

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผสมภาพจากข้อมูลและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับภาพ PAN ด้วย
วิธี HIS และ WAVELET TRANSFORM

FUSION OF PRINCIPAL COMPONENT OF MULTISPECTRAL BAND WITH
PAN BAND USING HIS AND WAVELET TRANSFORM



จักรกฤษณ์ หอมทอง
JACKRIT HOMTHONG

171 44
ค.2

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 47902
วัน, เดือน, ปี..... 27 ส.ค. 2546

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน ISBN 974-648-909-7 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FUSION OF PRINCIPAL COMPONENT OF MULTISPECTRAL BAND
WITH PAN BAND USING HIS AND WAVELET TRANSFORM**



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

2002

ISBN 974-648-909-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผสมภาพจากข้อมูล และ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก
กับภาพ PAN ด้วยวิธี HIS และ WAVELET TRANSFORM

นักศึกษา

นายจักรกฤษณ์ หอมทอง

รหัสประจำตัว

40061029

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

พ.ศ.

2545

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร. พุศศักดิ์ ชิวสุวิทย์

บทคัดย่อ

เนื่องจากการผสมภาพ RGB จากภาพหลายแถบความยาวคลื่นเพียง 3 แบนด์ จะมีการสูญเสียข้อมูลบางอย่าง ดังนั้นจุดมุ่งหมายของบทความนี้ต้องการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) แปลงภาพทั้งหมดไปเป็นภาพองค์ประกอบต่างๆ ภาพ (PCs) และข้อมูลภาพความละเอียดสูงแบบ PAN จะถูกทำการแยกโดยใช้การแปลง WAVELET กำหนดภาพ RGB จากภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพ ซึ่งจะมีรายละเอียดข้อมูลภาพมากกว่า 95 % ของข้อมูลภาพเดิม ความเข้ม (I) ของข้อมูลภาพจากการแปลง RGB ไปยัง HIS จะถูกแทนที่ด้วยข้อมูลภาพ PAN ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำ ซึ่งได้จากการแปลงโดยใช้ WAVELET และสอดคล้องกับภาพหลายแถบความยาวคลื่น หลังจากนั้นการแปลง HIS เป็น RGB ซึ่งก็คือภาพ RGB ที่ได้จากการผสมตามวิธีการที่นำเสนอและภาพผลลัพธ์ที่ได้มีรายละเอียดสูงขึ้น

Thesis Title	Fusion of Principal Component of Multispectral Band with PAN Band using HIS and Wavelet Transform
Student	Mr. Jackrit Homthong
Student ID.	40061029
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year .	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Fusak Cheevasuvit

ABSTRACT

RGB images from multispectral (TM) images will be lost some information, in this paper proposes the method to solve that problem by using the principal component analysis (PCA) transformed TM images into the principal component images (PCs) and high resolution PAN data is decomposed by wavelet transform. Thus, RGB images are assigned by the first three principal component images normally having information more than 95% of original images. The intensity image from RGB to HIS transformation is replaced by the lower frequency coefficient of wavelet transform of PAN data corresponding to multispectral images. After HIS to RGB transformation is applied. The fused RGB image by using the proposed method can clearly obtain more details.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์ ดร. พุศักรดิ์ ชิวสุวิทย์ ซึ่งอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้ผู้เขียนสามารถทำงานวิจัยได้อย่างดีและประสบผลสำเร็จในที่สุด ท่านรองศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย เดชหาญซึ่งอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนวทางการศึกษามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์สักริยา ชิตวงศ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำงานวิจัยนี้

สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ของผู้เขียนที่ได้ให้อุปการะและให้กำลังใจอย่างมากตลอดเวลาในขณะที่ศึกษาอยู่และในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณท่านอาจารย์และเพื่อนๆ น้องๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทุกท่านซึ่งคอยเป็นกำลังใจให้โดยตลอดมา

จักรกฤษณ์ หอมทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ความเทียมและคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียม.....	5
2.1 หลักการรีโมทเซนซิ่ง.....	5
2.2 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.3 การสะท้อนแสงของผิวโลก.....	11
2.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร.....	16
2.5 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในประเทศไทย.....	25
บทที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลสีจากหลายแถบความยาวคลื่น.....	27
3.1 คำนำ.....	27
3.2 การจำลองรูปแบบสี RGB.....	28
3.3 การปรับค่าความสว่าง.....	35
3.4 การทดลองและสรุปผล.....	37
บทที่ 4 การวิเคราะห์องค์ประกอบร่วมของข้อมูลที่มีค่าความละเอียดต่างกัน.....	38
4.1 การแปลงองค์ประกอบหลัก.....	38
4.2 วิธีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับข้อมูล ภาพระบบหลายแถบความยาวคลื่น.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.3 ผลการทดลอง.....	53
บทที่ 5 การแปลงเวฟเลต.....	55
5.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเลต.....	55
5.2 ความเป็นมาของการแปลงเวฟเลต.....	61
5.3 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง.....	67
5.4 การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง.....	70
5.5 การประยุกต์การแปลง Wavelet ในภาพถ่ายดาวเทียม.....	82
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	86
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	86
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	90
เอกสารอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า.....	8
2.2 ความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ.....	15
2.3 การใช้งานในช่วงคลื่นของดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS ที่รายละเอียด 80 เมตร.....	19
2.4 การใช้งานในช่วงคลื่นของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ที่รายละเอียด 30 เมตร.....	20
2.5 การใช้งานช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ระบบ MLA ที่รายละเอียด 20 เมตร.....	23
2.6 การใช้งานช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ระบบ MLA ที่รายละเอียด 20 เมตร.....	23
2.7 การใช้งานอุปกรณ์สำรวจข้อมูลของดาวเทียม MOS-1.....	25
5.1 คำศัพท์ประสิทธิ์ตัวกรองของ 4 –Tap Daubechies Wavelet.....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	6
2.2 คุณสมบัติของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีคลื่น.....	7
2.3 ประเภทของการสำรวจระยะไกลที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่นทั้ง 3 ประเภท.....	10
2.4 เปรียบเทียบปรากฏการณ์การสะท้อนแสงในลักษณะการสะท้อนกลับหมด การสะท้อนแบบกระจาย และการสะท้อนแบบผสม.....	12
2.5 เส้นทางเดินของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าการสำรวจระยะไกลแบบพาสซีฟ.....	13
2.6 การเปรียบเทียบลายเซ็นเชิงคลื่นของทรัพยากรหลัก.....	14
3.1 การจำลองปริมาตรสีของระบบRGB.....	29
3.2 แสดงการจำลองภาพสีระบบ HIS.....	30
3.3 รูปจำลองปริมาตรสีสำหรับการแปลงภาพแบบ RGB เป็น HIS.....	31
3.4 ภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรก จาก Landsat 7 multispectral TM images.....	37
3.5 ภาพที่ได้จากการแปลงภาพองค์ประกอบหลักทั้ง 3 เป็นภาพสี RGB.....	37
4.1 แสดงเวกเตอร์และเวกเตอร์เฉลี่ยของแต่ละจุดภาพ.....	39
4.2a องค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ต่ำ.....	40
4.2b องค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์สูง.....	40
4.3 แสดงเวกเตอร์ของจุดภาพใหม่ที่องค์ประกอบ ไม่มีความสัมพันธ์กัน.....	41
4.4 การหมุนของแกนใน 2 มิติ.....	43
4.5 เวกเตอร์เจาะจงและค่าเจาะจงใน 2 มิติ.....	44
4.6 ข้อมูลที่มีค่าสัมพันธ์สูง.....	44
4.7 ข้อมูลที่มีค่าสัมพันธ์ต่ำ.....	45
4.8 บล็อกโคออร์ดิเนตของระบบ.....	49
4.9 ขั้นตอนการแปลงข้อมูลภาพ.....	50
4.10 โพลีซาร์ทการคำนวณหาค่า Eigenvalue และ Eigenvector.....	51
4.11 โพลีซาร์ทการสเกลลิง.....	52
4.12 ภาพเดิมจาก LANDSAT 7 multispectral TM images.....	53
4.13 ภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรก จาก Landsat 7 multispectral TM images.....	53
5.1 แสดงตัวอย่างลักษณะของ Morlet Wavelet $g(t) = e^{-\frac{t^2}{64}} \cos(t)$	55
5.2 แสดงลักษณะของสัญญาณซายน์ซอซอดัล : $\cos(t)$	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.3 แสดงลักษณะของฟังก์ชันหน้าต่าง $e^{-t^2/64}$	56
5.4 แสดงลักษณะของเวฟเล็ตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a, b ต่างๆกัน.....	57
5.5 แสดงลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต.....	58
5.6 แสดงลักษณะของสัญญาณที่มีหลายความถี่ที่ตำแหน่งเวลาต่างกัน... ..	59
5.7 แสดงลักษณะของผลการ Correlation ระหว่าง $f(t), g((t-b)/a)$	60
5.8 แสดงลักษณะของระนาบเวลาความถี่แบบคงที่.....	63
5.9 แสดงลักษณะของระนาบเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเล็ต.....	64
5.10 แสดงลักษณะการแตกกระจายสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ.....	65
5.11 แสดงลักษณะของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ.....	66
5.12 แสดงการแปลงเวฟเล็ตในลักษณะของการ Inner Product.....	69
5.13 แสดงลักษณะของการแจกแจงสัมประสิทธิ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต.....	70
5.14 แสดงสัญลักษณ์ของฟิลเตอร์แบงก์แบบ 2 ช่องสัญญาณหรือ Bands eparator... ..	71
5.15 แสดงสัญลักษณ์โครงสร้างต้นไม้ในการวิเคราะห์ห่ออกเทพของฟิลเตอร์แบงก์.....	72
5.16 แสดงลักษณะของการแยกแบนด์ความถี่ของออกเทพฟิลเตอร์แบงก์.....	73
5.17 แสดงฟิลเตอร์แบงก์แบบ 2 ช่องสัญญาณ ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต.....	75
5.18 แสดงลักษณะของ DWT โดยใช้ Dyadic Tree Structure (Octave Filter Bank).....	76
5.19 แสดงลักษณะของ IWT โดยการใช้ Dyadic Tree Structure.....	77
5.20 แสดงแผนภาพ Image Wavelet Decomposition.....	79
5.21 แสดงแผนภาพ Image Wavelet Reconstruction.....	80
5.22 แสดงภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 1 ครั้ง.....	81
5.23 แสดงภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 2 ครั้ง.....	81
5.24 แสดงภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตหลายครั้ง.....	82
5.25 การแปลงภาพไปเป็น LL LH HL และ HH.....	83
5.26 แสดงภาพต้นแบบภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT ขนาด 512 x 512 x 8 บิต.....	84
5.27 Original coefficient image, LL.....	84
5.28 ภาพหลังจากปรับ brightness image.....	85
6.1 โครงสร้างการผสมภาพ Landsat 7 multispectral image และ ข้อมูลภาพ PAN.....	87
6.2 ภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรก จาก Landsat 7 multispectral TM images.....	87
6.3 ภาพเดิมจาก LANDSAT 7 PAN (Band 8).....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.4a Wavelet coefficient image of PAN , Original coefficient image, LL	88
6.4b Wavelet coefficient image of PAN , ภาพหลังจากปรับ brightness image	88
6.5a ภาพสีจากการแปลงข้อมูลภาพ ,PC-RGB	89
6.5b ภาพสีจากการแปลงข้อมูลภาพ,HI'S-RGB.....	89
6.6a การขยายภาพสีจากการแปลง , PC-RGB.....	89
6.6b การขยายภาพสีจากการแปลง , HI'S-RGB	89



บทที่ 1

บทนำ

การสำรวจระยะไกล หรือรีโมตเซนซิง เป็นเทคโนโลยีแขนงหนึ่ง ที่ใช้เพื่อการ บ่งบอก จำแนก และ วิเคราะห์คุณลักษณะของวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวของโลก ซึ่งปราศจากการสัมผัสโดยตรง แต่อาศัยพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุ เราสามารถหาคุณลักษณะของวัตถุ ได้ จากลักษณะการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้นๆ กล่าวคือ “วัตถุแต่ละ ชนิดจะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่มีคุณลักษณะเฉพาะตัวและแตกต่างกัน ถึงแม้จะ อยู่ภายในสภาพแวดล้อมเดียวกัน” การสำรวจระยะไกลจึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนก และ สร้างความเข้าใจ สภาพแวดล้อมต่างๆ จากคุณลักษณะเฉพาะตัวของการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี ในขณะที่ลักษณะของการเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลจะอยู่ในรูปของข้อมูลภาพดิจิทัล แผ่นฟิล์ม และอื่นๆ โดยอาศัยเครื่องถ่ายภาพ และ/หรือ เครื่องวัดที่อยู่บนเครื่องบินสำรวจระยะไกล หรือ ดาวเทียมที่อยู่นอกโลก ขณะที่สถานีรับสัญญาณดาวเทียมบนพื้น โลกจะทำหน้าที่รับ สัญญาณและบันทึกข้อมูลต่างๆ เก็บไว้เพื่อการใช้งาน รวมถึงการควบคุมการ โคจรรอบ โลกของดาว เทียมนั้นๆ ให้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นทางด้าน อุตกวิทยา ธรณีวิทยา อุตุนิยม วิทยา ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม วิศวกรรม และอื่นๆ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ได้มีการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมบนภาค พื้นดินที่มี อยู่ในประเทศไทย สถานีรับสัญญาณดังกล่าวจะรับสัญญาณจากดาวเทียมทั้งที่เป็นของประเทศ อเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศทางทวีปยุโรป เช่น LANDSAT, SPOT, ADIOS, MOS-1 และ JERS-1 เป็นต้น ข้อมูลภาพที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกลักษณะข้อมูลตามความ ต้องการอย่างเหมาะสม โดยการผสมภาพ RGB จากหลายแถบความยาวคลื่นเพียง 3 แบนด์ จะมีการ สูญเสียข้อมูลบางอย่าง ทำให้ยากในการวิเคราะห์ข้อมูลและมีประสิทธิภาพต่ำ จึงต้องทำการลด จำนวนภาพลงให้เหลือเพียงไม่กี่ภาพ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้หลักการวิเคราะห์องค์ประกอบ หลัก (Principal Component Analysis) โดยจะนำภาพต้นฉบับทั้งหมดที่ได้จากภาพถ่ายทางดาว เทียมไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลภาพ แล้วนำไปจัดเรียงเป็นภาพองค์ประกอบ หลักต่างๆ โดยเริ่มจากภาพที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุดไปจนถึงภาพที่มีความแปรปรวนมากที่สุด แล้วนำภาพที่มีความแปรปรวนมากที่สุดนี้ ไปทำการจำแนกข้อมูลในพื้นที่นั้นต่อไป ส่วนการผสม ภาพรายละเอียดต่ำ ที่ได้จากแถบความยาวคลื่นแคบจากดาวเทียม Landsat ในระบบ TM หลายแถบ ความยาวคลื่นและภาพรายละเอียดสูงจากแถบความยาวคลื่นกว้างจากดาวเทียม SPOT ในระบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PAN ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะใช้ประโยชน์จากภาพทั้งสองแบบนั้น เนื่องจากตำแหน่งของภาพถ่ายทั้งสองจะต้องทำให้ตรงกันเพื่อที่จะวางทับกัน ข้อสำคัญคือภาพถ่ายทั้งสองจะต้องถ่ายภาพในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวใช้วิธีการนำภาพถ่ายชุดเดียวกันจากดาวเทียม LANDSAT 7 ซึ่งประกอบไปด้วยภาพระบบ TM แบบหลายแถบความยาวคลื่นที่มี 6 แบนด์ และภาพระบบ PAN ทำการผสมภาพองค์ประกอบหลักกับสัมประสิทธิ์ Wavelet ความถี่ต่ำของภาพระบบ PAN โดยการใช้ HIS และไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งของการแปลงภาพและไม่มีปัญหาเรื่องช่วงเวลา จึงสะดวกในการนำไปวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ให้สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การนำเสนอหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับภาพดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่นเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพและลดจำนวนภาพถ่ายดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่นลงซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็คือ

- เพื่อต้องการศึกษาข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันแต่ต่างระบบกัน
- เพื่อต้องการศึกษาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักแล้วนำมาปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพสี โดยวิธีการของฮิว
- เพื่อต้องการศึกษาการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม โดยวิธีการ Wavelet Transform

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การนำเสนอการผสมระหว่างภาพจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principle Component Analysis) ที่มีความสามารถในการแปลงข้อมูลที่มีความแปรปรวนจากภาพต้นแบบทั้งหมด ไปเป็นภาพที่มีองค์ประกอบหลักต่างๆ โดยเฉพาะองค์ประกอบแรกของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ที่ถูกบรรจุด้วยข้อมูลหลักของข้อมูลทั้งหมดจากภาพต้นแบบ ซึ่งต่างจากวิธีเดิมที่จะต้องทำการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่น (Multispectral) ที่ทำได้ยากและมีประสิทธิภาพต่ำ แม้แต่ภาพสีหลายแถบความยาวคลื่นที่ได้มาจากภาพ 3 แบนด์ที่ต่างกัน ก็ไม่ได้นำมาใช้ทุกแบนด์เพราะดาวเทียมบางดวงให้ภาพได้ถึง 7 แบนด์ในขอบเขตพื้นที่เดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลลดลง ดังนั้นหลักการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่นำมาใช้นี้มีส่วนช่วยในการแก้ไขปัญหเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ส่วนภาพที่นำมาผสมนั้นเป็นข้อมูลภาพรายละเอียดสูงแบบ PAN ทำการผสมภาพจาก HIS เป็น RGB โดยแทนที่ความเข้ม (I) ของข้อมูลภาพเดิมจะได้ภาพสีที่มีความชัดเจนมากกว่าภาพ RGB ที่ได้จากการกำหนดภาพ RGB

1.4 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทฤษฎีที่ใช้ประกอบการวิจัยในงานวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพสีจากหลายแถบความยาวคลื่น โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ปรับค่าความสว่างของข้อมูลภาพให้สอดคล้องกัน(Gray Scale Matching) การวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมโดยวิธีการ Wavelet Transform การผสมภาพระหว่างภาพจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ต่างระบบด้วยวิธี HIS

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการผสมภาพถ่ายดาวเทียมและการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของภาพถ่ายดาวเทียม โดยข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากดาวเทียม LANDSAT ในระบบ TM หลายแถบความยาวคลื่นมีค่าความละเอียด 30 เมตร กว้าง 30 เมตร และภาพรายละเอียดสูงจากภาพแถบความยาวคลื่น ในระบบPAN ของดาวเทียมดวงเดียวกัน มีค่าความละเอียด 15 เมตร กว้าง 15 เมตร ในขั้นตอนของการผสมภาพได้อาศัยเทคนิคทำการกำหนดค่าองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรกซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลภาพมากกว่า 95 % ของข้อมูลภาพเดิมเป็นภาพ RGB แล้วแปลงภาพ RGB เป็น HIS เพื่อที่จะทำการแทนความเข้ม (I) ของข้อมูลภาพด้วยภาพความละเอียดสูงแบบ PAN ที่ได้จากการแยกแถบความถี่โดยวิธีการ Wavelet Transform โดยเลือกข้อมูลภาพที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำและสอดคล้องกับภาพหลายแถบความยาวคลื่น รวมทั้งการปรับค่าความสว่างของข้อมูลภาพจากดาวเทียมให้มีค่าใกล้เคียงกันก่อนที่จะนำภาพที่ได้มาผสมเข้าด้วยกัน

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 1 บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตวิทยานิพนธ์ และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 หลักการของการสำรวจจากระยะไกลทั่วไป

บทที่ 3 หลักการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพสีจากหลายแถบความคลื่น ทฤษฎีการแปลง RGB เป็น HIS และ HIS เป็น RGB หลักการปรับค่าความสว่างของภาพ

บทที่ 4 หลักการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพสีจากหลายแถบความยาวคลื่น โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักไป เพื่อที่จะสามารถนำไปประมวลผลต่อไป

บทที่ 5 การประยุกต์การแปลง Wavelet Transform กับภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง

บทที่ 6 บทสรุป เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่น่าจะเป็นประโยชน์เพื่อการศึกษาในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายจะเป็นภาคผนวกประกอบได้ด้วยความหมายของคำที่น่าสนใจเพื่อช่วยในการทำ
ความเข้าใจมากขึ้นในการอ่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ดาวเทียมและคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียม

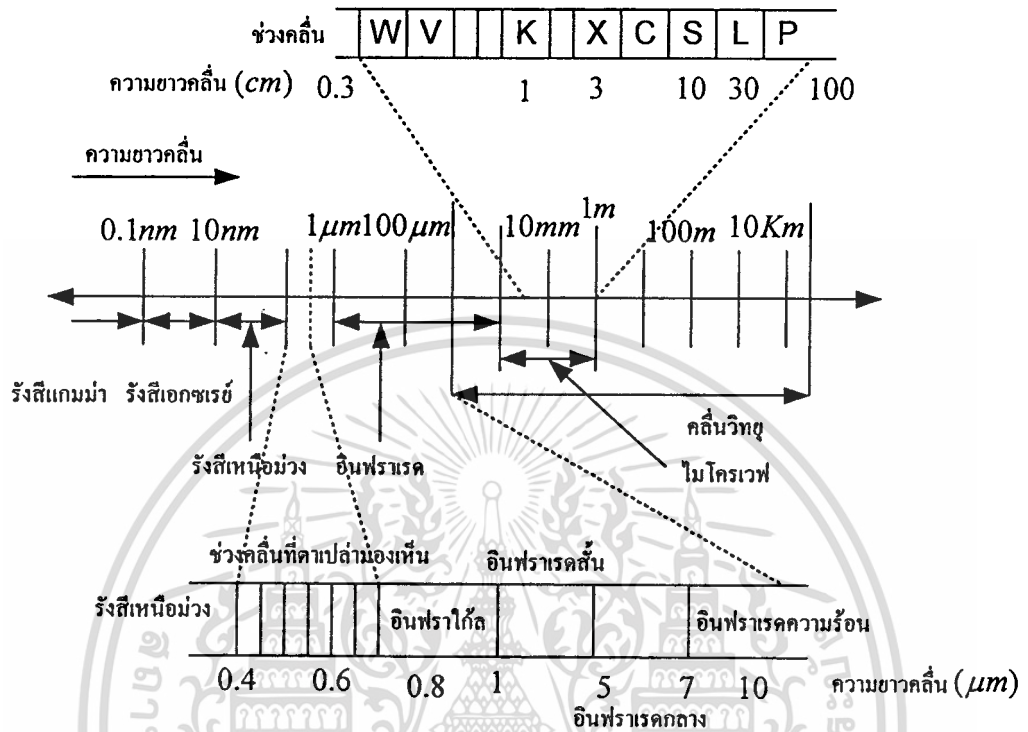
คำนำ

การสำรวจทรัพยากรธรรมชาตินั้น วิธีการที่สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและประหยัด ก็คือการใช้ ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร หรือเราเรียกว่าเป็นวิทยาการด้าน รีโมทเซนซิง (Remote Sensing) ซึ่งหมายถึง การบันทึกหรือการได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่เป้าหมาย ด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้น ซึ่งอาศัยคุณสมบัติคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ แถบความยาวคลื่น (Spectral) รูปทรงสัญญาณ (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) ของสิ่งต่างๆบนผิวโลก ดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในโลกนี้มีหลายดวง แต่ละดวงก็มีคุณลักษณะและคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงคุณลักษณะของดาวเทียมและคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียมแต่ละดวงรวมถึงการใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ

2.1 หลักการรีโมทเซนซิง [7],[5]

องค์ประกอบที่สำคัญของรีโมทเซนซิงทั้งทางธรรมชาติและมนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น คือ คลื่นแสงที่เป็นคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่เสมือนสื่อการส่งผ่านระหว่างวัตถุเป้าหมาย และอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ระบบบันทึกที่ใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าทางธรรมชาติ เช่น พลังงานจากดวงอาทิตย์ จะเป็นระบบพาสซีฟ (Passive Remote Sensing) ส่วนระบบที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น และส่งไปยังวัตถุเป้าหมาย จะเป็นระบบแอกทีฟ (Active Remote Sensing) เช่น ระบบเรดาร์ (Radar)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบที่มีค่าความยาวช่วงคลื่นหลายเมตร ถึงเศษส่วนของพันล้านเมตร (nm) ซึ่งเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศในลักษณะเป็นคลื่นด้วยความเร็วแสง ดังนั้นคลื่นความถี่สูงจะมีความยาวคลื่นสั้นกว่า แต่มีระดับพลังงานสูงกว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วย ย่านพลังงานที่มีความยาวคลื่นต่างๆ กัน ดังแสดงด้วยแถบพลังงาน (Spectrum) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ช่วงแสงที่ใช้ประโยชน์ในการสำรวจข้อมูลระยะไกลโดยมีช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 0.34 ถึง 14 ไมโครเมตร (μm) ซึ่งเป็นความถี่ที่สามารถใช้เครื่องมือรับและบันทึกข้อมูลได้หลายอย่าง รวมทั้งกล้องถ่ายภาพด้วยฟิล์ม และอุปกรณ์บันทึกข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ไม่ใช่ฟิล์มประเภทสแกนเนอร์ต่างๆ ในช่วงคลื่นที่เห็นได้เป็นช่วงคลื่นแคบ



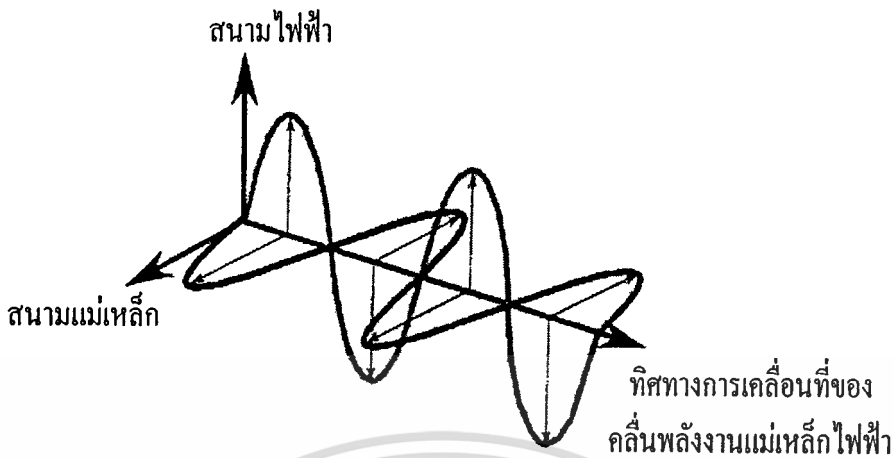
รูปที่ 2.1 แสดงความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2 พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง ในหลายๆ รูปแบบของพลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานเคมี และพลังงานกล พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดไปยังเป้าหมายต่างๆ ได้ โดยการแผ่รังสี การอธิบายปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างจะซับซ้อน สามารถกระทำได้โดยอาศัยทฤษฎี 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีคลื่น และทฤษฎีอนุภาค

2.2.1 ทฤษฎีคลื่น

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วยสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า ทิศทางของสนามแม่เหล็ก ทิศทางของสนามไฟฟ้า และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีคลื่น

การเคลื่อนที่ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไปในลักษณะของคลื่น จึงสามารถที่จะกำหนดความแตกต่างของพลังงานได้ สืบเนื่องจากความยาวคลื่น (λ) คือ ระยะจากยอดคลื่นหนึ่งถึงอีกยอดคลื่นหนึ่ง และความถี่ (f) ซึ่งก็คือจำนวนยอดคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านจุดๆ หนึ่งต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น ความถี่ และความเร็วแสง (c) ดังสมการที่ (2.1)

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

โดยที่ c ค่าคงที่ของความเร็วคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 3×10^8 เมตร / วินาที ในสุญญากาศ ย่านความยาวคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ รังสีแกมมา (Gamma) รังสีเอ็กซ์ (X - Ray) รังสีอัลตราไวโอเลต (UV - Ultraviolet) แสงที่ตามองเห็น (Vision light) รังสีอินฟราเรด (IR - Infrared) จนถึงคลื่นวิทยุ (Radio wave) โดยเรียงลำดับจากความยาวคลื่นสั้นไปจนถึงความยาวคลื่นยาวตามลำดับ ดังในตาราง 2.1 แสดงชื่อ และย่านความถี่ต่างๆ ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า มีสิ่งที่น่าสนใจคือ การแยกประเภทของรังสีอินฟราเรด และคลื่นวิทยุอาจจะแตกต่างกันไปขึ้นกับสาขาวิชาการนั้นๆ ตามที่แสดงในตารางเป็นตัวอย่างที่ใช้กันทั่วไป

ตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า

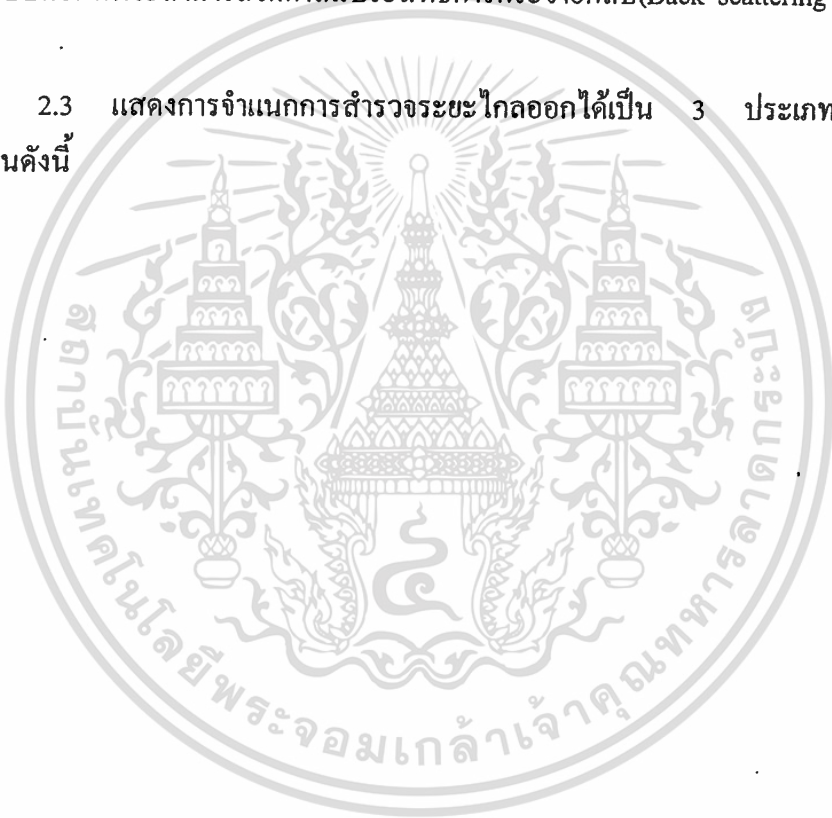
ประเภท		ความยาวคลื่น		ความถี่		
อัลตราไวโอเลต		100 ~ 0.4	μm	750 ~ 3000	THz	
แสงที่ตามองเห็น		0.4 ~ 0.7	μm	430 ~ 750	THz	
อินฟราเรด	อินฟราเรดใกล้	0.7 ~ 1.3	μm	230 ~ 730	THz	
	อินฟราเรดคลื่นสั้น	1.3 ~ 3	μm	100 ~ 230	THz	
	อินฟราเรดคลื่นกลาง	3 ~ 8	μm	38 ~ 100	THz	
	อินฟราเรดความร้อน	8 ~ 14	μm	22 ~ 38	THz	
	อินฟราเรดไกล	14 ~ 1	mm	0.3 ~ 22	THz	
คลื่นวิทยุ	มิลลิเมตรย่อย		0.1 ~ 1	mm	0.3 ~ 3	THz
	ไมโครเวฟ	มิลลิเมตร (EHF)	1 ~ 10	mm	30 ~ 300	GHz
		เซนติเมตร (SHF)	1 ~ 10	cm	3 ~ 30	GHz
		เดซิเมตร (UHF)	0.1 ~ 1	m	0.3 ~ 3	GHz
	คลื่นสั้นมาก (VHF)	1 ~ 10	m	30 ~ 300	MHz	
	คลื่นสั้น (HF)	10 ~ 100	m	3 ~ 30	MHz	
	คลื่นกลาง (MF)	0.1 ~ 1	km	0.3 ~ 3	MHz	
	คลื่นยาว (LF)	1 ~ 10	km	30 ~ 300	kHz	
คลื่นยาวมาก (VLF)	10 ~ 100	km	3 ~ 30	kHz		

ย่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการสำรวจจากระยะไกลได้แก่ คลื่นอัลตราไวโอเลตใกล้ (ความยาวคลื่น 0.3 ~ 0.4 ไมโครเมตร) คลื่นที่ตามองเห็น(ความยาวคลื่น 0.4 ~ 0.7 ไมโครเมตร) ประกอบไปด้วยแถบสีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และแดง คลื่นอินฟราเรดใกล้(Near infrared) อินฟราเรดคลื่นสั้น(Short wave infrared) อินฟราเรดความร้อน(Thermal infrared) (ความยาวคลื่น 0.7 ~ 14 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นไมโครเวฟ(Microwave)(ความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร ~ 1 เมตร) ซึ่งย่านแสงในช่วงอินฟราเรดใกล้ และอินฟราเรดคลื่นสั้นนั้น ในบางครั้งจะเรียกว่าอินฟราเรดช่วงสะท้อน (ความยาวคลื่น 0.7 ~ 3 ไมโครเมตร) เพราะเป็นย่านที่ได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าที่จะเกิดจากการแผ่รังสีจากพื้นโลก ในย่านอินฟราเรดความร้อน พลังงานส่วนใหญ่จะได้มาจากการแผ่รังสีของพื้นผิว โดยที่ได้รับอิทธิพลจากการสะท้อนของพลังงานแสงอาทิตย์น้อยมาก

ในขณะที่ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีการแผ่พลังงานไฟฟ้าสูงสุดนั้นคือ ความยาว คลื่น 0.5 ไมโครเมตร ซึ่งจะเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสำรวจระยะไกลย่านความถี่ที่ตามองเห็นและ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านอินฟราเรดสะท้อน โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลในย่านแสงที่ตามองเห็น และอินฟราเรดสะท้อน ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับค่าการสะท้อน(Reflectance) ของวัตถุต่างๆบนผิวโลก โดยที่แหล่งกำเนิดพลังงานที่ใช้ในการสำรวจจากระยะไกลย่านอินฟราเรดจะได้จากตัววัตถุเอง เนื่องจากวัตถุใดๆ ก็ตามที่มีอุณหภูมิในระดับปกติ จะมีความสามารถในการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดที่ความยาวคลื่นประมาณ 10 ไมโครเมตร การสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟ สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ การสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบพาสซีฟ(Passive) และการสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบแอคทีฟ(Active) ในการสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบพาสซีฟจะสามารถวัดค่าการแผ่รังสีไมโครเวฟ(Microwave radiation)ได้จากวัตถุ ในขณะที่การสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟแบบแอคทีฟจะสามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์การกระจายกลับ(Back scattering coefficient) ได้

ในรูปที่ 2.3 แสดงการจำแนกการสำรวจระยะไกลออกได้เป็น 3 ประเภท ตามย่านความยาวคลื่นดังนี้



	การสำรวจจากระยะไกลย่านแสงที่ตามองเห็นและอินฟราเรด	การสำรวจจากระยะไกลย่านอินฟราเรดความร้อน	การสำรวจจากระยะไกลย่านไมโครเวฟ
แหล่งกำเนิดพลังงาน	ดวงอาทิตย์	วัตถุ	วัตถุ เรดาร์
วัตถุ	ค่าการสะท้อน	การแผ่รังสีความร้อน (อุณหภูมิ, สภาพเปล่งรังสี)	การแผ่รังสี สัมประสิทธิ์การกระจัดกระจายกลับ
ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น	ค่าการแผ่รังสีที่สะท้อน	ค่าการแผ่รังสีที่เปล่งออก	
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	อัลตราไวโอเล็ต	ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น	อินฟราเรด
เครื่องมือ	0.4 μm	0.7 μm	อินฟราเรดความร้อน
กล้องถ่ายรูป	0.3 μm	0.9 μm	1mm
ตัวตรวจวัดแสง			14 μm
ไมโครเวฟ			1mm 30cm

รูปที่ 2.3 ประเภทของการสำรวจระยะไกลที่สัมพันธ์กับย่านความยาวคลื่นทั้ง 3 ประเภท

1. การสำรวจระยะไกลย่านแสงที่ตามองเห็นและอินฟราเรดสะท้อน (Visible and Reflective Infrared Remote Sensing)
2. การสำรวจระยะไกลย่านอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared Remote Sensing)
3. การสำรวจระยะไกลย่านไมโครเวฟ (Microwave Remote Sensing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ทฤษฎีอนุภาค

อธิบายถึงพฤติกรรมของคลื่นแสงที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิด ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคย่อยที่เรียกว่า ควอนตัมหรือโฟตอน อนุภาคย่อยเหล่านี้มีคุณสมบัติเหมือนอนุภาคอื่นๆ ที่ประกอบด้วยพลังงานและโมเมนตัม แต่ต่างกันตรงที่โฟตอนมีมวลเป็นศูนย์เมื่ออยู่นิ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของโฟตอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับความถี่ดังสมการที่ (2.2)

$$E = h \cdot f \quad (2.2)$$

กำหนดให้

E คือพลังงานของโฟตอน

h คือค่าคงที่ Planck

f คือความถี่คลื่น

จากสมการที่ (2.1) คูณด้วย $\frac{h}{h}$

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

นั่นคือ พลังงานของโฟตอนเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวคลื่น หรือ ก็คือแปรตรงกับความถี่คลื่น หมายความว่า ยิ่งคลื่นแสงมีความยาวคลื่นมาก พลังงานโฟตอนจะมีค่าน้อย และในทางกลับกัน หากคลื่นแสงมีความถี่สูงระดับพลังงานก็จะสูงตาม ความสัมพันธ์เหล่านี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญของพฤติกรรมของพลังงานกับแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3 การสะท้อนแสงของผิวโลก

ปฏิกริยาระหว่างพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าและพื้นผิวโลกเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสำรวจระยะไกล เพราะเป็นค่าที่ตรวจวัดด้วยอุปกรณ์สำรวจในลักษณะของพลังงาน ซึ่งจะสะท้อนจากพื้นผิวโลกในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับคุณสมบัติของแต่ละพื้นผิวในการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีความร้อน ดังนั้นจึงต้องเข้าใจปรากฏการณ์ดังกล่าวเพื่อประโยชน์ในการแปลความหมายจากภาพ

2.3.1 การสะท้อนกลับ

เป็นปรากฏการณ์เมื่อแสงตกกระทบพื้นผิวโลกแล้วสะท้อนกลับ ปริมาณแสงที่สะท้อนจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ลักษณะพื้นผิว เป็นลักษณะราบเรียบ หรือขรุขระ มุมตกกระทบของแสง ความสามารถหรืออัตราสะท้อนแสงของพื้นผิวโลก และโพลาไรเซชันของแสงที่ตกกระทบ การสะท้อนกลับเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ

1. การสะท้อนกลับหมดในทิศทางตรงข้าม เกิดในกรณีที่พื้นผิวมีลักษณะราบเรียบ โดยที่มุมของความขรุขระที่ผิวมีค่าน้อยกว่า 1 ใน 10 ของความยาวคลื่น โดยแสงที่ตกกระทบทั้งหมดจะสะท้อนกลับในทิศทางที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ มักจะเกิดกับแสงที่มีความยาว คลื่นค่อนข้างยาว การสะท้อนในลักษณะนี้นอกจากจะไม่เกิดประโยชน์ต่อการสำรวจระยะไกลแล้ว ยังบังคับ

สภาพพื้นผิวแท้จริงที่ปรากฏบนภาพด้วย ลักษณะนี้เรียกว่า “ประกายแดด” โดยที่ ปรากฏการณ์เช่นนี้มักเกิดกับบริเวณผิวน้ำ ดินบางประเภท และหินที่โผล่เหมือนผิวดิน

2. การสะท้อนแบบกระจาย เป็นการสะท้อนจากพื้นผิวที่ค่อนข้างขรุขระ แต่อยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอ และเกิดในย่านแสงที่ตามองเห็นเป็นส่วนใหญ่

3. การสะท้อนแบบผสม เป็นลักษณะที่มักเกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ โดยรวมเอาลักษณะการสะท้อนกลับหมด และการสะท้อนแบบกระจายเข้าไว้ด้วยกัน รูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบการสะท้อนแสงทั้ง 3 ลักษณะ



รูปที่ 2.4 แสดง เปรียบเทียบปรากฏการณ์การสะท้อนแสงในลักษณะการสะท้อนกลับหมด การสะท้อนแบบกระจาย และการสะท้อนแบบผสม

ค่าการสะท้อนตามความยาวคลื่นเรียกว่า ค่าการสะท้อนเชิงคลื่น (Spectral reflectance) สมมติฐานของการสำรวจระยะไกลมีว่า “ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นจะมีลักษณะเฉพาะตัว และแตกต่างกันเมื่อสะท้อนจากวัตถุหนึ่ง ไปยังวัตถุหนึ่ง” ค่าการสะท้อนของพลังงานแม่เหล็ก ไฟฟ้าหรือแสงที่มีทิศทางตกกระทบและสะท้อนที่แน่นอนจะเรียกว่า ค่าการสะท้อนเชิงทิศทาง (Directional reflectance) ทิศทางของแสงที่ตกกระทบและที่สะท้อนนี้อาจเป็นแบบเชิงทิศทาง แบบรูปกรวยหรือแบบคลุมซีกโลก จึงมีลักษณะผสมผสานกันได้ถึง 9 แบบ ค่าการสะท้อนเชิงคลื่นของสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันออกไปทำให้สามารถจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดิน โดยวิธีสำรวจจากระยะไกลได้ด้วยการสังเกตค่าการสะท้อนเชิงคลื่นหรือค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่นจากพื้นผิวนั้นๆ

2.3.2 การดูดกลืน

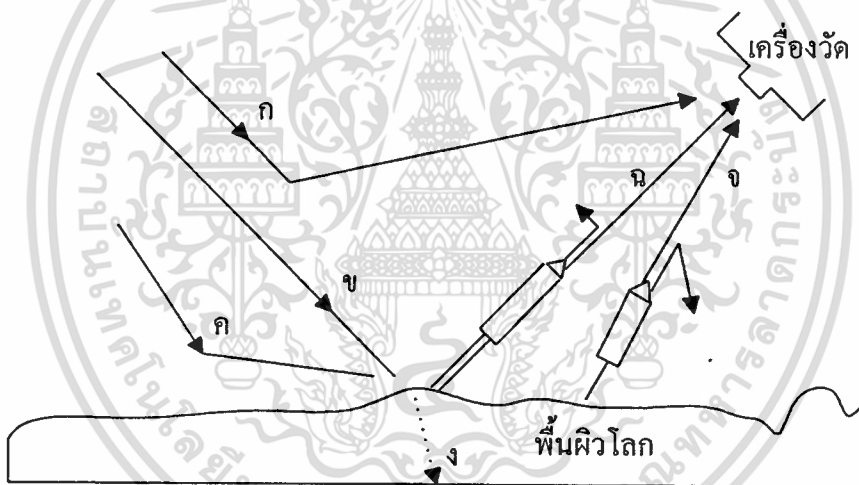
ปรากฏการณ์นี้เป็นเช่นเดียวกับการดูดกลืนในชั้นบรรยากาศ เมื่อพลังงานตกกระทบพื้นผิวโลก บางส่วนจะสะท้อนกลับ ในขณะที่บางส่วนจะถูกดูดกลืน ปริมาณการดูดกลืนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของพื้นผิว ตลอดจนขนาดหรือความหนา นอกจากนี้ การดูดกลืนยังจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละความยาวคลื่น บางพื้นผิวจะดูดกลืนได้ดีในช่วงคลื่นสั้น และพื้นผิวบางประเภทก็จะดูดกลืนได้ดีในช่วงคลื่นยาว อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานบางส่วนเกิดขึ้น พลังงานนี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความร้อน อุณหภูมิของวัตถุจะเพิ่มขึ้น ทำให้ตัวมันเองกลายเป็นต้น

กำเนิดพลังงาน ดังเช่นการแผ่รังสีระยะไกลเพราะสามารถใช้อุปกรณ์ตรวจรับได้ทั้งกลางวันและกลางคืน และเป็นย่านหนึ่งของหน้าต่างบรรยากาศที่ไม่ถูกรบกวน โดยอนุภาคในชั้นบรรยากาศ

2.3.3 การส่งผ่าน

การส่งผ่านพลังงาน เป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกับการดูดกลืนพลังงานของพื้นผิว โดยพลังงานส่วนที่ได้รับการดูดกลืนจะถูกถ่ายทอดไปยังส่วนที่อยู่ลึกลงไป ค่าการส่งผ่านรังสีของวัตถุใดๆ ก็คือ สัดส่วนของปริมาณพลังงาน ณ จุดซึ่งพลังงานได้เคลื่อนที่ไป ต่อพลังงานที่ตกกระทบทั้งหมด โดยทั่วไปแล้วค่าการส่งผ่านจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับคุณสมบัติของพื้นผิวและสำหรับพื้นผิวหนึ่งๆ จะเกิดการส่งผ่านได้ดีในบางช่วงคลื่นเท่านั้น

ในรูปที่ 2.5 แสดงภาพสรุปเส้นทางเดินของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดผ่านชั้นบรรยากาศไปกระทบยังพื้นผิวโลก แล้วสะท้อนกลับเข้ามาสู่อุปกรณ์ตรวจจับ สำหรับระบบที่แสดงนี้เป็นระบบพาสซีฟ แหล่งกำเนิดพลังงาน คือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยเส้นทางเดินดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นทางเดินของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าการสำรวจระยะไกลแบบพาสซีฟ

ก. รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องทางผ่านชั้นบรรยากาศและจะเกิดการสูญเสียไปบางส่วน โดยส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและส่วนหนึ่งจะเกิดการกระจายโดยอนุภาคต่างๆในชั้นบรรยากาศ แล้วสะท้อนเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับโดยมิได้ตกกระทบพื้นผิวโลก ปฏิกิริยาการนี้จะทำให้เกิดลักษณะคล้าย “หมอก” บนภาพถ่ายจากดาวเทียมและเกิดความไม่คมชัดของภาพ

ข. รังสีส่วนที่เหลือจากการดูดกลืนและการกระจายในชั้นบรรยากาศ จะตกกระทบพื้นผิวโลก แล้วสะท้อนเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับ

ค. แสงจากท้องฟ้าที่เกิดการกระจายในชั้นบรรยากาศ ตกกระทบพื้นผิวโลกแล้วสะท้อนเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับรวมกับข้อ (ข.)

ง. รังสีบางส่วนที่ตกกระทบพื้นผิวโลกที่ถูกดูดกลืนและส่งผ่านสู่ระดับลึกเบื้องล่าง

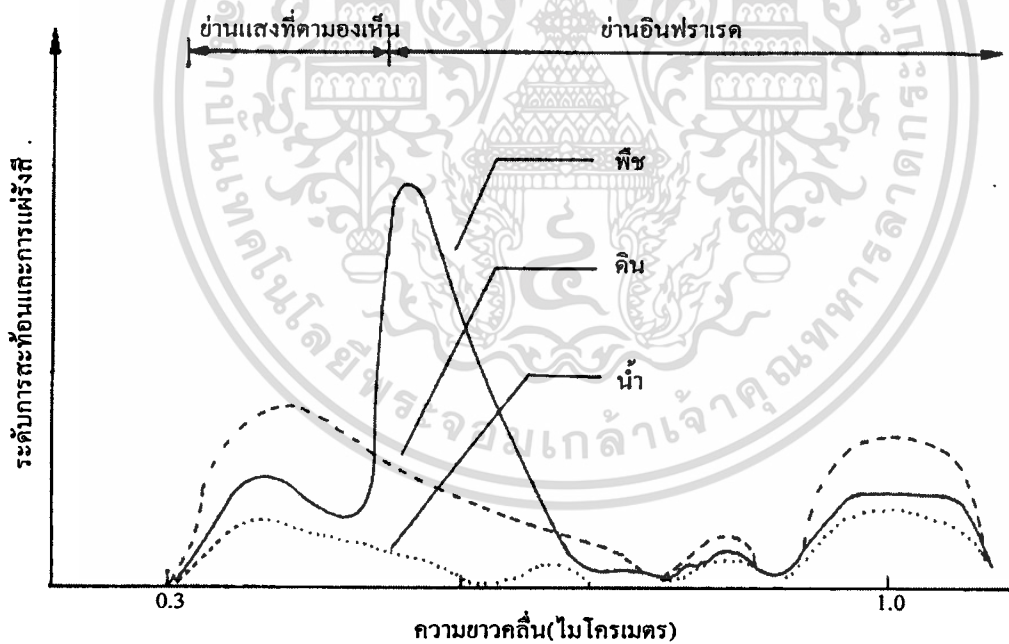
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. รังสีที่แผ่จากพื้นผิวโลกแล้วเดินทางอุปกรณ์ตรวจจับ

ฉ. การกระจายของรังสีที่สะท้อนหรือแผ่จากพื้นผิวโลก บางส่วนสะท้อนออกนอกทิศทางของอุปกรณ์ตรวจจับ บางส่วนสะท้อนเข้าเครื่องสำรวจและบางส่วนสะท้อนกลับสู่พื้นผิวโลกอีก

สิ่งที่ต้องการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจจับ คือ รังสีในส่วนของ (ข.) และ (จ.) ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติทางแสงของแต่ละพื้นผิว แม้ว่า (ง.) จะแสดงคุณสมบัติดังกล่าวด้วยก็ตาม แต่โดยที่ (ง.) มีความสัมพันธ์กับ (ข.) ในเชิงกลับกัน ดังนั้น จึงเป็นการเพียงพอที่จะดูจากค่าการสะท้อนเป็นส่วนใหญ่ ค่าการสะท้อนหรือแผ่รังสีที่วัดได้ ณ ความยาวคลื่นต่างๆ ของแถบพลังงาน หรือสิ่งที่เรียกว่าลายเซ็นเชิงคลื่น(Spectral signature) จะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพื้นผิว ค่าเหล่านี้ สามารถวัดได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือจากการสำรวจในสนาม ภายใต้สภาวะที่ปราศจากการรบกวนของชั้นบรรยากาศ การรวบรวมลายเซ็นเชิงคลื่นของพื้นผิวประเภทต่างๆ จะมีประโยชน์สำหรับการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับให้บันทึกภาพด้วยช่วงคลื่นที่เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทและช่วยในการแปลความหมายของภาพถ่ายจากดาวเทียม



รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบลายเซ็นเชิงคลื่นของทรัพยากรหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความยาวช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ

ช่วงคลื่น	ความยาวช่วงคลื่น	รายละเอียด
รังสีแกมมา(Gamma Ray)	0.03 nm	รังสีแกมมาถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยบรรยากาศชั้นบนจึงไม่ได้ใช้ในการสำรวจข้อมูลระยะไกล
รังสีเอกซเรย์ (X-Ray)	0.03-3.0 nm	รังสีเอกซเรย์ถูกดูดซับทั้งหมดโดยชั้นบรรยากาศเช่นกัน
รังสีเหนือม่วง (Ultraviolet)	0.03-0.4 μm	ช่วงคลื่นสั้นกว่า 0.3 ไมโครเมตรถูกดูดกลืนทั้งหมดโดยโอโซนในบรรยากาศชั้นบน
Photographic UV Band	0.3-0.4 μm	ช่วงคลื่นสามารถผ่านชั้นบรรยากาศ สามารถถ่ายภาพด้วยฟิล์มถ่ายรูป แต่การกระจายในชั้นบรรยากาศเป็นอุปสรรคมาก
ช่วงคลื่นเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible)	0.4-0.7 μm	
อินฟราเรด Infrared)	0.7-100 μm	มีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุตามความยาวคลื่นและการส่งผ่านชั้นบรรยากาศ มีการดูดกลืนในบางช่วงคลื่น
อินฟราเรดสะท้อน (Reflected IR Band)	0.7-3.0 μm	สะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับช่วงความร้อนของวัตถุ ช่วงคลื่น 0.7-0.9 ไมโครเมตร สามารถถ่ายรูปด้วยฟิล์มเรียกว่า Photographic IR Band
อินฟราเรดความร้อน (Thermal IR Band)	3-5 μm และ 8-14 μm	การบันทึกภาพต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เช่น สแกนเนอร์
ไมโครเวฟ (Microwave)	0.1-30 cm	ช่วงคลื่นยาวสามารถทะลุผ่านหมอกเมฆและฝนได้บันทึกภาพทั้งระบบ Active และ Passive
ช่วงคลื่น	ความยาวช่วงคลื่น	รายละเอียด
เรดาร์ Radar)	0.1-30 cm	ระบบ Active มีความยาวช่วงคลื่นต่างๆ เช่น Ka Band (1 cm.) X Band (3 cm.) และ L Band (25 cm.)
วิทยุ (Radio)	> 30 cm.	ช่วงคลื่นที่ยาวที่สุด บางครั้งมีเรดาร์อยู่ในช่วงนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีผลตอบสนองต่อความมนุษย์ตั้งแต่ 0.3-0.7 แบ่งได้ 3 ช่วงสี คือ สีน้ำเงิน สีเขียว และสีแดง

1) การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic View) ภาพที่ได้จากดาวเทียมภาพหนึ่งๆ ครอบคลุมพื้นที่กว้างทำให้ได้ข้อมูลลักษณะต่อเนื่องในระยะเวลาบันทึกภาพสั้นๆ สามารถศึกษาสภาพแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณกว้างขวางต่อเนื่องในเวลาเดียวกันทั้งภาพ เช่น ภาพจากดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS และ ระบบ TM หนึ่งภาพคลุมพื้นที่ 185 x 185 ตร.กม. หรือ 34,225 ตร.กม. ภาพจากดาวเทียม SPOT คลุมพื้นที่ 3,600 ตร.กม.

2) การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีระบบกล้องสแกนเนอร์ ที่บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นในเวลาเดียวกัน ทั้งในช่วงคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นนอกเหนือสายตามนุษย์ ทำให้แยกวัตถุต่างๆ บนพื้นผิวโลกได้อย่างชัดเจน เช่น ระบบ TM มี 7 ช่วงแถบความยาวคลื่น

3) การบันทึกบริเวณเดิม (Repetitive Coverage) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวงโคจรจากเหนือลงใต้ และกลับมายังจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นอย่างสม่ำเสมอในเวลาที่เหมาะสม เช่น ดาวเทียม LANDSAT ทุก ๆ 16 วัน สำหรับดาวเทียม MOS ทุก ๆ 17 วัน

4) การให้รายละเอียดหลายระดับ ภาพถ่ายจากดาวเทียมจะให้รายละเอียดหลายระดับ ผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ภาพจากดาวเทียม SPOT ระบบ PLA มีรายละเอียด 10 ม. สามารถศึกษาตัวเมือง เส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน ภาพสีระบบ MLA มีรายละเอียด 20 ม. ศึกษาจากการบุกรุกพื้นที่ป่าเฉพาะจุดเล็ก ๆ และแหล่งน้ำขนาดเล็ก และภาพระบบ TM รายละเอียด 30 ม. ศึกษาการใช้สภาพที่ดินระดับจังหวัด

5) ภาพจากดาวเทียมสามารถให้สีผสม (False color composite) ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการขยายรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้ชัดเจน สามารถจำแนกหรือมีสีแตกต่างจากสิ่งแวดล้อมนั้น

6) การเน้นคุณภาพของภาพ (Image enhancement) ภาพจากดาวเทียมต้นฉบับสามารถนำมาปรับปรุงให้มีรายละเอียดเพิ่มขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเข้ม ระดับสีเทาเพื่อเน้นข้อมูลที่ต้องการศึกษาให้เด่นชัดขึ้น

2.4 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

ดาวเทียมที่ใช้ในการสำรวจทรัพยากรโลก ซึ่งสร้างขึ้นจากการร่วมมือขององค์กรต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น องค์กรบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NASA), องค์กรอวกาศแห่งยุโรป (ESA), องค์กรพัฒนาอวกาศแห่งชาติญี่ปุ่น (NASDA) ฯลฯ มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียม LANDSAT ดำเนินการโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศ (Natiom Aeronatics and Space Administration) ของสหรัฐอเมริกาส่งขึ้นไปเพื่อบันทึกสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนมาจากผิวโลกเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2518 โดยชื่อดาวเทียมในตอนแรกคือ ERTS-I (Earth Resoursed Technology Satellite) ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น Landsat Satellite-I เขียนย่อๆว่า “Landsat-I”

ดาวเทียม Landsat -2 ส่งขึ้นโคจรเมื่อวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2518

ดาวเทียม Landsat-3 ส่งขึ้นโคจรเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2521

ดาวเทียมทั้ง 3 ดวงนี้ มีรูปร่างและการทำงานเหมือนกัน การบันทึกสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสองระบบ คือ

- 1) ระบบ MSS (Multispectral Scanner) เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นโลกออกมาในช่วงคลื่นต่างๆกัน ระบบนี้จึงแยกบันทึกตามขนาดของช่วงคลื่นที่ Photo Sensitive Detector จะรับสัญญาณได้ การบันทึกจะแยกออกเป็น 4 ช่วงคลื่น (Bands) ดังนี้
 - Band ที่ 4 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.5-0.6 ไมครอน
 - Band ที่ 5 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.6-0.7 ไมครอน
 - Band ที่ 6 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.7-0.8 ไมครอน
 - Band ที่ 7 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.8-0.11 ไมครอน

พื้นที่การปกคลุมของภาพเท่ากับ 185×185 ตารางกิโลเมตร ถ้าพิมพ์ลงบนกระดาษจะมีขนาด 9×9 ตารางนิ้ว มาตรฐานของภาพประมาณ 1:1,000,000 ความละเอียดของภาพ (Resolution) หรือขนาดบนพื้นดินที่ภาพจะบันทึกได้เท่ากับ 57×73 ตารางเมตร ยกเว้นรายละเอียดของภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นเส้นเช่นแม่น้ำ ลำคลอง ถนน ถึงแม้จะมีความกว้างน้อยกว่า 57 เมตรก็สามารถบันทึกได้ เนื่องจากบันทึกแยกเป็น 4 ช่วงคลื่น ดังนั้นจึงได้ภาพออกมาเป็น 4 ภาพ ในพื้นที่เดียวกัน แต่รายละเอียดของ Tone ภาพไม่เหมือนกัน ภาพ Band 4 จะอยู่ในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์สามารถมองเห็น (Visible spectrum) ที่ก่อนไปทางช่วงของแสง Ultraviolet ภาพ Band 5 จะเป็นภาพที่อยู่ในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ชัดเจนที่สุด ดังนั้นลักษณะของภาพ Band 5 จึงมีลักษณะคล้ายภาพถ่ายทางอากาศมากที่สุด ภาพ Band 6 จะอยู่ในช่วงคลื่น Near Infrared ส่วนภาพ Band 7 อยู่ในช่วงคลื่น Infrared ซึ่งในช่วงคลื่นนี้จะสะท้อนพื้นที่ซึ่งเป็นน้ำได้ดีที่สุด สิ่งอื่นๆ จะสะท้อนได้น้อยมาก ดังนั้นภาพ Band 7 จะเห็นบริเวณที่เป็นพื้นน้ำชัดเจนที่สุด

- 2) ระบบ RBV(Return Beam Vidicon) ในดาวเทียม Landsat 1 และ Landsat 2 จะติดกล้องถ่ายภาพระบบนี้ไว้ 3 กล้อง แต่ละกล้องจะบันทึกภาพแบ่งเป็น 3 ช่วงคลื่น คือ

Band ที่ 1 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.475 – 0.575 ไมครอน

Band ที่ 2 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.580 – 0.680 ไมครอน

Band ที่ 3 บันทึกระหว่างช่วงคลื่น 0.690 – 0.830 ไมครอน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปแล้วจะครบ 7 Band แต่ใน Landsat -3 ได้เปลี่ยนกล้องระบบ RBV เสียใหม่ คงติดตั้งเพียง 2 กล้องเท่านั้น แต่ละกล้องจะบันทึกในพื้นที่ขนาดกว้างครึ่งหนึ่งของภาพ MSS เมื่อภาพ MSS บันทึก 1 ครั้ง กล้อง RBV จะบันทึก 2 ครั้ง ดังนั้นในพื้นที่ภาพของ MSS 1 ภาพจะมีภาพ RBV 2 ภาพ การบันทึกจะบันทึก Band เดียวในช่วงที่เคลื่อนตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ดังนั้นภาพ RBV จึงลักษณะคล้ายภาพถ่ายทางอากาศ ความละเอียดของภาพ(Resolution) เท่ากับ 40×40 ตารางเมตร หมายถึงพื้นที่บนโลกที่มีขนาด 1 ไร่ กล้อง RBV จะสามารถบันทึกได้เป็น 1 จุดภาพถ้ารายละเอียดของภูมิประเทศที่เป็นเส้น เช่น ถนน ทางน้ำ ขนาดกว้าง 10 เมตร ก็สามารถบันทึกได้

ดาวเทียม Landsat-4 ส่งขึ้นโคจร เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2525 โดยปกติดาวเทียม Landsat จะมีอายุประมาณ 3 ปีเศษ แต่ดาวเทียม Landsat-4 ขึ้นโคจรเพียงปีเศษก็เกิดปัญหา เนื่องจากวัสดุเชื่อมต่อระหว่าง แผงรับพลังงานจากดวงอาทิตย์ (Solar panel) ชำรุด 2 แผง คงใช้งานได้เพียง 2 แผง พลังงานที่ได้รับจึงไม่เพียงพอสำหรับอุปกรณ์เพื่อทำงานได้ ดังนั้น NASA จึงได้ส่งดาวเทียม Landsat-5 ขึ้นโคจร ในวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2527

ดาวเทียม Landsat 4 และ 5 เปลี่ยนรูปร่างใหม่ทั้งหมด แต่ยังคงบันทึกสัญญาณ MSS เหมือนเดิมแต่เปลี่ยนภาพจากระบบ RBV เป็นภาพระบบ TM (Thematic Mapper) ที่มีความคมชัดของภาพ (Resolution) เท่ากับ 30×30 ตารางเมตร

- ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียม Landsat มีดังนี้
 - การโคจรเกือบเป็นวงจรในแนวเหนือ-ใต้ เอียงจากขั้วโลกเล็กน้อย (Near Polar) มีมุมโคจรเบนจากขั้วโลกเหนือ 90.92 องศา ไปทางทิศตะวันออก
 - ความสูงจากพื้นโลกประมาณ 914 กิโลเมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
 - น้ำหนักของดาวเทียม Landsat 1,2 และ 3หนัก 953 กิโลกรัม แต่ Landsat 4 ,5 หนัก 817 กิโลกรัม
 - ใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยแผง Solar-Panel 4 แผง
 - โคจรรอบโลก 1 รอบ ในเวลา 103.26 นาที ใน 24 ชั่วโมง จะโคจรได้ 14 รอบ
 - วงจรจะซ้ำที่เดิมทุกๆ 18 วัน
 - ดาวเทียมจะผ่านเส้นศูนย์สูตร เวลาประมาณ $09.30-09.42$ น.

· ภาพ MSS จะบันทึกค่าความเข้มของสีเทา (Gray tone level) ของจุดภาพด้วยตัวเลข 64 ระดับ ตั้งแต่ 0 คือสีขาว ไปจนถึง 63 คือสีดำ ขนาดของจุดภาพ เท่ากับ 70×55 ไมครอน ในหนึ่งภาพจะมีจุดภาพเรียงในแนวราบ $3,400$ จุด และเรียงในแนวตั้ง $2,320$ จุด ซึ่งการบันทึกจากดาวเทียม จะบันทึกลงบน HDDT (High Density Digital Tape) เมื่อจะนำไปใช้งาน จะต้องนำไปผ่านคอมพิวเตอร์ DPU (Data Processing Unit) แปลงให้เป็น CCT (Computer Compatible Tape) เสียก่อน แต่ถ้าจะนำไปเป็นภาพถ่าย จะต้องนำ CCT ไปบันทึกด้วยเครื่อง LBIR (Laser Beam Image Recorder) เพื่อแปลงสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณภาพ แล้วรูปพิมพ์ด้วยเครื่อง PPU (Photo Processing

Unit) ในทำนองเดียวกันถ้าจะนำภาพ MSS ไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ก็จะต้องทำให้อยู่ในรูป CCT เช่นกัน ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจการต่างๆ เช่น

- การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
- การเกษตร เช่น ให้รายละเอียดการจำแนกการใช้ที่ดิน ความเสียหายของพืชในบริเวณเพาะปลูก ขอบเขตของน้ำท่วม และลักษณะการชลประทาน ซึ่งจะนำไปใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดิน
- การป่าไม้ แสดงชนิดและขอบเขตของป่าไม้ อาณาเขตของป่าไม้ที่ถูกทำลาย อันเนื่องมาจากการลักลอบตัดไม้ หรือการแผ้วถางเพื่อการทำไร่เลื่อนลอย และบริเวณเกิดไฟป่า
- ธรณีวิทยา ภาพถ่ายดาวเทียม จะให้รายละเอียดด้านธรณีโครงสร้าง ซึ่งช่วยในการสำรวจทำแผนที่ธรณีวิทยา การค้นหาแหล่งแร่ แหล่งน้ำมัน
- ด้านวิศวกรรมต่างๆ เช่นการก่อสร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ ถนน สะพาน ฯลฯ
- ศึกษาการขยายตัวของเมืองต่างๆ แหล่งโรงงานอุตสาหกรรม
- การทำแผนที่เฉพาะเรื่อง การแก้ไขแผนที่
- ด้านสมุทรศาสตร์
- อื่นๆ

ตารางที่ 2.3 การใช้งานในช่วงคลื่นของดาวเทียม LANDSAT ระบบ MSS ที่รายละเอียด 80 ม

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
4	0.50-0.60	สามารถทะลุผ่านน้ำได้มากกว่าช่วงคลื่นอื่น ใช้ในการตรวจตะกอนหรือความขุ่นขึ้นในน้ำ แสดงความแตกต่างของพืชพรรณสีเขียวกับสิ่งปกคลุมอย่างอื่น แสดงลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา
5	0.60-0.70	แสดงความแตกต่างของสิ่งที่มนุษย์สร้างกับลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศ ใช้สำหรับแยกพืชพรรณสีเขียวเมื่อรวมอยู่กับสิ่งปกคลุมหลายๆอย่าง
6	0.70-0.80	เหมาะสำหรับจำแนกความแตกต่างของลักษณะการใช้ที่ดิน และใช้ตรวจปริมาณมวลชีวะสีเขียว (Green Biomass)
7	0.80-1.10	แสดงความแตกต่างส่วนที่เป็นน้ำกับส่วนที่ไม่เป็นน้ำได้ดี ใช้แยกความแตกต่างระหว่างพืชพรรณกับดินได้ แสดงธรณีสัญฐานและ โครงสร้างทางธรณีวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การใช้งานช่วงคลื่นของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ที่รายละเอียด 30 ม.

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
1	0.45-0.52	ใช้ตรวจสอบลักษณะน้ำตามชายฝั่ง แสดงความแตกต่างหรือใช้แยกประเภทต้นไม้ชนิดผลัดใบและไม่ผลัดใบออกจากกัน แสดงความแตกต่างหรือแยกดินจากพืชพรรณต่างๆ มีความไวต่อการมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์
2	0.52-0.60	แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวจากพืชพรรณที่เจริญเติบโตแล้ว
3	0.63-0.69	แสดงความแตกต่างของการดูดกลืนคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่างๆกัน
4	0.76-0.90	ใช้ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะแสดงความแตกต่างของน้ำ และส่วนที่ไม่ใช่น้ำ
5	1.55-1.75	ใช้ตรวจความชื้นในพืช แสดงความแตกต่างของหิมะกับเมฆ
6	10.40-12.50	ใช้ตรวจการเหี่ยวเฉาอันเนื่องมาจากความร้อนในพืช แสดงความแตกต่างของความร้อนบริเวณที่ศึกษา แสดงความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.80-2.35	ใช้ตรวจความร้อนในน้ำ ใช้แยกประเภทแร่ธาตุและหินชนิดต่างๆ

La Systeme Probatoire d'Observation de la Terre (SPOT)

ดาวเทียม SPOT เป็นดาวเทียมที่สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการถ่ายภาพจากอวกาศ ในระบบของ Remote Sensing การถ่ายภาพผิวโลกเพื่อนำภาพถ่ายนั้นไปใช้ในการบริหารทรัพยากรธรรมชาติให้ได้ประโยชน์สูงสุด

การบริหารทรัพยากรธรรมชาตินั้น สามารถทำได้ 2 ทาง คือ

- นำภาพมาแปลความหมาย (Interpretation) ในกิจการต่างๆ เช่น การป่าไม้ การเกษตรกรรม วิทยา ฯลฯ

- นำภาพมาใช้ทำแผนที่ (Cartographic Mapping) เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียม SPOT นั้นสามารถนำมาดูภาพ 3 มิติ (Three Dimension View) ได้ทั้งระบบ Stereoscopic และระบบ Anaglyphic และปรับแก้ลักษณะของภาพทางเรขาคณิต (Geometric Correction) ได้

คำว่า SPOT นั้น มีคำเต็มเป็นภาษาฝรั่งเศสว่า "La Systeme Probatoire d'Observation de la Terre" ดาวเทียมดวงนี้ดำเนินการโดย โครงการอวกาศแห่งชาติของฝรั่งเศส (The French Nation-Space Program) ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่างประเทศฝรั่งเศส สวีเดน และเบลเยียม ส่งไปโคจรใน

เอกสารนี้เป็นฉบับที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ตัวดาวเทียมเรียกว่า “SPOT Bus” เพราะมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมคล้ายรถ Bus มีความกว้าง 2 เมตร ยาว 3.5 เมตร และสูง 2 เมตร

-น้ำหนักทั้งหมด 1,750 กิโลกรัม

-มีแผงรับพลังงานจากดวงอาทิตย์(Solar Panel) ยาว 15.6 เมตร เพื่อแปลงพลังงานจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าใช้กับดาวเทียมดวงนี้

-การโคจรของดาวเทียมมีระดับความสูงจากพื้นโลก 832 กิโลเมตร

-วงจรโคจรใกล้เคียงกับแนวขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ มีมุมเอียง 98.7 องศา

-เครื่องมือภาพถ่ายเป็นระบบ Detector Array ได้ออกแบบให้บันทึกภาพที่มี High Resolution Visible (HRV)บันทึกในช่วงคลื่น Visible และช่วงคลื่น Infrared

การบันทึกภาพนั้น บันทึก 2 ระบบ คือ

-ภาพขาว-ดำ (Panchromatic)บันทึกภาพในช่วงคลื่น 0.51 – 0.73 ไมครอน มี Resolution 10 × 10 ตารางเมตร

-ภาพสี (Multispectral) บันทึกภาพในช่วงคลื่น 0.59 – 0.89 ไมครอน โดยแยกออกเป็น 3 ช่วงคลื่น คือ

Band S1ระหว่าง 0.50 – 0.59 ไมครอน

Band S2 ระหว่าง 0.61 – 0.68 ไมครอน

แนวของภาพที่บันทึก

บันทึกภาพในแนวตั้ง (Nadir Viewing) มีเครื่องบันทึกภาพ HRV จำนวน 2 เครื่อง แต่ละเครื่องจะบันทึกภาพคลุมพื้นที่กว้าง 60 กิโลเมตร ภาพที่ได้จากเครื่องบันทึกภาพ HRV ทั้งสองนั้น จะมี Slidelap ดังนั้นทั้งสองเครื่องจะบันทึกภาพในแนวตั้งคลุมพื้นที่กว้าง 117 กิโลเมตร

บันทึกภาพแนวในเฉียง (Off Nadir Viewing) มีเครื่องบันทึกภาพ HRV ในแนวเฉียง บันทึกภาพพร้อมกันทั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของวงโคจรทางทิศตะวันตกจะทำมุม 21.5 องศา กับแนวตั้ง และทางทิศตะวันออกจะทำมุม 22.6 องศา กับแนวตั้ง ภาพถ่ายทางเฉียงแต่ละแนวจะมีเครื่องบันทึกภาพ HRV 2 เครื่องเช่นเดียวกัน แต่ละเครื่องจะถ่ายภาพคลุมพื้นที่กว้าง 80 ตารางกิโลเมตร ภาพถ่ายทางเฉียงนี้จะไปคลุมพื้นที่ซ้อนทับภาพทางแนวตั้งและภาพถ่ายแนวเฉียงในวงโคจรอื่น ภาพที่ซ้อนกันนี้มีมุมพาราแลกซ์ (Parallax Angle) จึงทำให้ใช้ดูภาพ 3 มิติ (Three Dimension) ได้ทั้งแบบ Stereoscopic และ Anaglyphic

ลักษณะของภาพ เป็นภาพที่เป็นแถบยาว (Track)

-การโคจรของดาวเทียมดวงนี้จะบันทึกภาพซ้ำที่เดิมทุกๆ 26 วัน

-ภาพต้นฉบับจะมีมาตราส่วน 1:125,000 สามารถขยายใหญ่ได้ถึงมาตราส่วน 1:25,000 และใช้ทำแผนที่มาตราส่วน 1 :50,000 ได้

ตารางที่ 2.5 การใช้งานช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ระบบ MLA ที่รายละเอียด 20 เมตร

ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
1	0.52-0.59	ศึกษาพืช น้ำ ตะกอน
2	0.61-0.68	แยกป่า และสิ่งก่อสร้าง
3	0.79-0.89	ศึกษาภูมิประเทศ ดินและธรณีวิทยาแยกส่วนที่เป็นน้ำและไม่เป็นน้ำ

คลื่นที่เห็นด้วยตาเปล่าถึงช่วงคลื่น อินฟราเรดใกล้ โดยมีรายละเอียดของภาพ 20 ม. และระบบช่วงคลื่นขาว – ดำ PLA (Panchromatic Linear Array) ซึ่งมีรายละเอียด 10 ม.

ตารางที่ 2.6 การใช้งานช่วงคลื่นของดาวเทียม SPOT ระบบ PLA ที่รายละเอียด 10 เมตร

ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร)	ศักยภาพการใช้ประโยชน์
0.51-0.73	ใช้ประโยชน์คล้ายกับรูปถ่ายทางอากาศ

ดาวเทียม MOS-1 โคจรสูงจาพื้นโลก 909 กม. โดยสำรวจข้อมูลและบันทึกภาพตาม เวลาท้องถิ่นระหว่างเวลา 10.00-11.00 น. ทุกวันโคจรมาสำรวจบริเวณเดิมทุก 17 วัน วันหนึ่งโคจร 14 รอบ ใช้เวลา 103 นาที ดาวเทียม MOS-1 มีอุปกรณ์สำรวจข้อมูล 4 ระบบ คือ

1) ระบบ MESSR (Multispectral Electronic Self Scanning Radiometer) บันทึกภาพใน 4 แถบความยาวคลื่น เป็นช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า 2 แถบความยาวคลื่น และอินฟราเรดใกล้ 2 แถบความยาวคลื่น มีความยาวช่วงคลื่นเช่นเดียวกับระบบ MSS ของดาวเทียม LANDSAT ระบบบันทึกภาพของ MESSR ประกอบด้วยกล้อง 2 ชุด กล้องตัวหนึ่งๆ บันทึกภาพ 2 แถบความยาวคลื่น ระบบบันทึกภาพเป็นแบบ Push Broom Scanning โดยมี Detector โดยมี Detector 2,048 ตัว สำหรับบันทึกภาพในระยะทางกว้าง 100 กม. มีรายละเอียดข้อมูล 50 ม.

2) ระบบ VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer) บันทึกภาพ 4 แถบความยาวคลื่น เป็นช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า 1 ช่วงคลื่น และอินฟราเรดความร้อน 3 แถบ ความยาวคลื่น ระบบบันทึกภาพเป็นแบบ Mirror Scan โดยใช้กระจกแบบหมุนรอบ (Rotating Mirror) กวาดภาพในขนาด 1,500 กม. x 1,500 กม. แถบความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีรายละเอียด 900 ม. ส่วนในช่วงอินฟราเรดความร้อน มีรายละเอียด 2,700 ม. ระบบนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิต่างๆ ในทะเล การปกคลุมของเมฆและไอน้ำ

3) ระบบ MSR (Microwave Scanning Radiometer) บันทึกภาพด้วยระบบ Passive Microwave Radiometer ทำการบันทึกข้อมูลในช่วงความถี่ 23 GHz และ 31 GHz ในช่วงเวลา 10 msec และ 47

msec รวม 4 แถบความยาวคลื่น ความกว้างช่วงบันทึกภาพ 317 กม. โดยช่วงความถี่ GHz มีรายละเอียดภาพ 30 กม. และในช่วงความถี่ 31 GHz มีรายละเอียด 10 กม. ระบบนี้ใช้ประโยชน์ในการสำรวจปริมาณไอน้ำ และในบรรยากาศ ลมทะเล ตลอดจนการแผ่ปกคลุมของหิมะและของน้ำแข็งในทะเล

4) DCS (Data Collection System) เป็นระบบสำหรับเก็บข้อมูลทางด้านสมุทรศาสตร์พร้อมทั้งยังสามารถวัดตำแหน่งของ DCP (Data Collection Platform) เช่นตำแหน่งหรือทุ่นได้ด้วย

ดาวเทียม ERS-1 ดาวเทียม WRS-1 มีคุณสมบัติพิเศษในการบันทึกข้อมูลแบบ Active Sensor คือเรดาร์สามารถถ่ายภาพทะลุเมฆและวัตถุบางชนิดได้ บันทึกในช่วงคลื่นค่าสะท้อนต่ำ ขณะที่ความขรุขระจะให้ค่าสะท้อนสูงขึ้นตามส่วน แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณามุมตกกระทบ (Incident Angle) ขณะที่บันทึกข้อมูล

ดาวเทียม JERS-1 เป็นระบบดาวเทียมที่ถ่ายภาพทะลุเมฆได้โดยใช้เรดาร์ มีอุปกรณ์ถ่ายภาพทะลุเมฆที่เรียกว่า SAR (Synthetic Aperture Radar) แล้วยังมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า OPS (Optical Sensor) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้ใช้ CCD (Charge Coupled Device) ในการรับแสงจากพื้นผิวโลกแยกออกเป็น 7 แถบความยาวคลื่นตั้งแต่แถบความยาวคลื่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า จนถึงแถบความยาวคลื่นอินฟราเรด โดยมีรายละเอียดของภาพถึง 18 ม. x 24 ม. และสามารถถ่ายภาพสามมิติตามแนวโคจรได้ด้วย

ดาวเทียม NOAA เป็นดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่นำข้อมูลมาใช้ในการสำรวจพื้นผิวได้ด้วยดาวเทียม NOAA โคจรรอบโลก 1 รอบใช้เวลา 101.4 นาที มี 2 ดวง คือ NOAA-11 และ NOAA-12 ดาวเทียม NOAA-11 โคจรสูงจากพื้นโลก 830 กม. ดาวเทียม NOAA-12 โคจรสูงจากพื้นโลก 870 กม. อุปกรณ์เก็บข้อมูลของดาวเทียมคือ AVHRR (Advance Very high Resolution Radiometer) มีรายละเอียดของภาพ 1.1 กม. ความกว้างของภาพ 2,800 กม. แต่ละดวงบันทึกข้อมูลวันละ 2 ครั้ง ทั้งกลางวันและกลางคืน ใช้ประโยชน์ในการตรวจอุณหภูมิเมฆ อุณหภูมิผิวหน้าทะเล อุณหภูมิผิวน้ำดิน และดัชนีพืชพรรณ

ตารางที่ 2.7 การใช้งานอุปกรณ์สำรวจข้อมูลของดาวเทียม MOS-1

คุณลักษณะ	ระบบบันทึกภาพ		
	MESSR	VTIR	MSR
วัตถุประสงค์	การใช้ที่ดิน , สีผิวทะเล	อุณหภูมิผิวทะเล	ไอน้ำและน้ำบรรยากาศน้ำแข็งหิมะ
ช่วงคลื่น(ไมโครเมตร)	0.51-0.59	0.50-0.70 6.0-7.0	-
	0.61-0.69	10.5-	
	0.72-0.80	11.5	
ความถี่คลื่น (GHz)	0.80-1.10	11.5-12.5	23.8 GHz - 31.4 GHz
ภาพคลุมพื้นที่ (ตร.กม.)	100 x 100	-	317 x 317
รายละเอียดภาพ (ม.)	50	1,500 x 1,500	3,200
		900 2,700	2,300

2.5 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในประเทศไทย

ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2513 สหประชาชาติโดยคณะกรรมการ United Nation Committee on the Peaceful Use of Outer Space ได้จัดประชุมคณะกรรมการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีขึ้นในการประชุมครั้งนี้คณะผู้แทนจากสหรัฐอเมริกาได้เสนอเรื่องการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม และได้ชี้แจงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการนี้ให้ที่ประชุมได้ทราบและเสนอแผนการช่วยเหลือประเทศต่างๆ ในด้านการฝึกอบรมเกี่ยวกับความรู้เรื่องภาพถ่ายจากดาวเทียมขึ้นเป็นครั้งแรกในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2514 นับเป็นประเทศที่ 36 ที่เข้าร่วมในโครงการนี้ โดยมติคณะรัฐมนตรีได้ตั้ง คณะกรรมการประสานงานสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม ประกอบด้วยผู้แทนหน่วยราชการต่างๆ 23 หน่วย และตั้งโครงการพัฒนาการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมขึ้นเป็น 3 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นระยะแรกก่อตั้งโครงการ เริ่มตั้งแต่วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2514 จนถึงต้นปี พ.ศ. 2518 ซึ่งเป็นเวลาที่ดาวเทียม Landsat-2 ถูกส่งขึ้นโคจร เมื่อประเทศไทยเริ่มเข้าสู่ยุคการใช้ข้อมูลจากอวกาศแล้ว แต่บุคลากรจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังขาดความรู้ในเรื่องนี้

ระยะที่ 2 ตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2518 ถึงปลายปี พ.ศ. 2521 เพื่อความคล่องตัวในการดำเนินงาน จึงเปลี่ยนศูนย์ประสานงานโครงการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียมขึ้นกับสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติให้เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบ และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จึงเสนอโครงการจัดแห่งตั้งสถานีรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม ซึ่งจัดตั้งในประเทศไทย ซึ่งเลือก

สถานที่เหมาะสมคือ บริเวณตรงกันข้ามกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร สามารถรับสัญญาณภาพได้ในรัศมี 2,800 กิโลเมตร หรือครอบคลุมพื้นที่ประเทศต่างๆ ถึง 19 ประเทศ รัฐบาลได้เห็นประโยชน์จึงอนุมัติให้สร้างสถานีรับสัญญาณภาพจากดาวเทียมในปี พ.ศ. 2521

ระยะที่ 3 ก็ระยะตั้งแต่ต้นปี พ.ศ. 2522 ถึงปัจจุบัน เป็นงานก่อสร้างสถานีรับและติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งสามารถทดลองรับสัญญาณภาพได้ได้ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2524 แต่แล้วเสร็จสมบูรณ์เปิดใช้ได้เป็นทางการในวันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2525 นอกจากนี้ยังจัดตั้งโครงการใช้ข้อมูลจากสถานีรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม ในเชิงปฏิบัติการ เช่น โครงการจัดตั้งศูนย์เก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านการเกษตร และทรัพยากรธรณี ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียมไปใช้ร่วมกับข้อมูลที่ได้รับจากภาพถ่ายทางอากาศ และการสำรวจทางภาคพื้นดินพร้อมทั้งจัดทำเป็น Data Bank สำหรับในการวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพสีจากหลายแถบ ความยาวคลื่น

3.1 คำนำ

การปรับปรุงข้อมูลภาพจากหลายแถบความยาวคลื่นได้นำเสนอหลักการของฮิว(HUE) เป็น การผสมสีโดยจะใช้ภาพจาก 3 ภาพองค์ประกอบหลักแรกให้เป็นภาพสี เสมือนหนึ่งว่าได้นำข้อมูล จากแถบความยาวคลื่นเกือบทั้งหมดมารวมกันเป็นภาพสี โดยการแปลงข้อมูลภาพแบบ RGB ไป เป็นแบบ HIS มีข้อดีคือสามารถใช้ในการกำจัดเงาพร้อมทั้งเน้นรายละเอียดภาพของ หิน ดิน และ พืชพรรณต่างๆ ทั้งนี้เพราะค่าของจุดภาพในภาพฮิว จะไม่ขึ้นอยู่กับการสะท้อนแสง แต่จะมีความ สัมพันธ์กับรูปร่างของแถบสัญญาณของ 3 แถบความยาวคลื่นที่ใช้ในการแปลงข้อมูลเท่านั้น ภาพ ฮิวทั้ง 3 เมื่อทำการผสมสีภาพกัน เงาภาพจะหายไป

การผสมสีแบบอัตราส่วนเป็นอีกแบบหนึ่งที่ใช้อย่างกว้างขวาง ความสัมพันธ์ระหว่างอัตรา ส่วนและคุณลักษณะนั้นเข้าใจยากและใช้ได้ไม่ดีสำหรับการกำจัดเงาภาพ ผลมาจาก 2 เหตุผลคือ ประการแรกผิวของภูมิประเทศไม่ราบเรียบ ทำให้การสะท้อนแสงของผิวน้ำของวัตถุขึ้นอยู่กับ โครงสร้างผิวทั้งสองด้านและมุมระหว่างการสะท้อนแสงดวงอาทิตย์ของผิวนั้น ประการที่สองการ เปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศ อัตราส่วนภาพคือมุมสัมพันธ์ภาพในรูป 2 มิติ จากรูปเชิงมุมไปเป็น แบบเชิงขั้ว คือ

$$RATIO = \frac{X}{Y} \quad (3.1)$$

$$M = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (3.2)$$

เมื่อ X และ Y คือ ข้อมูลภาพสองแถบความยาวคลื่นที่ใช้ในการหาอัตราส่วน

$RATIO$ คือ อัตราส่วนภาพ และ M คือความสว่างของภาพ

ภาพสีสามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบแม่สี คือ แดง เขียว และ น้ำเงิน โดยการกำหนดสีลง ไปในแถบความยาวคลื่น สามารถใช้แสดง 3 ภาพของภาพหลายแถบความยาวคลื่น ปริมาณของสี ถูกกำหนดในรูปแบบของ 3 ตัวแปร คือ สี (Hue), ความเข้ม (Saturation) และความสว่าง (Intensity) ซึ่งเป็นตัวชี้ถึง ความสว่าง , ช่วงแถบคลื่น และ ความบริสุทธิ์ของสี หรือถ้าจะมองง่ายๆ คือ ใช้การ จำลองจุดสีให้อยู่ในรูปปริมาตรสีการแปลง RGB - HIS โดยใช้ฟังก์ชันการแปลงแบบ RGB - HIS ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของภาพ 3 ภาพสี ได้มาจากสัญญาณภาพ 3 แฉกความยาวคลื่น ภาพจะแสดงการผสมสีในรูปแบบของ สีแดง เขียว และน้ำเงิน ภาพใหม่จะอยู่ในรูปของการผสมสีแบบสี RGB(HRGB) ใช้ในการกำจัดเงา และสามารถรวมข้อมูลความสำคัญจากภาพหลายแฉกความยาวคลื่นให้มารวมอยู่ในภาพเดียวได้

การจำลองจุดสีด้วยลูกบาศก์สี เป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการแทนสี และแสดงความสัมพันธ์ของสีต่างๆ ซึ่งระบบการจำลองและการประมวลผลที่แตกต่างกัน จะให้ผลออกมาแตกต่างกันด้วย จุดสีสำหรับการพิมพ์ภาพสีจะใช้การผสมสีแบบ CMY (Cyan,Magenta,Yellow) ถ้าเป็นจอสี CRT หรือจอภาพคอมพิวเตอร์ก็จะใช้การผสมสีแบบ RGB ระบบนี้มีการทำงานในลักษณะของการปรับหรือการรวมกัน 3 ค่า หรือ สามตัวแปรเช่นกันคือ สี(Hue) , ความเข้ม(Saturation)และความสว่าง(Intensity) หรือระบบ HIS การมองเห็นสีของมนุษย์เราสามารถจำลองการตอบสนองของรูปทรงกรวยได้

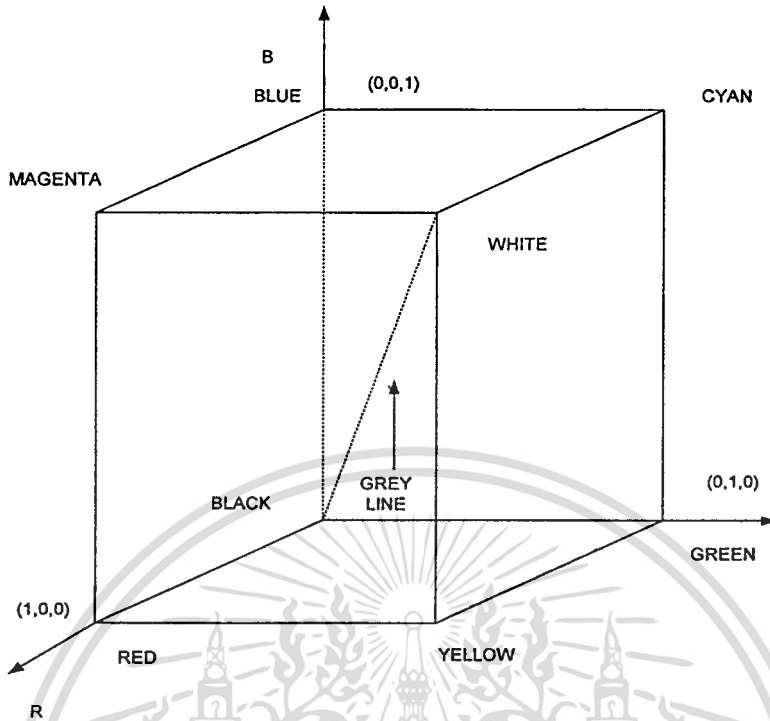
3.2 การจำลองรูปแบบสี RGB[7],[3],[4]

การจำลองรูปแบบหรือการผสมสีนี้ เกิดจากการรวมกันขององค์ประกอบสัญญาณแม่สี 3 สี คือ สีแดง , สีเขียว และสีน้ำเงิน องค์ประกอบสัญญาณสีเหล่านี้จะรวมตัวกันเพื่อให้เกิดสีใหม่ สำหรับการจำลองสีแบบ RGB จะแทนด้วยรูปปริมาตรสี 3 มิติ ซึ่งประกอบไปด้วย สีแดง , สีเขียว และสีน้ำเงิน อยู่ที่มุมของแต่ละแกน สีค่าอยู่ที่จุดเริ่มต้น และมีสีขาว ในจอภาพระบบสี 24 บิต โดยใช้การเข้ารหัสแบบ 8 บิต ต่อสี ถ้าจอภาพแสดงจุดสีเป็นสีแดงนั้นก็จะได้ค่าเท่ากับ (255,0,0) แต่ถ้าอยู่บนรูปจำลองตรงนี้ จะมีค่าเท่ากับ (1,0,0) ในการจำลองรูปแบบสีแบบ RGB นั้น ง่ายต่อการออกแบบระบบสีของจอคอมพิวเตอร์ แต่ไม่สามารถใช้ได้กับการประยุกต์ทุกอย่าง เนื่องจากความสัมพันธ์ของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินมีค่าสูงมาก จึงทำให้ยากต่อการใช้กับบางหลักการของการประมวลผลข้อมูลภาพ ซึ่งมีอยู่หลายเทคนิคด้วยกัน เช่นการปรับแต่งฮิสโตแกรม ซึ่งเป็นการกระทำต่อค่าความสว่างของข้อมูลภาพเท่านั้น การประมวลแบบนี้จะง่ายกว่า ถ้าใช้การจำลองจุดสีแบบ HIS หรือการพิมพ์ภาพสีลงบนกระดาษ โดยใช้เครื่องพิมพ์ก็เป็นการประมวลอีกแบบหนึ่งที่มีการเปลี่ยนข้อมูลภาพ RGB ไปเป็นภาพระดับสีเทา ในการกระทำดังกล่าวเราสามารถแปลงค่าของภาพสีไปเป็นภาพระดับสีเทา ได้โดยสมการมาตรฐานของระบบ NTSC ดังนี้คือ

$$\text{ความสว่างของระดับสีเทา} = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (3.3)$$

หรือการแปลงโดยการใช้ค่าเฉลี่ยก็ได้สมการดังนี้

$$\text{ความสว่างของระดับสีเทา} = 0.333R + 0.333G + 0.333B \quad (3.4)$$

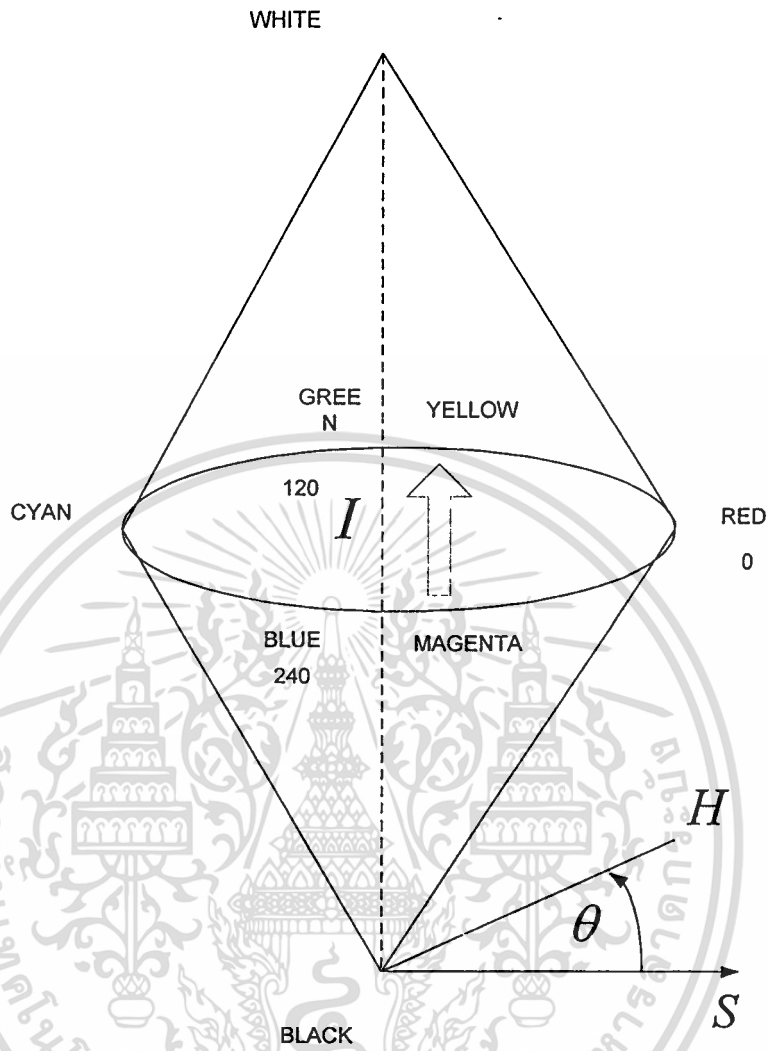


รูปที่ 3.1 แสดงการจำลองปริมาตรสีของระบบ RGB

จากสมการที่ 3.3 จะเห็นว่าสีเขียวเป็นองค์ประกอบที่ใหญ่ที่สุดของระดับสีเทา ซึ่งในบางทีในภาพสีเทาก็สามารถใช้สีเขียวเป็นองค์ประกอบเดียวก็ได้ หรือเราสามารถลดลงไปสู่ระดับสีขาว-ดำ โดยการลดค่าของสีเขียวให้ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายแต่คุณภาพไม่ดี

3.2.1 การแปลงข้อมูลแบบ RGB เป็นแบบ HIS [8],[7]

เมื่อ Hue , Saturation และ Intensity เป็นสามคุณสมบัติที่ใช้ในการแสดงรายละเอียดของสี เมื่อใช้ระบบสี HIS แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องรู้เปอร์เซ็นต์ของสีที่ใช้ในการผสมสีกันเพื่อทำให้เกิดสีใหม่ ในการเปลี่ยนความเข้มของสี เช่นปรับจากสีแดงไปเป็นสีชมพูก็สามารถทำได้จากการปรับ H เท่านั้นก็จะทำให้เกิดสีใหม่ ในการเปลี่ยนความเข้มของสีเช่นปรับจากสีแดงเป็นสีชมพูก็จะสามารถกระทำจากการปรับค่า S การปรับจากมืดไปเป็นสว่างก็ปรับได้ที่ค่า I การประยุกต์งานหลายอย่างที่ใช้ในการจำลองแบบ HIS เช่น งาน Machine Vision ใช้การจำลองแบบนี้ในการกำหนดสี ความแตกต่างของวัตถุ ในงานการประมวลผลภาพเช่น การใช้การกระทำต่อ ฮิสโตแกรม โดยการปรับแต่งความสว่างของข้อมูลภาพ ซึ่งการกระทำทั้งหมดนี้ สามารถนำมากระทำบนการ

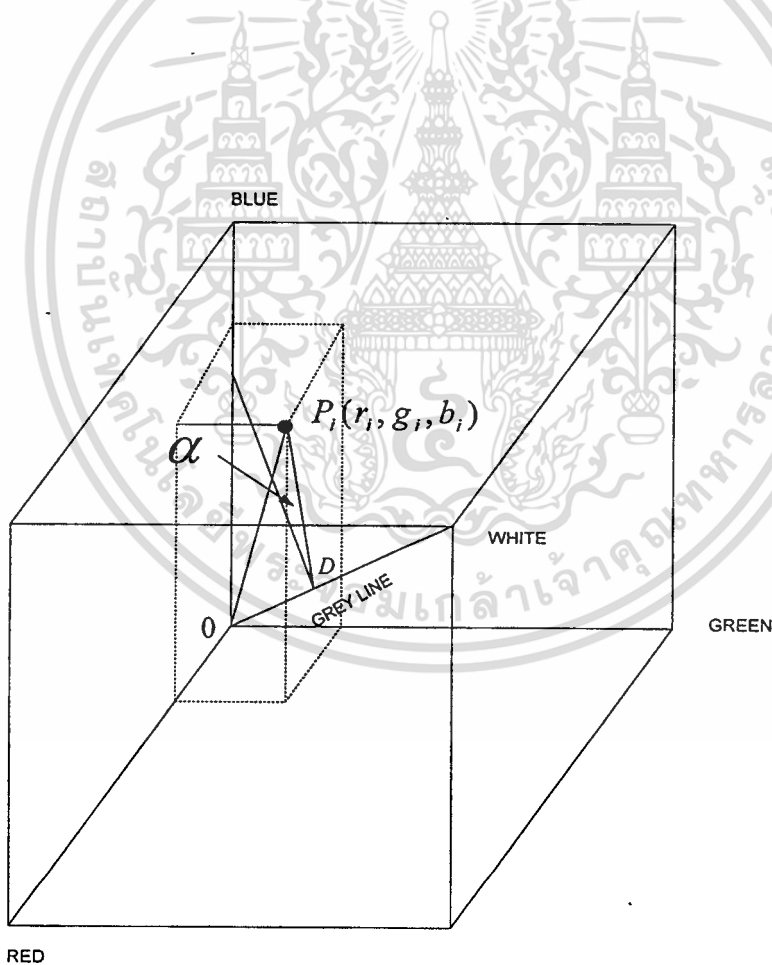


รูปที่ 3.2 แสดงการจำลองภาพสีระบบ HIS

จำลองแบบ HIS ซึ่งจะแสดงอยู่บนพิกัดรูปทรงกรวย 2 อันคว่ำหน้าเข้าหากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ค่าของ H นั้นแทนด้วยมุม θ ซึ่งจะเปลี่ยนจาก 0 ถึง 360 องศา ค่าของ S แทนด้วยรัศมีเปลี่ยนจาก 0 ถึง 1 ส่วน I จะมีค่าเปลี่ยนตามความยาวแกน Z โดยถ้ามีค่าเป็น 0 ก็แสดงผลเป็นสีดำ หรือถ้ามีค่าเป็น 1 ก็จะแสดงผลเป็นสีขาว เมื่อ $S = 0$ สีจะเป็นสีเทา ของความสว่าง I เมื่อ $S = 1$ สีจะอยู่ที่ปลายสุดของรูปกรวยล่าง ถ้าค่า S มีค่าเปลี่ยนแปลงมากขึ้นสีก็จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงจากสีขาว สีเทา และสีดำ (ขึ้นอยู่กับค่าความสว่าง) ในการปรับค่าของ H จะทำให้สี เปลี่ยนจากสีแดงที่มุม 0 องศา ผ่านไปที่สีเขียวที่มุมเท่ากับ 120 องศา และสีน้ำเงินอยู่ที่ 240 องศา และเป็นสีแดงอีกครั้งที่มุมเท่ากับ 360 องศา สำหรับค่าของ I นั้น เมื่อมีค่าเท่ากับ 0 สีก็จะเป็นสีดำ เมื่อทำการปรับค่าของ I ความสว่างของสีก็จะเปลี่ยนจากมืดเป็นสว่างขึ้นเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแปลงภาพถ่ายดาวเทียมไปเป็นภาพสีเราสามารถแปลงข้อมูลจากภาพถ่ายทั้ง 3 แถบ ความยาวคลื่นไปเป็นภาพสี 1 ภาพ จากรูปที่ 3.3 เป็นรูปจำลองปริมาตรจุดสี เราจะแทนสีในการผสมสีภาพ 3 แถบความยาวคลื่นของภาพถ่ายดาวเทียมใดๆ ด้วยเวกเตอร์ $OP_i = (r_i, g_i, b_i)$ ซึ่งอยู่ภายในรูปปริมาตรสีที่มีความยาวแต่ละด้านเท่ากับ 255 ส่วนเส้นทแยงที่ต่อจากจุดเริ่มต้นและจุดที่ไกลออกไป เรียกว่า เวกเตอร์ของเส้นสีเทา (Gray line) จุดต่างๆ บนเวกเตอร์นี้ มีส่วนผสมของสีทั้งสามคือ สีแดง เขียว และ น้ำเงิน เท่ากันตลอดทั้งเส้น ความเข้มของสีแทนด้วยเวกเตอร์ OP_i นั้นขึ้นอยู่กับความยาวของเวกเตอร์โปรเจกชัน (Projection) ลงบนเส้นสีเทา ณ จุด OD การอิ่มตัวหรือความเข้มของสีจะขึ้นอยู่กับระหว่างเวกเตอร์ OP_i กับเส้นสีเทา หรือระยะ $OP_i = (r_i, g_i, b_i)$ สีขึ้นอยู่กับมุมหรือองศาของ α ที่เกิดขึ้นรอบๆเส้นสีเทาส่วน ความสว่างของสีขึ้นอยู่กับอัตราความแตกต่างของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของ r_i, g_i, b_i ที่ผ่านมา RGB ในการแปลงภาพถ่ายดาวเทียมไปเป็นภาพถ่ายสีสามารถแปลงได้จากสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 แสดงรูปจำลองปริมาตรสีสำหรับการแปลงภาพแบบ RGB เป็น HIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I(r_i, g_i, b_i) = \frac{1}{\sqrt{3}}(r_i + g_i + b_i) \quad (3.5)$$

$$H(r_i, g_i, b_i) = \cos^{-1} \frac{2b_i - g_i - r_i}{2V_i} \quad (3.6)$$

$$S(r_i, g_i, b_i) = \frac{\max(r_i, g_i, b_i) - \min(r_i, g_i, b_i)}{\max(r_i, g_i, b_i)} \quad (3.7)$$

เมื่อ
$$V_i = \sqrt{((r_i^2 + g_i^2 + b_i^2) - (r_i g_i + r_i b_i + g_i b_i))}$$

ช่วงความยาวสีของภาพสีจากสมการที่ (3.6) คือ 0 ถึง 360 เพราะฉะนั้นก่อนแสดงภาพควรจัดให้อยู่ในค่า (0- 255) สมมติว่าการสะท้อนของภูมิประเทศทางด้านหน้าที่รับแสงดวงอาทิตย์คือ E_i เป็นจำนวน n ครั้ง และการสะท้อนของภูมิประเทศทางด้านหลังที่ไม่ได้รับแสงดวงอาทิตย์คือ E_b ดังนั้นจะได้ $E_i = nE_b, R_i = nR_b, G_i = nG_b$ และ $B_i = nB_b$ เมื่อ RGB แทนการสะท้อนแสงของภาพที่ใช้ผสมสีจากสมการที่ 3.6 ก็จะได้

$$H(R_i, G_i, B_i) = H(R_b, G_b, B_b) \quad (3.8)$$

ดังนั้นก็จะได้

$$\begin{aligned} V_i &= \sqrt{(R_i^2 + G_i^2 + B_i^2) - (R_i G_i + R_i B_i + G_i B_i)} \\ &= \sqrt{\left[\left((nR_b)^2 + (nG_b)^2 + (nB_b)^2 - (n^2 R_b G_b + n^2 R_b B_b + n^2 G_b B_b) \right) \right]} \\ &= nV_b \end{aligned}$$

$$H(R_i, G_i, B_i) = \cos^{-1} \frac{2B_i - G_i - R_i}{2V_i}$$

$$= \cos^{-1} \frac{2nB_b - nG_b - nR_b}{2V_b}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \cos^{-1} \frac{2B_b - G_b - R_b}{2V_b} \\
 &= H(R_b, G_b, B_b)
 \end{aligned}$$

ดังนั้นฮิวจะ ไม่ขึ้นอยู่กับ การส่องสว่างหรือการสะท้อนแสงเลย ค่าของความชันภูมิประเทศจะไม่แตกต่างกันระหว่างการสะท้อนโดยตรงและการสะท้อนเงา ดังนั้นภาพฮิวจะไม่มีผลกับเงาเลย ซึ่งก็จะทำให้ได้ค่าฮิวใหม่เป็น

$$H(r_i, g_i, b_i) = H(r_j, g_j, b_j) \quad (3.9)$$

ถ้า

$$E_j = nE_i + a$$

เมื่อ a เป็นค่าคงที่

3.2.2 การแปลง RGB – HIS – RGB

การแปลงภาพ RGB เป็น HIS และจาก HIS เป็นภาพ RGB ในบทความนี้จะใช้รูปแบบของ Double cone ภาพ H จะแสดงเป็นมุมตั้งแต่ 0° ถึง 360° ภาพ S จะสัมพันธ์กับความยาวรัศมีตั้งแต่ 0 ถึง 1 ภาพ I จะเปลี่ยนแปลงตามแกน z เมื่อ 0 เป็นสีดำ และ 1 เป็นสีขาว สูตรที่ใช้แปลง RGB เป็น HIS คือ

จาก RGB เป็น HIS :

$$I = \frac{R+G+B}{3} \quad (3.10)$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right] \quad (3.11)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\max(R, G, B)] \quad (3.12)$$

ถ้า B มีค่ามากกว่า G ดังนั้น $H = 360^\circ - H$

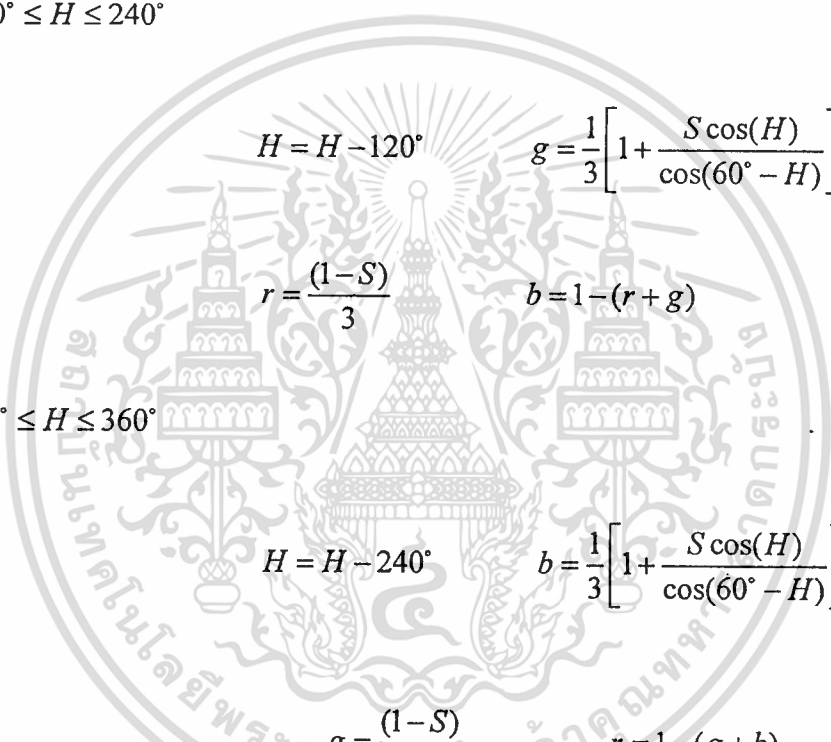
สำหรับ HIS แปลงเป็น RGB

เนื่องจากการใช้รูปแบบ double cone วิธีการแปลง HIS เป็น RGB จะขึ้นอยู่กับมุมของภาพ H

กรณี $0^\circ \leq H \leq 120^\circ$

$$b = \frac{(1-S)}{3} \quad r = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad g = 1 - (r + b)$$

กรณี $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$



$$H = H - 120^\circ \quad g = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$r = \frac{(1-S)}{3} \quad b = 1 - (r + g)$$

กรณี $240^\circ \leq H \leq 360^\circ$

$$H = H - 240^\circ \quad b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$g = \frac{(1-S)}{3} \quad r = 1 - (g + b)$$

ค่าของ r , g และ b จะเป็นค่า R , G และ B ที่ผ่านการสเกล ดังนั้น

$$\begin{aligned} R &= 3Ir \\ G &= 3Ig \\ B &= 3Ib \end{aligned} \quad (3.13)$$

3.3 การปรับค่าความสว่างของภาพ(Brightness matching)

การปรับค่าความสว่างของข้อมูลภาพถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผสมภาพ เพราะโดยปกติภาพถ่ายดาวเทียมที่จะนำมาผสมเข้าด้วยกันนั้นจะต้องมีการปรับค่าความสว่างให้สอดคล้องกัน แต่เนื่องจากการผสมข้อมูลภาพที่ผ่านมาก่อนหน้าเป็นการผสมข้อมูลภาพโดยตรง ซึ่งไม่คำนึงถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นกับค่าความสว่างที่สัมพันธ์ของข้อมูลภาพ เช่น ข้อมูลภาพที่ได้จากเวลาบันทึกแตกต่างกันจะให้ค่าความสว่างของข้อมูลภาพที่ต่างกันและฤดูกาลที่เปลี่ยนไปทำให้คุณลักษณะของข้อมูลภาพเปลี่ยนไป เช่น ลักษณะต้นไม้ที่เปลี่ยนไป จึงเป็นสาเหตุให้ข้อมูลภาพที่ได้ภายหลังการผสมมีลักษณะที่ไม่มีความต่อเนื่องกลมกลืนกันจนสามารถมองเห็นได้ชัดเจน ดังนั้นในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอขั้นตอนการปรับค่าความสว่างของข้อมูลภาพให้สอดคล้องกันเพื่อที่จะลดความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างข้อมูลภาพได้ ก่อนที่จะนำข้อมูลภาพมาผสมกันของข้อมูลภาพต่อไป

3.3.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Mean and Standard Deviation)

ค่าเฉลี่ย(Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviation) สามารถที่จะคำนวณหาได้จากค่าของข้อมูลใดๆ ที่รวบรวมได้ หรือแม้แต่นำมาใช้กับข้อมูลภาพก็ยังคงใช้วิธีการเดียวกันนี้ ซึ่งค่าเฉลี่ยก็คือค่าความสว่างของข้อมูลภาพในระดับสีเทา(Gray scale) ทุกๆ ข้อมูลที่สามารถอ่านได้

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I(i) \quad (3.14)$$

กำหนดให้

- μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพ
- I คือ ค่าความสว่างของข้อมูลภาพในพิกัดภาพใหม่
- n คือ จำนวนของข้อมูลภาพทั้งหมด

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพคือ จำนวนซึ่งเป็นค่าที่แสดงคุณลักษณะเฉพาะของจุดภาพ ซึ่งลักษณะเฉพาะของจุดภาพที่จะเปลี่ยนแปลงต่างไปจากค่าเฉลี่ย สำหรับในภาพระดับสีเทามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงแล้วความคมชัดของภาพก็จะสูงตาม แต่ก็ยังมีส่วนทำให้ภาพมีข้อมูลที่เป็นสัญญาณ รบกวนมากขึ้นด้วย ซึ่งสมการของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงได้ในสมการที่ (3.14)

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I^2(i)\right) - \mu^2} \quad (3.15)$$

กำหนดให้

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภาพ

ความน่าเชื่อถือของทั้งค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในความเป็นจริงจะมีข้อจำกัดอยู่ที่จำนวนข้อมูลที่นำมาพิจารณานั้น ไม่มีค่าที่จำกัดแน่นอนซึ่งก็จะขึ้นอยู่กับข้อมูลภาพที่นำมาพิจารณาจากสมการที่ (3.14) และ (3.15) สามารถจะนำไปใช้ในการพิจารณาเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าความสว่างระหว่างข้อมูลภาพทั้งสองได้ จากความสัมพันธ์ของสมการข้างล่างดังนี้

$$B_n = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} B_0 + \mu_1 - \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \mu_2 \quad (3.16)$$

$$\mu_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I_1(i) \quad , \quad \mu_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I_2(i)$$

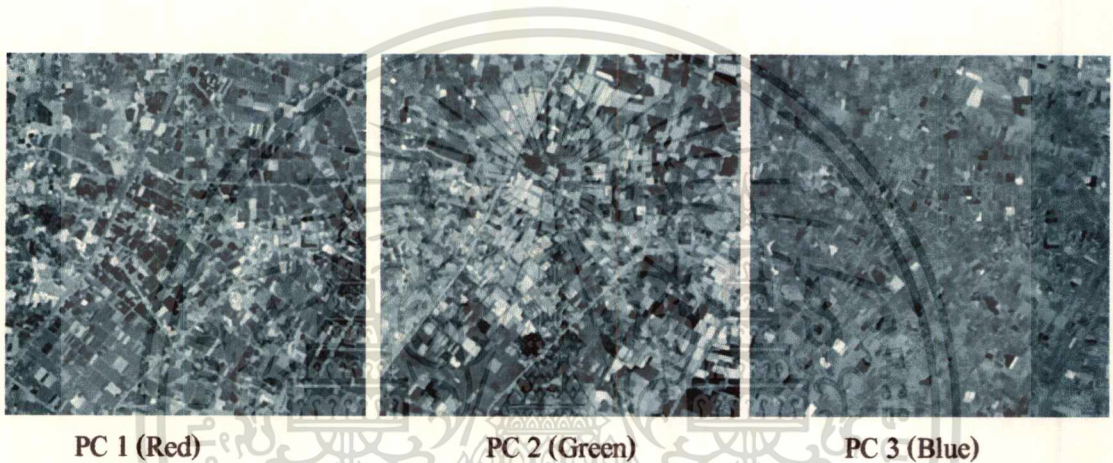
$$\sigma_1 = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I_1^2(i)\right) - \mu_1^2} \quad , \quad \sigma_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I_2^2(i)\right) - \mu_2^2}$$

โดยกำหนดให้

- B_n คือระดับค่าสีเทาของข้อมูลภาพใหม่
- B_0 คือระดับค่าสีเทาของข้อมูลภาพเดิม
- σ_1 คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภาพอ้างอิง
- σ_2 คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลภาพที่ต้องการปรับค่าความสว่าง
- μ_1 คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพอ้างอิง
- μ_2 คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลภาพที่ต้องการปรับค่าความสว่าง

3.4 การทดลองและสรุปผล

ในการทดลองได้ใช้ภาพถ่ายเทียมของดาวเทียม LANDSAT ระบบ TM ซึ่งมีระบบการบันทึกข้อมูลทั้งหมด 7 แถบความยาวคลื่นโดยทำการเลือก 3 ภาพองค์ประกอบหลักแรกซึ่งจะให้รายละเอียดของภาพมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลภาพทั้งหมด โดยจะทำการแทนภาพองค์ประกอบหลักที่ 1,2,3 เป็นสีแดง ,เขียว , น้ำเงิน ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรก จาก Landsat 7 multispectral TM images



รูปที่ 3.5 ภาพที่ได้จากการแปลงภาพองค์ประกอบหลักทั้ง 3 เป็นภาพสี RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมของข้อมูล ที่มีค่าความละเอียดต่างกัน

Principal Component Analysis for Multi- Resolution Images

บทนำ

ในปัจจุบันเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักได้ถูกนำมาใช้ในการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติจากระยะไกล (Remote sensing) โดยนำมาใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักนี้ จะเป็นการแปลงกลุ่มข้อมูลภาพเดิมให้ไปอยู่ในแนวกลุ่มข้อมูลภาพใหม่ ที่ยังคงรักษาค่าความแปรปรวนของข้อมูลภาพเดิมทุก ๆ ภาพไว้ได้ทั้งหมด กลุ่มภาพใหม่นี้เรียกว่า ภาพองค์ประกอบหลัก ซึ่งภาพองค์ประกอบหลักแรก ๆ จะให้ค่าความแปรปรวนสูงและจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อลำดับของภาพองค์ประกอบหลักที่เพิ่มขึ้น นั่นแสดงว่าค่าความแปรปรวนซึ่งเป็นตัวชี้ถึงรายละเอียดของภาพในข้อมูลภาพเดิมทุก ๆ ภาพจะถูกรวบรวมมาไว้ในภาพองค์ประกอบหลักแรก ๆ เมื่อนำภาพองค์ประกอบหลักต้น ๆ มาทำการวิเคราะห์ ก็จะทำให้ได้รายละเอียดของข้อมูลภาพมากกว่าการใช้ข้อมูลภาพเดิมที่มีจำนวนแถบความยาวคลื่นภาพที่เท่ากันมาทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สามารถนำมาใช้ในการประยุกต์ต่อไปนี้

- 1.การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยข้อมูลหลายแถบความยาวคลื่นอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2.การแสดงสีหรือการแปลด้วยสายตาด้วยข้อมูลหลายแถบความยาวคลื่น
- 3.การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยข้อมูลหลายช่วงเวลาเหล่านี้เป็นการประยุกต์ใช้กับการสำรวจทรัพยากรทางธรรมชาติ

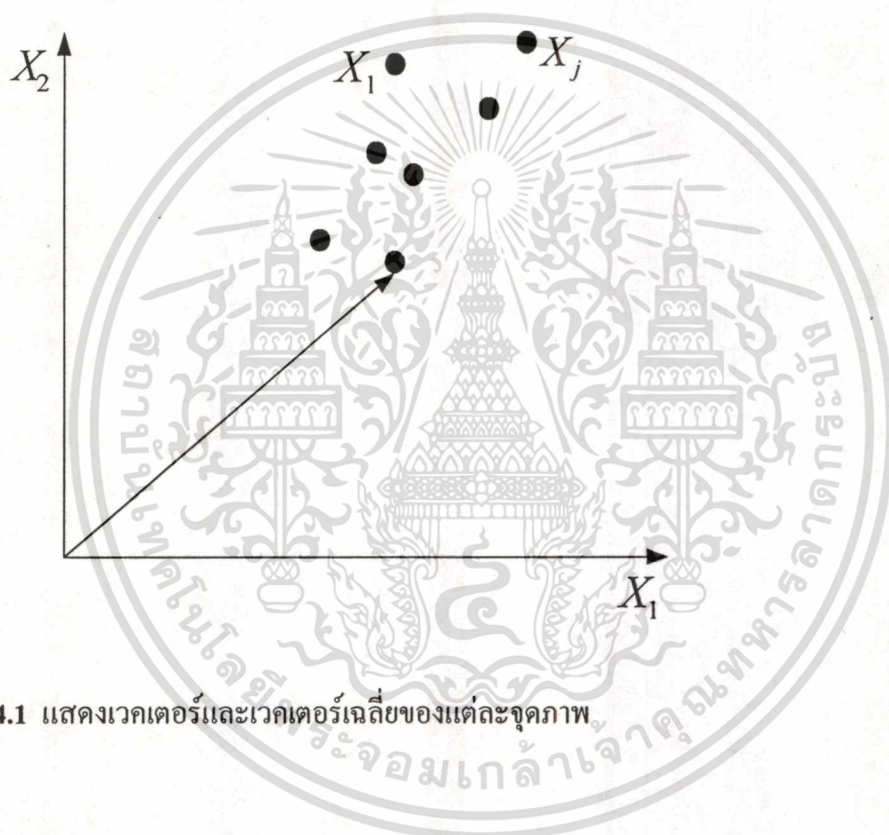
4.1 การแปลงองค์ประกอบหลัก[8],[7]

ภาพถ่ายดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่นหรือภาพหลายมิติของข้อมูลสำรวจทรัพยากรธรรมชาติระยะไกล สามารถปรับปรุงข้อมูลโดยใช้โครงสร้างระยะทางเวกเตอร์กับแกนใด ๆ หรือใช้ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบหลักของแถบสัญญาณคลื่นของจุดภาพ ภาพถ่ายดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่น หรือภาพหลายมิติ เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แลนด์แซท ระบบ MSS จะมีภาพถ่ายทั้งหมด 4 แถบความยาวคลื่น ระบบ TM จะมีภาพถ่ายทั้งหมด 7 แถบความยาวคลื่น และ สกายแล็บ (Skylab) EREP มีทั้งหมด 13 แถบความยาวคลื่น ซึ่งจุดภาพแต่ละจุดที่แสดงออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยอาศัยความสว่างของจุดภาพนั้น เราสามารถใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการแสดงถึงรายละเอียดของจุดภาพนี้ได้

1) ตำแหน่งของจุดภาพในบริเวณของจุดภาพหลายแถบความยาวคลื่น แสดงรายละเอียดโดยใช้เวกเตอร์ได้ องค์ประกอบหลักแต่ละองค์ประกอบหลักจะเป็นตัวชี้ถึงเวกเตอร์ของแต่ละแถบความยาวคลื่นภาพ จากรูปที่ 4.1 เวกเตอร์ X จะเขียนจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดภาพแต่ละจุดตำแหน่งค่าเฉลี่ยของจุดภาพ จะแทนด้วยเวกเตอร์ m ซึ่งหาได้จากค่าเวกเตอร์เฉลี่ย ซึ่งเป็น



รูปที่ 4.1 แสดงเวกเตอร์และเวกเตอร์เฉลี่ยของแต่ละจุดภาพ

$$m = \delta \{x\} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K x_j \quad (4.1)$$

เมื่อ m คือ ค่าเวกเตอร์เฉลี่ย

x_j คือ จุดภาพ

K คือ จำนวนเวกเตอร์ทั้งหมด

δ คือ ฟังก์ชันในการกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

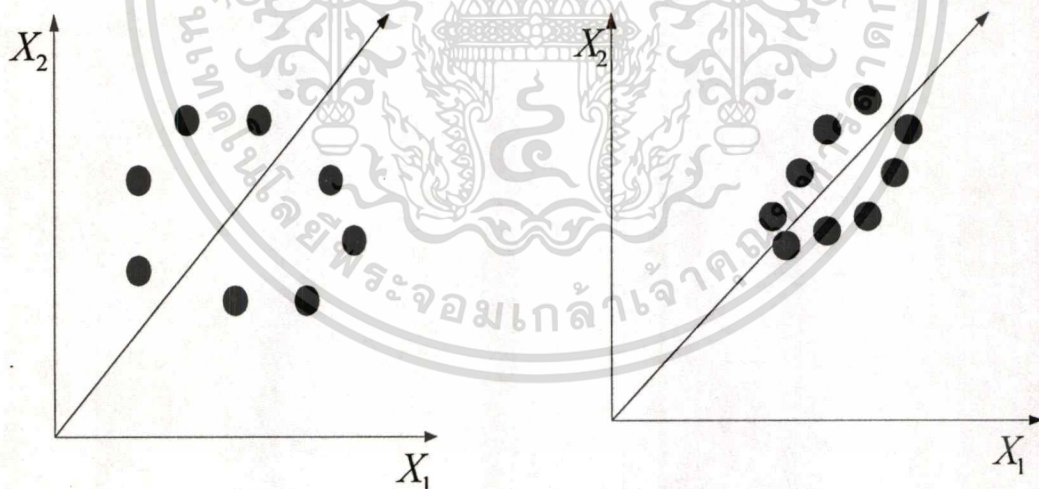
ตัวชี้หรือตัวกำหนดค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่งคาดหวังจุดภาพต่าง ๆ ในบริเวณของเวกเตอร์หลายแถบ ความยาวคลื่น ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการแตกกระจายของจุดภาพ สามารถหาค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม ได้ดังนี้

$$\sum_x = \delta [(x-m)(x-m)'] \quad (4.2)$$

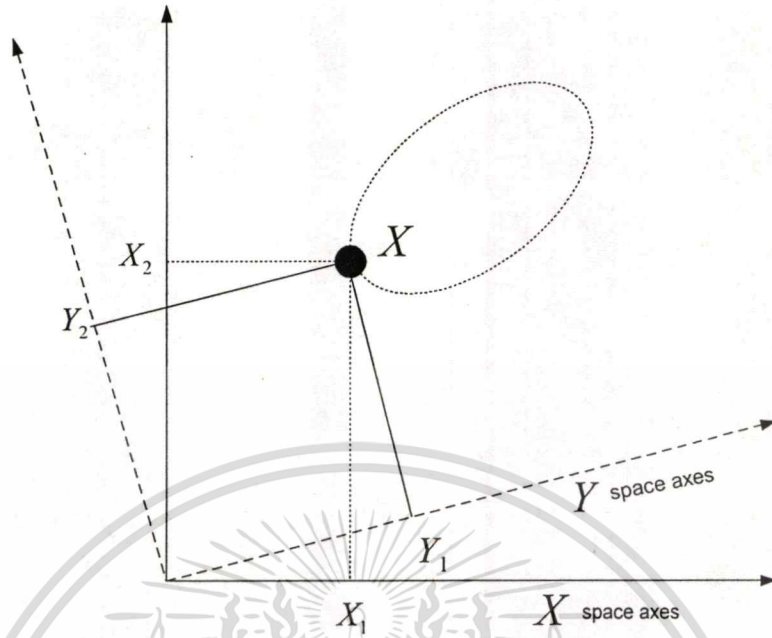
หรือ

$$\sum_x = \frac{1}{K} [(x-m)(x-m)'] \quad (4.3)$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมเป็นแนวความคิดหนึ่งทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้กันมากในการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจทางไกลแบบหลายแถบความยาวคลื่น ซึ่งเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างแถบความยาวคลื่น ถ้ามีความสัมพันธ์กันต่ำสมาชิกที่อยู่นอกเส้นทแยงของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมจะมีค่าเป็น ศูนย์ จากรูปที่ 4.2a แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่ำ ส่วนในรูปที่ 4.2b แสดงให้เห็นองศาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบสูง จะเห็นว่ามึลักษณะการกระจายของข้อมูลเกาะกลุ่มกันเรียวยาว



รูปที่ 4.2a องค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ต่ำ และรูปที่ 4.2b องค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์สูง



รูปที่ 4.3 แสดงเวกเตอร์ของจุดภาพใหม่ที่องค์ประกอบไม่มีความสัมพันธ์กัน

ข้อมูลการกำเนิดจุดพิกัดใหม่ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการพัฒนาการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ซึ่งข้อมูลสามารถแสดงได้โดยปราศจากความสัมพันธ์ของข้อมูล ดังรูปที่ 4.3 การเกาะกลุ่มของจุดข้อมูลภาพจะขนานกับแกน Y นั้นหมายความว่าจุดภาพที่อยู่บนระนาบ Y จะไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันเลย ให้เวกเตอร์ของจุดภาพในพิกัดใหม่แทนด้วย Y สามารถหาได้จาก

$$Y = GX \quad (4.4)$$

ค่าของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมได้โดย

$$\sum_y = \delta \{ (y - m_y)(y - m_y)' \} \quad (4.5)$$

เมื่อ m_y คือ ค่าเวกเตอร์เฉลี่ยของตัวแปร Y

\sum_y คือเมทริกซ์ความแปรปรวนของตัวแปร Y

$(y - m_y)'$ คือการทำทรานสโพส(transpose)

จะได้

$$m_y = \delta \{ y \} = \delta \{ Gx \} = G \delta \{ x \} = Gm_x$$

เมื่อ m_x คือค่าเวกเตอร์เฉลี่ยของตัวแปร x ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_y = \delta \{ (Gx - Gm_x)(Gx - Gm_x)' \}$$

$$\sum_y = G \sum_x G' \quad (4.6)$$

เมื่อ \sum_x คือค่าความแปรปรวนร่วมข้อมูลจุดภาพของตัวแปร y

$$\sum_y = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda_{qq} \end{bmatrix}$$

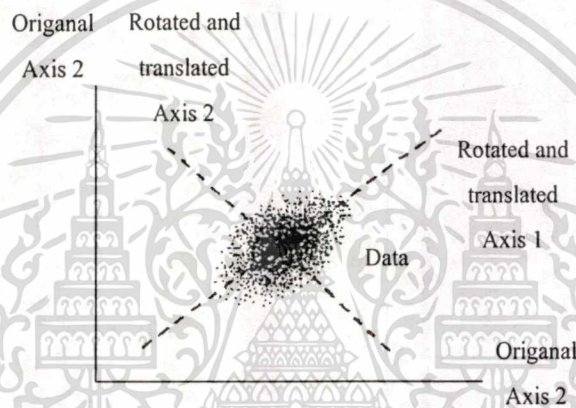
\sum_y เป็นเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร Y ซึ่งเป็นเมทริกซ์ทแยงที่ $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{33}, \dots, \lambda_{qq}$ เป็นเทอมที่อยู่ในแนวทแยง ทำให้ค่าของความแปรปรวนร่วม ที่นอกเส้นทแยงมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายความว่าค่าของ Y ต่าง ๆ ไม่มีความสัมพันธ์กัน λ_{11} เป็นค่าความแปรปรวนของตัวแปร Y หรือองค์ประกอบหลักแรกของตัวแปร Y ส่วน λ_{22} เป็นค่าความแปรปรวนของตัวแปร Y หรือองค์ประกอบหลักที่สองของตัวแปร Y เรื่อยไปจนถึง λ_{qq} ก็เป็นค่าความแปรปรวนของตัวแปร Y หรือองค์ประกอบหลักที่ q ของตัวแปร Y เช่นกัน จากสมการ (4.11) จะเห็นว่า \sum_y คือ เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วม สำหรับ \sum_x และ G เป็นเมทริกซ์ของเวกเตอร์เงาเงง ที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณหาค่าเงาเงง ต่าง ๆ โดยจะพบว่า $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{33}, \dots, \lambda_{qq}$ ค่าเหล่านี้ใช้แสดงแทนจำนวนค่าความแปรปรวนทั้งหมดที่อยู่บนแกนของตัวแปร Y เงื่อนไขของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก คือ ค่าความแปรปรวนทั้งหมดของกลุ่มข้อมูลเดิม นั่นคือ ค่าของผลบวกของสมาชิกในแนวทแยงของ \sum_x เท่ากับค่าความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลหลังจากผ่านการแปลงข้อมูลหรือ ค่าของผลบวกของสมาชิกในแนวทแยงของ \sum_y

4.1.1 การแปลงข้อมูลภาพหลายแถบความยาวคลื่น

ในการแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายแถบความยาวคลื่นเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์นั้นจะให้ข้อมูลภาพเดิมเป็นแทนด้วยตัวแปร X ซึ่งมีหลายแถบความยาวคลื่น คือ แถบความยาวคลื่นที่ 1 แถบความยาวคลื่นที่ 2 แถบความยาวคลื่นที่ 3 แถบความยาวคลื่นที่ n ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการบันทึกข้อมูลภาพของดาวเทียมนั้น ๆ จะให้ตัวแปร x_1 แทนแถบความยาวคลื่นที่ 1 ตัวแปร x_2 แทนแถบความยาวคลื่นที่ 2 ตัวแปร x_3 แทนแถบความยาวคลื่นที่ 3 ตามลำดับ หลังจากแปลงแล้วข้อมูลใหม่ให้แทนด้วยตัวแปร Y ซึ่งก็จะได้ว่าตัวแปร y_1, y_2, \dots, y_n จะให้ y_1

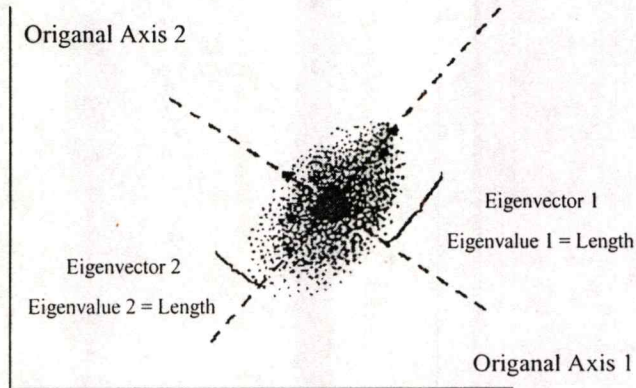
แทนข้อมูลองค์ประกอบที่ 1 ซึ่งมีค่าความแปรปรวนมากที่สุด y_2 แทนข้อมูลองค์ประกอบที่ 2 มีค่าความแปรปรวนเป็นอันดับ 2 และจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึง y_n แทนข้อมูลองค์ประกอบที่ n มีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่นำมาใช้กับข้อมูลการสำรวจระยะไกล สามารถอธิบายได้โดยใช้เรขาคณิต กระบวนการของการแปลงแบบเชิงเส้น เมื่อตัวแปรเดิมมีการเลื่อนและการหมุนตำแหน่งของแกนต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลแล้วถูกเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 4.4 ตำแหน่งของกลุ่มข้อมูลที่มีสัมพันธ์กับกลุ่มข้อมูลอื่นจะไม่เปลี่ยนไป



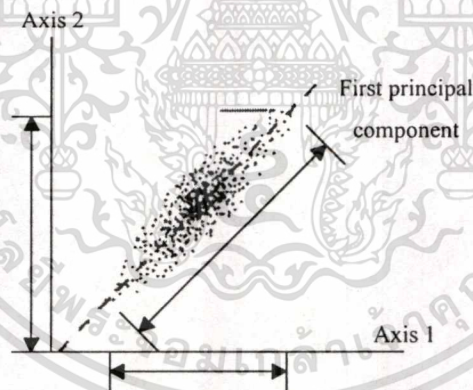
รูปที่ 4.4 การหมุนของแกนใน 2 มิติ

ค่าเฉลี่ยและเวกเตอร์เฉลี่ย มีความสัมพันธ์ดังรูปการแตกกระจายของข้อมูลใน รูปที่ 4.5 เวกเตอร์เฉลี่ย นั้นจะอยู่บนแกนที่แปลงไปแล้ว และความยาวของ เวกเตอร์เฉลี่ย ต่าง ๆ คือ ค่าเฉลี่ย ดังนั้น เวกเตอร์เฉลี่ย ที่ยาวที่สุดถูกเลือกเป็นองค์ประกอบหลักลำดับที่ 1 ส่วนความยาวเป็นอันดับ 2 ก็ถูกเลือกเป็นองค์ประกอบหลักลำดับที่ 2 และสำหรับความยาวลดลงก็จะถูกเลือกตามลำดับถัดไปเรื่อยๆ

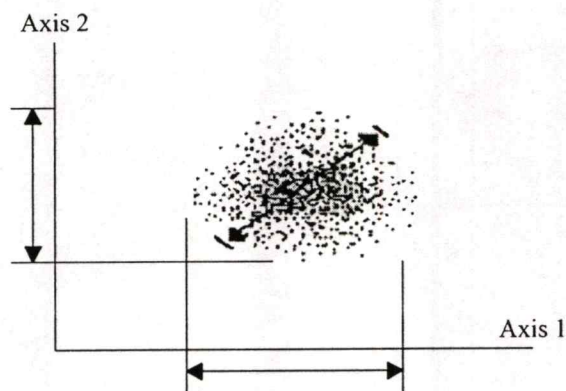


รูปที่ 4.5 เวกเตอร์เจาะจงและค่าเจาะจงใน 2 มิติ

ลักษณะการแตกกระจายของกลุ่มข้อมูล แสดงให้เห็นถึงค่าองศาของสหสัมพันธ์ที่ปรากฏในข้อมูล ถ้าการแตกกระจายของกลุ่มข้อมูล มีลักษณะที่เรียวยาวและแคบโดยไม่ขนานกับแกนเดิม แสดงว่าข้อมูลมีค่าสหสัมพันธ์สูง ดังรูปที่ 4.6 ทำให้ได้ค่าขององค์ประกอบหลักแรกมีค่ามากด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.6 ข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง



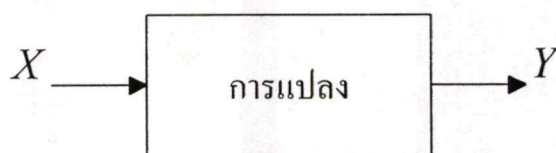
รูปที่ 4.7 ข้อมูลที่มีค่าสัมพันธ์ต่ำ

การแตกกระจายของกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะเป็นวงกลมดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่มีค่าสัมพันธ์ต่ำ องค์ประกอบหลักต่าง ๆ ของข้อมูลที่ไม่สัมพันธ์กันนี้ จะไม่มีแกนใดที่ลากผ่านวงกลมแล้วได้ข้อมูลมากกว่า การโปรเจกชันข้อมูลลงบนแกนเดิม

4.1 วิธีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักกับข้อมูลภาพระบบหลายแถบความยาวคลื่น

4.2.1 นิยามของตัวแปร

จากทฤษฎีของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักในหัวข้อที่ 4.1 เมื่อ X เป็นข้อมูลเดิม นำมาแปลงเพื่อให้ได้ข้อมูลใหม่ คือ Y สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรม ได้ดังรูปที่ 4.5 ในทางรีโมทเซนซิง ข้อมูลเดิม X ที่จะทำการวิเคราะห์ก็คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ประกอบด้วย แบนด์ที่ 1, แบนด์ที่ 2 และ แบนด์ที่ 3 (สมมติว่าดาวเทียมดวงนั้นมีข้อมูล 3 แบนด์) นั้น หมายความว่า ข้อมูล X ประกอบด้วย ตัวแปร 3 ตัว คือ x_1, x_2 และ x_3 โดยกำหนดให้เป็นข้อมูลแบนด์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อ X ผ่านการแปลงแล้ว จะได้ข้อมูลใหม่ คือ Y ซึ่งประกอบด้วย y_1, y_2 และ y_3 เช่นกัน จากทฤษฎีจะได้ว่า y_1 คือ องค์ประกอบหลักที่ 1 ให้ค่าความแปรปรวนสูงสุด y_2 คือ องค์ประกอบหลักที่ 2 ให้ค่าความแปรปรวนต่ำลงมา และเรื่อยไปจนถึง y_3 คือ องค์ประกอบหลักที่ 3 ให้ค่าความแปรปรวนต่ำสุด



รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

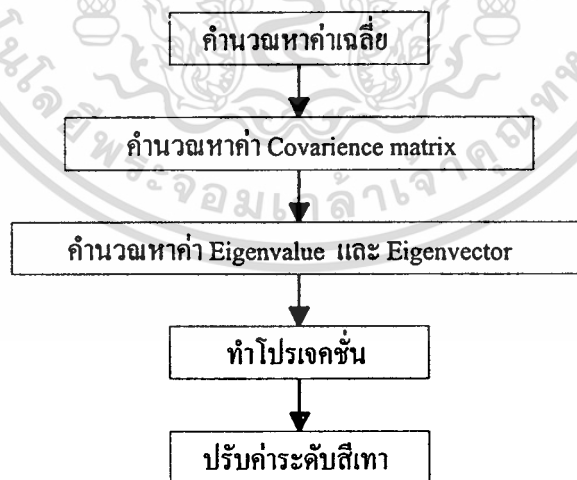
4.2.2 วิธีการจำแนกประเภทและการแปลความหมายข้อมูลภาพ

ในการที่จะทำการจำแนกและการแปลความหมายของข้อมูลภาพบนพื้นดินโดยอาศัยภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่นำมาใช้ในที่นี้ ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียม 1 ดวง รวมมีข้อมูลภาพจำนวน 6 ภาพ โดยมีเงื่อนไขว่า เป็นข้อมูลที่ได้จากพื้นที่เดียวกัน ดังนั้น สำหรับการจำแนกประเภทและการแปลความหมายของข้อมูลภาพโดย 6 แบนด์ 6 ภาพ ในการแปลงจะได้ข้อมูลใหม่ 6 ภาพ หรือ 6 องค์ประกอบหลักนั่นเอง จะเห็นว่า จำนวนแบนด์ของข้อมูลภาพ เป็นปัจจัยกำหนดจำนวนองค์ประกอบทั้งหมด ที่ได้หลังผ่านการแปลงแล้ว

4.2.3 วิธีการแปลงข้อมูลภาพ

ในการแปลงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จะมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ขั้นที่ 1 คำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละแบนด์
- ขั้นที่ 2 คำนวณหาเมตริกซ์ Covariance
- ขั้นที่ 3 คำนวณหา Eigenvalue
- ขั้นที่ 4 คำนวณหา Digenvector
- ขั้นที่ 5 การทำโปรเจกชัน
- ขั้นที่ 6 ทำการปรับระดับข้อมูลใหม่ให้อยู่ในช่วง 0 - 255 ระดับ



รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการแปลงข้อมูลภาพ

4.2.4 วิธีการคำนวณหาเมตริกซ์ Covariance

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\Sigma = (X - \bar{X})(X - \bar{X})' \quad (4.7)$$

เมื่อ

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเดิม

$(X - \bar{X})'$ คือ ทรานสโพสของ $(X - \bar{X})$

จากนิยามในหัวข้อที่ 4.3.1 จะได้

$$\bar{X} = \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4, \bar{x}_5, \bar{x}_6$$

โดย

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเดิมในแต่ละแบนด์

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \bar{x}_3 \\ \bar{x}_4 \\ \bar{x}_5 \\ \bar{x}_6 \end{bmatrix}$$

จะได้

$$(X - \bar{X}) = [(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)(x_3 - \bar{x}_3)(x_4 - \bar{x}_4)(x_5 - \bar{x}_5)(x_6 - \bar{x}_6)]$$

จะรูปสมการใหม่

$$(x_i - \bar{x}_i) = \begin{bmatrix} x_{i,1} - \bar{x}_i \\ x_{i,2} - \bar{x}_i \\ x_{i,3} - \bar{x}_i \\ \vdots \\ x_{i,j} - \bar{x}_i \end{bmatrix}$$

เมื่อ

$x_{i,j}$ = ข้อมูลภาพตำแหน่งที่ j ของภาพแบนด์ที่ i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยข้อมูลภาพทั้ง 3 ภาพ ทุกแบนด์ควรมีขนาดเท่ากัน ในที่นี้ได้กำหนดให้ใช้ขนาดของข้อมูลภาพ เพื่อความสะดวกในการใช้งานกับภาพขนาดต่างๆ ได้ ในที่นี้ สมมติข้อมูลภาพมีขนาด 256×256 จุดภาพ มีลำดับตำแหน่งของข้อมูลภาพ ดังนี้

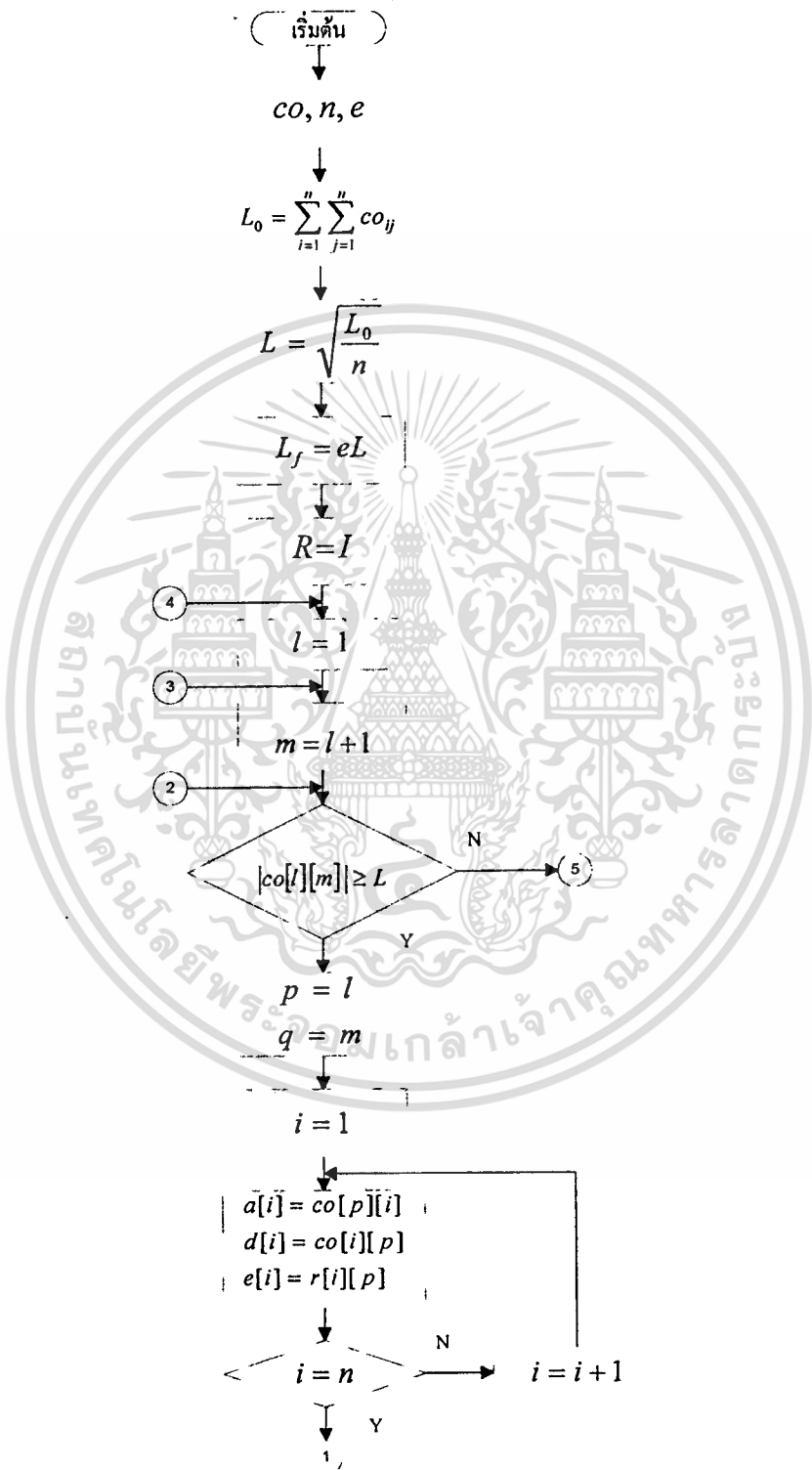
$$x_i = \begin{bmatrix} x_{i,1} & x_{i,2} & x_{i,3} & \cdots & x_{i,256} \\ x_{i,257} & x_{i,258} & x_{i,259} & \cdots & x_{i,512} \\ x_{i,513} & x_{i,514} & x_{i,515} & \cdots & x_{i,768} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i,65281} & x_{i,65282} & x_{i,65283} & \cdots & x_{i,65536}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

จากสมการที่ (4.7) เขียนเทอม $(X - \bar{X})'$ และ $(X - \bar{X})$ ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} & \cdots & x_{1,65536} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & x_{2,3} & \cdots & x_{2,65536} \\ x_{3,1} & x_{3,2} & x_{3,3} & \cdots & x_{3,65536} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{6,1} & x_{6,2} & x_{6,3} & \cdots & x_{6,65536} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{2,1} & x_{3,1} & \cdots & x_{6,1} \\ x_{1,2} & x_{2,2} & x_{3,2} & \cdots & x_{6,2} \\ x_{1,3} & x_{2,3} & x_{3,3} & \cdots & x_{6,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1,65536} & x_{2,65536} & x_{3,65536} & \cdots & x_{6,65536} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma_{1,1} & \Sigma_{1,2} & \Sigma_{1,3} & \cdots & \Sigma_{1,6} \\ \Sigma_{2,1} & \Sigma_{2,2} & \Sigma_{2,3} & \cdots & \Sigma_{2,6} \\ \Sigma_{3,1} & \Sigma_{3,2} & \Sigma_{3,3} & \cdots & \Sigma_{3,6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma_{6,1} & \Sigma_{6,2} & \Sigma_{6,3} & \cdots & \Sigma_{6,6} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

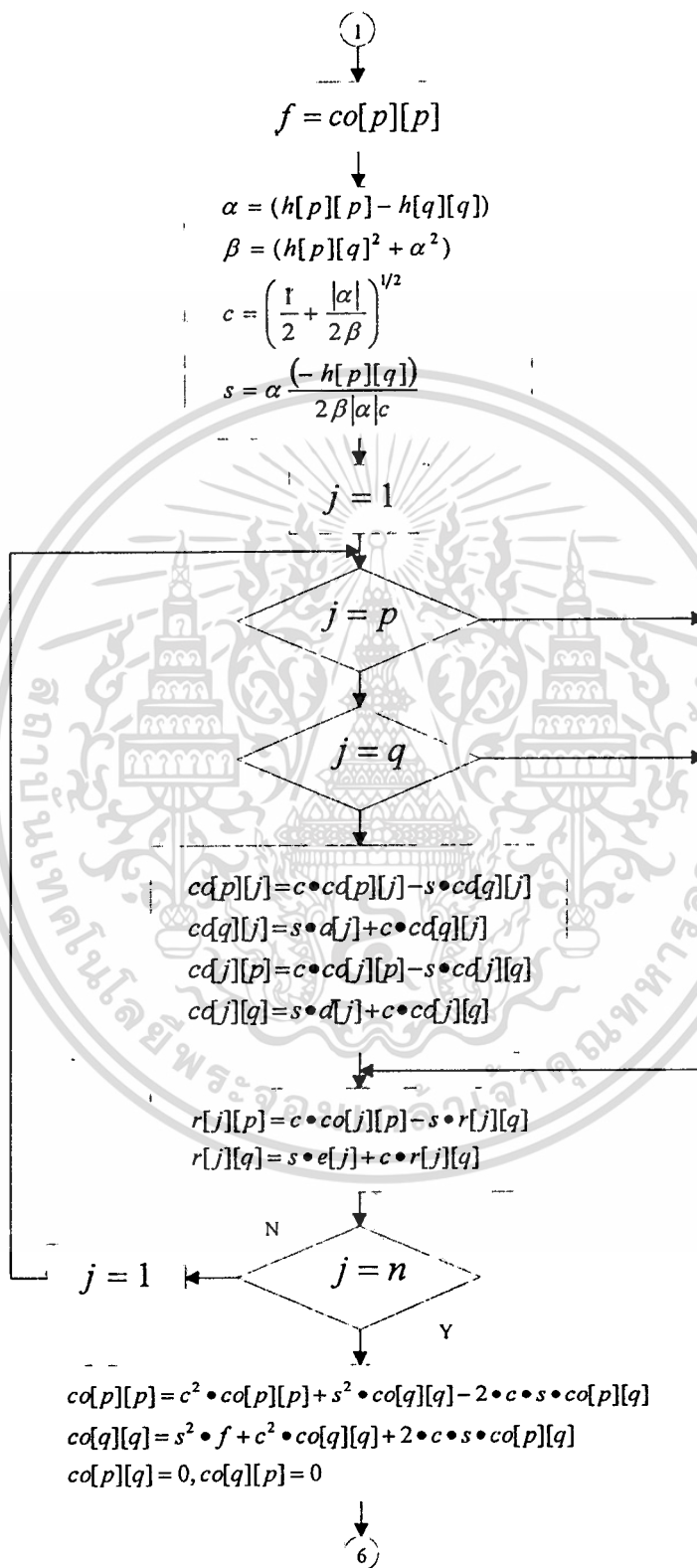
4.2.5 วิธีการคำนวณหา Eigenvalue, Eigenvector

ค่า Eigenvalue และ Eigenvector ขององค์ประกอบหลักต่างๆ คำนวณหาได้จากเมตริกซ์ Covariance ที่ได้จากข้อมูลเดิม โดยวิธีการของ Jacobi [15, 16] ซึ่งแสดงให้เห็นได้ในรูปที่ 4.7 ภายหลังจากหาค่าผลรวมของเมตริกซ์ Covariance และนำค่าสมบูรณ์ของเมตริกซ์ Covariance มาเปรียบเทียบกับค่า L ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจึงทำการกำหนดเวกเตอร์เมตริกซ์จาก Covariance จนครบทุกข้อมูล แล้วทำขั้นที่ 1 ต่อไปในรูปที่ 4.8 แต่ถ้าเงื่อนไขไม่เป็นจริงให้ทำในขั้นตอนที่ 5 ทางขวามือ ภายหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 1 แล้วให้ไปตรวจสอบเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 6 ต่อ และถ้าเงื่อนไขเป็นจริงทั้งหมดจึงเสร็จการคำนวณค่า Eigenvalue และ Eigenvector จากหลักการของ Jacobi



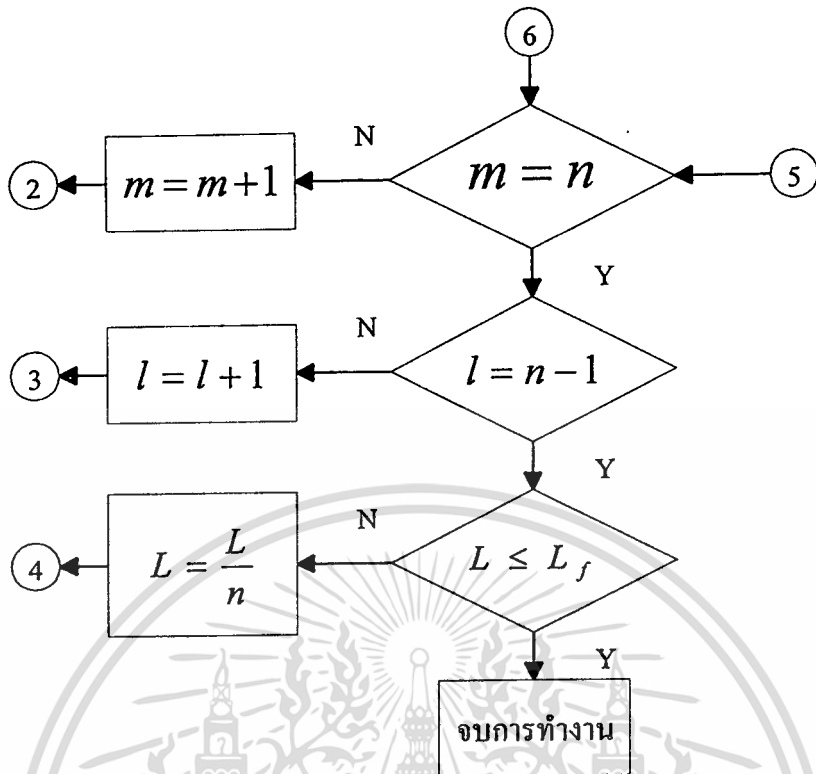
รูปที่ 4.10 โพลีชาร์ทการคำนวณหาค่า Eigenvalue และ Eigenvector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 (ต่อ)

4.2.6 วิธีการโปรเจกชัน

โดยทั่วไปการใช้ค่า Eigenvector ของแต่ละองค์ประกอบหลักมาคูณกับข้อมูลเดิม (X) จะได้ข้อมูลใหม่ (Y) ดังนี้

สูตรการคำนวณข้อมูลใหม่ (Y_i) ดังตัวอย่าง

$$Y_i = \begin{bmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \end{bmatrix} * X \quad (4.9)$$

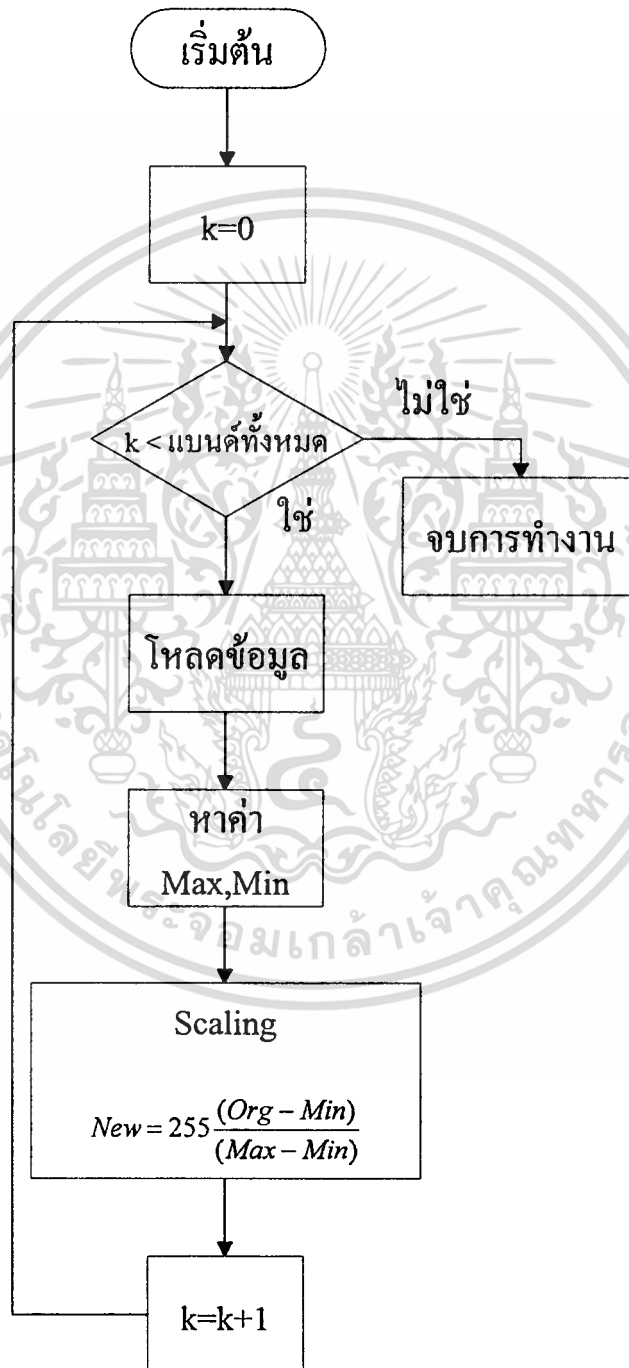
โดยที่

$\begin{bmatrix} A_i \\ B_i \\ C_i \end{bmatrix}$ คือเมตริกซ์ Eigenvector ขององค์ประกอบใหม่ที่ได้จากการคำนวณหลักการของ Jacobi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การสเกลลิง

ข้อมูลที่ได้จากการทำโปรเจกชัน จะมีระดับสีเทาที่ไม่ได้อยู่ในช่วง 0 – 255 ระดับ ซึ่งจะทำให้การใช้ข้อมูลไม่มีความหมาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับค่าระดับสีเทาของแต่ละองค์ประกอบหลักใหม่ทั้งหมดให้อยู่ในช่วง 0 – 255 ระดับ มีวิธีการดังแสดงในโฟลชาร์ทรูปที่ 4.7

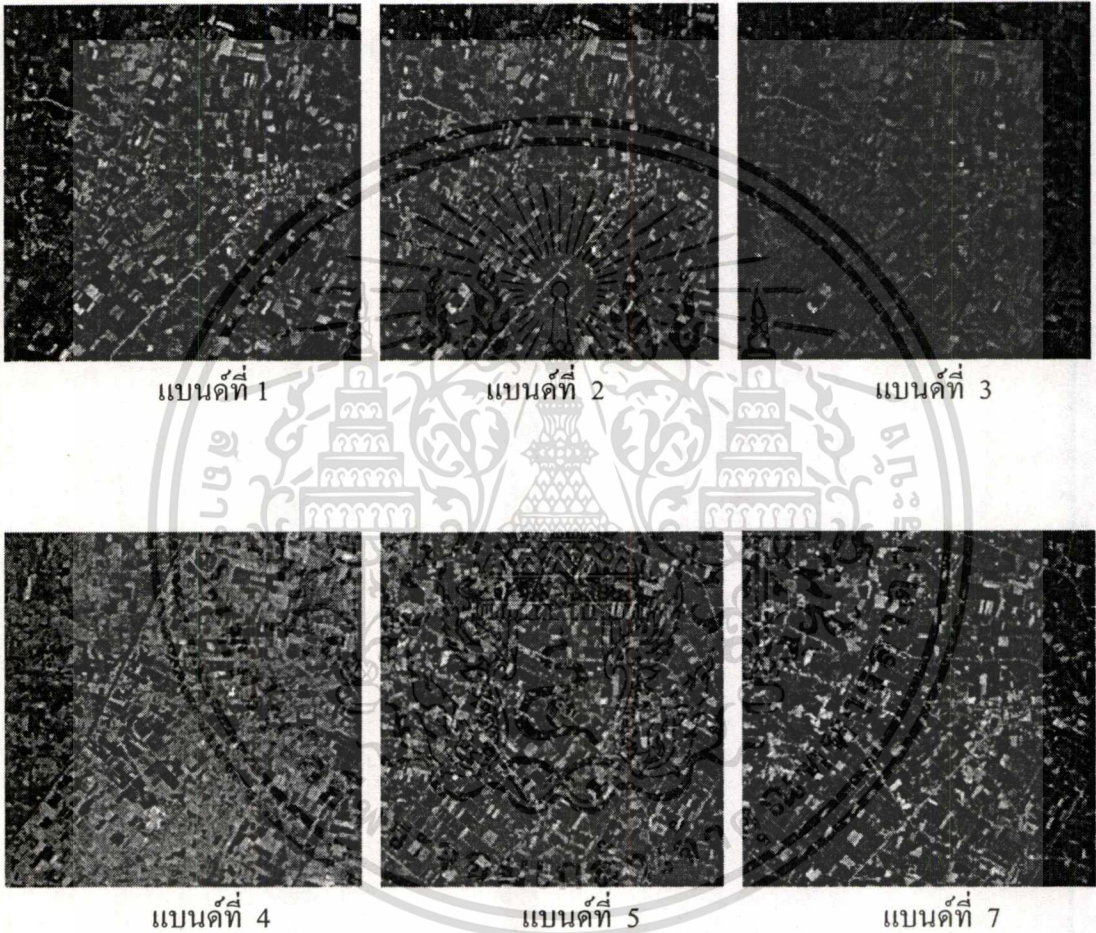


รูปที่ 4.11 โฟลชาร์ทการสเกลลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

จากการนำข้อมูลภาพจากดาวเทียมทั้ง 6 แบนด์ ของดาวเทียม LANSAT 7 มาผ่านการปรับแก้ให้มีค่าความละเอียดของข้อมูลภาพเท่ากัน แล้วนำมาผ่านการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบหลัก จนได้ข้อมูลภาพ ผลลัพธ์ดังในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ภาพเดิมจาก LANDSAT 7 multispectral TM images



ภาพองค์ประกอบหลักที่ 1

ภาพองค์ประกอบหลักที่ 2

ภาพองค์ประกอบหลักที่ 3

รูปที่ 4.13 ภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรก จาก Landsat 7 multispectral TM images



บทที่ 5

การแปลงเวฟเล็ต

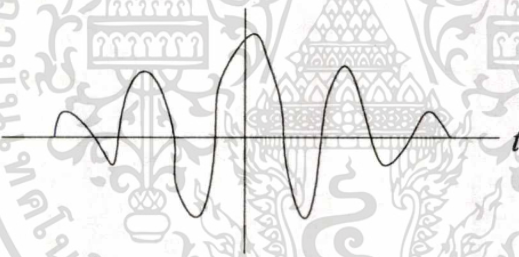
WAVELET TRANSFORM

5.1 ทฤษฎีพื้นฐานของการแปลงเวฟเล็ต

ในบทนี้เป็นการอธิบายถึงความหมาย ลักษณะต่างๆ ไป ความแตกต่างระหว่างการแปลงเวฟเล็ตกับการแปลงข้อมูลแบบอื่นๆ และชนิดของการแปลงเวฟเล็ต เป็นต้น

5.1.1 ลักษณะของเวฟเล็ต[2],[3],[6]

ทฤษฎีเวฟเล็ต (Wavelet Theory) เป็นคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการสร้างโมเดลของสัญญาณระบบ ซึ่งประกอบขึ้นด้วยเซตของสัญญาณเฉพาะ ที่มีลักษณะเป็นคลื่นเล็กๆ เรียกว่า “เวฟเล็ต” โดยลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน ดังแสดงในภาพที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างลักษณะของ Morlet Wavelet $g(t) = e^{-\frac{t^2}{64}} \cos(t)$

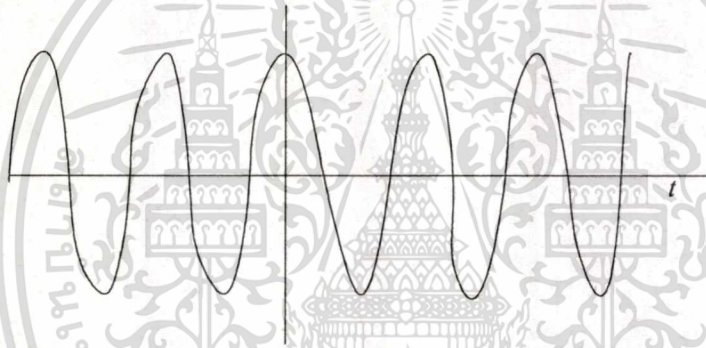
ในภาพที่ 5.1 เป็นตัวอย่างของเวฟเล็ตชนิดหนึ่ง เรียกว่าเวฟเล็ตแบบ Morlet จะสังเกตเห็นว่ามีคุณสมบัติของเวฟเล็ตตามที่กล่าวมาทั้ง 2 เงื่อนไข คือมีการออสซิลเลทในลักษณะของสัญญาณซายน์ซอยดัล (Sinusoidal) ดังแสดงในภาพที่ 5.2 รวมกับเงื่อนไขของการลดลงอย่างรวดเร็วตามลักษณะฟังก์ชันหน้าต่าง (Windows Function) ดังแสดงในภาพที่ 5.3

การนำเวฟเล็ตหลายๆอันมารวมกันเป็นเซต เพื่อจะใช้ในการอธิบายสัญญาณใดๆ โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละตัวมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกัน ซึ่งฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่ เรียกว่า เวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelets) โดยคลื่นแต่ละคลื่นภายในเซตของเวฟเล็ตจะเกิดจากการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ตแม่การสเกลในที่นี้หมายถึง การหดเข้า (Compressing) หรือการขยายออก (Dilation) โดยใช้ “ a ” แทนพารามิเตอร์ของการหดหรือขยายอันเป็นการเปลี่ยนความถี่ดังกล่าว

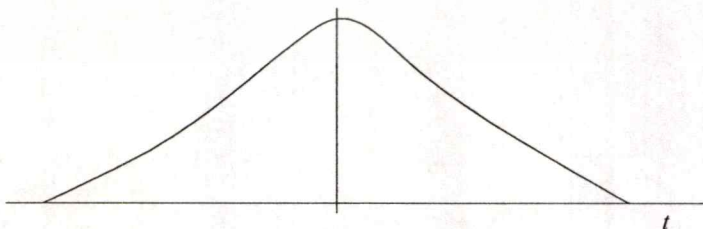
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการเลื่อนตำแหน่งกำหนดโดยพารามิเตอร์ “ b ” ซึ่งหมายถึง การเลื่อนตำแหน่งของการเกิดคลื่น บนแกนเวลา ในภาพที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงเวฟเล็ดที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า “ a ”, “ b ” ต่างกันโดยที่ยังคงอยู่ภายในเซตของเวฟเล็ดที่สัมพันธ์กับเวฟเล็ดแม่ในภาพที่ 5.1 นอกจากนี้เวฟเล็ดที่ถูกสเกลจะต้องถูกนอร์มอลไลซ์ด้วยเสมอ เพื่อให้เวฟเล็ดที่ถูกสเกลไปแล้วยังคงมีพลังงานเช่นเดียวกับเวฟเล็ดแม่ ดังนั้นถ้าให้ $g(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่จะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง “ a ”, “ b ” ใดๆ ได้ดังนี้

$$g_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} g\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5.1)$$



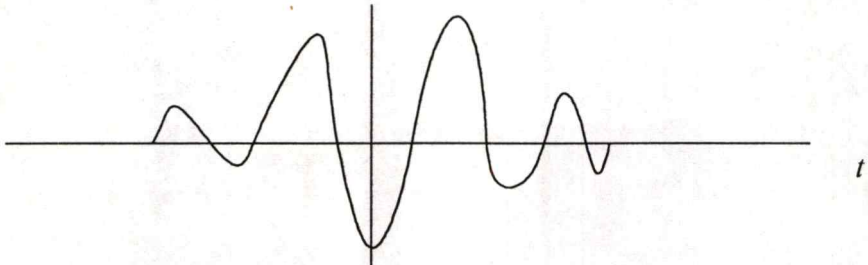
รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของสัญญาณไซน์ซอซอคัล : $\cos(t)$



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของฟังก์ชันหน้าต่าง $e^{-\frac{t^2}{64}}$

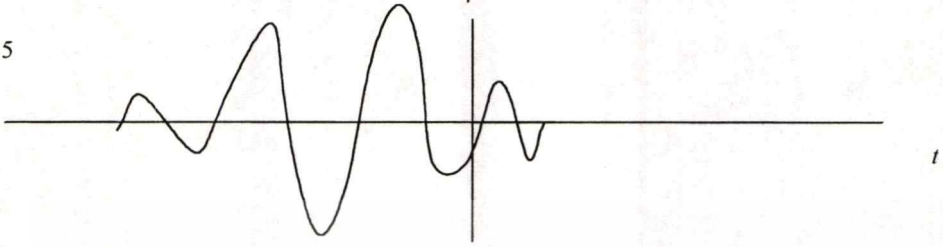
$$a = 1$$

$$b = 3$$



$$a = 1$$

$$b = -5$$



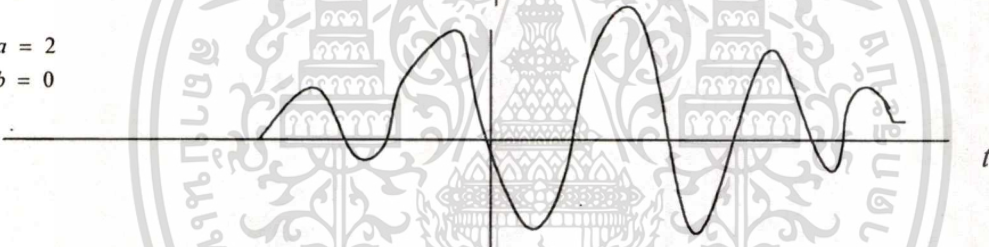
$$a = \frac{1}{2}$$

$$b = 0$$



$$a = 2$$

$$b = 0$$



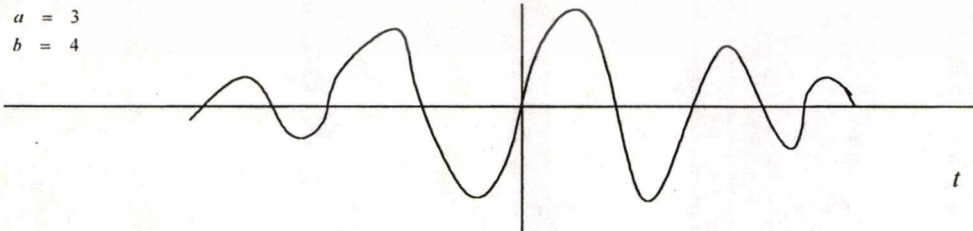
$$a = \frac{1}{3}$$

$$b = 4$$



$$a = 3$$

$$b = 4$$

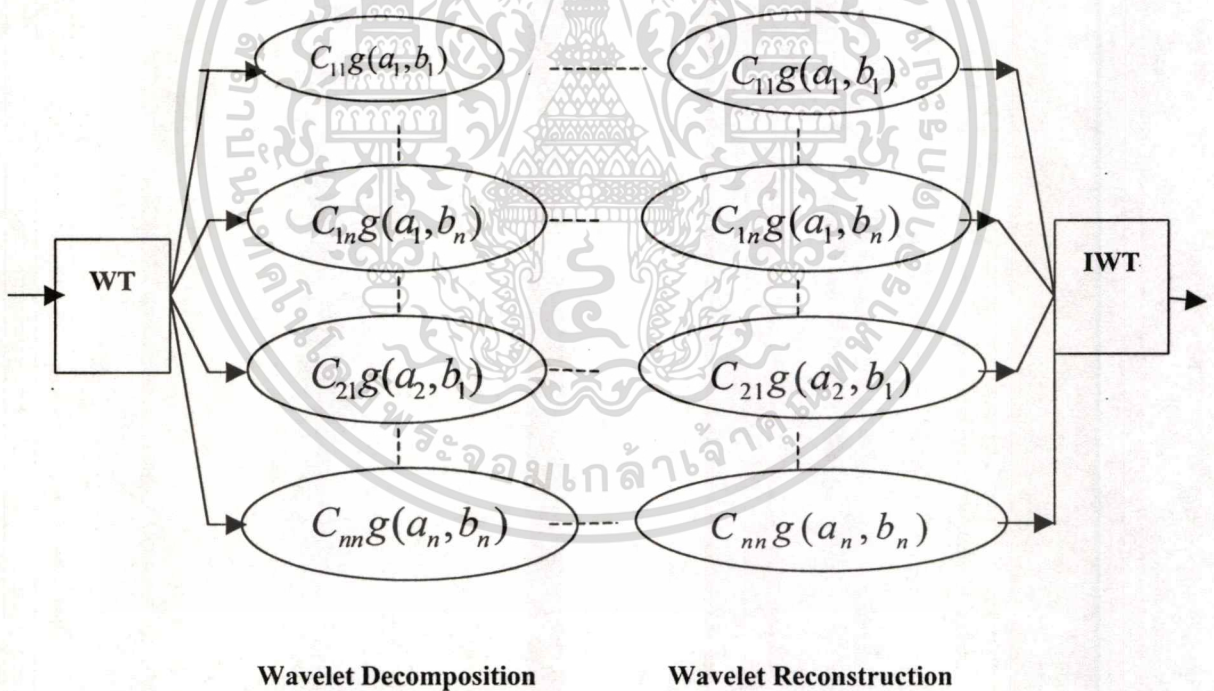


รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของเวฟเลิตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a, b ต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

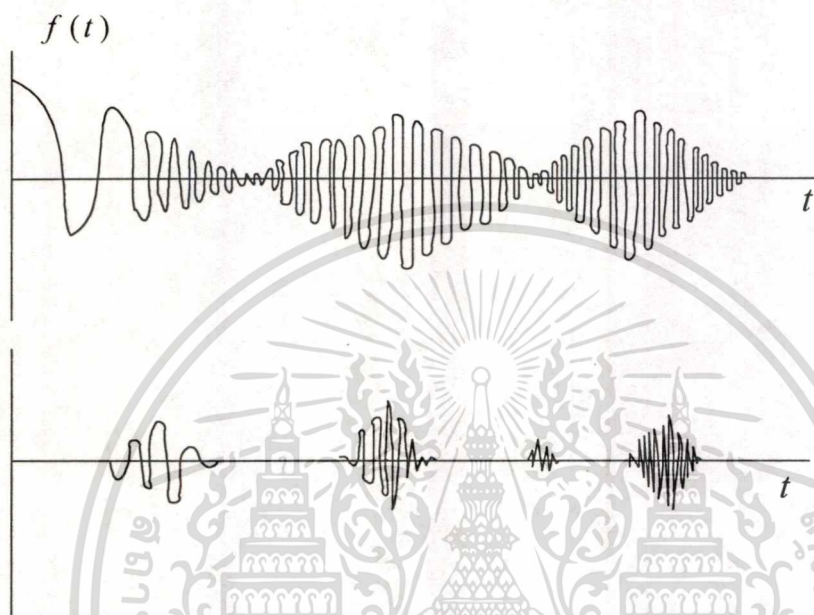
5.1.2 ทฤษฎีพื้นฐานเวฟเล็ตในการสเกลและการเลื่อนตำแหน่ง

การอธิบายสิ่งหนึ่งสิ่งใดในทฤษฎีเวฟเล็ตจะเปรียบเสมือนกับการแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็น ส่วนประกอบเล็กๆ ที่สัมพันธ์กันกับภาพต่อจิ๊กซอว์ โดยที่ชิ้นส่วนเหล่านั้นจะอยู่ในรูปของเวฟเล็ตที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่ง และมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ กันขึ้นอยู่กับเวฟเล็ตแต่ละตัว ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าคลื่นเวฟเล็ตเป็นฟังก์ชันพื้นฐาน (Basic Function: b.f) ในการสร้างสัญญาณใดๆ โดย ขบวนการแตกกระจายชิ้นส่วนนี้เรียกว่า “ การแตกกระจายเวฟเล็ต ” (Wavelet Decomposition) ซึ่ง ก็คือขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ตนั่นเอง ในทำนองเดียวกัน การรวมกับเวฟเล็ต (Wavelet Reconstruction) ก็คือการแปลงกลับ เวฟเล็ต (Inverse Wavelets Transform: IWT) โดยจะเป็นการนำเอาส่วนประกอบย่อยๆ เหล่านี้มาเรียงต่อกันเพื่อประกอบเป็นสัญญาณเดิม ดังแสดงในภาพที่ 3.5 แสดงการแตกกระจายสัญญาณ $f(t)$ ออกเป็นคลื่นเวฟเล็ตที่ความถี่และตำแหน่งต่างกันจำนวน $n \times n$ ตัว



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต

ในภาพที่ 5.6 ภาพบนแสดงสัญญาณ $f(t)$ ที่ประกอบด้วยคลื่นหลายความถี่ ณ ตำแหน่งต่างๆ บนแกนเวลา ส่วนในภาพด้านล่างแสดงถึงการดึงสัญญาณ $f(t)$ ที่ตำแหน่งเวลาใดๆออกมา



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะของสัญญาณที่มีหลายความถี่ที่ตำแหน่งเวลาต่างกัน

จากการที่สามารถทำการสร้างเซตของเวฟเล็ตได้จากการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ตแม่ นั่น การสเกลและการเลื่อนตำแหน่งดังกล่าวจะถูกเรียกรวมกันว่า Affine Operation [2] ซึ่งจะสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ในลักษณะการส่ง (Mapping) ตัวแปรอิสระ t ไปยังตัวแปรอิสระตัวใหม่ t' ดังแสดงในสมการที่ (5.2)

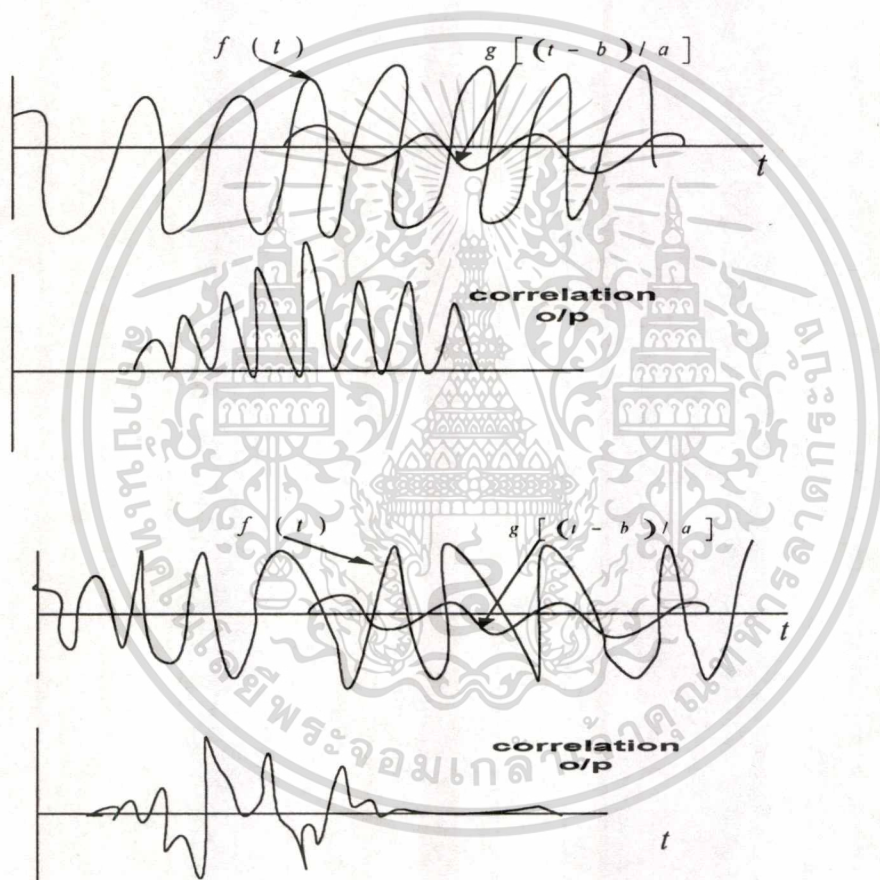
$$t' = \frac{t - b}{a} \quad (5.2)$$

และจะสามารถเขียนสมการสำหรับการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelets Transform: CWT) ที่ใช้ในการกระจายสัญญาณของฟังก์ชัน $f(t)$ ด้วยเวฟเล็ตแม่ $g(t)$ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(W_g f)(a, b) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) g^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (5.3)$$

โดยที่ “*” หมายถึงคอนเพล็กซ์คอนจูเกต “ a ” เป็นพารามิเตอร์ของการสเกล และ “ b ” เป็นพารามิเตอร์ของการเลื่อนตำแหน่ง สัญลักษณ์ $(W_g f)(a, b)$ หมายถึงสัญญาณอินพุตที่ขึ้นกับการส่งตัวแปร t ไปเป็นฟังก์ชัน 2 มิติที่ขึ้นกับตัวแปรอิสระ a และ b โดย $(W_g f)(a, b)$ จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต (Wavelets Coefficient)



รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะของผลการ Correlation ระหว่าง $f(t), g\left(\frac{t-b}{a}\right)$

5.2 ความเป็นมาของการแปลงเวฟเล็ท

การแปลงฟูเรียร์นิยมใช้งานอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณ $f(t)$ จากโดเมนส์เวลาไปเป็นสัญญาณ $F(\omega)$ ซึ่งอยู่ในโดเมนส์ความถี่หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าเป็นการหาสเปกตรัมของสัญญาณ $f(t)$ นั่นเองโดยมีสมการเป็น

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (5.4)$$

จะสังเกตพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทรานฟอร์ม จะมีตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง $+\infty$ ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต ณ. ขณะเวลาใดๆ ก็จะมีส่งผลกระทบต่อตลอดย่านของสเปกตรัม $F(\omega)$ ด้วย นอกจากนี้การแปลงฟูเรียร์ยังไม่สามารถเลือกทำการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงเวลาหรือความถี่ใดๆ ได้ ดังนั้นวิธีการแปลงฟูเรียร์จึงให้ข้อมูลที่มากเกินไปจนจำเป็น นอกจากนี้ในทางปฏิบัติหากสัญญาณอินพุตจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ (Non Stationary Signal) การใช้การแปลงฟูเรียร์จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณเนื่องจากมีข้อมูลมากเกินไปในการคำนวณใหม่ในแต่ละครั้ง ดังนั้นการแปลงฟูเรียร์จึงเหมาะสำหรับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stationary Signal)

การแปลงกาบอร์ (Gabor Transform) เป็นการแปลงที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นแบบแรกเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะเป็นการทำการแปลงฟูเรียร์เฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window Function) ซึ่งหน้าต่างนี้จะใช้ฟังก์ชันแบบเกาส์เซียน (Gaussian Function) เท่านั้น

$$g_a = \frac{1}{2\sqrt{\pi a}} e^{-\frac{t^2}{4a}} \quad (5.5)$$

$$(G_b^a f)(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) g_a(t-b) dt \quad (5.6)$$

จากสมการที่ (5.5) เป็นฟังก์ชันหน้าต่างแบบเกาส์เซียน และสมการที่ (5.6) เป็นสมการของการแปลงกาบอร์ จะเห็นว่าทรานฟอร์มแบบนี้จะสามารถเลือกตำแหน่งการวิเคราะห์สัญญาณ โดยกำหนดที่พารามิเตอร์ b และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a แต่เนื่องจากการแปลงกาบอร์ให้ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเดียวจึงอาจจะไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาต่อมาเป็นการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาสั้น (Short Time Fourier Transform: STFT) ซึ่งจะ

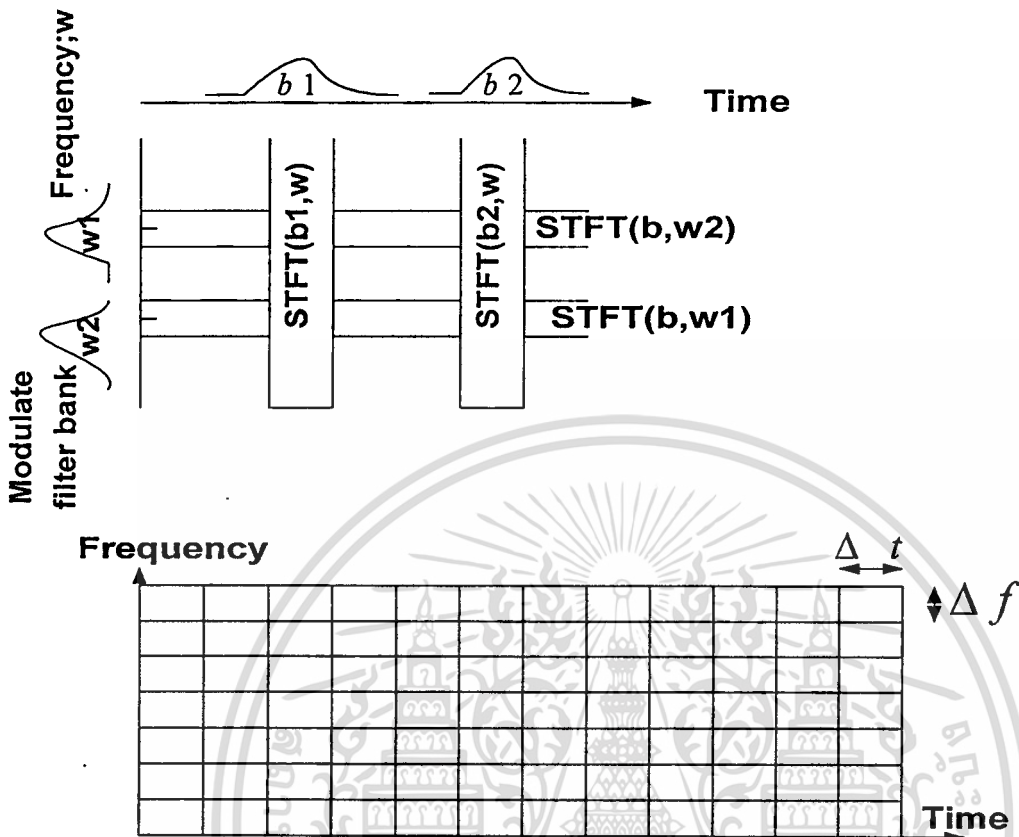
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำการเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่จะวิเคราะห์ได้ดีขึ้น

$$G_a f(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) g_a \overline{w(t-b)} dt \quad (5.7)$$

สมการที่ (5.7) จะเป็นสมการการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์จะกำหนดโดยค่า “ b ” และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์กำหนดความถี่ของฟังก์ชันหน้าต่างนั้นๆ แต่จะสังเกตเห็นว่าทั้งการแปลงกaborและการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง จะมีลักษณะของช่วงการวิเคราะห์ที่คงที่ ดังแสดงในภาพที่ 5.8 แสดงช่วงเวลาและช่วงความถี่คงที่ (Fixed Resolution Transform) ทั้งนี้ฟังก์ชันหน้าต่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติขณะทำการแปลงซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงจะมีช่วงช่วงคาบเวลาที่แคบ ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงคาบเวลาที่กว้างกว่า ดังนั้นการแปลงกaborและการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลาดั้ง อาจจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการแปลงออกมามากหรือน้อยเกินไป ถ้าเป็นในกรณีหลังจะทำให้ต้องมีการแปลงจากหลายช่วงเวลาและนำมาประกอบกันจึงจะได้ข้อมูลครบถ้วนในช่วงเวลาที่ต้องการ ดังนั้นช่วงเวลาควรจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับช่วงความถี่ที่จะทำการวิเคราะห์ นั่นคือในช่วงความถี่ที่สูงขึ้นจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง และในช่วงความถี่ที่ต่ำลงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่มากขึ้น [2]

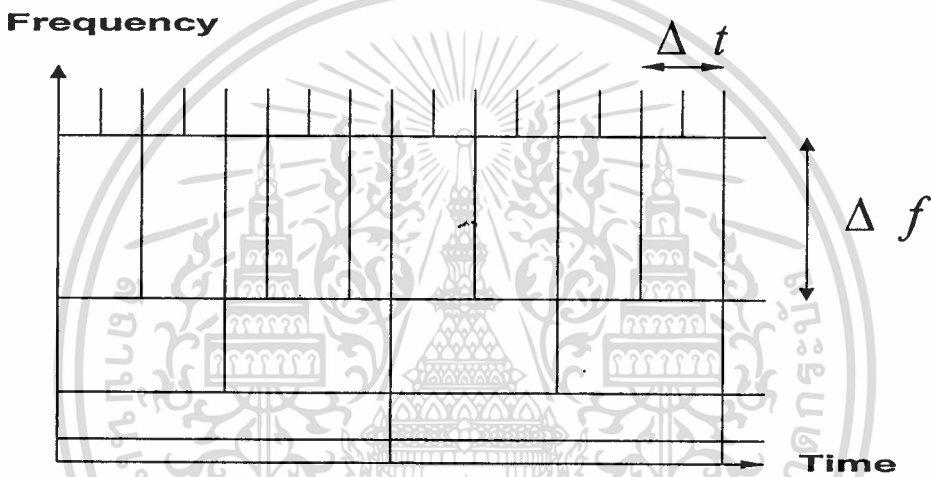


รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะของระนาบเวลาความถี่แบบคงที่ (Constant Time – Frequency Plane)

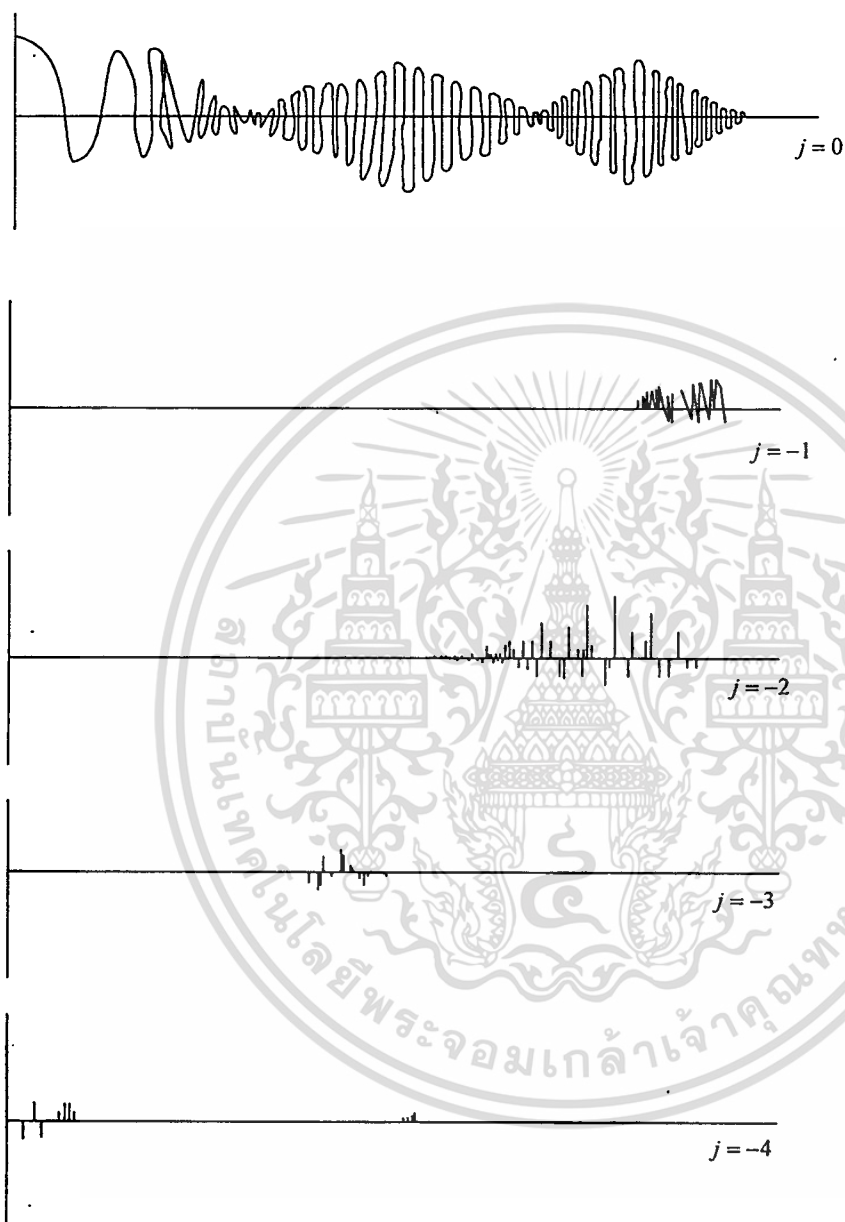
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการพัฒนาเป็นการแปลงในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ต” ซึ่งจะเป็นการแปลงผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง โดยฟังก์ชันหน้าต่างสามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะสมกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างแบบนี้ว่า “ฟังก์ชันเวฟเล็ต” (Wavelet Function)

$$(W_g f)(a, b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) g^* \left[\frac{t-b}{a} \right] dt \quad (5.8)$$

$g(t)$ เป็นฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ ซึ่งจะถูกละและเลื่อนตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ “ a ” , “ b ” ตามลำดับ โดยช่วงเวลาและความถี่ในการทรานฟอร์มจะสัมพันธ์กันดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พิจารณาภาพที่ 5.9 จะพบว่าระนาบเวลาและความถี่สูงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ช่วงสั้นๆ (Δf สูง Δt ต่ำ) แต่ในช่วงความถี่ต่ำจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่นานกว่า (Δf ต่ำ Δt สูง) ซึ่งจะเหมาะสมกับลักษณะสัญญาณในทางปฏิบัติ ในภาพที่ 5.10 จะเป็นการแสดงลักษณะการแตกกระจายสัญญาณออกไปในระดับความถี่ที่ต่างกัน โดยในระดับที่ $j = -1$ จะมีเฉพาะส่วนความถี่สูง และ ในระดับที่ j ต่ำลงสัญญาณจะมีค่าความถี่ที่ต่ำลงด้วย ซึ่งจะเห็นสอดคล้องกับภาพของระนาบเวลาและความถี่

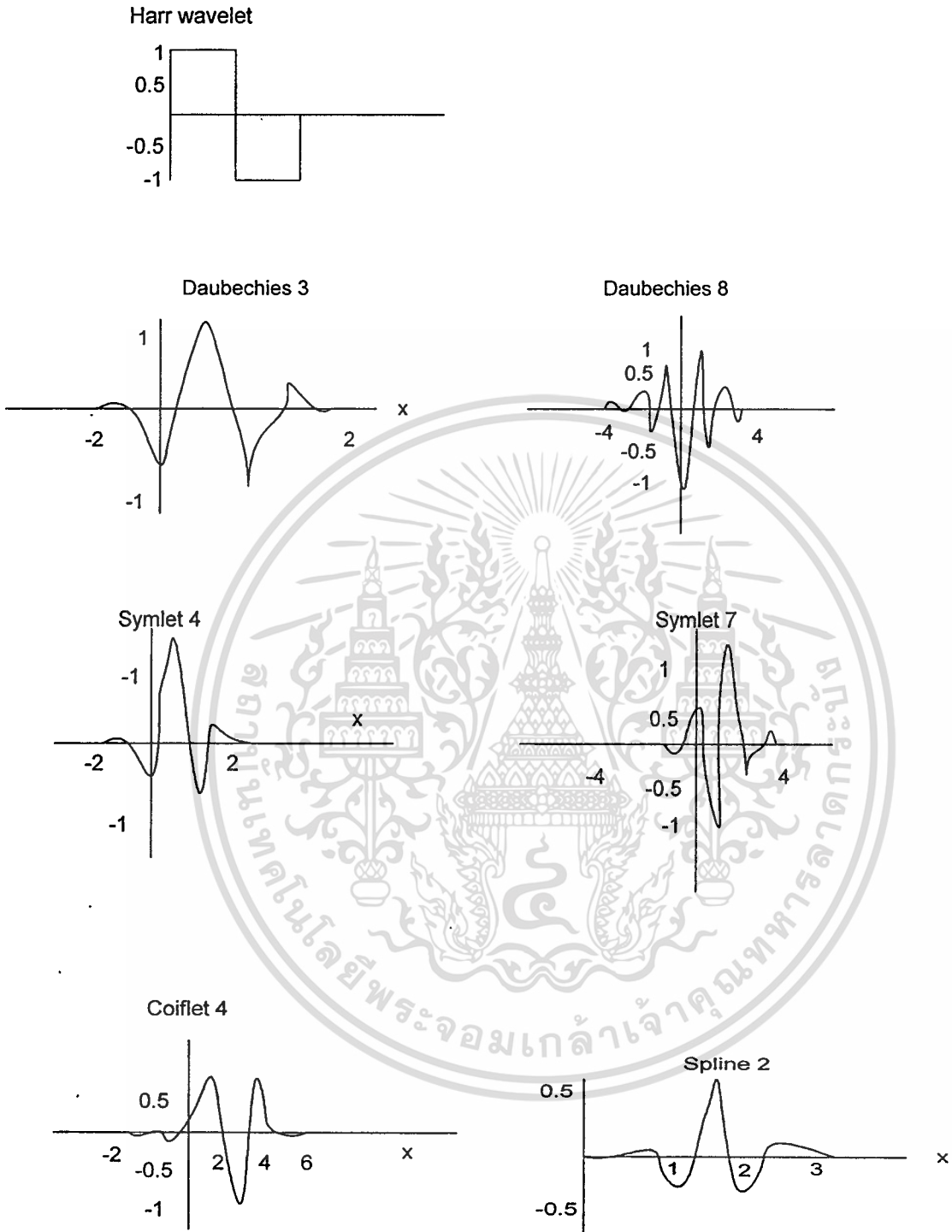


รูปที่ 5.9 แสดงลักษณะของระนาบเวลาและความถี่สำหรับการแปลงเวฟเล็ด



รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะการแตกกระจายสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะของฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ $g(t)$ ยังมีได้หลายรูปแบบแต่ต้องเป็นไปตามคุณสมบัติของการแปลงเวฟเลต ดังนั้นจึงทำให้การแปลงเวฟเลตมีความยืดหยุ่นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความเหมาะสมได้เป็นอย่างดีดังภาพที่ 5.11 แสดงลักษณะของฟังก์ชันเวฟเลตแม่ชนิดต่างๆที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

5.3 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง

จากการวิเคราะห์สัญญาณด้วยการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้น จะสังเกตเห็นว่าหน้าต่างเวลา-ความถี่ (Time – Frequency Window) จะมีพื้นที่ในการวิเคราะห์ที่คงที่เสมอไม่ว่าจะเป็นการพิจารณาที่ความถี่และช่วงเวลาใดๆ ขนาดช่วงความกว้างของความถี่และช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับลักษณะของฟังก์ชันหน้าต่างที่ใช้ ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนคุณสมบัติในขณะการแปลง แต่ในทางปฏิบัติความถี่ของสัญญาณจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนไซเคิลต่อหนึ่งหน่วยเวลา ที่ความถี่สูงจะมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในช่วงเวลาที่แคบ ส่วนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำจะใช้ช่วงเวลานานกว่า ดังนั้นถ้าใช้การแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้น และเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่มีช่วงความถี่และช่วงเวลาไม่เหมาะสมจะทำให้ต้องมีการทำการแปลงหลายครั้งที่หลายตำแหน่งเพื่อให้ได้ข้อมูลในช่วงเวลาทั้งหมดที่ต้องการ หรือถ้าความกว้างของช่วงเวลาของฟังก์ชันหน้าต่างมากเกินไปจะทำให้ได้รับข้อมูลมากเกินไปจนความจำเป็น ดังนั้นฟังก์ชันหน้าต่างที่ดี ความกว้างของช่วงเวลา และ ช่วงความถี่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงเป็น สัดส่วนผกผันที่สัมพันธ์กัน นั่นคือเมื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ความถี่สูง ความกว้างของช่วงเวลาควรจะกว้างและมีช่วงความถี่ที่แคบ เพื่อที่จะทำให้ได้รับข่าวสารที่ครบถ้วนและใช้เวลาในการแปลงน้อยลง

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่าการแปลงฟูเรียร์ช่วงเวลานั้น ไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณ ที่มีการเปลี่ยนความถี่สูงต่ำในสัญญาณตัวเดียวกัน แต่ในการแปลงเวฟเลต จะอาศัยฟังก์ชันหน้าต่าง ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของช่วงเวลาและช่วงความถี่ให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์สัญญาณในช่วงความถี่และช่วงเวลาที่น่าสนใจใดๆ ได้ ซึ่งฟังก์ชันหน้าต่างที่มีคุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่า “ฟังก์ชันเวฟเลต”

กำหนดให้ $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ และเป็นไปตาม Admissibility Condition [1] คือ

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\widehat{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega \quad (5.9)$$

เรียกว่าเป็นรากฐานเวฟเลต (Basis Wavelets) หรือเวฟเลตแม่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่ได้ ดังแสดงในสมการที่ (5.10)

$$\psi_{b,a}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left[\frac{t-a}{b}\right] \quad (5.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำมาเขียนเป็นสมการการแปลงฟูเรียร์ที่พิจารณาผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง ที่ตำแหน่งเวลา และความถี่ในขณะนั้น ได้ดังสมการที่ (5.11) ซึ่งก็คือการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องนั่นเอง

$$(W_{\psi}f)(b, a) = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (5.11)$$

โดยที่ $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$ และ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$

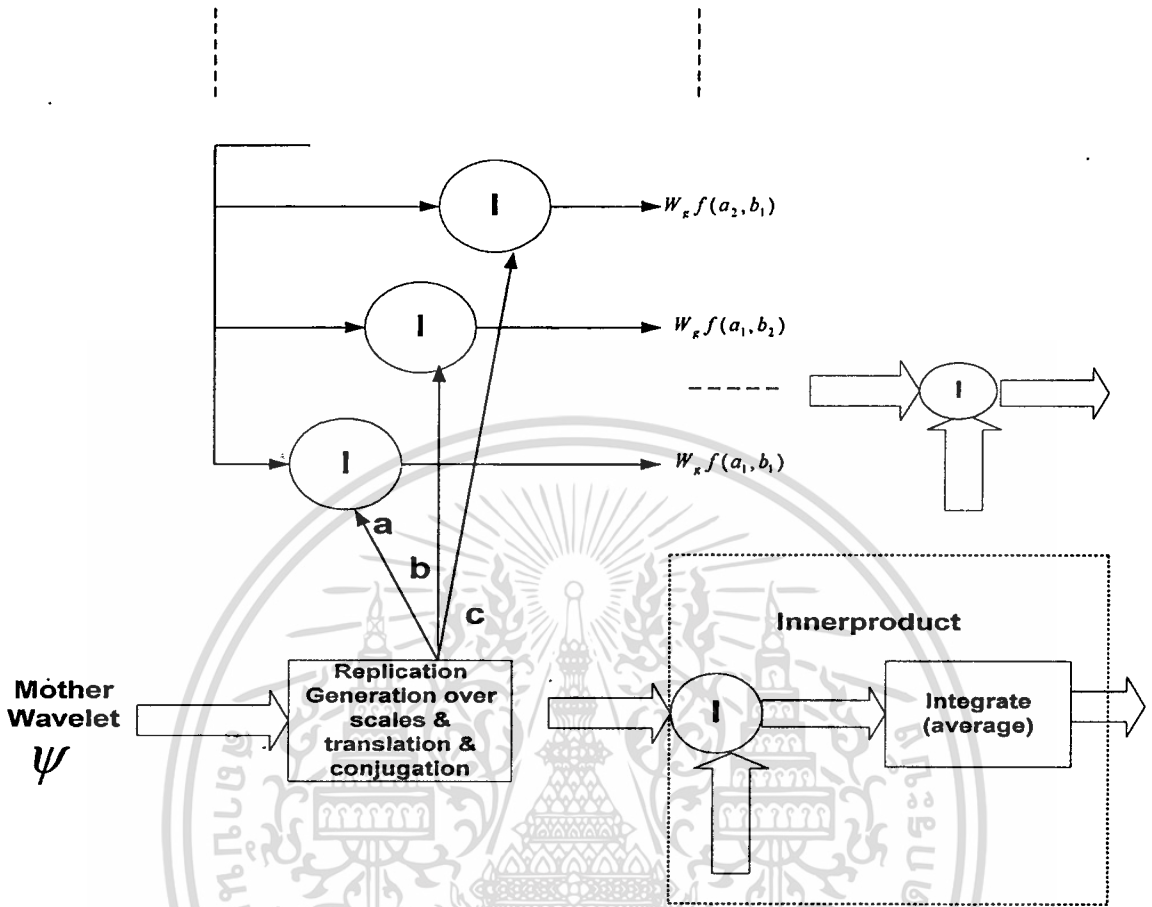
เทอม $|a|^{-\frac{1}{2}}$ จะเป็นการนอร์มอลไลซ์ (Normalization) ของ $\psi(t)$ เพื่อให้พลังงานของ $\psi(t)$ ที่ b, a ใดๆ ยังคงมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอ ทำให้การแปลงเวฟเล็ตที่ตำแหน่ง b, a ใดๆ พลังงานของ $\psi(t)$ จะไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณ $f(t)$ ในช่วงนั้นๆ และจะสามารถเขียนสมการการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องในลักษณะของ Inner Product ได้ดังนี้

$$(W_{\omega}f)(b, a) = \langle f, \psi_{b,a} \rangle \quad (5.12)$$

สังเกตว่าจากการกำหนดให้ $\psi(t) \in L^2\mathbb{R}$ นั่นคือ $\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt < \infty$ แสดงว่า $\psi(t)$ จะต้องมีขนาดและพลังงานได้เสมอ เพราะฉะนั้น $\psi(t)$ จะมีการลดลงสู่ศูนย์ทั้งสองด้าน ถ้าให้ $\hat{\psi}(0) = 0$ ซึ่งจะมีเงื่อนไขอีกอันหนึ่งเกิดขึ้นคือ

$$\begin{aligned} \hat{\psi}(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} \psi(t) dt \\ \hat{\psi}(0) &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} \psi(t) dt = 0 \end{aligned} \quad (5.13)$$

แสดงว่าพื้นที่ใต้กราฟของ $\psi(t) = 0$ นั่นก็คือฟังก์ชันดังกล่าวต้องมีการออสซิลเลทเสมอ



รูปที่ 5.12 แสดงการแปลงเวฟเลตในลักษณะของการ Inner Product

ถ้าพิจารณาหน้าต่างเวลา-ความถี่ของการแปลงเวฟเลตโดยที่ $\psi(t), \hat{\psi}(\omega)$ เป็นไปตามเงื่อนไข $tW(t) \in L^2(\mathbb{R})$ และกำหนดให้จุดศูนย์กลางและรัศมีความกว้างของ $\psi(t)$ เป็น t^* และ $\Delta\psi$ ตามลำดับ ดังนั้น $\psi_{b,a}$ จะมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $b+at$ และมีรัศมีเป็น $a\Delta\psi$ โดยข้อมูลของ สัญญาณ $f(t)$ จะถูกพิจารณาผ่าน Time-Window ที่มีความกว้างของช่วงเวลาดังนี้ [1]

$$\left[b+at^* - a\Delta\psi, b+at^* + a\Delta\psi \right] \quad (5.14)$$

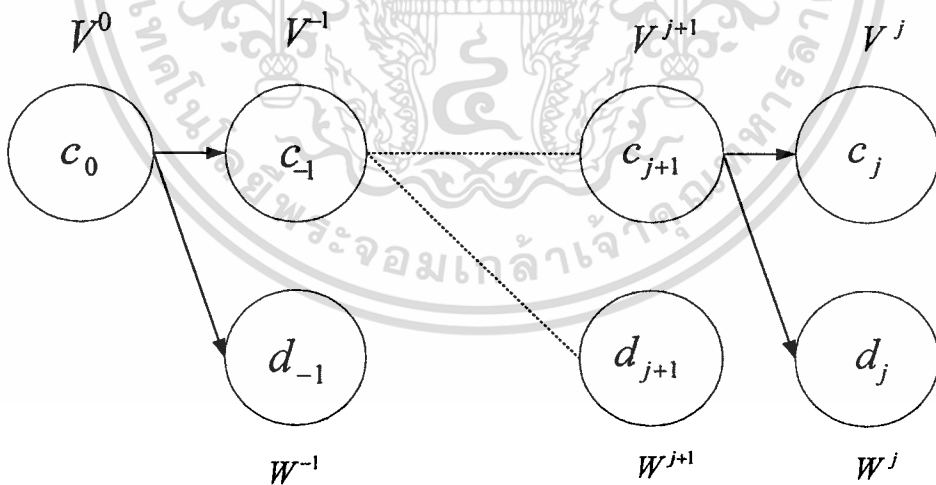
5.4 การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึง การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง (Discrete wavelets Transform:DWT) โดยจะทำการพิจารณาการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงในลักษณะของ Filter Banks ในทางปฏิบัติสัญญาณที่วิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์จะเป็นการสุ่ม (Sampling) สัญญาณเข้ามาในจำนวนที่จำกัด ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $c_0(m)$ เป็นเซตของสัมประสิทธิ์ของสัญญาณอินพุตจำนวน m ตัว และกำหนดให้ระดับความละเอียดของสัญญาณเริ่มต้นที่ศูนย์ จะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$f(t) \in V_0; f(t) \in L^2(\mathbb{R}) \quad (5.15)$$

$$V_0 = W_{-1} \oplus \dots \oplus W_{j+2} \oplus W_{j+1} \oplus W_j \oplus V_j \quad (5.16)$$

สมการที่ (3.16) จะเป็นสมการแตกกระจายสัญญาณ $f(t)$ ในสเปซ V^0 ไปจนถึงระดับความละเอียดที่ j ดังนั้นเทอมสัมประสิทธิ์ $c_0(m)$ จะถูกแตกเป็นสัมประสิทธิ์ในเซตของ $c_j(m)$ ในสเปซ V^j และกลุ่มของเซต $d_{-1}(m), d_{-2}(m), \dots, d_j(m)$ ซึ่งอยู่ในเวฟเลตสเปซที่ระดับความละเอียดต่าง ๆ กัน ขบวนการดังกล่าวนี้จะเป็นลักษณะของวิธีการ “การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง” (Discrete Wavelets Transform : DWT) นั่นเอง ดังแสดงในภาพที่ 3.13



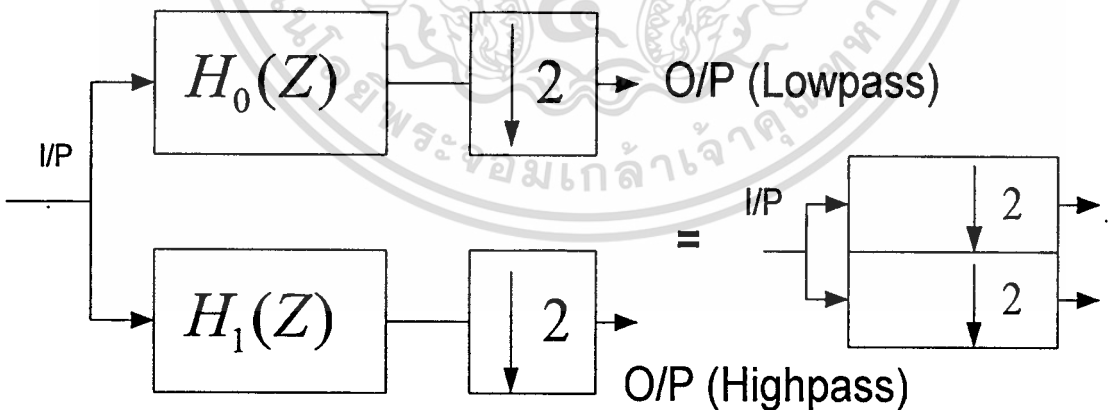
รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของการแจกแจงสัมประสิทธิ์ด้วยการแปลงเวฟเลต

5.4.1 การแปลงเวฟเล็ดโดยใช้หลักการวิเคราะห์ของฟิลเตอร์แบงค์

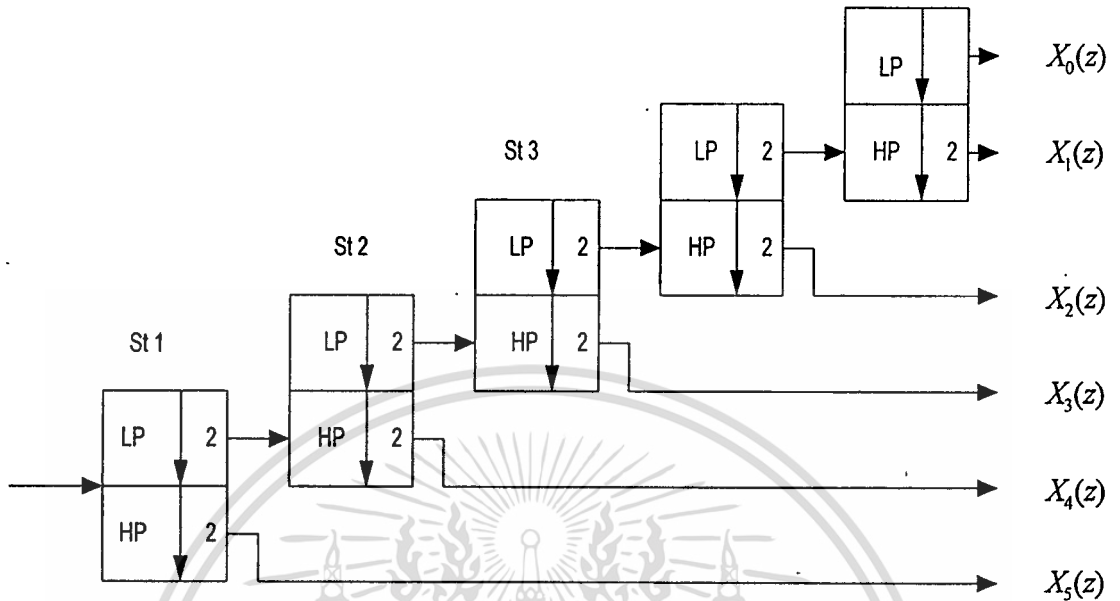
ขบวนการแปลงเวฟเล็ดแบบแบ่งช่วง จะทำการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่างซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละสองเท่า ก็เปรียบเสมือนกับการนำสัญญาณอินพุตนั้น ผ่านวงจรฟิลเตอร์ที่มีแบนด์วิทที่มีอัตราการลดลงสองเท่าเหมือนกับแบนด์วิทของฟังก์ชันหน้าต่างในขณะนั้นนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถนำเอาหลักการของฟิลเตอร์แบงค์ มาใช้ในการสร้างการแปลงเวฟเล็ดแบบแบ่งช่วงในทางปฏิบัติได้ ก่อนที่จะอธิบายถึงรายละเอียดของการแปลงเวฟเล็ดแบบแบ่งช่วง ขออธิบายถึงหลักการพื้นฐานของฟิลเตอร์แบงค์ก่อนดังนี้

1) การวิเคราะห์ออกเทพของฟิลเตอร์แบงค์ (Octave Analysis Filter Banks)

ฟิลเตอร์แบงค์แบบ 2 ช่องสัญญาณ (Two channel filter banks) เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็น 2 ส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนความถี่ต่ำและส่วนความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์แบงค์แบบสองช่องสัญญาณ จึงประกอบด้วยวงจรที่เป็น ตัวกรองความถี่ต่ำ (lowpass filter) : $H_0(z)$ และตัวกรองความถี่สูง (Complementary highpass filter) : $H_1(z)$ ซึ่งในส่วนของความถี่สูง (highpass) จะใช้ในการแยกความถี่ในแบนด์ที่ต้องการออกมา (Band-separating filter) ดังแสดงในภาพที่ 5.14 ภาพที่ 5.15 และภาพที่ 5.16 ลักษณะของ การวิเคราะห์ออกเทพของฟิลเตอร์แบงค์ จะเป็นแบบโครงสร้างต้นไม้ (Tree structure) ซึ่งเป็นการนำเอาฟิลเตอร์แบงค์แบบ 2 ช่องสัญญาณมาเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาท์พุทในส่วนความถี่ต่ำจากวงจรตัวกรองความถี่ต่ำมาทำการแยกแบนด์ความถี่ออกอีกครั้งหนึ่งดังแสดงในภาพที่ 5.16



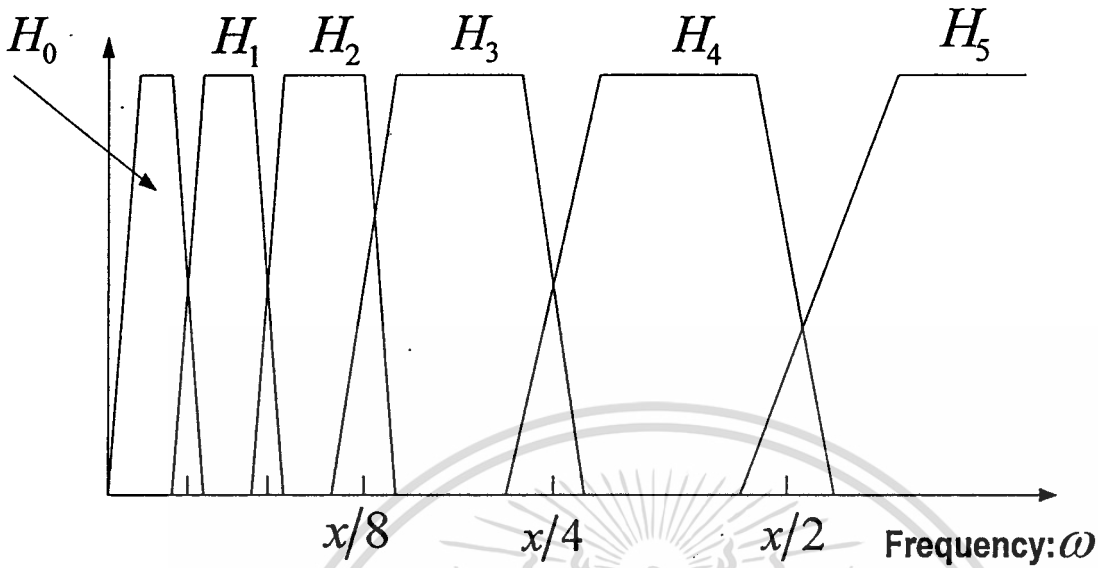
รูปที่ 5.14 แสดงสัญลักษณ์ของฟิลเตอร์แบงค์แบบ 2 ช่องสัญญาณหรือ Bands separator



รูปที่ 5.15 แสดงสัญลักษณ์โครงสร้างต้นไม้ในการวิเคราะห์ออกเทพของฟิลเตอร์เบงค์

ในฟิลเตอร์เบงค์แบบ 2 ช่องสัญญาณ จุดแรก จะทำการแยกสัญญาณความถี่สูงครึ่งด้านบน ($X_5(z)$) และสัญญาณความถี่ต่ำครึ่งด้านล่างออกจากกัน จากนั้นจะนำสัญญาณความถี่ต่ำครึ่งด้านล่างมาทำการแยกแบนด์ความถี่ออกครึ่งหนึ่งอีกครั้ง โดยกำหนดให้ครึ่งบนทางความถี่สูงเป็นสัญญาณ ($X_4(z)$) และจะนำส่วนความถี่ต่ำไปทำการแยกแบนด์ต่อไปเรื่อย ๆ ตามระดับที่ต้องการ ในภาพที่ 5.16 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของแบนด์ความถี่ที่ถูกแบ่งออกไปเรื่อย ๆ สัมพันธ์กับอัตราการสุ่มของสัญญาณอินพุต $X(z)$ ซึ่งหมายถึงจำนวนข้อมูลการสุ่มจะลดลงสองเท่าในแต่ละสเตพนั่นเอง ฟังก์ชันทรานส์เฟอร์ของฟิลเตอร์เบงค์ในแต่ละระดับจะหาได้จากสมการ (5.17)

$$H_i(z) = \frac{X_i(z)}{X(z)} \quad \text{โดยที่ } i = 0, 1, 2, \dots, 5 \quad (5.17)$$



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะของการแยกแบนด์ความถี่ของออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์

Cut off frequency มีค่าลดลงครึ่งละสองเท่า ดังนั้นจึงเรียกว่าออกเทฟฟิลเตอร์แบงก์ (Octave filter banks) และจากภาพที่ 5.16 จะสังเกตเห็นว่า Absolute transition bandwidth ซึ่งเป็นเอาท์พุทของความถี่ต่ำ จะลดลงในอัตราสองเท่า โดยลดลงไปในทางความถี่ที่ต่ำลง และฟังก์ชันทรานส์เฟอร์ : $H_0(z)$ จะเป็นส่วนความถี่ต่ำครั้งสุดท้าย และ $H_5(z)$ จะเป็นส่วนความถี่สูง ในขณะที่ฟังก์ชันทรานส์เฟอร์อื่น ๆ จะมีลักษณะเป็น Band pass ดังนั้นฟิลเตอร์แบงก์จึงมีความสามารถในการแยกแบนด์ความถี่ต่าง ๆ ออกมา (Band-separating filter)

(2) การสร้าง DWT โดยใช้การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการพิจารณาการแจกแจงสัมประสิทธิ์ของการโปรเจกต์สัญญาณในสเปซ V^{j+1} ไปในสเปซย่อย V^j และ W^j ซึ่งเป็นการทำ DWT หนึ่งระดับในรูปแบบของการวิเคราะห์ด้วยฟิลเตอร์แบงก์โดยอาศัยหลักการของฟิลเตอร์แบงก์แบบ 2 ช่องสัญญาณ

กำหนดให้สัญญาณอินพุต $f(t) \in V^{j+1}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$f(t) = \sum_n c_{j+1}(n) \phi_{j+1,n}(t) \in V^{j+1} \quad (5.18)$$

ซึ่งสัมประสิทธิ์ $c_{j+1}(n)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ข้อมูลสุ่มที่ทราบค่าของ $f(t)$ จากความสัมพันธ์ $V^{j+1} = V^j \oplus W^j$ จะสามารถเขียนเป็นการโปรเจกต์ $f(t)$ ลงในสเปซ V^j และ W^j ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{j+1}(t) = \sum_m c_j(m) \phi_{j,m}(t) + \sum_m d_j(m) \varphi_{j,m}(t) \quad (5.19)$$

ในทางปฏิบัติ การโปรเจ็คชันจะเป็นการหาค่าของ $c_j(m)$ และ $d_j(m)$ จาก $c_{j+1}(n)$ และ ขณะเดียวกันฟังก์ชันพื้นฐาน $\phi_{j+1,m}(t)$ ของสเปซ V^{j+1} สามารถถูกแบ่งออกเป็นเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน $\phi_{j,m}(t)$ ในสเปซ V^j ด้วย โดยใช้สมการที่ (5.20)

$$\phi_{j,m}(t) = 2^{j/2} \sum_v \overline{h_0(v)} \phi(2^{j+1}t - 2m - v) \quad (5.20)$$

ถ้าสมมติให้ $2m + v \rightarrow n$ และ $h_0(n) = 2^{-1} \overline{h_0 k}, k \in \mathbb{Z}$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \phi_{j,m}(t) &= \sum_n h_0(n - 2m) 2^{(j-1/2)} \phi(2^{j+1}t - n) \\ &= \sum_n h_0(n - 2m) \phi_{j-1,n}(t) \end{aligned} \quad (5.21)$$

ในการทำงานเดียวกันฟังก์ชันพื้นฐาน $\phi_{j+1,m}(t)$ ของสเปซ V^{j+1} จะถูกแบ่งออกเป็นเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน $\psi_{j,m}(t)$ ในสเปซ W^j ด้วยเช่นกัน ดังนั้น $\psi_{j,m}(t)$ สามารถกำหนดได้โดยวิธีการเดียวกัน ดังสมการที่ (3.22)

$$\psi_{j,m}(t) = \sum_n h_1(n - 2m) \phi_{j+1,n}(t) \quad (5.22)$$

ถ้าต้องการหาสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันสเกลลิ่ง $c_j(m)$ จะสามารถหาได้จากสมการที่ (5.23) โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ $c_j(n) = \langle f(t), \phi_{j,n}(t) \rangle$ และสมการที่ (5.21) ช่วยในการพิสูจน์ ดังนี้

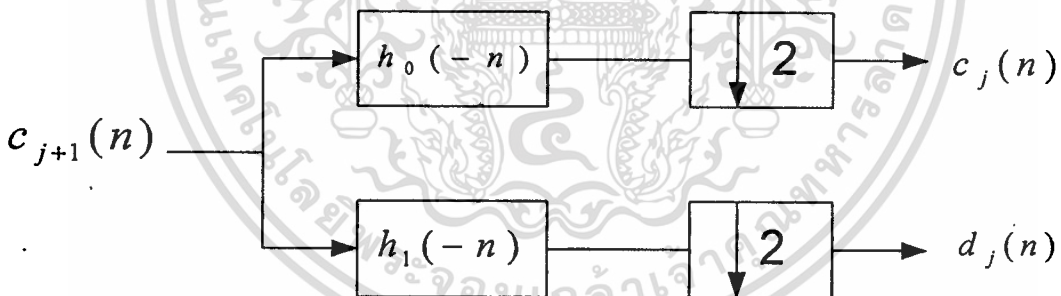
$$\begin{aligned} c_j(m) &= \langle f(t), \phi_{j,m}(t) \rangle \\ &= \langle f(t), \sum_n h_1(n - 2m) \phi_{j+1,n}(t) \rangle \end{aligned} \quad (5.23)$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_n h_0(n-2m) \langle f(t), \phi_{j+1,n}(t) \rangle \\
&= \sum_n h_0(n-2m) c_{j+1,n}(n) \\
&= h_0(-n)^* c_{j+1}(n) \Big|_{n=2m}
\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นสัมประสิทธิ์ $c_j(m)$ จะหาได้จากการคอนโวลูชันของสัมประสิทธิ์ $c_{j+1}(n)$ กับลำดับ $h_0(-n)$ แล้วทำการลดอัตราการสุ่มลง (Down sampling) ด้วยสอง เพื่อให้เอาท์พุทมีจำนวนเท่ากับ m ในขณะเดียวกันสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต $d_j(m)$ ก็จะสามารถหาได้จากวิธีเดียวกัน คือ

$$d_j(m) = h_1(-n)^* c_{j+1}(n) \Big|_{n=2m} \quad (5.24)$$

จากสมการที่ (5.23) และ (5.24) สามารถเขียนเป็นแผนภูมิในลักษณะของฟิลเตอร์เบงค์แบบ 2 ช่องสัญญาณ สำหรับการแจกแจงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตได้ดังภาพที่ 3.17 ซึ่งจะเป็นการโปรเจกชันสัญญาณไปยังสเปซย่อยนั่นเอง



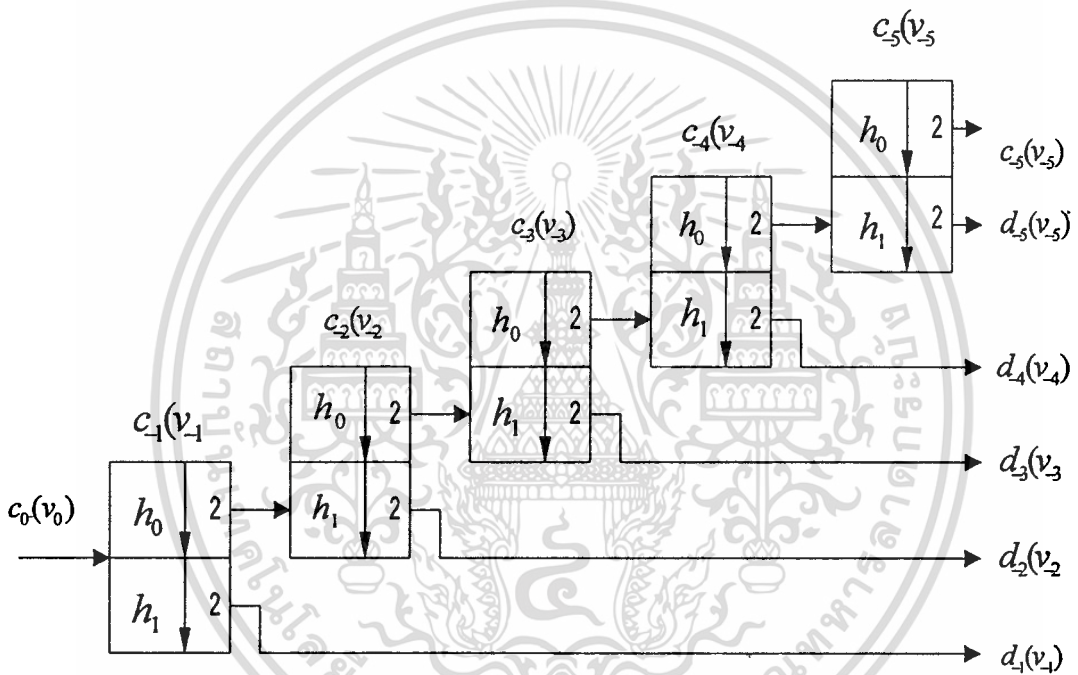
รูปที่ 5.17 แสดงฟิลเตอร์เบงค์แบบ 2 ช่องสัญญาณ ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การแตกกระจายสัญญาณจะถูกกระทำด้วย Analysis filter banks ที่มี Impulse response เป็น $h_0(-n)$ และ $h_1(-n)$ โดยที่สัญญาณ $f(t) \in V^{j+1}$ จะมีความละเอียดเป็นสองเท่าของสัญญาณในสเปซย่อย V^j, W^j และสัมประสิทธิ์ $c_j(m), d_j(m)$ จะมีอัตราการสุ่มลดลงครึ่งหนึ่งของ $c_{j+1}(n)$ นั้นหมายความว่า จำนวนสัมประสิทธิ์ของ $c_{j+1}(n)$ จะถูกแบ่งให้ $c_j(m), d_j(m)$ อย่างละครึ่ง

ถ้าพิจารณาคุณสมบัติการสเกลสอง (Two-Scale Property) $f(t) \rightarrow f(2t)$ และจากลักษณะสมบัติของการเป็นโครงข่ายของสเปซย่อยๆ V^j จะพบว่า การโปรเจกชัน V^{j+1} เป็น V^j เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

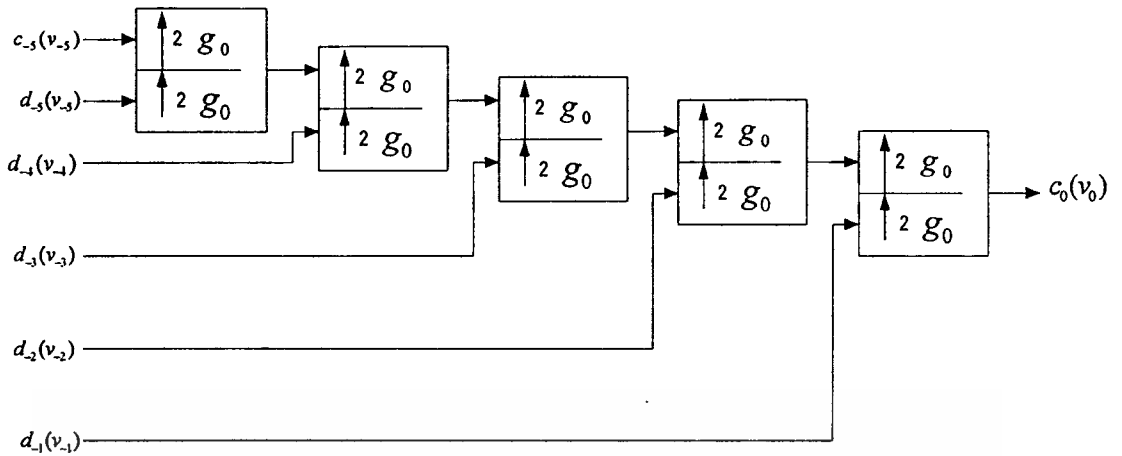
จะเป็นการลดความถี่ของสัญญาณลงครึ่งหนึ่ง จึงมีลักษณะเป็นตัวกรองความถี่ต่ำและการโปรเจก
 ไปใน W^j จะเป็นส่วนของตัวกรองความถี่สูง ดังนั้น $h_0(-n)$ และ $h_1(-n)$ จึงเป็น
 Impulse Reponse ของตัวกรองความถี่ต่ำและตัวกรองความถี่สูง ตามลำดับ

ในกรณีที่มีการทำ DWT ซ้ำในแนวของความถี่ต่ำจะกลายเป็นลักษณะของ Dyadic Tree
 Structure ซึ่งเหมือนกับขบวนการ Octave filter banks ดังแสดงในภาพที่ 5.18



รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะของ DWT โดยใช้ Dyadic Tree Structure (Octave Filter Bank)

สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต d_{-1} ถึง d_{-5} จะเปรียบเสมือน Discrete - Time Bandpass Signal หมายถึง
 สัญญาณในส่วนที่ผ่าน Basspass Filter ที่แบนด์ความถี่ต่างๆ ในขณะที่ c_{-5} ของฟังก์ชันสเกลลิงจะ
 เป็น Discrete - Time Lowpass Signal ซึ่งดูได้จากภาพที่ 3.16 และจากโครงสร้างในภาพที่ 5.18
 เรียกว่า “การแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วง” (Discrete Wavelets Transform:DWT)



รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะของ IWT โดยการใช้ Dyadic Tree Structure

ในภาพที่ 5.19 แสดงขบวนการ “การแปลงกลับเวฟเล็ท” (Inverse Wavelets Transform: IWT) จะสังเกตเห็นว่า Upsampling Digital Filter $g_0(n)$ และ $g_1(n)$ จะกระทำกับสัมประสิทธิ์ $c_j(m)$ และ $d_j(m)$ ในกรณีที่เป็นเลขคู่เท่านั้น เช่น สัมประสิทธิ์ $c_j(0)$ จะทำกับ $g_0(n)$ และ $c_j(l)$ จะทำกับ $g_0(n-2)$ เป็นต้น

จากเนื้อหาทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของ การแปลงเวฟเล็ท ความแตกต่างระหว่างการแปลงเวฟเล็ทกับการแปลงข้อมูลแบบอื่นๆ และความเหมาะสมของงานที่จะนำการแปลงเวฟเล็ท ชนิดต่างๆ ไปประยุกต์ใช้

การแปลงเวฟเล็ทในการประมวลผลภาพแบบ DWT โดยใช้หลักการแยกองค์ประกอบแบนด์ย่อย (Subband Decomposition) ของภาพ ซึ่งเป็นเทคนิคของ Mallat [17] โดยภาพต้นแบบจะถูกแยกเป็นองค์ประกอบความถี่สูงและองค์ประกอบความถี่ต่ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การแปลงเวฟเล็ตในการประมวลผลภาพสามารถแบ่งออกได้เป็นสองขั้นตอนคือ

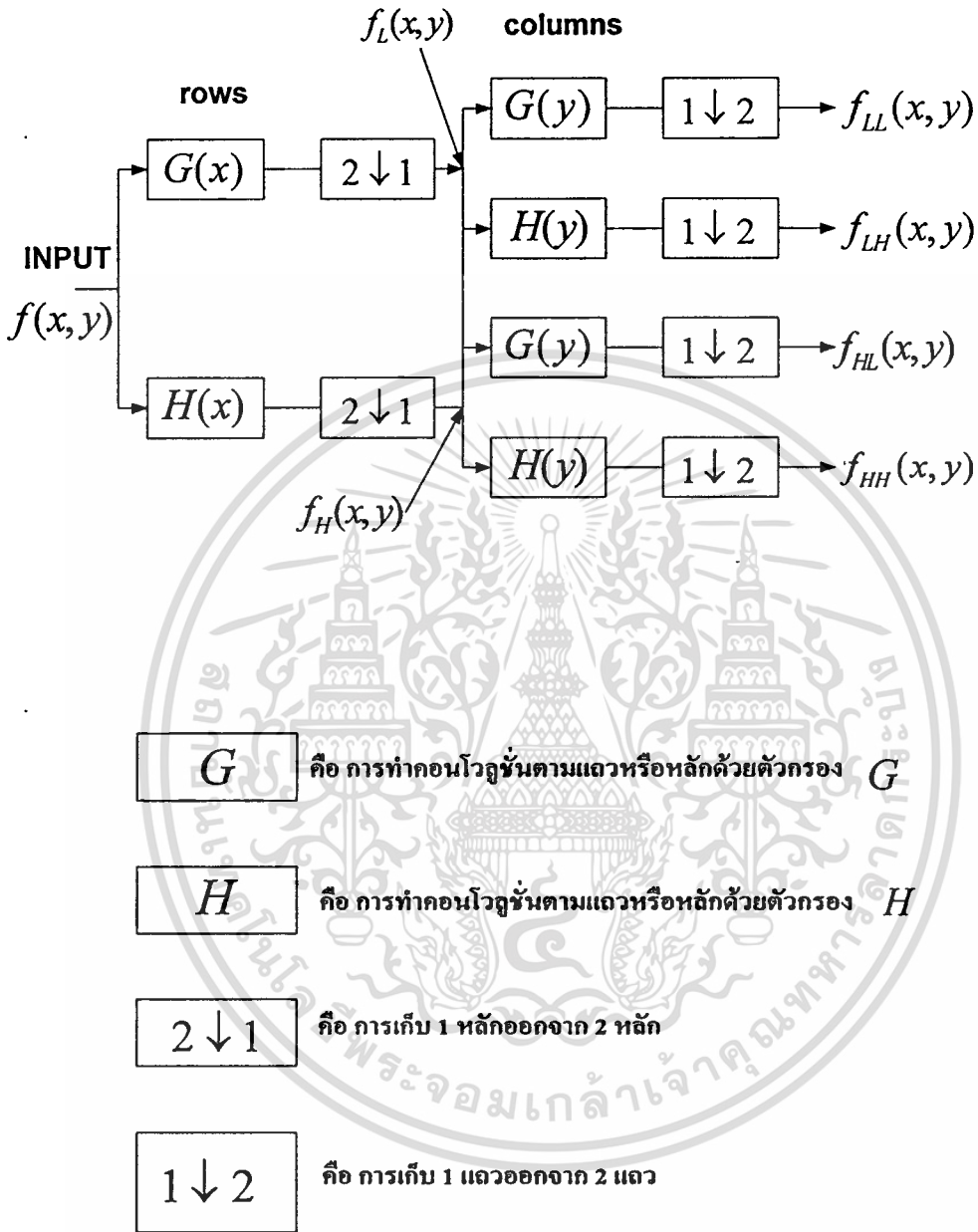
1) Wavelet Decomposition

เป็นการแยกภาพต้นแบบออกเป็นองค์ประกอบย่อย ซึ่งแสดงได้ดังแผนภาพในภาพที่ 3.20 โดยเริ่มจากภาพต้นแบบ $f(x, y)$ จะถูกกรองไปตามแนวแถว (row) ด้วยตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ G และตัวกรองผ่านความถี่สูง H จากนั้นจะนำผลที่ได้มาทำการลดจำนวนการสุ่ม (Downsampling) ลง 2 เท่า โดยการเก็บข้อมูลมา 1 หลัก (Column) จากข้อมูล 2 หลัก ซึ่งจะทำให้ได้เอาต์พุตความถี่สูงและความถี่ต่ำ จากนั้นเอาต์พุตทั้งสองจะถูกกรองตามแนวหลัก และลดจำนวนการสุ่มลง 2 เท่า โดยการเก็บข้อมูล 1 แถวจาก 2 แถว ผลลัพธ์ที่ได้จะประกอบด้วยภาพแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ $f_{LL}(x, y)$ จำนวน 1 ภาพ และภาพแบนด์ย่อยความถี่สูงจำนวน 3 ภาพ คือ $f_{LH}(x, y), f_{HL}(x, y)$ และ $f_{HH}(x, y)$ ตามลำดับ โดยแต่ละภาพจะมีขนาดลดลงเป็น $1/4$ เท่าของภาพต้นแบบ

2) Wavelet Reconstruction

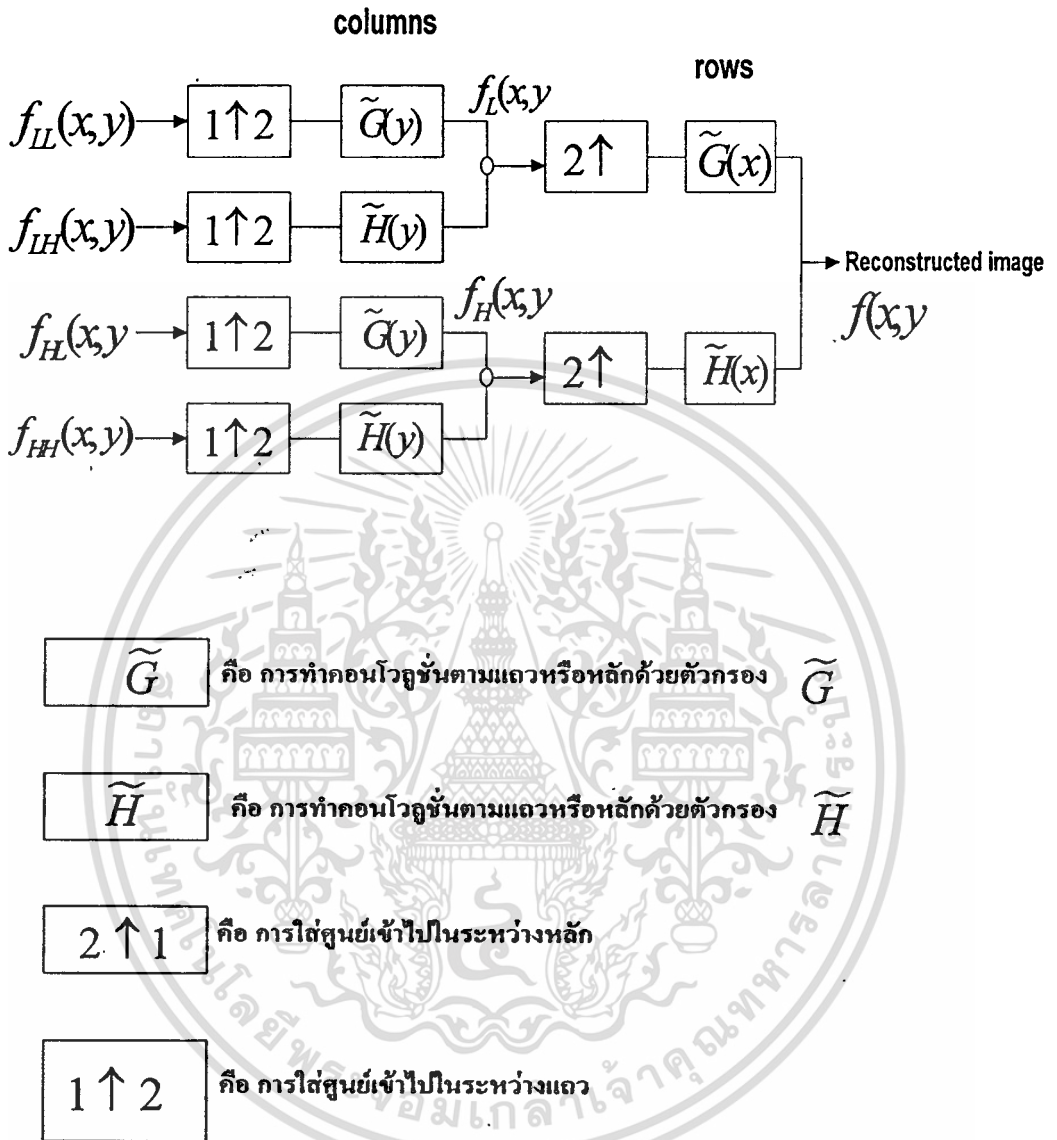
เป็นการสร้างภาพขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบย่อย ซึ่งแสดงได้ดังแผนภาพในภาพที่ 5.21 โดยเริ่มจากภาพแบนด์ย่อยทั้ง 4 จะถูกเพิ่มจำนวนการสุ่ม (Upsampling) เป็น 2 เท่าโดยการเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแต่ละคู่ของแถว ภายหลังจากการเพิ่มจำนวนการสุ่มแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นภาพที่ถูกสร้างกลับขึ้นมาใหม่

ในการแปลงเวฟเล็ตสำหรับภาพ 1 ครั้ง (Stage) จะทำให้ได้ภาพที่มีขนาดเท่ากัน 4 ภาพ คือเป็นภาพที่มีข้อมูลส่วนรายละเอียด (ข้อมูลความถี่สูง) จำนวน 3 ภาพ และเป็นภาพที่มีระดับความสว่าง (ข้อมูลความถี่ต่ำ) จำนวน 1 ภาพ ซึ่งขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ตนี้สามารถกระทำกับภาพข้อมูลความถี่ต่ำได้ต่อไปเรื่อยๆ ดังแสดงในภาพที่ 5.22



รูปที่ 5.20 แสดงแผนภาพ Image Wavelet Decomposition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.21 แสดงแผนภาพ Image Wavelet Reconstruction

f_{LL1}	f_{LH1}
f_{HL1}	f_{HH1}

รูปที่ 5.22 ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 1 ครั้ง

f_{LL2}	f_{LH2}	f_{LH1}
f_{HL2}	f_{HH2}	
f_{HL1}		f_{HH1}

รูปที่ 5.23 ภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต 2 ครั้ง

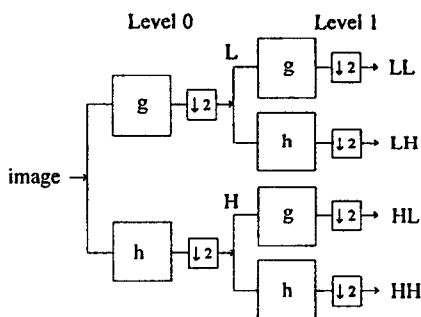
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

f_{LL3}	f_{LH3}	f_{LH2}	f_{LH1}
f_{HL3}	f_{HH3}		
f_{HL2}		f_{HH2}	
f_{HL1}			f_{HH1}

รูปที่ 5.24 แสดงภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตหลายครั้ง

5.5 การประยุกต์การแปลง WAVELET ในภาพถ่ายดาวเทียม

การแปลง multiresolution wavelet ใช้ในการแยกภาพไปเป็นภาพที่มีความละเอียดต่างๆ เรียกว่า subband ซึ่งประกอบไปด้วย low frequency approximation band และ high frequency detail band รูปที่ 5.23 แสดงให้เห็นวิธีการแปลงภาพเดิมไปเป็นภาพ subband ต่างๆ ในระดับที่ 2 ประกอบด้วย LL HL LH และ HH เมื่อ LL ก็คือ low frequency subband ซึ่งแสดงคุณลักษณะที่สำคัญที่สุดนั้นคือมีค่าพลังงานสูงสุด ส่วนที่เหลือก็คือ high frequency subband ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดข้อมูลขอบภาพ ในรูปที่ 1 g และ h ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำหนึ่งมิติและตัวกรองความถี่สูงหนึ่งมิติตามลำดับ



รูปที่ 5.25 การแปลงภาพไปเป็น LL LH HL และ HH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทความนี้ใช้หลักการ Daubechies wavelet algorithm เพื่อใช้ในการคำนวณ discrete wavelet transform(DWT) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์และฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองแบบ FIR

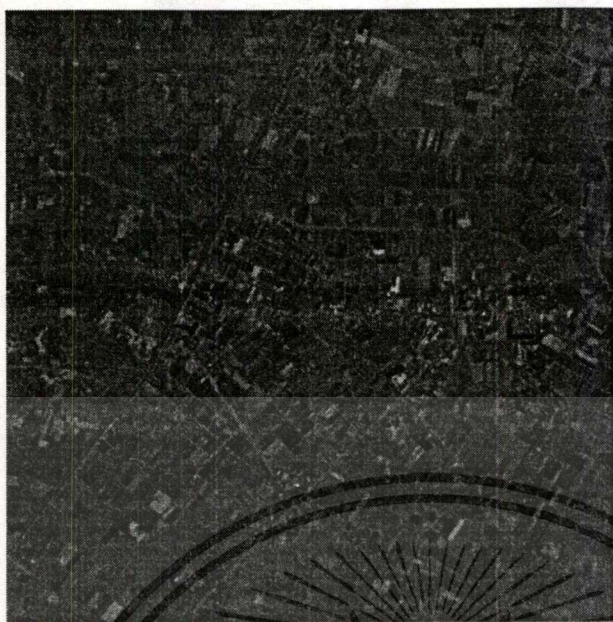
$$H(z) = h_0 + h_1z^{-1} + h_2z^{-1} + h_3z^{-1}$$

$$G(z) = g_0 + g_1z^{-1} + g_2z^{-1} + g_3z^{-1}$$

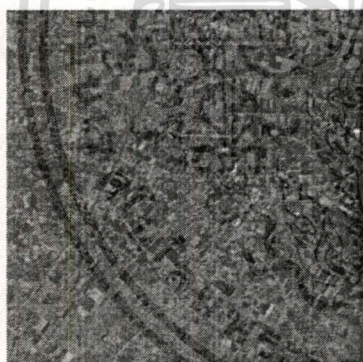
โดยที่ $H(z)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ dilation ของตัวกรองผ่านความถี่สูง, $G(z)$ เป็นสัมประสิทธิ์ของตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ ค่า h_i และ g_i ตามตารางที่ 1 ภาพ PAN ดังในรูปที่ 5.24 จะถูกแปลงไปเป็นภาพ LL LH HL และ HH ในบทความนี้จะใช้เพียงภาพ LL เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 5.25 แต่เพื่อที่จะให้ค่าความสว่างของภาพ LL สอดคล้องกับความสว่างของภาพ I ดังนั้นความสว่างของภาพ LL จะถูกปรับให้เหมาะสมกับความเข้มของภาพ I ดังรูปที่ 5.26

ตารางที่ 5.1 ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองของ 4 – tap Daubechies wavelet

N	H	G
0	0.48296291314453	0.12940952255126
1	0.83651630373781	0.22414386804201
.2	0.2241438604201	-0.83651630373781
3	-0.12940952255126	0.48296291314453

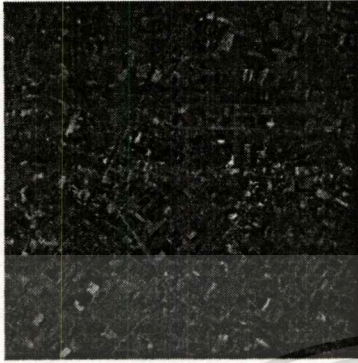


รูปที่ 5.26 แสดงภาพต้นแบบภาพถ่ายจากดาวเทียม LANDSAT ขนาด 512 x 512 x 8 บิต



รูปที่ 5.27 Original coefficient image, LL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 ภาพหลังจากปรับ brightness image.

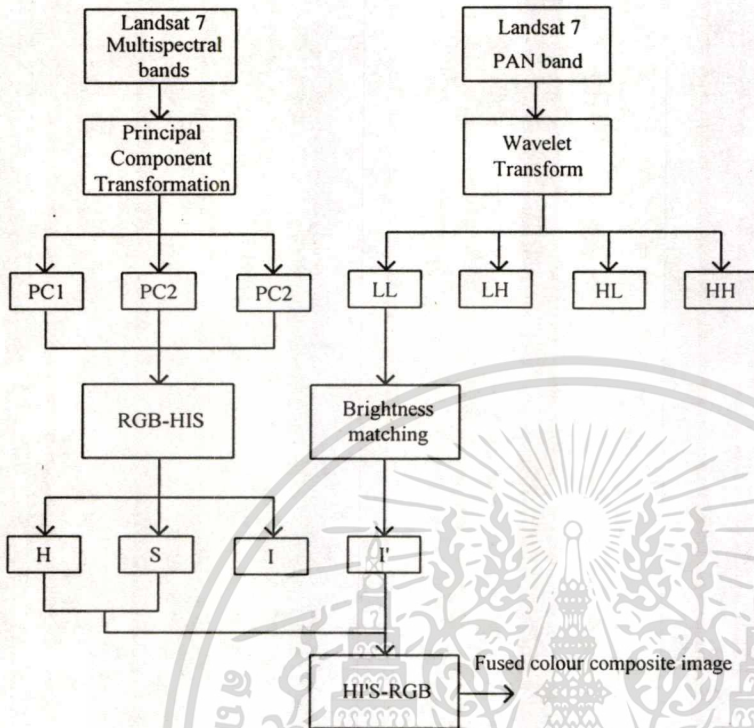


บทที่ 6

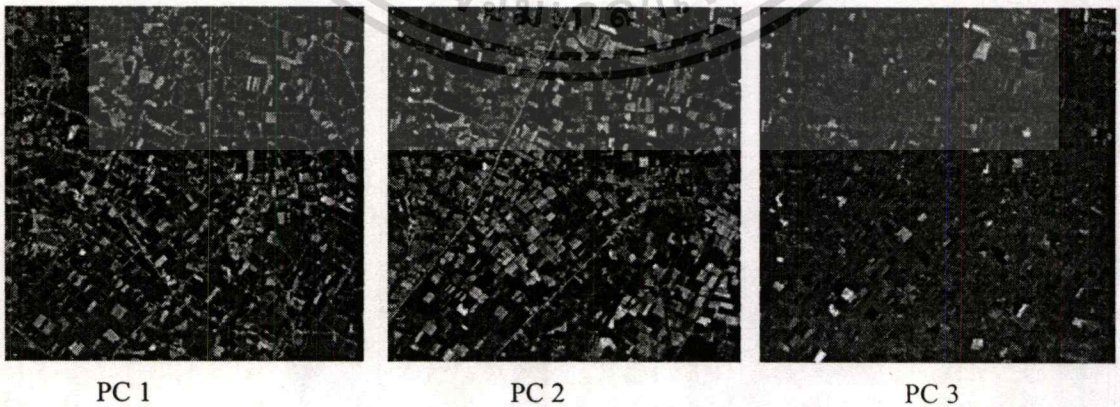
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

จากวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 เพื่อต้องการศึกษาวิธีการผสมภาพจากองค์ประกอบหลักกับภาพ PAN โดยการแปลงแบบ HIS โดยใช้ภาพจากดาวเทียมดวงเดียวกันคือ LANDSAT 7 ตำแหน่งจุดภาพต่อจุดภาพของภาพทั้งสองจะมีความสอดคล้องกันอยู่แล้วโดยไม่ต้องใช้วิธีการปรับตำแหน่ง รูปที่ 6.1 แสดงให้เห็นรูปแบบการรวมภาพโดยใช้วิธีการผสมภาพซึ่งประกอบด้วยการแปลง RGB ไปเป็น HIS และแปลงกลับเป็น RGB การแปลงองค์ประกอบหลัก การแปลง wavelet และการปรับความสว่าง การทดลองจะใช้ข้อมูลขนาดภาพ $256 * 256$ สำหรับ ภาพระบบ TM หลายแถบความยาวคลื่น และ $512 * 512$ สำหรับ ภาพระบบ PAN จากหลายแถบความยาวคลื่น จำนวน 3 ภาพตามที่ได้อธิบายในบทที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดข้อมูลมากกว่า 95 % ของภาพเดิม (มีทั้งหมดมี 6 แบนด์ คือ แบนด์ 1,2,3,4,5,7) และการแปลง HIS ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 3 แทนสีแดงด้วย PC1 สีเขียวด้วย PC2 และสีฟ้าด้วย PC3 และทำการแปลงภาพดังกล่าวไปเป็น HIS จากนั้นผสมภาพจาก ภาพรายละเอียดสูง-ความยาวคลื่นกว้าง,(ภาพในระบบ PAN) และภาพความละเอียดต่ำ - ความยาวคลื่นแคบ (ภาพในระบบ TM หลายแถบความยาวคลื่น) ซึ่งใช้เฉพาะสัมประสิทธิ์ wavelet ความถี่ต่ำมีขนาดภาพเท่ากับ $256*256$ ซึ่งได้จากการแปลง wavelet ตามที่ได้อธิบายในบทที่ 5 ค่าความสว่างของภาพ LL จะถูกปรับให้เหมาะสมกับความสว่างของภาพ I ค่าความสว่างใหม่ของภาพ LL คือ I' หลังจากนั้นภาพ I จากการแปลงของภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรกถูกแทนที่โดยภาพ I' จะได้ภาพสีขั้นตอนสุดท้าย ผลการแปลง HIS เป็น RGB ดังรูปที่ 6.5

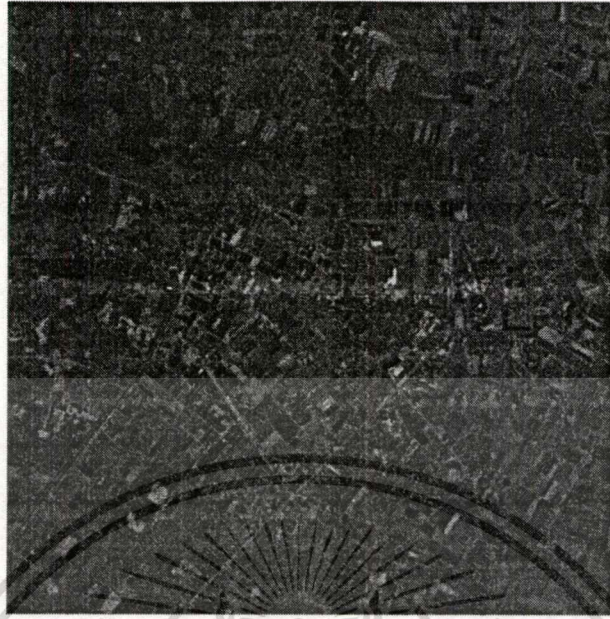


รูปที่ 6.1 โครงสร้างการผสมภาพ Landsat 7 multispectral image และ ข้อมูลภาพ PAN

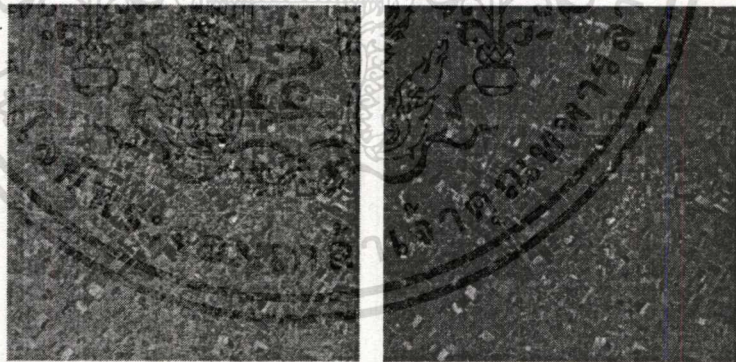


รูปที่ 6.2 ภาพองค์ประกอบหลัก 3 ภาพแรก จาก Landsat 7 multispectral TM images.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



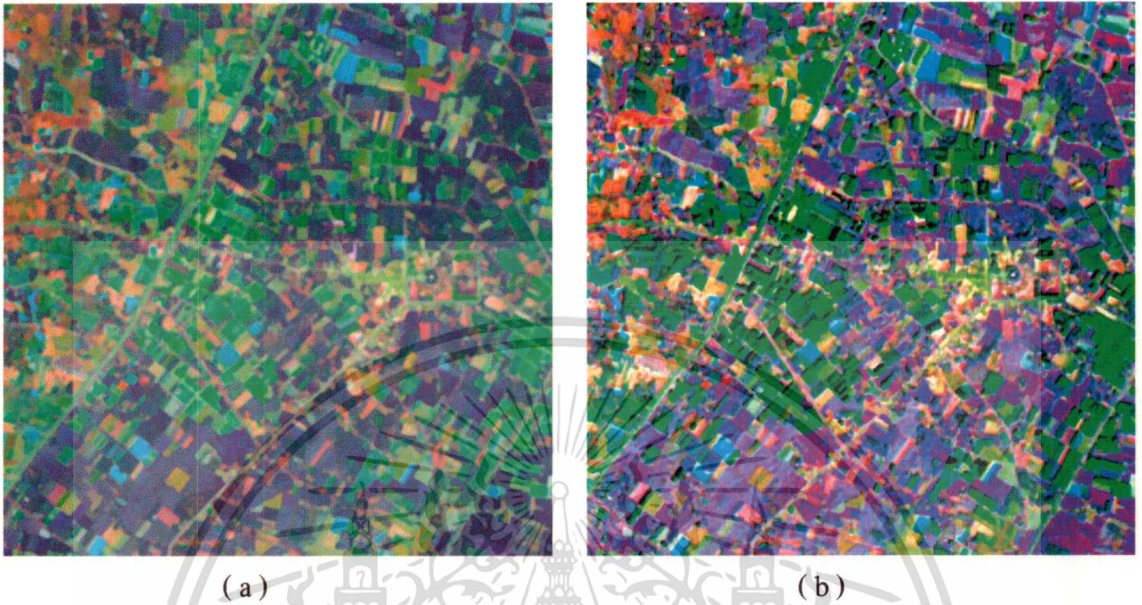
รูปที่ 6.3 ภาพเดิมจาก LANDSAT 7 PAN (Band 8)



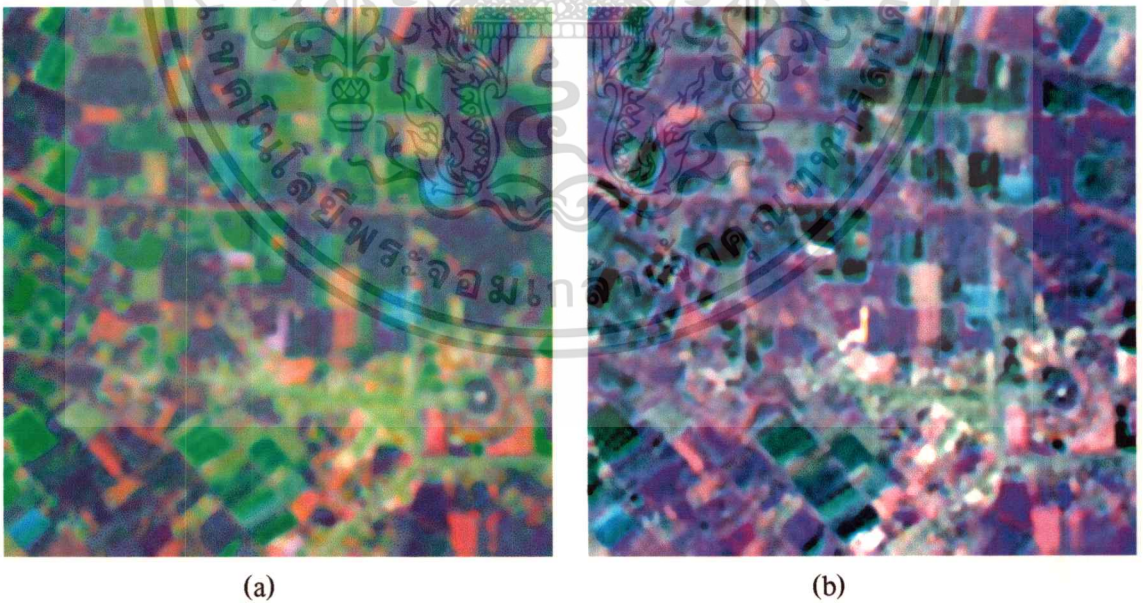
(a)

(b)

รูปที่ 6.4 ภาพรายละเอียดสูง-ความยาวคลื่นกว้าง(PAN) สัมประสิทธิ์ wavelet ความถี่ต่ำซึ่งได้จากแปลง wevelet a) ภาพเดิม Original coefficient image, LL (b) ภาพหลังจากปรับ brightness image.



รูปที่ 6.5 ภาพตีจากการแปลงข้อมูลภาพ (a) PC-RGB (b) HI'S-RGB



รูปที่ 6.6 การขยายภาพตีจากการแปลง (a) PC-RGB (b) HI'S - RGB image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่จะนำงานวิจัยไปพัฒนาคือ การแปลงข้อมูลภาพย้อนกลับจาก RGB แปลงเป็นภาพองค์ประกอบหลักต่างๆ เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลเดิมและข้อมูลที่ได้จากการผสมภาพใหม่ จะมีข้อมูลเพิ่มขึ้นจากเดิมมากน้อยเพียงใด



เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell., vol. 11, no. 7, pp. 674-698, July. 1989.
- [2] I. Daubechies, Ten Lectures on wavelets, Philadelphia, PA:SIAM,1992.
- [3] J. Zhou, D.L.Civco,and J.A.Silander, " A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data," Int. J. Remote Sensing, vol. 19, no. 4, pp. 743-757, 1998.
- [4] P. S. Chaves, S.C. Side and J.A Anderson, "Comparison of three different method to merge multi-resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic," Photogramm. Eng. Remote Sensing, vol. 57 , no. 3, pp. 295-303, 1991.
- [5] D.A. Yocky, "Multiresolution wavelet decomposition image merge of LANDSAT thematic mapper and SPOT panchromatic data," Photogram. Eng. Remote Sensing, vol. 62, no. 9, pp. 1067-1074, 1996.
- [6] ศิริพงษ์ วงษ์การ " การลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยการควอนไทซ์แบบเวกเตอร์" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2540
- [7] J A. Richards "Remote Sensing Digital Image Analysis " Second, Revised and Edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg ,1993.
- [8] สักกริยา ชิตวงศ์ ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์ พุศัทธิ์ ชิวสุวิทย์, " การกำจัดรอยตะเข็บออกจากการต่อภาพสีของภาพถ่ายดาวเทียม MOS-1 MESSR", การประชุม วิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15 หน้า D-6-7-D-6-9, 3-4 ธันวาคม 2535
- [9] I. Daubechies, " Orthonormal bases of compactly supported wavelet," IEEE Trans. Theory, vol.36, pp.961-1005, Sept. 1990.
- [10] S. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition; The Wavelet Representation,"IEEE Trans. Pattern Anal. Intell., vol. 11, pp. 674-693, 1989.
- [11] J. Nunez,"Multiresolution-Based Image Fusion with Additive Wavelet Decomposition, "IEEE Trans. Remote Sensing, vol. 37, no. 3, pp. 1204-1211, 1999.
- [12] J. Price," Combining Multispedtral Data of Differing Spatial Data of Differing Spatial Resolution," IEEE Trans. Remote Sensing, vol.3, pp.1199-1203, 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] F. Cheevasvit, S.Chitwong, and J. Homthong, “ **Fusion of Principal Component of Multispectral Bands with PAN Band Using HIS and Wavelet Transform,**” Proceedings of SPIE on Remote Sensing, Toulouse, France, pp.130-136, Sept. 18-21,2001.
- [2] F. Cheevasvit, S. Chitwong, and J. Homthong, “ **Fusion of Principal Component of Multispectral Bands with PAN Band Using HIS and Wavelet Transform,**” Proceeding of 40th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand, pp. 88-96, Feb. 4-7, 2002.





Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology

Manfred Ehlers
Chair/Editor

18–21 September 2001
Toulouse, France

Sponsored and Published by
SPIE—The International Society for Optical Engineering

Cooperating Organizations
EOS—European Optical Society
CNES—Centre National d'Etudes Spatiales (France)
NASA—National Aeronautical Space Administration (USA)



Volume 4545

SPIE is an international technical society dedicated to advancing engineering and scientific applications of optical, photonic, imaging, electronic, and optoelectronic technologies.

Fusion of Principal Component of Multispectral Bands with PAN Band Using HIS and Wavelet Transform

S. Chitwong, F. Cheevasuvit, and J. Homthong

Department of Instrumentation Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Phone: 662-3267346, Fax: 662-3267347, Email: kcsakrey@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Since RGB images derived from multispectral (TM) images will lose some information, in this paper we present the method to solve such problem by using principal component analysis (PCA) which transforms TM images into the principal component images (PCs), while the high resolution PAN data is decomposed by wavelet transform. Thus, RGB images are assigned by the first three principal component images which normally have approximately 95% of the information in the original images. The intensity image from RGB to HIS transformation is replaced by the lower frequency coefficient of wavelet transform of PAN data corresponding to multispectral images. HIS to RGB transformation is then applied. The fused RGB image using our method can obtain more details.

Keyword: Data fusion, Principal Component Analysis, Hue-Intensity-Saturation transform, Wavelet transform.

1. INTRODUCTION

Recently, multi-sensor image fusion has been proposed by many researchers^{3,4,5}. All of the previous methods concern with images from different satellites—high spectral low spatial image from Landsat multispectral TM, and low spectral high spatial image from SPOT PAN—in order to fully utilize each of their advantages. Since both images from different satellites must be registered to superimpose and importantly, these images must be provided at the same time or almost simultaneously. To solve such problems, we present fusion method by using images from the same satellite, that is, Landsat 7 consisting of six multispectral TM bands and PAN band. Principal component of multispectral bands and low frequency wavelet coefficient of PAN band are fused by using HIS. Although the resolution of PAN image of Landsat 7 (15-m) is lower than that of PAN image of SPOT (10-m), the cost of Landsat 7 data is lower than that of SPOT data. One of the advantages of using data from a single satellite is that it avoids the unnecessary registration process and it does not take into account the time problem. We evaluate our fusion method by comparing the results between the first three component color composite image and HIS color composite image, at which intensity (I) is replaced by low frequency wavelet coefficient.

This paper is organized as follows. In section 2, model and formulas used for RGB to HIS to RGB transformation are described while principal component analysis is introduced in section 3. Wavelet transform used is represented in section 4. Fusion method is described in section 5. Results from the comparative experiment is discussed in section 6.

2. RGB-HIS-RGB TRANSFORMATION

In this paper, we use double cone model to convert RGB images into Hue-Intensity-Saturation (HIS) components and HIS component into RGB images. The hue is represented as the angle varying from 0° to 360°. The saturation corresponds to the radius varying from 0 to 1. The intensity varies along the z-axis with 0 being black and 1 being white. The formulas use to convert RGB into HIS as follows

$$I = \frac{R + G + B}{3}$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right]$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\max(R, G, B)]$$

If B is greater than G, then $H = 360^\circ - H$.

Because of using double cone model, the process to convert HIS to RGB depends on the angle of hue. Thus, formulas use to convert HIS to RGB consisting of the three cases as follows

for $0^\circ \leq H \leq 120^\circ$

$$b = \frac{(1-S)}{3} \quad r = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right] \quad g = 1 - (r+b)$$

for $120^\circ \leq H \leq 240^\circ$

$$H = H - 120^\circ \quad g = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$r = \frac{(1-S)}{3} \quad b = 1 - (r+g)$$

for $240^\circ \leq H \leq 360^\circ$

$$H = H - 240^\circ \quad b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$g = \frac{(1-S)}{3} \quad r = 1 - (g+b)$$

The values of r, g, and b are normalized values of R, G, and B. Then values of R, G, and B are

$$R = 3Ir \quad G = 3Ig \quad B = 3Ib$$

3. PRINCIPAL COMPONENT TRANSFORMATION

Principal component transformation can be accomplished by the following steps.

1. Calculate the covariance matrix C_X by

$$C_X = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (X_i - M)(X_i - M)^T$$

where X is a given N-dimensional variable, M is the mean vector and k is the number of pixels. The principal component Y_i can be denoted by

$$Y_i = a_{1i}X_1 + a_{2i}X_2 + a_{3i}X_3 + \dots + a_{Ni}X_N$$

$$Y_i = a_i^T X$$

All transformed components can be written by

$$Y = A^T X$$

where A is the eigenvector matrix. The covariance matrix of new Y covariance is obtained by

$$C_Y = A C_X A^T$$

The matrix C_X is a diagonal matrix, which consists of eigenvalue of C_X , that is

$$C_X = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix}$$

where $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$.

2. Project the original image onto the eigenvector. The principal component images of each eigenvalue can be obtained by the projection of original images onto the corresponding eigenvector.

By applying the PCA process to the Landsat 7 multispectral TM images in Fig. 3, the first three principal component images are shown in the Fig. 4. The color composite image in Fig. 7(a) is obtained by assigning the red, green and blue to the first three higher eigenvalue images. In this paper, red is assigned by PC1, green by PC2, and blue by PC3.

4. WAVELET TRANSFORMATION

Multiresolution wavelet transform^{1,2} is used to decompose image into coarser resolution images which are called subbands consisting of the low frequency approximation band and high frequency detail band. Fig. 1 shows the decomposition of the original image into a number of subbands. In second level, subbands consisting of LL, HL, LH, and HH where LL is low frequency subband image containing the most important feature (the highest energy subband). Others are high frequency subbands containing details such as the edge information. In Fig. 1, g and h are 1-D lowpass filter and 1-D highpass filter respectively.

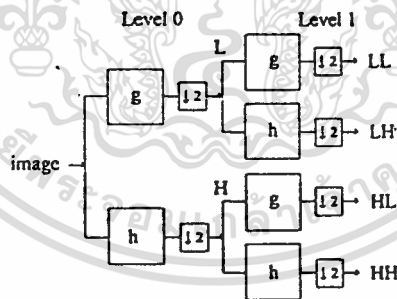


Fig. 1 The decomposition of image into LL, LH, HL, and HH.

The Daubechies wavelet algorithm is used for computing discrete WT (DWT) to generate coefficients. The FIR filter transfer function of the four-tap Daubechies is

$$H(z) = h_0 + h_1 z^{-1} + h_2 z^{-1} + h_3 z^{-1}$$

where $H(z)$ is the dilation coefficients representing a highpass filter, and $G(z)$ represents a lowpass filter. h_i and g_i are filter coefficients shown in Table 1. Following previous description, let PAN image shown in Fig. 5 be the original image which is transformed into multiresolution images (LL, LH, HL, and HH). The LL image shown in Fig. 6(a) is only used. In order to match brightness of intensity image and LL image for reasoning HIS into RGB, brightness of LL image is adjusted. Adjusted brightness LL image shown in Fig. 6(b) is the same brightness as that of intensity image.

Table 1 Filter Coefficients of the four-tap Daubechies wavelet.

N	H	G
0	0.48296291314453	0.12940952255126
1	0.83651630373781	0.22414386804201
2	0.22414386804201	-0.83651630373781
3	-0.12940952255126	0.48296291314453

5. FUSION METHOD AND RESULTS

Since we use images for fusion method from the single satellite, Landsat 7, pixel-by-pixel position of both images is without registration process. Fig. 2 shows the fusing scheme consisting of RGB to HIS to RGB transformation, principal component transformation, wavelet transform, and brightness matching. In our experiment, we use image of 256-by-256 sizes for multispectral TM images and 512-by-512 sizes for PAN image. PC images can be derived from the multispectral images using PCA as described in Section 3. We selected the first three components, which had approximately 95% of information in the original multispectral TM images (all of six bands consisting of band 1, 2, 3, 4, 5, 7). In HIS transformation, described in section 2, we assign red by PC1, green by PC2, and blue by PC3 and transform them to HIS images. To generate fused image from low spectral high spatial image (PAN image) and high spectral low spatial image (multispectral TM images), we only use the low frequency wavelet coefficient (LL image) of 256-by-256 sizes from wavelet transform, described in section 4. Its brightness is adjusted to correspond with that of intensity image, namely I' image. Intensity image from the first three components is replaced by I' image. Finally, fused color-composite image can be derived from HI'S to RGB transformation shown in Fig. 7(b).

6. CONCLUSIONS

In this paper, we present fusion method by fusing images from principal component images (first three components) of Landsat 7 multispectral TM image transformed into HIS and low frequency wavelet coefficient. One of the advantages of fusing images from the single satellite is the elimination of registration process between multispectral TM images and PAN image and avoiding the time problem. By visual inspection of enlarged images shown in Fig. 8, we can see that the color composite image from HI'S-RGB image shown in Fig. 8(b) clearly has more detail than that of PC-RGB image shown in Fig. 8(a). Therefore, the fused color-composite image of HI'S-RGB will be useful for terrain feature classification and interpretation.

7. REFERENCES

1. S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July, 1989.
2. I. Daubechies, *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, PA: SIAM, 1992.
3. J. Zhou, D. L. Civco, and J. A. Silander, "A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data," *Int. J. Remote Sensing*, vol. 19, no. 4, pp. 743-757, 1998.
4. P. S. Chavez, S. C. Sides, and J. A. Anderson, "Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 57, no. 3, pp. 295-299, 1991.
5. J. Zhou, "Multiresolution wavelet decomposition image merger of LANDSAT thematic mapper and SPOT panchromatic data," *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 62, no. 9, pp. 1067-1074, 1996.

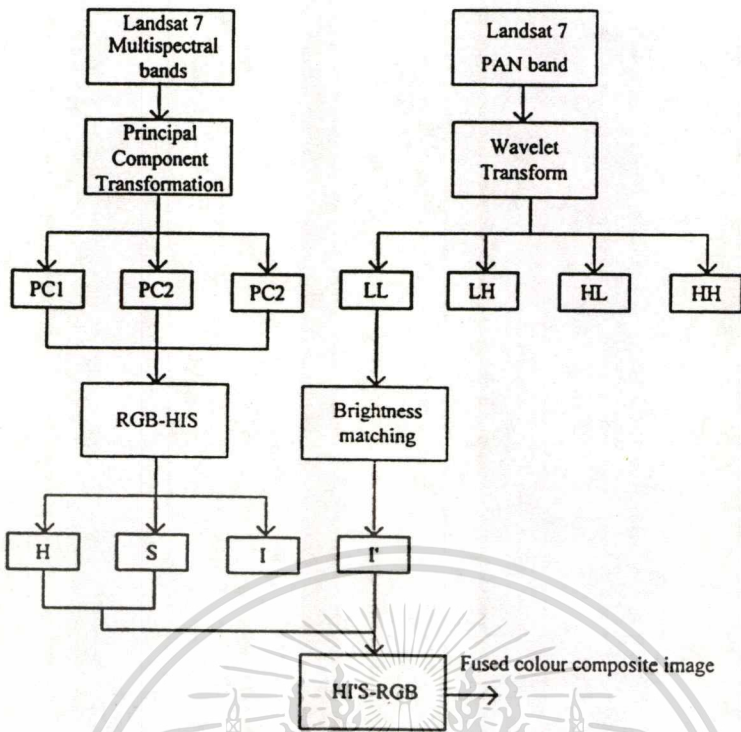


Fig. 2 Fusion scheme of Landsat 7 multispectral image and PAN data.

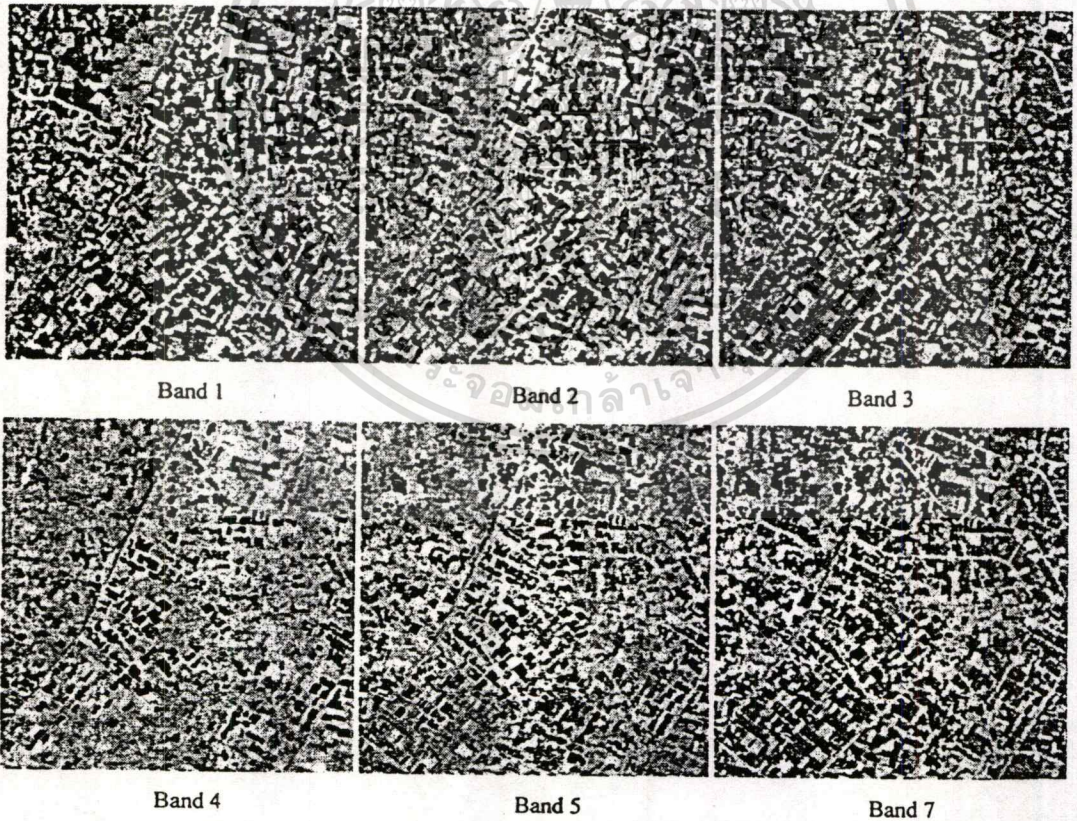
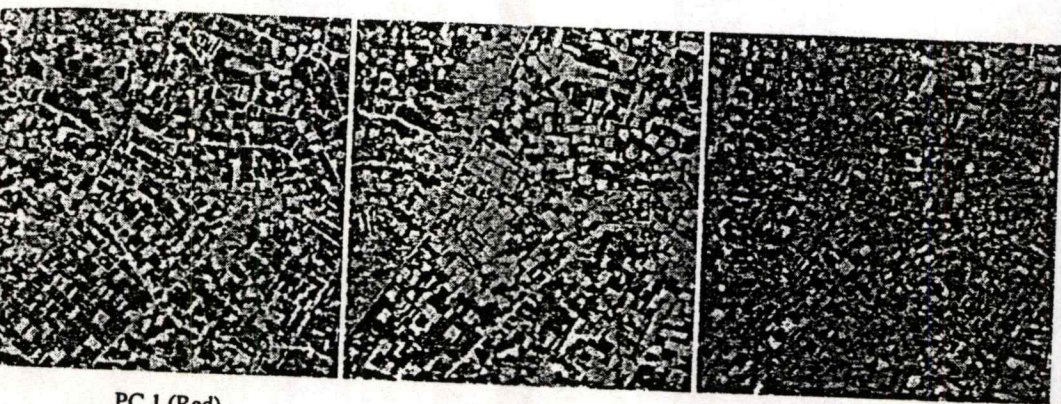


Fig. 3 Original Landsat 7 multispectral TM images.



PC 1 (Red)

PC 2 (Green)

PC 3 (Blue)

Fig. 4 First three principal Component of Landsat 7 multispectral TM images.

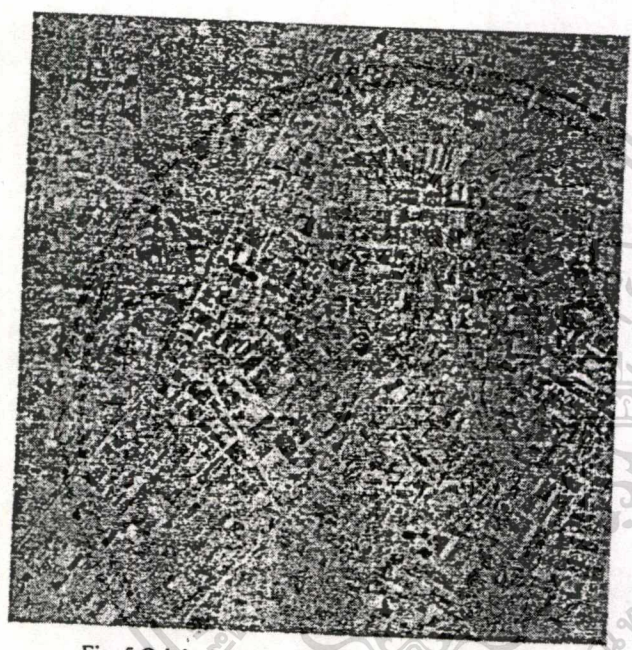
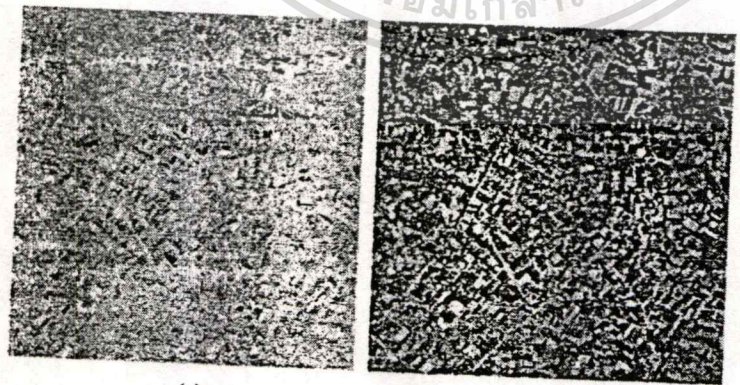


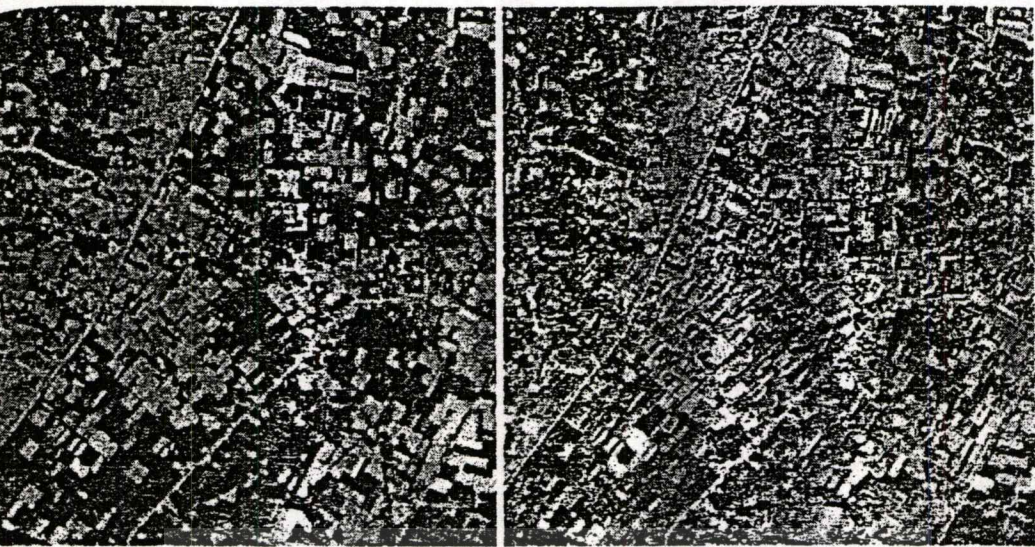
Fig. 5 Original Landsat 7 PAN image (Band 8).



(a)

(b)

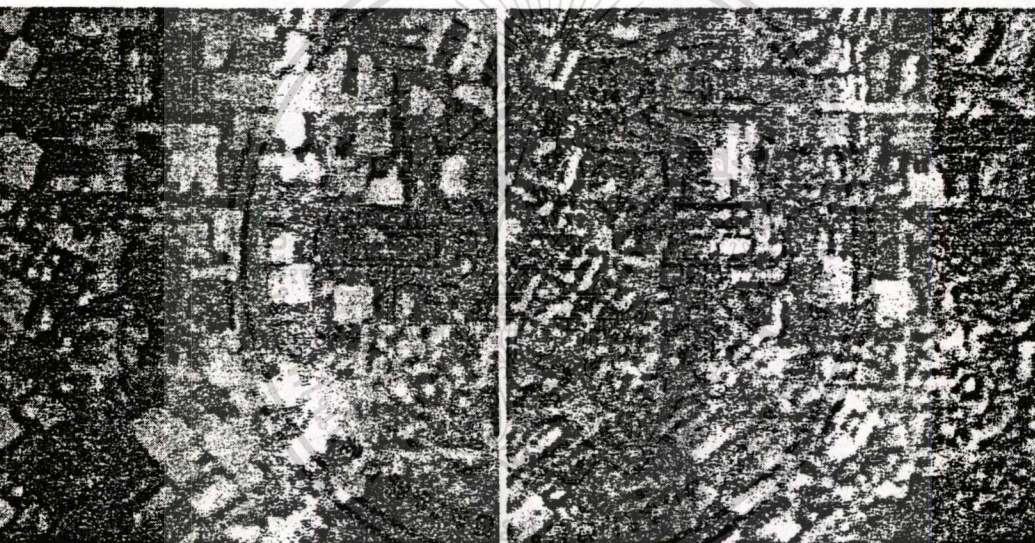
6 Wavelet coefficient image of PAN (a) Original coefficient image, LL (b) adjusted brightness image.



(a)

(b)

Fig. 7 Color composite images from (a) PC-RGB image (b) HI'S-RGB image.



(a)

(b)

Fig. 8 Enlarged color composite images of (a) PC-RGB image (b) HI'S-RGB image.



เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 40

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The Proceedings of 40th Kasetsart University Annual Conference

สาขาวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering)

4-7 กุมภาพันธ์ 2545

ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

จัดโดย

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ร่วมกับ

ทบวงมหาวิทยาลัย

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

กระทรวงศึกษาธิการ

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



1. INTRODUCTION

In recently, multi-sensor image fusion has been proposed by many researcher^{3,4,5}. All of previous method concerns with images from different satellite, that is, high spectral low spatial image from Landsat multispectral TM and low spectral high spatial image from SPOT PAN in order to utilize each advantage of them. Since both images from different satellite must be registered to superimpose and importantly these images must be provided at the same time or most nearly. To solve such problems, we present fusion method by using images from the same satellite, that is, Landsat 7 consisting of six multispectral TM bands and PAN band. In order to utilize all of information from Landsat multispectral TM, principal component of multispectral bands used, first three component having information more than that of any three bands from six bands, and low frequency wavelet coefficient of PAN band are fused by using HIS. Although resolution of PAN image of Landsat 7 (15-m), has lower than that of PAN image of SPOT (10-m), cost of Landsat 7 data is lower than that of SPOT data together. One of advantage of our fusion method is without registration process and not takes into account problem of the time. Result comparison of our fusion method is between first three component color composite image and HIS color composite image, at which intensity (I) is replaced by low frequency wavelet coefficient.

This paper is organized as follows. In section 2, model and formulas used for RGB to HIS to RGB transformation are described while principal component analysis is introduced in section 3. Wavelet transform used is represented in section 4. Fusion method is described in section 5. Result comparative experiment is discussed in section 6.

2. RGB-HIS-RGB TRANSFORMATION

In this paper, we use double cone model to convert RGB images into Hue-Intensity-Saturation (HIS) components and HIS component into RGB images. The hue is represented as the angle varying from 0° to 360°. The saturation corresponds to the radius varying from 0 to 1. The intensity varies along the z-axis with 0 being black and 1 being white. The formulas use to convert RGB into HIS as follows

$$I = \frac{R+G+B}{3}$$

$$H = \cos^{-1} \left[\frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right]$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\max(R, G, B)]$$

If B is greater than G, then: $H = 360^\circ - H$.

Because of using double cone model, the process to convert HIS to RGB depends on the angle of hue. Thus, formulas use to convert HIS to RGB consisting of the three cases as follows

in case $0^\circ \leq H \leq 120$

$$b = \frac{(1-S)}{3}, \quad r = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right], \quad g = 1 - (r + b)$$

in case $120^\circ \leq H \leq 240$

$$H = H - 120^\circ, \quad g = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$r = \frac{(1-S)}{3}, \quad b = 1 - (r + g)$$

in case $240^\circ \leq H \leq 360$

$$H = H - 240^\circ, \quad b = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{S \cos(H)}{\cos(60^\circ - H)} \right]$$

$$g = \frac{(1-S)}{3}, \quad r = 1 - (g + b)$$

The values of r, g, and b are a normalized values of R, G, and B. Then values of R, G, and B is

$$R = 3Ir, \quad G = 3Ig, \quad B = 3Ib$$

3. PRINCIPAL COMPONENT TRANSFORMATION

Principal component transformation can be accomplished by the following steps.

1. Calculate the covariance matrix C_X by

$$C_X = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (X_i - M)(X_i - M)^T$$

where X is a given N-dimensional variables, M is the mean vector and k is the number of pixels.

The principal component Y_i can be denoted by

$$Y_i = a_{1i}X_1 + a_{2i}X_2 + a_{3i}X_3 + \dots + a_{Ni}X_N$$

or $Y_i = a_i^T X$

All transformed components can be written by

$$Y = A^T X$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

where A is the eigenvector matrix. The covariance matrix of new Y covariance is obtained by

$$C_Y = AC_XA^T$$

The matrix C_X is a diagonal matrix, which consists of eigenvalue of C_X , that is

$$C_X = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & K & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & K & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & K & 0 \\ M & & & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K & \lambda_N \end{bmatrix}$$

where $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$.

2. Project the original image onto the eigenvector. The principal component images of each eigenvalue can be obtained by the projection of original images onto the corresponding eigenvector.

By applying the PCA process to the Landsat 7 multispectral TM images of Fig. 3, first three principal component images are shown in the Fig. 4. The color composite image in Fig. 7(a) is obtained by assigning the red, green and blue to the first three higher eigenvalue images. In this paper, red is assigned by PC1, green by PC2, and blue by PC3.

4. WAVELET TRANSFORMATION

Multiresolution wavelet transform^{1,2} is used to decompose image into the coarser resolution images which are called subbands consisting of the low frequency approximation band and high frequency detail band. Fig. 1 shows the decomposition of original image into a number of subbands. In second level, subbands consist of LL, HL, LH, and HH where LL is low frequency subband image presenting most important feature (the highest energy subband), others are high frequency subbands containing a detail such as the edge information. In Fig. 1, g and h are 1-D lowpass filter and 1-D highpass filter respectively.

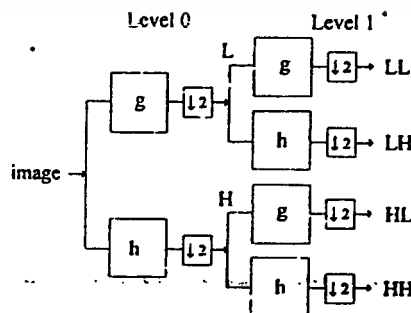


Fig. 1 The decomposition of image into LL, LH, HL, and HH.

The Daubechies wavelet algorithm is used for computing discrete WT (DWT) to generate coefficients.

The FIR filter transfer function of the four-tap Daubechies is

$$H(z) = h_0 + h_1z^{-1} + h_2z^{-2} + h_3z^{-3}$$

$$G(z) = g_0 + g_1z^{-1} + g_2z^{-2} + g_3z^{-3}$$

where $H(z)$ is the dilation coefficients represented a highpass filter, $G(z)$ represented a lowpass filter. h_i and g_i are filter coefficients shown in Table 1. Following as previous description, let PAN image shown in Fig. 5 is the original image which is transformed into multiresolution images (LL, LH, HL, and HH). The LL image shown in Fig. 6(a) is only used. In order to match brightness of intensity image and LL image for reasoning HIS into RGB, brightness of LL image is adjusted. Adjusted brightness LL image shown in Fig. 6(b) is the same brightness as that of intensity image.

Table 1 Filter Coefficients of the four-tap Daubechies wavelet.

N	H	G
0	0.48296291314453	0.12940952255126
1	0.83651630373781	0.22414386804201
2	0.22414386804201	-0.83651630373781
3	-0.12940952255126	0.48296291314453

5. FUSION METHOD AND RESULTS

Since we use images for fusion method from the single satellite, Landsat 7, pixel-by-pixel position of both images is without registration process. Fig. 2 shows the fusing scheme consisting of RGB to HIS to RGB transformation, principal component transformation, wavelet transform, and brightness matching. In our experiment, we use image of 256-by-256 sizes for multispectral TM images and 512-by-512 sizes for PAN image. PC images, described in section 3, from multispectral images result the first three component. All of them have information more than that of original multispectral TM images (all of six bands consisting of band 1, 2, 3, 4, 5, 7) of 95%. In HIS transformation, described in section 2, we assign red by PC1, green by PC2, and blue by PC3 and transform them to HIS images. To generate fused image from low spectral high spatial image (PAN image) and high spectral low spatial image (multispectral TM images) we only use the low frequency wavelet coefficient (LL image) of 256-by-256 sizes from wavelet transform, described in section 4. Its brightness is adjusted to correspond with that of intensity image, namely I' image. Intensity image from first three component is replaced by I' image. Finally, fused color-composite image results from HIS to RGB transformation shown in Fig. 7(b).

6. CONCLUSIONS

In this paper, we present fusion method by fusing images from principal component images (first three components) of Landsat 7 multispectral TM image transformed into HIS and low frequency wavelet coefficient. One of advantage to fuse images from the single satellite is first no need to registration process between multispectral TM images and PAN image and also not take into account problem to select both images on the same time or most nearly. By visual experiment of enlarged images shown in Fig. 8 see that color composite image from HI'S-RGB image shown in Fig. 8(b) have clearly more detail than that from PC-RGB image shown in Fig. 8(a). Therefore, the fused color-composite image of HI'S-RGB will be useful for terrain feature classification and interpretation.

REFERENCES

- [1] Mallat, S. 1989. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell. vol. 11 no. 7 : 674-693.
- [2] Daubechies, I. 1992. Ten Lectures on Wavelets. Philadelphia, PA: SIAM.
- [3] Zhou, J., D. L. Civco, and J. A. Silander. 1998. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. Int. J. Remote Sensing. vol. 19. no. 4 : 743-757.
- [4] Chavez, P. S., S. C. Sides, and J. A. Anderson. 1991. Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. Photogramm. Eng. Remote Sensing vol. 57 no. 3 : 295-303.
- [5] Yocky, D. A. 1996. Multiresolution wavelet decomposition image merger of LANDSAT thematic mapper and SPOT panchromatic data. Photogramm. Eng. Remote Sensing vol. 62 no. 9 : 1067-1074.

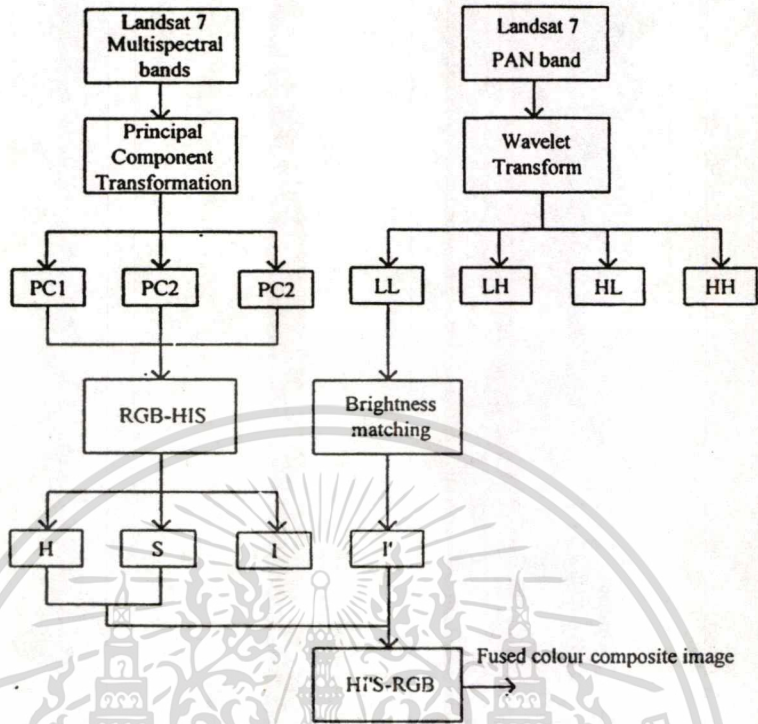
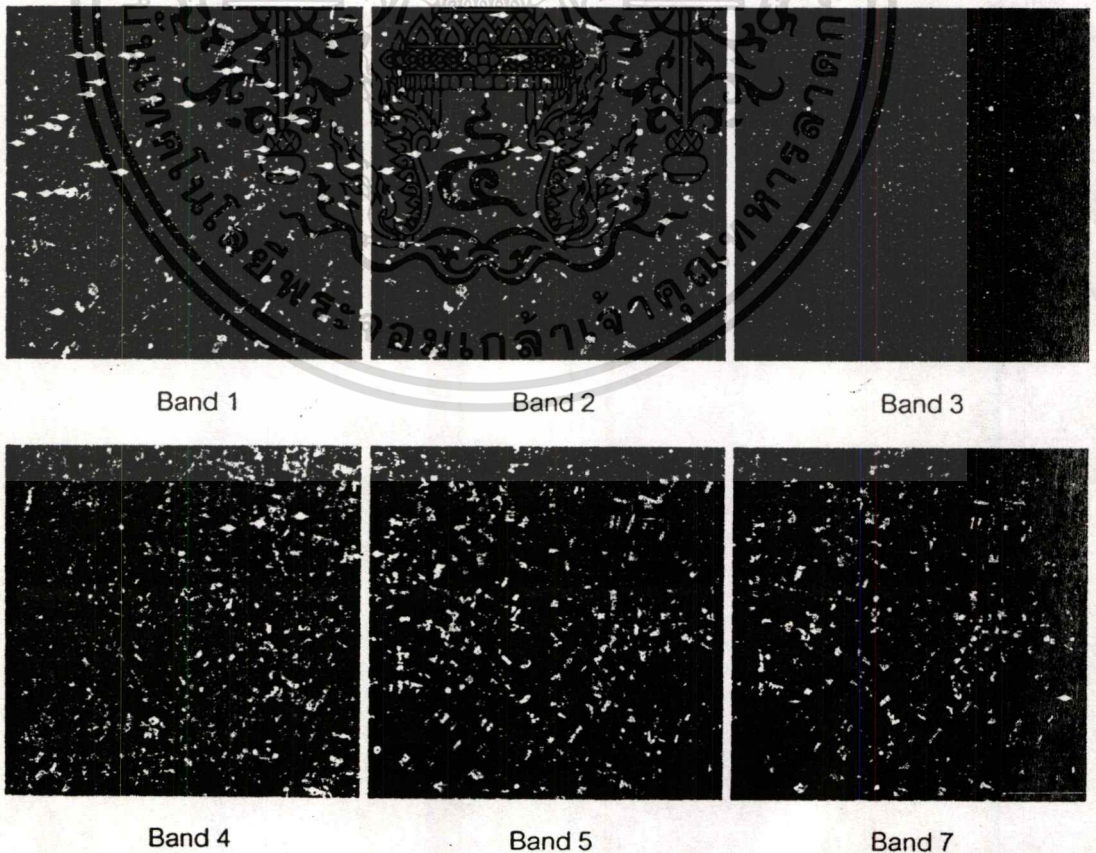
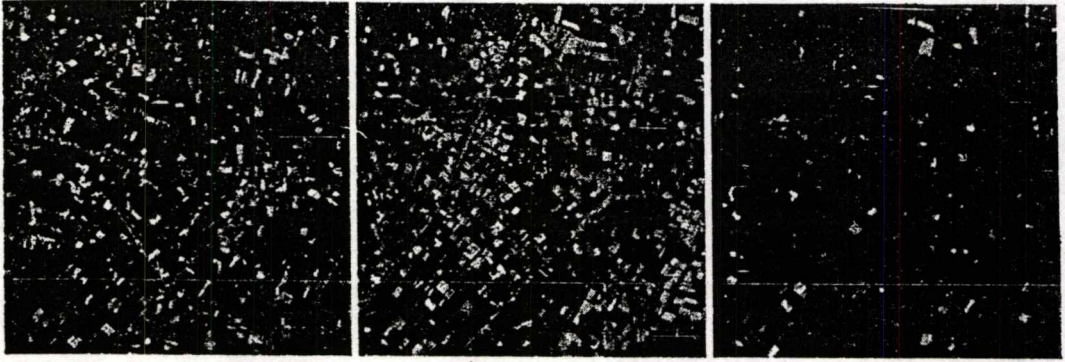


Fig. 2 Fusion scheme of Landsat 7 multispectral image and PAN data.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ Fig. 3 Original Landsat 7 multispectral TM images. ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PC 1 (Red)

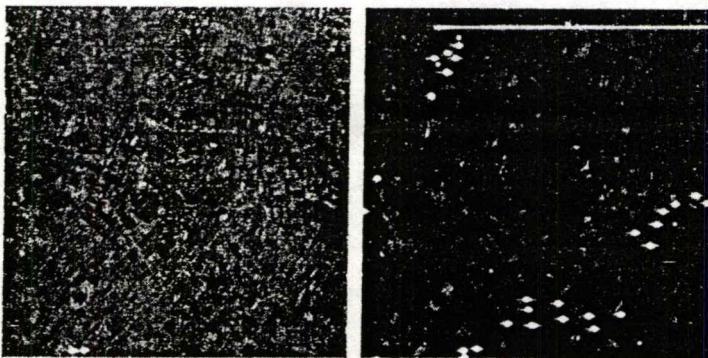
PC 2 (Green)

PC 3 (Blue)

Fig. 4 First three principal Component of Landsat 7 multispectral TM images.



Fig. 5 Original Landsat 7 PAN image (Band 8).



(a)

(b)

Fig. 6 Wavelet coefficient image of PAN

(a) Original coefficient image, LL (b) adjusted brightness image.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น สิ่งนี้ทั้งหมดมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

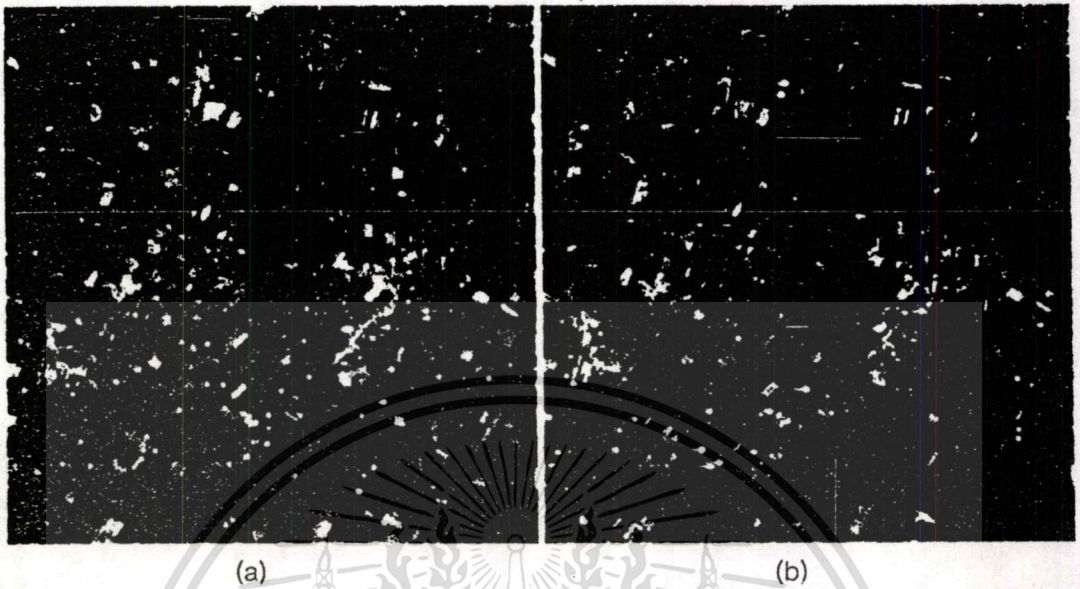


Fig. 7 Color composite images from (a) PC-RGB image (b) HI'S-RGB image.

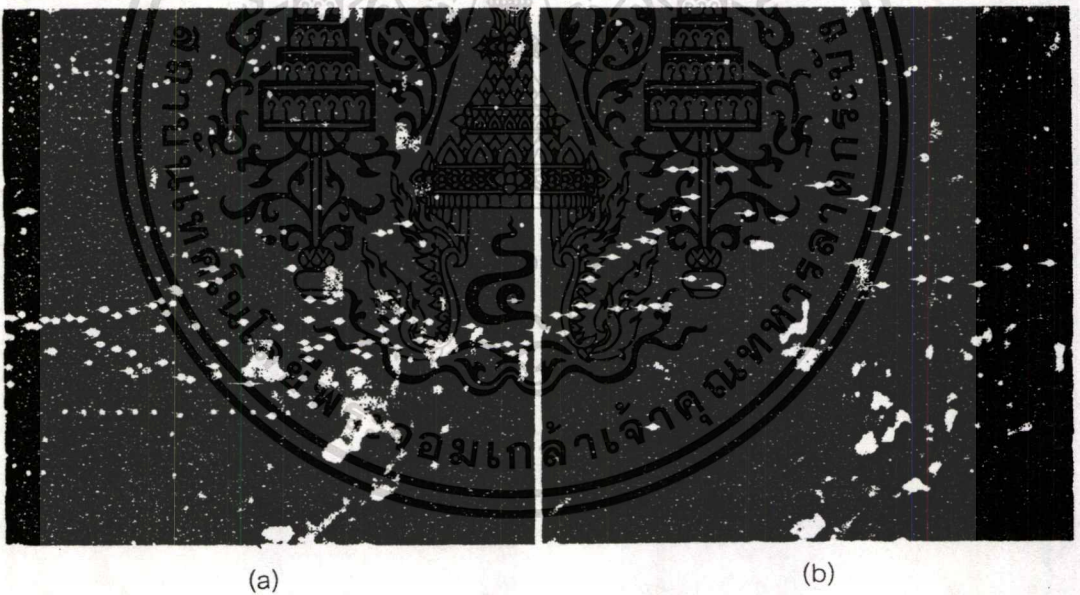


Fig. 8: Enlarged color composite images of (a) PC-RGB image (b) HI'S-RGB image.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายจักรกฤษณ์ หอมทอง เกิดเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2513 ที่จังหวัดขอนแก่น จบ
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนบุญญาวาศวิทยาลัย จังหวัดลำปาง เมื่อปีการศึกษา 2530
และศึกษาต่อที่ศูนย์ฝึกการบินพลเรือนแห่งประเทศไทยจนสำเร็จหลักสูตร
Communication Maintenance รุ่นที่ 27 เมื่อปี พ.ศ. 2533 และศึกษาต่อระดับปริญญาตรีของ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศา
สตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ปีการศึกษา 2537

หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา
2540 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง Instrument Engineer ที่โรงไฟฟ้า บริษัทอุตสาหกรรม
ปิโตรเคมีกัลไทย มหาชน

