช่วงคลื่นที่ยาว เช่น คลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เครื่องวัดที่สามารถสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเองได้ และจะถูกส่งผ่านไปกระทบกับวัตถุที่ต้องการศึกษานั้นๆ ให้สะท้อนพลังงานออกมาอีกครั้ง เพื่อทำการตรวจวัดและบันทึกค่า ยกตัวอย่างเช่น ระบบเรดาร์ ที่มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ ระบบกวาดภาพ (Scanning system) และระบบไม่กวาดภาพ (Non-scanning system)

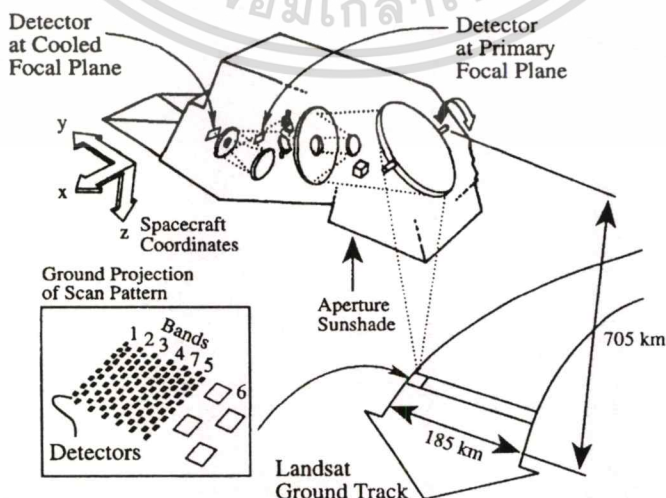
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดที่จัดอยู่ในประเภทพาสซีฟ ที่รวมเอาลักษณะของระบบไม่ถ่ายภาพและเป็นวิธีแบบไม่ถ่ายภาพ (Non-imaging method) จะเรียกว่า เครื่องบันทึกในแนวตั้ง (Profile radiometer) ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดคลื่นไมโครเวฟ ที่เรียกว่า ไมโครเวฟเรดิโอมิเตอร์ (Microwave radiometer) ส่วนพาสซีฟเซนเซอร์ชนิดไม่ถ่ายภาพ แต่ใช้วิธีถ่ายภาพ (Imaging method) ได้แก่ กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ใช้บนเครื่องบิน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ใช้บนเครื่องบิน

พาสซีฟเซนเซอร์ที่เป็นทั้งระบบที่มีลักษณะการกวาดภาพและบันทึกออกมาเป็นภาพสามารถแบ่งออกได้อีก เป็นเครื่องวัดชนิดกวาดสร้างภาพจากระนาบภาพ (Image plane scanning sensor) เช่น กล้องโทรทรรศน์หรือชนิดที่เรียกว่า เครื่องกวาดภาพแบบโซลิดสเตต (Solid state scanner) และเครื่องวัดชนิดกวาดสร้างภาพจากระนาบวัตถุ (Object plane scanning sensor) เช่น เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral scanner หรือ Optical mechanical scanner) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่นที่ใช้บนดาวเทียม LANDSAT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดที่ได้รับความนิยมมากในการสำรวจจากระยะไกล ได้แก่ กล้องถ่ายภาพ เครื่องกวาดภาพแบบโซลิตสแตต เช่น ซีซีดี (CCD - Charge Coupled Device) เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น เครื่องวัดประเภทเลเซอร์นั้น ได้รับความนิยมในการนำไปใช้ตรวจมลภาวะในอากาศ โดยการใช้เครื่องวัดสเปกตรัมแบบเลเซอร์และใช้เครื่องวัดความสูงแบบเลเซอร์ ในการวัดความสูง

2.5 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

นับตั้งแต่องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NASA) ได้ทำการส่งดาวเทียม LANDSAT-1 ขึ้นโคจรรอบโลก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่อยู่บนโลก เมื่อวันที่ 23 กค. 2515 ยังผลให้นานาประเทศได้เล็งเห็นความสำคัญและการใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายดาวเทียม ก่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีด้านนี้อย่างกว้างขวาง มีการส่งดาวเทียมสำรวจอีกหลายดวงขึ้นโคจร ระดับความสูงและลักษณะเครื่องวัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก ตัวอย่างเช่น ประเทศฝรั่งเศสส่งดาวเทียม SPOT โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสำรวจพื้นดินและจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ ประเทศญี่ปุ่นส่งดาวเทียม MOS เพื่อทำการสำรวจพื้นดินและพื้นน้ำ ประชาคมยุโรปส่งดาวเทียม ERS-1 ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถถ่ายภาพทะลุเมฆและวัดอุทกบางชนิดได้ หรือดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาวงโคจรค้างฟ้า (Geostationary Meteorological Satellite) ซึ่งประกอบไปด้วยดาวเทียม 5 ดวง ได้แก่ ดาวเทียม METEOSAT ของประชาคมยุโรป ดาวเทียม INSAT ของอินเดีย ดาวเทียม GMS ของญี่ปุ่น และดาวเทียม GOES-E และ GOES-W ของสหรัฐอเมริกา มีวัตถุประสงค์ในการสำรวจด้านอุตุนิยมวิทยาทั่วโลก เป็นต้น

2.5.1 ดาวเทียม LANDSAT

ดาวเทียม LANDSAT เป็นโครงการหนึ่งขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) สหรัฐอเมริกา ดาวเทียม LANDSAT-1 ถูกส่งขึ้นไปเป็นดวงแรกเมื่อวันที่ 23 กค. 2515 ดวงที่ 2 (LANDSAT-2) ส่งขึ้นโคจร วันที่ 2 มค. 2518 ดวงที่ 3 (LANDSAT-3) ส่งขึ้นโคจร วันที่ 5 มีค. 2521 ดวงที่ 4 (LANDSAT-4) ส่งขึ้นโคจร วันที่ 16 กค. 2525 ดวงที่ 5 (LANDSAT-5) ส่งขึ้นโคจร วันที่ 1 มีค. 2527 จนปัจจุบันได้มีการส่งดาวเทียม LANDSAT ไปแล้วรวมทั้งสิ้น 6 ดวง ขณะนี้มีดาวเทียม LANDSAT-5 และ LANDSAT-7 เท่านั้นที่ยังคงปฏิบัติงานอยู่

รูปร่างลักษณะตัวยานของดาวเทียม LANDSAT-5 เป็นแบบ MMS (Multimission Modular Spacecraft) ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในด้านการให้พลังงาน การควบคุมความสูงและวิถีโคจร (Altitude and Attitude Control) การจัดการข้อมูล (Data Handling) การสื่อสาร (Communications) และระบบขับเคลื่อน (Propulsion Module) ส่วนเครื่องมือเฉพาะกิจที่ติดกับยานประกอบไปด้วย ระบบบันทึกภาพ 2 ระบบ (ระบบกวาดหลายช่วงคลื่น - MSS และระบบเครื่องซีแมตริกแมมเปอร์ - TM) ระบบการถ่ายทอดข้อมูล เครื่องมือสื่อสารและงานรับส่งสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Array) ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ถึง 2 กิโลเมตร นอกจากนี้ตัวยานแบบ MMS ยังออกแบบมาให้สามารถซ่อมแซมได้ด้วยกระสวยอวกาศ (Space Shuttle)

ความก้าวหน้าที่สำคัญของดาวเทียม LANDSAT-5 อีกประการหนึ่ง คือ การใช้การสื่อสารระบบ Track and Data Relay Satellite (TDRS) ซึ่งสามารถถ่ายทอดข้อมูลจากดาวเทียมไปสู่โลกได้ในเวลาที่ใกล้เคียงกับเวลาบันทึกภาพ

วงโคจรและรัศมีครอบคลุม วงโคจรของดาวเทียม LANDSAT-5 สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์เป็นวงกลมผ่านขั้วโลก มีวงโคจรสูงจากพื้นผิวโลก (บริเวณใกล้ขั้วโลก) เป็นระยะ 705 กิโลเมตร และสูงกว่านั้นในบริเวณเส้นศูนย์สูตร การโคจรรอบโลกแต่ละรอบกินเวลา 99 นาที บันทึกข้อมูลครอบคลุมทั่วโลกภายใน 16 วัน และรัศมีครอบคลุมการถ่ายภาพทั่วโลก จำนวน 233 แนว ภาพแต่ละเฟรมจะมีการซ้อนเหลื่อมกันด้านข้างประมาณ 7.6 เปอร์เซ็นต์ที่เส้นศูนย์สูตร และเพิ่มขึ้นเมื่อโคจรเข้าสู่ขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของดาวเทียม LANDSAT

ดาวเทียม	องค์ประกอบวงโคจร	เครื่องวัดในการสำรวจ			
		ชื่อเครื่องวัด	ช่วงคลื่น/ความถี่ (ไมครอน)	สนามมุมมอง	ความกว้างของแนวถ่ายภาพ
LANDSAT-1 (2515) LANDSAT-2 (2518) สหรัฐอเมริกา	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ระดับสูง : 915 กม. มุมเอียง : 99° โคจรมาที่จุดเดิม : 18 วัน โคจรรอบโลก : 103 นาที (14 รอบ/วัน) โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตร : 8.50 - 9.30น. ระยะห่างแนวโคจรถัดไป : 2,760 กม. โคจรผ่านแนวถัดไป : 1 วัน	MSS (Multispectral Scanner System) (เครื่องกวาดภาพหลายช่วงคลื่น)	0.5 - 0.6 0.6 - 0.7 0.7 - 0.8 0.8 - 0.9	80 ม.	185 กม.
		RBV (Return Beam Vidicon Camera)	0.47 - 0.575 0.580 - 0.680 0.69 - 0.830	80 ม.	
LANDSAT-3 (2521) สหรัฐอเมริกา	เหมือนกับ LANDSAT-1,2	MSS	0.5 - 0.6 0.6 - 0.7 0.7 - 0.8 0.8 - 1.1	80 ม.	185 กม.
		RBV	0.50 - 0.750	38 ม.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของดาวเทียม LANDSAT (ต่อ)

ดาวเทียม	องค์ประกอบ วงโคจร	เครื่องวัดในการสำรวจ			
		ชื่อเครื่องวัด	ช่วงคลื่น/ ความถี่ (ไมครอน)	สนาม มุมมอง	ความกว้าง ของแนว ถ่ายภาพ
LANDSAT-4 (2525)	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ระดับสูง : 915 กม.	TM (Thematic Mapper) (ธีมาติกแมปเปอร์)	0.45 - 0.52	30 ม.	185 กม.
LANDSAT-5 (2527) สหรัฐอเมริกา	มุมเอียง : 98° โคจรมาที่จุดเดิม : 16 วัน โคจรรอบโลก : 99 นาที (14.5 รอบ/วัน) โคจรผ่านเส้นศูนย์สูตร : 9.45 น. ระยะห่างแนวโคจรถัดไป : 2,752 กม. โคจรผ่านแนวถัดไป : 7 วัน		0.52 - 0.60 0.63 - 0.69 0.75 - 0.90 1.55 - 1.75 2.08 - 2.35		
		MSS	0.5 - 0.6 0.6 - 0.7 0.7 - 0.8 0.8 - 1.1	80 ม.	
LANDSAT-7 (2542)	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ระดับสูง : 705 กม. มุมเอียง : 98° โคจรมาที่จุดเดิม : 16 วัน	ETM (Enhance Thematic Mapper)	0.45 - 0.515 0.525 - 0.605 0.63 - 0.690 0.75 - 0.90 1.55 - 1.75 2.09 - 2.35	30 ม.	185 กม.
			10.48 - 12.5	60 ม.	
			0.52 - 0.90	15 ม.	

ระบบบันทึกภาพ (Sensors) เครื่องบันทึกภาพของดาวเทียม LANDSAT-5 มี 2 ระบบ คือ ระบบเครื่องกวาดหลายช่วงคลื่น (Multispectral Scanner - MSS) และระบบเครื่องธีมาติกแมปเปอร์ (Thematic Mapper - TM) ซึ่งทั้งสองระบบใช้การแกว่งของกระจกรับแสงสะท้อนจากทรัพยากรในแนวระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม

ระบบ MSS ในดาวเทียม LANDSAT-5 เป็นเช่นเดียวกับในดาวเทียม LANDSAT-1, 2, 3 คือ ใช้กระจกรับแสงสะท้อนจากทรัพยากรในแนวระดับตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเทียม กระจกแกว่งครั้งหนึ่งจะเกิดการกวาดภาพ 6 เส้น พร้อมกันทุกช่วงคลื่น แบ่งออกเป็น 4 ช่วงคลื่น ภาพ MSS ภาพหนึ่งครอบคลุมพื้นที่ 185x185 ตร.กม. มีรายละเอียดของภาพประมาณ 80 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพของดาวเทียม LANDSAT ระบบบันทึกภาพ MSS รายละเอียด 80 เมตร

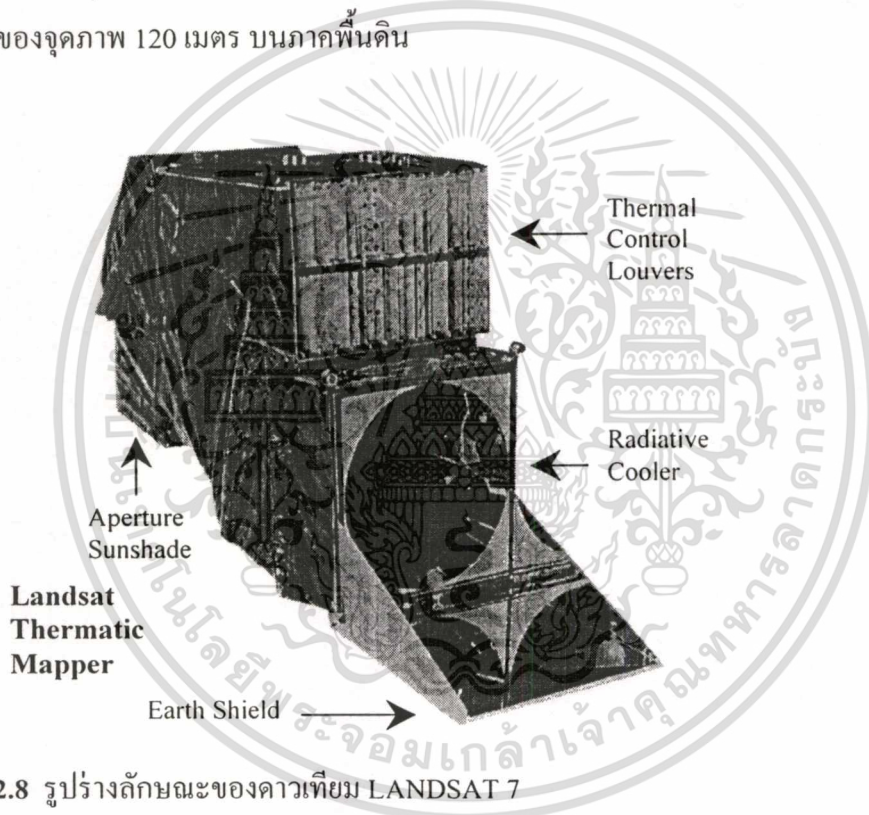
ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (μm)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
4	0.5 – 0.6	สามารถผ่านทะลุน้ำได้มากกว่าช่วงคลื่นอื่น ใช้ในการตรวจตะกอน หรือความขุ่นขึ้นในน้ำ แสดงความแตกต่างของพืชพรรณสีเขียวกับสิ่งปกคลุมอย่างอื่น แสดงลักษณะโครงสร้างของธรณีวิทยา
5	0.6 – 0.7	แสดงความแตกต่างของสิ่งที่มีมนุษย์สร้างกับลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศ ใช้สำหรับแยกแยะประเภทของพืชพรรณสีเขียวเมื่อรวมอยู่กับสิ่งปกคลุมหลายๆ อย่าง
6	0.7 – 0.8	เหมาะสำหรับจำแนกความแตกต่างของลักษณะการใช้ที่ดินและใช้ตรวจปริมาณชีวะสีเขียว
7	0.8 – 1.1	แสดงความแตกต่างของส่วนที่เป็นน้ำกับส่วนที่ไม่เป็นน้ำได้ดี ใช้แยกความแตกต่างระหว่างพืชพรรณกับดินได้ แสดงธรณีสัณฐานและโครงสร้างทางธรณีวิทยา

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพของดาวเทียม LANDSAT ระบบบันทึกภาพ TM รายละเอียด 30 เมตร

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (μm)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
1	0.45 – 0.52 (น้ำเงิน)	ใช้ตรวจสอบลักษณะน้ำตามชายฝั่ง แสดงความแตกต่างหรือใช้แยกประเภทต้นไม้ชนิดผลัดใบและไม่ผลัดใบออกจากกัน แสดงความแตกต่าง หรือแยกดินจากพืชพรรณต่างๆ
2	0.52 – 0.6 (เขียว)	แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวจากพืชพรรณที่เติบโตแล้ว เป็นประโยชน์ในการประเมินความแข็งแรงของพืช
3	0.63 – 0.69 (แดง)	แสดงความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่างๆ กัน
4	0.76 – 0.9 (อินฟราเรดใกล้)	ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ แสดงความแตกต่างของน้ำ และส่วนที่ไม่ใช่น้ำ
5	1.55 – 1.75 (อินฟราเรดคลื่นสั้น)	ใช้ตรวจความชื้นในพืช แสดงความแตกต่างของหินกับเมฆ
6	10.4 – 12.5 (อินฟราเรดความร้อน)	ใช้ตรวจการเหี่ยวเฉาอันเนื่องมาจากความร้อนในพืช แสดงความแตกต่างของความร้อนบริเวณที่ศึกษา และแสดงความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.08 – 2.35 (อินฟราเรดกลาง)	ใช้ตรวจความร้อนในน้ำ ใช้แยกประเภทแร่ธาตุ และหินชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนระบบ TM มีการกวาดรับข้อมูลจะเป็นไปใน 2 ทิศทาง ทำให้ช่วยลดอัตราการกวาด (Scan rate) และมีเวลาพอที่จะให้ความถูกต้องด้าน Radiometric ดีขึ้น และแผง TM Detector ที่ติดตั้งอยู่บนระนาบโฟกัสปฐมภูมิ (Primary Focal Plane) ก็ยอมให้แสงที่เข้ามากระทบตัว Detectors ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่าน Fiber Optics เช่นที่มีในระบบ MSS ทำให้ช่วยลดการสูญหายของความเข้มของรังสีที่เข้ามา ช่วงคลื่นของระบบ TM แบ่งออกเป็น 7 ช่วงคลื่น ความกว้างของช่วงคลื่น (Band Width) จะแคบกว่าและมีขนาดของจุดภาพเล็กกว่าระบบ MSS แต่ได้รับการปรับปรุงให้มีความไวเชิงคลื่นเพิ่มมากขึ้นในทุกๆ แบนด์ ซึ่งมีผลให้ค่าตัวเลขของระดับข้อมูลเพิ่มขึ้นจาก 64 เป็น 256 (0-255) ทุกๆ ช่วงคลื่นของระบบ TM ยกเว้นแบนด์ 6 ขนาดของจุดภาพ หรือรายละเอียดของภาพได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นคือเหลือ 30 เมตร ส่วนแบนด์ 6 ซึ่งเป็นช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน มีขนาดของจุดภาพ 120 เมตร บนภาคพื้นดิน



รูปที่ 2.8 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม LANDSAT 7

2.5.2 ดาวเทียม SPOT

มีลักษณะการโคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ทำมุมเอียงกับแนวระนาบ 38.7 องศา ในระดับความสูงประมาณ 830 กิโลเมตร โคจรกลับมาบริเวณเดิมทุก 26 วัน โดยมีอุปกรณ์ในการบันทึกภาพที่ประกอบด้วยกล้อง HRV (High resolution visible) จำนวน 2 กล้อง ซึ่งแต่ละกล้องมีระบบการเก็บข้อมูลภาพ 2 ระบบ คือ ระบบหลายช่วงคลื่น MLA (Multispectral linear array) ใช้เก็บข้อมูลภาพจำนวน 3 แถบความยาวคลื่น ที่มีรายละเอียดของภาพ 20 เมตร และระบบช่วงคลื่นขาว-ดำ PLA (Panchromatic linear array) ที่มีรายละเอียด 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ดาวเทียม MOS-1

ดาวเทียม MOS (Marine Observation Satellite) เป็นดาวเทียมของประเทศญี่ปุ่น ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการสำรวจพื้นพิภพและสมุทรศาสตร์ขององค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (National Space Development Agency -NASDA) ดาวเทียมดวงแรกชุดนี้ที่ส่งขึ้นไปคือ MOS-1 ขึ้นสู่วงโคจร เมื่อวันที่ 19 กุมภาพันธ์ 2530 ถูกส่งขึ้นโคจรในระดับความสูง 909 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก และดาวเทียม MOS-1b ถูกส่งขึ้นโคจรรอบโลก เมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2533 โดยจะโคจรวันหนึ่ง 14 รอบๆ ละ 103 นาที รอบโลกจะมีทั้งสิ้น 2537 รอบ และจะกลับมายังที่ภาพบริเวณเดิมทุก ๆ 17 วัน

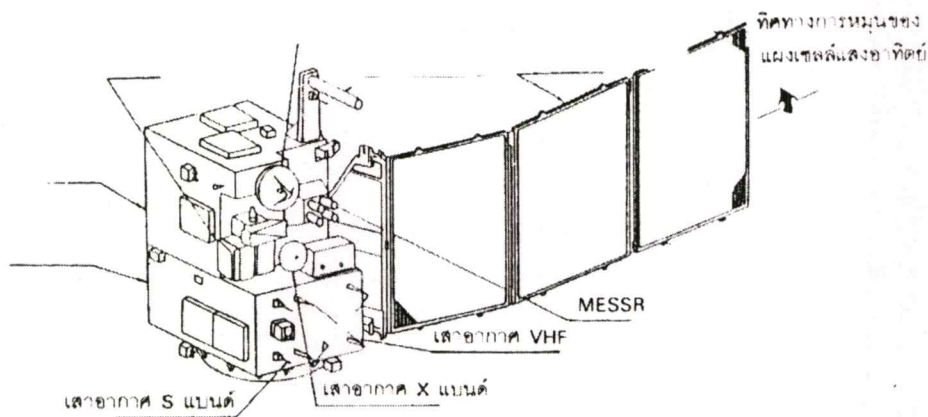
โคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 909 กิโลเมตร โดยทำการสำรวจและบันทึกภาพบริเวณเดิมทุก 17 วัน โดยมีอุปกรณ์สำรวจข้อมูล 4 ระบบ คือ

ระบบ MESSR (Multispectral electronic self scanning radiometer) เป็นการบันทึกข้อมูลภาพใน 4 แถบความยาวคลื่น เป็นช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า 2 แถบความยาวคลื่นและอินฟราเรดใกล้ 2 แถบความยาวคลื่น มีความยาวช่วงคลื่นระบบเดียวกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT ระบบบันทึกภาพของ MESSR ประกอบด้วยกล้อง 2 ชุด โดยกล้องตัวหนึ่งๆ จะทำการบันทึกข้อมูลภาพ 2 แถบความยาวคลื่น ที่มี detector 2,048 ตัว สำหรับบันทึกภาพในระยะทางกว้างประมาณ 100 กิโลเมตรและมีรายละเอียดข้อมูล 50 เมตร

ระบบ VTIR (Visible and thermal infrared radiometer) บันทึกข้อมูลภาพ 4 แถบความยาวคลื่น เป็นช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า 1 ช่วงคลื่นและอินฟราเรดความร้อน 3 แถบความยาวคลื่น ระบบบันทึกภาพเป็นแบบ Mirror scan ที่ใช้กระจกแบบหมุนรอบ (Rotating mirror) กวาดภาพในขนาด 1,500 x 1,500 ตร.กม. และแถบความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีรายละเอียด 900 เมตร ส่วนในช่วงอินฟราเรดความร้อนจะมีรายละเอียด 2,700 เมตร ระบบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่างๆ ในทะเล รวมถึงการปกคลุมของเมฆและไอน้ำ

ระบบ MSR (Microwave scanning radiometer) เป็นการบันทึกข้อมูลภาพในระบบพาสซีฟทำการบันทึกข้อมูลในช่วงความถี่ 23 GHz และ 31GHz รวมทั้งหมด 4 แถบความยาวคลื่น ความกว้างช่วงบันทึกภาพ 317 กิโลเมตร โดยช่วงความถี่ 23 GHz มีรายละเอียดภาพ 30 กิโลเมตร และในช่วงความถี่ 31 GHz มีรายละเอียด 10 กิโลเมตร ระบบนี้ใช้ประโยชน์ในการสำรวจปริมาณไอน้ำตลอดจนถึงการแผ่ปกคลุมของหิมะและน้ำแข็งในทะเล

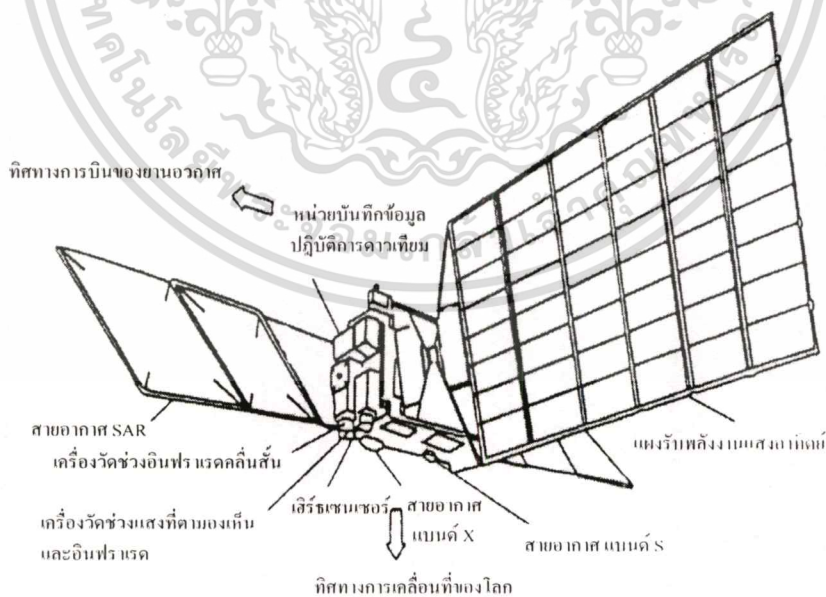
DCS (Data collection system) เป็นระบบเก็บข้อมูลทางด้านสมุทรศาสตร์ พร้อมทั้งยังสามารถวัดตำแหน่งของ DCP (Data collection platform) เช่นตำแหน่งเรือหรือทุ่นได้ด้วย



รูปที่ 2.9 รูปร่างลักษณะของดาวเทียม MOS-1

2.5.4 ดาวเทียม JERS-1

ดาวเทียม JERS-1 (Japan Earth Resources Satellite-1) ขององค์การพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (NASDA) ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2535 เป็นดาวเทียมที่สามารถถ่ายภาพทะลุเมฆได้ โดยใช้ระบบเรดาร์ที่มีอุปกรณ์ถ่ายภาพทะลุเมฆที่เรียกว่า SAR (Synthetic aperture radar) แล้วยังมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า OPS (Optical sensor) ที่ใช้ CCD (Charge coupled device) ในการรับแสงจากพื้นผิวโลกแล้วแยกออกเป็น 7 แถบความยาวคลื่น ตั้งแต่แถบความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจนถึงแถบความยาวคลื่นอินฟราเรด โดยมีรายละเอียดของภาพถึง 18 x 24 ตร.ม. และสามารถถ่ายภาพสามมิติตามแนวโคจรของโลกได้อีกด้วย



รูปที่ 2.10 ลักษณะของดาวเทียม JERS-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดของดาวเทียม JERS-1

ดาวเทียม	องค์ประกอบวงโคจร	เครื่องวัดในการสำรวจ			
		ชื่อเครื่องวัด	ช่วงคลื่น/ความถี่ (ไมครอน)	สนามมุมมอง	ความกว้างของแนวถ่ายภาพ
JERS-1 (2535) ญี่ปุ่น	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ระดับสูง : 568 กม. มุมเอียง : 98° โคจรมาที่จุดเดิม : 44 วัน ผ่านแนวเส้นศูนย์สูตร : 10.30 น. เวลาท้องถิ่น	OPS (Optical Sensor)	0.52 - 0.60	18 ม. x 24 ม.	75 กม.
		1. VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer) เครื่องวัดคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ 2. SWIS (Short Wave Infrared Radiometer) เครื่องวัดคลื่นอินฟราเรดช่วงคลื่นสั้น	00.63 - 0.69 0.76 - 0.86 1.60 - 1.71 2.01 - 2.12 2.13 - 2.15 2.27 - 2.40		
		SAR (Synthetic Aperture Radar) H-H Polarization (3 look) (เรดาร์แบบช่องเปิดสังเคราะห์) พาราไรเซชัน แบบ H-H 3 มุมมอง	1.275 กิกะเฮิรตซ์ (L-band)	18 ม. x 18 ม.	

2.5.5 ดาวเทียม ERS-1

ดาวเทียม ERS-1 (Earth Resource Satellite) พัฒนาโดยองค์การอวกาศแห่งยุโรป และได้จัดส่งเป็นผลสำเร็จเมื่อ 17 กรกฎาคม 2534 โคจรในแนวเหนือ-ใต้ที่ความสูงจากพื้นโลก 785 กิโลเมตร ทำมุมเอียง 98.5 องศา โดยจะโคจรผ่านที่เวลา 10.30 น. เวลาท้องถิ่น (ในแนวโคจรลง) และโคจรกลับมาสำรวจซ้ำที่เดิมทุกๆ 35 วัน (วงโคจรมาตรฐาน) 3 วัน และ 176 วัน (ในบางช่วง) ใช้เวลาโคจรรอบละประมาณ 100 นาที (วันละ 14 รอบ) ดาวเทียมในชุด ERS ของยุโรปนี้ ใช้การสำรวจในระบบไมโครเวฟ หรือระบบเรดาร์ ซึ่งมีคุณลักษณะเด่น คือ สามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ในทุกภาวะอากาศด้วยคุณสมบัติในการทะลุเมฆและวัตถุบางชนิดของสัญญาณไมโครเวฟ ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ คือ 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร และความถี่ 300 ถึง 0.3 GHz โดยการแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคลื่น คือ X band , C band และ L band ที่มีรายละเอียดของภาพมีขนาด 25x25 ตร.ม. การสะท้อนช่วงคลื่นของข้อมูลจากดาวเทียม ERS-1 จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความเรียบและความขรุขระของผิววัตถุเป็นสำคัญ ซึ่งวัตถุยิ่งเรียบจะให้ค่าการสะท้อนต่ำในขณะที่วัตถุที่มีความขรุขระจะให้ค่าการสะท้อนสูงขึ้นตามสัดส่วน แต่ต้องพิจารณามุมตกกระทบ (Incident angle) กับวัตถุด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 บทสรุป

ประเทศไทยได้นำข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมาใช้ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมเป็นเวลานานแล้ว และได้สร้างองค์กรและบุคลากรมากพอสมควรในการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ การมีสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินจากดาวเทียมย่อมเป็นข้อได้เปรียบอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทย ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากต่างประเทศ และในการใช้ประโยชน์จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรแต่ละดวง ล้วนมีสมรรถนะการถ่ายภาพที่มีรายละเอียดสูงเทียบเท่ารูปถ่ายทางอากาศ ย่อมเป็นตัวสำคัญที่ก่อให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านการวางแผนการใช้ที่ดิน การจัดการป่าไม้ การประเมินพื้นที่ เพาะปลูก และการพยากรณ์ผลผลิตทางเกษตร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากดาวเทียมสามารถนำมาผสมผสานกับข้อมูลอื่น เช่น รูปถ่ายทางอากาศ แผนที่ภูมิประเทศ ข้อมูลจากการสำรวจภาคพื้นดิน ฯลฯ ในลักษณะระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้ได้ประโยชน์เต็มที่ ซึ่งขณะนี้ได้มีการพัฒนาระบบดังกล่าวขึ้นใช้ในประเทศที่พัฒนาแล้ว แต่การพัฒนายังไม่หยุดยั้ง ประเทศไทยจึงควรมีการวิจัยและพัฒนาระบบนี้ให้เหมาะสมกับประเทศไทยโดยเฉพาะ และยังมีการสนับสนุน รวมทั้งการร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ อย่างเต็มที่แล้ว ประเทศไทยก็พร้อมที่จะก้าวไปข้างหน้าด้วยความมั่นใจในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 3

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

3.1 บทนำ

ในกระบวนการจำแนกข้อมูลและการแปลความหมาย (Classification and Interpretation) ภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัม (Multispectral Images) ที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันนั้น ทำได้ยากและมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัมนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลภาพที่มีค่าการสะท้อนของความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน แต่มีแนวทางหนึ่งที่สามารถทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีหลายสเปกตรัมนั้นทำได้สะดวกขึ้นนั่นคือ การนำทฤษฎีของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก [12] (Principal Component Analysis) มาช่วยในการลดขนาดมิติของภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัม ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เพื่อที่จะได้นำภาพผลลัพธ์ที่ได้ไปการประยุกต์ใช้งานในบทอื่นต่อไป

3.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักเป็นการวิเคราะห์แบบวิธีรวมเชิงเส้น (Linear combination) [8] ของข้อมูล ที่ยังคงรักษาไว้ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงหรือความแปรปรวน (Variance) ของแกนเดิม (Original axis) ในขณะที่แกนใหม่จะถูกสร้างขึ้นมาโดยมีการสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูลภาพจากแกนเดิมต่างๆ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของตัวแปร X จะเป็นการแปลงเชิงเส้น (Linear transformation) ของค่าความแปรปรวนจากข้อมูลเดิมไปยังตัวแปรใหม่ Y ที่ค่าสหสัมพันธ์เท่ากับศูนย์ (Uncorrelated) ถึงแม้ว่าข้อมูลในตัวแปร X จะมีค่าสหสัมพันธ์สูงก็ตาม

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลาหลายปีแล้ว คณิตศาสตร์ของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักนี้ได้ถูกเขียนขึ้นในปี ค.ศ. 1923 โดย Hotelling และในปี ค.ศ. 1964 โดย Searle ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่อยู่บนพื้นฐานของค่าความแปรปรวนและค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของกลุ่มข้อมูล ค่าความแปรปรวนเป็นการแตกกระจาย (Scatter) ที่อยู่ในหนึ่งตัวแปรของกลุ่มข้อมูล ส่วนค่าความแปรปรวนร่วมจะเป็นการวัดการแตกกระจายในระหว่างกลุ่มตัวแปร

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของตัวแปร X ทั้งหมด n ตัว เป็นการกำหนดการแปลงเชิงเส้นของทุกๆ การแปรเปลี่ยนในตัวแปรเดิมสู่ตัวแปรใหม่ Y ทั้งหมด n ตัว ในการแปลงนี้ กำหนดให้ตัวแปรลำดับแรกของกลุ่มตัวแปร Y มีค่าความแปรปรวนสูงสุด จากค่าความแปรปรวนทั้งหมด ส่วนตัวแปรลำดับที่สองของกลุ่มของตัวแปร Y จะมีค่าความแปรปรวนสูงสุดจากความแปรปรวนที่เหลือและไล่ลงไปสำหรับตัวแปรถัดไป จำนวนการแปรเปลี่ยนที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตัวแปรหลายๆ นั้น จะมีค่าความแปรปรวนน้อยจนอาจจะพิจารณาได้ว่ามีค่าน้อยมากและสามารถตัดทิ้งได้ แต่ถ้าหากมีการตัดเอาตัวแปรหลายๆ ดังกล่าวทิ้งไปก็จะเป็นการลดขนาดมิติของภาพ

ตัวแปรที่ได้หลังผ่านการแปลงคือกลุ่มตัวแปร Y ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จะมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของการแปลง เรียกว่าความตั้งฉากได้ (Orthogonality) หรือการขาดหายไปของค่าสหสัมพันธ์ของแกน ภายหลังจากการแปลง จะเกิดจากผลของการแปลงนั่นเอง แม้ว่าในกลุ่มตัวแปร X เดิมจะมีค่าสหสัมพันธ์สูงก็ตาม โดยปกติแล้ว จำนวนตัวแปรหลังจากการแปลงจะน้อยลงเมื่อตัวแปร X เดิมจะมีค่าสหสัมพันธ์สูงขึ้น ข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงเป็นข้อมูลที่ใช้ในการทำนายค่าที่สอดคล้องกับค่าของตัวแปรอื่นๆ ส่วนเกินของข้อมูลดังกล่าวนี้ จะไม่พบในกลุ่มตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

พิจารณาภาพถ่ายดาวเทียมขนาด 256×256 จุดภาพ ซึ่งแทนด้วย $M \times N$ จำนวน 6 แบนด์ ซึ่งแทนด้วย k ทำการคำนวณหาค่าเวกเตอร์เฉลี่ย μ_k โดยหาจากจุดภาพของแต่ละภาพ

$$\mu_k = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}^k \quad (3.1)$$

โดย $x_{ij}^k \in x_k$ เมื่อจำนวนข้อมูลภาพมีอยู่ 6 แบนด์ $k=1,2,3,\dots,6$ และทำการแปลง X_k ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ y_k

$$y_k(m) = x_k(iN + j) \quad (3.2)$$

โดย $i=1,2,3,\dots,M$

$j=1,2,3,\dots,N$ และ $m=1,2,3,\dots,M \times N$

เพราะฉะนั้นค่าความแตกต่างระหว่างจุดภาพกับค่าเฉลี่ยของแต่ละแบนด์หาได้โดย

$$z_k = y_k(m) - \mu_k \quad (3.3)$$

และเมื่อคำนวณ z_k ทุกแบนด์ ($k=1,2,3,\dots,6$) ก็จะได้เมตริกซ์ Z ความแตกต่างระหว่างจุดภาพกับค่าเฉลี่ยของทุกแบนด์ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 6×65536 ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ \vdots \\ z_6 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

6×65536

เมื่อ Σ เป็นค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 3.5

$$\Sigma = E(ZZ^T) = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{1N} & \sigma_{2N} & \cdots & \sigma_{NN} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

เมื่อ E คือ ฟังก์ชันของค่าคาดหวัง
 T คือ การทำทรานโพสของเมตริกซ์
 σ_{ij} คือ สมาชิกของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ตำแหน่ง (i, j)
 N คือ จำนวนแบนด์ทั้งหมด

เมื่อได้ค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 6×6 ซึ่งได้จากการคูณกันของเมตริกซ์ Z และ Z^T แล้วจากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉพาะ (Eigenvalue) ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ในรูปทั่วไปดังสมการต่อไปนี้ [4, 18]

$$|\Sigma - \lambda I| = 0 \quad (3.6)$$

หรือ

$$\begin{vmatrix} \sigma_{11} - \lambda & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} - \lambda & \cdots & \sigma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{1N} & \sigma_{2N} & \cdots & \sigma_{NN} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (3.7)$$

โดยที่ λ คือ ค่าเฉพาะของภาพถ่ายดาวเทียม
 I คือ เมตริกซ์เอกลักษณ์ที่มีขนาดเท่ากับ Σ
 N คือ จำนวนแบนด์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.7 จะสามารถจัดให้อยู่ในรูปของสมการโพลิโนเมียลของตัวแปร λ ยกกำลัง N ซึ่งรากของสมการโพลิโนเมียลก็คือค่าเฉพาะของมันเอง โดยจำนวนของค่าเฉพาะจะมีขนาดเท่ากับค่า N ซึ่งค่าเฉพาะสามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \lambda_N \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

เมื่อ $N = 6$ (จำนวนแบนด์ทั้งหมด)

โดยที่ $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$ เป็นค่าเฉพาะ และค่าเฉพาะแรก λ_1 จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนมากที่สุด นั่นคือมีข้อมูลมากที่สุด ส่วนค่าเฉพาะลำดับที่สอง λ_2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงที่เหลือและมีค่าความแปรปรวนมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่าอื่นๆ ที่เหลือ

นำค่าเวกเตอร์เฉพาะ (Eigenvector) มาคูณกับเมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนของข้อมูลเดิม จะได้ข้อมูลใหม่ Y ดังนี้

$$Y = y_i = \sum_{j=1}^N a_{ij} x_j = a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{iN} x_N \quad (3.9)$$

โดยที่ a_{ij} คือ เมตริกซ์ของเวกเตอร์เฉพาะ

x คือ ค่าความแปรปรวนของข้อมูลเดิม

$i = 1, 2, \dots, N$

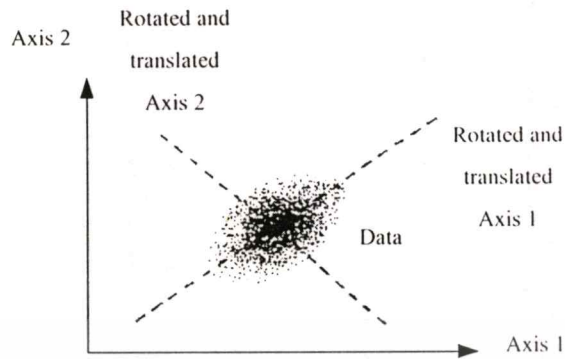
นั่นคือจะได้ค่าจุดภาพใหม่ y_i เรียกว่าภาพองค์ประกอบหลัก (Principal Component) และภาพใหม่ที่ได้มีค่าความแปรปรวนของข้อมูลภาพที่มีค่าของระดับสีเทาไม่ได้อยู่ในช่วง $[0, 255]$ ระดับ ดังนั้นต้องทำการปรับค่าระดับสีเทาของข้อมูลในแต่ละองค์ประกอบหลักใหม่ทั้งหมดให้อยู่ในช่วง $[0, 255]$

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่นำมาใช้กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายโดยใช้รูปเชิงเรขาคณิต กระบวนการของการแปลงแบบเชิงเส้นเมื่อตัวแปรเดิมมีการเลื่อนและการหมุนดังแสดงในรูปที่ 3.1 ตำแหน่งของแกนต่างๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลแล้วถูกเปลี่ยนไป ตำแหน่งของกลุ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มข้อมูลอื่นจะไม่เปลี่ยน ตัวอย่างของ

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักนั้นเปรียบเทียบกับหลอดที่บรรจุลูกโป่งหลายๆ ลูก ถ้ามองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

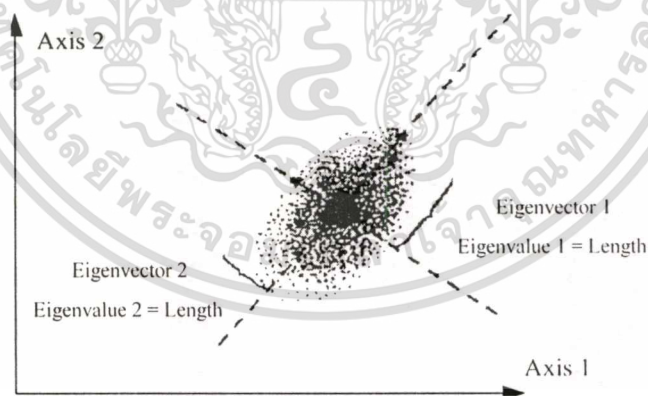
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปลายข้างหนึ่งของหลอดปรากฏว่า จะเห็นลูกปิงปองริมสุดเพียงลูกเดียว ถ้าพลิกดูด้านข้างหลอด จะเห็นปิงปองทุกลูกซึ่งก็เหมือนกับการมองภาพขององค์ประกอบหลักต่างๆ



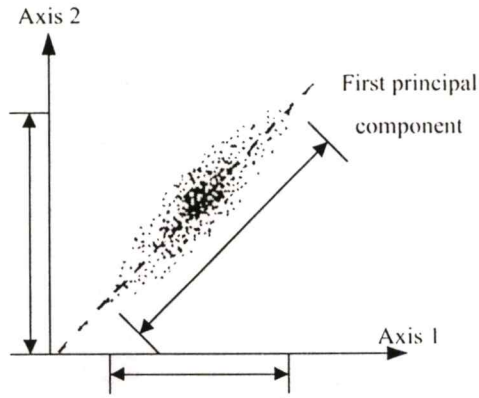
รูปที่ 3.1 การหมุนของแกนในสองมิติ

ค่าเฉพาะและเวกเตอร์เฉพาะที่มีความสัมพันธ์และมีการแตกกระจายของข้อมูลดังในรูปที่ 3.2 เวกเตอร์เฉพาะนั้นจะอยู่บนแกนที่แปลงไปแล้วและความยาวของเวกเตอร์เฉพาะต่างๆ คือค่าเฉพาะ ดังนั้นค่าเฉพาะที่ยาวที่สุดถูกเลือกเป็นแกนแรกของการแปลงหรือองค์ประกอบหลักลำดับที่ 1 ส่วนความยาวที่ 2 ก็ถูกเลือกเป็นองค์ประกอบหลักลำดับที่ 2 และอื่นๆ ถัดไป สำหรับกรณีที่มีตัวแปรเพียง 2 ตัวนั้นคู่ของเวกเตอร์เฉพาะกับค่าเฉพาะจะสอดคล้องกับแกนยาวสุดของวงรีที่ล้อมรอบข้อมูลทั้งหมด

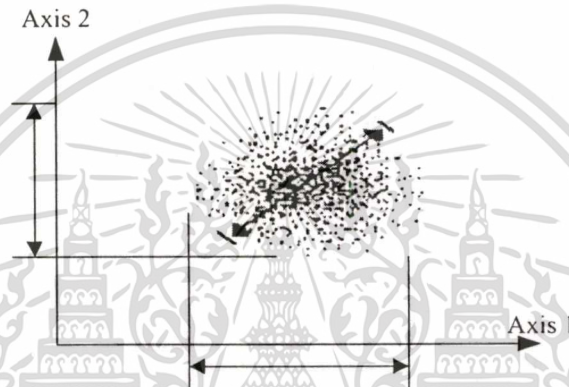


รูปที่ 3.2 เวกเตอร์เฉพาะ และค่าเฉพาะในสองมิติ

ลักษณะของแผนภาพการกระจายแสดงให้เห็นถึงค่าองศาของสหสัมพันธ์ที่ปรากฏในข้อมูล ถ้าแผนภาพการกระจายที่ยาวและแคบ โดยไม่ขนานกับแกนเดิมแสดงว่าข้อมูลมีค่าสหสัมพันธ์สูง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง



รูปที่ 3.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักลำดับแรกของข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำ

แผนภาพการกระจายที่มีลักษณะเป็นวงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำ องค์ประกอบหลักต่างๆ ของข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์กันนี้จะไม่มีแกนใดที่ลากผ่านวงกลมแล้วได้ข้อมูลมากกว่าการโปรเจกชันข้อมูลลงบนแกนเดิม

3.3 วิธีการประยุกต์ทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับภาพถ่ายดาวเทียม

3.3.1 นิยามของตัวแปร

ในทางรีโมทเซนซิงข้อมูลเดิม X ที่จะทำกรวิเคราะห์ คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ประกอบด้วย แบนด์ที่ 1, แบนด์ที่ 2 และแบนด์ที่ 3 (สมมติว่าดาวเทียมดวงนั้นมีข้อมูล 3 แบนด์) นั้นหมายความว่าข้อมูล X จะประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัว คือ x_1 , x_2 และ x_3 โดยกำหนดให้เป็นข้อมูลแบนด์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และเมื่อ X ผ่านการแปลงข้อมูลไปแล้วจะทำให้ได้ข้อมูลใหม่คือ Y ที่ประกอบด้วย y_1 , y_2 และ y_3 เช่นกัน สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.5

จากทฤษฎีจะได้ว่า y_1 คือ ข้อมูลภาพองค์ประกอบหลักที่ 1 ให้ค่าความแปรปรวนสูงสุด y_2 คือ ข้อมูลภาพองค์ประกอบหลักที่ 2 ให้ค่าความแปรปรวนต่ำลงมา และ y_3 คือ ข้อมูลภาพองค์ประกอบหลักที่ 3 ให้ค่าความแปรปรวนต่ำสุด



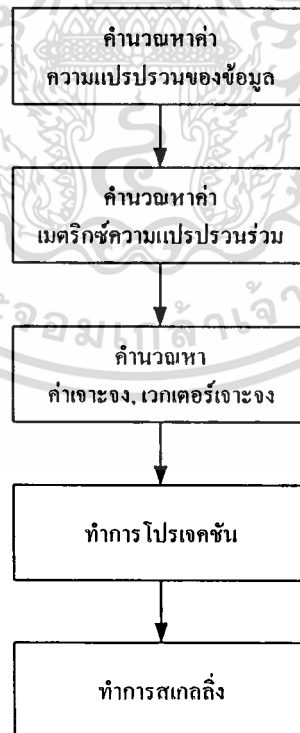
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

ในการที่จะทำการจำแนกและการแปลความหมายของข้อมูลภาพบนพื้นดินโดยอาศัยภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่นำมาใช้ในที่นี้ จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมทั้งหมด 6 แบนด์มาใช้ในการวิเคราะห์

3.3.2 วิธีการแปลงข้อมูลภาพ

ในการแปลงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จะมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 3.3.2.1 คำนวณหาความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละแบนด์
- 3.3.2.2 คำนวณหาค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance Matrix)
- 3.3.2.3 คำนวณหาค่าเจาะจง (Eigenvalue) และเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector)
- 3.3.2.4 ทำการโปรเจกชัน
- 3.3.2.5 ทำการสเกลลิงให้อยู่ในช่วง 0 - 255 ระดับ



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการแปลงข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วิธีการหาค่าความแปรปรวนของข้อมูล

จากข้อมูลภาพทั้ง 6 ภาพหรือข้อมูลภาพทุกแบนด์ควรจะมียุทธศาสตร์เหมือนกัน ในที่นี้สมมติข้อมูลภาพแบนด์ที่ 1 ซึ่งมีขนาด 256×256 จุดภาพ ที่มีลำดับตำแหน่งของข้อมูลภาพ ดังนี้

$$x_1 = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} & \cdots & x_{1,256} \\ x_{1,257} & x_{1,258} & x_{1,259} & \cdots & x_{1,512} \\ x_{1,513} & x_{1,514} & x_{1,515} & \cdots & x_{1,768} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1,65281} & x_{1,65282} & x_{1,65283} & \cdots & x_{1,65536} \end{bmatrix}$$

เมื่อ x_1 คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1 ขนาด 256×256 จุดภาพ

ทำการแปลง x_1 ให้เป็น y_1 โดยใช้สมการที่ 3.2

$$y_1 = [y_{1,1} \quad y_{1,2} \quad y_{1,3} \quad \cdots \quad y_{1,65536}]$$

เมื่อ y_1 คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1 ที่แปลงให้มีขนาด 1×65536 จุดภาพ

จาก x_k ประกอบด้วยภาพจำนวน 6 แบนด์ทำการแปลงเป็น y_k ได้ดังนี้

$$Y = \begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} & y_{1,3} & \cdots & y_{1,65536} \\ y_{2,1} & y_{2,2} & y_{2,3} & \cdots & y_{2,65536} \\ y_{3,1} & y_{3,2} & y_{3,3} & \cdots & y_{3,65536} \\ y_{4,1} & y_{4,2} & y_{4,3} & \cdots & y_{4,65536} \\ y_{5,1} & y_{5,2} & y_{5,3} & \cdots & y_{5,65536} \\ y_{6,1} & y_{6,2} & y_{6,3} & \cdots & y_{6,65536} \end{bmatrix}$$

จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพในแต่ละแบนด์

$$\mu_k = \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6$$

เมื่อ μ_k คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเดิมในแต่ละแบนด์ที่มีทั้งหมด 6 แบนด์

แล้วทำการหาค่าความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละแบนด์

$$z_k = [(y_{k,1} - \mu_k)(y_{k,2} - \mu_k)(y_{k,3} - \mu_k) \cdots (y_{k,65536} - \mu_k)]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 วิธีการคำนวณหาค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\Sigma = ZZ^T \quad (3.10)$$

เมื่อ Σ คือ ค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

Z คือ ค่าความแตกต่างระหว่างจุดภาพกับค่าเฉลี่ย

จากสมการที่ (3.9) เขียนเทอม Z และ Z^T ได้เป็น

$$\Sigma = \begin{bmatrix} y_{1,1} - \mu_1 & y_{1,2} - \mu_2 & y_{1,3} - \mu_3 & \cdots & y_{1,65536} - \mu_6 \\ y_{2,1} - \mu_1 & y_{2,2} - \mu_2 & y_{2,3} - \mu_3 & \cdots & y_{2,65536} - \mu_6 \\ y_{3,1} - \mu_1 & y_{3,2} - \mu_2 & y_{3,3} - \mu_3 & \cdots & y_{3,65536} - \mu_6 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{6,1} - \mu_1 & y_{6,2} - \mu_2 & y_{6,3} - \mu_3 & \cdots & y_{6,65536} - \mu_6 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} y_{1,1} - \mu_1 & y_{2,1} - \mu_1 & y_{3,1} - \mu_1 & \cdots & y_{6,1} - \mu_1 \\ y_{1,2} - \mu_2 & y_{2,2} - \mu_2 & y_{3,2} - \mu_2 & \cdots & y_{6,2} - \mu_2 \\ y_{1,3} - \mu_3 & y_{2,3} - \mu_3 & y_{3,3} - \mu_3 & \cdots & y_{6,3} - \mu_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{1,65536} - \mu_6 & y_{2,65536} - \mu_6 & y_{3,65536} - \mu_6 & \cdots & y_{6,65536} - \mu_6 \end{bmatrix}$$

จะได้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & C_{1,3} & \cdots & C_{1,6} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & C_{2,3} & \cdots & C_{2,6} \\ C_{3,1} & C_{3,2} & C_{3,3} & \cdots & C_{3,6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{6,1} & C_{6,2} & C_{6,3} & \cdots & C_{6,6} \end{bmatrix}$$

3.3.5 วิธีการคำนวณหาค่าเงาเงงและเวกเตอร์เงาเงง

ค่าเงาเงงและเวกเตอร์เงาเงงขององค์ประกอบหลักต่างๆ คำนวณหาได้จากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมที่ได้จากข้อมูลเดิม จะได้ค่าของค่าเงาเงงเท่ากับจำนวนแบนด์ของข้อมูลเดิมและแต่ละค่าเงาเงงจะให้ค่าเวกเตอร์เงาเงงที่สอดคล้อง ในแต่ละเวกเตอร์เงาเงงจะมีจำนวนข้อมูลเท่ากับจำนวนแบนด์ของข้อมูลเดิม

จากตัวอย่างเมื่อมีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีขนาด 6 แบนด์ด้วยกัน ถ้าหากว่าได้มีการผ่านขบวนการหาค่าเงาเงงและเวกเตอร์เงาเงง แล้วจะทำให้ได้ค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณหาค่าเจาะจงกับเวกเตอร์เจาะจง

องค์ประกอบหลักที่	1	2	3	4	5	6
ค่าเจาะจง	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
เวกเตอร์เจาะจง						
A_i	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
B_i	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
C_i	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
D_i	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6
E_i	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
F_i	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6

ค่าสมาชิกของแต่ละเวกเตอร์เจาะจง จะเป็นตัวถ่วงน้ำหนักของค่าจุดภาพแต่ละแบนด์ ที่จะนำมารวมกันอย่างเชิงเส้น เพื่อสร้างเป็นองค์ประกอบหลักต่างๆ

3.3.6 วิธีการโปรเจกชัน

นำค่าเวกเตอร์เจาะจงมาคูณกับเมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนของข้อมูลเดิม Z จะได้ข้อมูลใหม่ P ดังนี้

สูตรการคำนวณข้อมูลใหม่ P_k

$$P = CZ \quad (3.11)$$

โดยที่ C คือค่าเวกเตอร์เจาะจง

Z คือค่าความแปรปรวนของข้อมูลเดิม

เมื่อแทนค่าลงไปในสมการที่ 3.9 จะได้

$$P = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 & E_1 & F_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 & E_2 & F_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 & D_3 & E_3 & F_3 \\ A_4 & B_4 & C_4 & D_4 & E_4 & F_4 \\ A_5 & B_5 & C_5 & D_5 & E_5 & F_5 \\ A_6 & B_6 & C_6 & D_6 & E_6 & F_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,1} - \mu_1 & y_{1,2} - \mu_1 & y_{1,3} - \mu_1 & \cdots & y_{1,65536} - \mu_1 \\ y_{2,1} - \mu_2 & y_{2,2} - \mu_2 & y_{2,3} - \mu_2 & \cdots & y_{2,65536} - \mu_2 \\ y_{3,1} - \mu_3 & y_{3,2} - \mu_3 & y_{3,3} - \mu_3 & \cdots & y_{3,65536} - \mu_3 \\ y_{4,1} - \mu_4 & y_{4,2} - \mu_4 & y_{4,3} - \mu_4 & \cdots & y_{4,65536} - \mu_4 \\ y_{5,1} - \mu_5 & y_{5,2} - \mu_5 & y_{5,3} - \mu_5 & \cdots & y_{5,65536} - \mu_5 \\ y_{6,1} - \mu_6 & y_{6,2} - \mu_6 & y_{6,3} - \mu_6 & \cdots & y_{6,65536} - \mu_6 \end{bmatrix}$$

ผลการคูณเมตริกซ์ จะได้ข้อมูลภาพใหม่ที่ถูกเรียงความสำคัญของข้อมูลจากมากไปหาน้อย จากภาพทั้งหมด 6 แบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,3} & \cdots & p_{1,65536} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} & \cdots & p_{2,65536} \\ p_{3,1} & p_{3,2} & p_{3,3} & \cdots & p_{3,65536} \\ p_{4,1} & p_{4,2} & p_{4,3} & \cdots & p_{4,65536} \\ p_{5,1} & p_{5,2} & p_{5,3} & \cdots & p_{5,65536} \\ p_{6,1} & p_{6,2} & p_{6,3} & \cdots & p_{6,65536} \end{bmatrix}$$

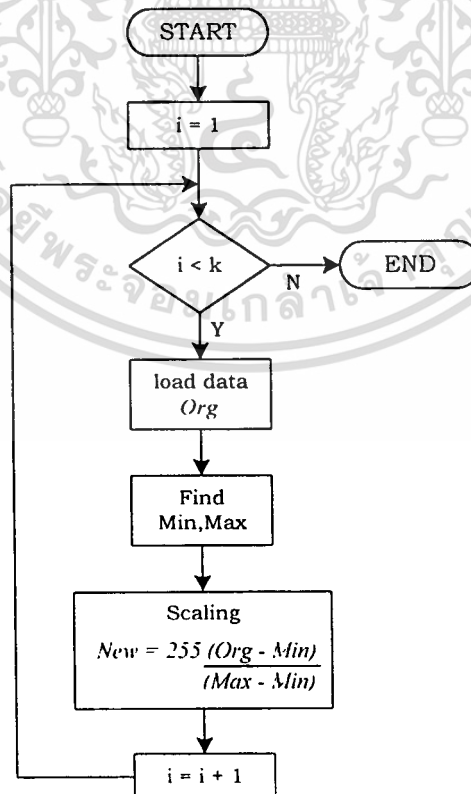
จากนั้นก็ทำการแยกภาพของแต่ละแบนด์ออกมาให้มีขนาดเท่าเดิม คือ ขนาด 256 x 256 จุด

ภาพ

$$P = \begin{bmatrix} p_{k,1} & p_{k,2} & p_{k,3} & \cdots & p_{k,256} \\ p_{k,257} & p_{k,258} & p_{k,259} & \cdots & p_{k,512} \\ p_{k,513} & p_{k,514} & p_{k,515} & \cdots & p_{k,768} \\ p_{k,769} & p_{k,770} & p_{k,771} & \cdots & p_{k,1024} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{k,65281} & p_{k,65282} & p_{k,65283} & \cdots & p_{k,65536} \end{bmatrix}$$

3.3.7 การสเกลลิง

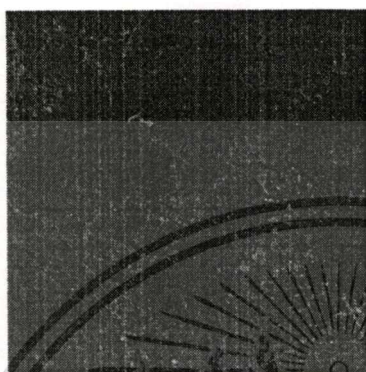
ข้อมูลที่ได้จากการทำโปรเจกชัน (P_k) เป็นค่าความแปรปรวนของข้อมูลภาพที่มีค่าของระดับสีเทาที่ไม่ได้อยู่ในช่วง $[0, 255]$ ระดับ ดังนั้นจึงจะต้องทำการปรับค่าระดับสีเทาของข้อมูลในแต่ละองค์ประกอบหลักใหม่ทั้งหมดให้อยู่ในช่วง $[0, 255]$ ระดับ มีวิธีการดังแสดงในรูปที่ 3.7



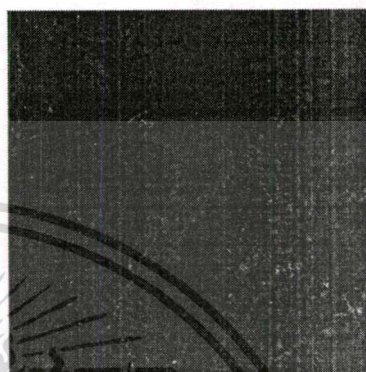
รูปที่ 3.7 โพลีซาร์ทการสเกลลิง

3.4 ผลการทดลอง

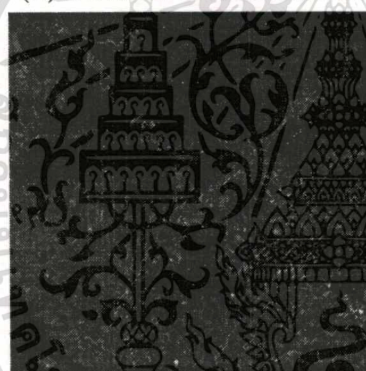
ในการทดลองได้นำภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 ดังรูปที่ 3.8 มาทำการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบหลักซึ่งได้ผลลัพธ์ภาพองค์ประกอบหลักต่างๆ ดังรูปที่ 3.9 และตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นค่าความแปรปรวนของภาพองค์ประกอบหลักต่างๆ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้



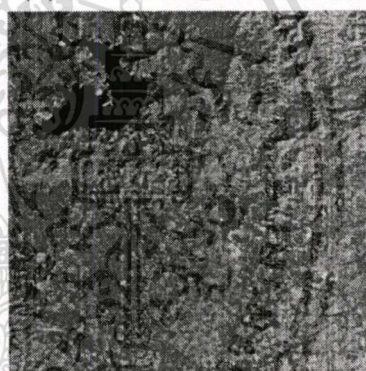
(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1



(ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 2



(ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 3



(ง) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4



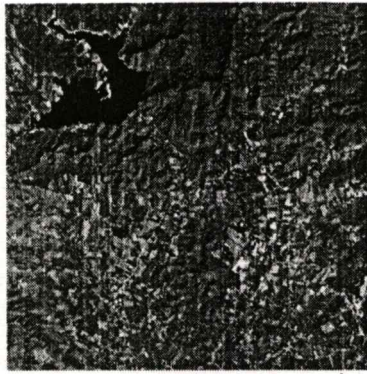
(จ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5



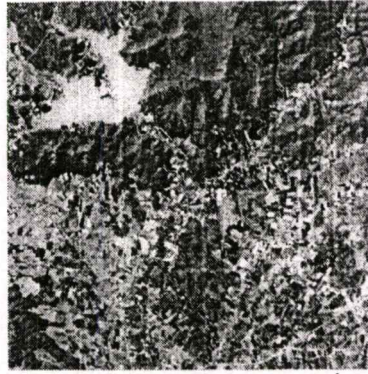
(ฉ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 7

รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 ขนาด 512x512 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



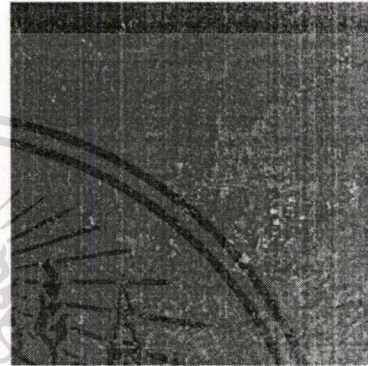
(ก) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 1



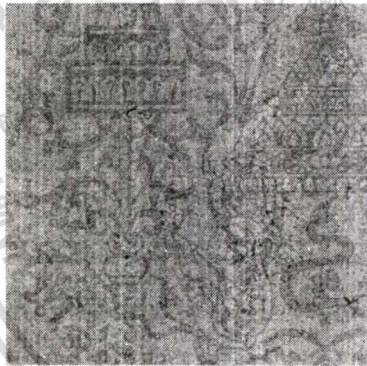
(ข) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 2



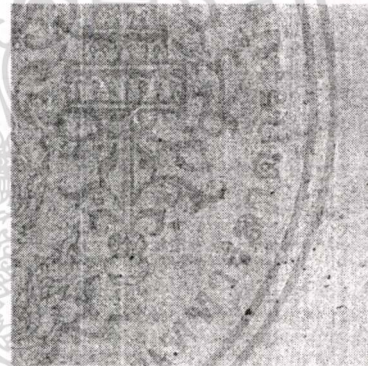
(ค) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 3



(ง) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 4



(จ) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 5



(ฉ) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 6

รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 ที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

3.4.1 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพในแต่ละแบนด์ ตามสมการที่ (3.1) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ซึ่งจะได้เวกเตอร์เฉลี่ย (μ) ขนาด 6×1 เรียงลำดับจากค่าเฉลี่ยของแบนด์ที่ 1 ถึง แบนด์สุดท้าย ดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 71.6386 \\ 56.6838 \\ 50.0729 \\ 108.0593 \\ 77.7218 \\ 44.3316 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 6x1 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ทำการแปลงข้อมูลแต่ละแบนด์ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ตามสมการที่ (3.2) แล้วจึงคำนวณหา ค่าความแตกต่างระหว่างจุดภาพกับค่าเฉลี่ยของแต่ละแบนด์ตามสมการที่ (3.3) ซึ่งจะได้ เมตริกซ์ Z ขนาด 6×65536 ตามสมการที่ (3.4) เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมตามสมการที่ (3.5) ได้ดังนี้

$$\Sigma = \begin{bmatrix} 0.0522 & 0.0624 & 0.1254 & 0.0003 & 0.1407 & 0.1460 \\ 0.0624 & 0.0903 & 0.1657 & 0.0741 & 0.2308 & 0.2071 \\ 0.1254 & 0.1657 & 0.3560 & 0.0132 & 0.4579 & 0.4453 \\ 0.0003 & 0.0741 & 0.0132 & 1.3677 & 0.5880 & 0.1858 \\ 0.1407 & 0.2308 & 0.4579 & 0.5880 & 1.2776 & 0.8972 \\ 0.1460 & 0.2071 & 0.4453 & 0.1858 & 0.8972 & 0.7585 \end{bmatrix} \times 1 \times 10^8$$

6×6

3.4.3 คำนวณหาค่าเงาเงจ ซึ่งใช้ประเมินค่าการกระจายของค่าความแปรปรวนข้อมูลสำหรับแต่ละ องค์ประกอบ โดยมีรูปแบบของข้อมูลตามสมการที่ (3.8)

$$\begin{bmatrix} 2.5254 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.1734 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1656 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0257 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0080 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0044 \end{bmatrix} \times 1 \times 10^8$$

3.4.4 คำนวณค่าเวกเตอร์เงาเงจ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการกำหนดค่าความสว่างของ องค์ประกอบของภาพสำหรับจุดภาพที่ได้จากผลรวมของค่าน้ำหนักของค่าความสว่างของ ภาพต้นฉบับ

$$\begin{bmatrix} 0.7897 & -0.4911 & -0.1386 & 0.3131 & 0.1039 & 0.0848 \\ -0.6084 & -0.6105 & -0.2927 & 0.3784 & 0.0933 & 0.1401 \\ 0.0106 & 0.6042 & -0.2125 & 0.6560 & 0.2999 & 0.2634 \\ 0.0187 & 0.0336 & 0.1153 & 0.2232 & -0.8614 & 0.4398 \\ 0.0507 & 0.0295 & -0.4695 & -0.5272 & 0.1545 & 0.6887 \\ -0.0570 & -0.1381 & 0.7850 & 0.0258 & 0.3532 & 0.4858 \end{bmatrix}$$

3.4.5 เมื่อได้ข้อมูลใหม่ที่ผ่านการนำค่าเวกเตอร์เงาเงจ มาคูณกับเมตริกซ์ของค่าความแปรปรวน ของข้อมูลเดิม ตามสมการที่ (3.9) จะทำให้ได้ข้อมูลใหม่นั้นคือได้จุดภาพใหม่เรียกว่า ภาพ องค์ประกอบหลัก แต่ว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลใหม่ที่ได้นั้นมีค่าระดับสีเทาไม่ได้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง $[0, 255]$ ระดับ ดังนั้นต้องทำการปรับค่าระดับสีเทาของข้อมูลในแต่ละองค์ประกอบหลักใหม่ทั้งหมดให้อยู่ในช่วง $[0, 255]$ โดยทำการโปรเจกชันและสเกลลิ่ง

ตารางที่ 3.2 ค่าเจาะจง, เปอร์เซ็นต์ค่าความแปรปรวนและเปอร์เซ็นต์สะสมค่าความแปรปรวน

องค์ประกอบที่	1	2	3	4	5	6
ค่าเจาะจง	252,540,000	117,340,000	16,560,000	2,570,000	800,000	440,000
% ค่าแปรปรวน	64.71	30.07	4.24	0.66	0.21	0.11
% สะสม	64.71	94.78	99.02	99.68	99.89	100

จากค่าเจาะจงที่คำนวณได้จากหัวข้อ 3.4.3 นั้นเป็นตัวอธิบายค่าความแปรปรวนของข้อมูลภาพองค์ประกอบหลัก ซึ่งค่าเจาะจงแรก λ_1 นั้นคือค่าความแปรปรวนของภาพองค์ประกอบที่ 1 ดังนั้นสามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของความแปรปรวนของแต่ละองค์ประกอบที่แสดงในตารางที่ 3.2 ได้โดยหาค่าผลรวมของค่าเจาะจงทั้งหมดจาก λ_1 จนถึง λ_N หารด้วยค่าเจาะจงของแต่ละองค์ประกอบ จากตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าเจาะจงทั้งหมด } (\lambda_{total}) &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 \\ &= (2.5254 + 1.1734 + 0.1656 + 0.0257 + 0.008 + 0.0044) \times 10^8 \\ &= 3.9025 \times 10^8 \end{aligned}$$

เปอร์เซ็นต์ค่าความแปรปรวนของภาพองค์ประกอบที่ 1

$$\begin{aligned} &= \lambda_1 / \lambda_{total} \\ &= 2.5254 / 3.9025 \\ &= 64.71 \% \end{aligned}$$

3.5 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าภาพองค์ประกอบหลักลำดับที่ 1 เป็นภาพที่ความคมชัดและมีรายละเอียดมากที่สุด ในจำนวนภาพองค์ประกอบหลักทั้งหมด 6 ภาพ เนื่องจากเป็นภาพที่ได้มีการรวบรวมความสำคัญของข้อมูลแต่ละแบนด์บรรจุไว้ในภาพเดียวกัน ส่วนภาพที่เหลือก็จะมีข้อมูลที่มีความสำคัญลดหลั่นกันลงไป ซึ่งหมายความว่าในการนำภาพไปประยุกต์ใช้งานนั้นเราสามารถเลือกเอาเฉพาะภาพองค์ประกอบหลักลำดับแรกๆ ไปใช้งาน ซึ่งจากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของภาพ 3 องค์ประกอบแรกนั้นเท่ากับ 99.02% ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลภาพเดิมจำนวน 6 แบนด์เกือบทั้งหมด โดยในบทต่อไปจะนำภาพ 3 องค์ประกอบแรกนี้ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

4.1 บทนำ [6]

ส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความสำคัญคือ การจำแนกกลุ่มของจุดภาพที่มีความคล้ายคลึงกันของคุณลักษณะทางสเปกตรัม และกำหนดลักษณะเฉพาะหรือคลาสของวัตถุในภาพที่เป็นตัวอย่างหรือเป็นตัวแทนของกลุ่มจุดภาพเหล่านี้ ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์แบบนี้เรียกว่า การจำแนกข้อมูลภาพ (Classification) การจำแนกข้อมูลภาพโดยพิจารณาจากลักษณะของการวิเคราะห์นั้นมีอยู่สองแบบคือ การจำแนกข้อมูลภาพโดยอาศัยการมองด้วยสายตา (Visual Interpretation) เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยการแปลด้วยสายตาเพื่อแยกประเภทข้อมูล จากการพิจารณาระดับความเข้มของสี (Tone) ขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) ความหยาบละเอียด (Texture) ตลอดจนสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เป็นต้น ซึ่งต้องอาศัยความสามารถของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ ประกอบกับการสำรวจภาคพื้นดิน (Ground Truth) ก็สามารถที่จะแยกหรือจำแนกประเภทข้อมูลในแหล่งหรืออาณาบริเวณที่ต้องการว่าประกอบด้วยอะไรบ้าง แบบที่สองคือการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Image Data) ซึ่งแต่ละภาพจะครอบคลุมพื้นที่แตกต่างกันไปตามชนิดดาวเทียม เช่น ระบบ MSS และ TM ขนาดภาพ 185 ตร.กม. แต่ละแบนด์ประกอบด้วยจุดภาพขนาดเท่าๆ กัน เรียงตัวเป็นแถวและแนว ขนาดของจุดภาพแตกต่างกันตามความละเอียดของภาพ โดยเฉพาะแต่ละจุดภาพมีค่าระดับสีเทา ระหว่าง 0-255 หรือ 256 ระดับ ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมากๆ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณเพื่อความรวดเร็ว และความถูกต้องแม่นยำ

ในบทนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีหลักการคล้ายการวิเคราะห์ด้วยสายตา การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ต้องอาศัยคนเป็นหลัก โดยผู้วิเคราะห์ที่จะทำการจำแนกข้อมูลภาพนั้นจะต้องรู้ถึงข้อแตกต่างระหว่างคลาสสเปกตรัม (Spectral Classes) และคลาสข้อมูล (Information Classes) คลาสสเปกตรัมคือกลุ่มของจุดภาพที่มีลักษณะทางสเปกตรัมเหมือนกัน ส่วนคลาสข้อมูลคือกลุ่มของจุดภาพที่มีความหลากหลายที่ผู้วิเคราะห์จะต้องพยายามที่จะทำการจำแนกในรูปภาพ คลาสข้อมูลอาจรวมเอาคลาสของป่าไม้ผลัดใบ, ป่าสน, พืชทางการเกษตร หรือพื้นที่ของน้ำ ซึ่งจะนำเสนอทฤษฎีการจำแนกข้อมูล ขั้นตอนที่จะจำเป็นต้องใช้ในการจำแนกข้อมูล และสุดท้ายเป็นการประเมินความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

4.2 ความหมายของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม [6,20]

วัตถุประสงค์หลักของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม คือการแบ่งประเภทของกลุ่มรูปภาพออกเป็นคลาสข้อมูลของพื้นที่ต่างๆ อย่างอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ปรากฏอยู่บนภาพออกจากกัน ซึ่งกลุ่มของรูปภาพเหล่านี้เรียกว่าชนิดหรือประเภท (Class) ซึ่งโดยปกติแล้วข้อมูลหลายสเปกตรัมที่นำมาทำการจำแนกนั้น แท้จริงแล้วรูปแบบเชิงคลื่น (Spectral Pattern) แสดงออกมาในรูปของข้อมูลทางตัวเลขสำหรับแต่ละจุดภาพ ซึ่งถูกนำมาใช้เป็น ส่วนสำคัญในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นั่นคือ ประเภทของลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน แสดงถึงการรวมกันของตัวเลขทางดิจิทัล (Digital Number) ที่แตกต่างกันโดยตั้งอยู่บนคุณสมบัติของการสะท้อนและการสะท้อนเชิงคลื่น คำว่ารูปแบบ (Pattern) นั้นอ้างอิงถึงเซตของการวัดค่าการแผ่รังสีที่ได้จากความยาวคลื่นของแบนด์ในช่วงต่างๆ สำหรับแต่ละจุดภาพ การรู้จำรูปแบบเชิงคลื่น (spectral pattern recognition) นั้นอยู่ในหมวดของขั้นตอนการจำแนกข้อมูลภาพแบบจุดต่อจุด (pixel-by-pixel) ของข้อมูลเชิงคลื่น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมแบบอัตโนมัติ

การรู้จำรูปแบบเชิงคลื่นนั้นรวมไปถึงการแบ่งประเภทของจุดภาพ โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางสเปกตรัมของจุดภาพใกล้เคียงที่อยู่รอบๆ ตัวจำแนกทางสเปกตรัมนั้นต้องสามารถพิจารณา ลักษณะของเนื้อภาพหรือความหยาบละเอียดของพื้นผิววัตถุของภาพ ขนาด รูปร่าง ทิศทาง และสิ่งแวดล้อม ชนิดของตัวจำแนกนี้นำมาใช้ในการจำลองชนิดของการสังเคราะห์ทางสเปกตรัมโดยการวิเคราะห์ของคนในขั้นตอนการแปลความหมายด้วยสายตาคน ดังนั้นจึงต้องอาศัยการคำนวณที่มีความซับซ้อนกว่าขั้นตอนการรู้จำแบบเชิงคลื่น

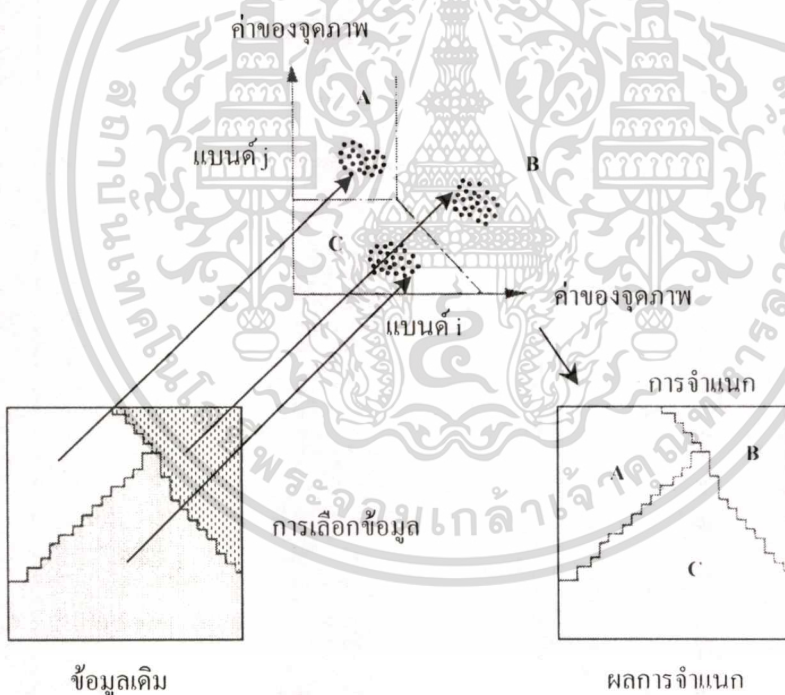
การรู้จำรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal Pattern Recognition) ใช้เวลาช่วยในการแยกแยะลักษณะเฉพาะ ในการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกของข้าวโพด เป็นการยกตัวอย่างที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงเชิงคลื่นและทางสเปกตรัม ในช่วงฤดูเจริญพันธุ์สามารถแยกแยะข้อมูลภาพจากช่วงเวลาหลายๆวันได้ แต่ไม่สามารถทำได้ในกรณีของการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพียงวันเดียว ทุงข้าวสาธิตในฤดูหนาวไม่อาจจำแนกหรือแยกแยะได้จากพื้นดินโล่งเมื่อเริ่มหว่านเมล็ดในฤดูใบไม้ร่วงซึ่งมีลักษณะเชิงคลื่นที่คล้ายกับทุ่งอัลฟัลฟา (Alfalfa คือพืชประเภทมีฝักในยุโรปใช้เลี้ยงสัตว์) ในฤดูใบไม้ผลิ ดังนั้นการแปลความหมายจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงไม่กี่วันอาจไม่สำเร็จได้ อย่างไรก็ตามทุ่งข้าวสาธิตสามารถถูกจำแนกได้อย่างง่ายดายเมื่ออยู่ในช่วงปลายฤดูใบไม้ร่วงและปลายฤดูใบไม้ผลิ

โดยทั่วไปการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมักจะนำมาใช้คู่กับวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพ โดยการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ในการจำแนกข้อมูลภาพถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมด้วยวิธีนี้นั้นผู้วิเคราะห์จะทำหน้าที่กำกับดูแลขั้นตอนการแบ่งประเภทของจุดภาพ โดยการเลือกข้อมูลตัวอย่างจากพื้นที่ที่ทราบประเภทของข้อมูล หรือเรียกว่าพื้นที่เทรนนิ่ง (Training Area) ซึ่งจะนำมาใช้เป็นส่วนสำคัญในการแปลความหมาย (Interpretation Key) สำหรับการจำแนกข้อมูล ซึ่งจะอธิบายคุณลักษณะเชิงคลื่นของพื้นที่ที่สนใจ จุดภาพแต่ละจุดภาพจะถูกนำมาเปรียบเทียบเชิงตัวเลขกับพื้นที่ตัวอย่างที่เลือกไว้และจะทำเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ของประเภทข้อมูลที่มีความเหมือนมากที่สุดไว้ การจำแนกข้อมูลภาพด้วยดาวเทียมอีกประเภท คือการจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) พื้นฐานที่แตกต่างกันของทั้งสองวิธีคือการจำแนกแบบกำกับดูแลนั้นจะมีขั้นตอนของการฝึกสอนและตามด้วยขั้นตอนการจำแนก ส่วนในวิธีการของการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลนั้นข้อมูลภาพด้วยดาวเทียมจะถูกจำแนกก่อนด้วยวิธีการรวมกลุ่มของข้อมูลเชิงคลื่น โดยวิธีธรรมชาติ (Cluster) จากนั้นผู้วิเคราะห์จะทำการกำหนดประเภทของข้อมูล

เทคนิคของการจำแนกประเภทซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี รูปที่ 4.1 แสดงแนวคิดของการจำแนกประเภทข้อมูลที่สำรวจจากระยะไกล ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 4.4



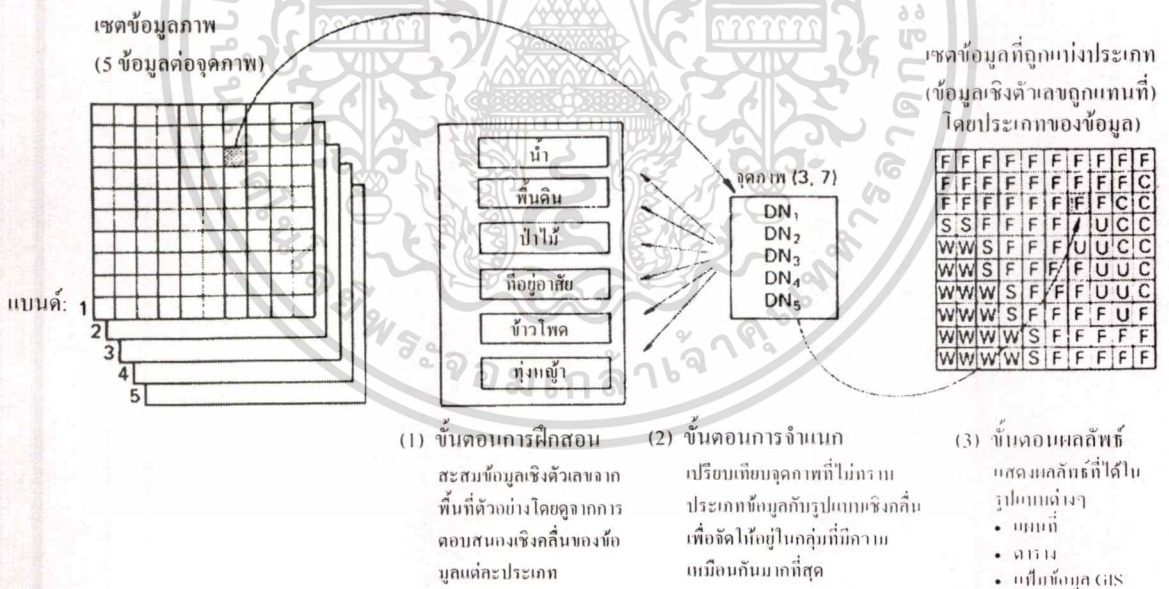
รูปที่ 4.1 แนวคิดของการจำแนกประเภทข้อมูลที่สำรวจจากระยะไกล

4.3 การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล

การจำแนกข้อมูลวิธีนี้จะต้องรู้ลักษณะเชิงคลื่น หรือรูปลักษณะของประชากรของแต่ละประเภท โดยผู้จำแนกจะทำการเลือกข้อมูลตัวอย่าง (Training Data) ของข้อมูลแต่ละประเภทจากบริเวณที่สามารถกำหนดประเภทต่างๆ ได้อย่างชัดเจนมาทำการประมาณค่าสถิติประชากรของแต่ละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละกลุ่ม โดยอาศัยเทคนิควิธีการจำแนกเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ เวกเตอร์เฉลี่ย, ค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม แล้วนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกข้อมูลจุดภาพที่เหลื้ต่อไป

จากรูปที่ 4.2 เป็นการสรุปของสามขั้นตอนพื้นฐานที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนการฝึกสอน (Training Stage) โดยผู้วิเคราะห์จะกำหนดว่าพื้นที่บริเวณใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นพื้นที่ตัวอย่างหรือพื้นที่ฝึกสอน แล้วนำมาคำนวณเพื่อเป็นการอธิบายเชิงตัวเลขของคุณลักษณะเชิงคลื่นของพื้นที่แต่ละประเภทที่เราสนใจภายในภาพ ขั้นตอนต่อไปคือ ขั้นตอนการจำแนก (Classification Stage) แต่ละจุดภาพในเซตข้อมูลภาพนั้นจะถูกจัดกลุ่มออกเป็นคลาสข้อมูลประเภทต่างๆ ที่มีความเหมือนกันมากที่สุด ถ้าจุดภาพใดมีความเหมือนไม่เพียงพอกับเซตข้อมูลฝึกสอน จะถูกทำเครื่องหมายว่าไม่ทราบประเภท (unknown) เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ของประเภทที่กำหนดให้กับแต่ละจุดภาพ ซึ่งในขั้นตอนนี้เรียกว่า ขั้นตอนผลลัพธ์หรือข้อมูลขาออก (Output Stage) ข้อมูลที่ได้อยู่ในรูปแบบทางดิจิทัล อาจจะนำไปใช้ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งสามรูปแบบที่ว่า ไปจะอยู่ในรูปของแผนที่ ตารางที่แสดงค่าทางสถิติของคลาสข้อมูลแต่ละประเภท และเพิ่มข้อมูลทางดิจิทัลซึ่งจะนำไปใช้กับระบบข้อมูลกราฟฟิก (Graphic Information System : GIS)



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบกำกับดูแล

ในหัวข้อต่อไปจะนำเสนอขั้นตอนของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมก่อน แล้วจึงนำเสนอขั้นตอนการฝึกสอน และขั้นตอนผลลัพธ์ต่อไป เพราะว่าขั้นตอนการจำแนกถือว่าเป็นหัวใจของการจำแนกแบบกำกับดูแล ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำคอมพิวเตอร์มาคำนวณหรือประเมินค่ารูปแบบเชิงคลื่นของเซตข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยการใ้กฎการตัดสินใจมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

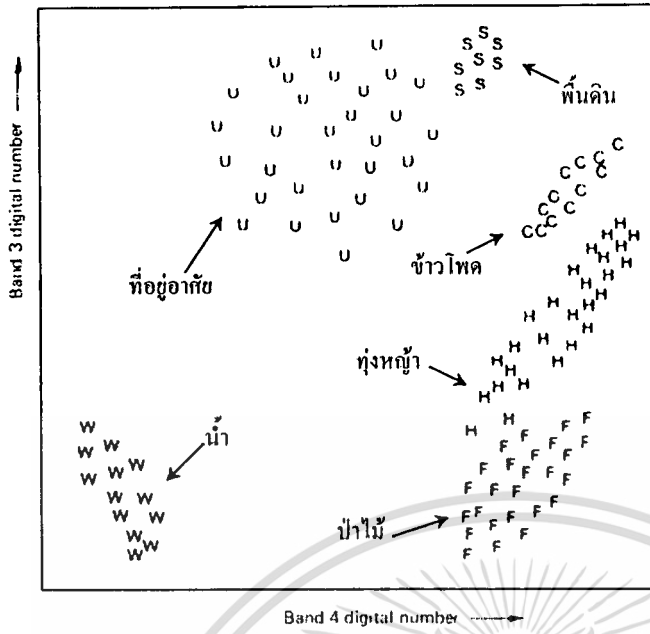
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละจุดภาพ เหตุผลอื่นในการนำเสนอขั้นตอนการจำแนกก่อนขั้นตอนอื่นก็คือ การทำความเข้าใจในขั้นตอนนี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจในความต้องการต่างที่จำเป็นสำหรับขั้นตอนการฝึกสอน

4.4 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล [5]

- 4.4.1 เลือกว่าต้องการจำแนกพื้นที่ใดจากภาพ ซึ่งเป็นคลาสของข้อมูล เช่น น้ำ, ที่อยู่อาศัย หรือพื้นที่เพาะปลูก
- 4.4.2 เลือกกลุ่มของจุดภาพที่เป็นตัวแทนจากพื้นที่คลาสที่ต้องการจำแนก ซึ่งเรียกว่าข้อมูลตัวอย่างหรือพื้นที่ตัวอย่างของข้อมูลแต่ละประเภท โดยพิจารณาจากค่าระดับสีเทาหรือค่าสะท้อนช่วงคลื่นของข้อมูลประเภทเดียวกัน ซึ่งจะต้องมีประเภทข้อมูลอย่างเดียวหรือมีความเป็นเอกพันธ์ (Homogeneous) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยดูจากฮิสโตแกรมในพื้นที่ตัวอย่างนั้นๆ เซตข้อมูลในการสอนของแต่ละคลาสนั้นอาจได้จากการสำรวจพื้นที่, แผนที่, ภาพถ่ายทางอากาศ หรือแม้แต่การแปลความหมายจากภาพสีที่อยู่ในรูปของข้อมูลภาพ โดยที่อาจจะเลือกพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างเพียงบริเวณเดียวหรือหลายบริเวณก็ได้สำหรับแต่ละประเภทข้อมูล จำนวนจุดภาพของพื้นที่ตัวอย่างแต่ละประเภทนั้นทางปฏิบัติไม่ควรน้อยกว่า $10n$ ถึง $100n$ โดย n หมายถึง จำนวนแบนด์ของข้อมูลที่ใช้ เช่น ถ้ามีประเภทข้อมูล 3 ประเภท จำนวนจุดภาพตัวอย่างของข้อมูลแต่ละประเภทไม่ควรน้อยกว่า 30 จุดภาพ
- 4.4.3 นำข้อมูลฝึกสอนที่ได้มาประมาณค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้กับอัลกอริทึมของตัวจำแนกที่เลือกใช้ พารามิเตอร์เหล่านี้จะเป็นคุณสมบัติทางโมเดลของความน่าจะเป็นที่ใช้ หรืออาจเป็นสมการที่กำหนดเส้นแบ่งในพื้นที่ทางปริภูมิรูปลักษณะ (feature space) หลายช่วงคลื่น ซึ่งพารามิเตอร์ของแต่ละคลาสนั้นบางครั้งเรียกว่าซิกเนเจอร์ (Signature) ของคลาส
- 4.4.4 นำตัวจำแนกที่ผ่านการฝึกสอนแล้ว มาทำการจำแนกข้อมูลทุกจุดภาพในภาพออกเป็นคลาสต่างๆ ที่ได้เลือกไว้
- 4.4.5 ทำตารางสรุปผลการจำแนกของคลาสต่างๆ

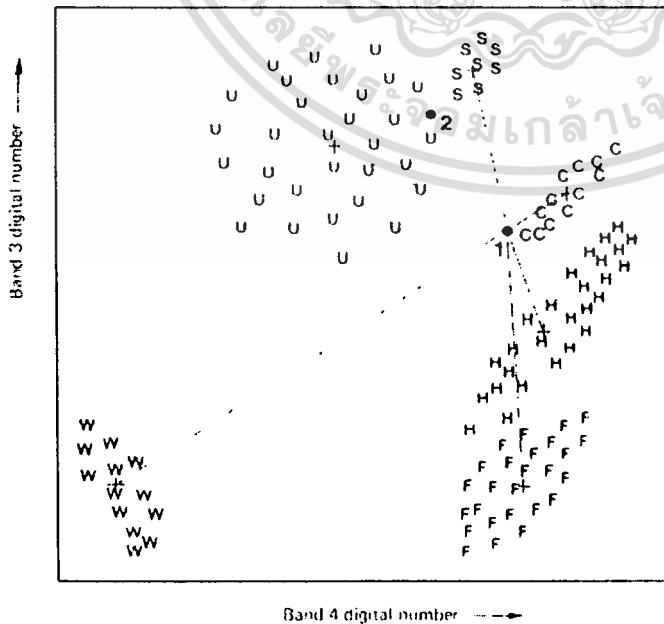
การจำแนกแบบกำกับดูแลนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งรูปที่ 4.3 จะแสดงแผนภาพการกระจายของข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากข้อมูลแต่ละประเภท โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจำนวน 2 แบนด์ คือแบนด์ที่ 3 แสดงในแกนแนวตั้ง และแบนด์ที่ 4 แสดงในแกนแนวนอน โดยมีค่าระดับสีเทาของจุดภาพอยู่ที่ $[0,255]$ ซึ่งจะนำแผนภาพนี้มาใช้เป็นตัวอย่างเพื่ออธิบายการจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยวิธีต่างๆ



รูปที่ 4.3 แผนภาพการกระจายของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลตัวอย่าง

4.5 ตัวจำแนกประเภทแบบระยะห่างต่ำสุด (Minimum Distance Classifier)

สำหรับวิธีนี้จะกำหนดข้อมูลภาพที่ไม่รู้จักมาก่อนให้เป็นสมาชิกของกลุ่มที่เหมาะสม โดยวัดจากระยะห่างระหว่างข้อมูลภาพกับประเภทในปริภูมิรูปลักษณะที่มีค่าต่ำสุด ซึ่งระยะห่างจะใช้เป็นดัชนีแสดงความคล้าย ดังนั้นระยะห่างที่สั้นที่สุดจึงหมายถึงความคล้ายกันมากที่สุด รูปที่ 4.4 แสดงแนวคิดของวิธีนี้



รูปที่ 4.4 แนวคิดของการจำแนกประเภทแบบใช้ระยะห่างต่ำสุด

โดยขั้นแรกจะทำการกำหนดค่าเฉลี่ย, ค่าสเปกตรัมในแต่ละแบนด์สำหรับข้อมูลของแต่ละกลุ่ม ข้อมูลเหล่านี้ประกอบไปด้วยเวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยสำหรับของแต่ละกลุ่มข้อมูล ซึ่งแสดงได้ด้วยเครื่องหมาย “+” ในรูปที่ 4.4 โดยการพิจารณาจากตำแหน่งของจุดโคออดิเนตของจุดภาพจุดภาพที่ไม่อยู่ในกลุ่มใดๆ (unknown identity) อาจจะถูกจำแนกโดยการคำนวณระยะทางระหว่างค่าจุดภาพนั้นๆ กับค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลหลังจากการคำนวณระยะห่างระหว่างจุดกับค่าเฉลี่ยที่ใกล้ที่สุดของกลุ่มข้อมูล จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าจุดภาพ “1” จะถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มของข้าวโพคเนื่องจากมีระยะห่างของค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด

วิธีการที่ใช้ระยะห่างที่น้อยที่สุดไปจนถึงค่าเฉลี่ยนั้นเป็นการคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่ สิ่งที่ยากคือมันไม่ไวต่อกรณีความแตกต่างของระดับค่าการแปรปรวนในการตอบสนองของข้อมูลทางสเปกตรัม สังเกตได้จากจุดภาพ “2” ซึ่งดูจากรูปแล้วควรจะถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มของที่อยู่อาศัย แต่เมื่อพิจารณาจากระยะห่างของค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดจึงถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มของพื้นดินแทน สาเหตุเพราะปัญหานี้เองจึงไม่มีการนำตัวจำแนกนี้ไปใช้อย่างกว้างขวางเมื่อคลาสหรือกลุ่มทางสเปกตรัมอยู่ใกล้กับกลุ่มอื่นซึ่งมีค่าความแปรปรวนสูง

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกประเภทแบบใช้ระยะห่างต่ำสุด

ข้อดี	ข้อเสีย
อาศัยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย และค่อนข้างมีประสิทธิภาพ	ไม่ไวต่อกรณีความแตกต่างของระดับค่าการแปรปรวนในการตอบสนองทางสเปกตรัม

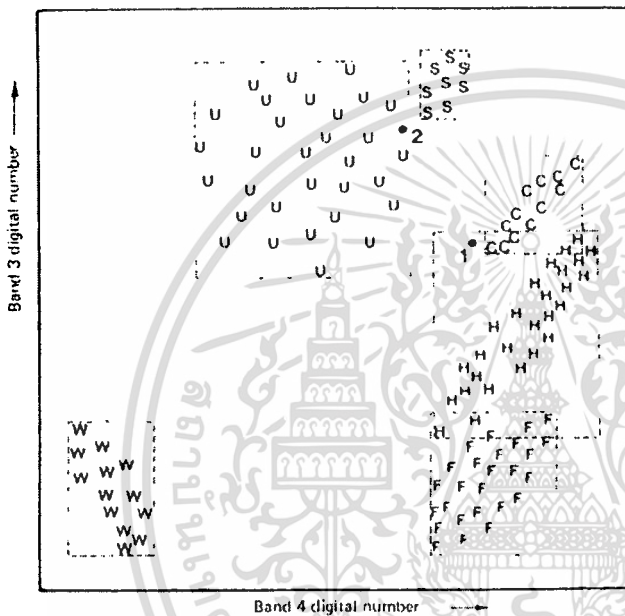
4.6 ตัวจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน (Parallel-piped Classifier)

วิธีนี้จะเป็นการตัดแบ่งแต่ละแกนของปริภูมิรูปลักษณะหลายช่วงคลื่น ซึ่งเขตแดนการตัดสินใจของแต่ละกลุ่มถูกกำหนดโดยค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละแบนด์ (แบนด์ที่ 4 แทนแกน x แบนด์ที่ 3 แทนแกน y) ความแม่นยำของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของค่าระดับสีเทาในแต่ละแบนด์ โดยพิจารณาจากค่าสถิติของประชากรของแต่ละกลุ่ม วิธีนี้ง่ายต่อการใช้และความเข้าใจรวมทั้งใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีอื่น แต่ความแม่นยำจะต่ำในกรณีที่มีการกระจายปริภูมิรูปลักษณะมีความแปรปรวนร่วมหรือขึ้นต่อกันในแนวเฉียง รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างของการจำแนกประเภทด้วยการใช้ตัวจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน

อย่างไรก็ตามความยากของการแบ่งกลุ่มจะอยู่ในกรณีที่เกิดการซ้อนทับกันในช่วงของแต่ละกลุ่ม จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าจุดภาพ “1” ถูกจำแนกให้อยู่ในกลุ่มของทุ่งหญ้า ซึ่งความเป็นจริงแล้วควรจะอยู่ในกลุ่มของข้าวโพค และบางครั้งจุดภาพที่ไม่ทราบกลุ่มจะเกิดในพื้นที่ที่มีการซ้อนทับกัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การซ้อนทับกันนี้เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุเพราะว่าการกระจายของกลุ่มนั้นอธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ หรือค่าความแปรปรวนร่วม ซึ่งจะให้รายละเอียดที่ต่ำเมื่อใช้พื้นที่ในการตัดสินใจแบบสี่เหลี่ยม ค่าความแปรปรวนร่วมเป็นแนวโน้มของค่าทางสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่เหมือนกันของทั้งสองแบนด์

ค่าความแปรปรวนร่วมที่แสดงในภาพนั้นเป็นพื้นที่การตัดสินใจแบบสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดพอดีกับกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งทำให้เกิดความสับสนในการจำแนกข้อมูล ตัวอย่างในรูปซึ่งเป็นกรณีที่แสดงการจำแนกที่ไม่มีความไวเพียงพอในจำแนกข้อมูล



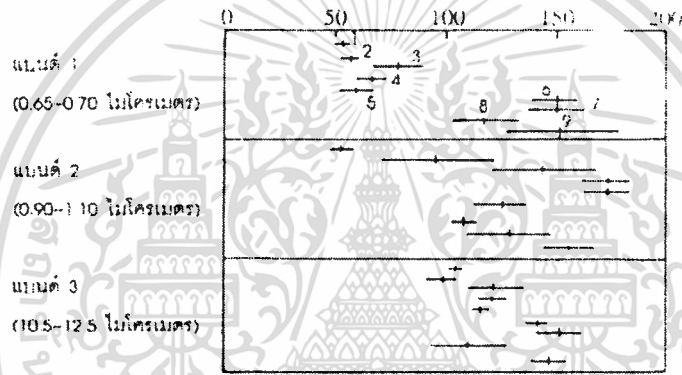
รูปที่ 4.5 แนวคิดของตัวจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน

ตารางที่ 4:2 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกประเภทแบบสี่เหลี่ยมคู่ขนาน

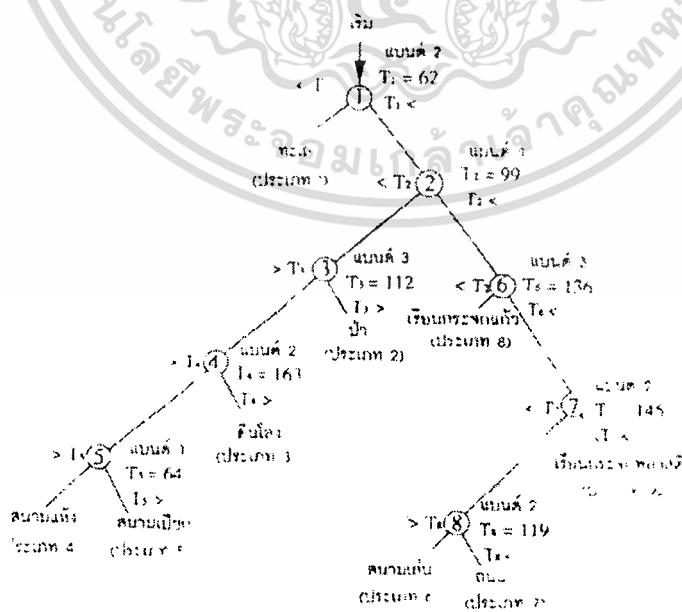
ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> • เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณเร็วที่สุด • ไม่ต้องกำหนดว่าจะให้จุดภาพอยู่ในคลาสใดบ้าง เพียงแค่ดูว่าจุดภาพนั้นอยู่ภายในช่วงที่กำหนดหรือไม่ • ช่วยให้การตัดสินใจในกรณีที่ต้องการเพิ่มคลาสที่ต้องการจำแนกทีหลัง ถ้าพบว่ามีจุดจุดภาพที่ไม่ได้ถูกจัดให้อยู่ในคลาสใดๆ (unclassified pixels) ทำได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> • ไม่สามารถทำการจำแนกข้อมูลในกรณีที่มีคลาสข้อมูลที่มีการซ้อนทับกัน

4.7 ตัวจำแนกประเภทรูปต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree Classifier)

วิธีนี้เป็นการจำแนกประเภทแบบลำดับขั้นชนิดหนึ่ง ที่ทำการเปรียบเทียบข้อมูลกับเขตของรูปลักษณะที่เลือกมาอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อจำแนกประเภทของข้อมูลนั้นๆ การเลือกรูปลักษณะกระทำโดยการประเมินการกระจายเชิงคี่หรือความชัดเจนในการแบ่งกลุ่ม และต้องทำเป็นกรณีๆ ไป เนื่องจากไม่มีหลักการที่ใช้ได้ทั่วไป ดังนั้นต้นไม้การตัดสินใจหรือเซตของกฎแต่ละแบบควรกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญ ในกรณีที่ต้นไม้การตัดสินใจให้ผลเป็นกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 2 กลุ่ม เราเรียกต้นไม้การตัดสินใจนั้นว่า ต้นไม้การตัดสินใจแบบทวิภาค รูปที่ 4.6 แสดงคุณลักษณะเชิงคี่ของข้อมูลจริงภาคพื้นดินสำหรับ 9 กลุ่มข้อมูล และตัวจำแนกประเภทแบบรูปต้นไม้การตัดสินใจของแต่ละกลุ่มที่สร้างจากคุณลักษณะเชิงคี่ของกลุ่มนั้นๆ โดยรูป 4.6 (ก) แสดงข้อมูลเชิงคี่ของประเภทข้อมูลในแต่ละแบนด์ และรูป (ข) แสดงแนวคิดในการจำแนกของตัวจำแนกประเภทชนิดนี้



ก) คุณลักษณะเชิงคี่ของ 9 ประเภท



ข) ต้นไม้การตัดสินใจ

รูปที่ 4.6 การจำแนกประเภทโดยตัวจำแนกประเภทแบบต้นไม้การตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกประเภทแบบประเภทต้นไม้การตัดสินใจ

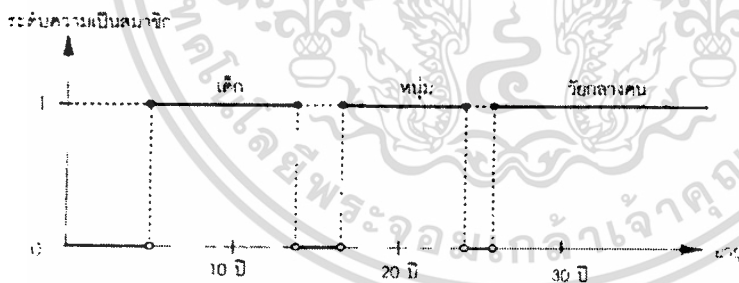
ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> • เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อย • ด้วยวิธีการเปรียบเทียบทำให้สามารถหลีกเลี่ยงความผิดพลาดทางสถิติได้ 	<ul style="list-style-type: none"> • ความแม่นยำของผลลัพธ์ขึ้น โดยตรงกับการกำหนดต้นไม้การตัดสินใจ

4.8 การจำแนกประเภทโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟuzzyเซต

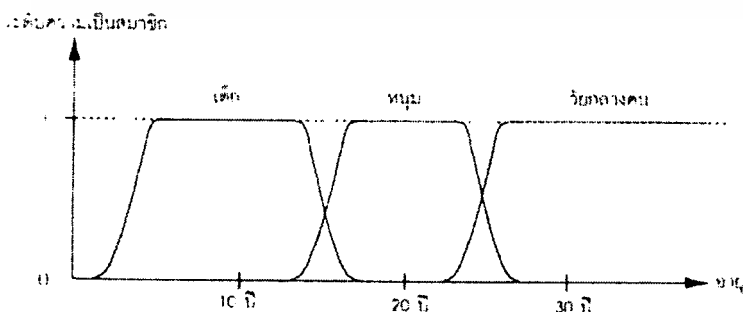
ทฤษฎีฟuzzyเซต (fuzzy set theory) เสนอโดยซาเดห์ (Zadeh) ในปี พ.ศ. 2508 เพื่อจัดการเกี่ยวกับความกำกวมในข้อมูล ในทฤษฎีเซตธรรมดาหรือระดับความเป็นสมาชิก (membership grade) ของสิ่งใดสิ่งหนึ่งจะเป็น 1 หรือ 0 แล้วแต่ว่าสิ่งนั้นเป็นสมาชิกหรือไม่ แต่ในทฤษฎีฟuzzyเซต ระดับความเป็นสมาชิกจะเป็นค่าใดๆ ก็ได้ ระหว่าง 0 และ 1 แล้วแต่ “ระดับ” ความเป็นสมาชิก

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีเซตธรรมดากับทฤษฎีฟuzzyเซต ฟังก์ชันของระดับความเป็นสมาชิกมีชื่อเรียกว่า “ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก” ในทฤษฎีฟuzzyเซตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้โดยพิจารณาจากลักษณะความกำกวมของข้อมูล

ในการสำรวจจากระยะไกลบางครั้งยากที่จะกำหนดขอบเขตระหว่างประเภท 2 ประเภท ได้อย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีพืชพรรณที่อยู่ได้สภาวะการเปลี่ยนแปลง หรือลักษณะพืชพรรณผสมระหว่างป่าไม้กับทุ่งหญ้า ซึ่งไม่สามารถกำหนดขอบเขตของแต่ละประเภทได้อย่างชัดเจน ในกรณีเช่นนี้เราสามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟuzzyเซตได้



รูปที่ 4.7 (a) การจำแนกประเภท “เด็ก” “หนุ่ม” และ “วัยกลางคน” โดยทฤษฎีของเซตธรรมดา



รูปที่ 4.7 (b) การแบ่งจำแนกประเภท “เด็ก” “หนุ่ม” และ “วัยกลางคน” โดยวิธีฟuzzyเซต

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีเซตธรรมดากับฟuzzyเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 การจำแนกประเภทโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ [20]

ผู้เชี่ยวชาญแปลภาพที่สำรวจจากระยะไกลมักใช้ความรู้ที่ได้สั่งสมจากประสบการณ์ แต่การจำแนกประเภทโดยใช้คอมพิวเตอร์ใช้ความรู้ความชำนาญน้อยมาก ซึ่งปัญหานี้ได้รับการแก้ไขโดยการพัฒนาระบบที่เรียกว่า ระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) เป็นระบบที่ใช้วิธีการสะสมความรู้และประสบการณ์เข้าไปในคอมพิวเตอร์

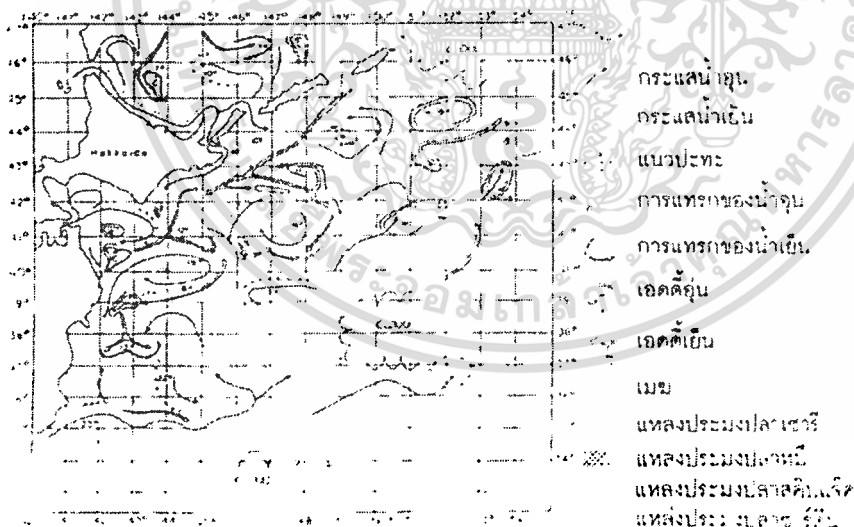
ความรู้ที่ใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการสำรวจจากระยะไกลมี 2 ประเภทคือ

4.9.1 ความรู้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดี ต้องอาศัยความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลและการวิเคราะห์ภาพ จึงควรจะใช้ระบบป้อนกลับเพื่อตรวจสอบและประเมินจุดมุ่งหมายและผลของการวิเคราะห์

4.9.2 ความรู้เกี่ยวกับการวัตถุที่จะวิเคราะห์

นอกจากวิธีการจำแนกประเภทปกติแล้ว ความรู้สามัญเกี่ยวกับวัตถุที่จะทำการจำแนกประเภทก็เป็นสิ่งสำคัญ ตัวอย่างของความรู้ประเภทนี้ ได้แก่ ความรู้ที่ไม่มีป่าไม้อยู่ในที่ที่สูงเกินกว่า 3,000 เมตร จากระดับน้ำทะเล



รูปที่ 4.8 แผนที่สภาพผิวหน้าทะเลโดยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 4.4 แสดงรายการความรู้ที่ใช้ในการเขียนเขตของแนวปะทะน้ำขึ้นน้ำลง (tidal front) ในการทำแผนที่สภาพผิวหน้าทะเล รูปที่ 4.8 แสดงแผนที่สภาพผิวหน้าทะเลที่ได้จากการแปลภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ ความรู้เช่นนี้จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลการจำแนกประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ความรู้สำหรับการวาดแนวปะทะน้ำขึ้นน้ำลงในการทำแผนที่สภาพผิวหน้าทะเล

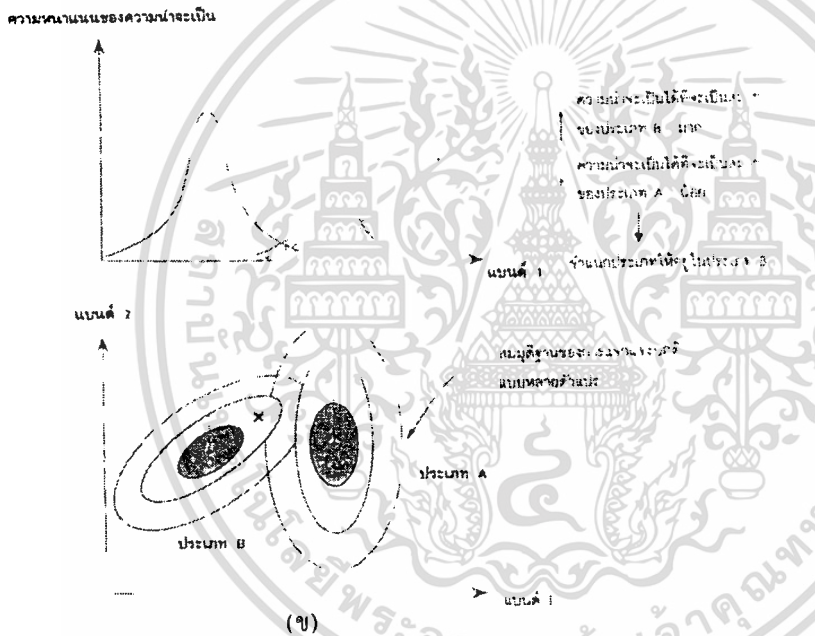
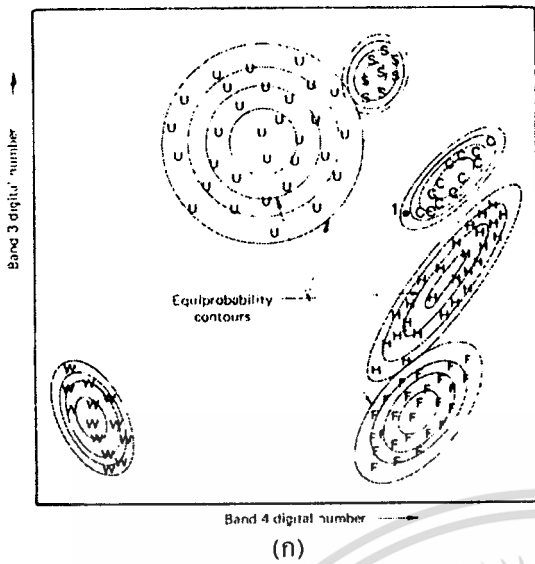
1. แนวปะทะน้ำขึ้นน้ำลง (อุณหภูมิมิวน้ำทะเล)/(ระยะทาง) $> x$
2. โดยทั่วไป x เปลี่ยนไปตามพื้นที่
3. นิยามของ SST (อุณหภูมิมิวน้ำทะเล) และระยะทางขึ้นอยู่กับพื้นที่ทะเล
4. ระยะทางวัดไปตามทิศทางเวกเตอร์ตั้งฉากกับแนวปะทะ
5. ปปรากฏการณ์นี้มักเกิดนอกฝั่งมากกว่าชายฝั่ง
6. บางครั้งแนวปะทะที่ขนานกันจะหนาแน่น
7. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะมีมากในบริเวณที่แนวปะทะอยู่กันหนาแน่น
8. แนวกระแสน้ำเป็นเส้นโค้งและเกิดเป็นช่วง
9. แนวปะทะจะไม่ตัดกัน
10. แนวปะทะสอดคล้องกับทิศทางของเส้นไอโซเทอร์มัล (เส้นอุณหภูมิเท่า)
11. แนวกระแสน้ำเกิดขึ้นในบางพื้นที่ของทะเล
12. แนวปะทะมักจะเกิดในทิศเหนือ-ใต้ มากกว่าแนวตะวันออก-ตะวันตก

4.10 การจำแนกประเภทด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Classifier)

วิธีนี้เป็นการจำแนกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยหลักการจำลองการตัดสินใจของเซลล์สมองมนุษย์ ประสิทธิภาพการทำงานของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของข้อมูลตัวอย่างที่เลือกไปทำการปรับสอน โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจะต้องครอบคลุมทุกรูปแบบข้อมูลและจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมให้เหมาะสมกับงาน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำการจำแนกประเภทนี้มาใช้เปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกประเภทโดยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

4.11 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด (Maximum Likelihood Classifier)

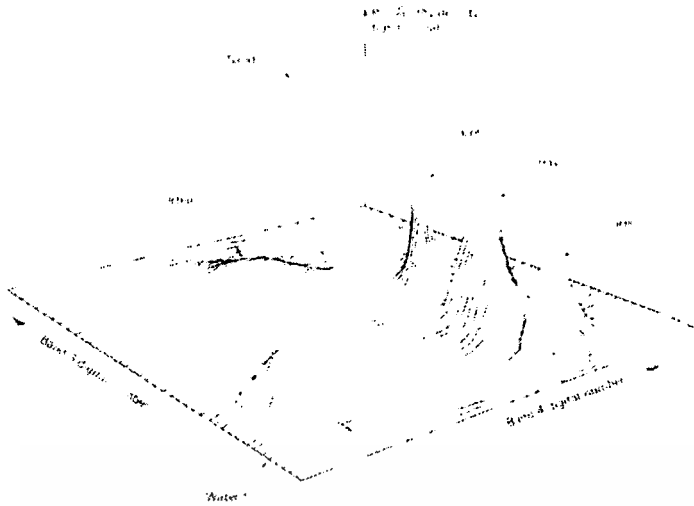
สำหรับวิธีนี้ถือได้ว่าเป็นวิธีจำแนกประเภทในการสำรวจระยะไกลที่ได้รับความนิยมมากที่สุดวิธีหนึ่ง และเป็นวิธีที่นำมาใช้ในการทดลองโดยจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในบทถัดไป ตัวจำแนกประเภทชนิดนี้จะอาศัยทฤษฎีของความน่าจะเป็นในการจัดจุดภาพ ให้อยู่ในกลุ่มที่เหมาะสม ซึ่งความน่าจะเป็นได้ หรือความเหมือน (Likelihood) ในที่นี้ หมายถึงความน่าจะเป็นที่จุดภาพใดๆ จะเป็นสมาชิกของข้อมูลแต่ละประเภท ความน่าจะเป็นได้ที่จะเป็นสมาชิกของประเภทใดมากที่สุดก็จะตัดสินใจให้เป็นสมาชิกของประเภทนั้น หลักการจำแนกประเภทแบบความเหมือนสูงสุดแสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 แนวคิดของตัวจำแนกประเภทแบบตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดนั้นใช้ค่าความแปรปรวนและค่าความแปรปรวนร่วมเพื่อทำการจำแนกจุดภาพที่ไม่ทราบกลุ่ม ซึ่งทำได้โดยการสมมติค่าการกระจายของกลุ่มข้อมูลซึ่งเรียกว่าเกาส์เซียน (Gaussian) หรือการแจกแจงแบบปกติ (Normally Distributed) สมมติฐานของความปกตินั้นเหมาะในการนำมาใช้กับผลการกระจายของสเปกตรัม โดยการสมมตินี้จะอธิบายการกระจายของรูปแบบผลตอบสนองของกลุ่มข้อมูลโดยเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย และเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ด้วยพารามิเตอร์นี้จะนำมาคำนวณสถิติของความน่าจะเป็นของกลุ่มจุดภาพที่เป็นสมาชิกในคลาส รูปที่ 4.10 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่ผิดพลาดในกราฟสามมิติ โดยแกนตั้งแสดงความน่าจะเป็นของจุดภาพที่เป็นสมาชิกในแต่ละคลาส ผลลัพธ์ที่เป็นโค้งระฆังคว่ำจะเรียกว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่กำหนดโดยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นจะถูกนำมาใช้ในการจำแนกจุดภาพโดยการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของค่าจุดภาพที่เป็นส่วนหนึ่งของแต่ละคลาส นั่นคือคอมพิวเตอร์ต้องคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของค่าจุดภาพที่เกิดขึ้นจากการกระจายของคลาสข้าวโพด เมื่อทำการหาค่าความน่าจะเป็นในแต่ละคลาสแล้ว จุดภาพในภาพจะต้องถูกกำหนดให้อยู่ในคลาสที่มีความเหมือนที่สุด (มีค่าความน่าจะเป็นสูงสุด) หรือถูกจัดให้ไม่อยู่ในกลุ่มใดถ้าค่าความน่าจะเป็นต่ำกว่าของค่าเทรซโฮลที่ตั้งโดยผู้วิเคราะห์

จุดสำคัญของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดอยู่ที่เส้นโค้งวงรี (Equiprobability Contour) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นบริเวณตัดสินใจใช้บอกถึงความไวของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.9 จุดภาพ "1" ซึ่งจัดอยู่ในคลาสของข้าวโพด

การจำแนกความเหมือนสูงสุดนั้นต้องอาศัยการคำนวณค่อนข้างมากเพื่อจำแนกคลาสของจุดภาพทั้งหมด ดังนั้นการจำแนกด้วยวิธีนี้จึงช้ากว่าวิธีอื่นที่ใช้วิธีทางสถิติด้วยกัน มีหลายวิธีในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด เช่นการใช้ตารางเปิดดู (Lookup Table) มาช่วยในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นจึงทำการคำนวณที่ซับซ้อนทางสถิติเพียงครั้งเดียวจากนั้นจึงใช้ตารางเปิดดูซึ่งเก็บผลลัพธ์ของค่าระดับสีเทาที่คำนวณไว้แล้วมาใช้โดยไม่ต้องทำการคำนวณซ้ำอีก

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการจำแนกความเหมือนสูงสุด

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> สามารถจำแนกข้อมูลได้ทุกๆ จุดภาพ ไม่ว่าจะอยู่ไกลจากค่าเฉลี่ยของคลาสข้อมูลเท่าใด ให้ความแม่นยำในการจำแนกมากกว่าวิธีอื่นที่อาศัยวิธีการทางสถิติ ไวต่อกรณีความแตกต่างของระดับค่าการแปรปรวนในการตอบสนองทางสเปกตรัม 	<ul style="list-style-type: none"> เป็นวิธีการจำแนกที่ช้าที่สุด เนื่องจากมีขั้นตอนการคำนวณมากกว่าวิธีอื่น บางครั้งข้อมูลที่ต้องกรอกรังแนกอาจไม่ได้อยู่ในรูปของการแจกแจงแบบปกติ ทำให้ไม่สามารถจำแนกข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ ภายใต้งานวิจัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.12 ขั้นตอนการฝึกสอน (The Training Stage)

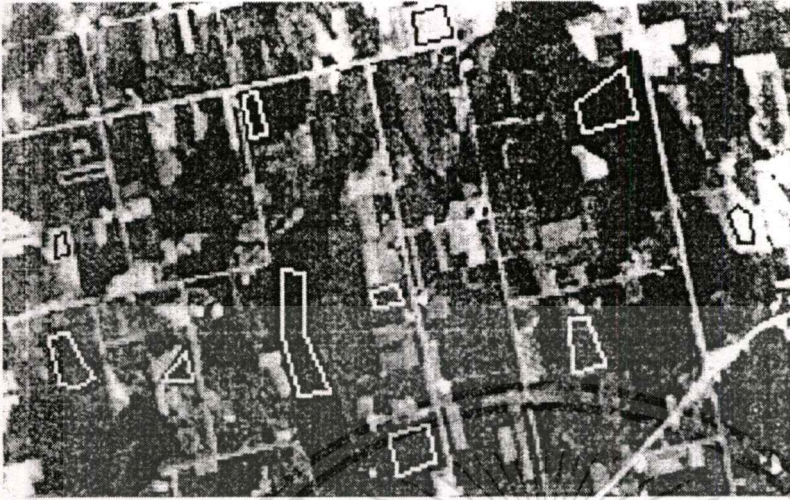
ด้วยเหตุที่ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัมนั้นเป็นขั้นตอนที่ทำงานแบบอัตโนมัติเป็นหลัก การฝึกสอนสำหรับการจำแนกแบบกำกับดูแลนั้นเป็นทั้งวิทยาศาสตร์และศิลปะ ซึ่งต้องอาศัยการทำงานอย่างใกล้ชิดของผู้วิเคราะห์และข้อมูลภาพ และจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ที่จะนำมาวิเคราะห์ สิ่งที่สำคัญก็คือคุณภาพของกระบวนการฝึกสอนนั้นเป็นตัวกำหนดความสำเร็จของขั้นตอนการจำแนกข้อมูล ซึ่งคุณค่าของข้อมูลข่าวสารนั้นได้มาจากการจำแนกข้อมูล

วัตถุประสงค์หลักของกระบวนการฝึกสอนนั้นคือ การนำเขตข้อมูลทางสถิติที่อธิบายรูปแบบของการตอบสนองเชิงคลื่นของพื้นที่แต่ละประเภทมาทำการจำแนกข้อมูลในภาพ เพื่อให้ผลการจำแนกข้อมูลเป็นที่ยอมรับได้นั้น ข้อมูลที่ผ่านการฝึกสอนนั้นต้องเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดและมีความสมบูรณ์ของข้อมูล หมายถึงผู้วิเคราะห์ต้องพัฒนาข้อมูลทางสถิติของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนสำหรับทุกๆ เชิงคลื่นของคลาสทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วยคลาสข้อมูลเพื่อการแยกแยะโดยตัวจำแนก ยกตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนสุดท้ายของผลลัพธ์การจำแนก จะนำคลาสข้อมูลของน้ำมาทำการนำมาวิเคราะห์ ถ้าภาพที่วิเคราะห์มีเพียงพื้นที่ของน้ำเพียงอย่างเดียวและมีลักษณะของการตอบสนองเชิงคลื่นอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) ตลอดทั้งภาพ ดังนั้นพื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับการฝึกสอนเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่น้ำจะมีเพียงพื้นที่เดียว แต่ถ้าบริเวณพื้นที่เดียวกันของน้ำมีส่วนของน้ำที่มีใสชัดเจนและมีบริเวณที่เป็นน้ำขุ่นหรือไม่ชัดเจนรวมกัน กรณีนี้ต้องใช้พื้นที่ตัวอย่างอย่างน้อยสองพื้นที่เพื่อใช้ในการฝึกสอน

จะเห็นได้ว่ากระบวนการฝึกสอนนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น คลาสข้อมูลของพื้นที่การเกษตรอาจมีข้าวโพดหลายชนิดและแต่ละชนิดอาจถูกอธิบายด้วยคลาสเชิงคลื่นหลายสเปกตรัม ซึ่งคลาสเชิงคลื่นเหล่านี้มีสาเหตุมาจากวันที่ปลูกที่แตกต่างกัน สภาพความชื้นของพื้นดิน การพรุนและการจัดการพื้นดิน วิธีการหว่านเมล็ด สภาพภูมิประเทศ สภาพอากาศ หรือองค์ประกอบเหล่านี้รวมกัน สิ่งที่สำคัญก็คือคลาสเชิงคลื่นทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นคลาสข้อมูลแต่ละประเภทนั้นต้องมีความเหมาะสมในการเป็นตัวแทนที่จะอธิบายเขตข้อมูลทางสถิติของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน เพื่อนำไปใช้ในการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียม

ตำแหน่งของพื้นที่สำหรับการฝึกสอน หรือพื้นที่ตัวอย่างในภาพนั้น ปกติแล้วจะมาจากหน้าต่างที่ชมองภาพ (Viewing Windows) หรือส่วนหนึ่งของภาพทั้งหมด ผู้วิเคราะห์จะเลือกพื้นที่ตัวอย่างโดยใช้เคอร์เซอร์ (Cursor) ซึ่งถูกควบคุมโดยเมาส์หรืออุปกรณ์อื่น รูปที่ 4.11 แสดงรูปหลายเหลี่ยมจากการเลือกพื้นที่ตัวอย่างจากพื้นที่การเกษตร โดยการเลือกรูปหลายเหลี่ยมนี้ต้องระมัดระวังไม่ให้เกินเส้นขอบของพื้นที่ประเภทอื่น จุดภาพที่เลือกจากพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมเหล่านี้จะนำมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นตัวอธิบายสถิติของข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนของแต่ละคลาส (ใน

กรณีของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดนั้น คือแก่เวกเตอร์ของค่าเฉลี่ยและเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม)



รูปที่ 4.11 การเลือกรูปหลายเหลี่ยมของพื้นที่ตัวอย่าง

เมื่อนำวิธีทางสถิติมาใช้เป็นตัวจำแนกข้อมูลนั้น ทางทฤษฎีจำนวนของจุดภาพที่น้อยที่สุดที่ใช้ประกอบเป็นเซตข้อมูลตัวอย่างคือ $n+1$ เมื่อ n คือจำนวนแบนด์ ถ้ามีข้อมูลภาพสองแบนด์ต้องใช้จุดภาพ 3 จุดภาพ ซึ่งการใช้ข้อมูลที่น้อยกว่านี้จะไม่สามารถคำนวณที่เหมาะสมของค่าความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม ในทางปฏิบัติจำนวนจุดภาพที่น้อยที่สุดจะอยู่ที่ $10n$ จนถึง $100n$ ซึ่งจะได้ตัวแทนของค่าทางสถิติที่ดีกว่าสำหรับแต่ละสเปกตรัมคลาส

การเลือกพื้นที่ตัวอย่างนั้นควรวิเคราะห์จากข้อมูลภายในภาพทั้งหมด เช่น การเลือกพื้นที่ตัวอย่างจาก 20 ตำแหน่งในภาพซึ่งในแต่ละตำแหน่งมี 40 จุดภาพ ดีกว่าการเลือกจากพื้นที่ตำแหน่งเดียวที่มี 800 จุดภาพ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการที่ข้อมูลตัวอย่างที่เลือกจะอธิบายค่าความแปรปรวนของพื้นที่แต่ละประเภทได้ดีกว่า

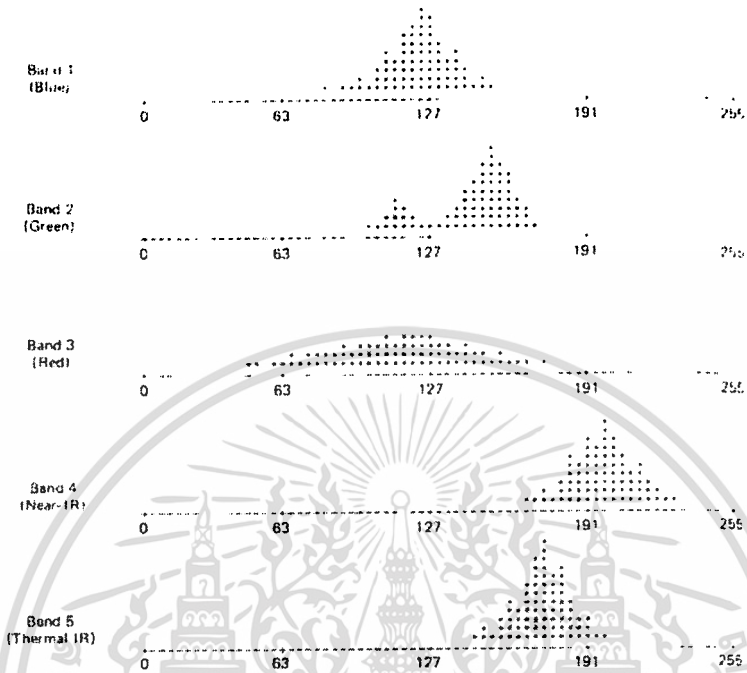
ประเภทของการวิเคราะห์ที่มักนำมาใช้ในกระบวนการฝึกสอนมีอยู่หลายแบบ ในที่นี้จะยกตัวอย่างให้เห็น 2 แบบ ได้แก่

4.12.1 การนำเสนอรูปแบบผลตอบสนองเชิงคลื่นในรูปของกราฟฟิก

รูปแบบผลตอบสนองของการกระจายของพื้นที่ตัวอย่างสามารถแสดงให้เห็นในรูปกราฟฟิกได้หลายแบบ รูปที่ 4.12 แสดงฮิสโตแกรมพื้นที่ฝึกสอน 5 แบนด์ ของทุ่งหญ้า ฮิสโตแกรมที่แสดงนั้นเป็นส่วนที่สำคัญสำหรับวิธีการของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งใช้สำหรับตรวจสอบผลตอบสนองของการแจกแจงแบบปกติด้วยสายตา จากรูปที่ 4.12 จะสังเกตว่าข้อมูลทุกแบนด์จะมีการแจกแจงแบบปกติ ยกเว้นแบนด์ที่ 2 ซึ่งมีการกระจายแบบไบโนเมียล (Binomial) ซึ่งแสดงว่าพื้นที่ตัวอย่างที่เลือกมานั้นมีสองคลาสย่อยประกอบกันทำให้มีลักษณะทางสเปกตรัมที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

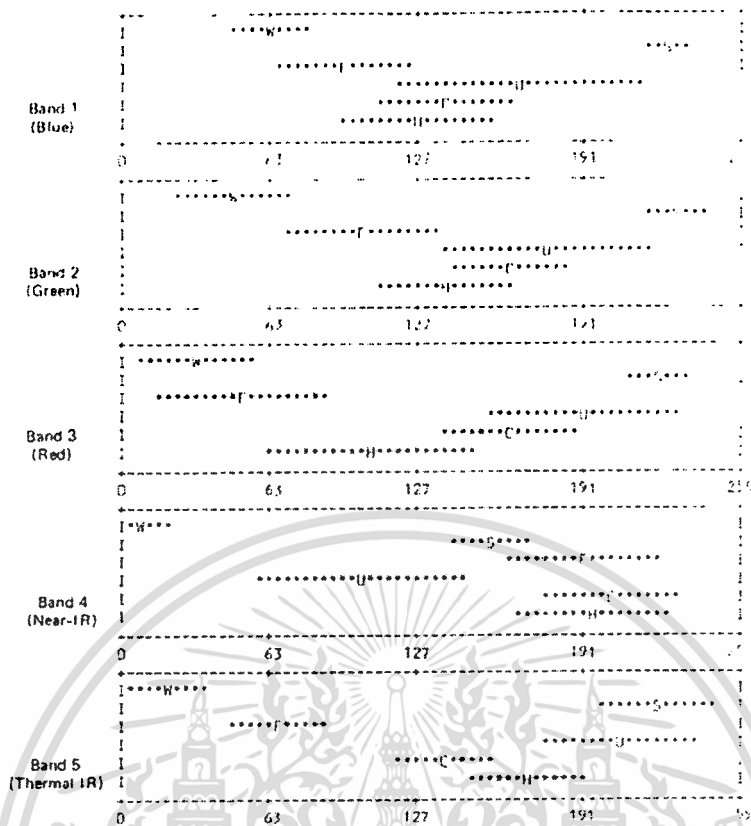
ซึ่งในกรณีนี้การแยกประเภทของคลาสย่อยออกจากกันจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกข้อมูล
ได้



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างฮิสโตแกรมของพื้นที่ตัวอย่างจากข้อมูลประเภททุ่งหญ้า

ฮิสโตแกรมแสดงการกระจายของข้อมูลแต่ละประเภทได้ดี แต่ไม่ได้ช่วยในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทข้อมูลได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การพล็อตที่แสดงความสอดคล้องกันแบบเชิงคลื่น (Coincident Spectral Plot) แสดงในรูปที่ 4.13 จากรูปแสดงให้เห็นข้อมูลเชิงคลื่นในแต่ละแบนด์ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละประเภท (แสดงด้วยตัวอักษร) และค่าความแปรปรวนของการกระจาย (± 2 ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงด้วยเครื่องหมาย *) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการซ้อนทับระหว่างข้อมูลแต่ละประเภท ยกตัวอย่างเช่น รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบของผลตอบสนองของทุ่งหญ้าและข้าวโพดมีการซ้อนทับกันอยู่ในทุกๆ แบนด์ ยกเว้นแบนด์ที่ 3 และ 5 ที่แยกออกจากกันอย่างเห็นได้ชัด

ความจริงแล้วการแสดงให้เห็นว่าทุ่งหญ้าและข้าวโพดมีการซ้อนทับกันในทุกๆ แบนด์นั้นหมายถึงไม่สามารถจำแนกข้อมูลแต่ละประเภทได้อย่างแม่นยำถ้าอาศัยข้อมูลจากภาพแบนด์ใดแบนด์หนึ่ง อย่างไรก็ตามการแสดงผลข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบภาพการกระจายของภาพสองแบนด์หรือมากกว่านั้นซึ่งได้แสดงในรูปที่ 4.3 นั้นแสดงการกระจายของรูปแบบการตอบสนองเชิงคลื่นได้ดีกว่า



รูปที่ 4.13 การพล็อตที่แสดงความสอดคล้องกันแบบเชิงคลื่นของข้อมูลตัวอย่าง

4.12.2 การจำแนกข้อมูลของเขตข้อมูลตัวอย่าง

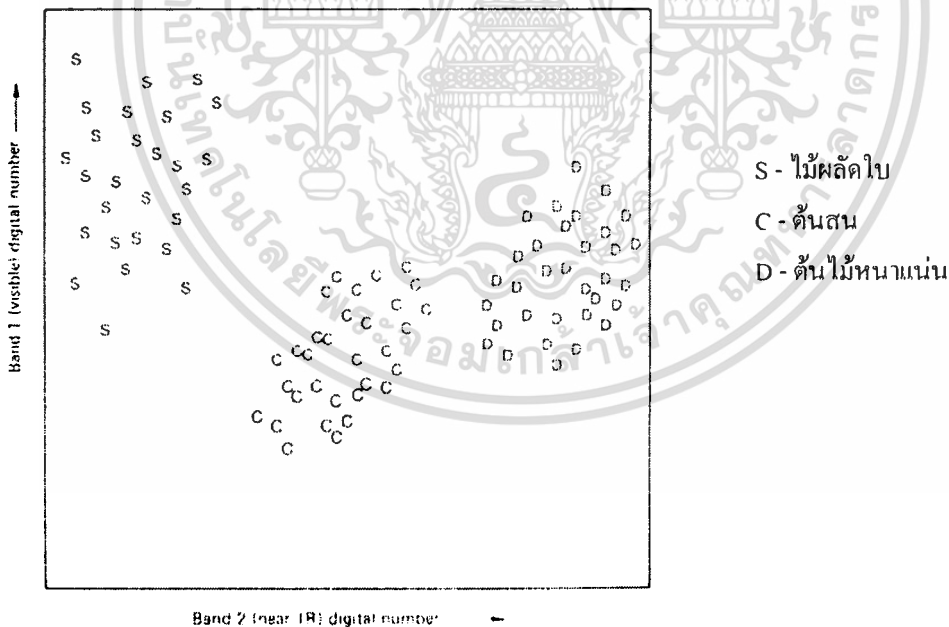
การจำแนกเขตข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอน (ไม่ใช่จากข้อมูลทั้งภาพ) นั้น เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การจำแนกของจุดภาพตัวอย่างว่าจำแนกได้ตรงตามที่คาดไว้หรือไม่ โดยค่าเปอร์เซ็นต์นี้จะแสดงในรูปของตารางเมตริกซ์ของค่าความผิดพลาด (Error Matrix) ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อท้ายๆ ของบทนี้

การหลีกเลี่ยงที่จะพิจารณาค่าความผิดพลาดของความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลจากข้อมูลทั้งภาพ โดยพิจารณาจากเขตของข้อมูลตัวอย่างนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เหตุผลคือ คลาสข้อมูลที่สนใจอาจมีความผิดพลาดโดยไม่ตั้งใจในกระบวนการฝึกสอน ซึ่งเมตริกซ์ของค่าความผิดพลาดจะบอกได้ว่าตัวจำแนกสามารถจำแนกข้อมูลตัวอย่างได้ดีเพียงไร เพราะว่าปกติแล้วข้อมูลตัวอย่างนั้นจะถูกเลือกมาเป็นอย่างดี จากพื้นที่ที่มีความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลแต่ละประเภท ซึ่งคาดได้ว่าจะถูกจำแนกได้แม่นยำกว่าข้อมูลจากพื้นที่อื่นในภาพ กล่าวโดยสรุปว่าความแม่นยำสามารถประเมินได้โดยพิจารณาจากพื้นที่ทดสอบ ซึ่งแตกต่างจากการพิจารณาจากพื้นที่ฝึกสอนหรือข้อมูลตัวอย่าง การประเมินแบบนี้มักจะทำหลังจากขั้นตอนการจำแนกและขั้นตอนผลลัพธ์

โดยทั่วไปกระบวนการกลั่นกรองเซตข้อมูลฝึกสอน หรือข้อมูลตัวอย่างที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในขั้นตอนการจำแนกข้อมูลภาพนั้นไม่สามารถที่จะทำได้อย่างทันทีทันใด ปกติแล้วจะเป็นขั้นตอนต้องทำซ้ำๆ หลายรอบ โดยผู้วิเคราะห์จะทำการปรับปรุงแก้ไขค่าการอธิบายทางสถิติ (Statistical Descriptions) ของข้อมูลแต่ละประเภท จนกระทั่งเพียงพอที่จะสามารถแบ่งลักษณะเชิงกลั่นได้ นั่นคือเซตข้อมูลต้นฉบับที่เป็นตัวแทนทางสถิติของพื้นที่ฝึกสอนจะถูกนำมาปรับปรุงโดยการรวมเข้า การลบออก จนได้อยู่ในรูปของเซตข้อมูลทางสถิติของขั้นตอนสุดท้ายที่ใช้ในการจำแนกข้อมูล

4.13 การจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล

การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบไม่กำกับดูแลนั้น ไม่ต้องอาศัยข้อมูลตัวอย่างมาเป็นส่วนประกอบในการจำแนกข้อมูล ตัวจำแนกประเภทแบบนี้จะมีอัลกอริทึมในการทดสอบจุดภาพที่ไม่ทราบกลุ่มประเภทข้อมูลในภาพ และรวมกันเข้าเป็นหลายๆ คลาส โดยอาศัยเทคนิคทางธรรมชาติการรวมกลุ่มของข้อมูลในภาพ ข้อเสนอที่สนับสนุนสมมุติฐานนี้คือ ค่าที่กำหนดให้ข้อมูลแต่ละประเภทจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ข้อมูลในคลาสที่แตกต่างกันจะถูกแบ่งออกโดยการเปรียบเทียบ



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมคลาสของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสองแบนด์

คลาสข้อมูลที่ได้จากการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลนั้นเรียกว่า คลาสสเปกตรัม เพราะว่าเป็นการอาศัยเทคนิคธรรมชาติในการรวมกลุ่มของค่าในภาพ ซึ่งจะไม่ทราบรูปพรรณหรือลักษณะ (Identity) ของคลาสสเปกตรัมในตอนเริ่มต้น ผู้วิเคราะห์ต้องเปรียบเทียบข้อมูลที่ถูกจำแนกแล้วกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลอ้างอิงในรูปแบบอื่น (ตัวอย่างเช่น ภาพที่อัตราส่วนที่ใหญ่กว่า หรือแผนที่) เพื่อหารูปพรรณหรือลักษณะ และค่าข้อมูลข่าวสารของคลาสสเปกตรัม ซึ่งในกรณีของวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลนั้นเราจะกำหนดประเภทของข้อมูล และทำการทดสอบความสามารถในการแยกแยะ ข้อมูลทางสเปกตรัม ส่วนวิธีการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลนั้น จะต้องหาคลาสสเปกตรัมที่แยกออกจากกันได้ จากนั้นจึงกำหนดประเภทของคลาสข้อมูล

วิธีการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลนั้นสามารถพิจารณาได้จากเซตข้อมูลสองแบนด์ การรวมกลุ่มของข้อมูลโดยธรรมชาติของสเปกตรัม สามารถดูได้จากแผนภาพการกระจายในรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงค่าของจุดภาพที่ได้มาจากพื้นที่ของป่าไม้ ข้อมูลสามกลุ่มที่ปรากฏในแผนภาพการกระจาย หลังจากการเปรียบเทียบข้อมูลภาพที่ถูกจำแนกแล้วกับข้อมูลอ้างอิง เราจะหากลุ่มที่มีลักษณะตรงกันของของไม้ผลัดใบ ต้นไม้จำพวกสนที่มีลูกเป็นรูปกรวย (Conifers) และบริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น แสดงในรูปที่ 4.14 ด้วยตัวอักษร D, C และ S ตามลำดับ นี่เป็นข้อดีของวิธีการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล คือตัวจำแนกจะหาเอกลักษณ์ที่เด่นชัดของคลาสสเปกตรัมที่ปรากฏในข้อมูลภาพ ซึ่งคลาสเหล่านี้จะไม่สามารถเห็นได้ชัดเจนในตอนเริ่มต้นของการจำแนกแบบกำกับดูแล และอาจเป็นการยากที่จะฝึกสอนคลาสสเปกตรัมในภาพ ซึ่งในการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลจะทำการค้นหาเองอย่างอัตโนมัติ

อัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดกลุ่มอยู่หลายวิธีที่นำมาใช้ในการจัดกลุ่มธรรมชาติของสเปกตรัมที่แสดงในเซตข้อมูล รูปแบบหนึ่งของการจัดกลุ่มเรียกว่าวิธี “K-means” โดยรับค่าจำนวนกลุ่มที่จะถูกกำหนดตำแหน่งในข้อมูลจากผู้วิเคราะห์ จากนั้นจะทำการกำหนดตำแหน่งอย่างไม่เจาะจงของจำนวนกลุ่มข้อมูลให้อยู่ตรงกลางในพื้นที่ของข้อมูลหลายมิติ แต่ละจุดภาพที่อยู่ในรูปภาพจะถูกกำหนดให้อยู่ในกลุ่มที่มีค่าเวกเตอร์เฉลี่ยที่ใกล้ที่สุด หลังจากที่ถูกจุดภาพถูกจำแนกแล้ว จะทำการคำนวณค่าเวกเตอร์เฉลี่ยใหม่อีกครั้งสำหรับข้อมูลแต่ละกลุ่ม ค่าเฉลี่ยที่ถูกคำนวณหาใหม่นั้นจะถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการจำแนกข้อมูลภาพใหม่อีกครั้ง

เนื่องจากวิธีการ K-means เป็นวิธีการที่มีการคำนวณซ้ำหลายๆ รอบ ดังนั้นจึงมักจะใช้กับพื้นที่ย่อยหรือส่วนใดส่วนหนึ่งในภาพมากกว่าที่จะใช้กับภาพทั้งหมด พื้นที่ย่อยนี้มักจะเรียกว่าเป็นพื้นที่ตัวอย่างของการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล ซึ่งอาจสับสนกับพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้กับการจำแนกแบบกำกับดูแล โดยที่พื้นที่ตัวอย่างของการจำแนกแบบกำกับดูแลนั้นเลือกมาจากบริเวณที่มีความเป็นเอกพันธ์ แต่พื้นที่ตัวอย่างของการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลนั้นเลือกมาจากบริเวณที่มีข้อมูลประเภทต่างๆ หลายประเภทรวมกัน

4.14 ขั้นตอนผลลัพธ์ (The Output Stage)

ประโยชน์ของการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นั้น จะอยู่ที่ขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะสร้างหรือให้ข้อมูลผลลัพธ์จะอยู่ในรูปของอะไรที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการแปลความหมายของข้อมูลให้กับผู้ใช้งาน ผลลัพธ์สามรูปแบบที่มีถูกนำมาใช้ คือ ภาพพิมพ์กราฟฟิก. ตารางของข้อมูลทางสถิติ และเพิ่มข้อมูลดิจิทัล

4.15 การประเมินผลความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

สิ่งที่ผู้เชี่ยวชาญในด้านการสำรวจระยะไกลให้ความสนใจเพิ่มมากขึ้น คือการประเมินความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เพราะปัจจุบันความสามารถในการผลผลิตการจำแนกข้อมูลทางดิจิทัลนั้นห่างไกลจากความสามารถในการวัดความแม่นยำ ซึ่งในความเป็นจริงปัญหานี้บางครั้งขัดขวางไม่ให้อำนาจนำเทคนิคจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ได้อย่างอัตโนมัติ

4.15.1 เมตริกซ์ค่าความผิดพลาดในการจำแนกข้อมูล

วิธีการหนึ่งที่เป็นนิยมใช้กันโดยทั่วไปในการแสดงความแม่นยำในการจำแนกข้อมูล คือ การใช้เมตริกซ์ค่าความผิดพลาด ในการจำแนกข้อมูล ซึ่งบางครั้งเรียกว่าเมตริกซ์ค่าความสับสน (Confusion Matrix) โดยเมตริกซ์ค่าความผิดพลาดนั้นจะใช้ในการเปรียบเทียบส่วนสำคัญของประเภทต่อประเภทของข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอ้างอิงที่ทราบรายละเอียด และผลลัพธ์ที่ตรงกันของการจำแนกข้อมูล ดังนั้นเมตริกซ์นี้จะอยู่ในรูปของสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีจำนวนแถวและคอลัมน์ที่เท่ากับจำนวนของประเภทข้อมูลที่จะทำการประเมินความแม่นยำในการจำแนกข้อมูล

ตารางที่ 4.6 แสดงเมตริกซ์ค่าความผิดพลาดที่ผู้วิเคราะห์เตรียมไว้เพื่อแสดงให้เห็นผลการจำแนกประเภทของจุดภาพที่ใช้ในขั้นตอนการฝึกสอนของการจำแนกแบบกำกับดูแล ซึ่งเมตริกซ์นี้ได้มาจากการจำแนกเขตข้อมูลตัวอย่าง และแสดงรายการของประเภทข้อมูลที่ทราบรายละเอียด สำหรับการฝึกสอนในแนวคอลัมน์ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการจำแนกในแต่ละประเภทโดยตัวจำแนกในแนวแถว

คุณลักษณะหลายประการของประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลถูกอธิบายโดยเมตริกซ์ค่าความผิดพลาด เช่น สามารถศึกษาได้จากความผิดพลาดในการจำแนกของค่าโอมิสชัน (Omission) และคอมมิสชัน (Commission) ข้อสังเกตในตารางที่ 4.6 เขตของจุดภาพในการฝึกสอนที่ถูกจำแนกประเภทข้อมูลอย่างถูกต้องเหมาะสมนั้นคือตัวเลขที่อยู่ในแนวทแยงมุมจากซ้ายมีถัด้านบนจนถึงขวามือด้านล่างของตารางเมตริกซ์ค่าความผิดพลาด ส่วนค่าตัวเลขที่ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งแนวทแยงมุมนั้นคือค่าโอมิสชันและค่าคอมมิสชัน ค่าผิดพลาดโอมิสชันนั้นแสดงอยู่ในตัวเลขแนวคอลัมน์ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งทแยงมุมของตาราง (เช่น จำนวน 16 จุดภาพที่ควรจะถูกจำแนกให้อยู่ในประเภทของ “พื้นดิน” ซึ่งถูกละเลยจากประเภทนั้น) ค่าผิดพลาดคอมมิสชันนั้นแสดงอยู่ในตัวเลขแนวแถวซึ่งไม่ได้อยู่ในตำแหน่งทแยงมุมของตาราง (เช่น จำนวน 38 จุดภาพของที่อยู่อาศัยรวมกับ 79 จุดภาพของทุ่งหญ้า ถูกรวมเข้าไปอยู่ในข้อมูลประเภท “ข้าวโพด”)

ตารางที่ 4.6 เมตริกซ์ค่าความผิดพลาดของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกเซตข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน

		เซตข้อมูลฝึกสอน						
		น้ำ	พื้นดิน	ป่าไม้	ที่อยู่อาศัย	ข้าวโพด	ทุ่งหญ้า	รวม
ข้อมูลที่จำแนก	น้ำ	480	0	5	0	0	0	485
	พื้นดิน	0	52	0	20	0	0	72
	ป่าไม้	0	0	313	40	0	0	353
	ที่อยู่อาศัย	0	16	0	126	0	0	142
	ข้าวโพด	0	0	0	38	342	79	459
	ทุ่งหญ้า	0	0	38	24	60	359	481
	รวม	480	68	356	248	402	438	1992
	ความแม่นยำของตัวจำแนก (Producer's Accuracy)		ความแม่นยำของผู้ใช้ (User's Accuracy)					
น้ำ	= 480/480 = 100%	น้ำ	= 480/485 = 99%					
พื้นดิน	= 052/068 = 76%	พื้นดิน	= 052/072 = 72%					
ป่าไม้	= 313/256 = 88%	ป่าไม้	= 313/353 = 87%					
ที่อยู่อาศัย	= 126/248 = 51%	ที่อยู่อาศัย	= 126/142 = 89%					
ข้าวโพด	= 342/402 = 85%	ข้าวโพด	= 342/459 = 74%					
ทุ่งหญ้า	= 359/438 = 82%	ทุ่งหญ้า	= 359/481 = 75%					
ความแม่นยำโดยรวม = (480 + 52 + 313 + 126 + 342 + 359)/1992 = 84%								

ส่วนอื่นๆ ที่สามารถอธิบายจากค่าที่วัดได้ของเมตริกซ์ค่าความผิดพลาด คือความแม่นยำโดยรวมซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของค่าตัวเลขที่อยู่ในแนวทแยงของตารางหารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมด ในทำนองเดียวกันความแม่นยำในการจำแนกของข้อมูลแต่ละประเภทสามารถคำนวณได้จากการหารจำนวนของจุดภาพที่จำแนกได้อย่างถูกต้องของข้อมูลแต่ละประเภทด้วยจำนวนรวมของจุดภาพในแนวคอลัมน์หรือแถว โดยความแม่นยำของผู้ผลิตหรือตัวจำแนก (Producer's Accuracy) คำนวณได้จากการหารจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้อย่างถูกต้องในข้อมูลแต่ละประเภท (ในแนวทแยง) ด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมดในแนวคอลัมน์ของข้อมูลประเภทนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเซตของจุดภาพที่ใช้การฝึกสอนสามารถจำแนกข้อมูลได้ดีเพียงไร ส่วนความแม่นยำของผู้ใช้ (User's Accuracy) คำนวณได้จากการหารจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้อย่างถูกต้องในข้อมูลแต่ละประเภทด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนจุดภาพทั้งหมดคิในแนวแถวของข้อมูลประเภทนั้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของจุดภาพถูกจำแนกอยู่ในประเภทของข้อมูลที่น่าเสนอไว้หรือไม่

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าความแม่นยำโดยรวมนั้นมีค่า 84 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความแม่นยำของตัวจำแนกมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 51 เปอร์เซ็นต์ (ที่อยู่อาศัย) จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (น้ำ) และความแม่นยำของผู้ใช้มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 72 เปอร์เซ็นต์ (พื้นดิน) จนถึง 99 เปอร์เซ็นต์ (น้ำ) นอกจากนั้นเมตริกซ์ค่าความผิดพลาดนี้ได้จากข้อมูลตัวอย่าง ดังนั้นควรระวังไว้ว่าขั้นตอนที่ได้นำเสนอ นั้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าข้อมูลทางสถิติที่ได้จากพื้นที่ตัวอย่างนั้นถูกนำมาใช้ในการแบ่งประเภทของพื้นที่เดียวกันได้ดีเพียงไร ถ้าผลลัพธ์ที่ออกมาดี นั้นหมายถึงว่าพื้นที่ตัวอย่างที่เลือกมานั้นมีลักษณะเป็นพื้นที่เอกพันธ์ และขั้นตอนการจำแนกนั้นสามารถนำมาใช้กับพื้นที่ตัวอย่างได้เป็นอย่างดี ซึ่งช่วยในกระบวนการกลั่นกรองเซตข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน และยังแสดงให้เห็นด้วยว่าสามารถที่จะนำไปใช้ในการจำแนกข้อมูลในบริเวณอื่นของภาพ



บทที่ 5

ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

5.1 บทนำ

การจำแนกประเภทข้อมูล โดยที่ผู้วิเคราะห์จะต้องกำหนดพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างของข้อมูลแต่ละประเภทให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณค่าสถิติ โดยค่าสถิติดังกล่าวจะเป็นตัวแทน สำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด และในพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างจะต้องมีประเภทข้อมูลอย่างเดี่ยวล้วนๆ ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดเป็นทฤษฎีการจำแนกประเภทข้อมูลที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากการนำวิธีการทางสถิติมาใช้มากกว่าวิธีอื่น ได้แก่ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยและเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เช่น วิธีระยะห่างค่าสุดซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยมาพิจารณา หรือวิธีสี่เหลี่ยมคี่เหลี่ยมซึ่งใช้ค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละแกนเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ซึ่งวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดนั้นอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability) ของเบย์ ข้อมูลที่ทำการจำแนกจะต้องตัดสินใจให้ได้ว่าอยู่ในประเภทข้อมูลใดทั้งนี้โดยพิจารณาจากเวกเตอร์ค่าเฉลี่ย และเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของข้อมูลแต่ละประเภทโดยตั้งสมมุติฐานว่าแต่ละประเภทข้อมูล มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) แล้วคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละจุดภาพว่าจะถูกจำแนกอยู่ในประเภทข้อมูลใด โดยแสดงด้วยเส้นโค้งวงรี ทฤษฎีนี้ใช้เวลาคำนวณมากกว่าทฤษฎีอื่นๆ เนื่องจากมีความซับซ้อนในการคำนวณมากกว่า แต่ในขณะเดียวกันทฤษฎีของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดนี้ จะให้ผลการจำแนกประเภทข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงกว่าทฤษฎีอื่นๆ ที่อาศัยวิธีการทางสถิติ

5.2 ทฤษฎีทางสถิติที่เกี่ยวข้อง [5]

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เกี่ยวข้องและอ้างอิงถึงทฤษฎีสถิติต่างๆ เช่น ทฤษฎีการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม (Distribution Theory) ทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision Theory) ดังนั้น จำเป็นต้องกล่าวถึงทฤษฎีดังกล่าวนี้เพื่อใช้ประกอบในการอธิบายวิธีการทางสถิติต่างๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

5.3 ทฤษฎีการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม (Distribution Theory)

ทฤษฎีการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่จะกล่าวถึงนี้ เป็นการเสนอฟังก์ชันของตัวแปรสุ่ม ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ที่สำคัญๆ เพื่อใช้อ้างอิงในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

5.3.1 การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล 1 มิติ (Univariate Normal Distribution, 1-dimensional)

เมื่อ x มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นเป็น

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (5.1)$$

ซึ่งมีค่าเฉลี่ย

$$\begin{aligned} E[x] &= \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx \\ &= \mu \end{aligned} \quad (5.2)$$

และค่าความแปรปรวน

$$\begin{aligned} E[x-\mu]^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 p(x)dx \\ &= \sigma^2 \end{aligned} \quad (5.3)$$

โดยที่ $-\infty < x < \infty$, $-\infty < \mu < \infty$, $0 < \sigma < \infty$ ฟังก์ชันการแจกแจงแบบปกติในสมการที่ (5.1) นี้บางครั้งเรียกว่า การแจกแจงของเกาส์ (Gaussian Distribution)

5.3.2 การแจกแจงแบบปกติของข้อมูล 2 มิติ (Bivariate Normal Distribution, 2-dimensional)

ให้ x เป็นเวกเตอร์สุ่ม (random vector) ของ 2 ตัวแปร

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

ที่มีการแจกแจงเป็นแบบปกติของข้อมูล 2 มิติ ซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นเป็น

$$\begin{aligned} p(x) &= \frac{1}{2\pi\sigma_{11}\sigma_{22}\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\frac{(x_1-\mu_1)^2}{\sigma_{11}}\right. \right. \\ &\quad \left. \left. -2\rho\frac{(x_1-\mu_1)(x_2-\mu_2)}{\sqrt{\sigma_{11}}\sqrt{\sigma_{22}}} + \frac{(x_2-\mu_2)^2}{\sigma_{22}}\right\}\right], \quad -\infty < x_1, x_2 < \infty \end{aligned} \quad (5.5)$$

เมื่อ σ_{ii} คือ ความแปรปรวน และ σ_{ij} คือความแปรปรวนร่วม โดยที่ $i, j = 1, 2$

$$\begin{aligned} \text{ซึ่งมี } E[x_i] &= \mu_i \\ \sigma_i^2 &= E[x_i - \mu_i]^2 \\ &= \sigma_{ii} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ ρ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของ x_1 และ x_2 : $-1 < \rho < 1$

$$\rho = \frac{\sigma_{ij}}{\sqrt{\sigma_{i1}\sigma_{22}}} \quad ; i \neq j \quad (5.6)$$

สามารถเขียนได้ในรูปเมทริกซ์ ดังนี้
เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

$$|\Sigma| = \sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}\sigma_{21}$$

$$\Sigma^{-1} = \frac{1}{\sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}\sigma_{21}} \begin{bmatrix} \sigma_{22} & -\sigma_{12} \\ -\sigma_{21} & \sigma_{11} \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{12} = \rho\sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22}} = \sigma_{21}$$

ดังนั้น

$$p(x) = \frac{1}{2\pi|\Sigma|^{1/2}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu)'\Sigma^{-1}(x-\mu)\right] \quad (5.9)$$

$$= \frac{1}{2\pi\sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}\sigma_{21}}} \exp[Q]$$

เมื่อ

$$Q = \frac{1}{2(\sigma_{11}\sigma_{22} - \sigma_{12}\sigma_{21})} \left\{ \sigma_{22}(x_1 - \mu_1)^2 - (\sigma_{12} + \sigma_{21})(x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2) + \sigma_{11}(x_2 - \mu_2)^2 \right\}$$

$$= \frac{1}{2\left(1 - \frac{\sigma_{12}\sigma_{21}}{\sigma_{11}\sigma_{22}}\right)} \left\{ \frac{(x_1 - \mu_1)^2}{\sigma_{11}} - \frac{(\sigma_{12} + \sigma_{21})(x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2)}{\sigma_{11}\sigma_{22}} + \frac{(x_2 - \mu_2)^2}{\sigma_{22}} \right\}$$

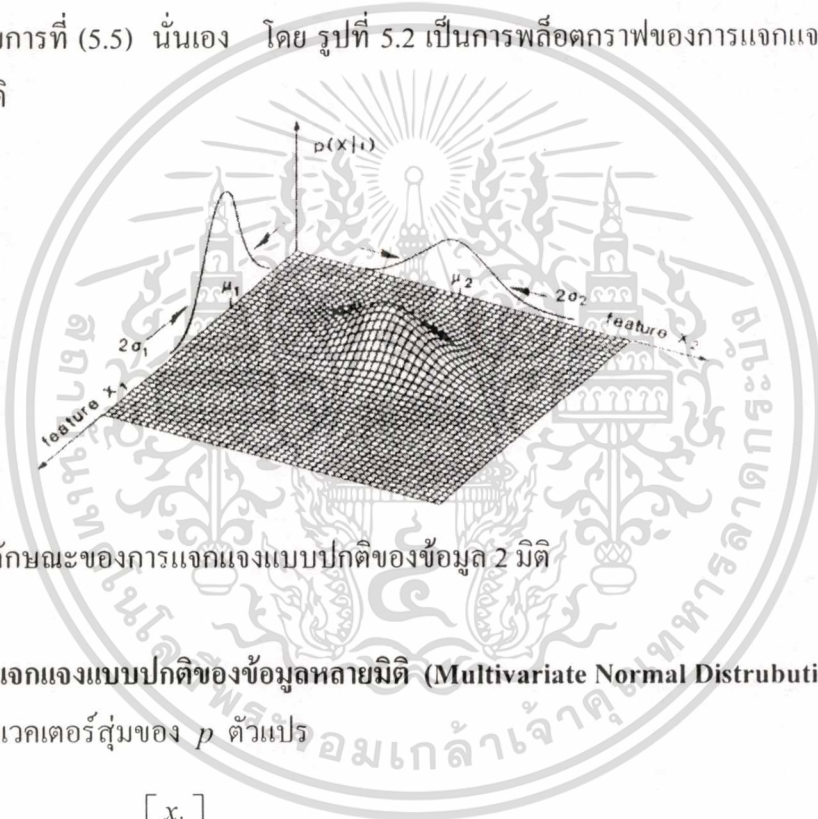
$$= \frac{1}{2\left(1 - \frac{\sigma_{12}\sigma_{21}}{\sigma_{11}\sigma_{22}}\right)} \left\{ \frac{(x_1 - \mu_1)^2}{\sigma_{11}} - \frac{(\sigma_{12} + \sigma_{21})(x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2)}{\sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22}} \sqrt{\sigma_{11}} \sqrt{\sigma_{22}}} + \frac{(x_2 - \mu_2)^2}{\sigma_{22}} \right\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (5.9) จะได้

$$\begin{aligned}
 p(\mathbf{x}) &= \frac{1}{2\pi\sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22}\left(1-\frac{\sigma_{12}\sigma_{21}}{\sigma_{11}\sigma_{22}}\right)}} \exp[Q] \\
 &= \frac{1}{2\pi\sigma_{11}\sigma_{22}\sqrt{(1-\rho^2)}} \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left\{\frac{(x_1-\mu_1)^2}{\sigma_{11}} - \frac{2\rho(x_1-\mu_1)(x_2-\mu_2)}{\sqrt{\sigma_{11}}\sqrt{\sigma_{22}}} + \frac{(x_2-\mu_2)^2}{\sigma_{22}}\right\}\right]
 \end{aligned}$$

ซึ่งก็คือ สมการที่ (5.5) นั่นเอง โดย รูปที่ 5.2 เป็นการพล็อตกราฟของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล 2 มิติ



รูปที่ 5.1 ลักษณะของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล 2 มิติ

5.3.3 การแจกแจงแบบปกติของข้อมูลหลายมิติ (Multivariate Normal Distributions)

ให้ \mathbf{x} เป็นเวกเตอร์สุ่มของ p ตัวแปร

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix} \tag{5.10}$$

ที่มีการแจกแจงปกติของข้อมูลหลายมิติ ซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นเป็น

$$p(\mathbf{x}) = (2\pi)^{-N/2} |\Sigma|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1}(\mathbf{x}-\boldsymbol{\mu})\right] \tag{5.11}$$

เมื่อ \mathbf{x} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ขนาด p

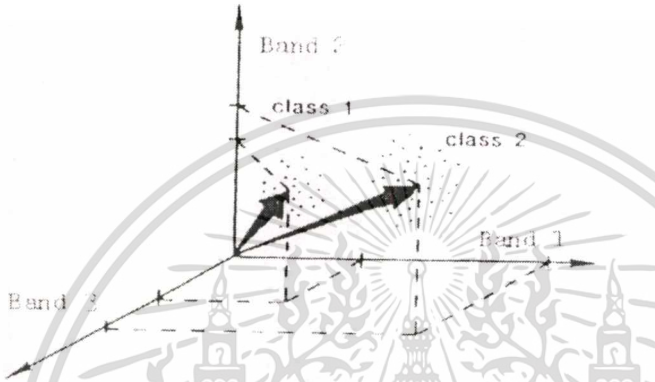
$\boldsymbol{\mu}$ คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยขนาด p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_p \end{bmatrix} = E[x] \quad (5.12)$$

$$\Sigma = E[(x - \mu)(x - \mu)'] \quad (5.13)$$

เมื่อ Σ คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมขนาด $p \times p$



รูปที่ 5.2 เวกเตอร์ของจุดภาพในรูป 3 มิติ

รูปที่ 5.2 เป็นการพล็อตกราฟของการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลหลายมิติ ซึ่งเป็นการนำเอาข้อมูล 3 มิติมาแสดง

5.4 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional Probability) [5,25]

ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข คือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์เมื่อทราบว่าเมื่อทราบว่ามีอีกเหตุการณ์หนึ่งได้เกิดขึ้นก่อนแล้ว ให้ $p(x)$ แทนความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ x จะเกิดขึ้น ถ้า x เป็นจุดภาพ ดังนั้น $p(x)$ ก็คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบจุดภาพ x ดังนั้นความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของการค้นพบจุดภาพ x ในคลาส ω_i เขียนแทนด้วย $p(x|\omega_i)$

$$p(x|\omega_i) = \frac{p(\omega_i \cap x)}{p(\omega_i)}, \quad p(\omega_i) \neq 0 \quad (5.14)$$

และ

$$p(\omega_i|x) = \frac{p(x \cap \omega_i)}{p(x)}, \quad p(x) \neq 0 \quad (5.15)$$

เนื่องจาก $p(x \cap \omega_i) = p(\omega_i \cap x)$ ดังนั้นจะได้ว่า

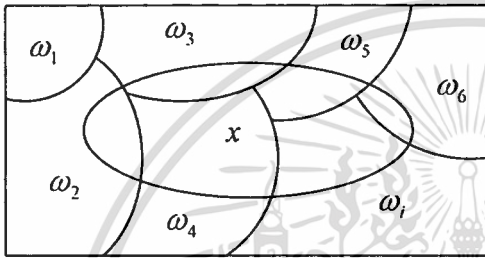
$$p(\omega_i \cap x) = p(x|\omega_i)p(x) = p(\omega_i|x)p(\omega_i) \quad (5.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ทฤษฎีของเบย์ (Bayes' Theory) [25]

ถ้าปริภูมิตัวอย่าง (Sample Space หรือ Universal Set) S ในการทดลองสุ่มใดๆ สามารถแบ่งออกเป็นเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งแยกจากกันโดยเด็ดขาด (Mutually Exclusive Events) เราจะเรียกแต่ละเหตุการณ์นั้นว่าเป็นพาร์ทิชันหรือผลแบ่งกัน (Partition) ของปริภูมิตัวอย่าง ในที่นี้ให้ $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ แทนพาร์ทิชันหรือเหตุการณ์ทั้งหมดซึ่งแยกจากกันโดยเด็ดขาดจำนวน m พาร์ทิชัน และ x เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ ω_i ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. $\omega_i \cap \omega_j = \emptyset$ โดยที่ $i \neq j$ และ $i, j = 1, 2, \dots, m$
2. $\omega_1 \cup \omega_2 \cup \dots \cup \omega_m = S$



รูปที่ 5.3 แผนภาพของเวเนนแสดงพาร์ทิชันของปริภูมิตัวอย่าง

$$\begin{aligned} x &= (\omega_1 \cap x) \cup (\omega_2 \cap x) \cup \dots \cup (\omega_m \cap x) \\ p(x) &= p(\omega_1 \cap x) + p(\omega_2 \cap x) + \dots + p(\omega_m \cap x) \end{aligned} \quad (5.17)$$

จากสมการที่ (5.16) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} p(\omega_1 \cap x) &= p(x | \omega_1) p(\omega_1) \\ p(\omega_2 \cap x) &= p(x | \omega_2) p(\omega_2) \\ &\vdots \\ p(\omega_m \cap x) &= p(x | \omega_m) p(\omega_m) \end{aligned}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (5.16) และ (5.17) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} p(x) &= p(x | \omega_1) p(\omega_1) + p(x | \omega_2) p(\omega_2) + \dots + p(x | \omega_m) p(\omega_m) \\ &= \sum_{i=1}^m p(x | \omega_i) p(\omega_i) \end{aligned} \quad (5.18)$$

และจากสมการที่ (5.15), (5.16) และ (5.18) จะได้ว่า

$$p(\omega_i | x) = \frac{p(x | \omega_i) p(\omega_i)}{p(x)} = \frac{p(x | \omega_i) p(\omega_i)}{\sum_{j=1}^m p(x | \omega_j) p(\omega_j)}, \quad p(x) \neq 0 \quad (5.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision Theory)

โดยปกติแล้วการดำเนินกิจกรรมใดๆ ก็ตาม ซึ่งอาจจะเป็นงานที่มีความยุ่งยากสลับซับซ้อน มีหลายขั้นตอน เช่น โครงการอวกาศ หรือแม้แต่การดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ผู้ที่ต้องรับผิดชอบในกิจกรรมนั้นๆ มักจะต้องมีปัญหาคัดสินใจว่าจะดำเนินการหรือปฏิบัติอย่างไรจึงจะถูกต้องเหมาะสมนั้น ต้องมีการหาเกณฑ์หรือข้อมูลข่าวสารมาเป็นตัวกำหนดแนวทางซึ่งก็มักมีแนวทางที่จะต้องเลือกอยู่หลายแนวทาง จึงเกิดปัญหาคัดสินใจ ที่จะเลือกแนวทางที่ดีที่สุดเกิดการสูญเสียน้อยที่สุดขึ้น ในทฤษฎีการตัดสินใจจะมีปัญหาคัดสินใจที่ประกอบด้วย กลุ่มสภาวะการณ (state of nature) กลุ่มทางเลือก (action space) และฟังก์ชันความสูญเสีย (loss function) ในการนี้ผู้ตัดสินใจก็จะเลือกทางเลือก (action) ที่ดีที่สุดจากกลุ่มหรือเซตทางเลือกทั้งหมดที่มี ซึ่งถ้าทำการเลือกโดยไม่ใช้ข้อมูลอื่นๆ มาประกอบก็จะเรียกวิธีการเช่นนี้ว่าการตัดสินใจโดยปราศจากข้อมูลข่าวสาร (decision without information) และถ้ามีการใช้ข้อมูลอื่นมาประกอบ ซึ่งอาจเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบปฐมภูมิ (primary data) หรือข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) ก็คือ การใช้ข้อมูลสนเทศเหล่านี้มาประกอบการตัดสินใจในลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า การตัดสินใจโดยอาศัยข้อมูลข่าวสาร (decision with information)

สำหรับในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ จุดภาพนั้นก็ถือเป็นการใช้ลักษณะการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแสดงได้ด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นที่เรียกว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น และนำมาประกอบกับหลักเกณฑ์ของทฤษฎีการตัดสินใจเป็นฟังก์ชันการตัดสินใจที่ใช้สำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลหรือตัดสินใจเลือกจุดภาพที่เก็บรวบรวมมานั้นว่าเป็นวัตถุหรือสสารใดนั่นเอง เรียกฟังก์ชันการตัดสินใจลักษณะดังกล่าวนี้ว่า ฟังก์ชันดิสคริมิแนนท์ (Discriminant Function) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้

$$\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m) \quad (5.20)$$

เมื่อ Ω คือ กลุ่มของเหตุการณ์
 ω_j คือ เหตุการณ์ที่ j โดยที่ $j = 1, 2, \dots, m$
 m คือ จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด

$$A = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) \quad (5.21)$$

เมื่อ A คือ กลุ่มทางเลือก
 α_i คือ ทางเลือกที่ i โดยที่ $i = 1, 2, \dots, m$
 m คือ กลุ่มทางเลือกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\lambda(\alpha, \omega)$ คือ เซตของฟังก์ชันการสูญเสีย เมื่อ $\lambda(\alpha_i, \omega_j)$ คือ การสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อตัดสินใจเลือกเป็นคลาสที่ i ทั้งๆ ที่เป็นคลาสที่ j โดยที่ $i, j = 1, 2, \dots, m$

$$L_x(\alpha_i) = E[\lambda(\alpha_i, \omega_j)] \quad (5.22)$$

เมื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของการตัดสินใจเลือกทางหรือวิธีที่ผิด (average loss) คือ ความเสี่ยง โดยที่ $L_x(A)$ เป็นฟังก์ชันความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

ด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเบย์ (Bayes Optimal Decision) เป็นการตัดสินใจที่ต้องการให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ดังนั้นจาก (5.22)

$$L_x(\alpha_i) = \sum_{j=1}^m \lambda(\alpha_i, \omega_j) p(\omega_j | x) \quad (5.23)$$

โดยที่ $p(\omega_j | x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ ω_j เมื่อเกิด x จากกฎของเบย์

$$p(\omega_j | x) = p(x | \omega_j) p(\omega_j) / p(x) \quad (5.24)$$

เมื่อ $p(\omega_j | x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ ω_j เมื่อเกิด x
 $p(x | \omega_j)$ คือ ฟังก์ชันเงื่อนไขของความน่าจะเป็นของ x เมื่อเกิด ω_j
 $p(\omega_j)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ ω_j
 $p(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ x ซึ่ง

ดังนั้นจาก (5.23)

$$L_x(\alpha_i) = \sum_{j=1}^m \lambda(\alpha_i, \omega_j) p(x | \omega_j) p(\omega_j) / p(x) \quad (5.25)$$

จากข้อกำหนดต่อไปนี้จะนำมาประกอบการสร้างฟังก์ชันในการตัดสินใจต่อไป คือ

1. การลดขนาดเซตของฟังก์ชันใดๆ ก็เปรียบเสมือนการเพิ่มขนาด (maximize) ค่าลบของฟังก์ชันชุดเดียวกัน
2. กำหนดให้เซตของฟังก์ชันการสูญเสีย เป็น

$$\lambda(\alpha_i, \omega_j) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อตัดสินใจถูกต้อง} & (i = j) \\ 1 & \text{เมื่อตัดสินใจผิด} & (i \neq j) \end{cases} \quad (5.26)$$

3. ถ้า $\{g_i(x), i = 1, 2, \dots, m\}$ คือ เซตของฟังก์ชันการตัดสินใจใดๆ เราสามารถที่จะทำการ บวก ลบ คูณ ด้วยตัวคงที่ หรือใส่ *natural log* กับฟังก์ชันนั้นๆ โดยไม่ทำให้การตัดสินใจเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ

$$g_i^1(x) = g_i(x) \pm k \quad \text{เมื่อ } k \text{ คือค่าคงที่} \quad (5.27)$$

$$g_i^2(x) = g_i(x) \cdot k \quad \text{เมื่อ } k \text{ คือค่าคงที่} \quad (5.28)$$

$$g_i^3(x) = \ln g_i(x) \quad (5.29)$$

จาก (5.25) จะได้ฟังก์ชันการตัดสินใจ คือ

$$\begin{aligned} g_i(x) &= -L_x(\alpha_i) \\ &= -\sum_{j=1}^m \lambda(\alpha_i, \omega_j) p(x|\omega_j) p(\omega_j) / p(x) \\ &= -\sum_{j=1}^m p(x|\omega_j) p(\omega_j) / p(x), \quad i \neq j \\ &= -\frac{1}{p(x)} \sum_{j=1}^m p(x|\omega_j) p(\omega_j), \quad i \neq j \end{aligned} \quad (5.30)$$

เนื่องจาก $p(x)$ มีค่าเท่ากันในทุกๆ คลาส ดังนั้นจึงสามารถตัดออกจากสมการได้โดยไม่ทำให้การตัดสินใจเปลี่ยนแปลง ซึ่งจาก (5.28) จะได้

$$g_i(x) = -\sum_{j=1}^m p(x|\omega_j) p(\omega_j), \quad i \neq j \quad (5.31)$$

จาก

$$\begin{aligned} p(x) &= \sum_{j=1}^m p(x|\omega_j) p(\omega_j) \\ &= p(x|\omega_i) p(\omega_i) + \sum_{j=1}^m p(x|\omega_j) p(\omega_j), \quad i \neq j \\ \sum_{j=1}^m p(x|\omega_j) p(\omega_j) &= p(x) - p(x|\omega_i) p(\omega_i), \quad i \neq j \end{aligned} \quad (5.32)$$

แทนค่า (5.32) ลงใน (5.31) จะได้

$$\begin{aligned} g_i(x) &= -p(x) + p(x|\omega_i) p(\omega_i) \\ &= p(x|\omega_i) p(\omega_i) \end{aligned} \quad (5.33)$$

จากสมการที่ (5.33) เป็นการตัด $p(x)$ ซึ่งมีค่าเท่ากันในทุกๆ คลาส ออกจากสมการโดยไม่ทำให้การตัดสินใจเปลี่ยนแปลง ดังนั้นฟังก์ชันการตัดสินใจที่ได้จะเท่ากับผลคูณระหว่างฟังก์ชันเงื่อนไขของความน่าจะเป็นของ x เมื่อเกิด ω_i หรือ $p(x|\omega_i)$ กับฟังก์ชันความหนาแน่นของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าจะเป็น $p(\omega_i)$ หรืออาจเรียก $p(x|\omega_i)p(\omega_i)$ ว่าความน่าจะเป็นร่วม (joint probability) [5] ของ x และ ω_i ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นที่จุดภาพ x เกิดขึ้นที่คลาส ω_i และเรียกฟังก์ชันการตัดสินใจนี้ว่า ฟังก์ชันตัดสินใจเลือก x อยู่ในกลุ่มที่ i โดยที่ $x \in \omega_i$ ถ้า

$$p(x|\omega_i)p(\omega_i) > p(x|\omega_j)p(\omega_j); \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5.34)$$

$$\text{นั่นคือ ถ้าให้} \quad g_i(x) = p(x|\omega_i)p(\omega_i) \quad (5.35)$$

$$g_j(x) = p(x|\omega_j)p(\omega_j) \quad (5.36)$$

ดังนั้นจะตัดสินใจเลือก x อยู่ในคลาสที่ i ก็ต่อเมื่อ

$$g_i(x) > g_j(x), \quad i \neq j \quad (5.37)$$

5.7 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางสถิติในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

จากทฤษฎีสถิติที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการจำแนกประเภทข้อมูลจากดาวเทียมตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา สามารถอธิบายได้ดังนี้

กำหนดให้

$\Omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ เป็นเซตของกลุ่มหรือประเภทข้อมูล m ประเภท ซึ่งสมมติว่ามีประเภทข้อมูล 4 ประเภท คือ ป่าไม้ ป่าลุ่มน้ำมัน นาข้าว และถนน ดังนั้น

$$\Omega = (\text{ป่าไม้, ป่าลุ่มน้ำมัน, นาข้าว, ถนน})$$

$A = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$ เป็นเซตของการเลือกหรือการตัดสินใจที่เหมาะสม โดยที่ α_i คือการตัดสินใจเลือกจุดภาพใดๆ ในอาณาบริเวณที่ศึกษาว่าเป็นข้อมูลประเภทป่าไม้ในทำนองเดียวกัน α_4 คือ การตัดสินใจเลือกจุดภาพในอาณาบริเวณที่ศึกษาว่าเป็นข้อมูลประเภทถนน เป็นต้น

$\lambda(\alpha_i, \omega_j)$ เป็นฟังก์ชันความสูญเสีย ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการตัดสินใจเลือก α_i เมื่อกำหนด ω_j ทั้งนี้ $i, j = 1, 2, 3, 4$

$$\lambda(\alpha_i, \omega_j) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อตัดสินใจเลือกจุดภาพนั้นๆ} \\ & \text{เป็นประเภทข้อมูลที่ถูกต้อง} \\ 1 & \text{เมื่อตัดสินใจเลือกจุดภาพนั้นๆ} \\ & \text{เป็นประเภทข้อมูลที่ผิด} \end{cases}$$

เช่น เกิดความสูญเสีย เมื่อตัดสินใจให้จุดภาพนั้นเป็นป่าลุ่มน้ำมัน โดยความเป็นจริงแล้วเป็นป่าไม้ หรือในทำนองกลับกันตัดสินใจให้จุดภาพนั้นเป็นป่าไม้ ทั้งๆ ที่ความเป็นจริงเป็นป่าลุ่มน้ำมัน

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

เมื่อ x คือ เวกเตอร์ของค่าระดับสีเทาที่ได้จากแต่ละแบนด์ ทั้งนี้ภายใต้สมมติฐานให้ x มีการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบหลายมิติ หรือหลายแบนด์

ในทำนองเดียวกันกับ (5.35) และ (5.36) จะได้

$$g_i(x) = p(x|\omega_i)p(\omega_i) \quad (5.38)$$

$$g_j(x) = p(x|\omega_j)p(\omega_j) \quad (5.39)$$

ซึ่งเป็นฟังก์ชันการตัดสินใจที่ใช้ในการจำแนกประเภทข้อมูลโดยตัดสินใจเลือกจุดภาพอยู่ในประเภทข้อมูลหรือคลาสที่ i ถ้า

$$g_i(x) > g_j(x) \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i \neq j \quad (5.40)$$

โดยสรุปจะเห็นว่า การตัดสินใจของเราจะขึ้นอยู่กับ x ซึ่งเป็นตัวอย่างสุ่ม และ $p(\omega)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของคลาสที่เราพิจารณาอยู่ เรียกฟังก์ชันการตัดสินใจ $g_i(x)$ นี้ว่าฟังก์ชันตัดสินใจ

เมื่อนำทฤษฎีการแจกแจงของตัวอย่างสุ่มที่ได้จาก (5.1) หรือ (5.5) หรือ (5.11) และพิจารณาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ x เป็นแบบมีเงื่อนไข เมื่อกำหนด ω นั้นก็คือ จะได้ $p(x|\omega_i)$ (ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ คือ $p(x|\omega_i) \sim N(\mu_i, \sigma_i)$) เป็นไปในแต่ละกรณี กล่าวคือ

ในกรณีของการแจกแจงแบบปกติแบบ 1 มิติ จากสมการที่ (5.32) จะได้

$$\begin{aligned} p(x|\omega_i) &= \frac{p(x) - \sum_{j=1}^m p(x|\omega_j)p(\omega_j)}{p(\omega_i)}, \quad i \neq j \\ &= \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] - \sum_{j=1}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_j}{\sigma_j}\right)^2\right]}{p(\omega_i)}, \quad i \neq j \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right] \end{aligned} \quad (5.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$g_i(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right] p(\omega_i) \quad (5.42)$$

เมื่อ x คือ ตัวแปรของข้อมูล 1 มิติ

μ_i คือ ค่าเฉลี่ยของประเภทข้อมูลที่ i

ω_i คือ ประเภทของข้อมูลที่ i ซึ่งมีความสัมพันธ์ของข้อมูลในลักษณะการแจกแจงแบบปกติกับ μ_i และ σ_i

เช่นเดียวกับในกรณีของการแจกแจงแบบปกติแบบ 1 มิติ จะได้รับการแจกแจงแบบปกติแบบหลายมิติ โดยที่ $p(x|\omega_i) \sim N(\mu_i, \Sigma_i)$ ดังนี้

$$\begin{aligned} p(x|\omega_i) &= \frac{p(x) - \sum_{j=1}^m p(x|\omega_j)p(\omega_j)}{p(\omega_i)}, \quad i \neq j \\ &= \left((2\pi)^{-N/2} \left| \Sigma_i \right|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)' \Sigma_i^{-1} (x-\mu_i)\right] - \sum_{j=1}^m (2\pi)^{-N/2} \left| \Sigma_j \right|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_j)' \Sigma_j^{-1} (x-\mu_j)\right] \right) \left(\frac{1}{p(\omega_i)} \right) \\ &= (2\pi)^{-N/2} \left| \Sigma_i \right|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)' \Sigma_i^{-1} (x-\mu_i)\right] \end{aligned} \quad (5.43)$$

$$g_i(x) = (2\pi)^{-N/2} \left| \Sigma_i \right|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu_i)' \Sigma_i^{-1} (x-\mu_i)\right] p(\omega_i) \quad (5.44)$$

เมื่อ x คือ คอลัมน์เวกเตอร์

μ_i คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของประเภทข้อมูลที่ i

Σ_i คือ เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประเภทข้อมูลที่ i

5.8 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

เป็นการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการจำแนกประเภท เพื่อคัดเลือกตัวแปรกลุ่มหนึ่งหรือชุดหนึ่งที่ต้องการศึกษาออกเป็นประเภทข้อมูลใดๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยการนำค่าสถิติต่างๆ มาแทนค่าในฟังก์ชันดิสคริมิแนนท์ เช่น เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย และเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ตลอดจนความน่าจะเป็นของการที่เกิดประเภทข้อมูลใดๆ ซึ่งจะคำนวณได้ค่าจำนวนหนึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ กล่าวคือ จากทฤษฎีการตัดสินใจของเบย์จะพิจารณาเลือกจุดภาพหนึ่งๆ อยู่ในประเภทข้อมูลที่ i ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_i(x) > g_j(x) \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } i \neq j \quad (5.45)$$

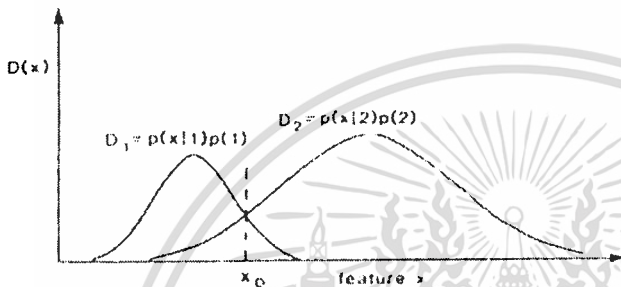
นั่นคือถ้า กำหนดให้มีประเภทข้อมูลอยู่ 2 ประเภท

จุดภาพนั้นอยู่ในประเภทข้อมูลที่ 1 ถ้า $g_1(x) > g_2(x)$

หรือ จุดภาพนั้นอยู่ในประเภทข้อมูลที่ 2 ถ้า $g_2(x) > g_1(x)$

โดยที่ $g_i(x) = p(x|\omega_i)p(\omega_i)$

อาจแสดงด้วยภาพ 1 มิติ ในกรณีสมมติว่ามี 2 ประเภทข้อมูลดังนี้



รูปที่ 5.4 ฟังก์ชันดิสคริมิเนนทของกฎการตัดสินใจของเบย์

ด้วยคุณสมบัติของทฤษฎีการตัดสินใจ เราสามารถที่จะบวก ลบ คูณ หรือใส่ *natural log* ด้วยค่าคงที่กับฟังก์ชันดิสคริมิเนนทใดๆ แล้วจะไม่มีผลต่อการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น

$$g_i(x) = a[p(x|\omega_i)p(\omega_i)] + b \quad (5.46)$$

$$g_i(x) = \ln[p(x|\omega_i)p(\omega_i)] \quad (5.47)$$

ซึ่งฟังก์ชันทั้งสอง ก็ยังคงเป็นฟังก์ชันดิสคริมิเนนทที่ใช้ในการตัดสินใจอยู่นั่นเอง จาก

$$g_i(x) = \ln|p(\omega_i)| - \frac{N}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \ln|\sum_i| - \left[\frac{1}{2} (x - \mu_i)' \sum_i^{-1} (x - \mu_i) \right] \quad (5.48)$$

จะเห็นว่าเทอม $-\frac{N}{2} \ln(2\pi)$ จะเป็นค่าคงที่ซึ่งปรากฏอยู่ในทุกๆ $g_i(x)$ ทำให้สามารถตัดออกจากสมการได้ โดยไม่ทำให้การตัดสินใจเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ผลที่เหลือก็คือ

$$g_i(x) = \ln|p(\omega_i)| - \frac{1}{2} \ln|\sum_i| - \frac{1}{2} (x - \mu_i)' \sum_i^{-1} (x - \mu_i) \quad (5.49)$$

ในกรณีที่เรากำหนดให้ $p(\omega_i)$ คือความน่าจะเป็นของการเกิดข้อมูลประเภท ω , ขึ้น

ในภาพ มีค่าเท่ากันสำหรับทุกประเภท ดังนั้นสามารถลดรูปสมการที่ (5.48) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_i(x) = -\ln \left| \sum_i |-(x - \mu_i)' \sum_i^{-1} (x - \mu_i) \right| \quad (5.50)$$

เรียกสมการที่ได้นี้ว่า ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งเป็นฟังก์ชันดิสคริมีเนนที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกคุณภาพใดๆ

5.9 ตัวอย่างการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด เพื่อแสดงถึงขั้นตอนการวิเคราะห์และการคำนวณ โดยจะยกตัวอย่างข้อมูลทางดิจิทัล 1 คลาส จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจำนวน 4 แบนด์ ซึ่งประกอบด้วย 5 จุดภาพ

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ที่ใช้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

จุดภาพที่	แบนด์ที่ 1	แบนด์ที่ 2	แบนด์ที่ 3	แบนด์ที่ 4
1	130	57	180	205
2	165	35	215	255
3	100	25	135	195
4	135	50	200	220
5	145	65	205	235

จากตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลของคลาสที่ 1 ในรูปเมตริกซ์ขนาด 4×5 ซึ่งแนวนอนเป็นข้อมูลของแต่ละแบนด์ ได้ดังนี้

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 130 & 165 & 100 & 135 & 145 \\ 57 & 35 & 25 & 50 & 65 \\ 180 & 215 & 135 & 200 & 205 \\ 205 & 255 & 195 & 220 & 235 \end{bmatrix}$$

5.5.1 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของของจุดภาพทั้งหมดจากข้อมูลภาพแต่ละแบนด์ ทั้งหมด 4 แบนด์ ได้ดังนี้

$$\mu_i = \frac{1}{J \times K} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{jk}^i$$

เมื่อ i คือ แบนด์ของข้อมูลภาพ โดย $x_{jk}^i \in x$, $J = 1$, $K = 5$

$$\mu_1 = \frac{1}{5} (130 + 165 + 100 + 135 + 145)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_1 = 135$$

ดังนั้นจะได้เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยดังนี้

$$\mu = \begin{bmatrix} 135 \\ 46.4 \\ 187 \\ 222 \end{bmatrix}$$

5.5.2 คำนวณหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของข้อมูลตัวอย่างจากข้อมูลภาพทั้ง 4 แบนด์ ได้ดังนี้

$$\sum_i = \frac{1}{q_i - 1} \sum_{j=1}^{q_i} \{ (x_j - \mu_i)(x_j - \mu_i)'\}$$

เมื่อ i คือ แบนด์ของข้อมูลภาพ, $q_i = 5$

$$\begin{aligned} \sum &= \frac{1}{5-1} \begin{bmatrix} 130-135 & 165-135 & 100-135 & 135-135 & 145-135 \\ 57-46.4 & 35-46.4 & 25-46.4 & 50-46.4 & 65-46.4 \\ 180-187 & 215-187 & 135-187 & 200-187 & 205-187 \\ 205-222 & 255-222 & 195-222 & 220-222 & 235-222 \end{bmatrix} \times \\ &= \frac{1}{5-1} \begin{bmatrix} 130-135 & 57-46.4 & 180-187 & 205-222 \\ 165-135 & 35-46.4 & 215-187 & 255-222 \\ 100-135 & 25-46.4 & 135-187 & 195-222 \\ 135-135 & 50-46.4 & 200-187 & 220-222 \\ 145-135 & 65-46.4 & 205-187 & 235-222 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{5-1} \begin{bmatrix} -5 & 30 & -35 & 0 & 10 \\ 10.6 & -11.4 & -21.4 & 3.6 & 18.6 \\ -7 & 28 & -52 & 13 & 18 \\ -17 & 33 & -27 & -2 & 13 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -5 & 10.6 & -7 & -17 \\ 30 & -11.4 & 28 & 33 \\ -35 & -21.4 & -52 & -27 \\ 0 & 3.6 & 13 & -2 \\ 10 & 18.6 & 18 & 13 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 562.50 & 135.00 & 718.75 & 537.50 \\ 135.00 & 264.80 & 275.25 & 64.00 \\ 718.75 & 275.25 & 1,007.50 & 663.75 \\ 537.50 & 64.00 & 663.75 & 570.00 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

5.5.3 คำนวณค่าฟังก์ชันคิสคริเมเนท โดยการแทนค่าเวกเตอร์เฉลี่ยและเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมลงในสมการที่ (5.50)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ i คือ คลาสหรือประเภทของข้อมูล

x คือ เวกเตอร์ของจุดภาพที่ต้องการจำแนกคลาส

μ_i คือ เวกเตอร์ค่าเฉลี่ยของคลาส i

$|\Sigma_i|$ คือ ดีเทอร์มิแนนท์ของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของคลาส i

Σ_i^{-1} คือ อินเวอร์สเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของคลาส i

ทดสอบการจำแนกประเภทของข้อมูลโดยนำจุดภาพที่ 1 จากตารางที่ 5.1 มาทำการทดสอบ โดยการแทนค่าเวกเตอร์เฉลี่ย เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม และเวกเตอร์ของจุดภาพที่ 1 จากข้อมูลภาพ 4 แบนด์ คือ

$$x = \begin{bmatrix} 130 \\ 57 \\ 180 \\ 205 \end{bmatrix}$$

จะได้

$$g_1(x) = -\ln \begin{vmatrix} 562.50 & 135.00 & 718.75 & 537.50 \\ 135.00 & 264.80 & 275.25 & 64.00 \\ 718.75 & 275.25 & 1,007.50 & 663.75 \\ 537.50 & 64.00 & 663.75 & 570.00 \end{vmatrix} - \left\{ \begin{bmatrix} -5 & 10.6 & -7 & -17 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.0584 & 0.0052 & -0.0285 & -0.0225 \\ 0.0052 & 0.0129 & -0.0135 & 0.0093 \\ -0.0285 & -0.0135 & 0.0279 & -0.0042 \\ -0.0225 & 0.0093 & -0.0042 & 0.0268 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -5 \\ 10.6 \\ -7 \\ -17 \end{bmatrix} \right\}$$

$$= -19.0025 \times 3.2925$$

$$= -62.5649$$

5.5.4 คำนวณค่าเวกเตอร์เฉลี่ย และเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม จากขั้นตอนที่ 5.5.1 – 5.5.3 อีกครั้ง สำหรับตัวอย่างข้อมูลประเภทอื่น แล้วจึงนำมาเวกเตอร์ของข้อมูลที่ต้องการทดสอบ เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ระหว่าง $g_1(x)$ กับ $g_2(x)$ กับตามเงื่อนไขในสมการที่ (5.45) ถ้ากรณีที่มีประเภทของข้อมูลมากกว่า 2 ประเภท ก็จะทำกรคำนวณตามขั้นตอนที่ 5.5.1 – 5.5.3 ตามจำนวนของประเภทข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบว่าเวกเตอร์ของจุดภาพที่นำมาทดสอบควรถูกจำแนกให้อยู่ในคลาสใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 รูปแบบของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

แบนด์ที่	1	2	3	4
1	Cov1,1	Cov1,2	Cov1,3	Cov1,4
2	Cov2,1	Cov2,2	Cov2,3	Cov2,4
3	Cov3,1	Cov3,2	Cov3,3	Cov3,4
4	Cov4,1	Cov4,2	Cov4,3	Cov4,4

จากตารางที่ 5.2 จะแสดงรูปแบบของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม ซึ่งจะเป็นเมตริกซ์เอก
 ลักษณ์ที่มีขนาด $I \times I$ โดยเมตริกซ์ที่ตำแหน่ง (i, i) จะเป็นค่าความแปรปรวนของข้อมูลภาพถ่าย
 ดาวเทียมแต่ละแบนด์ ส่วนเมตริกซ์ที่ตำแหน่ง (i, j) จะมีค่าเท่ากับ (j, i) ซึ่งเป็นค่าความแปร
 ปรวนร่วมของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในแบนด์ใกล้เคียง

จะเห็นได้ว่าข้อมูลตัวอย่างแต่ละประเภทนั้นจะมีการคำนวณหาค่าเวกเตอร์เฉลี่ยและ
 เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของข้อมูลแต่ละประเภท ดังนั้นในการใช้งานจริงนั้นปกติแล้วจะทำ
 การจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มากกว่า 1 ประเภท จึงมีการคำนวณหาค่าเวกเตอร์เฉลี่ยและ
 เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมมากตามจำนวนประเภทข้อมูลด้วย

เมื่อคำนวณหาเวกเตอร์เฉลี่ยและค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของข้อมูลแต่ละประเภท
 ได้แล้ว จึงนำมาคำนวณหาความน่าจะเป็นจากสมการที่ (5.50) ที่จุดภาพ ณ ตำแหน่งใดๆ ในภาพ
 ถ่ายดาวเทียมหลายสเปกตรัมจะเป็นสมาชิกของคลาสที่มีความเหมือนสูงสุด

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 บทนำ

ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเป็นข้อมูลระบบกริด (Raster Data) คือจะมีลักษณะเป็นตารางกริด (Grid Cells หรือ Pixel) เล็กๆ จำนวนมาก เรียงต่อกันเป็นข้อมูลภาพ ซึ่งแต่ละกริดจะแสดงค่าการสะท้อนของพลังงานที่ออกจากวัตถุหรือพื้นที่ ดังนั้นในการจำแนกประเภทข้อมูลหรือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์จึงอาศัยหลักการที่เรียกว่า Pattern Recognition คือมีข้อมูลดิบที่ป้อนเข้าไปในรูปแบบของตารางกริด และทำการจำแนกด้วยทฤษฎีต่าง ๆ ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียมด้วยสายตา (Visual Analysis) ซึ่งต้องตีความหมายจากภาพถ่ายดาวเทียมว่าบริเวณพื้นที่ในภาพควรเป็นสิ่งใดหรือน่าจะเป็นอะไร การตีความหมายจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไม่ใช่การแปล (Translation) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีศึกษาและวิเคราะห์อย่างมีระบบซึ่งต้องอาศัยคุณสมบัติต่าง ๆ ของนักตีความหมาย เช่น ความรู้ภูมิหลัง, ความสามารถของสายตา และประสบการณ์ซึ่งอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นได้ง่าย

ในบทนี้จะนำเสนอขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ โดยจะนำทฤษฎีการประมวลผลและการจำแนกข้อมูลภาพต่างๆ ที่ได้นำเสนอในบทก่อนหน้ามาวิเคราะห์และทดสอบ

6.2 ขอบเขตของการทดลอง

ขอบเขตของการทดลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ ส่วนแรกจะเป็นการนำเอาภาพถ่ายดาวเทียมมาทำการจำแนกข้อมูลภาพออกเป็นคลาสต่างๆ โดยนำวิธีการจำแนกข้อมูลภาพด้วยการใช้ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด มาทำการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพร้อมกันหลายแบนด์ออกเป็นคลาสต่างๆ เพื่อให้ได้คุณภาพหรือผลการจำแนกข้อมูลที่มีความแม่นยำสูง โดยจะนำวิธีการจำแนกที่ต้องมีการกำกับดูแลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มาเปรียบเทียบกับผลการจำแนกกับวิธีที่นำเสนอ จากนั้นจึงทำการประเมินความแม่นยำจากผลการจำแนก ส่วนที่สองคือการนำเอาพื้นที่ของคลาสที่ได้จากการจำแนกในส่วนแรกมาทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อย โดยจะทำการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพที่ได้กับวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ทั้งหมดของภาพ จากนั้นจึงนำภาพที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมาทำการตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีการตรวจสอบความแปรปรวน

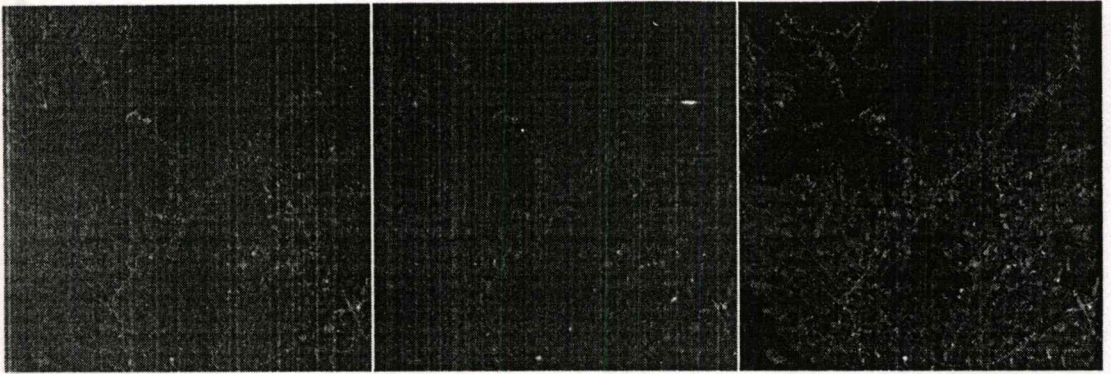
6.3 ขั้นตอนของการทดลอง

ในขั้นตอนการทดลองนี้จะนำเสนอขั้นตอนการทดลองในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับตัวจำแนกทั้งสองวิธี คือ ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด และตัวจำแนกด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีขั้นตอนในการจำแนกดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.4 จากนั้นจึงจะทำการปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสข้อมูลที่ได้จากตัวจำแนกทั้งสองวิธี โดยจะเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงคุณภาพแบบอิกวาไลซ์ในพื้นที่ทั้งหมด (GHE) และการปรับปรุงคุณภาพในพื้นที่ย่อย (LHE) ด้วยการตรวจสอบคุณภาพโดยการพิจารณาจากค่าความแปรปรวนของภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

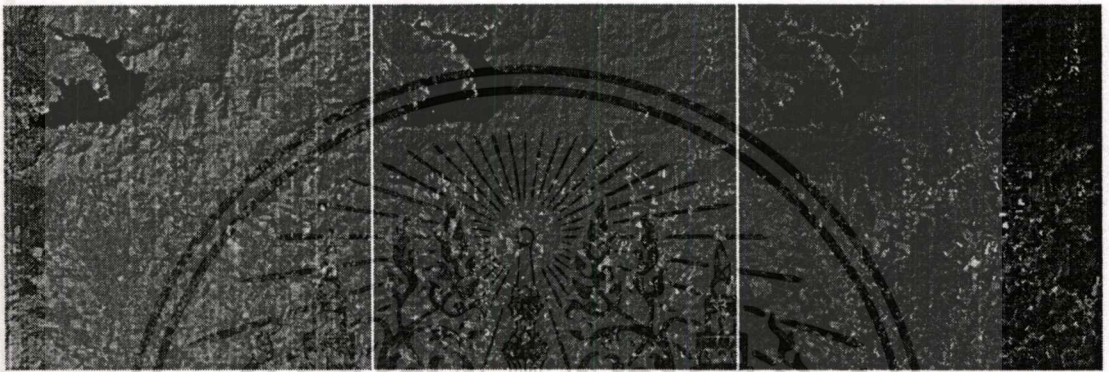
- เลือกภาพถ่ายดาวเทียมและประเภทของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์
- กำหนดพื้นที่ตัวอย่างสำหรับฝึกสอนและทดสอบ
- นำข้อมูลตัวอย่างที่เลือกไว้ มาฝึกสอนให้กับตัวจำแนก
- นำตัวจำแนกที่ผ่านการฝึกสอน มาทำการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- ปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม
- ตรวจสอบคุณภาพของการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียม

6.3.1 เลือกภาพถ่ายดาวเทียมและประเภทของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้วิเคราะห์เป็นภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 7 ระบบ ETM+ ของจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีขนาด 512x512 จุดภาพ โดยข้อมูลภาพจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ชุด คือ ชุดแรกเป็นข้อมูลภาพจำนวน 6 แบนด์ ได้แก่ แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 (รูปที่ 6.1) เหตุผลที่ไม่นำภาพแบนด์ที่ 6 มาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นภาพที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง และเป็นแบนด์ที่อยู่ในย่านคลื่นอินฟราเรดความร้อน มีขนาดของจุดภาพ 120 เมตร ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างจากภาพแบนด์อื่น คือมีรายละเอียดของภาพอยู่ที่ 30 เมตร ส่วนชุดที่สองจะเป็นการนำข้อมูลภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3 ที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของทั้ง 6 แบนด์ (รูปที่ 6.2) ซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 3 มาวิเคราะห์ โดยจะทำการจำแนกข้อมูลออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ น้ำ พื้นดิน ป่าไม้ ภูเขา ที่อยู่อาศัย สิ่งปลูกสร้าง ซึ่งแสดงการเลือกพื้นที่ตัวอย่างไว้ในรูปที่ 6.4

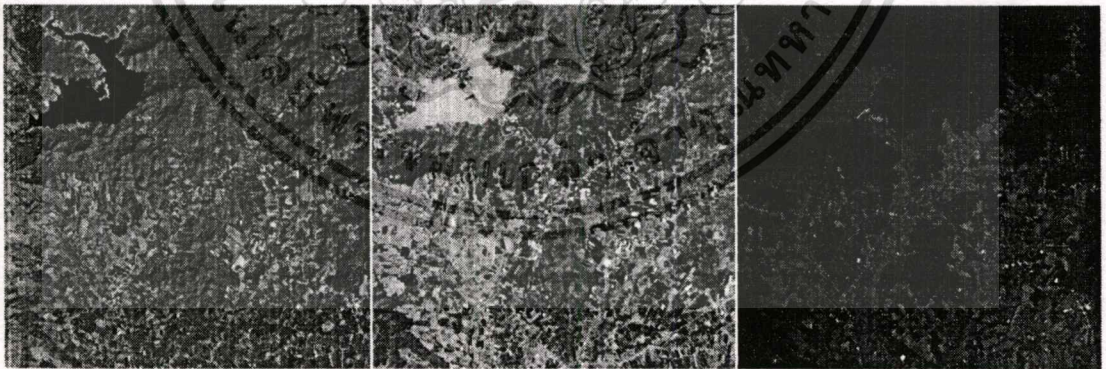


(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 2 (ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 3



(ง) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4 (จ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5 (ฉ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 7

รูปที่ 6.1 ภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี ขนาด 512x512 จุดภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 ตามลำดับ



(ก) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 2 (ค) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 3

รูปที่ 6.2 ภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี ขนาด 512x512 จุดภาพที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักให้เหลือ 3 ภาพ

6.3.2 กำหนดพื้นที่ตัวอย่างสำหรับฝึกสอนและทดสอบ

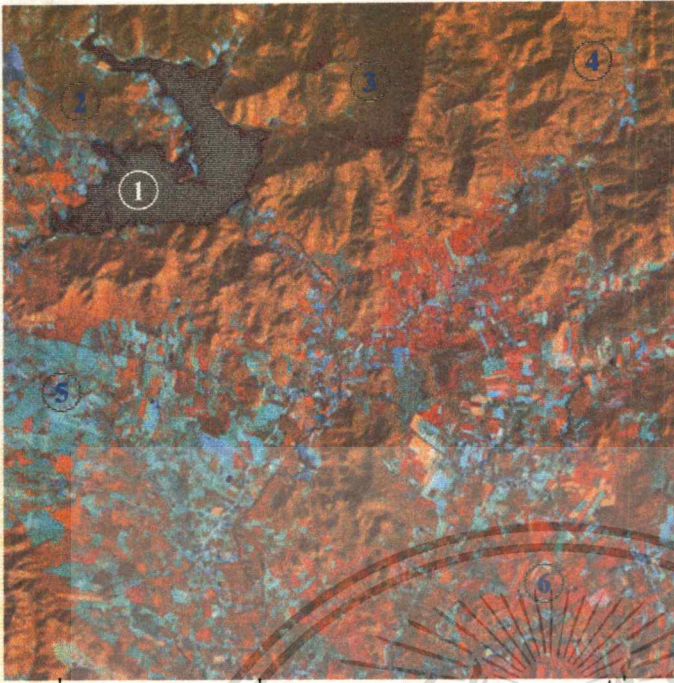
เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบกำกับดูแล จึงจำเป็นต้องมีพื้นที่ตัวอย่างป้อนให้กับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ ดังนั้นการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างนั้นถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะต้องปฏิบัติงานหลายครั้งจนกว่าจะได้พื้นที่ตัวอย่างที่ดีและเหมาะสมเป็นตัวแทนที่ดีของประเภทข้อมูลแต่ละประเภทในบริเวณที่ศึกษา โดยพื้นที่ตัวอย่างนั้นอาจได้จากการสำรวจพื้นที่, แผนที่, ภาพถ่ายทางอากาศ หรือการแปลความหมายจากภาพสีที่อยู่ในรูปของข้อมูลภาพด้วยสายตาซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4.2 ที่ผ่านมา

หลักเกณฑ์ในการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างนั้นต้องมีการพิจารณาหลายๆ องค์ประกอบร่วมกัน ได้แก่ พื้นที่ตัวอย่างของประเภทข้อมูลแต่ละประเภทต้องมีความคล้ายคลึงกันหรือมีความเป็นเอกพันธ์และสม่ำเสมอ (Homogeneity and Uniformity) ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งจำนวนของจุดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนนั้นทางทฤษฎี [6] ระบุว่าคลาสข้อมูลแต่ละประเภทควรมีจำนวนอย่างน้อย $10n$ จุดภาพ เมื่อ n แทนจำนวนแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาเลือกใช้ ดังนั้นในกรณีของภาพถ่ายดาวเทียม 6 แบนด์ จึงควรมีจำนวนจุดภาพตัวอย่างของแต่ละประเภทข้อมูลไม่น้อยกว่า 60 จุดภาพ และสำหรับกรณีของภาพองค์ประกอบหลัก ควรมีจำนวนจุดภาพไม่น้อยกว่า 30 จุดภาพ จุดภาพหรือข้อมูลในพื้นที่ตัวอย่างควรมีการแจกแจงแบบปกติในแต่ละประเภทข้อมูล ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยดูจากฮิสโตแกรมในพื้นที่ข้อมูลตัวอย่างนั้นๆ

ในที่นี้จะนำเสนอวิธีการแปลความหมายจากภาพสีที่อยู่ในรูปของข้อมูลภาพด้วยสายตา โดยการนำภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้เลือกไว้จากแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 มาผสมเป็นภาพสีผสม (False Color Composite) แบบ RGB โดยนำมาซ้อนทับกันให้แบนด์ที่ 4 แทนสีแดง (R), แบนด์ที่ 5 แทนสีเขียว (G) และแบนด์ที่ 7 แทนสีน้ำเงิน (B) และใช้โปรแกรม Adobe Photoshop โดยเลือกเมนู Image\Adjustments\Auto Levels เพื่อทำการปรับปรุงภาพให้มีความสว่างที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการแปลภาพด้วยสายตาก่อนทำการเลือกข้อมูลตัวอย่างที่จะทำการจำแนก ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 6.3

จากรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าพื้นที่สีดำนุ่มด้านซ้ายบนของภาพ (1) เป็นพื้นที่ของน้ำ พื้นที่ถัดไปทางด้านซ้าย (2) เป็นพื้นดิน พื้นที่สีน้ำตาลเข้มทางด้านขวาเป็นป่าไม้ (3) และสีน้ำตาลอ่อนถัดไปทางด้านขวาเป็นพื้นที่ของภูเขา (4) พื้นที่สีเขียวอ่อนเป็นที่อยู่อาศัย (5) และสีแดงทางด้านขวาเป็นสิ่งปลูกสร้าง (6)

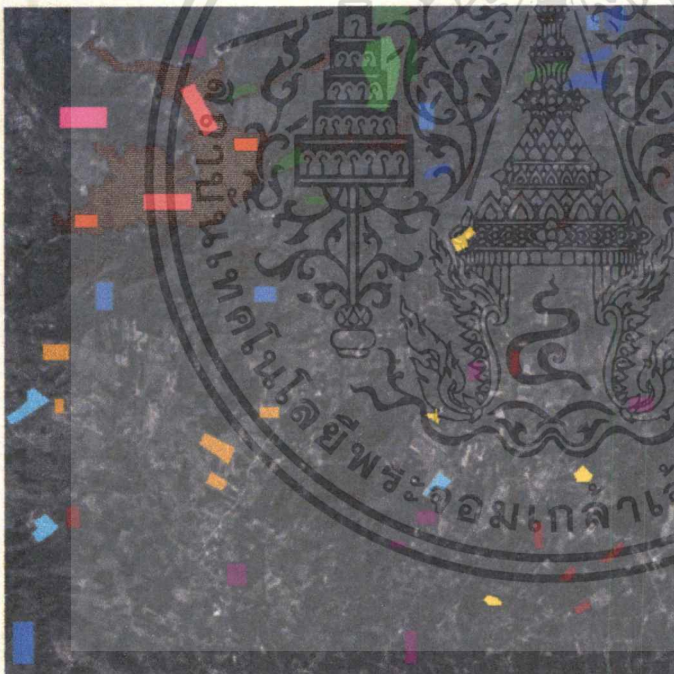
รูปที่ 6.4 แสดงบริเวณพื้นที่ที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบของประเภทข้อมูล 6 ประเภท ซึ่งแสดงบนภาพองค์ประกอบหลักที่ 1 และตารางที่ 6.1 แสดงจำนวนจุดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและการทดสอบการจำแนกของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดกับโครงข่ายประสาทเทียมในงานวิจัยครั้งนี้



พื้นที่ตัวอย่าง

1. น้ำ
2. พื้นดิน
3. ป่าไม้
4. ภูเขา
5. ที่อยู่อาศัย
6. สิ่งปลูกสร้าง

รูปที่ 6.3 ภาพสีผสมที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7



ฝึกสอน

ทดสอบ



น้ำ

พื้นดิน

ป่าไม้

ภูเขา

ที่อยู่อาศัย

สิ่งปลูกสร้าง

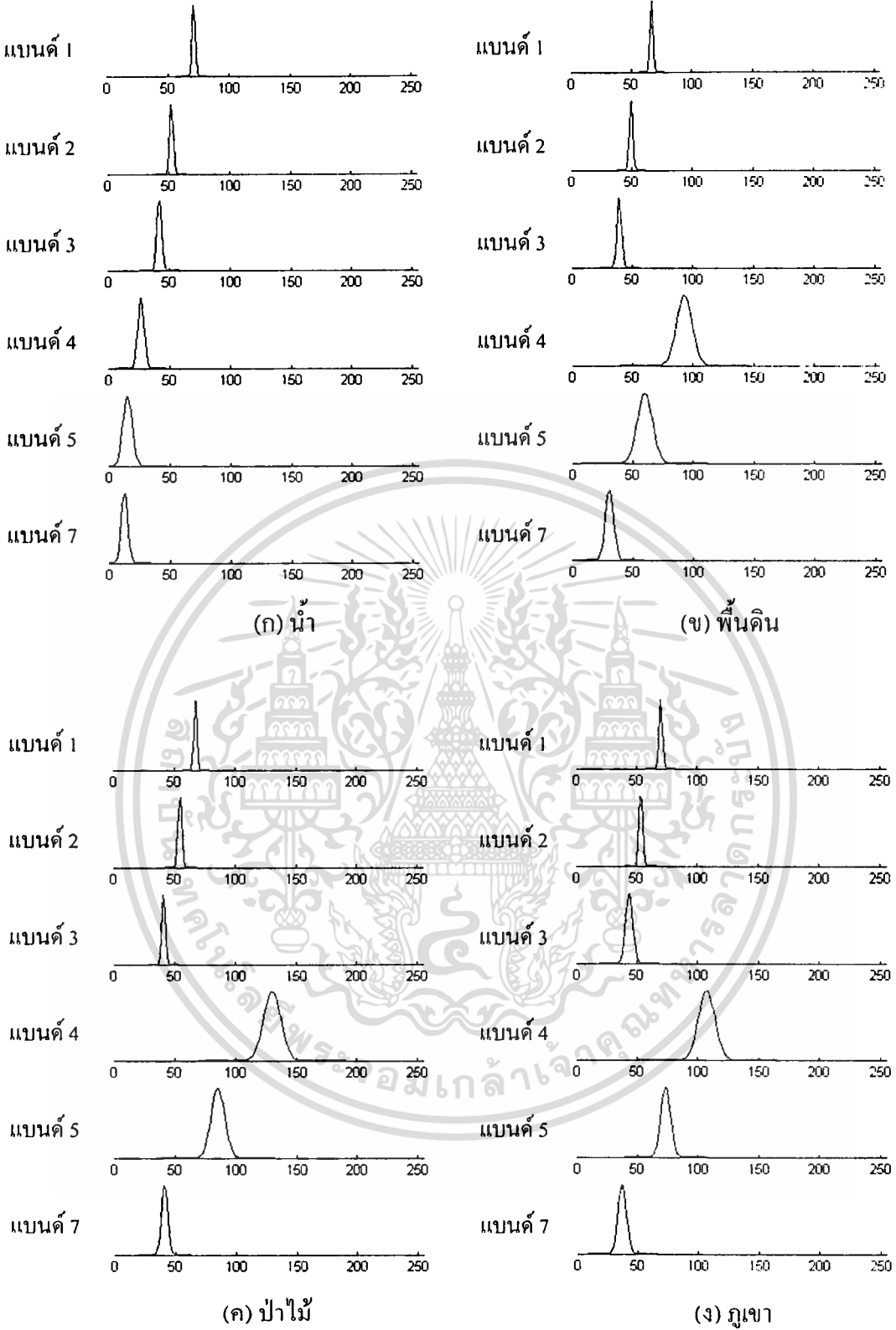
รูปที่ 6.4 บริเวณจุดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและการทดสอบ ที่แสดงบนภาพองค์ประกอบหลักที่ 1

ตารางที่ 6.1 จำนวนจุดภาพที่ใช้ในการฝึกสอนและทดสอบ

จำนวน จุดภาพ	ประเภทข้อมูล						รวม
	น้ำ	พื้นดิน	ป่าไม้	ภูเขา	ที่อยู่อาศัย	สิ่งปลูกสร้าง	
ฝึกสอน	360	1,199	964	576	696	439	4,234
ทดสอบ	991	1,324	1,339	1,583	870	717	6,824
รวม	1,351	2,523	2,303	2,159	1,566	1,156	11,058

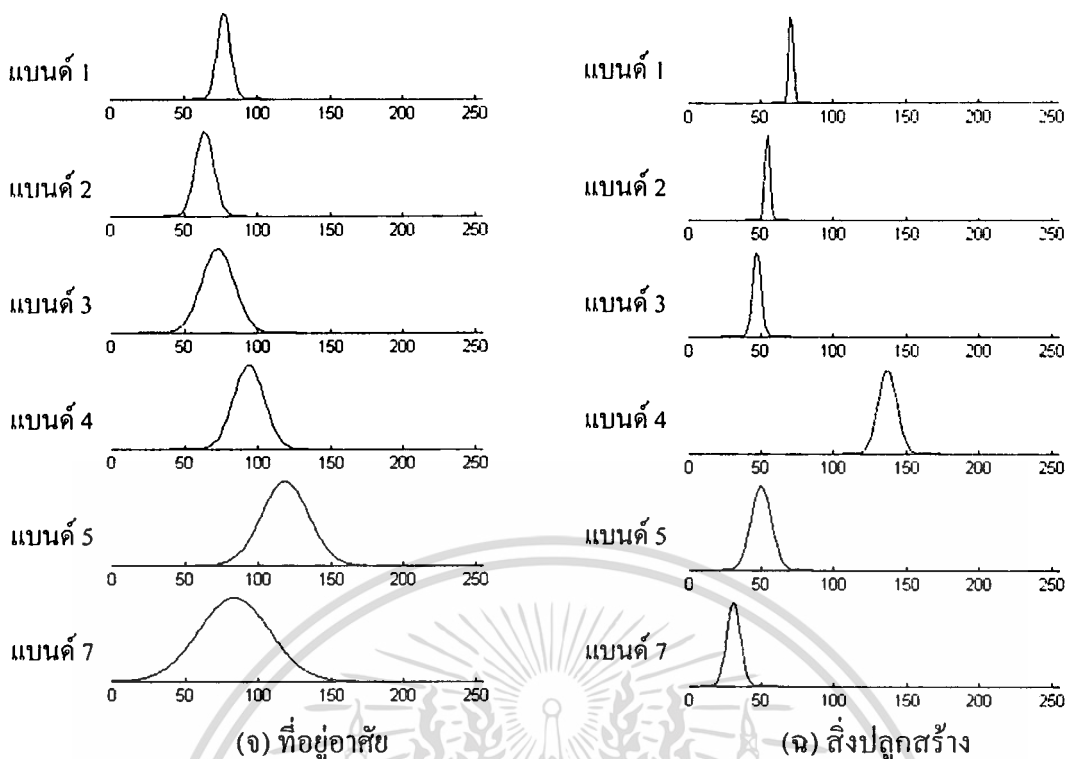
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 ฮิสโตแกรมของพื้นที่ตัวอย่างจากข้อมูลประเภทต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 ฮิสโตแกรมของพื้นที่ตัวอย่างจากข้อมูลประเภทต่างๆ (ต่อ)

จากรูปที่ 6.5 เป็นการแสดงฮิสโตแกรมของพื้นที่ตัวอย่างจากข้อมูล 6 ประเภท ได้แก่ น้ำ, พื้นดิน, ป่าไม้, ภูเขา, ที่อยู่อาศัย และสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าข้อมูลภาพแบนด์ที่ 1-3 จะมีความกว้างของช่วงฮิสโตแกรม (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่แคบและชิดกันกว่าแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 โดยการแสดงข้อมูลตัวอย่างในลักษณะนี้อาจไม่มีความชัดเจนพอที่จะนำมาช่วยสำหรับพิจารณาการจำแนกข้อมูลภาพ ดังนั้นการนำเสนอด้วยแผนภาพการกระจายของข้อมูลแบบ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 จะช่วยให้การพิจารณาทำได้ง่ายขึ้น โดยสีแดงกลุ่มของจุดภาพสีแดง คือน้ำ สีเขียว คือพื้นดิน สีน้ำเงิน คือป่าไม้ สีม่วง คือภูเขา สีฟ้า คือที่อยู่อาศัย และสีเหลือง คือสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งจะเห็นว่าการกระจายของข้อมูลระหว่างแบนด์ที่ 4-5 และระหว่างแบนด์ที่ 5-6 จะแสดงการกระจายของรูปแบบการตอบสนองเชิงคลื่นได้ดีกว่าการกระจายของข้อมูลระหว่างแบนด์ที่ 1-2 และระหว่างแบนด์ที่ 2-3

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดของจุดภาพที่ใช้ฝึกสอนของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 (ต่อ)

ข้อมูลภาพ	ประเภทข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
แบนด์ที่ 2	พื้นน้ำ	48	54	51.18	1.48
	พื้นดิน	44	54	48.59	1.43
	ป่าไม้	48	58	53.68	1.61
	ภูเขา	48	61	52.40	1.56
	ที่อยู่อาศัย	55	83	62.87	6.34
	สิ่งปลูกสร้าง	49	60	53.72	1.77
แบนด์ที่ 3	พื้นน้ำ	37	46	40.9	2.00
	พื้นดิน	33	46	38.34	1.88
	ป่าไม้	34	46	39.45	1.46
	ภูเขา	36	55	42.6	2.96
	ที่อยู่อาศัย	56	107	71.64	11.04
	สิ่งปลูกสร้าง	37	55	46.24	2.93
แบนด์ที่ 4	พื้นน้ำ	22	35	26.54	2.5
	พื้นดิน	75	117	91.84	6.39
	ป่าไม้	107	148	128.82	7.21
	ภูเขา	91	127	106.23	6.76
	ที่อยู่อาศัย	75	132	92.57	10.43
	สิ่งปลูกสร้าง	115	174	136.05	6.36
แบนด์ที่ 5	พื้นน้ำ	10	33	14.3	3.77
	พื้นดิน	44	82	59.10	6.27
	ป่าไม้	64	101	84.09	6.54
	ภูเขา	58	84	72.49	3.99
	ที่อยู่อาศัย	93	159	117.17	16.06
	สิ่งปลูกสร้าง	34	104	48.94	6.98
แบนด์ที่ 7	พื้นน้ำ	8	23	11.61	2.66
	พื้นดิน	21	42	29.42	3.47
	ป่าไม้	31	48	39.98	2.59
	ภูเขา	26	48	36.14	3.47
	ที่อยู่อาศัย	55	157	82.15	24.08
	สิ่งปลูกสร้าง	18	52	29.70	4.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 รายละเอียดของจุดภาพที่ใช้ฝึกสอนของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

ข้อมูลภาพ	ประเภทข้อมูล	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
องค์ประกอบหลักที่ 1	พื้นน้ำ	5	31	10.43	4.71
	พื้นดิน	52	101	71.62	7.79
	ป่าไม้	82	129	107.80	7.48
	ภูเขา	72	108	90.48	4.96
	ที่อยู่อาศัย	112	217	142.16	26.92
	สิ่งปลูกสร้าง	67	144	86.93	7.35
องค์ประกอบหลักที่ 2	พื้นน้ำ	187	199	196.05	1.76
	พื้นดิน	102	143	126.37	6.78
	ป่าไม้	68	115	89.61	7.16
	ภูเขา	85	147	116.10	10.72
	ที่อยู่อาศัย	150	255	186.86	18.26
	สิ่งปลูกสร้าง	42	98	69.57	10.15
องค์ประกอบหลักที่ 3	พื้นน้ำ	40	60	49.73	3.19
	พื้นดิน	13	39	29.40	2.84
	ป่าไม้	18	35	26.86	2.50
	ภูเขา	21	54	31.84	3.61
	ที่อยู่อาศัย	14	66	31.66	9.51
	สิ่งปลูกสร้าง	30	86	68.74	6.45

6.3.3.1 การฝึกสอนตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

การจำแนกข้อมูลด้วยวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จุดภาพใดๆ จะเป็นสมาชิกของข้อมูลแต่ละประเภท โดยที่ความน่าจะเป็นที่จะเป็นสมาชิกของประเภทใดมากที่สุดจุดภาพนั้นก็จะถูกตัดสินให้เป็นสมาชิกของประเภทนั้น ดังนั้นในการฝึกสอนตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งจะต้องใช้ค่าทางสถิติ เช่น เวกเตอร์ค่าเฉลี่ย ค่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งได้แสดงตัวอย่างไว้ในหัวข้อ 5.3

ตารางที่ 6.4 ค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลฝึกสอนของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7

พื้นน้ำ							พื้นดิน						
#	1	2	3	4	5	7	#	1	2	3	4	5	7
1	1.5442	0.8042	1.2075	1.1397	1.3748	0.7776	1	1.5651	0.5642	0.6739	1.7835	2.8377	1.5506
2	0.8042	2.1929	1.9568	1.4028	1.817	0.9841	2	0.5642	2.0584	1.3475	6.3959	6.6614	3.4968
3	1.2075	1.9568	4.0178	2.6925	3.6404	2.2563	3	0.6739	1.3475	3.551	2.7241	6.2102	3.7592
4	1.1397	1.4028	2.6925	6.2543	8.0408	6.2931	4	1.7835	6.3959	2.7241	40.8119	30.0311	12.1378
5	1.3748	1.817	3.6404	8.0408	14.195	8.8618	5	2.8377	6.6614	6.2102	30.0311	39.3576	19.6495
7	0.7776	0.9841	2.2563	6.2931	8.8618	7.074	7	1.5506	3.4968	3.7592	12.1378	19.6495	12.0655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลฝึกสอนของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 (ต่อ)

ป่าไม้							ภูเขา						
#	1	2	3	4	5	7	#	1	2	3	4	5	7
1	1.5434	0.4789	0.2255	1.6255	1.4011	0.5723	1	2.1093	1.1304	2.3113	-1.5911	1.929	2.3891
2	0.4789	2.5807	0.9686	7.3471	6.132	2.5309	2	1.1304	2.4455	3.3284	0.0704	3.6052	3.5458
3	0.2255	0.9686	2.1353	4.3218	3.8664	1.67	3	2.3113	3.3284	8.7655	-6.6165	6.4522	7.6698
4	1.6255	7.3471	4.3218	51.9162	34.4877	13.6732	4	-1.5911	0.0704	-6.6165	46.671	2.0994	-7.355
5	1.4011	6.132	3.8664	34.4877	30.7467	12.3357	5	1.929	3.6052	6.4522	2.0994	16.9269	10.5247
7	0.5723	2.5309	1.67	13.6732	12.3357	6.6945	7	2.3891	3.5458	7.6698	-7.355	10.5247	12.0547
ที่อยู่อาศัย							สิ่งปลูกสร้าง						
#	1	2	3	4	5	7	#	1	2	3	4	5	7
1	20.7186	27.2489	47.1973	26.7103	63.5126	102.7466	1	2.4586	1.3679	2.2044	-0.0182	3.7637	3.1711
2	27.2489	40.1886	67.3215	44.1232	94.054	146.2829	2	1.3679	3.1408	3.6665	-0.3205	6.2113	6.1224
3	47.1973	67.3215	121.9366	61.6062	161.1102	251.8176	3	2.2044	3.6665	8.607	-2.141	10.4896	9.652
4	26.7103	44.1232	61.6062	108.6861	121.0352	150.0374	4	-0.0182	-0.3205	-2.141	40.513	1.3527	-1.1867
5	63.5126	94.054	161.1102	121.0352	257.9549	364.5643	5	3.7637	6.2113	10.4896	1.3527	48.7519	28.2737
7	102.7466	146.2829	251.8176	150.0374	364.5643	579.9172	7	3.1711	6.1224	9.652	-1.1867	28.2737	22.1605

หมายถึง หมายเลขแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียม

ตารางที่ 6.5 ค่าความแปรปรวนร่วมของข้อมูลฝึกสอนของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

พื้นน้ำ			พื้นดิน			ป่าไม้					
#	1	2	3	#	1	2	3	#	1	2	3
1	22.1508	-0.5937	-1.4761	1	60.6636	-26.8171	-9.7219	1	56.8972	-44.0337	-3.3597
2	-0.5937	3.1031	0.9835	2	-26.8171	46.9186	-0.4575	2	-44.0337	51.2235	-1.1388
3	-1.4761	0.9835	10.1682	3	-9.7219	-0.4575	8.0428	3	-3.3597	-1.1388	6.2380
ภูเขา			ที่อยู่อาศัย			สิ่งปลูกสร้าง					
#	1	2	3	#	1	2	3	#	1	2	3
1	24.6325	-4.2949	3.0013	1	724.7625	338.6531	196.7961	1	53.9653	14.3213	-13.4774
2	-4.2949	116.0187	-6.3538	2	338.6531	333.2662	113.4497	2	14.3213	102.9669	-23.2038
3	3.0013	-6.3538	13.0562	3	196.7961	113.4497	90.3692	3	-13.4774	-23.2038	29.7052

หมายถึง ลำดับของภาพองค์ประกอบหลัก

6.3.3.2 การฝึกสอนตัวจำแนกด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการวิจัยและตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานในหนังสือและวารสารต่างๆ หลายเล่ม [10,11,13,15,21] เกี่ยวกับการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกประเภทของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (back-propagation neural network) โดยใช้โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 6.1 และ ทูลบ็อกโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Toolbox) เวอร์ชัน 4.0 มาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยจะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลการจำแนกข้อมูลกับจำแนกด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

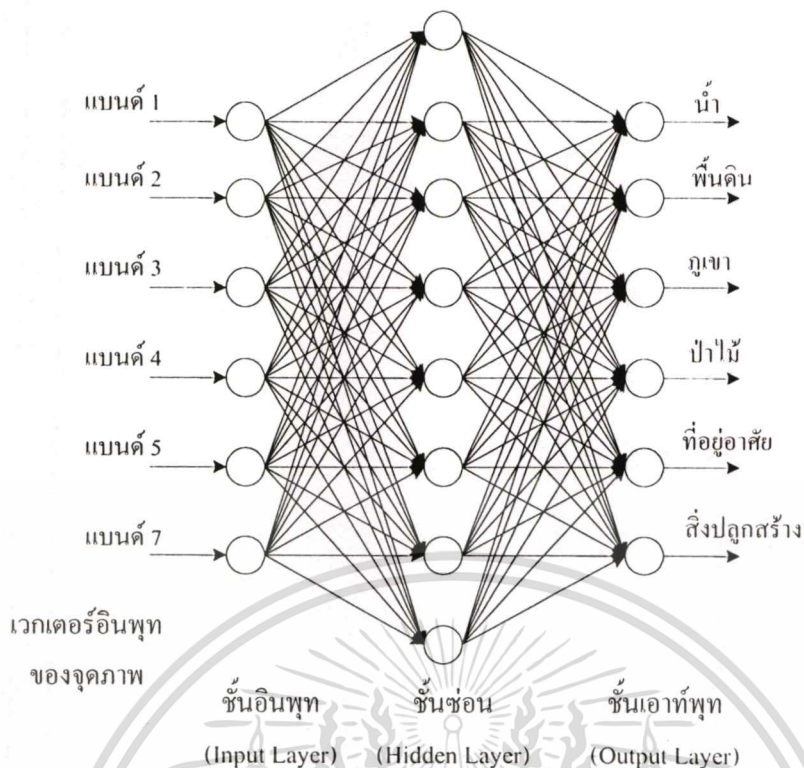
ข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้กับโครงข่ายฯ สำหรับการฝึกสอนจะเป็นข้อมูลตัวอย่างชุดเดียวกับที่ป้อนให้กับวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด คือค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่ได้จากข้อมูลตัวอย่างของแต่ละคลาสที่ตำแหน่งโคออดิเนทเดียวกันในแต่ละแบนด์ ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอวิธีต่างๆ ในการป้อนข้อมูลอินพุตให้กับโครงข่ายฯ ซึ่งแต่ละวิธีนั้นก็ยังมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

แต่สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการป้อนข้อมูลอินพุตให้กับโครงข่ายฯ โดยวิธีนอร์มอลไลซ์ (normalization coding) [13] ซึ่งเป็นวิธีการป้อนข้อมูลที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย มีความถูกต้องสูง และใช้อินพุตเพียง 1 โหนด (node) หรือเซลล์ประสาท ต่อข้อมูล 1 อินพุต หรือ 1 แบนด์ โดยแสดงในสมการที่ (6.1) ส่วนจำนวนโหนดในชั้นเอาต์พุตจะเท่ากับจำนวนประเภทข้อมูลที่ต้องการจำแนก ดังนั้นในการจำแนกประเภทข้อมูล 6 ประเภท จากข้อมูลภาพถ้วยดาวเทียม จำนวน 6 แบนด์ จึงต้องใช้อินพุต 6 โหนด และเอาต์พุต 6 โหนด ส่วนจำนวนของชั้นซ่อน (hidden layer) และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนนั้น ไม่ปรากฏงานวิจัยใครระบุไว้อย่างแน่นอนว่าควรมีจำนวนชั้นเท่าใด และต้องมีจำนวนเซลล์ประสาทที่เซลล์ในแต่ละชั้น โดยมากผู้วิจัยจะทำการทดลองเปลี่ยนจำนวนชั้นและจำนวนเซลล์ประสาทของชั้นซ่อน เพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อให้โครงข่ายฯ สามารถแยกประเภทข้อมูลได้อย่างถูกต้องที่สุด ซึ่งในที่นี้กำหนดให้จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเท่ากับ 8 โหนด

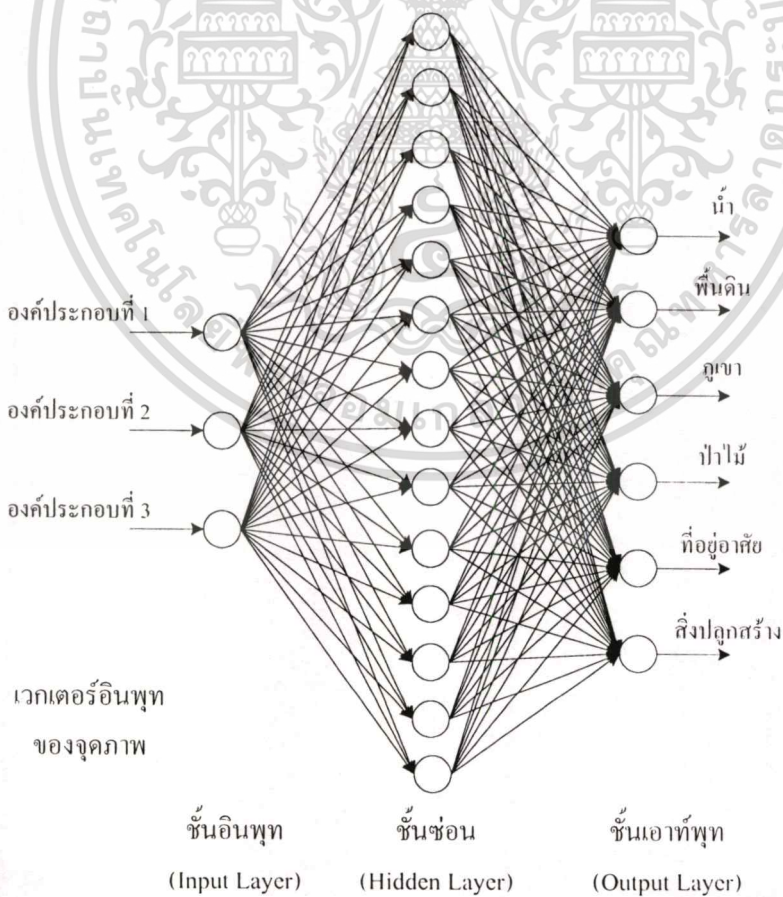
$$X_{nor} = \frac{X_f - X_{f\min}}{X_{f\max} - X_{f\min}}, 0 \leq X_{nor} \leq 1 \quad (6.1)$$

เมื่อ X_{nor} คือ ข้อมูลที่ผ่านการนอร์มอลไลซ์เพื่อป้อนให้กับชั้นอินพุตของโครงข่าย
 X_f คือ ค่าระดับสีเทาที่ได้จากจุดภาพของแต่ละแบนด์
 $X_{f\min}$ คือ ค่าต่ำสุดของข้อมูลภาพระดับสีเทา ซึ่งเท่ากับ 0
 $X_{f\max}$ คือ ค่าสูงสุดของข้อมูลภาพระดับสีเทา ซึ่งเท่ากับ 255

การฝึกสอนสำหรับโครงข่ายฯ นี้จะเป็นการฝึกสอนแบบกำกับดูแล ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่าของข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ต้องการ (Target Output) ให้กับโครงข่ายฯ โดยทำการป้อนอินพุตจากข้อมูลตัวอย่างของข้อมูลแต่ละประเภทที่ผ่านขั้นตอนการนอร์มอลไลซ์ให้กับเซลล์ประสาทในชั้นอินพุต และต้องกำหนดให้เอาต์พุตของเซลล์ประสาทที่ชั้นเอาต์พุตของประเภทที่ต้องการมีค่าเป็น 1 ส่วนที่เซลล์ประสาทในชั้นเอาต์พุตที่เหลือให้มีค่าเป็น 0 จากนั้นโครงข่ายฯ จะทำการประมวลผลจนได้ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายฯ ขึ้นมาชุดหนึ่งซึ่งจะถูกเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ ถ้าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นยังสูงอยู่ โครงข่ายฯ จะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก และทำการประมวลผลในรูปแบบเดิมอีกครั้งจนกว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงจนถึงจุดที่ยอมรับได้ จึงหยุดประมวลผลและนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพต่อไป



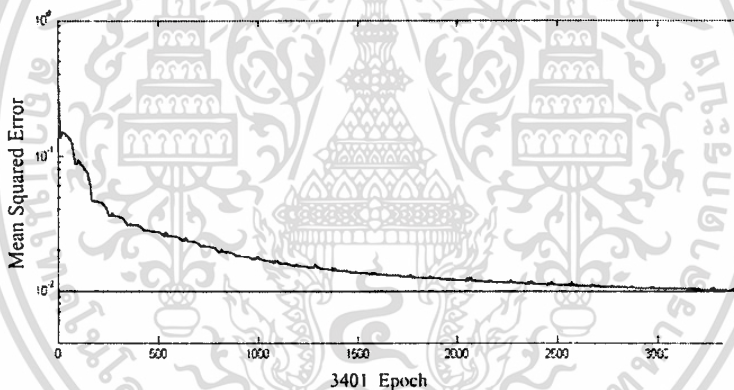
รูปที่ 6.7 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพ 6 แบนด์



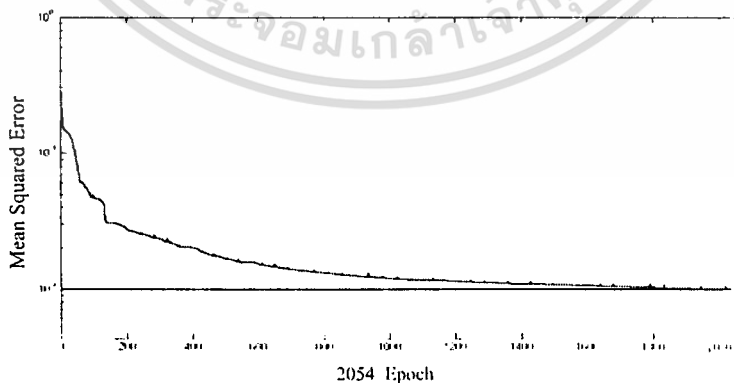
รูปที่ 6.8 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพ 3 องค์ประกอบหลัก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.7 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประเทียมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 โดยมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นอินพุท ชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุท เท่ากับ 6, 8 และ 6 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 6.8 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประเทียมที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3 โดยมีจำนวนเซลล์ประสาทในชั้นอินพุทในชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุท เท่ากับ 3, 14 และ 6 ตามลำดับ สาเหตุที่จำนวนเซลล์ประสาทในชั้นซ่อนของโครงข่ายฯ ทั้งสองไม่เท่ากันเพื่อประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลของแต่ละโครงข่ายฯ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับโครงข่ายฯทั้งสอง คือ ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) ที่ใช้สำหรับชั้นอินพุทและชั้นซ่อน คือ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid) ซึ่งมีช่วงปิด $[0,1]$ อัตราการเรียนรู้ (η) เท่ากับ 1 สัมประสิทธิ์โมเมนตัม (α) เท่ากับ 0.8 และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.01

รูปที่ 6.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการฝึกสอนกับค่าความผิดพลาดของโครงข่ายฯ ของการฝึกสอนภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 และภาพองค์ประกอบหลักที่ 1-3 โดยจำนวนรอบและระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนเท่ากับ 3401 รอบ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 25 นาที และ 2054 รอบ ใช้เวลา 37 นาที ตามลำดับ



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5, และ 7



(ข) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 1-3

รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการฝึกสอนกับค่าผลรวมความผิดพลาดของโครงข่ายประสาทเทียม

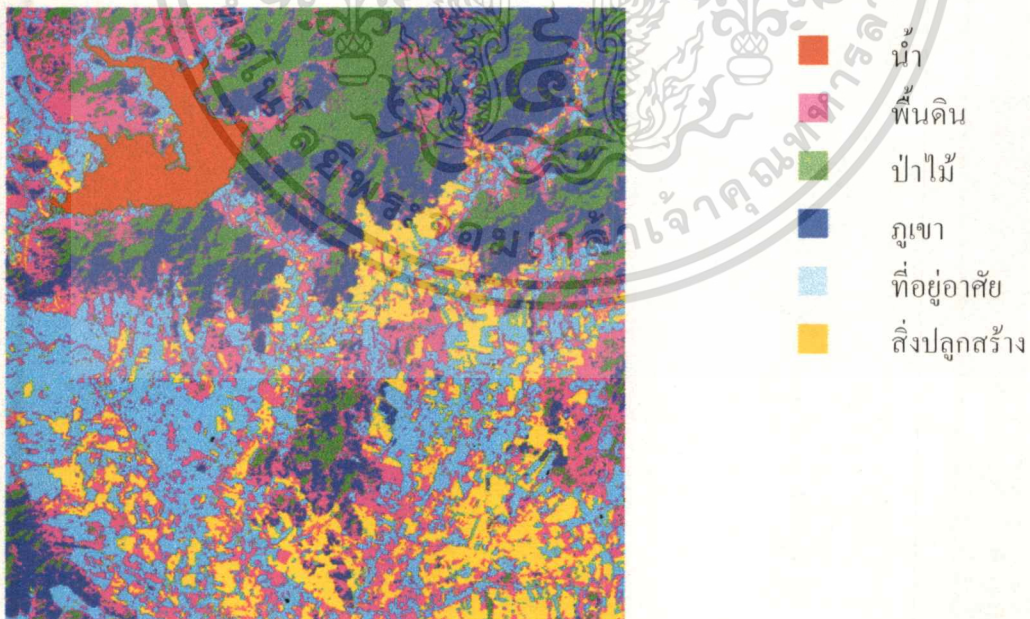
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ผลการจำแนกข้อมูลภาพ

ผลการจำแนกข้อมูลภาพจะแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้นำมาทำการวิเคราะห์ โดยนำตัวจำแนกที่ได้ทำการฝึกสอนไว้แล้วมาทำการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ตัวอย่างและพื้นที่ที่ต้องการทดสอบจากตารางที่ 6.1 โดยจะใช้ตารางเมตริกซ์ของค่าความผิดพลาด เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการจำแนกข้อมูลภาพในแต่ละประเภท จากนั้นจะแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการจำแนกประเภทจากคลาสที่ได้ทำการเลือกไว้

ตารางที่ 6.6 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพแบบคี่ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7

ประเภท	ผลการจำแนกข้อมูล						
	น้ำ	พื้นดิน	ป่าไม้	ภูเขา	ที่อยู่อาศัย	สิ่งปลูกสร้าง	รวม
น้ำ	991	0	0	0	0	0	991
พื้นดิน	0	1,322	4	3	0	0	1,329
ป่าไม้	0	0	1,217	15	0	0	1,232
ภูเขา	0	2	98	1,307	0	6	1,413
ที่อยู่อาศัย	0	0	10	9	871	0	890
สิ่งปลูกสร้าง	0	0	10	249	0	711	970
รวม	991	1,324	1,339	1,583	871	717	6,825
ความถูกต้อง (%)	100.00	99.85	90.89	82.56	100.00	99.16	94.05

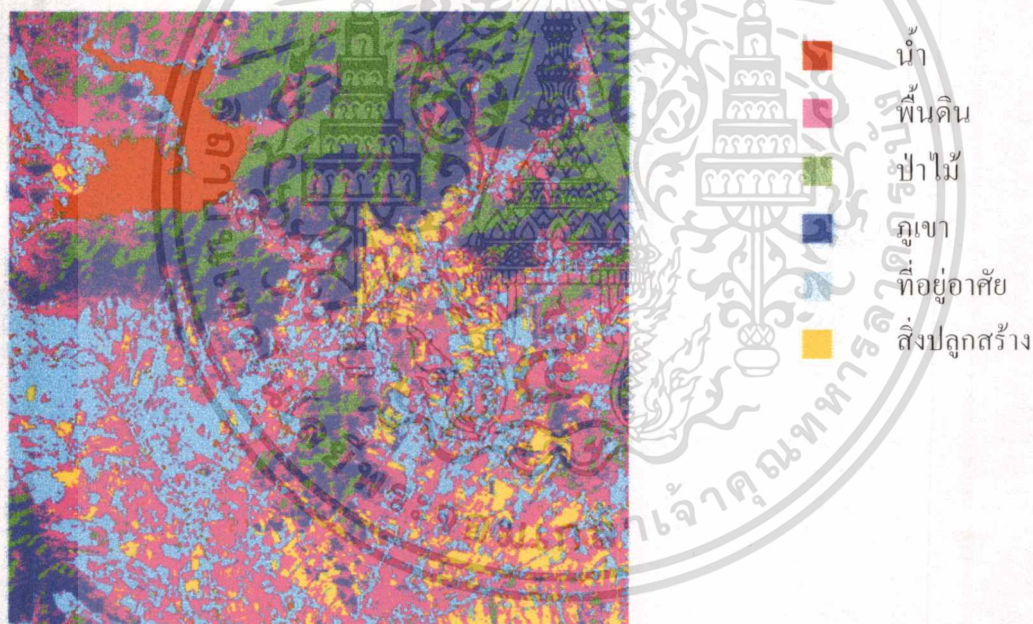


รูปที่ 6.10 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพแบบคี่ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพ
แบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7

ประเภท	ผลการจำแนกข้อมูล						
	น้ำ	พื้นดิน	ป่าไม้	ภูเขา	ที่อยู่อาศัย	สิ่งปลูกสร้าง	รวม
น้ำ	991	0	0	2	0	0	993
พื้นดิน	0	1,324	8	5	0	0	1,337
ป่าไม้	0	0	1,270	23	0	0	1,293
ภูเขา	0	0	50	1,533	0	46	1,629
ที่อยู่อาศัย	0	0	3	3	871	0	877
สิ่งปลูกสร้าง	0	0	8	17	0	671	696
รวม	991	1,324	1,339	1,583	871	717	6,825
ความถูกต้อง (%)	100.00	100.00	94.85	96.84	100.00	93.58	97.58

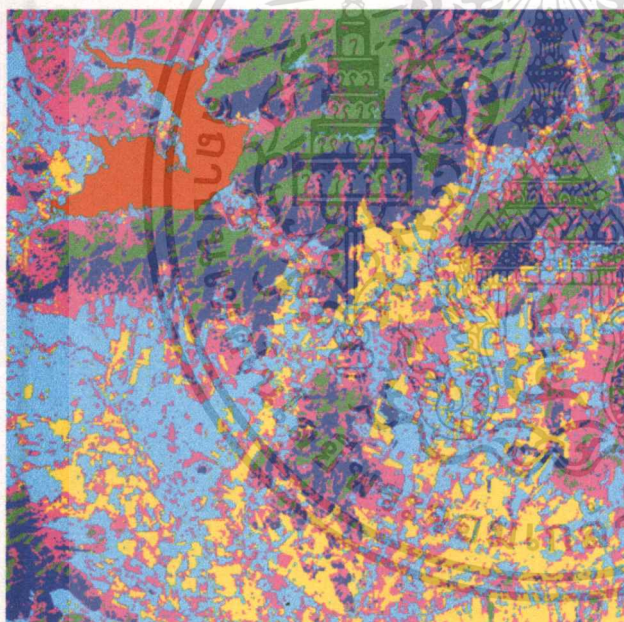


รูปที่ 6.11 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.8 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

ประเภท	ผลการจำแนกข้อมูล						
	น้ำ	พื้นดิน	ป่าไม้	ภูเขา	ที่อยู่อาศัย	สิ่งปลูกสร้าง	รวม
น้ำ	991	0	0	0	0	0	991
พื้นดิน	0	1,305	1	2	0	0	1,308
ป่าไม้	0	0	1,193	15	0	0	1,208
ภูเขา	0	2	127	1,237	0	2	1,368
ที่อยู่อาศัย	0	17	17	19	871	0	924
สิ่งปลูกสร้าง	0	0	1	310	0	715	1,026
รวม	991	1,324	1,339	1,583	871	717	6,825
ความถูกต้อง (%)	100	98.56	89.10	78.14	100	99.72	92.48

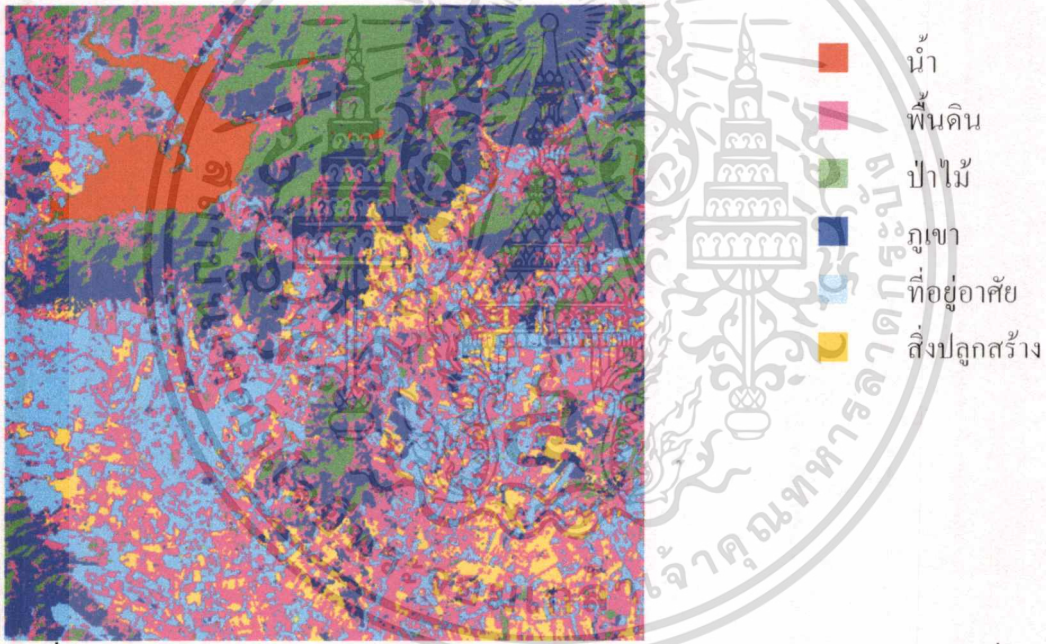


รูปที่ 6.12 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.9 ผลการจำแนกข้อมูลในพื้นที่ทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

ประเภท	ผลการจำแนกข้อมูล						
	น้ำ	พื้นดิน	ป่าไม้	ภูเขา	ที่อยู่อาศัย	สิ่งปลูกสร้าง	รวม
น้ำ	991	2	0	0	0	0	993
พื้นดิน	0	1,322	6	7	0	0	1,335
ป่าไม้	0	0	1,305	40	0	1	1,346
ภูเขา	0	0	24	1,490	2	35	1,551
ที่อยู่อาศัย	0	0	4	1	869	0	874
สิ่งปลูกสร้าง	0	0	0	45	0	681	726
รวม	991	1,324	1,339	1,583	871	717	6,825
ความถูกต้อง (%)	100.00	99.85	97.46	94.13	99.77	94.98	97.55



รูปที่ 6.13 ภาพผลการจำแนกคลาสด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 6.10 เป็นการสรุปผลการจำแนกข้อมูลภาพระหว่าง ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนก และเวลาที่ใช้ในการจำแนก ซึ่งเวลาที่ใช้ในการจำแนกในที่นี้ หมายถึง ระยะเวลาที่ได้ทำการจำแนกพื้นที่ฝึกสอนพื้นที่ทดสอบ และจำแนกข้อมูลทั้งภาพ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการจำแนกของภาพองค์ประกอบหลักมีค่าที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียม 6 แบนด์ ในขณะที่ระยะเวลาที่ใช้ในการจำแนกน้อยกว่า เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมากกว่าวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการจำแนกมากกว่า และเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนกด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในพื้นที่ทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ฝึกสอน มากกว่าวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

ตารางที่ 6.10 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำในการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีต่างๆ

ตัวจำแนกที่ใช้	ข้อมูลภาพ	พื้นที่ที่ใช้ในการจำแนก	ความถูกต้อง (%)	เวลาที่ใช้
ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด	ภาพแบนด์ที่ 1,2,3,4,5 และ 7	ฝึกสอน	96.81 %	12 นาที
		ทดสอบ	94.05 %	
	องค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3	ฝึกสอน	95.91 %	9 นาที
		ทดสอบ	92.48 %	
โครงข่ายประสาทเทียม	ภาพแบนด์ที่ 1,2,3,4,5 และ 7	ฝึกสอน	97.64 %	1 ชั่วโมง
		ทดสอบ	97.58 %	25 นาที
	องค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3	ฝึกสอน	96.62 %	37 นาที
		ทดสอบ	97.55 %	

6.5 การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

เมื่อได้ทำการจำแนกคลาสต่างๆ ของภาพได้แล้ว จึงจะทำการปรับปรุงคุณภาพของคลาสในพื้นที่ย่อย (Local Histogram Equalization) ที่ได้จำแนกไว้

การทำฮิสโตแกรมอีควาไลเซชัน [14] เป็นการอาศัยหลักการทางสถิติโดยการใช้หลักการกระจายความถี่เพื่อปรับปรุงภาพ โดยการยืดคอนทราสต์ของภาพเป็นวิธีการลดค่าของระดับสีเทาเพื่อให้ได้รูปภาพที่มีการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น ซึ่งในที่นี้จะนำเสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการทำฮิสโตแกรมอีควาไลเซชันในพื้นที่ทั้งหมด และในพื้นที่ย่อย

ให้ $X = \{x_{ij}\}$ แสดงถึงภาพที่มีค่าระดับสีเทา L ระดับ และ x_{ij} แสดงถึงค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่ตำแหน่งพิกัด (i, j) โดยที่ $x(i, j) \in \{0, 1, \dots, 255\}$

ขั้นตอนการทำฮิสโตแกรมอีควาไลเซชันในพื้นที่ทั้งหมด มีดังนี้

6.5.1 ทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น (Probability Density Function:PDF) ของค่าความเข้มของจุดภาพ ซึ่งแทนด้วยตัวแปร k ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$p(k) = \frac{n_k}{N}$$

โดยที่ n_k แทนจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพที่มีค่าระดับสีเทาเป็น k โดย $k = 0, 1, \dots, L-1$ และ N เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพที่จะทำการปรับปรุง เมื่อนำค่า n_k ไปทำการพล็อตร่วมกับ X_k จะได้กราฟซึ่งเรียกว่าการฮิสโตแกรมภาพ

6.5.2 คำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นสะสม (Cumulative Distribution Function:CDF) ของ PDF

$$c(k) = \sum_{i=0}^k p(k)$$

โดยกำหนดให้ $c(L-1) = 1$

6.5.3 ทำการแปลงเป็นฟังก์ชันฮิสโตแกรมอิกวาไลเซชัน

$$f(X_k) = X_0 + (X_{L-1} - X_0)c(k)$$

โดยที่ X_0 เป็นค่าต่ำสุดของค่าระดับสีเทา และ X_{L-1} เป็นค่าสูงสุดของค่าระดับสีเทา

6.5.4 ทำการอิกวาไลซ์ทั้งหมดจากภาพที่ได้

$$Y = \{y(i, j)\} = f(X) = \{f(x(i, j)) \mid \forall x(i, j) \in X\}$$

ข้อเสียของการทำฮิสโตแกรมอิกวาไลเซชันในพื้นที่ทั้งหมดของภาพ คือการอิมด้วงของค่าระดับสีเทา จากปัญหาดังกล่าวเมื่อทำการอิกวาไลซ์ภาพจะมีข้อมูลบางส่วนไม่ได้รับการปรับปรุงเนื่องจากเกิดการอิมด้วง ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดย นำภาพที่จะทำการอิกวาไลซ์มาทำการจำแนกหรือแยกกลุ่มข้อมูลภาพ จากนั้นนำวิธีการฮิสโตแกรมอิกวาไลเซชันมาประยุกต์ใช้กับภาพในพื้นที่ย่อยที่ถูกจำแนกไว้แล้ว ซึ่งเรียกว่าการทำฮิสโตแกรมอิกวาไลเซชันในพื้นที่ย่อย

ในการทำฮิสโตแกรมอิกวาไลเซชันในพื้นที่ย่อย ภาพ X ที่ถูกจำแนกหรือแยกส่วนภาพ โดย $X = \{x_1, x_2, \dots, x_c\}$ เมื่อ c เป็นจำนวนของประเภทข้อมูล และค่าระดับสีเทาที่ $x_r = \{X_{r0}, X_{r1}, \dots, X_{rn}\} \equiv \mathbf{R}^r$ โดยที่ $r = 1, 2, \dots, c$

$$X = x_1 \cup x_2 \cup \dots \cup x_c$$

$$x_r = \{x(i, j) \mid x(i, j) \in \mathbf{R}^r, \forall x(i, j) \in X\},$$

$$x_{r-1} \cap x_r = 0, \quad \mathbf{R}^r \cap \mathbf{R}^{r-1} = 0$$

ค่า PDF ของภาพในพื้นที่ย่อย $\{x_1, x_2, \dots, x_c\}$ คือ

$$p_r(k_r) = \frac{n_{rk}}{N_r}$$

ค่า CDF ของ PDF คือ

$$c_r(k_r) = \sum_{i=0}^{k_r} p_r(k_r)$$

โดยที่ $0 \leq c_1(k_1), c_1(k_2), \dots, c_c(k_c) \leq 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนองเดียวกันกับกรณีของการทำฮิสโตแกรมอีควาไลเซชันในพื้นที่ทั้งหมด ทำการแปลงเป็นฟังก์ชันฮิสโตแกรมอีควาไลเซชันได้โดย

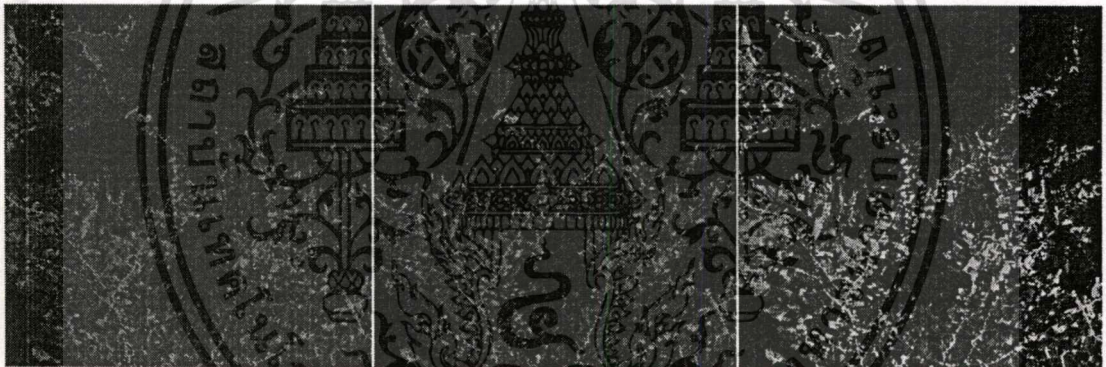
$$f_r(X_{rk}) = X_{r0} + (X_{rk} - X_{r0})c_r(k_r)$$

โดยที่ $f_r(X_{rk}) = f_r(x(i, j)) | x(i, j) \in \mathbf{R}^r, \forall x(i, j) \in \mathbf{X}$

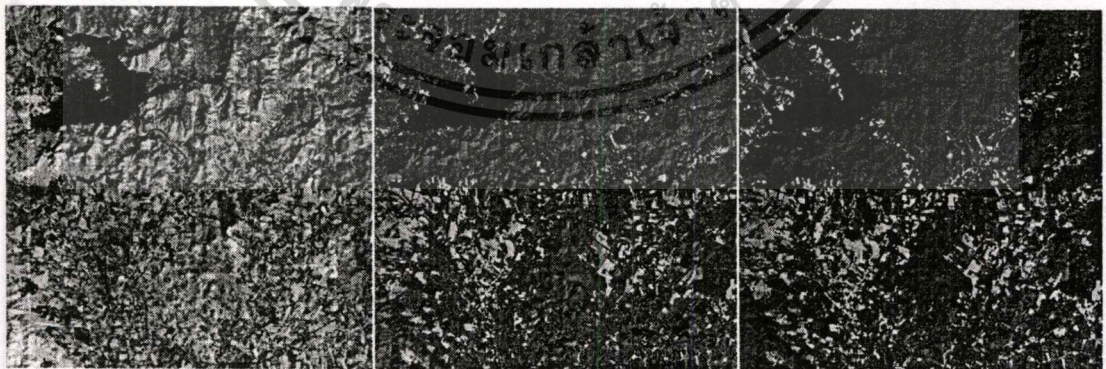
จากการแปลงฟังก์ชันนำมาประยุกต์ใช้กับการภาพในพื้นที่ย่อย การทำอีควาไลเซชันจะอิสระจากกัน ดังนั้นสามารถทำอีควาไลเซชันภาพในพื้นที่ย่อยได้ดังนี้

$$\mathbf{Y} = \{y(i, j)\} = f_1(X_{1k}) \cup f_2(X_{2k}) \cup \dots \cup f_c(X_{ck})$$

จากทฤษฎีและขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมอีควาไลเซชันที่ได้นำเสนอสามารถทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อยได้ดังรูปที่ 6.14 - 6.17



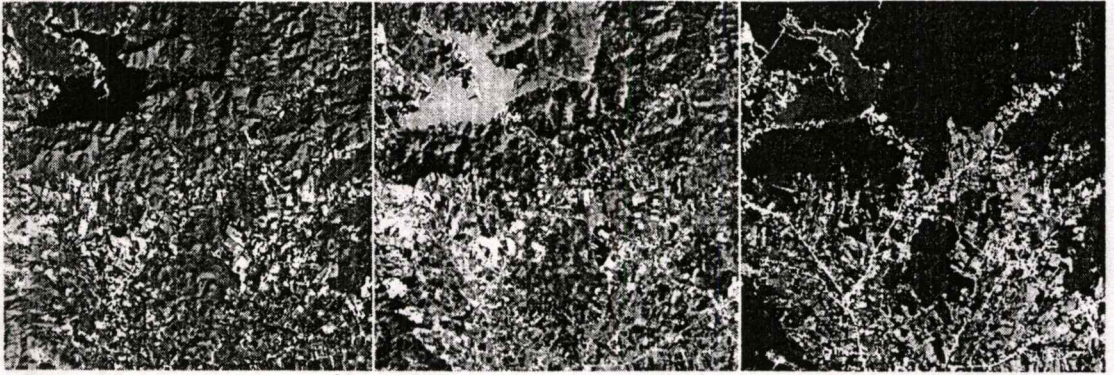
(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 2 (ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 3



(ง) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4 (จ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5 (ฉ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 7

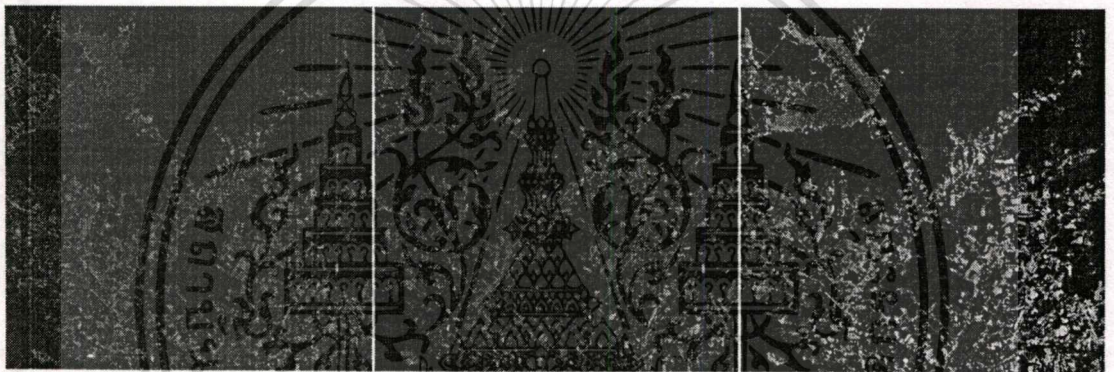
รูปที่ 6.14 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี
ขนาด 512x512 จุดภาพ โดยวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ของภาพแบนด์ที่
1, 2, 3, 4, 5 และ 7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 2 (ค) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 3
รูปที่ 6.15 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี

ขนาด 512x512 จุดภาพ โดยวิธีตัวจําแนกความเหมือนสูงสุด ของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

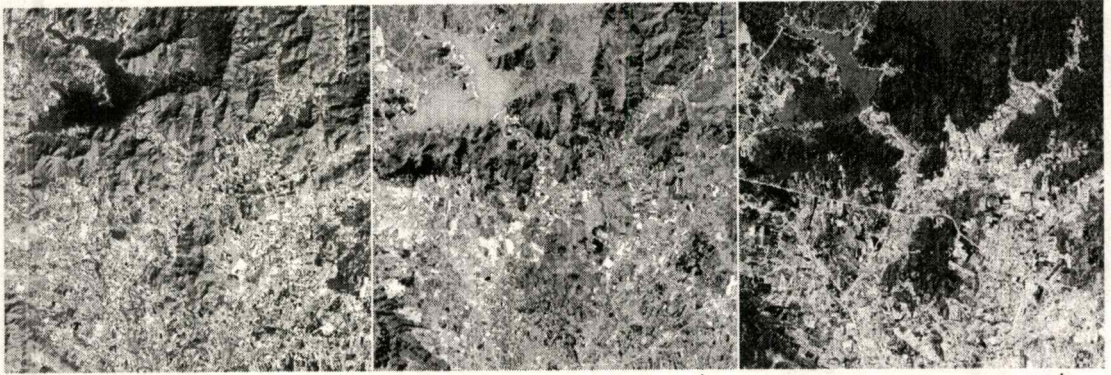


(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 2 (ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 3



(ง) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4 (จ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5 (ฉ) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 7
รูปที่ 6.16 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี

ขนาด 512x512 จุดภาพ โดยวิธีจําแนกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ของภาพแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 ตามลำดับ



(ก) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 1 (ข) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 2 (ค) ภาพองค์ประกอบหลักที่ 3
รูปที่ 6.17 ผลการปรับเรียบภายในพื้นที่ย่อยของภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดกาญจนบุรี
ขนาด 512x512 จุดภาพ โดยวิธีจำแนกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ของภาพองค์
ประกอบหลัก ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพที่ผ่าน GHE

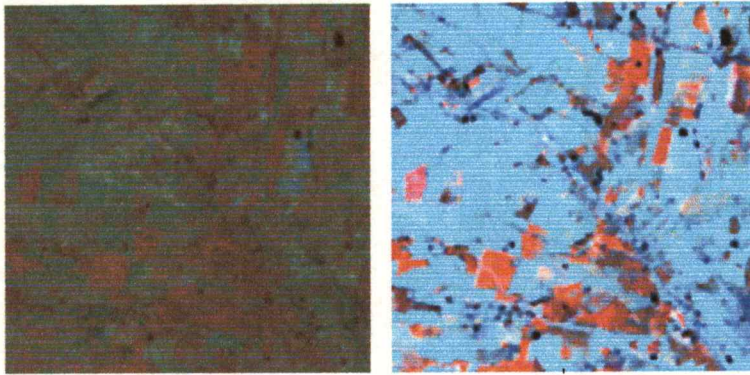


(ค) ภาพ MLC ที่ผ่าน LHE

(ง) ภาพ NN ที่ผ่าน LHE

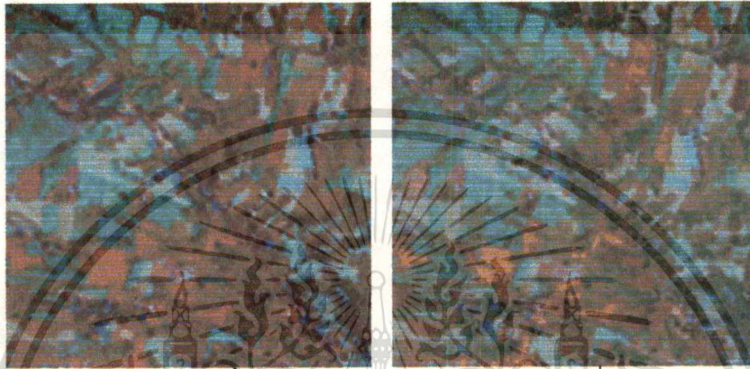
รูปที่ 6.18 ภาพสีผสมของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 ขนาด 512x512 จุดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพที่ผ่าน GHE



(ค) ภาพ MLC ที่ผ่าน LHE

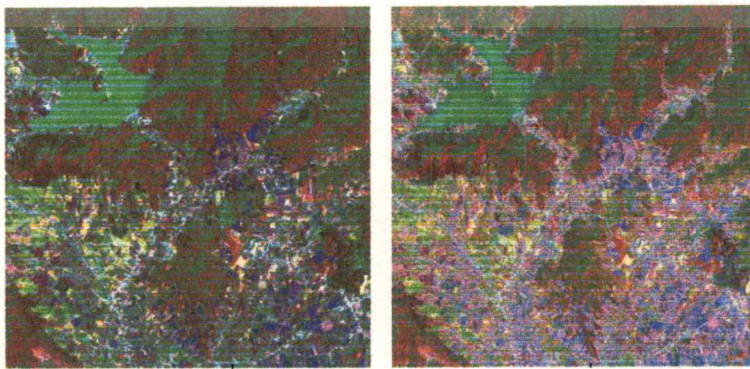
(ง) ภาพ NN ที่ผ่าน LHE

รูปที่ 6.19 เปรียบเทียบภาพขยายจากภาพสีผสมของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพที่ผ่าน GHE



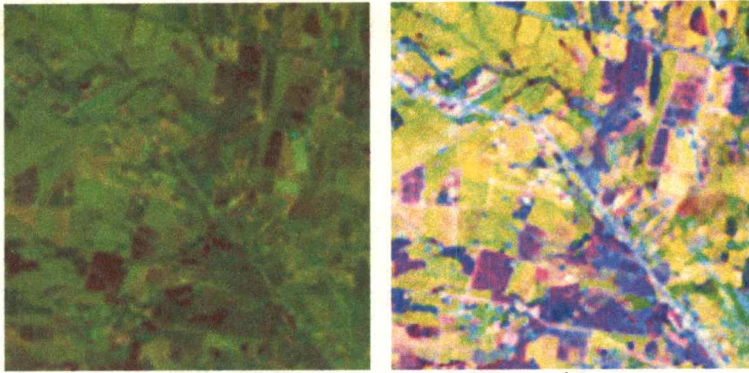
(ค) ภาพ MLC ที่ผ่าน LHE

(ง) ภาพ NN ที่ผ่าน LHE

รูปที่ 6.20 ภาพสีผสมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

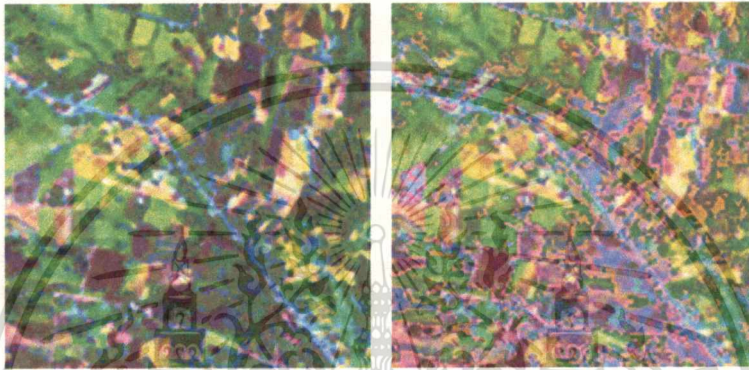
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพที่ผ่าน GHE



(ค) ภาพ MLC ที่ผ่าน LHE

(ง) ภาพ NN ที่ผ่าน LHE

รูปที่ 6.21 เปรียบเทียบภาพขยายจากภาพสีผสมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3

6.6 การตรวจสอบคุณภาพของภาพ

ความสำเร็จและความถูกต้องของการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมหลายเสปกตรัมนั้นสามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการตรวจสอบคุณภาพของภาพ ซึ่งจากขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้นำเสนอไปแล้วนั้น จะนำภาพที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพได้โดยวิธีการหาค่าความแปรปรวน [16] ซึ่งในการตรวจสอบคุณภาพด้วยการหาค่าความแปรปรวนนั้นจะพิจารณาข้อมูลภาพ 3 ส่วน คือ ในส่วนรายละเอียด ราบเรียบ และขอบภาพ ซึ่งจาก [16] ค่าความแปรปรวนของส่วนรายละเอียดของภาพควรมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ส่วนราบเรียบและขอบภาพควรมีค่าน้อยกว่าหรือเท่าเดิม

ค่าเฉลี่ย μ_i เป็นค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาของภาพ

$$\mu_i = \frac{1}{J \times K} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{jk}^i, \quad x_{jk}^i \in X_i$$

ค่าความแปรปรวน σ_i^2 เป็นค่ากำลังสองของผลต่างระหว่างค่าระดับสีเทาของจุดภาพกับค่าเฉลี่ย และหารด้วยจำนวนจุดภาพทั้งหมด

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{J \times K} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (\mu_i - x_{jk}^i)^2$$

ตารางที่ 6.11 ค่าความแปรปรวนของภาพถ่ายดาวเทียม แบนด์ที่ 4, 5 และ 7 ที่ผ่านการอ็ควาไลซ์ฮิสโตแกรมแบบต่างๆ

กำหนดกลุ่มภาพ		ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ผ่าน GHE	ภาพที่ผ่าน LHE แบบ NN/MLC
แบนด์ 4	รายละเอียด	24.18	431.89	263.26/350.80
	ราบเรียบ	352.82	17.88	323.38/50.81
	ขอบภาพ	1,270.07	3,913.94	897.46/1,395.23
แบนด์ 5	รายละเอียด	120.47	603.86	883.28/1,856.16
	ราบเรียบ	386.97	1,190.25	557.60/345.22
	ขอบภาพ	767.28	3,814.87	879.37/687.95
แบนด์ 7	รายละเอียด	243.72	625.89	1,581.22/2,223.19
	ราบเรียบ	138.28	2,653.61	421.42/187.55
	ขอบภาพ	222.76	4,798.26	645.93/239.51

ตารางที่ 6.12 ค่าความแปรปรวนของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3 ที่ผ่านการอ็ควาไลซ์ฮิสโตแกรมแบบต่างๆ

กำหนดกลุ่มภาพ	ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ผ่าน GHE	ภาพที่ผ่าน LHE แบบ NN/MLC
รายละเอียด	245.45	1154.98	2860.80/4300.64
ราบเรียบ	657.80	769.00	233.15/247.95
ขอบภาพ	1518.78	3700.18	1918.03/1349.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 บทสรุป

จากผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการจำแนกข้อมูลภาพออกเป็นคลาสต่าง ๆ ทั้งหมด 6 คลาส ได้แก่ น้ำ, พื้นดิน, ป่าไม้, ภูเขา, ที่อยู่อาศัย และสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งในที่นี้ประเภทอื่นๆ ของข้อมูลที่อยู่ในภาพจะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์ โดยส่วนแรกแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีที่น่าเสนอ นำมาเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งข้อมูลภาพที่นำมาทำการวิเคราะห์มีอยู่สองชุด คือ ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 7 ของจังหวัดกาญจนบุรี กับภาพถ่ายดาวเทียมชุดเดียวกันที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักให้เหลือเพียง 3 องค์ประกอบแรก

จากตารางที่ 6.10 เป็นการสรุปผลการจำแนกข้อมูลภาพระหว่างตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการจำแนกข้อมูลในแบบต่างๆ คือ พื้นที่ฝึกสอนและพื้นที่ทดสอบจากข้อมูลภาพ 6 แบนด์ และจากภาพองค์ประกอบหลัก รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละวิธี ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของพื้นที่ฝึกสอนจะมากกว่าพื้นที่ทดสอบ แต่ด้วยวิธีการจำแนกแบบโครงข่ายประสาทเทียมนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของพื้นที่ทดสอบจะมีค่าใกล้เคียงกับพื้นที่ฝึกสอนมากกว่าวิธีของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด โดยเฉพาะในกรณีของพื้นที่ทดสอบจากภาพองค์ประกอบหลักที่จำแนกด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมากกว่าในพื้นที่ฝึกสอน ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของภาพองค์ประกอบหลักด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าใกล้เคียงกับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของภาพถ่ายดาวเทียม 6 แบนด์ มากกว่าวิธีตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด และระยะเวลาที่ใช้ในการจำแนกข้อมูลภาพองค์ประกอบหลักนั้นน้อยกว่าภาพถ่ายดาวเทียม 6 แบนด์

ส่วนที่สองเป็นการนำเอาพื้นที่ของคลาสที่ได้จากการจำแนกของทั้งสองวิธี มาทำการปรับเรียบในพื้นที่ย่อย โดยแสดงให้เห็นในรูปที่ 6.14 – 6.17 รูปที่ 6.18 และ 6.20 เป็นภาพสีผสมของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 7 และภาพสีผสมของภาพองค์ประกอบหลักที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ โดยรูปที่ 6.19 และ 6.21 เป็นภาพขยายของพื้นที่ในรูปที่ 6.18 และ 6.20 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อย โดยที่ยังรักษารายละเอียดของภาพเอาไว้ เมื่อเทียบกับการปรับปรุงคุณภาพในพื้นที่ทั้งหมดที่มีการอิมตัวของสีของพื้นที่ภายในภาพ โดยตารางที่ 6.11 และ 6.12 ได้นำผลการตรวจสอบคุณภาพของภาพด้วยวิธีการหาค่าความแปรปรวนของภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งโดยทฤษฎี [16] ค่าความแปรปรวนในบริเวณรายละเอียดของภาพควรมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ค่าความแปรปรวนในบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะราบเรียบและขอบภาพควรมีค่าน้อยลง ซึ่งจากผลการตรวจสอบคุณภาพของภาพ จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ทั้งหมด (GHE) และในพื้นที่ย่อย (LHE) ของภาพที่ผ่านการจำแนกด้วยตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด (MLC) และโครงข่ายประสาท

เทียม (NN) พบว่าส่วนของรายละเอียดภาพโดยรวมของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 4, 5 และ 7 ของการปรับปรุงภาพแบบ LHE โดยเฉพาะวิธี MLC จะดีกว่าแบบ GHE และส่วนราบเรียบและขอบภาพของแบบ LHE จะมีค่าน้อยกว่าแบบ GHE ส่วนผลการตรวจสอบคุณภาพสำหรับภาพองค์ประกอบหลักที่ 1 ของ MLC จะมีค่าตรงตามทฤษฎีทุกประการ แต่วิธี NN จะเห็นว่าขอบภาพของ LHE จะมีค่ามากกว่าภาพต้นฉบับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมโดยการจำแนกข้อมูลภาพหลายสเปกตรัมพร้อมกัน (Multispectral Images Classification) เป็นเรื่องที่ทำได้ยากและมีประสิทธิภาพต่ำ จากงานวิจัยที่ผ่านมา [10,11,13,15,21] ได้มีการนำเสนอการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนแซทพร้อมกันหลายแบนด์โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีการเปรียบเทียบกับผลกับวิธีการจำแนกโดยใช้ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าการจำแนกโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมให้ผลการจำแนกที่แม่นยำกว่า และในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการจำแนกโดยใช้ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดมาจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนแซทพร้อมกันหลายแบนด์ มาทำการเปรียบเทียบกับผลการจำแนกโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม พบว่าการจำแนกโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีความแม่นยำที่สูงกว่า แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าปรับค่าและตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงขั้นตอนการเรียนรู้ด้วย

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการนำวิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลักมาลดมิติของภาพก่อนแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ ซึ่งให้ความแม่นยำที่ใกล้เคียงกันกับการนำภาพถ่ายดาวเทียมหลายแบนด์ที่ไม่ได้ผ่านการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลักมาทำการจำแนก ซึ่งช่วยให้สามารถลดภาระในการคำนวณของเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยลง

การปรับปรุงคุณภาพของภาพในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ 2 แบบด้วยกันคือ การปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ทั้งหมด (GHE) และการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อย (LHE) ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบ การปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อยจะให้รายละเอียดของข้อมูลข่าวสารมากกว่าการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ทั้งหมดจะเกิดการอึมตัวของความเข้มแสงทำให้ข้อมูลข่าวสารบางส่วนหายไป การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยนำภาพที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพ มาทำการจำแนก เพื่อจัดกลุ่มภาพก่อน โดยเลือกเฉพาะพื้นที่ของประเภทข้อมูลที่สนใจที่จะนำมาวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการจำแนกแบบกำกับดูแล จากนั้นจึงนำไปภาพที่ผ่านการจำแนก มาทำการปรับปรุงคุณภาพเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่ได้ผ่านการจำแนกไว้ ซึ่งเทคนิคการจำแนกหรือจัดกลุ่มภาพนั้นจะมีผลต่อความแม่นยำในการปรับปรุงภาพ

7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบจากการวิจัยก็คือ การจำแนกข้อมูลแบบที่ต้องมีการกำกับดูแลนั้น ไม่เหมือนกับ การจำแนกข้อมูลแบบที่ไม่ต้องมีการกำกับดูแล เพราะต้องอาศัยผู้เคราะห์เป็นคนเลือกกลุ่มข้อมูล ตัวอย่างที่จะนำมาคำนวณค่าทางสถิติ ได้แก่ค่าความแปรปรวนร่วม และค่าเฉลี่ย เพื่อป้องกันให้กับตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งการเลือกพื้นที่ตัวอย่างนี้ต้องอาศัยความรู้ในพื้นที่ที่จะทำการจำแนกพอสมควร เพราะถ้าเลือกพื้นที่ดังกล่าวได้ไม่ถูกต้องจะทำให้มีผลต่อความแม่นยำในการจำแนกข้อมูล และปัญหาอีกข้อหนึ่งของการจำแนกข้อมูลคือพื้นที่บางส่วนที่ผ่านการจำแนกนั้นไม่มีความต่อเนื่องหรือเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งๆ ที่จริงแล้วควรจะเป็นกลุ่มภาพหรือคลาสเดียวกันเป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อไปถึงการปรับปรุงภาพในพื้นที่ย่อย เช่นเมื่อนำภาพมาทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ย่อยนั้น บางครั้งการปรับปรุงคุณภาพของภาพในพื้นที่ทั้งหมดได้ผลลัพธ์ดีกว่า สาเหตุมาจากการจำแนกหรือการจัดกลุ่มภาพ ปัญหาดังกล่าวสามารถทำการแก้ไขได้โดยการเพิ่มวิธีการทำให้พื้นที่ที่ผ่านการจำแนกมีความต่อเนื่องกัน (Postclassification Smoothing) ซึ่งต้องมีการศึกษาและทำการทดลองเพิ่มเติมถึงผลกระทบต่อความแม่นยำในการจำแนกที่อาจเกิดขึ้น หรืออาจหาวิธีการจัดกลุ่มภาพแบบใหม่ที่มีความแม่นยำมากขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Pitas, **Digital Image Processing Algorithms and Application**. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [2] P. J. Gibson, C. H. Power, **Introductory Remote Sensing : Digital Image Processing and Applications**. : Routledge, 2000.
- [3] D. L. Verbyla, **Satellite Remote Sensing of Natural Resources**. : CRC Lewis Publishers, 1995.
- [4] R. W. Hornbeck, **Numerical Methods**. New York : Quantum Publishers, Inc., 1975.
- [5] J. A. Richards, X. Jia, **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Springer, 1999
- [6] T. M. Lillesand, R. W. Kiefer, **Remote Sensing and Image Interpretation**. : John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [7] R.C. Gonzalez and P. Wintz, **Digital Image Processing**. : Addison-Wesley, Inc., 1997.
- [8] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว
- [9] S. Chitwong, F. Cheevasuvit, K. Dejhan, S. Mitatha, and W. Kongnun “**Segmentation of PCA image via graph theory.**” Proceeding of the fourteenth international conference applied geologic remote sensing, Las Vegas, Nevada, USA, November, 2000. pp.529-534
- [10] H. Bischof, W. Schneider, and A. J. Pinz, “**Multispectral classification of landsat-images using neural networks.**” IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol.30, pp. 482-490, May 1992
- [11] P. J. Hancock, “**Data representaion in neural nets: an empirical study.**” in Proc. Of the 1998 Connectionist Models Summer School, San Mateo Touretzky, Hinton, and Sejnowski, Eds. Morgan Kaufmann, 1998, pp.11-20
- [12] S. Chitwong, F. Cheevasuvit, K. Dejhan, S. Mitatha and W. Kongnun, “**Segmentation of PCA image via graph theory.**” Proceeding of the 14th International Conference Applied Geologic Remote Sensing, Las Vegas, Nevada, USA, November, pp. 529-534, 2000.
- [13] C.C. Chong, and J.C. JIA, “**Classification of multispectral images using BP-neural network classifier – input coding assessments.**” Proc. IEEE TENCON’94. vol.2. pp. 867-871, 1994

- [14] S. Chitwong, T. Boonmee, and F. Cheevasuvit, "Local Area Histogram equalization Based Multispectral Image Enhancement From Clustering.", IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Montreal, Canada, May 4-7, 2003.
- [15] S. Promcharoen, Y. Rangsunseri, S. Ongsomwang, and J. Jarupatt. "Supervised classification of multispectral satellite images using fuzzy logic and neural network." 20th Asian Conference on Remote Sensing, Hong Kong (China), November 22-25, 1999.
- [16] D. C. Change, W. R. Wu, "Image Contrast Enhancement Based on a Histogram Transformation of Local Standard Deviation." IEEE Trans. Medical Image, vol. 17, pp. 518-531, 1998.
- [17] J. R. Jensen, **Introductory Digital Image Processing**. : Prentice Hall, 1996.
- [18] R. A. Johnson, **Applied Multivariate Statistical Analysis**. : Prentice Hall. 1988.
- [19] C. J. Stone, **A Course in Probability and Statistics**. : Duxbury Press, 1996.
- [20] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. **คำบรรยายเรื่องการสำรวจจากระยะไกล**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว
- [21] B. Mark and D. Howard, **Neural Network Toolbook for use with Matlab**. Mass : The Math Works, Inc. 1996.
- [22] R. V. Hogg and E. A. Tanis, **Probability and Statistical Inference**. : Maxwell Macmillan International Edition, 1989.
- [23] E. R. Dougherty, **Probability and Statistic for the Engineering, Computing, and Physical Sciences**. : Prentice-Hall, Inc. 1990.
- [24] T. W. Anderson, **An Introduction to Multivariate Statistic Analysis**. 2nd ed. : John Wiley & Sons, Inc., 1984.
- [25] วิสารท์ เกษประทุม. **ความน่าจะเป็นและสถิติเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : บริษัทสำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา จำกัด
- [26] วีระ วีระถาวร. **ความน่าจะเป็นเบื้องต้น:ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้**. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วน จำกัด พิทักษ์การพิมพ์



ภาคผนวก

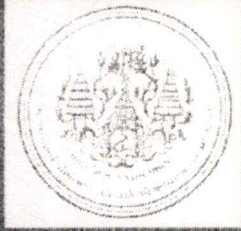
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความที่ตีพิมพ์ในวารสาร

- [1] สมบัติ อิศระวาณิชย์, “การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด”, วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 20 ฉบับที่ 1, มีนาคม 2546, หน้า 37-42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2546

- | | |
|--|-----|
| 1. วงจรความต้านทานแบบลอยตัวที่ควบคุมด้วยกระแสใช้โมสทรานซิสเตอร์
สมนึก หัวหาญ กอบชัย เดชหาญ ไชโย ชรรมรัตน์ | 1 |
| 2. วงจรยกกำลังที่ใช้วงจรสายพาดกระแสควบคุมด้วยกระแส
วิจิตร เพ็ชรกิจ สิทธิพร เพ็ชรกิจ วิวัฒน์ กิรานนท์ | 7 |
| 3. วงจรนัลเลอร์สี่ขั้วแบบลอยตัวโดยใช้วงจรทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟตและการประยุกต์
ภัทรา เพ็ชรชอบ อมร จิตรเรือมรกุล วัลลภ สุระกำพลธร | 13 |
| 4. การศึกษาเปรียบเทียบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (CCM) และแบบไม่ต่อเนื่อง (DCM)
ศุภชัย หอวิมานพร ชนินทร์ บุญลักษณ์อนุสรณ์ | 19 |
| 5. เติเอ็มอีพีซีทีที่มีพีเพอร์ทางด้านขาเข้าซึ่งมีนโยบายการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลภายใต้กราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง
ปิติพงษ์ ประภามณฑล สุวิมล สิทธิวิภากร เกียรติกร วงศ์โรจน์ภรณ์ | 26 |
| 6. การจัดเส้นทางของโครงข่ายโทรศัพทให้ดีที่สุดโดยวิธีฮอปฟิลด์เน็ต
ฉัตรชัย วัฒนพันธ์ มนูญ สุขเกษม อวิล พึ่งมา | 31 |
| 7. การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจ่ายแรงดันความเหมือนสูงสุด
สมบัติ อีสระวานิชย์ พุศิกดิ์ ชิวสุวิทย์ | 37 |
| 8. การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพสองระดับโดยใช้วิธีของเอนโทรปีด้วยบอร์ดสตาร์เกตเออร์ดีท TMS 320C31
เพชร ใจหาญ พุศิกดิ์ ชิวสุวิทย์ | 43 |
| 9. การแปลงเวฟเล็ดและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแบ่งประเภทฟอลต์ในสายส่ง
อรรถพล เสง่าพิทักษ์กุล ศุภี บรรจงจิตร สมชาติ จิรวิภากร สุธีวัฒน์ นงนุช | 49 |
| 10. การระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งโดยใช้การแปลงเวฟเล็ดและโครงข่ายประสาทเทียม
อรรถพล เสง่าพิทักษ์กุล ศุภี บรรจงจิตร สมชาติ จิรวิภากร อัศวิน บรรจงศิลป์ | 55 |
| 11. การหาฟอลต์ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงของจอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
พูนิจจร บุญมี มารุต ต้นดีเดชามงคล สมชาติ จิรวิภากร นิตินันท์ กฤษณจินดา | 61 |
| 12. การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP
จิตรี อินทร์พวง มณฑล สีสัจจินดาไกรฤกษ์ บุญเลิศ สือเจีย ปัญญา มาลีวัตร สิริวิช ทัดสวน | 67 |
| 13. การวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงจำหน่ายเชิงเศรษฐศาสตร์
บุญเลิศ สือเจีย ปัญญา มาลีวัตร สมศักดิ์ สิริปราณานนท์ ศุภี บรรจงจิตร | 73 |
| 14. การออกแบบบรราคาที่เหมาะสมของหม้อแปลงจำหน่ายโดยใช้เงินเติกอัลกอริทึม
ชวรัตน์ เก่งธรรมกิจ ต่อพงษ์ ภูมิภาค ชัยวุฒิ นิตร์อุทัย | 79 |
| 15. การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม
มารุต ต้นดีเดชามงคล สมชาติ จิรวิภากร | 85 |
| 16. การป้องกันโหลดเกินในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีการปรับตารางการป้อนแหล่งจ่ายและไลน์สวิตซ์ซึ่ง
สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล มณฑล สีสัจจินดาไกรฤกษ์ | 91 |
| 17. การวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน
นิตินันท์ สมไชยวงศ์ ประภาส อุดคภูมิพันธ์ุ | 97 |
| 18. Semantic Query for Content-Based Image Retrieval Using Genetic Algorithm
Cattleya Duanggate Orachar Chitsobhuk Suphamit Chittayasothorn | 103 |
| 19. Robust Inverse Response Compensator
Prutch Tontirintiphol Mongkol Janchookiat Kiattisak Kumwachara | 109 |
| 20. อิทธิพลของตำแหน่งการติดตั้งภาหตุติภูมิต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดแบบอากาศหมุนวน
นิยม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงษ์ ภูรินทร์ อัครกุลธร | 115 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จาก ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

Local Enhancement of Each Class Obtained From Maximum Likelihood Classifier

สมบัติ อิศระวาณิชย์ พุศัคดี ชิวสุวิทย์

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดเป็นตัวจำแนกที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทคลาสของภาพ จากกลุ่มพิกเซลที่ได้เลือกไว้ ตัวจำแนกนี้จะอธิบายลักษณะค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนร่วมของคลาสที่เลือก ซึ่งสามารถนำตัวจำแนกนี้มาประยุกต์ใช้ในการแบ่งส่วนพื้นที่ของภาพ พื้นที่ที่ถูกแบ่งจะมีความเหมือนกันกับคลาสที่ถูกจำแนก ในกรณีที่รายละเอียดของพื้นที่ในแต่ละคลาสมีค่าคอนทราสต์ต่ำ ดังนั้นจะนำวิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมมาใช้ในการปรับปรุงค่าฮิสโตแกรมในแต่ละคลาส จากผลการทดลองโดยการนำภาพถ่ายดาวเทียม 3 แบนด์ มาประมวลผลด้วยขั้นตอนที่นำเสนอขึ้น จะให้ภาพสีที่มีความละเอียดและชัดเจนมากขึ้น

ABSTRACT

Maximum likelihood classifier is a powerful operator in order to classify a given pixel into the determined land cover category classes. This classifier characterizes the mean and covariance of each class for the given pixel value. By applying this classifier to an image, we can obtain a segmented image. The segmented region will be corresponded to the assigned classes in the classifier. Since the detail of land cover in each class still has poor contrast. Therefore, the method of histogram equalization is used in order to improve the histogram of each class. From experimental results, the satellite imagery of 3 bands is employed to evaluate the proposed process, we can obtain a better color image presents more clearly image details.

1. บทนำ

เมื่อเปรียบเทียบการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมโดยการใช้สายตาคน กับการจำแนกข้อมูลภาพทางดิจิทัลนั้น จะเห็นได้ว่าการจำแนกโดยใช้สายตาคนนั้น ต้องอาศัยความสามารถของผู้วิเคราะห์ ในการมองหาคุณลักษณะของ

สภาพแวดล้อมในภาพ เช่น โทนนสี, คอนทราสต์, รูปร่าง, ฯลฯ ซึ่งในการจำแนกแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ความสามารถ, ความชำนาญ, อายุ หรือลักษณะอื่นๆ ของผู้จำแนก อีกทั้งเมื่อข้อมูลมีความซับซ้อนมากขึ้นการจำแนกก็ทำได้ยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะต่างจากการจำแนกโดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประมวลผลข้อมูลภาพทางดิจิทัลนั้นมีข้อดีกว่า ดังนั้น การที่จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปใช้ประโยชน์นั้น จำเป็นที่จะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงภาพเสียก่อน การที่จะทำการปรับปรุงภาพก่อนที่จะนำมาแปลความหมาย ด้วยวิธีการปรับเท่าฮิสโตแกรมของภาพให้เท่ากัน (Histogram Equalization) [6], [9] นั้นทำให้เกิดการอ้อมตัวของสีในบางบริเวณของภาพ จึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำในการแปลความหมายภาพ ดังนั้นจึงได้นำวิธีการจำแนก (Classification) คลาสของภาพมาประยุกต์ใช้ ซึ่งการจำแนกนั้นจะทำให้ทุกพิกเซลในภาพจะถูกจัดให้อยู่ในคลาสเฉพาะ (เช่น คลาสของน้ำ, ป่าต้นสน, ป่าไม้ผลัดใบ, ข้าวโพด, ข้าวสาลี, ฯลฯ) ซึ่งจะช่วยในการแปลความหมายภาพในบริเวณของคลาสนั้นๆ ผลลัพธ์ของภาพที่ถูกแบ่งคลาสจะถูกนำมาปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย (Local Histogram Equalization) ทำให้ภาพผลลัพธ์มีประสิทธิภาพสูงกว่า การปรับปรุงภาพด้วยวิธีแรก

ในบทความนี้ได้นำเสนอหลักการใหม่ โดยการปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสนี้ที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายดาวเทียมก่อนที่จะแปลความหมายภาพโดยใช้ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ซึ่งเป็นตัวจำแนกแบบที่ไม่ต้องมีผู้สอน ซึ่งตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดนี้ จะเป็นตัวจำแนกค่าระดับสีเทาของจุดพิกเซลออกเป็นคลาส ๆ ซึ่งต้องมีการเลือกคลาสนี้ข้อมูลในการสอน (Training Fields) ให้เท่ากับจำนวนคลาสนี้ที่ต้องการจำแนก แล้วจึงป้อนให้กับตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด คลาสนี้ของภาพที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด จะถูกนำมาปรับเท่าฮิสโตแกรมแบบแยกอิสระของแต่ละคลาสนี้ให้ดีขึ้น แล้วจึงนำผลที่ได้มารวมกันเป็นภาพสีที่สมบูรณ์ ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีการจำแนกคลาสนี้ของภาพ (Classification) [4]

วัตถุประสงค์หลักของการจำแนกคลาสนี้ของภาพคือการแยกแยะข้อมูลภาพในทุก ๆ พิกเซล ออกเป็นคลาสนี้ ๆ อย่างอัตโนมัติ ซึ่งข้อมูลภาพโดยทั่วไป จะมีลักษณะพื้นฐานที่ต่างจากภาพแผนที่ โดยที่แผนที่จะแสดงให้เห็นถึงส่วน

ของพื้นผิว โดยจะใช้สัญลักษณ์หรือสี ยกตัวอย่างเช่น แผนที่ อาจแสดงให้เห็นถึงน้ำ ในรูปแบบของสีน้ำเงิน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลภาพที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมจะมีค่าของแต่ละพิกเซลที่ไม่เท่ากันในพื้นที่ผิวเดียวกัน อย่างไรก็ตามในกรณีของน้ำ ซึ่งในกรณีนี้การจัดคลาสนี้จะช่วยให้ค่าของพิกเซลที่ไม่เท่ากัน ในบริเวณพื้นที่ของน้ำเป็นคลาสนี้เดียวกัน โดยการจำแนกคลาสนี้จะทำการศึกษาค่าพิกเซลที่มีความเหมือนกับลักษณะทางสเปกตรัม แล้วจึงจำแนกให้อยู่ในคลาสนี้ที่ได้ทำการเลือกเอาไว้ การจำแนกคลาสนี้มี 2 ชนิด คือการจำแนกคลาสนี้แบบไม่จำเป็นต้องมีผู้สอน (Unsupervised Classification) และการจำแนกคลาสนี้แบบต้องมีผู้สอน (Supervised Classification) โดยในบทความนี้จะไม่อธิบายถึงไปถึงรายละเอียด ของวิธีการจำแนกคลาสนี้แบบไม่จำเป็นต้องมีผู้สอน

2.1.1 การจำแนกคลาสนี้แบบไม่จำเป็นต้องมีผู้สอน (Unsupervised Classification)

การจำแนกคลาสนี้แบบไม่จำเป็นต้องมีผู้สอน เป็นกระบวนการที่เป็นการจัดคลาสนี้ของพิกเซลที่มีค่าความคล้ายคลึงกันของลักษณะทางสเปกตรัม โดยทั่วไปเรียกว่า คลาสนี้ของสเปกตรัม โดยทั่วไปการจำแนกคลาสนี้แบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับบริเวณที่จะทำการจำแนก ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของการจำแนกคลาสนี้แบบนี้ในกรณีที่ผู้วิเคราะห์ไม่มีความรู้ในบางบริเวณที่จะทำการจำแนก

2.1.2 การจำแนกคลาสนี้แบบต้องมีผู้สอน (Supervised Classification)

วิธีพื้นฐานในการจำแนกคลาสนี้แบบต้องมีผู้สอนนี้คือการสุ่มตัวอย่างของบริเวณภาพที่ทราบ รายละเอียดของบริเวณนั้น ๆ เพื่อกำหนดค่าตัวแทนของสเปกตรัม ของบริเวณที่ต้องการจำแนก พื้นที่ตัวอย่างเหล่านี้มักจะถูกเรียกว่า คลาสนี้ข้อมูลในการสอน (Training Fields) และค่าตัวแทนของสเปกตรัม บางครั้งจะเรียกว่า สเปกตรัมซิกเนเจอร์ (Spectral Signatures) เมื่อได้ทำการกำหนดค่าตัวแทนของสเปกตรัมสำหรับบริเวณที่ต้องการจำแนกแล้ว จึงจะสามารถทำการจำแนกภาพได้ พิกเซลแต่ละจุดจะถูกจำแนกโดยอาศัยความคล้ายคลึงกับค่าตัวแทนของสเปกตรัมของบริเวณนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 คลาสตัวอย่างที่ใช้ในการสอน (Training Fields)

คลาสตัวอย่างที่ใช้ในการสอนนั้น เป็นตัวอย่างพื้นที่สำหรับการประมาณค่าทางสถิติของสเปกตรัมของบริเวณที่แน่ใจ สิ่งสำคัญในการกำหนดคลาสตัวอย่างที่ใช้ในการสอน คือจะต้องเลือกคลาสจากพื้นที่เอกพันธ์ (Homogeneous Areas)

2.2 ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด (Maximum likelihood Classifier)

ตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดเป็นตัวจำแนกที่เป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไป โดยอาศัยหลักการทางสถิติ ของค่าเฉลี่ย, ค่าความแปรปรวนของคลาสตัวอย่างที่ใช้ในการสอน แต่ละคลาสมาพิจารณา โดยการประมาณค่าความเหมือนของค่าพิกเซลของคลาสตัวอย่างนั้น ๆ เหมือนกับการสร้างเส้นโครงร่างของความน่าจะเป็นในการเท่ากัน สำหรับแต่ละคลาสจากนั้นจึงนำตัวแทนของค่าพิกเซลแต่ละจุดมาเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นเพื่อทำการแยกคลาส ดังรูปที่ 1

2.3 เงื่อนไขความน่าจะเป็น (Condition Probability)

ให้ $p(x)$ แทนความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ x จะเกิดขึ้น ถ้า x เป็นพิกเซล ดังนั้น $p(x)$ ก็คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบพิกเซลนั้นที่ตำแหน่ง x ในสเปกตรัม $p(x|y)$ คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ x เมื่อเกิดเหตุการณ์ y ส่วน $p(x|\omega_i)$ คือความน่าจะเป็นในการค้นหาพิกเซลที่ตำแหน่ง x ในหลายสเปกตรัม โดยที่เราสนใจเฉพาะคลาสของ ω_i

พิจารณา $p(x|\omega)p(\omega_i)$ เมื่อ $p(\omega_i)$ คือความน่าจะเป็นที่คลาส ω_i เกิดขึ้นในภาพ ดังนั้น $p(x|\omega)p(\omega_i)$ คือความน่าจะเป็นที่พิกเซลจากคลาสใดๆ สามารถพบได้ที่ตำแหน่ง x สมการผลรวมของความน่าจะเป็นที่พิกเซลนั้นจะถูกพบจากคลาสทั้งหมด คือ

$$p(x) = \sum p(x|\omega_i)p(\omega_i) \quad (1)$$

เรียก $p(x|\omega_i)p(\omega_i)$ ว่าความน่าจะเป็นร่วมกัน (joint probability) ของเหตุการณ์ x และ ω_i เขียนได้เป็น

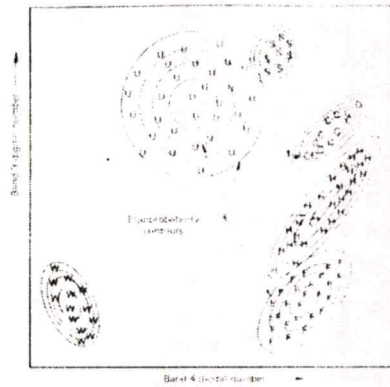
$$p(x, \omega_i) = p(x|\omega_i)p(\omega_i) \quad (2.1)$$

$$p(\omega_i, x) = p(\omega_i|x)p(x) \quad (2.2)$$

$$p(\omega_i|x) = p(x|\omega_i)p(\omega_i)/p(x) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

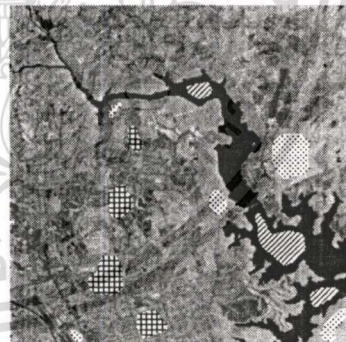
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของเส้นโครงร่างของความน่าจะเป็นในการเท่ากันของตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด



รูปที่ 2 ภาพในแนวแกน 3 มิติของเส้นโครงร่างของรูปที่ 1



- คลาสที่ 1
- คลาสที่ 2
- คลาสที่ 3

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการเลือกคลาสทั้ง 3 คลาสของรูปที่ 4(ก)

2.4 การแจกแจงปกติของความน่าจะเป็น (Normal Probability Distribution)

สมการแจกแจงปกติของความน่าจะเป็น

$$p(x|\omega_i) = (2\pi)^{-1/2} \sigma_i^{-1} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x-m_i)^2/\sigma_i^2\right\} \quad (4)$$

เมื่อ x คือตัวแปรของสเปกตรัม

m_i คือค่าเฉลี่ยของ x

σ_i คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



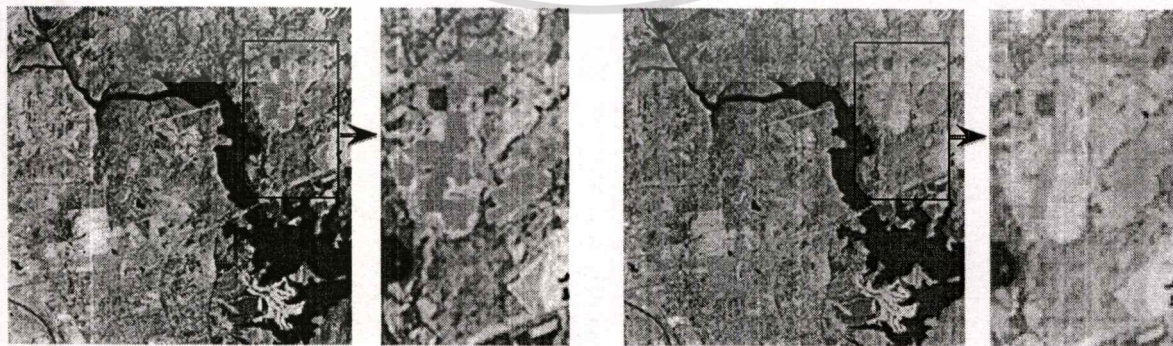
(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5 (ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 6
รูปที่ 4 ภาพต้นฉบับของภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการทดลอง



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5 (ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 6
รูปที่ 5 ภาพที่ได้จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ทั้งหมด



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5 (ค) ภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 6
รูปที่ 6 ภาพที่ได้การปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อยของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด



(ก) ภาพสีที่ได้จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ทั้งหมด

(ข) ภาพสีที่ได้จากการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย

รูปที่ 7 การเปรียบเทียบภาพสีที่ได้การปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ทั้งหมดกับการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อยที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียก σ_i^2 ว่าค่าความแปรปรวนร่วมในคลาส i

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{q_i - 1} \sum_{j=1}^{q_i} (x_j - m_i)^2 \quad (5)$$

เมื่อ q_i คือจำนวนของพิกเซลในคลาสของ ω_i และ x_j คือตัวอย่างลำดับที่ j

2.5 ทฤษฎีการปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

2.5.1 การปรับเท่าฮิสโตแกรม (Histogram Equalization) [6]

การปรับเท่าฮิสโตแกรมเป็นการปรับปรุงคุณภาพของภาพโดยการแปลงฮิสโตแกรม ซึ่งสามารถทำได้โดยประมาณจากการพิจารณาความต่อเนื่องของความน่าจะเป็นของฟังก์ชันความหนาแน่น $p_r(r)$ ในบริเวณของ $h(i)$ ข้อมูลเก่า r ที่ได้จากการแปลงแล้วได้เป็น ข้อมูลใหม่ s ที่มีการกระจายฮิสโตแกรมแล้ว

$$s = T(r) \quad (6)$$

$$r = T^{-1}(s) \quad (7)$$

$$p_s(s) = \left[p_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T^{-1}(s)} \quad (8)$$

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(\omega) d\omega \quad (9)$$

$$\frac{ds}{dr} = p_r(r) \quad (10)$$

$$s_k = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (11)$$

$$\bar{s}_k = \frac{s_k - s_0}{s_{255} - s_0} 255 \quad (12)$$

3. ผลการทดลอง

จากทฤษฎีการปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ได้ทำการทดลองและแสดงผลไว้ดัง รูปที่ 5 และรูปที่ 6 โดยใช้ภาพต้นฉบับขนาด 256x256 พิกเซล ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นภาพต้นฉบับของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ รูปที่ 3 เป็นการเลือกคลาสตัวอย่างสำหรับตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด ที่จะนำมาใช้ในการแยกคลาสของภาพต้นแบบ โดยจะทำการเลือกคลาสตัวอย่างของภาพต้นฉบับในบริเวณเดียวกันทั้ง

3 แบนด์ ตารางที่ 1, 2 และ 3 แสดงผลการทดลองของวิธีที่ได้นำเสนอในบทความนี้ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน [10] ของภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย (LHE : Local Histogram Equalization) และพื้นที่ทั้งหมด (GHE : Global Histogram Equalization) ของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4, 5 และ 6 ตามลำดับ และรูปที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อยกับพื้นที่ทั้งหมด โดยแสดงเป็นภาพสี

ตารางที่ 1 แสดงค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย กับพื้นที่ทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 4

รูปภาพ	ค่าความแปรปรวน		
	Detail	Smooth	Edge
แบนด์ที่ 4			
ภาพต้นฉบับ	49.336	2.065	2927.019
GHE	219.382	13.308	4519.854
LHE	156.600	7.563	3411.772

ตารางที่ 2 แสดงค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย กับพื้นที่ทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 5

รูปภาพ	ค่าความแปรปรวน		
	Detail	Smooth	Edge
แบนด์ที่ 5			
ภาพต้นฉบับ	983.973	3.752	730.389
GHE	1121.325	19.778	851.074
LHE	995.241	12.457	602.362

ตารางที่ 3 แสดงค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อย กับพื้นที่ทั้งหมดของภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ที่ 6

รูปภาพ	ค่าความแปรปรวน		
	Detail	Smooth	Edge
แบนด์ที่ 6			
ภาพต้นฉบับ	778.043	8.162	2536.470
GHE	621.639	30.999	528.461
LHE	785.572	19.364	163.304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. บทสรุป

จากผลการทดลองพบว่า การปรับเท่าฮิสโตแกรมของภาพถ่ายดาวเทียมระหว่างพื้นที่ที่ย่อยกับพื้นที่ทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ทั้งหมดจะทำให้เกิดการอ้อมตัวของสีภายในภาพ ซึ่งทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนเสียไป เมื่อเทียบกับการปรับเท่าฮิสโตแกรมในพื้นที่ย่อยที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุดจะยังสามารถรักษารายละเอียดภายในภาพและสามารถปรับปรุงรายละเอียดของข้อมูลภาพเฉพาะในบริเวณที่สนใจได้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y.-T. Kim., Contrast Enhancement Using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization., : IEEE Trans. Consumer Electronics, vol.43, no.1, pp 1-8, 1997.
- [2] K. Wongsritong, K. Kittayaruasirwat, F. Cheevasuvit, K. Dejhan, and A. Somboonkaew., Contrast Enhancement Using Multipeak Histogram Equalization with Brightness Preserving., : Proc.1998 IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and System., pp 455-458, 1998.
- [3] I. Pitas., Digital Image Processing Algorithms and Application, New York : John Wiley & Sons, Inc., 2000.
- [4] P. J. Gibson, Clare H. Power., Introductory Remote Sensing : Digital Image Processing and Applications, : Routledge, 2000.
- [5] D. L. Verbyla., Satellite Remote Sensing of Natural Resources, : CRC Lewis Publishers, 1995.
- [6] M. A. Sid-A.hmed., Image Processing : Theory, Algorithms and Architectures, :McGraw-Hill, Inc., 1994.
- [7] J. A. Richards., Xiuping Jia, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer, 1999.
- [8] T. M. Lillesand., Ralph W. Kicfer, Remote Sensing and Image Interpretation, : John Wiley & Sons, Inc., 2000.

- [9] R. C. Gonzalez and P. Wintz., Digital Image Processing, : Addison-Wesley, Inc., 1997
- [10] D. C. Change, W. R. Wu, "Image Contrast Enhancement Based on a Histogram Transformation of Local Standard Deviation," IEEE Trans. Medical Image, vol. 17, pp. 518-531, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายสมบัติ อิศระวานิชย์ เกิดเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2542 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม ปีการศึกษา 2539 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ ปีการศึกษา 2537 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้