

การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กซ์เจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

SILK'S TEXTURE DEFECT DETECTION BY WAVELET TRANSFORM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณัฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณัฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-116-7

การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กซ์เจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

SILK'S TEXTURE DEFECT DETECTION BY WAVELET TRANSFORM



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 44952
วัน, เดือน, ปี 16 ส.ค. 2546

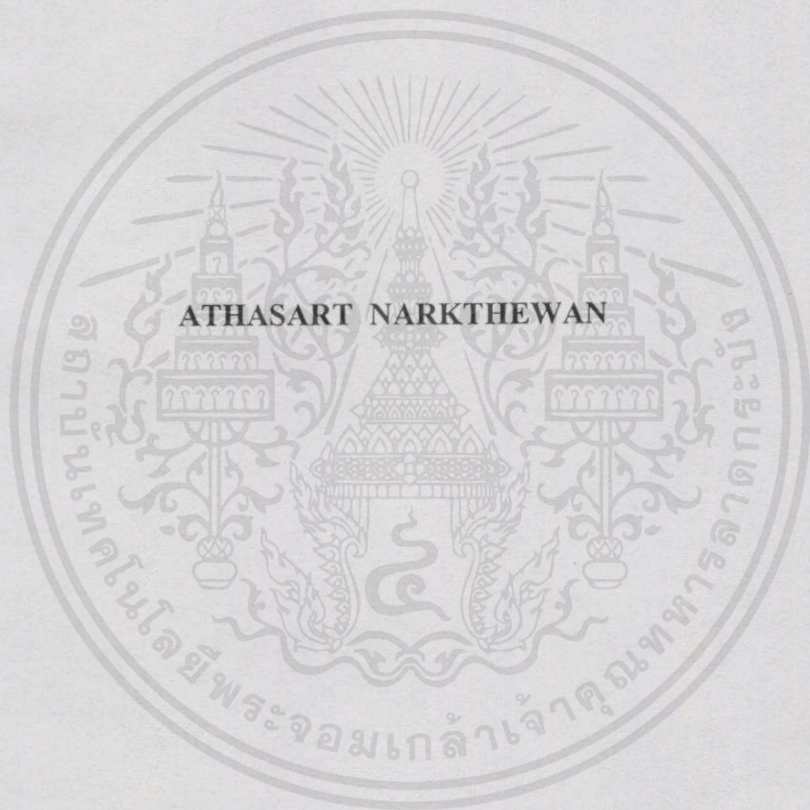
b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พ.ศ. 2545
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ISBN 974-324-116-7

SILK'S TEXTURE DEFECT DETECTION BY WAVELET TRANSFORM



ATHASART NARKTHEWAN

**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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2002

ISBN 974-324-116-7



COPYRIGHT 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า


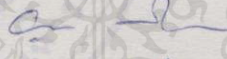
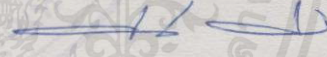


SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท
SILK'S TEXTURE DEFECT DETECTION BY WAVELET
TRANSFORM

ชื่อนักศึกษา นายอรรถศาสตร์ นาคเทวีญ
รหัสประจำตัว 39061095
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.กิติพล ชิตสกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูรณ์	
ดร.ยุทธนา กิจใจเดียว	
รศ.ดร.สุริภณ สมนครพาณิชย์	
รศ.ดร.มนัส สัจจศิลป์	
ดร.กิติพล ชิตสกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 17 กันยายน 2545 เวลา 14.00-16.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัครฐ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่...!!...เดือน...พ.ศ. ๒๕๔๕
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต
นักศึกษา	นายอรรถศาสตร์ นาคเทวัญ
รหัสประจำตัว	39061095
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติพล ชิตสกุล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการทดสอบสิ่งทอของอุตสาหกรรมในประเทศเกือบทั้งหมด ยังคงใช้ผู้เชี่ยวชาญตรวจพินิจด้วยสายตา ซึ่งสิ้นเปลืองเวลาและอาจเกิดการผิดพลาดได้ง่าย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการใหม่ ในการตรวจสอบคุณภาพ โดยใช้การประมวลผลภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมบนไมโครคอมพิวเตอร์ ในกระบวนการตรวจสอบ ภาพดิจิทัลของผ้าไหมขนาด 256×256 จุดภาพจะถูกวิเคราะห์ออกสามระดับความละเอียดโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งความผิดปกติของเท็กเจอร์ของผ้าเช่นเป็นรูหรือมีการขาดหายของด้ายยืนหรือด้ายพุ่งจะปรากฏออกมา จากนี้ข้อมูลจะถูกจัดกลุ่มตามชนิดของความผิดปกติโดยกระบวนการทางสถิติได้แก่การวิเคราะห์ความแปรปรวน ในการทดสอบสมรรถนะของเทคนิค ได้ใช้ทั้งภาพจำลองเท็กเจอร์และ ภาพดิจิทัลของผ้าไหมจริงที่ทำให้เกิดการผิดปกติหลายๆ แบบบนเนื้อผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Silk's Texture Defect Detection by Wavelet Transform.
Student	Mr.Athasart Narkthewan
Student ID.	39061095
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Dr.Kitiphol Chitsakul

ABSTRACT

At present, Thai textile industries still mostly employ an expert team as inspector in product quality control. This is a time consuming process and could provoke the human related errors. This thesis presents a novel technique to automatic detect and classify some deflections of texture of silks on a microcomputer. Based on the wavelet transforms, silk's images, size 256×256 pixels digitally collected were analyzed in three resolutions in which some kinds of deflection such as losing of weft, warp or holds appeared. The statistical method such as analysis of variance, ANOVA has been used to classify such defects on images. The performances of the technique were verified by using simulated texture images and real scanned silk's images with some artificial defects.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

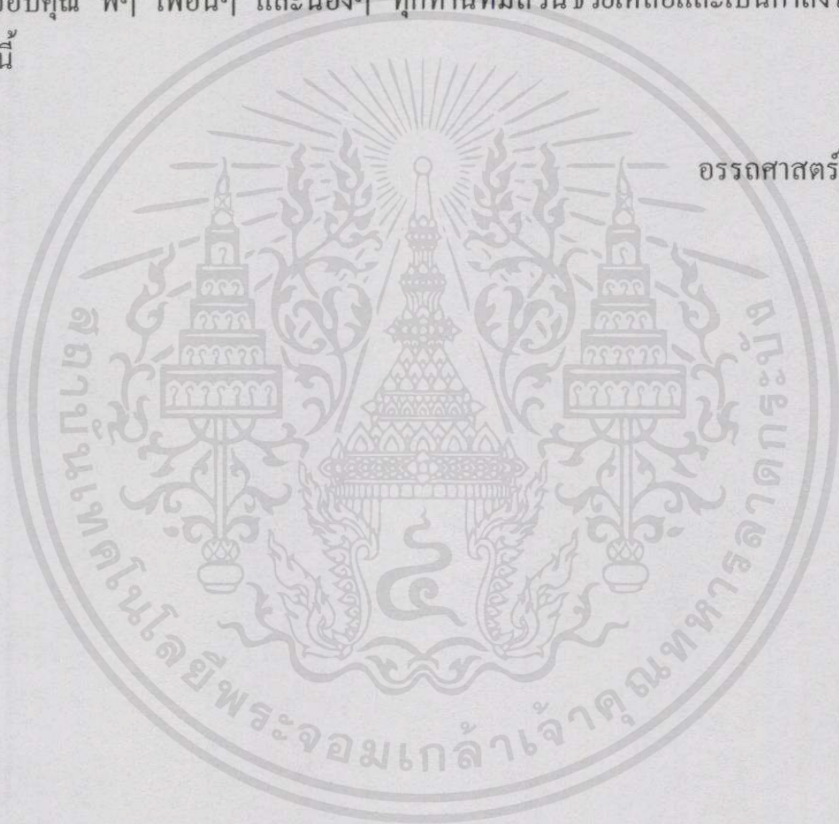
กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ
ในด้านการศึกษาและการวิจัย ตลอดจนการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ในเนื้อหาวิชาการต่างๆ ซึ่งมี
ประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้เป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำ
วิทยานิพนธ์นี้



อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VIII
สารบัญตาราง.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 เทคโนโลยีบนไหมทอ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 การทำผ้าไหมและผ้าทอ.....	5
2.2.1 ไหม.....	5
2.2.2 เส้นไหมและการผลิตเส้นไหม.....	6
2.2.3 ผ้าทอ.....	8
2.3 เทคโนโลยีบนผ้าทอและไหมทอ.....	9
2.3.1 โครงสร้างของผ้าทอแบบลายขัด.....	9
2.3.2 โครงสร้างของผ้าทอแบบลายทแยงหรือลายสอง.....	10
2.3.3 โครงสร้างของผ้าทอแบบตัวน.....	10
2.4 วิธีการทดสอบไหมทอ.....	11
2.4.1 คุณลักษณะที่ต้องการของผ้าไหมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์เท็กเจอร์.....	12
3.1 บทนำ.....	12
3.2 การประมวลผลภาพ.....	12
3.2.1 การแปลงภาพดิจิทัล.....	13
3.2.2 การปรับปรุงข้อมูลภาพ.....	15
3.2.3 การจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพ.....	20
3.3 เท็กเจอร์และการวิเคราะห์เท็กเจอร์.....	21
3.3.1 การวิเคราะห์เท็กเจอร์.....	22
บทที่ 4 ระเบียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล.....	26
4.1 บทนำ.....	26
4.2 ทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ.....	26
4.2.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง.....	26
4.2.2 การวัดการกระจาย.....	27
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	29
4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว.....	29
บทที่ 5 การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้เวฟเล็ต.....	32
5.1 บทนำ.....	32
5.2 ทฤษฎีของการแปลงเวฟเล็ต.....	32
5.2.1 คุณลักษณะของเวฟเล็ต.....	32
5.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเวฟเล็ตในการสเกลและการเลื่อนตำแหน่ง.....	34
5.2.3 การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่องและการแปลงกลับเวฟเล็ต.....	39
5.2.4 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด.....	46
5.2.5 การหดและการขยายของเวฟเล็ต.....	54
5.2.6 การแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วงและการแปลงกลับเวฟเล็ต.....	55
5.3 การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้เวฟเล็ต.....	63
5.3.1 การเลือกเวฟเล็ตแม่สำหรับการแปลงเวฟเล็ต.....	63

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3.2 การแปลงเวฟเล็ทแบบ 2 มิติ.....	65
5.3.3 การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์.....	67
บทที่ 6 การวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมเพื่อตรวจหาสิ่งผิดปกติโดยใช้เวฟเล็ท.....	71
6.1 บทนำ.....	71
6.2 หลักการโดยรวมของงานวิจัย.....	71
6.3 การเตรียมภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	73
6.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ.....	73
6.5 การแปลงเวฟเล็ท 2 มิติ สำหรับภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	74
6.6 การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	75
6.7 การวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	76
6.7.1 การพิจารณาข้อมูลสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	76
6.7.2 การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	77
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง.....	81
7.1 บทนำ.....	81
7.2 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่สร้างจำลองจากคอมพิวเตอร์.....	81
7.2.1 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่เส้นด้ายยืนมีปัญหา.....	82
7.2.2 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา.....	83
7.2.3 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่เส้นด้ายยืนและด้ายพุ่ง มีปัญหา.....	85
7.3 การทดลองกับผ้าไหมที่ใช้ในงานซิลค์สกรีน.....	86
7.3.1 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ.....	86
7.3.2 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เส้นด้ายยืนมีปัญหา...	88
7.3.3 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา....	90
7.3.4 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เป็นรู.....	91
7.3.5 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา มากกว่า 1 เส้น.....	92

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
7.3.6 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลส์สกรีนที่สแกนด้วย ความละเอียดสูง.....	94
7.4 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า.....	96
7.4.1 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1.....	96
7.4.2 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 2.....	97
7.5 การทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน.....	98
7.6 การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์โดยวิธีอื่น.....	101
บทที่ 8 บทสรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	106
8.1 บทสรุป.....	106
8.1.1 ข้อดีของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้ การแปลงเวฟเล็ต.....	106
8.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	107
8.2.1 ปัญหาของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้ การแปลงเวฟเล็ต.....	107
8.2.2 ข้อเสนอแนะ.....	107
เอกสารอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก ก.....	111
ประวัติผู้เขียน.....	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบความผิดปกติของการถักทอเส้นไหมเป็นผืนผ้า โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ.....	3
2.1 ขั้นตอนของการผลิตเส้นไหม.....	7
2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทอผ้า.....	8
2.3 เท็กเจอร์ของผ้าทอและไหมทอแบบลายขัด.....	10
2.4 เท็กเจอร์ของผ้าทอและไหมทอแบบลายทแยง.....	10
2.5 เท็กเจอร์ของผ้าทอและไหมทอแบบลายตัวน.....	11
3.1 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับระบบการประมวลผลภาพ.....	13
3.2 ภาพและฮิสโตแกรมของภาพ.....	16
3.3 ภาพและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านการสเกลลิง.....	17
3.4 ภาพและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านการทำ ฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน.....	19
3.5 ภาพเปรียบเทียบระหว่าง ภาพต้นฉบับ ภาพที่ผ่านการสเกลลิง และภาพที่ผ่าน การทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน.....	19
3.6 แสดงผลของการคลัสเตอร์ริงข้อมูล โดยใช้ขั้นตอนพื้นฐานของการคลัสเตอร์ริง.....	21
3.7 ภาพเท็กเจอร์ตัวอย่าง.....	22
3.8 เท็กเจอร์ลายกระดานหมากรุก 2 แบบ.....	23
3.9 แผนผังทิศทางของเวกเตอร์ d	23
3.10 โครงสร้างของ Co-occurrence matrix.....	24
3.11 เท็กเจอร์และ Co-occurrence matrix ของเท็กเจอร์ที่ $d(1,1)$	24
3.12 เท็กเจอร์และ Co-occurrence matrix ของเท็กเจอร์ที่ $d(1,0)$	24
5.1 ตัวอย่างลักษณะของ Morlet Wavelet.....	32
5.2 ลักษณะเงื่อนไขทั้งสองของฟังก์ชันเวฟเล็ต.....	33
5.3 ลักษณะของเวฟเล็ตเมื่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a, b ต่างๆ กัน.....	34
5.4 ลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต.....	35
5.5 ลักษณะของสัญญาณที่มีหลายความถี่ที่ตำแหน่งเวลาต่างกัน.....	36
5.6 ลักษณะของสัญญาณเมื่อพิจารณาจากมุมมองต่างๆ.....	36
5.7 ลักษณะของผลการ Correlation ระหว่าง $f(t), g((t-b)/a)$ ของเหตุการณ์ที่ต่างกัน.....	38

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.8 แสดงลักษณะความแตกต่างของสัญญาณเอาท์พุทระหว่างการแปลงฟูรีเยร์กับการแปลงเวฟเล็ท.....	38
5.9 การแปลงเวฟเล็ทในลักษณะของการ Inner Product.....	41
5.10 ลักษณะของการแปลงเวฟเล็ทแบบต่อเนื่อง ในลักษณะของ Band pass filter constant Q.....	43
5.11 ลักษณะของระนาบเวลาและความถี่ของการแปลงเวฟเล็ท.....	43
5.12 ลักษณะของการแปลงกลับเวฟเล็ท.....	44
5.13 ลักษณะการแตกกระจายของปริภูมิของเวกเตอร์.....	51
5.14 ลักษณะการแตกกระจายสัญญาณ f_j ไปยังระดับความละเอียดต่างๆ กัน.....	51
5.15 ของการแจกแจงสัมประสิทธิ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ท.....	56
5.16 ลักษณะของ Octave analysis filter banks.....	57
5.17 ลักษณะของการแยก Frequency bands ของ Octave filter bank.....	57
5.18 ลักษณะของ Octave synthesis filter banks.....	58
5.19 ลักษณะของ Two channel analysis filter banks ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์เวฟเล็ท.....	60
5.20..ลักษณะของการแปลงเวฟเล็ทแบบแบ่งช่วง โดยใช้ Dyadic tree structure.....	61
5.21 ลักษณะของ Two-channel synthesis filter banks.....	62
5.22 ลักษณะของการแปลงกลับเวฟเล็ท โดยการใช้ Dyadic tree structure.....	62
5.23. ลักษณะรูปร่างของเวฟเล็ทแม่แบบต่างๆ.....	64
5.24 ลักษณะ โครงสร้างของผ้าไหมที่จำลองขึ้นมาตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอ.....	65
5.25 แผนภาพการแปลงเวฟเล็ทในลักษณะ 2 มิติ 1 ระดับ.....	65
5.26 แผนภาพการแปลงเวฟเล็ทในลักษณะ 2 มิติ n ระดับ.....	66
5.27 แผนภาพแสดงตำแหน่งข้อมูลเมื่อผ่านการแปลงเวฟเล็ทแบบ 2 มิติ 1 ระดับ.....	67
5.28 แผนภาพแสดงตำแหน่งข้อมูลเมื่อผ่านการแปลงเวฟเล็ทแบบ 2 มิติ 3 ระดับ.....	67
5.29 ตัวอย่างเท็กเจอร์ทั่วไป 1 และค่าพลังงานในแต่ละระดับ.....	69
5.30 ตัวอย่างเท็กเจอร์ทั่วไป 2 และค่าพลังงานในแต่ละระดับ.....	69
6.1a แผนภาพรวมของวิธีการตรวจสอบสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยใช้ 1 มิติ ประโยชน์ด้านการใช้ การแปลงเวฟเล็ททั้งสามมิติให้ลึกลงไปอีก และต้องอ้างอิงถึงตัวแสดงการเคลื่อนที่โดยรวมไปใช้	72
6.2 ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จากการสแกนที่ระดับความละเอียด 512 จุดต่อนิ้ว.....	73

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.3 ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จากการสแกนที่ระดับความละเอียด 1024 จุดต่อนิ้ว.....	73
6.4 ภาพเท็กเจอร์ต้นฉบับที่ระดับความละเอียด 512 จุดต่อนิ้วและภาพที่ผ่านขบวนการ สีสโตแกรมอ็ควอไลเซชัน.....	74
6.5 ภาพเท็กเจอร์ต้นฉบับที่ระดับความละเอียด 1024 จุดต่อนิ้วและภาพที่ผ่านขบวนการ สีสโตแกรมอ็ควอไลเซชัน	74
6.6 ตัวอย่างเท็กเจอร์ของผ้าไหมและค่าพลังงานในแต่ละระดับ.....	75
6.7 ตำแหน่งข้อมูลที่น่ามาพิจารณาหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม.....	76
6.8 แผนภาพของวิธีการปรับปรุงข้อมูลสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นใน Subband ต่างๆ.....	77
6.9 แผนภาพของวิธีการจำแนกสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์.....	78
7.1 เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้สร้างจำลองขึ้นมาด้วยคอมพิวเตอร์.....	82
7.2 เท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยี่น.....	82
7.3 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยี่น.....	83
7.4 เท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายพุ่ง.....	84
7.5 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ..ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายพุ่ง.....	84
7.6 เท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยี่นและด้ายพุ่ง.....	85
7.7 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยี่นและด้ายพุ่ง.....	86
7.8 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ.....	87
7.9 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ.....	87
7.10 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่เส้นด้ายยี่นมีปัญหา.....	88
7.11 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่เส้นด้ายยี่นมีปัญหา.....	89
7.12 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา.....	90
7.13 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมี.....	90

สารบัญญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
7.14 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เป็นรู.....	91
7.15 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เป็นรู.....	92
7.16 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งขนาด 2 เส้น.....	93
7.17 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งขนาด 2 เส้น.....	93
7.18 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่สแกนด้วยความละเอียดสูง.....	94
7.19 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่ที่สแกนด้วยความละเอียดสูง.....	95
7.20 เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1.....	96
7.21 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1.....	97
7.22 เจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 2.....	97
7.23 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 2.....	98
7.24 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 1.....	99
7.25 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 2.....	99
7.26 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 3.....	100
7.27 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 4.....	100
7.28 แผนภาพของวิธี Defect Detection in Textured Materials Using Optimized Filters.....	101
7.29 แผนภาพของวิธีการตรวจสอบลายเส้นแบ่งด้วยวิธีการประมวลผลภาพ.....	102
7.30 แผนภาพของการตรวจหาความผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยใช้วิธีการฮิสโตแกรมโปรเจกชัน.....	103
7.31 ภาพทดสอบที่ถูกสแกนด้วยความละเอียด 512 จุดต่อนิ้ว.....	104
7.32 ผลการทดลองที่แบ่งภาพเป็นขนาดต่างๆ ที่ความละเอียดในการสแกน 512 จุดต่อนิ้ว....	104
7.33 ภาพทดสอบที่ถูกสแกนด้วยความละเอียด 1024 จุดต่อนิ้ว.....	104
7.34 ผลการทดลองที่แบ่งภาพเป็นขนาดต่างๆ ที่ความละเอียดในการสแกน 1024 จุดต่อนิ้ว.....	105

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ขั้นตอนการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	28
7.1 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายย่น.....	83
7.2 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายย่น.....	85
7.3 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหา เส้นด้ายย่นและด้ายพุ่ง.....	85
7.4 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกριν ที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ.....	88
7.5 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกริน ที่เส้นด้ายย่นมีปัญหา.....	88
7.6 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกริน ที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา.....	91
7.7 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกริน ที่เป็นรู.....	92
7.8 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกริน ที่เส้นด้ายพุ่งขาด 2 เส้น.....	94
7.9 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกริน ที่สแกนด้วยความละเอียดสูง.....	95
7.10 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1.....	96
7.11 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 2.....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว โดยมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่เป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่สำคัญของประเทศ และหนึ่งในหลายๆ อุตสาหกรรมนั้นก็คือ อุตสาหกรรมผ้าไหมไทย ซึ่งกำลังได้รับการพัฒนา โดยมีอุตสาหกรรมรองรับหลายประเภท เช่น เสื้อผ้า หัตถกรรม ซิลค์สกรีน และเสื้อเกราะ เป็นต้น ในงานบางประเภทเช่น ซิลค์สกรีนและเสื้อเกราะ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ผ้าไหมที่มีคุณภาพที่ดี ดังนั้นในขั้นตอนการผลิตผ้าไหมจึงจะต้องมีการควบคุมคุณภาพที่ดีด้วย และหนึ่งในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพของผ้าไหมก็คือการตรวจสอบสิ่งทอ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงวิธีการตรวจสอบสิ่งทอโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เท็กเจอร์เพื่อตรวจสอบหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนผ้าไหม เพื่อให้ได้วิธีการที่ สะดวก รวดเร็ว และมีความเที่ยงตรงในการตรวจสอบ และสามารถที่จะนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่อไปได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาคุณสมบัติของการแปลงเวฟเลต เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านการวิเคราะห์ที่เท็กเจอร์
2. ศึกษาและพัฒนาวิธีการตรวจสอบหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนผ้าไหม โดยการวิเคราะห์ที่เท็กเจอร์
3. เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ระบบงานอุตสาหกรรม เช่น ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ หรืออื่นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากโครงสร้างของผ้าที่เกิดจากการนำเอาเส้นด้าย 2 ชุดนำมาถักทอขัดกันเป็นมุมฉาก ในงานทางด้านการศึกษาจะมองว่านั่นคือ เท็กเจอร์ของผ้า ดังนั้นหากใช้การแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติในการหาคุณลักษณะของเท็กเจอร์[1] ของผ้าไหมนั้นๆ จะทำให้เราสามารถแยกโครงสร้างของเท็กเจอร์ของผ้า ออกเป็นข้อมูลโครงสร้างในแนวนอน แนวตั้ง และแนวทแยงได้จากคุณสมบัตินี้จะทำให้สามารถวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมได้ เพราะลักษณะโครงสร้างของผ้าไหมก็คือ การนำด้ายยืน และด้ายพุ่ง มาถักทอขัดกันในลักษณะที่เป็นมุมฉาก ดังนั้นหากสามารถแยกข้อมูลโครงสร้างของผ้าไหมให้ออกเป็นโครงสร้างข้อมูลในแนวนอนและแนวตั้งได้ นั่นก็แสดงว่าจะสามารถแยกส่วนของ ด้ายยืนและด้ายพุ่ง ออกมาได้และจะสามารถตรวจสอบหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้

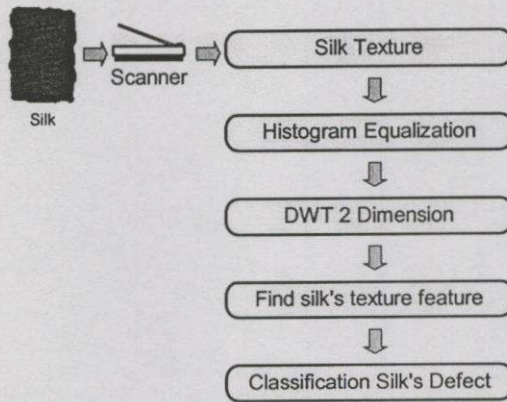
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเอาทฤษฎีหลายๆ แขนงมาประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ โดยมีทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

1. ทฤษฎีของเท็กเจอร์ ซึ่งเป็นการศึกษาถึงรูปแบบลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวของวัตถุหรือลวดลายภายในภาพ เพื่อจำแนกแยกแยะข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ สำหรับการวิเคราะห์ต่างๆ
2. ทฤษฎีของการประมวลผลภาพ จะเป็นการศึกษาถึงวิธีการปรับปรุงข้อมูลภาพเพื่อให้สามารถมองเห็นในรายละเอียดต่างๆ ได้ดีขึ้นเพื่อนำไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น งานทางด้านอุตสาหกรรม งานทางด้านการศึกษา เป็นต้น
3. ทฤษฎีของการแปลงเวฟเล็ด เป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้สำหรับการอธิบายระบบ หรือสัญญาณใดๆ โดยสามารถเลือกตำแหน่งและช่วงเวลาที่ต้องการศึกษาสัญญาณนั้นๆ ได้ ซึ่งจะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์

จากทฤษฎีที่ได้ศึกษา จึงได้แนวความคิดที่จะนำเอามาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของผ้าไหมด้วยการประมวลผลภาพ โดยกำหนดขั้นตอนเพื่อทดลองตามแนวความคิดดังกล่าวที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการตรวจสอบความผิดปกติของการถักทอเส้นไหมเป็นผืนผ้า โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ

จากรูปภาพแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัยสามารถจะอธิบายส่วนต่างๆ อย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้ ส่วนที่ 1 Silk คือ ผ้าไหมตัวอย่างที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติ

ส่วนที่ 2 Scanner คือ ส่วนที่ทำการ Scan ผ้าไหมตัวอย่างที่ได้มาให้เป็นรูปภาพระดับเทา 256 ระดับ และจะได้เป็นภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่จะนำมาวิเคราะห์

ส่วนที่ 3 Histogram Equalization คือ ส่วนที่ทำการปรับระดับความเข้มของจุดภาพ เพื่อให้แต่ละส่วนของภาพแยกออกกันอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 4 DWT 2 Dimension คือ ส่วนที่นำภาพที่ได้มาทำการแปลงเวฟเลตในลักษณะ 2 มิติ เพื่อแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ใน Level และ Subband ต่างเพื่อนำมาวิเคราะห์

ส่วนที่ 5 Find silk's texture feature คือ ส่วนที่ทำการตรวจสอบหาลักษณะที่เป็นตัวแทนของเท็กเจอร์ที่กำลังวิเคราะห์

ส่วนที่ 6 Classification Silk's Defect คือ ส่วนที่ทำการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติที่เกิดในเท็กเจอร์ เพื่อที่จะทำการแยกแยะข้อมูลที่ผิดปกติออกมา

โดยจะได้อีกว่าลงลึกในรายละเอียดของทฤษฎีและขบวนการต่างๆ เหล่านี้ในบทต่อไป ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและวิจัย เพื่อหาวิธีการใหม่ในการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหม ซึ่งจะใช้วิธีการวิเคราะห์สัญญาณและการประมวลผลภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวารสารในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยในงานวิจัยนี้จะได้ทำการศึกษาถึงทฤษฎีและข้อเท็จจริงต่างๆ ดังนี้

1. โครงสร้างและลักษณะคุณสมบัติของผ้าไหม
2. ลักษณะของผ้าทอ

- 3 วิธีการทดสอบสิ่งทอ
- 4.วิธีการประมวลผลภาพ
- 5 วิธีการวิเคราะห์สัญญาณ
- 6 ทฤษฎีของการแปลงเวฟเล็ต

1.6 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ จะเป็นการกล่าวนำถึงปัญหาที่กำลังสนใจ สมมุติฐานและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

บทที่ 2 เทคนิคการรับใหม่ทอ จะเป็นเนื้อหาในส่วนของผ้าไหมและผ้าทอ ตั้งแต่คุณลักษณะของผ้าไหม โครงสร้างและเทคนิคของผ้าทอ ตลอดไปจนถึงวิธีการทดสอบสิ่งทอ

บทที่ 3 การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์เท็กเจอร์ จะกล่าวถึงวิธีการปรับปรุงภาพแบบต่างๆ วิธีการจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพ และวิธีการวิเคราะห์เท็กเจอร์

บทที่ 4 ระเบียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล จะเป็นเนื้อหาของทฤษฎีทางสถิติที่จำเป็นสำหรับนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะในเรื่องการวิเคราะห์ความแปรปรวน

บทที่ 5 การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้เวฟเล็ต จะเป็นเนื้อหาในส่วนของทฤษฎีเวฟเล็ตทั้งหมด รวมไปถึงการนำเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์เท็กเจอร์

บทที่ 6 การวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมเพื่อตรวจหาสิ่งผิดปกติโดยใช้เวฟเล็ต จะกล่าวถึงหลักการต่างๆ ทั้งหมดอย่างละเอียด ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง เป็นการเสนอวิธีการทดลองและผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้

บทที่ 8 บทสรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เท็กเจอร์บนไหมทอ

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง ผ้าทอ ในรายละเอียดเกี่ยวกับหลักการในการทอผ้า โครงสร้าง และคุณลักษณะของผ้าทอ ซึ่งจะเกี่ยวพันโยงไปถึงวิธีการทำผ้าไหม ลักษณะโครงสร้างของผ้าไหม เท็กเจอร์ของผ้าไหม และคุณลักษณะของผ้าไหมตลอดไปจนถึงวิธีการทดสอบสิ่งทอ ซึ่งจะได้แยกกล่าวเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้

2.2 การทำผ้าไหมและผ้าทอ

2.2.1 ไหม

ไหมเป็น “ราชินีแห่งใยผ้า” ความนุ่มนวลเป็นเงางามทำให้ผู้สวมใส่พึงพอใจในตัวเอง ลักษณะของใยไหมที่จะหาไม่ได้จากเส้นใย ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ใยไหมเป็นที่ต้องตาและต้องใจคนทั่วโลก ส่วนราคาก็ยังแพงกว่าเส้นใยชนิดอื่นอีกด้วย

2.2.1.1 คุณสมบัติและลักษณะเฉพาะของไหม

เส้นใยจะมีความเหนียวมาก เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของใยไหมเรียงตัวกันเป็นระเบียบมาก ขนาดและรูปร่างเป็นมันลื่น มีสีขาวนวล มีความต้านแรงดึงสูง ทำให้ไหมทอมีลักษณะที่เหนียวและทนทาน ทำผ้าเนื้อบางและเบาได้ดี[2]

2.2.1.2 การพิจารณาคุณภาพไหม

คุณลักษณะที่จะแสดงว่า ไหมดีหรือไม่นั้น พิจารณาจากสาเหตุ 8 ประการด้วยกัน คือ

- 1.ความสม่ำเสมอ ใยไหมและเส้นด้ายต้องมีขนาดสม่ำเสมอเท่ากันตลอด
- 2.ความยืดหยุ่นและความแข็งแรง ถ้าไหมมีคุณสมบัติที่ดี เวลาทอจะได้ผ้าเนื้อเรียบสม่ำเสมอ ถ้าไม่ดีมักมีปลายเส้นใยโผล่ขึ้นมา และมีรอยต่อเส้นใยในเส้นด้าย
- 3.ความสดใสและเป็นมัน ต้องดูสม่ำเสมอตลอดทั้งผืนผ้า
- 4.Crossing คือลักษณะที่ไหมพองเป็นแห่งๆ มักจะเกิดในระยะที่สาวหรือปั่นใย ไหมที่มีความเร็วหรือแรงดึงของใยไหมแต่ละเส้นไม่เท่ากัน เมื่อทอเป็นผืนผ้าจะทำให้ผิวผ้าขรุขระ
- 5.ขน เกิดจากการที่ใยขาดมาก กลายเป็นเส้นใยสั้นทำให้ปลายเส้นใยโผล่พ้นผิวผ้าขึ้นมา มากเกินไป

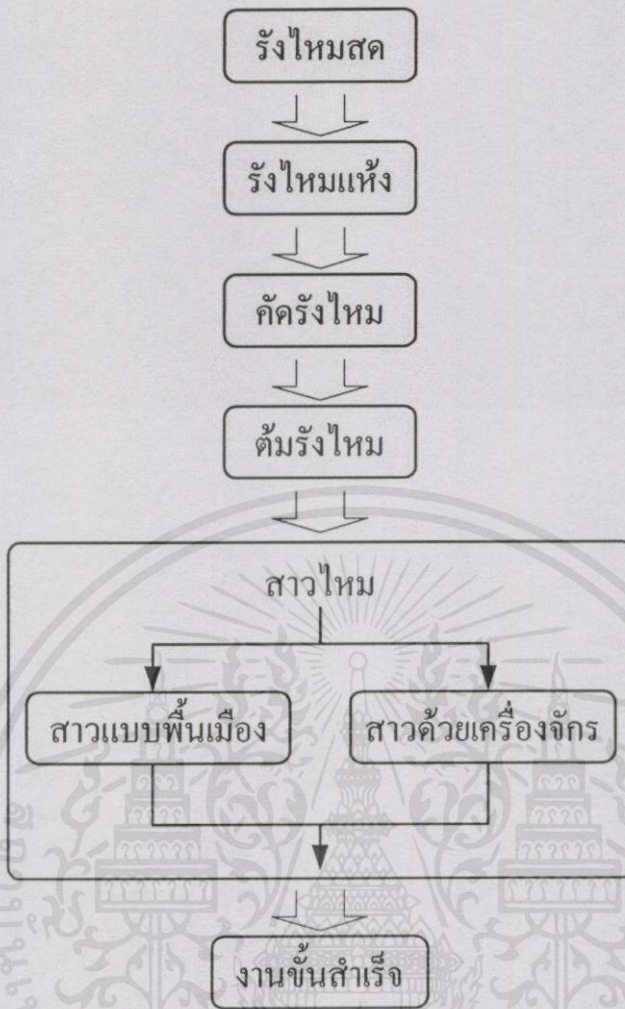
6. เส้นด้ายมีจุดขาวๆ อยู่ประปรายทั่วไป เวลาข้อมสีจะติดไม่เท่ากัน เกิดเพราะสาวไหมในน้ำที่ร้อนไม่พอ กาวหรือขี้ผึ้งไหมยังไม่อ่อนตัว ดึงใยไหมออกทำให้เส้นใยแตก
7. มีปมหรือปมของเส้นใยที่ขาดและพันกันเป็นกระจุกติดอยู่ในเส้นด้าย
8. ห่วง เกิดจากการสาวไหมซึ่งดึงใยไหมออกมาแต่ละเส้นยาวไม่เท่ากัน ทำให้หย่อนเกิดเป็นห่วงเส้นในเส้นด้าย

2.2.2 เส้นไหมและการผลิตเส้นไหม

เส้นไหมเป็นเส้นใยที่สาวออกมาจากรังไหม แล้วนำมาปั่นหรือเข้าเกลียวให้รวมตัวกันเป็นเส้นไหม เส้นไหมอาจแบ่งได้เป็นหลายลักษณะ เช่น ถ้าแบ่งตามลักษณะการผลิตจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ เส้นไหมพื้นเมืองและเส้นไหมโรงงาน ถ้าแบ่งตามการทอหรือการผลิตผ้าไหมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทเช่นกันคือ ไหมเส้นพุ่ง(Weft) และไหมเส้นยืน(Warp) และถ้าแบ่งตามลักษณะคุณภาพของเส้นไหมก็จะได้หลายลักษณะตามวิธีการสาวเส้นไหม เช่น ไหมชั้นหนึ่ง ไหมชั้นสอง และไหมชั้นสาม

การผลิตเส้นไหมหรือการสาวไหมได้มาจากการนำเอารังไหมที่สาวได้มาสาวเส้นใยออกให้ได้เป็นเส้นไหมที่มีเส้นเรียบ มีขนาดสม่ำเสมอ เหนียว และมีเกลียวแน่นกระชับ ตามกฎเกณฑ์ข้อกำหนดมาตรฐานโลก ซึ่งทดสอบและดูแลโดยกองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม และมี 2 ประเภทคือ ไหมเส้นพุ่งและไหมเส้นยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนของการผลิตเส้นไหม

ผ้าไหมแต่ละแบบที่แม้ว่าได้มาจากใยไหมชนิดเดียวกัน การสาวไหม การทำเส้นด้าย และ ความยาวของใย เมื่อทอเป็นผ้าแล้วจะมีชื่อเรียกต่างๆ กัน ทำให้ทราบชนิดและคุณภาพของใยที่ใช้ ทอได้ทันที แต่ไม่ได้มีกฎข้อบังคับใดให้ระบุ เช่น

Silk คือ ผ้าไหมที่ผลิตด้วยใยไหมเลี้ยง

Reeled Silk คือ ผ้าไหมที่ทำมาจากใยไหมเลี้ยงที่ยาวตั้งแต่ 300 หลาขึ้นไป

Wild Silk และ Tussah Silk คือ ใยไหมป่า สีนํ้าตาลอ่อน ใยสั้น ผลิตเป็นผ้าโดยไม่ฟอกจี๊ฟี่ ออก นิยมสีธรรมชาติ ส่วนมากทำมาจากประเทศจีน

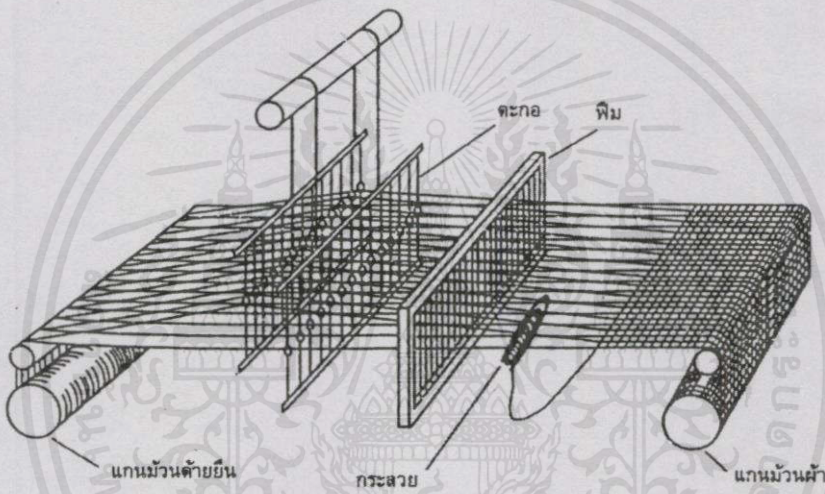
Raw Silk คือ ผ้าไหมดิบ ทอจากใยไหมเลี้ยง ไม่ฟอกเอาเซรีซินออก สีธรรมชาติ สีนวล บางทีสีเหลืองเข้ม

Dupion Silk คือ ผ้าที่ทำด้วยใยไหมที่ตัวหนอนไหมสองตัวทำรังอยู่ด้วยกัน ใยมีขนาดใหญ่ ไม่เรียบ เรียกสั้นๆ ว่า Dupioni

Spun Silk คือ ผ้าที่ทำด้วยใยไหมสั้นๆ บางที่เป็นเศษไหมที่ดึงออกในเวลาสาวไหม บางทีก็นำมาจากรังไหมที่ตัวผีเสื้อไหมจะใยให้ขาดออกไปแล้ว ทำเป็นผ้าเนื้อหยาบหนาเวลาทอใช้ Reeled Silk เป็นด้ายยืน ใช้ตัดชุดชายและหญิงได้ดี

2.2.3 ผ้าทอ

ผ้าทอ เกิดจากการนำเอาเส้นด้าย 2 ชุดนำมาซัดกันเป็นมุมฉาก โดยเส้นด้ายที่ขนานกันตามแนวยาวของผ้าเรียกว่า ด้ายยืน(Warp) และเส้นด้ายตามขวางตามแนวหน้ากว้างของผ้าเรียกว่า ด้ายพุ่ง(Weft) การซัดกันของเส้นด้ายทั้ง 2 ชุดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถทำได้หลายแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานผ้านั้นๆ



ภาพที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องทอผ้า

เครื่องทอผ้าแต่ละเครื่องทอผ้าแต่ละเครื่องแต่ละแบบอาจจะมีส่วนประกอบปลีกย่อยที่แตกต่างกัน แต่จะมีส่วนประกอบหลักตามภาพที่ 2.2 ดังนี้

1.แกนม้วนด้ายยืน(Warp beam) เป็นแกนสำหรับม้วนด้ายยืนและเป็นหน่วยปรับความตึงหย่อนของด้ายยืน ซึ่งอยู่ทางด้านหลังของเครื่องทอ

2.ตะกอ(Headdles หรือ Heddles) ทำด้วยลวดหรือซี่โลหะ มีรูตรงกลางสำหรับร้อยด้ายยืนหรือเรียกว่าการสืบด้ายยืน

3.กรอบตะกอ(Harness) ใช้ยกหรือหิ้วตะกอในหูกแต่ละอันเป็นชุดๆ ซึ่งเครื่องทอเครื่องหนึ่งๆ จะต้องมีอย่างน้อย 2 ชุด ทำหน้าที่ยกเส้นด้ายยืนขึ้นและลงอย่างละอัน ให้เกิดการซัดลายในการทอ เมื่อสับตะกอจะเกิดช่องว่าง(Shed) เพื่อสอดด้ายพุ่ง ทำสลับกันไปเช่นนี้ตลอดการทอ

4.กระสวยด้ายพุ่ง(Shuttle หรือ Filling carrier) ใช้บรรจุด้ายพุ่งและนำด้ายพุ่งผ่านช่องว่างแล้วสับตะกอให้ด้ายพุ่งและด้ายยืนซัดกัน และกระทบด้วยฟืมหรือเครื่องกระทบด้ายพุ่ง

5.แกนม้วนผ้าทอแล้ว(Cloth beam) ใช้ม้วนผ้าที่ทอแล้ว ติดอยู่ทางด้านหน้าของเครื่องทอ หลักการทำงานหรือกระบวนการทำงานของเครื่องทอผ้าโดยทั่วไปจะมี 4 ขั้นตอนดังนี้คือ

1.การทำให้เกิดช่องว่าง(Shedding) โดยสับตะกอยกและแยกด้ายขึ้นออกเป็น 2 หมู่ โดยหมู่หนึ่งขึ้น และหมู่หนึ่งลง เมื่อเกิดช่องว่างให้สอดด้ายพุ่งผ่าน

2.การสอดด้ายพุ่ง(Picking) กระสวยด้ายพุ่งจะสอดด้ายพุ่งผ่านช่องว่างในตำแหน่ง ที่ถูกต้อง

3.การกระทบด้ายพุ่ง(Battering) บางครั้งเรียกว่า Beating เมื่อสอดด้ายพุ่งแล้วต้อง กระทบด้ายพุ่งให้เรียงชิดติดกันเป็นเนื้อผ้า

4.การเก็บหรือม้วนผ้าเก็บ(Taking up และ Letting off) เมื่อทอผ้าได้ความยาว จำนวนหนึ่งแล้ว เก็บในแกนม้วนผ้าเก็บ(Cloth beam) โดยต้องผ่านด้ายขึ้นก่อนจึงม้วนผ้าเก็บ

การทอผ้าส่วนมากจะทอด้วยเครื่องธรรมดา มี 2 ตะกอก ถ้าต้องการความสวยงามและมี ลวดลายก็จะต้องใช้เครื่องทอพิเศษ โดยเพิ่มจะนวนตะกอกขึ้นอีกตามชนิดของการทอ ถ้าทอลายขัด คัดแปลงจะต้องเพิ่มตะกอกเป็น 3-8 ตะกอก รวมทั้งการทอลายสองและการทอตัวนกก็เช่นกัน

2.3 เทคโนโลยีของผ้าทอและไหมทอ

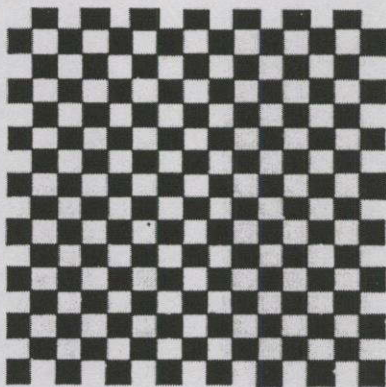
การขัดกันของด้ายขึ้น และด้ายพุ่งของผ้านั้นเป็น โครงสร้างที่จะต้องให้ความสำคัญเป็น อันดับแรกของการผลิตผ้าทอและไหมทอ เนื่องจากคุณสมบัติที่จะได้จากผ้ามีความสัมพันธ์กับ โครงสร้างของผ้าโดยตรง

โครงสร้างของผ้าที่ถือว่าเป็นแม่แบบของ โครงสร้างผ้าทอจะมีเพียง 3 รูปแบบเท่านั้น นอกเหนือจากนั้นจะเป็น โครงสร้างที่ได้จากการปรับปรุงและดัดแปลงไปจาก โครงสร้างแม่แบบทั้ง 3 ทั้งสิ้น โครงสร้างแม่แบบนิยมเรียกว่า โครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งจาก โครงสร้างของผ้าทอและไหมทอ เหล่านี้ก็จะได้เทคโนโลยีของผ้าทอและไหมทอตาม โครงสร้างต่างๆ ดังนี้[3]

2.3.1 โครงสร้างของผ้าทอแบบลายขัด(Plain weave)

การทอแบบนี้จะมีโครงสร้างที่ง่ายที่สุด โดยการทอผ้าจะให้ด้ายขึ้น และด้ายพุ่งขัดกันแบบ ธรรมดา

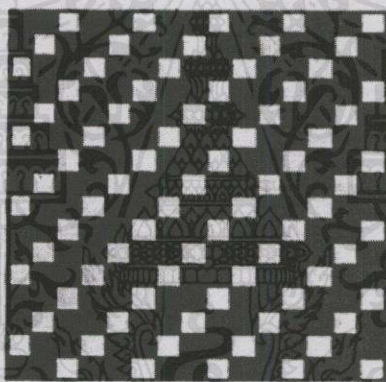
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 เท็กเจอร์ของผ้าทอและไหมทอแบบลายขัด

2.3.2 โครงสร้างของผ้าทอแบบลายทแยงหรือลายสอง(Twill weave)

ในบรรดาผ้าทอด้วยกันแล้ว ผ้าที่ทอด้วยโครงสร้างแบบนี้จะเป็นผ้าที่ใช้ได้ทนที่สุด ซึ่งมีลักษณะเด่นคือ ค่ายพุ่งจะสอดขัดกับค่ายยืน ทำให้เกิดสันนูนเป็นแนวเส้นทแยงบนผืนผ้า

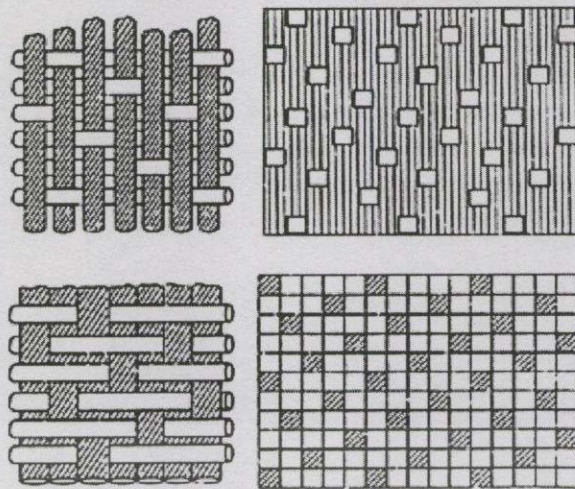


ภาพที่ 2.4 เท็กเจอร์ของผ้าทอและไหมทอแบบลายทแยง

2.3.3 โครงสร้างของผ้าทอแบบต่วน(Satin and Sateen weave)

โครงสร้างของผ้าทอแบบนี้ เป็นโครงสร้างที่ดัดแปลงมาจากโครงสร้างลายสอง มีลักษณะพิเศษคือ จะมีเส้นค่ายข้ามหรือค่ายลอย(Floats) ยาวปรากฏบนผืนผ้า ค่ายที่เป็นค่ายลอยหรือค่ายข้าม มีได้ทั้งค่ายยืนและค่ายพุ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 เท็กเจอร์ของผ้าทอและไหมทอแบบลายตัววน

2.4 วิธีการทดสอบไหมทอ

การทดสอบสิ่งทอ คือการตรวจสอบสิ่งทอเพื่อหาคุณลักษณะของผ้าทอที่นำมาทดสอบ สอบว่ามีคุณลักษณะตรงกับคุณลักษณะของผ้าทอชนิดนั้นๆ หรือไม่โดยมีทั้งการตรวจสอบลักษณะทั่วไป คือการตรวจดูโครงสร้างของผ้าทอ เช่น ค่ายแยก เป็นรู ค่าง สีและลวดลายสม่ำเสมอหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้โดยการตรวจพินิจด้วยสายตา และการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี เพื่อตรวจดูคุณสมบัติของเส้นใยของผ้าทอที่นำมาทดสอบ[4]

2.4.1 คุณลักษณะที่ต้องการของผ้าไหมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

1.ลักษณะทั่วไป ผ้าไหมจะต้องปราศจากข้อบกพร่อง เช่น ค่ายแยกเป็นรู ค่าง สีและลวดลายไม่สม่ำเสมอ การทดสอบ โดยการตรวจพินิจด้วยสายตา

2.ความเป็นไหมแท้

2.1 ลักษณะตามยาวของเส้นใย ไหมฟอกจะเห็นเป็นใยเส้นเดียว ผิวเรียบ ไม่มีโครงสร้างใดๆ ไหมดิบจะเห็นเป็นเส้นใยเส้นเดียว มีเส้นสีเข้มอยู่ตรงกลาง บางตอนอาจขาดหาย การทดสอบ ใช้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 ถึง 500 เท่า

2.2 ลักษณะตามขวางของเส้นใย ไหมฟอกจะเห็นเป็นรูปสามเหลี่ยม มุมมนกลม หรือรูปไข่ ไหมดิบจะเห็นเป็นรูปสามเหลี่ยมสองเส้นมุมมน หุ้มด้วยเยื่อบางๆ ดัดกันการทดสอบ ใช้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 ถึง 500 เท่า

2.3 ลักษณะการติดไฟของเส้นใย ถ้าเป็นไหมแท้ เส้นใยจะติดไฟและไหม้เร็ว ลักษณะถ้าจะรวมเป็นก้อนสีดำ เพราะ การทดสอบ นำเส้นใยไปเผาไฟ แล้วสังเกตคุณลักษณะการติดไฟและเถ้า

2.4 ลักษณะการละลายของเส้นใยในตัวทำละลาย การทดสอบ ใสตัวทำละลายลงในผ้าไหมขึ้นทดสอบ แล้วสังเกตการละลาย

2.5 การทดสอบการย้อมสี การทดสอบ นำผ้าไหมขึ้นทดสอบแช่ในสารเคมี แล้วดูความเปลี่ยนแปลงของสีผ้า

3.ความคงทนของสีต่อแสง ต้องไม่น้อยกว่าบลูสเกลระดับ 5

4.ความคงทนของสีต่อการซักแห้ง ต้องไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4 ทั้งการเปลี่ยนสีและการเปื้อนสี

5.ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ต้องไม่น้อยกว่าเกรย์สเกลระดับ 4 ทั้งการเปลี่ยนสีและการเปื้อนสี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

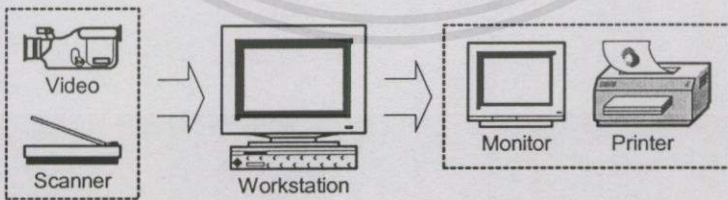
การประมวลผลภาพและการวิเคราะห์เท็กเจอร์

3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการประมวลผลภาพ ตั้งแต่การนำภาพเข้าสู่ระบบ การแปลงภาพเป็นดิจิทัล โดยจะเน้นรายละเอียดไปที่วิธีการปรับปรุงภาพต่างๆ วิธีการจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพ และในส่วนสุดท้ายของบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของเท็กเจอร์และหลักการในการวิเคราะห์เท็กเจอร์

3.2 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพเป็นขบวนการในการปรับปรุงภาพทั่วไปเพื่อให้มนุษย์สามารถมองเห็นได้ดีขึ้น[5] ในปัจจุบันมีการนำทฤษฎีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมายเช่น การปรับปรุงภาพทางการแพทย์ การปรับปรุงภาพถ่ายทางดาวเทียม การปรับปรุงภาพในงานอุตสาหกรรม การบีบอัดข้อมูลภาพ และการประยุกต์ใช้งานในระบบอินเตอร์เน็ต เป็นต้นซึ่งขั้นตอนการประมวลผลภาพจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ขั้นตอนการนำข้อมูลภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนการพัฒนาวิธีการเพื่อการประมวลผลภาพ และขั้นตอนการแสดงผลภาพ ซึ่งอุปกรณ์พื้นฐานในการประมวลผลภาพตามขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้จะประกอบไปด้วย เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ตรวจจับภาพ(อาจจะเป็นกล้องวีดีโอหรือเครื่องสแกนเนอร์ก็ได้) อุปกรณ์แสดงผล(อาจจะเป็นจอภาพหรือเครื่องพิมพ์)



ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์พื้นฐานสำหรับระบบการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการนำภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นขั้นตอนในการแปลงสัญญาณภาพ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก(Analog Signal) ให้เป็นสัญญาณภาพดิจิทัล(Digital Signal) เพื่อที่จะให้เครื่องคอมพิวเตอร์รู้จักและสามารถประมวลผลได้ ทั้งนี้สามารถกระทำได้โดยผ่านอุปกรณ์ตรวจจับภาพ โดยทั่วไปแล้วภาพดิจิทัลที่ได้จากการแปลงสัญญาณจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำที่มีอยู่ใน

อุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งจะนิยมเก็บภาพขนาด 256×256 จุดภาพ(Pixel) หรือ 512×512 จุดภาพ และแต่ละจุดภาพจะสามารถแสดงระดับเทาได้ 256 ระดับ

ขั้นตอนการพัฒนาวิธีการเพื่อการประมวลผลภาพจะเป็นขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลภาพดิจิทัลที่เก็บไว้มาประมวลผลตามทฤษฎีหรือวิธีการของการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนการแสดงผลภาพจะเป็นการนำภาพที่ผ่านการประมวลผลแล้วออกมาแสดง ซึ่งอาจทำได้โดยผ่านจอภาพหรือพิมพ์ภาพโดยเครื่องพิมพ์

3.2.1 การแปลงภาพดิจิทัล

รูปภาพต่างๆ ไปจะเป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งสามารถจะกำหนดได้เป็นฟังก์ชันของแสง 2 มิติ(Two dimensional light intensity function) $f(x, y)$ โดยที่ x และ y เป็นตำแหน่งบนพิกัดของภาพ ส่วนค่าของ f ที่ตำแหน่ง (x, y) นั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้ม(Brightness) หรือระดับเทา(Gray level) ของภาพที่ตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งค่า $f(x, y)$ จะมีค่ามากกว่าศูนย์

$$0 < f(x, y) < \infty \quad (3.1)$$

โดยทั่วไปค่าระดับความเข้มของแสง $f(x, y)$ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสองส่วนคือค่า Illumination ซึ่งเป็นค่าระดับแสงที่มองเห็น และค่า Reflection ซึ่งก็คือค่าระดับแสงที่สะท้อนมาจากวัตถุซึ่งค่าทั้งสองนี้อาจกำหนดให้เป็นฟังก์ชัน $i(x, y)$ และ $r(x, y)$ ตามลำดับและค่า $f(x, y)$ จะเป็นผลคูณของค่าทั้งสอง

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y) \quad (3.2)$$

โดยที่ $0 < i(x, y) < \infty \quad (3.3)$

และ $0 < r(x, y) < 1 \quad (3.4)$

สำหรับภาพดิจิทัลนั้นจะถูกแปลงมาจากภาพอนาล็อกโดยการ Discretize ภาพ ทั้งค่าในพิกัดระยะ(Spatial coordinate) และค่าความเข้ม ซึ่งขบวนการแปลงภาพดิจิทัลนั้นมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลโดยทั่วไป กล่าวคือจะมีขบวนการที่สำคัญ 2 ขั้นตอนคือ การซักรตัวอย่าง(Sampling) และการควอนไทซ์(Quantization) ภาพที่ได้จากการซักรตัวอย่างจะเป็นอะเรย์ 2 มิติ ซึ่งอะเรย์นี้จะประกอบไปด้วยจุดภาพจำนวนมาก และเราสามารถที่

จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่างภาพอนาล็อก $f(x, y)$ และภาพดิจิทัลที่มีระยะห่างของจุดภาพคงที่ ขนาด $M \times N$ จุดภาพได้ดังนี้

$$f(x, y) \approx \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

ส่วนขบวนการควอนไทซ์จะเป็นการแบ่งระดับเทาของแต่ละจุดภาพ ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 256 ระดับ ภาพที่จำนวนจุดภาพมากจะมีความละเอียดของภาพมากกว่าภาพที่มีจำนวนจุดภาพน้อย นอกจากนี้ภาพที่มีระดับขั้นของการควอนไทซ์มากจะให้รายละเอียดที่ดีกว่าภาพที่มีระดับขั้นของการควอนไทซ์น้อยกว่า

3.2.2 การปรับปรุงข้อมูลภาพ

การปรับปรุงข้อมูลภาพ(Image Enhancement) เป็นการนำเอาข้อมูลภาพต้นฉบับที่มีคุณภาพไม่ดีหรือมีค่าความแตกต่างของระดับเทา(Contrast) ต่ำ มาผ่านขบวนการทรานส์ฟอร์มแบบใดแบบหนึ่งเพื่อทำให้ภาพมีคุณภาพดีขึ้น หรือเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

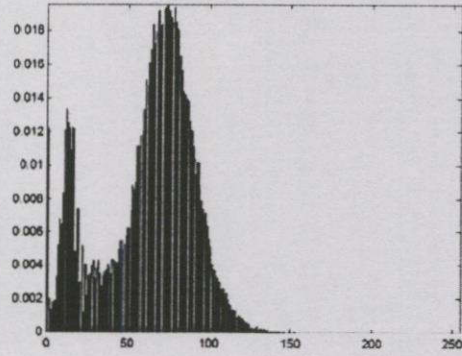
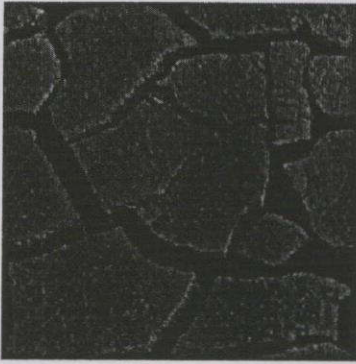
3.2.2.1 ฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรม(Histogram) คือการแสดงลักษณะการกระจายของค่าระดับเทาที่มีอยู่ในภาพนั้นๆ โดยสามารถกำหนดสมการของการหา ฮิสโตแกรมของภาพได้ดังสมการที่ 3.5

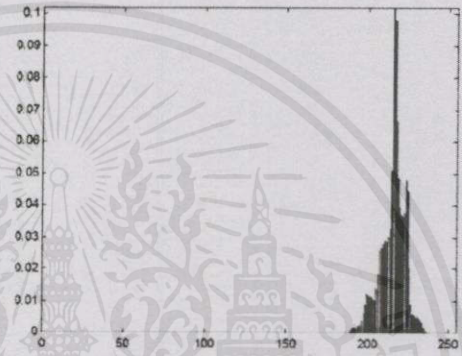
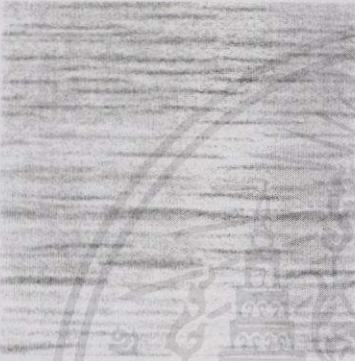
$$h(i) = \frac{n(i)}{N} \quad (3.5)$$

โดยที่ $n(i)$ คือจำนวนของจุดภาพในภาพนั้นๆ ที่มีค่าระดับเทาเท่ากับ i เมื่อ $i = 0-255$ (ค่าระดับเทาสูงสุด) และ N คือจำนวนของจุดภาพทั้งหมดที่มีอยู่ในภาพ

พิจารณาภาพที่ 3.2 (ก) ซึ่งเป็นภาพที่อยู่ในโทนมืด ดังนั้นฮิสโตแกรมของภาพนี้จะมีข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ i มีค่าน้อย ส่วนภาพที่ 3.2 (ข) นั้นจะเป็นภาพที่อยู่ในโทนที่สว่างกว่า ดังนั้นฮิสโตแกรมของภาพนี้จะมีข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ i มีค่ามาก และจะสังเกตเห็นว่าฮิสโตแกรมของภาพทั้ง 2 จะมีลักษณะที่ไม่กระจายซึ่งจะทำให้เราไม่สามารถเห็นรายละเอียดในภาพได้ดี ดังนั้นในหัวข้อถัดไปกล่าวถึงการปรับปรุงข้อมูลภาพ โดยการปรับเปลี่ยนลักษณะการกระจายของฮิสโตแกรมต่อไป



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.2 ภาพและฮิสโตแกรมของภาพ

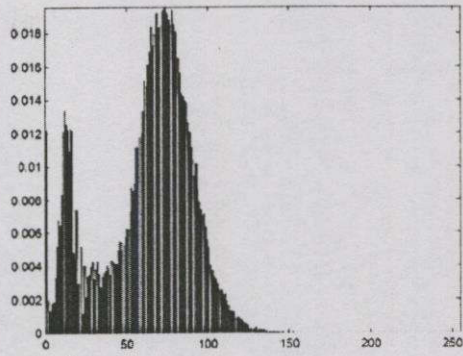
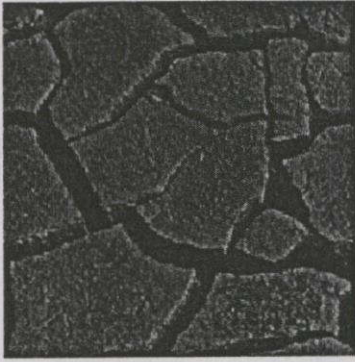
3.2.2.2 การสเกลลิง

การสเกลลิง(Scaling) คือการปรับระดับเทาของจุดภาพในภาพนั้นๆ ให้กระจายตลอดช่วงระหว่าง ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด ของระดับเทาที่กำหนดในระบบ ซึ่งโดยปกติจะอยู่ในช่วง 0-255 โดยการสเกลลิงจะเป็นไปในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น และสามารถกำหนดได้ตามสมการที่ 3.6

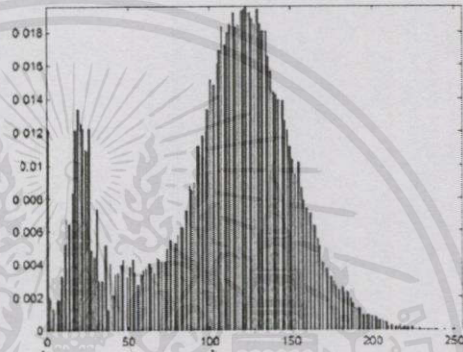
$$s = \frac{r - r_{\min}}{r_{\max} - r_{\min}} \times 255 \quad (3.6)$$

เมื่อกำหนดให้ r คือค่าระดับเทาของจุดภาพต้นฉบับ r_{\min} คือค่าระดับเทาของจุดภาพที่มีค่าต่ำที่สุดในภาพ r_{\max} คือค่าระดับเทาของจุดภาพที่มีค่าสูงที่สุดในภาพ 255 คือค่าระดับเทาที่สูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในระบบ และ s คือค่าระดับเทาของจุดภาพใหม่ที่ได้จากการสเกลลิงภาพต้นฉบับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพที่ผ่านการสเกลถึง

ภาพที่ 3.3 ภาพและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านการสเกลถึง

พิจารณาภาพที่ 3.3 จะสังเกตเห็นว่าฮิสโตแกรมที่ได้จากภาพต้นฉบับจะมีการกระจายน้อย คือจะรวมกันเป็นกลุ่มอยู่ในช่วงที่ i มีค่าน้อยๆ แต่ฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านการสเกลถึงจะมีการกระจายของข้อมูลตลอดทั้งช่วง ตั้งแต่ 0-255 อย่างเป็นเชิงเส้นกับฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับ ซึ่งก็จะมีผลให้สามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้ดีขึ้น

3.2.2.3 ฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน

ฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน(Histogram Equalization) คือการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันความหนาแน่นของฮิสโตแกรมของภาพ ($p_r(r)$) เพื่อให้มีการกระจายของข้อมูลฮิสโตแกรมที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถกำหนดให้อยู่ในลักษณะของการทรานส์ฟอร์มข้อมูล โดยกำหนดให้ r เป็นข้อมูลจากต้นฉบับและ s เป็นค่าใหม่ที่ได้จากการทรานส์ฟอร์ม ดังสมการที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $s = T(r)$ ศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.7) คำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
และสามารถเขียนสมการของการทรานส์ฟอร์มกลับได้เป็น

$$r = T^{-1}(s) \quad (3.8)$$

หากกำหนดให้ $p_s(s)$ เป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของฮิสโตแกรมที่ผ่านการทรานส์ฟอร์ม ซึ่งจากทฤษฎีของความน่าจะเป็นจะเขียนสมการของการทรานส์ฟอร์มได้ดังสมการที่ 3.9

$$p_s(s) = \left[p_r(r) \frac{dr}{ds} \right]_{r=T^{-1}(s)} \quad (3.9)$$

และสามารถเขียนสมการของฟังก์ชันต่อเนื่องของการทรานส์ฟอร์มได้เป็นสมการที่ 3.10

$$s = T(r) = \int p_r(\omega) d\omega \quad (3.10)$$

ซึ่งด้านขวาของสมการที่ 3.10 เราจะรู้จักกันในชื่อ cumulative distribution function (CDF) และจากสมการที่ 3.10 จะได้ว่า

$$\frac{ds}{dr} = p_r(r) \quad (3.11)$$

นำสมการที่ 3.11 ไปแทนลงในสมการที่ 3.9 จะได้

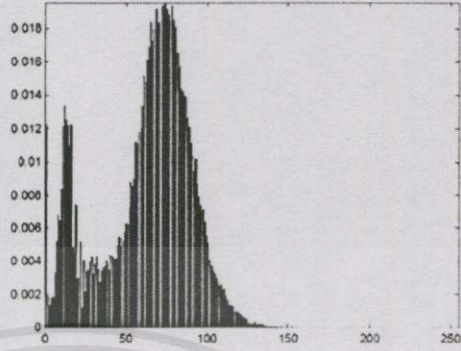
$$p_s(s) = p_r(r) \frac{1}{p_r(r)} = 1 \quad (3.12)$$

จากการทรานส์ฟอร์มในสมการที่ 3.10 ก็จะทำให้เกิดการกระจายของค่าระดับเทาของจุดภาพในภาพ ซึ่งเราสามารถเขียนสมการของการทรานส์ฟอร์มในรูปของการทรานส์ฟอร์มแบบแบ่งช่วงได้ดังสมการที่ 3.13

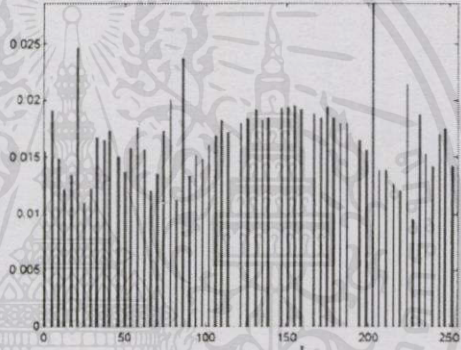
$$s_k = \sum_{j=0}^k n(j) \quad (3.13)$$

จากนั้นก็ทำการปรับการกระจายของ s_k เพื่อให้มีการกระจายตลอดช่วงตั้งแต่ 0-255 โดยใช้วิธีการสเตลลิงดังสมการที่ 3.14 ทำให้ได้ค่าเปลี่ยนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s_i = \frac{s_i - s_0}{s_{255} - s_0} \times 255 \tag{3.14}$$

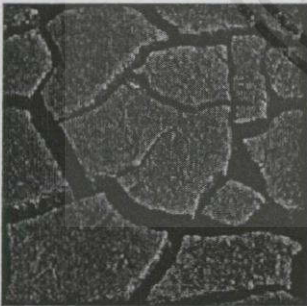


(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพที่ผ่านการทำ ฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

ภาพที่ 3.4 ภาพและฮิสโตแกรมของภาพที่ผ่านการทำ ฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3.5 ภาพเปรียบเทียบระหว่าง ภาพต้นฉบับ ภาพที่ผ่านการสเกลลิง

และภาพที่ผ่านการทำฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 พิจารณาภาพที่ 3.5 จะเห็นว่าภาพ (ข) ที่ผ่านการสเกลลิงจะสามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับภาพ (ก) ต้นฉบับแต่ก็เป็นไปในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นรายละเอียดใน

บางส่วนของภาพที่ฮีสโตแกรมรวมกันเป็นกลุ่มอย่างหนาแน่น จึงอาจจะยังแสดงให้เห็นไม่เด่นชัดนัก แต่หากพิจารณาภาพ (ค) ซึ่งเป็นภาพที่ผ่านการทำ ฮีสโตแกรมอีควอลไลเซชัน จะเห็นว่าจะสามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้ดีขึ้นเนื่องจากฟังก์ชันของการทรานส์ฟอร์มฮีสโตแกรมที่เป็นไปในลักษณะที่ไม่ได้เป็นเชิงเส้นนั่นเอง

3.2.3 การจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพ

โดยทั่วไปวิธีการจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพ (Image Classification) จะแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ Supervised Classification และ Unsupervised Classification [6]

3.2.3.1 การจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพแบบมีการเรียนรู้

การจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพแบบมีการเรียนรู้ (Supervised Classification) คือการจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพโดยที่มีการแนะนำหรือบอกค่าตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวกับกลุ่มของข้อมูล ที่ทราบเข้าไปในระบบนั้นๆ เพื่อให้ระบบนั้นทำการจำแนกกลุ่ม[] ตัวอย่างของการจำแนกข้อมูลภาพแบบมีการเรียนรู้ได้แก่ Maximum Likelihood Classification, Minimum Distance Classification, Parallelepiped Classification และ Classification Time Comparison of the Classifiers เป็นต้น

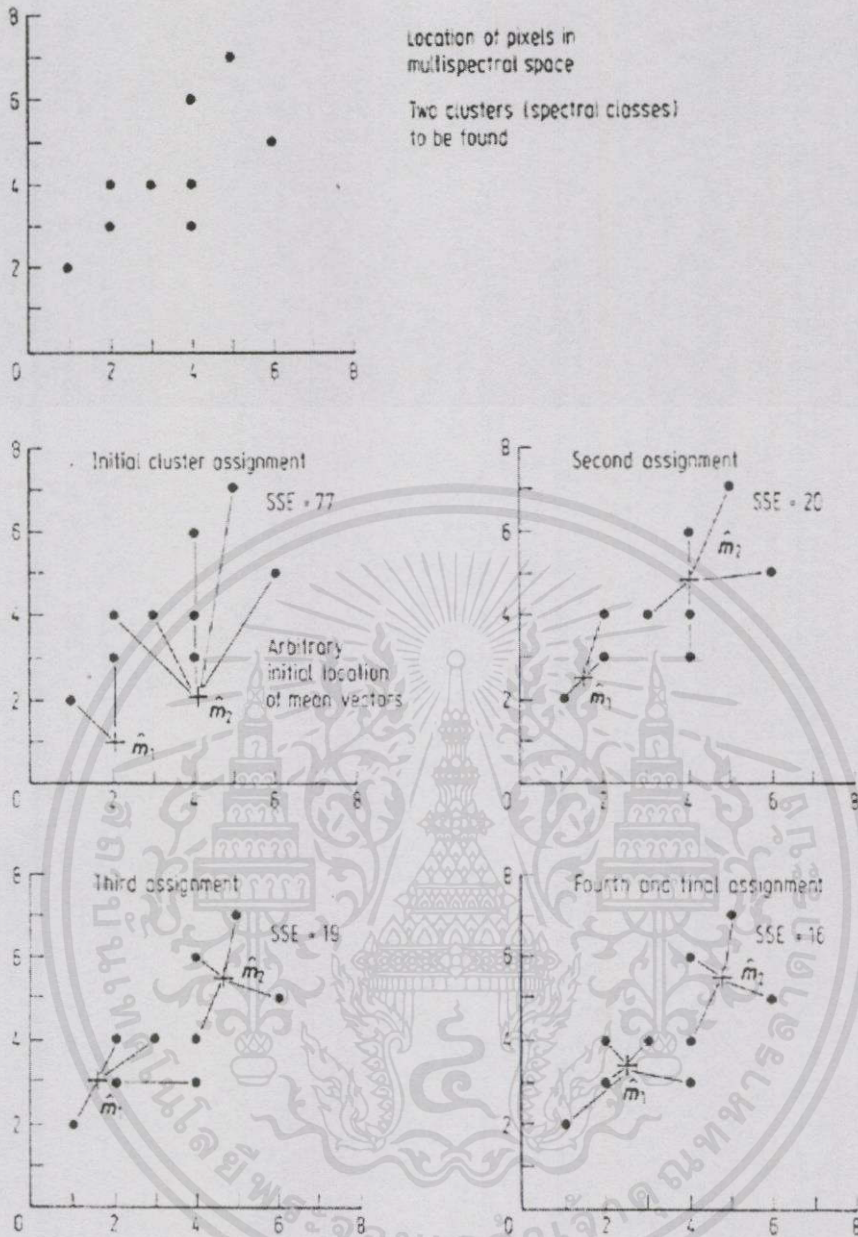
3.2.3.2 การจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพแบบไม่มีการเรียนรู้

การจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพแบบไม่มีการเรียนรู้ (Unsupervised Classification) คือการจำแนกกลุ่มของข้อมูลในภาพที่ไม่มีคำแนะนำ หรือข้อมูลต่างๆ ของกลุ่มข้อมูลที่จะจำแนก แต่ในระบบนี้จะเป็นการจำแนกแบบอัตโนมัติโดยใช้วิธีการต่างๆ ตามความเหมาะสม และวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้มากก็คือ วิธีการคลัสเตอร์ริง (Clustering) ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็ใช้วิธีการนี้ในการจำแนกกลุ่มของข้อมูลภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม

เราสามารถเขียนขั้นตอนพื้นฐานของการคลัสเตอร์ริง[6] ได้ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนกลุ่มและตำแหน่งของแต่ละกลุ่ม (K cluster)
- ขั้นตอนที่ 2 ทำการทดสอบตำแหน่งของข้อมูลแต่ละจุดภาพว่าควรจะอยู่ในกลุ่มไหน โดยใช้ Euclidean Distance ในการทดสอบ
- ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาตำแหน่งของแต่ละกลุ่มใหม่ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ด้วยการหาค่าเฉลี่ยของ Distance ของแต่ละจุดภาพภายในกลุ่มนั้นๆ
- ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบตำแหน่งของกลุ่มที่คำนวณได้ใหม่ กับตำแหน่งเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่อ้างอิงถึงชื่อผู้จัดทำเอกสารจะถือว่าผิดกฎหมาย



ภาพที่ 3.6 แสดงผลของการคลัสเตอร์ริงข้อมูลโดยใช้ขั้นตอนพื้นฐานของการคลัสเตอร์ริง

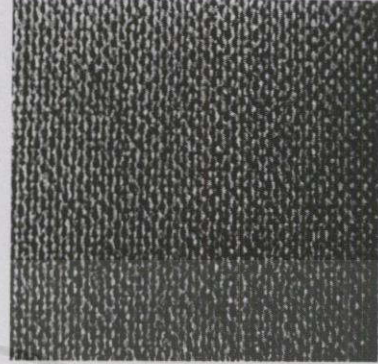
3.3 เท็กเจอร์และการวิเคราะห์เท็กเจอร์

เท็กเจอร์(Texture) คือ รูปแบบลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวของวัตถุ เช่น ไม้ โลหะ ทราบ แก้ว หรือผ้า เป็นต้น ซึ่งเท็กเจอร์โดยทั่วไปจะมีลักษณะของการเกิดซ้ำๆ กันของ ส่วนประกอบของเท็กเจอร์พื้นฐาน(Basic texture element) โดยจะเรียกส่วนประกอบนี้ว่า เท็กเซล(Texel) ซึ่งแต่ละเท็กเซลจะประกอบไปด้วยหลายๆ จุดภาพ(Pixel) และลักษณะการเกิดของเท็กเซลนั้น จะเกิดในลักษณะที่เป็น คาบ กึ่งคาบ หรืออาจจะเกิดขึ้นในลักษณะสุ่มก็ได้ ตัวอย่างเช่น เท็กเจอร์ตาม

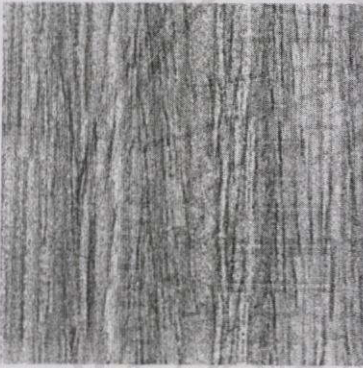
ธรรมชาติ มักจะเกิดขึ้นในลักษณะแบบสุ่ม ส่วนเท็กเจอร์ของผ้าก็จะเกิดขึ้นในลักษณะที่เป็นคาบเป็นต้น



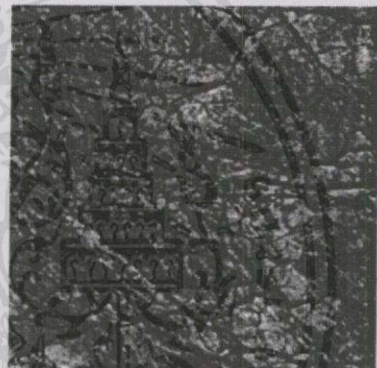
(ก) เท็กเจอร์ของหนังอ่อน



(ข) เท็กเจอร์ของผ้า



(ค) เท็กเจอร์ของลายไม้



(ง) เท็กเจอร์ของหิน

ภาพที่ 3.7 ภาพเท็กเจอร์ตัวอย่าง

เท็กเจอร์แต่ละแบบจะมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกัน เช่น ความหยاب ความละเอียด ความราบเรียบ การกระเพื่อม และความสม่ำเสมอของเท็กเจอร์เอง ดังนั้นในงานด้านการประมวลผลภาพ (Image processing) จึงได้นำเอาลักษณะเด่นต่างๆ เหล่านี้ของเท็กเจอร์ มาใช้ในการจำแนกประเภท (Clustering) ของเท็กเจอร์แต่ละแบบออกจากกัน โดยจะใช้หลักการใหญ่ๆ สองหลักการในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ คือ หลักการทางด้านสถิติ และ หลักการทางด้านโครงสร้าง[7] เพื่อหาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ออกมา

3.3.1 การวิเคราะห์เท็กเจอร์

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ทราบแล้วว่าเท็กเจอร์แต่ละแบบจะมีลักษณะเด่น หรือคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งก็คือลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของจุดภาพภายในเท็กเซลของเท็กเจอร์นั้นๆ และในหัวข้อนี้ก็จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ ซึ่งก็จะแบ่งออกเป็นวิธีหลักๆ สองวิธีดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น คือ วิธีการทางสถิติ และวิธีการทางโครงสร้าง

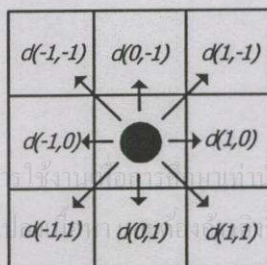
3.3.1.1 การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้วิธีการทางสถิติ

ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์นั้นไม่สามารถที่จะใช้ประโยชน์จากฮิสโตแกรมของภาพมาทำการวิเคราะห์ได้โดยตรง เนื่องจากว่าในการวิเคราะห์เท็กเจอร์นั้นจะต้องพิจารณาถึงระยะของการเกิดขึ้นซ้ำๆ ของเท็กเซลด้วย ซึ่งฮิสโตแกรมของภาพไม่สามารถนำมาจำแนกในส่วนนี้ได้ ตัวอย่างเช่น เท็กเจอร์ลายกระดานหมากรุก 2 แบบที่มีขนาดของช่องตารางต่างกันดังภาพที่ 2 เมื่อพิจารณาฮิสโตแกรมจะพบว่าฮิสโตแกรมเท็กเจอร์ลายกระดานหมากรุกทั้ง 2 จะมีข้อมูลที่เหมือนกัน ในขณะที่เท็กเจอร์ลายกระดานหมากรุกทั้ง 2 แตกต่างกัน จะเห็นว่าไม่สามารถนำเอาฮิสโตแกรมของภาพมาใช้ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยนำเอาหลักการทางด้านสถิติเข้ามาใช้ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ซึ่งก็คือ Co-occurrence matrix

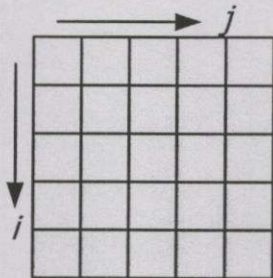


ภาพที่ 3.8 เท็กเจอร์ลายกระดานหมากรุก 2 แบบ

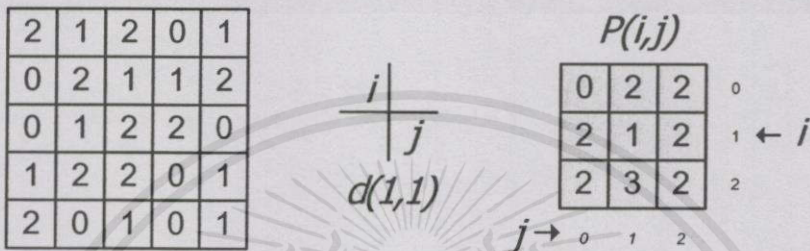
Co-occurrence matrix เป็นการศึกษาถึงลักษณะหรือสถิติการกระจายของค่าความเข้มของจุดภาพในภาพ โดยจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มของจุดภาพ 2 จุด ผ่านเวกเตอร์ $d = (dx, dy)$ (เวกเตอร์ d จะมีทิศทางได้ 8 ทิศรอบจุดอ้างอิง) แล้วนับจำนวนรวมทั้งหมดระหว่างจุดภาพทั้ง 2 จุดที่มีความสัมพันธ์กันตามเวกเตอร์ d ซึ่งผลที่ได้จะนำไปเก็บไว้ในเมตริกซ์ $P(i, j)$ โดยที่ i และ j จะมีค่าสูงสุดเท่ากับค่าสูงสุดของระดับเทาที่กำลังพิจารณาในระบบ เช่น เมตริกซ์ P ของภาพที่ 2 จะมีขนาดเท่ากับ 2×2 เป็นต้น



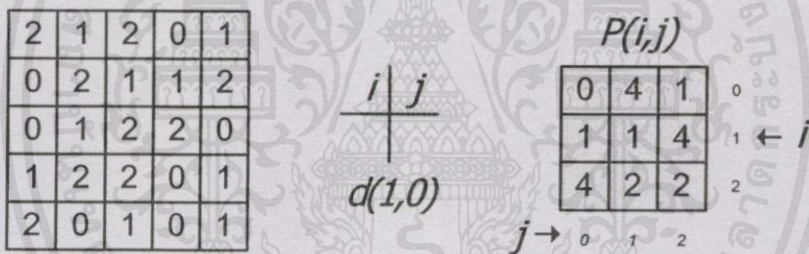
ภาพที่ 3.9 แผนผังทิศทางของเวกเตอร์ d



ภาพที่ 3.10 โครงสร้างของ Co-occurrence matrix



ภาพที่ 3.11 เท็กเจอร์และ Co-occurrence matrix ของเท็กเจอร์ที่ $d(1,1)$



ภาพที่ 3.12 เท็กเจอร์และ Co-occurrence matrix ของเท็กเจอร์ที่ $d(1,0)$

เมื่อสามารถคำนวณหา Co-occurrence matrix ของเท็กเจอร์ได้แล้ว จากนั้นก็จะนำเอาค่าใน Co-occurrence matrix นี้มาคำนวณค่าต่างๆ เช่น energy entropy correlation inertia และ local homogeneity และก็จะใช้ค่าที่คำนวณได้นี้มาเป็นลักษณะเฉพาะของเท็กเจอร์นั้นๆ เพื่อนำมาใช้ในการจำแนกเท็กเจอร์ต่อไป

$$Energy = \sum_i \sum_j P^2[i, j]$$

$$Entropy = \sum_i \sum_j P[i, j] \log P[i, j]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่จำกัดลิขสิทธิ์ทั้งนี้เพื่อให้ค่าของเอกสารทุกตัว $\mu = \sum_i \sum_j iP[i, j]$

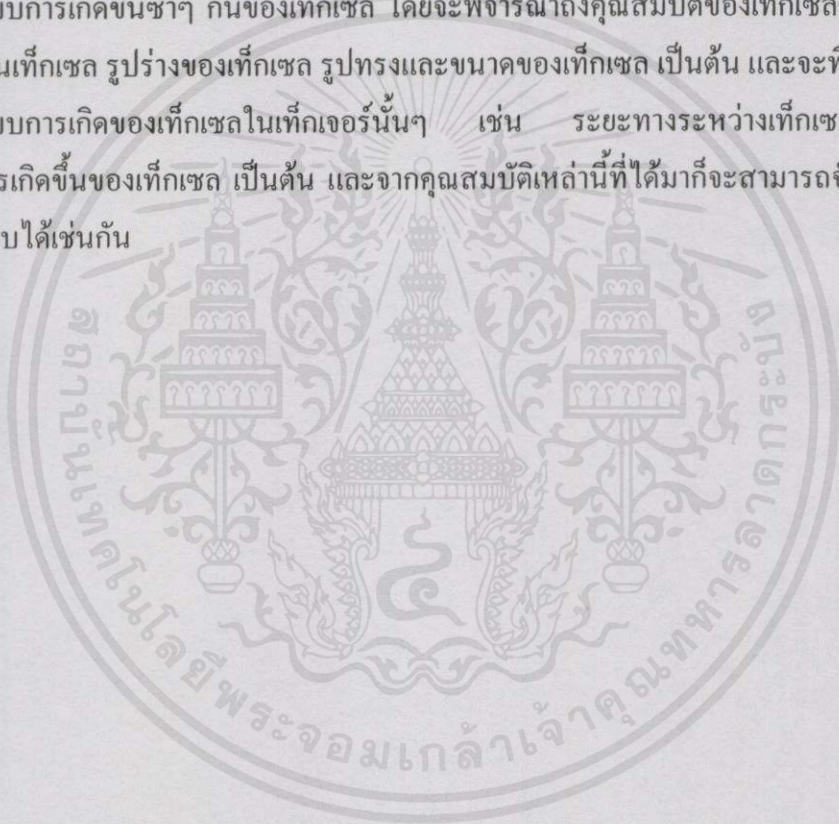
$$Correlation = \sum_i \sum_j \frac{(i - \mu)(j - \mu)P[i, j]}{\sigma^2}$$

$$LocalHomogeneity = \sum_i \sum_j \frac{P[i, j]}{1 + |i - j|}$$

$$Inertia = \sum_i \sum_j (i - j)^2 P[i, j]$$

3.3.1.2 การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้วิธีการทางโครงสร้าง

จากธรรมชาติของเท็กเจอร์ที่จะประกอบไปด้วยเท็กเซลที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน อาจจะเกิดในลักษณะที่มีรูปแบบที่แน่นอน หรืออาจจะเกิดขึ้นในลักษณะสุ่มก็ได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้วิธีการทางโครงสร้างจะเป็นการศึกษาถึง คุณสมบัติของเท็กเซล และ ลักษณะรูปแบบการเกิดขึ้นซ้ำๆ กันของเท็กเซล โดยจะพิจารณาถึงคุณสมบัติของเท็กเซลต่างๆ เช่น ค่าระดับเทาในเท็กเซล รูปร่างของเท็กเซล รูปทรงและขนาดของเท็กเซล เป็นต้น และจะพิจารณาถึง ลักษณะรูปแบบการเกิดของเท็กเซลในเท็กเจอร์นั้นๆ เช่น ระยะทางระหว่างเท็กเซลแต่ละชุด รูปแบบในการเกิดขึ้นของเท็กเซล เป็นต้น และจากคุณสมบัติเหล่านี้ที่ได้มาก็จะสามารถจำแนกเท็กเจอร์แต่ละแบบได้เช่นกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเบียบวิธีทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีทางด้านสถิติ ซึ่งจะเป็นการกล่าวสรุปถึงวิธีการต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ โดยจะเน้นถึงวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลโดยละเอียด เนื่องจากในงานวิจัยได้นำเอาวิธีการนี้มาใช้เพื่อทดสอบข้อมูลความผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยได้แยกเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วนย่อยๆ คือ ทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

4.2 ทฤษฎีพื้นฐานทางสถิติ

คำว่า “สถิติ” ตรงกับคำในภาษาอังกฤษว่า “Statistics” ซึ่งมีที่มาจากคำว่า “State” ที่แปลว่า “รัฐ” ทั้งนี้เนื่องจากในสมัยโบราณมนุษย์เราใช้สถิติในแง่ของการศึกษาเรื่องราวที่เกี่ยวกับรัฐ (Matters of State) การศึกษาเรื่องราวที่เกี่ยวกับรัฐในสมัยก่อน มีลักษณะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับรัฐ เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการของรัฐในด้านต่างๆ ในปัจจุบันคำว่า “สถิติ” มีความหมาย 2 ประการคือ ตัวเลขสถิติและวิชาสถิติ

1. ตัวเลขสถิติ (Statistic) หมายถึง จำนวนหรือค่าที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล แสดงถึงข้อเท็จจริง ของสิ่งต่างๆ อย่างมีความหมาย
2. วิชาสถิติหรือสถิติศาสตร์ (Statistics) หมายถึง ศาสตร์ที่ว่าด้วยระเบียบวิธีทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการแปลความหมายข้อมูล

ระเบียบวิธีทางสถิติ[8] นับเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการวิจัยหรือการแสวงหาความรู้ของศาสตร์ต่างๆ หลายแขนง ทั้งที่เป็นศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ และศาสตร์ทางสังคมศาสตร์ ดังนั้นในหัวข้อย่อยต่อจากนี้ จะกล่าวถึงระเบียบวิธีการทางสถิติที่จำเป็นสำหรับงานวิจัยนี้

4.2.1 การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measures of Central Tendency) เป็นวิธีการที่ใช้ในการบรรยายลักษณะของข้อมูลแต่ละชุดที่เก็บรวบรวมได้ โดยใช้ตัวเลขเพียงจำนวนเดียวหรือค่าเดียว ซึ่งทำให้สะดวกในการสรุปหรือจดจำเรื่องราวของข้อมูลนั้น การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางที่นิยมใช้มี 3 วิธีคือ ฐานนิยม มัชฌิม และค่าเฉลี่ยหรือมัชฌิมเลขคณิต

ฐานนิยม (Mode : Mo) คือ ค่าของข้อมูลที่มีความถี่สูงที่สุดในชุดข้อมูล ฐานนิยมใช้ได้กับข้อมูลในทุกระดับ แต่นิยมใช้กับข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal Data) ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative data)

มัธยฐาน (Median : Mdn) คือ ค่าที่อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลทั้งหมดเมื่อมีการจัดเรียงคะแนนตามความน้อย มัธยฐานใช้กับข้อมูลจัดอันดับ (Ordinal Data) ขึ้นไป

ค่าเฉลี่ยหรือมัชฌิมเลขคณิต (Mean or Average) คือ ค่าสมมูลของคะแนนทั้งหมดในชุดข้อมูล ได้จากการหาผลรวมของคะแนนทั้งหมดในชุดข้อมูลหารด้วยจำนวนของข้อมูลทั้งหมด

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าเฉลี่ย กรณีเป็นค่าเฉลี่ยของประชากร ใช้สัญลักษณ์ μ และ กรณีเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ใช้สัญลักษณ์ \bar{X}

การหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ค่าเฉลี่ยของประชากรใช้สูตร } \mu = \frac{\sum X}{N}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างใช้สูตร } \bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

เมื่อ X คือ คะแนนแต่ละค่าในชุดข้อมูล
 N คือ จำนวนสมาชิกในกลุ่มประชากร
 n คือ จำนวนสมาชิกในกลุ่มตัวอย่าง

4.2.2 การวัดการกระจาย

การวัดการกระจาย (Measures of Dispersion) เป็นสถิติประเภทหนึ่งที่สามารถออกมาเป็นตัวเลข เพื่อใช้อธิบายลักษณะการกระจายของข้อมูล

การที่ข้อมูลชุดหนึ่งๆ ประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าต่างๆ กัน เราเรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจาย ถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าแตกต่างกันมาก เรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจายมาก ถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าแตกต่างกันน้อย เรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจายน้อย และถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าเท่ากันหมด เรียกว่า เป็นข้อมูลที่ไม่มีการกระจาย

การวัดการกระจายนิยมใช้ควบคู่กับการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง เพราะจะช่วยอธิบายลักษณะของข้อมูลได้ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นเพียงการบอกถึงค่ากลางของข้อมูลชุดนั้น แต่เราก็คงไม่ทราบชัดเจนถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าคะแนนต่างๆ ในชุดข้อมูลนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันมากน้อยเพียงไร ถ้าเรามีทั้งค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและค่าการกระจาย ก็จะทำให้เข้าใจลักษณะข้อมูลนั้นได้ชัดเจนขึ้น มากกว่ามีแต่ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเพียงอย่างเดียว การวัดการกระจายเพื่อแสดงลักษณะการกระจายออกมาเป็นตัวเลขมีหลายวิธี เช่น พิสัย พิสัยควอไทล์ ส่วนเบี่ยงเบนควอไทล์ ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย ส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวน โดยทั่วไปการเสนอค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางด้วยค่าเฉลี่ยจะคู่กับการเสนอค่าการกระจายด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้อธิบายถึงวิธีการของการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่านั้น

4.2.2.1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) เป็นการวัดการกระจายของคะแนนรอบๆ ค่าเฉลี่ย (Mean) และสามารถนิยามส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ว่าเป็นรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย ถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่ามีการกระจายมาก ถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงว่ามีการกระจายน้อย

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กรณีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร ใช้สัญลักษณ์ σ และ กรณีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง ใช้สัญลักษณ์ S

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ขั้นที่	การคำนวณ	สัญลักษณ์
1	หาผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย (Deviation from Mean)	$X - \mu$
2	ยกกำลังสองของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย (Square of Deviation from Mean)	$(X - \mu)^2$
3	หาผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย (Sum of Square of Deviation from Mean)	$\sum (X - \mu)^2$
4	หาค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย (Mean of Square of Deviation from Mean) ค่านี้เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าความแปรปรวน (Variance)	$\frac{\sum (X - \mu)^2}{N}$
5	ถอดรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างคะแนนแต่ละตัวกับค่าเฉลี่ย (Square root of Mean of Square of Deviation from Mean) ค่านี้คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	$\sqrt{\frac{\sum (X - \mu)^2}{N}}$

เอกสารจะเห็นได้ว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก็คือรากที่สองของความแปรปรวนนั่นเอง ดังนั้นหากทราบค่าความแปรปรวนของข้อมูลแล้วก็จะสามารถหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้โดยการถอดรากที่สองของค่าความแปรปรวนนั้น ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรในรูปสัญลักษณ์ได้ดังนี้

กรณีข้อมูลประชากร $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$

กรณีข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง $S = \sqrt{S^2}$

และในทางกลับกันถ้าทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว จะสามารถหาค่าความแปรปรวนโดยการยกกำลังสองค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้น

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เป็นวิธีการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ[8] ที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Mean) หลายๆ กลุ่ม โดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว

สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน คือ การทดสอบเอฟ (F-Test) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณหลายสูตร แตกต่างกันไปตาม จำนวน ลักษณะและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ผลของการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะบอกให้ทราบเพียงว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยเหล่านั้นหรือไม่ ในกรณีที่พบว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยหลายกลุ่มนั้น ก็มีความหมายว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 ค่า ที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยอื่นๆ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ในกรณีนี้ถ้าต้องการทราบว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดแตกต่างกันบ้างก็ต้องทำการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไปด้วยวิธีการที่เรียกว่า การทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparison Test) ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกรณีมีค่าเฉลี่ยที่ต้องการเปรียบเทียบกันมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป ถ้าจะทำการทดสอบทีละคู่โดยใช้สถิติการทดสอบค่าซี (Z-Test) หรือการทดสอบค่าที (t-Test) แล้ว เราก็จะต้องทำการทดสอบหลายครั้งกว่าจะครบทุกคู่ เช่น ถ้ามีค่าเฉลี่ย 3 ค่า ก็จะต้องทำการทดสอบเปรียบเทียบทั้งหมด 3 ครั้ง ซึ่งต้องใช้เวลานาน และมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ดังนั้นเมื่อต้องการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลตั้งแต่ 3 ค่าขึ้นไป จึงควรใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่แปรค่าได้มากกว่า 2 ค่าขึ้นไป และต้องการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม (Dependent Variable) ที่จำแนกออกเป็นกลุ่มๆ ตามค่าของตัวแปรอิสระนั้น ในขั้นตอนแรกจะต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มต่างๆ บ้างหรือไม่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกรณีที่มีตัวแปรอิสระตัวเดียวนี้ เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance : ANOVA) ซึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียวคือ

$$F = \frac{MS_b}{MS_w} \quad df = k - 1, N - k \quad (4.1)$$

เมื่อ F หมายถึง F-ratio

MS_b หมายถึง ค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่ม
Mean Square between Groups

MS_w หมายถึง ค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนภายในกลุ่ม
Mean Square within Group หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Mean Square Error

จะเห็นได้ว่า MS_b และ MS_w ก็คือค่าความแปรปรวน ซึ่งมีแหล่งที่มาต่างกัน และสูตรคำนวณค่า MS_b และ MS_w มีดังนี้

$$MS_b = \frac{SS_b}{df} = \frac{SS_b}{k - 1} \quad k = \text{จำนวนกลุ่ม} \quad (4.2)$$

$$MS_w = \frac{SS_w}{df} = \frac{SS_w}{N - k} \quad N = \text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด} \quad (4.3)$$

เมื่อ SS_b หมายถึง ผลรวมของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนระหว่างกลุ่ม หรือค่าเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มจากค่าเฉลี่ยรวม
(Sum of Square between Groups)

SS_w หมายถึง ผลรวมของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนภายในกลุ่ม หรือค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยของกลุ่ม
(Sum of Square within Group)

เมื่อนำค่า SS_b กับ SS_w มารวมกันจะมีค่าเท่ากับ SS_t

SS_t หมายถึง ผลรวมของกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนทั้งหมด หรือค่าเบี่ยงเบนของคะแนนแต่ละตัวจากค่าเฉลี่ยรวม

นั่นคือ

$$SS_t = SS_b + SS_w \quad (4.4)$$

$$SS_w = SS_t - SS_b \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

1. ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

H_1 = มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยอื่นๆ

2. กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ (α) ที่ต้องการ โดยทั่วไปนิยมกำหนดที่ระดับ

0.5 หรือ 0.1

3. เปิดหาค่า F จากตาราง Critical Value of F ที่ α และ $df = k - 1, N - k$

4. คำนวณค่า F -ratio จากสูตร $F = \frac{MS_b}{MS_w}$ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.1 คำนวณค่า SS_t จากสูตร $SS_t = \sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{N}$

4.2 คำนวณค่า SS_b จากสูตร

$$SS_b = \frac{(\sum X_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum X_2)^2}{n_2} + \frac{(\sum X_3)^2}{n_3} + \dots + \frac{(\sum X_k)^2}{n_k} - \frac{(\sum X_i)^2}{N}$$

4.3 คำนวณค่า SS_w จากสูตร $SS_w = SS_t - SS_b$

4.4 คำนวณค่า MS_b จากสูตร $MS_b = \frac{SS_b}{k - 1}$

4.5 คำนวณค่า MS_w จากสูตร $MS_w = \frac{SS_w}{N - k}$

4.6 คำนวณค่า F -ratio จากสูตร $F = \frac{MS_b}{MS_w}$

5. พิจารณาความมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า F โดยการเปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F จากตาราง

ถ้าค่า F ที่คำนวณได้ \geq ค่า F จากตาราง

แสดงว่าปฏิเสธ $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ และยอมรับ H_1 นั่นคือมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 ค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยค่าอื่นๆ หมายความว่ามีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มต่างๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

แต่ถ้าค่า F ที่คำนวณได้ $<$ ค่า F จากตาราง

แสดงว่ายอมรับ $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้เวฟเล็ต

5.1 บทนำ

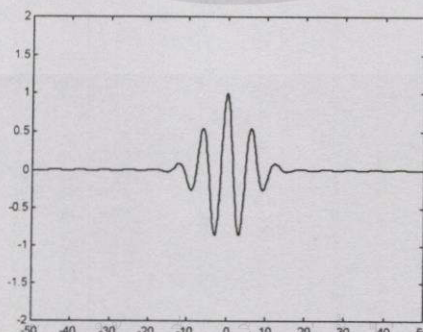
เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึง ความหมาย ลักษณะทั่วไป ลักษณะทางฟิสิกส์ ทฤษฎีของหลักการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet Transform : WT) ตลอดไปจนถึงคุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ต และการแปลงเวฟเล็ตแบบต่างๆ อย่างละเอียด และในที่สุดท้ายจะกล่าวถึง วิธีการวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งจะเป็นวิธีการวิเคราะห์เท็กเจอร์ที่งานวิจัยนี้นำมาใช้

5.2 ทฤษฎีของการแปลงเวฟเล็ต

5.2.1 คุณสมบัติของเวฟเล็ต

ทฤษฎีเวฟเล็ต(Wavelet Theory) เป็นคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายการสร้างโมเดลของสัญญาณระบบ หรือ ขบวนการทางฟิสิกส์ใดๆ ซึ่งประกอบขึ้นด้วยเซตของสัญญาณเฉพาะหรือระบบย่อยๆ มารวมกันเป็นสัญญาณหรือระบบนั้นๆ สัญญาณเฉพาะนี้จะเป็นคลื่นเล็กๆ ซึ่งถูกเรียกว่า “เวฟเล็ต” (Wavelet) ลักษณะของเวฟเล็ตจะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Oscillatory) และขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน[9] ดังแสดงในภาพที่ 5.1

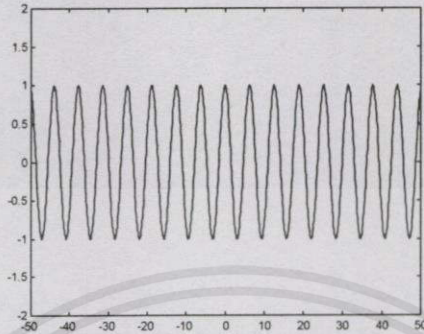
ในภาพที่ 5.1 เป็นตัวอย่างของเวฟเล็ตแบบ Morlet สังเกตว่ามีคุณสมบัติของเวฟเล็ตตามที่กล่าวมาทั้ง 2 เงื่อนไข คือ มีการออสซิลเลทในลักษณะของสัญญาณไซน์ซอซoidal (Simusoidals) ดังแสดงในภาพที่ 5.2(ก) รวมกับเงื่อนไขของการลดลงอย่างรวดเร็ว ตามลักษณะฟังก์ชันหน้าต่าง (Window Function : w.f.) ดังแสดงในภาพที่ 5.2(ข)



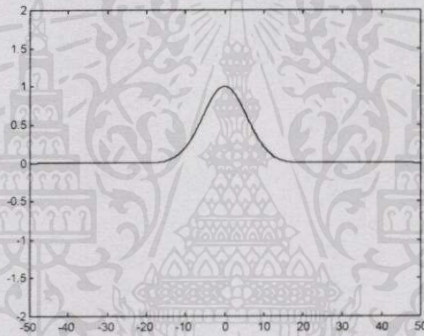
ภาพที่ 5.1 ตัวอย่างลักษณะของ Morlet Wavelet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำวิจัยเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถแจกจ่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทั้งสองเงื่อนไขเกิดขึ้นพร้อมกันก็จะทำให้เกิดคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า “เวฟเล็ต” ดังนั้นการคูณกันของฟังก์ชันออสซิลเลท (Oscillate Function) และ ฟังก์ชันการลดลง (Decay Function) จะให้ผลเป็นคลื่นเวฟเล็ตดังแสดงในภาพที่ 5.1



(ก) ลักษณะของสัญญาณ Sinusoidal Signal : $\cos(t)$



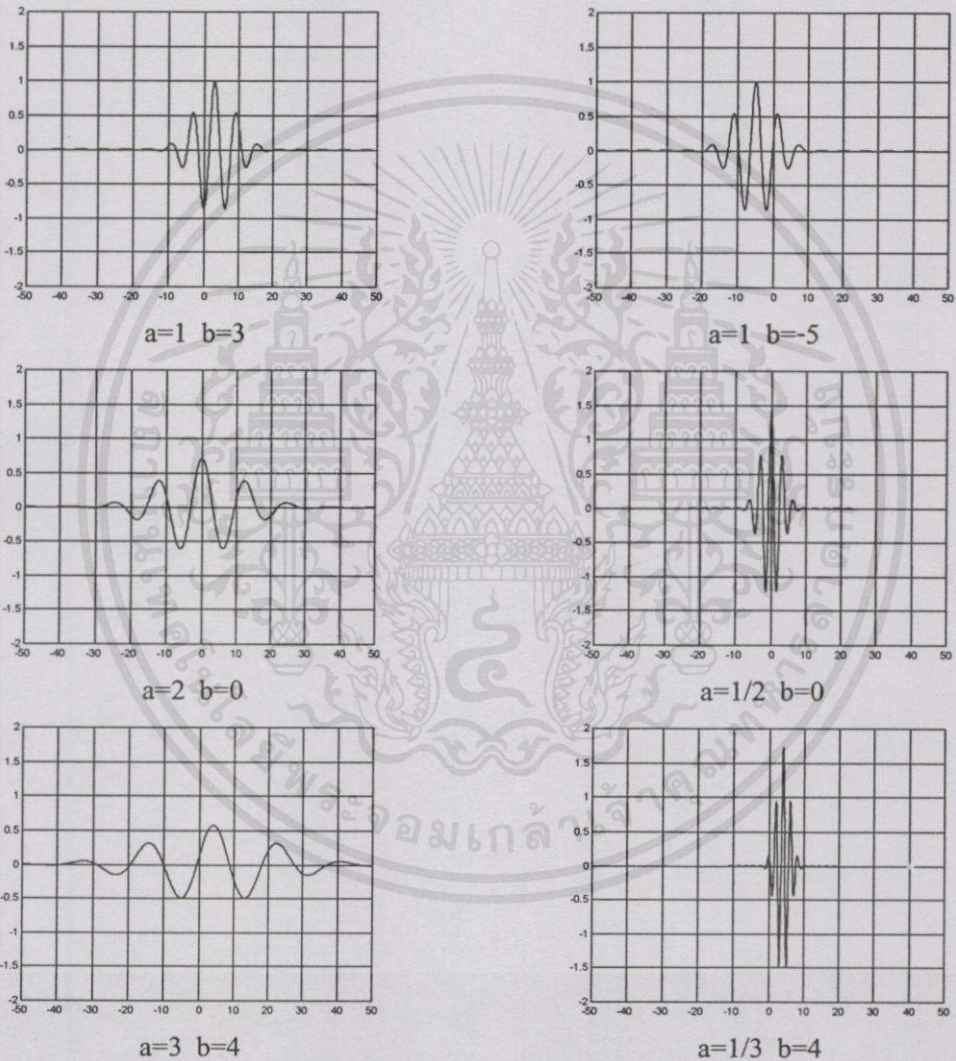
(ข) ลักษณะของ Windows Function = $\text{Exp}(-t^2 / 64)$

ภาพที่ 5.2 ลักษณะเงื่อนไขทั้งสองของฟังก์ชันเวฟเล็ต

การนำเวฟเล็ตหลายๆ อันมารวมกันเป็นเซต เพื่อจะใช้ในการอธิบายสัญญาณใดๆ โดยที่คลื่นเวฟเล็ตแต่ละตัวจะมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเดียวกัน ซึ่งฟังก์ชันนี้เป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่าเวฟเล็ตแม่ (Mother Wavelet) คลื่นเวฟเล็ตแต่ละอันจะอยู่ภายในเซตของเวฟเล็ตนี้ โดยคลื่นแต่ละคลื่นจะเกิดจาก “การสเกล” (Scaling : a) และ “การเลื่อนตำแหน่ง” (Translation or Shifting : b) ของเวฟเล็ตแม่ตัวนี้ การสเกลจะหมายถึงการหดเข้า (Compressing) หรือ การขยายออก (Dilation) ในที่นี้จะใช้ “ a ” แทนพารามิเตอร์ของการหดหรือขยาย ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนความถี่ของเวฟเล็ตแม่นั่นเอง ส่วนการเลื่อนตำแหน่งกำหนดโดยพารามิเตอร์ “ b ” จะหมายถึงการเลื่อนตำแหน่งการเกิดของคลื่นเวฟเล็ตบนแกนเวลา ในภาพที่ 5.3 จะแสดงให้เห็นถึง เวฟเล็ตที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า “ a ,” “ b ” ต่างๆ กัน โดยที่ยังคงอยู่ภายในเซตของเวฟเล็ตที่สัมพันธ์กับ เวฟเล็ตแม่ในภาพที่ 5.1 ซึ่งสังเกตเห็นว่าคลื่นเวฟเล็ตแต่ละคลื่นจะมีรูปร่างเหมือนเดิม โดยยังคงมีจำนวนไซเคิลของกาออสซิลเลทเท่าเดิม จะเปลี่ยนไปเฉพาะความถี่และตำแหน่งการเกิดเท่านั้น นอกจากนี้เวฟเล็ตที่ถูก

สเกลจะต้องทำการ Normalize ด้วย $1/\sqrt{a}$ เสมอ เพื่อให้เวฟเล็ดที่ถูกสเกลไปแล้วยังคงมีพลังงาน เช่นเดียวกับเวฟเล็ดแม่ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดอีกครั้งในหัวข้อถัดไป ดังนั้นถ้าให้ $g(t)$ เป็น ฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ จะสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปของเวฟเล็ดที่ตำแหน่ง“ a ,”“ b ” ใดๆ ซึ่งสัมพันธ์ กับ เวฟเล็ดแม่ได้ดังนี้

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



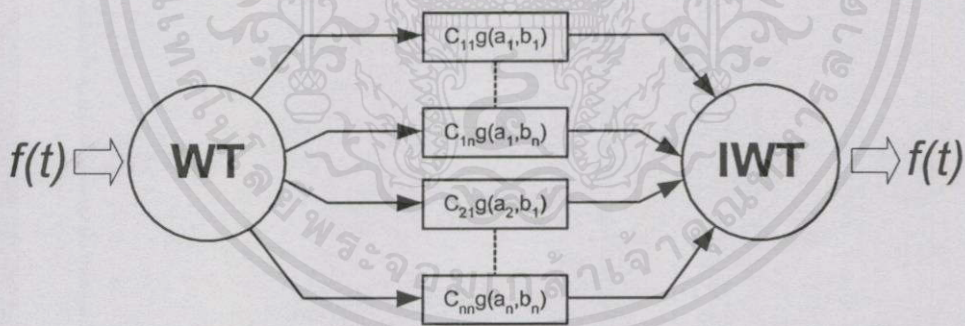
ภาพที่ 5.3 ลักษณะของเวฟเล็ดแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a, b ต่างๆ กัน

5.2.2 ทฤษฎีพื้นฐานเวฟเล็ดในการสเกล และการเลื่อนตำแหน่ง

หากสามารถอธิบายลักษณะของสิ่งใดสิ่งหนึ่งได้จากลักษณะของสมาชิกเล็กๆ ที่เป็นองค์ประกอบแล้ว ทฤษฎีเวฟเล็ดก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการอธิบายลักษณะของสิ่งต่างๆ หรือระบบใดๆ ได้เช่นกัน เช่น การนำเวฟเล็ด ไปใช้อธิบายการแก้ปัญหาสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่จำลองระบบ

ใดระบบหนึ่ง การเดินของหัวใจ และการไหลเวียนของเลือดผ่านร่างกาย เป็นต้น ในการที่จะใช้สมาชิกมาอธิบายสิ่งเหล่านี้ ก็จะมีวิธีการหาค่าสมาชิกเหล่านี้หลายวิธี การเลือกที่จะใช้วิธีใดก็ขึ้นอยู่กับว่าจะนำไปประยุกต์ใช้กับงานนั้นแล้วได้ประสิทธิภาพดีเพียงใดเช่น การใช้ระบบเลขฐานสิบจะใช้ในระบบบัญชีได้ เหมาะสมกว่าระบบเลขฐานสองหรือฐานสิบหก ในขณะที่เดียวกันระบบเลขฐานสองจะใช้อธิบายในระบบคอมพิวเตอร์ได้ดีกว่า ดังนั้นการใช้ทฤษฎีเวฟเล็ตให้ได้ดีก็จะขึ้นอยู่กับงานที่จะนำไปประยุกต์ด้วย

ทฤษฎีเวฟเล็ตจะใช้อธิบายสิ่งใดสิ่งหนึ่ง เหมือนการแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ที่สัมพันธ์กันคล้ายๆกับภาพต่อ(Jig-Saw) โดยที่ชิ้นส่วนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของเวฟเล็ตที่ถูกละเอียดและเลื่อนตำแหน่งและมีค่าช่วงน้ำหนักต่างๆ กันขึ้นอยู่กับเวฟเล็ตแต่ละตัว ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใดๆ จะสามารถสร้างขึ้นมาได้ โดยมีคลื่นเวฟเล็ตเป็นฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis Function : b.f.) หรือองค์ประกอบพื้นฐาน ขบวนการแตกกระจายชิ้นส่วนนี้เรียกว่า “การแตกกระจายเวฟเล็ต” (Wavelet Decomposition) ซึ่งก็คือการทำการแปลงเวฟเล็ต นั่นเอง ในทำนองเดียวกันการรวมกลับเวฟเล็ต(Wavelet Reconstruction) ซึ่งเป็นการแปลงกลับเวฟเล็ต(Inverse Wavelet Transform : IWT) ก็เป็นการนำส่วนประกอบย่อยๆ เหล่านี้มาเรียงต่อกันเพื่อประกอบเป็นสัญญาณเดิม ดังแสดงในภาพที่ 5.4 เป็นการแตกกระจายสัญญาณ $f(t)$ ออกเป็นคลื่นเวฟเล็ตที่มีความถี่และตำแหน่งต่างกันจำนวน $N \times N$ ตัว



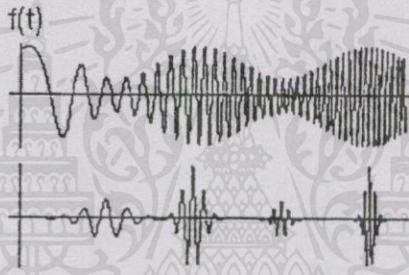
ภาพที่ 5.4 ลักษณะของการแตกกระจายสัญญาณและรวมกลับสัญญาณของเวฟเล็ต

การแปลงเวฟเล็ต สามารถเทียบเคียงกับขบวนการทางฟิสิกส์เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น โดยเทียบเคียงกับระบบกลองคู่ดาว ถ้าให้ห้องฟ้าเป็นสัญญาณอินพุตและเลนส์เป็นเวฟเล็ตแม่ในกรณีที่ต้องการดูภาพห้องฟ้าทั้งหมด โดยไม่ต้องมีการเลื่อนตำแหน่งของกลอง จำเป็นจะต้องใช้โฟกัสที่หยาบมาก เพื่อให้ได้ภาพที่ครอบคลุมห้องฟ้าทั้งหมด ซึ่งภาพที่ได้จะไม่มีรายละเอียดอะไร แต่ถ้าทำการซูม (สเกล) เข้าไป จะทำให้เห็นรายละเอียดต่างๆ ของห้องฟ้ามากขึ้น เช่น กลุ่มดาว เมฆากรวม ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคนิคแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเสาของเอกสารทุกครั้งของการนำไปใช้กาเล็กซี่ ฯลฯ แต่ก็เห็นรายละเอียดเป็นบางส่วนของห้องฟ้า ถ้าต้องการเห็นห้องฟ้าทั้งหมดก็ต้องทำ

การเลื่อนกลิ้งไปยังตำแหน่งต่างๆ ยิ่งถ้าต้องการรายละเอียดของท้องฟ้ามากขึ้นเท่าไรก็จะต้องมีการซูมลึกเข้าไป และจะต้องเลื่อนตำแหน่งของกล้องละเอียดมากยิ่งขึ้นจึงจะได้ภาพท้องฟ้าทั้งหมด

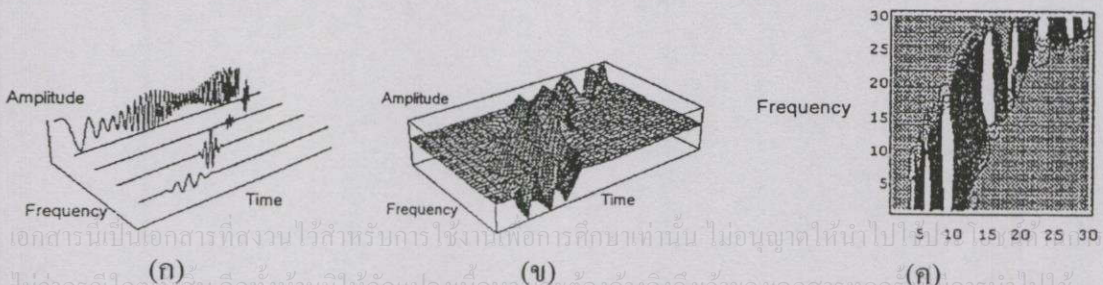
ดังนั้นภาพแต่ละภาพก็จะเป็นสัมพันธ์ของการแปลงเวฟเล็ด ที่พิจารณาผ่านเลนส์ หรือเวฟเล็ดแม่ที่มีค่าการสเกล (Scale : a) (โฟกัส หรือความละเอียด) และตำแหน่งการมอดู (Translation : b) ในขณะนั้น ถ้านำเซตของภาพทั้งหมดที่ตำแหน่งของ a, b ต่างๆ กันมารวมกันจะเป็นภาพท้องฟ้าได้ (หมายถึงเมื่อนำสัญญาณเล็กๆ ที่ระดับความละเอียด a ซึ่งมี b หลายๆ ตำแหน่งมารวมกัน จะเกิดสัญญาณอินพุทที่ระดับความละเอียดนั้น เมื่อนำสัญญาณอินพุทที่ทุกความละเอียดมารวมกันก็จะได้เป็นสัญญาณอินพุทจริง : Multiresolution Analysis)

ถ้าให้ $f(t)$ เป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยคลื่นหลายความถี่ที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งต่างๆ บนแกนเวลาดังแสดงในภาพที่ 5.5 ภาพบน ส่วนในภาพล่างจะแสดงถึงการดึงสัญญาณ $f(t)$ ที่ตำแหน่งเวลาใดๆ ออกมา



ภาพที่ 5.5 ลักษณะของสัญญาณที่มีหลายความถี่ที่ตำแหน่งเวลาต่างกัน

ถ้าทำการพิจารณาในแกน 2 มิติ โดยที่ให้แกนหนึ่งเป็นแกนเวลา ในอีกแกนหนึ่งเป็นแกนความถี่ จะสามารถทำการแยกสัญญาณที่ตำแหน่งเวลาและความถี่ใดๆ ได้ดังแสดงในภาพที่ 5.6(ก) และภาพที่ 5.6(ข) จะพิจารณาที่ค่าเวลาและค่าความถี่มีความต่อเนื่อง ซึ่งก็จะได้สัญญาณพื้นผิวที่ต่อเนื่องมากขึ้นในภาพที่ 5.6(ค) จะเป็นการพิจารณามองจากด้านบนของภาพที่ 5.6(ข) ซึ่งจะเห็นว่าค่าความเข้มจะแทนขนาดของสัญญาณ



ภาพที่ 5.6 ลักษณะของสัญญาณเมื่อพิจารณาจากมุมมองต่างๆ

การสเกลและการเลื่อนตำแหน่งจะถูกเรียกรวมกันว่า Affine Operation [9] ซึ่งจะสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ในลักษณะการส่ง (Mapping) ตัวแปรอิสระ t ไปยังตัวแปรอิสระตัวใหม่ t' ดังแสดงในสมการที่ 5.2

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

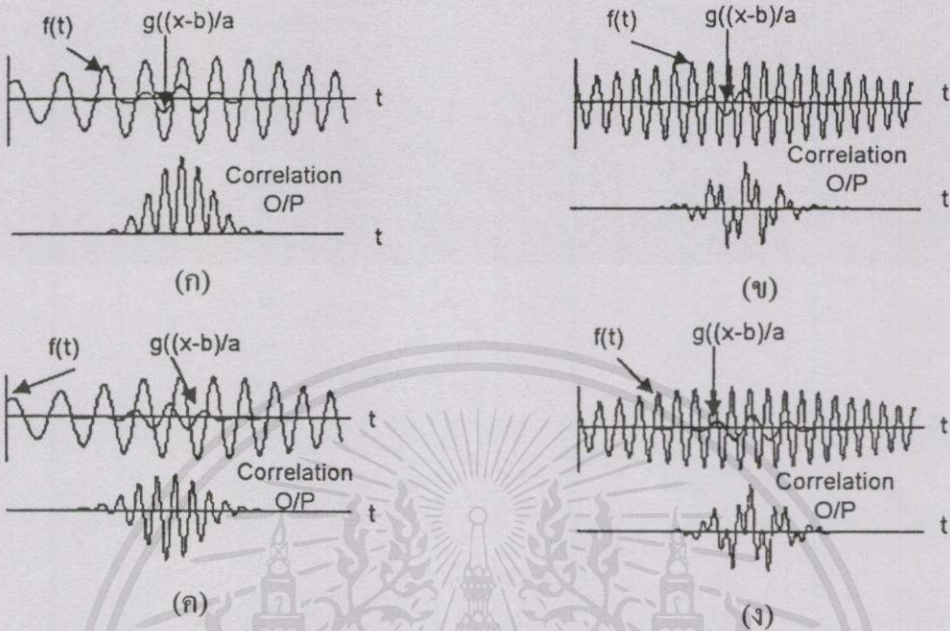
จากสมการที่สามารถทำการสร้างเซตของเวฟเล็ตได้ จากการสเกลและการเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ตแม่ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการสำหรับการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (continuous Wavelets Transform : CWT) ที่ใช้ในการกระจาย (Decomposition) สัญญาณของฟังก์ชันใด $f(t)$ ด้วยเวฟเล็ตแม่ $g(t)$ เป็นดังนี้

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

โดยที่ “*” หมายถึง Complex Conjugate “ a ” เป็นพารามิเตอร์ของการสเกลและ “ b ” จะเป็นพารามิเตอร์ของการเลื่อนตำแหน่ง สัญลักษณ์ $W_g f(a,b)$ จะหมายถึง สัญญาณอินพุตที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ t จะถูกส่ง (map) ไปเป็นฟังก์ชัน 2 มิติที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ a และ b โดยที่ $W_g f(a,b)$ จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ต (Wavelet Coefficient) เวฟเล็ตแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งจะใช้เป็นตัวแทนสัญญาณได้สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตที่ตำแหน่ง a,b จะเป็นค่าแสดงความเหมือนกัน (Degree of Correlation) ระหว่างเวฟเล็ตแม่ที่ถูกสเกล (a) กับสัญญาณอินพุตที่ตำแหน่งเวลานั้น (b) ดังแสดงในภาพที่ 5.7

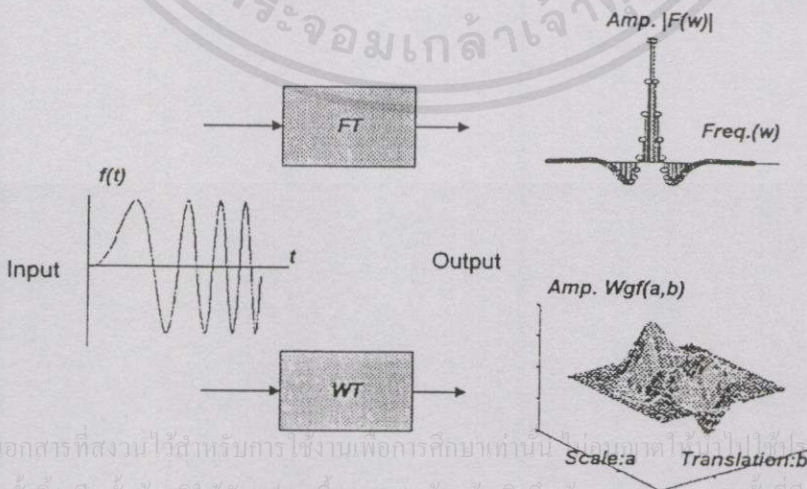
พิจารณาภาพที่ 5.7(ก) เปรียบเทียบกับภาพที่ 5.7(ข) จะเห็นว่าในภาพที่ 5.7(ก) คลื่นเวฟเล็ตจะมีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมาก ทำให้ปรากฏคลื่นเอาท์พุทออกมามีค่าสูง แต่ในภาพที่ 5.7(ข) คลื่นอินพุต จะมีค่าความถี่สูงกว่าคลื่นเวฟเล็ตทำให้เอาท์พุทมีค่าต่ำกว่ามาก และในขณะเดียวเมื่อลองพิจารณาเปรียบเทียบภาพที่ 5.7(ก) กับ 5.7(ค) ซึ่งสัญญาณอินพุตมีความถี่เดียวกันแต่ทำการเปรียบเทียบที่ต่างกัน โดยในภาพที่ 5.7(ก) จะทำที่ตำแหน่งที่เฟสตรงกัน ซึ่งก็จะให้ผลของการ Correlation ที่สูงกว่าในภาพที่ 5.7(ค) ซึ่งกระทำที่ตำแหน่งเฟสไม่ตรงกัน ส่วนในภาพที่ 5.7(ง) ก็คล้ายกับภาพที่ 5.7(ข) เพียงแต่เลื่อนตำแหน่งการเปรียบเทียบออกไป 180 องศา ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้าคลื่นเวฟเล็ตมีความคล้ายกับสัญญาณอินพุตมากเท่าไรในด้านของความถี่ ลักษณะสัญญาณและตำแหน่งเวลาในการเปรียบเทียบก็จะทำให้ได้ค่าของ สัมประสิทธิ์ของการทรานส์ฟอร์มที่มากนั่นเอง เพราะฉะนั้น การแปลงเวฟเล็ต

จะเป็นการอธิบายสัญญาณ $f(t)$ ในรูปแบบของเวฟเล็ตโดเมนส์ (Wavelet Domain) เทียบกับคลื่นเวฟเล็ตที่ค่า a, b ใดๆ



ภาพที่ 5.7 ลักษณะของผลการ Correlation ระหว่าง $f(t), g((t-b)/a)$

ในภาพที่ 5.8 จะแสดงการเปรียบเทียบลักษณะผลลัพธ์เมื่อนำสัญญาณอินพุต 1 มิติ มาทำการแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform : FT) กับการใช้การแปลงเวฟเล็ต จะเห็นว่าการแปลงฟูรีเยร์เป็นการส่งสัญญาณจาก โดเมนส์เวลา(1 มิติ) ไปเป็น โดเมนส์ความถี่ (1 มิติ) แต่การแปลงเวฟเล็ต จะเป็นการส่งไปเป็น “ ระนาบเวลาและความถี่ ” (Time-Frequency Plane) ซึ่งมี 2 วิธี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.8 แสดงลักษณะความแตกต่างของสัญญาณเอาต์พุตระหว่างการแปลงฟูรีเยร์กับการแปลงเวฟเล็ต

5.2.3 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องและการแปลงกลับเวฟเลต

5.2.3.1 การแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง

จากการวิเคราะห์สัญญาณด้วย STFT จะสังเกตเห็นว่า Time-Frequency Window จะมีพื้นที่ในการวิเคราะห์ที่คงที่เสมอไม่ว่าจะเป็นการพิจารณาที่ความถี่และช่วงเวลาใด ๆ ขนาดช่วงความกว้างของความถี่และช่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับลักษณะของฟังก์ชันหน้าต่าง ที่ใช้ ซึ่งจะไม่มี การเปลี่ยนคุณสมบัติในขณะที่การทรานฟอร์ม แต่ในทางปฏิบัติความถี่ของสัญญาณจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับจำนวนไซเคิลต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นที่ความถี่สูงจากการเปลี่ยนแปลงสัญญาณใน ช่วงเวลาที่แคบต่างกับสัญญาณความถี่ต่ำที่ต้องใช้ช่วงเวลานานกว่า ดังนั้นถ้าใช้ STFT และเลือก ฟังก์ชันหน้าต่าง ที่มีช่วงความถี่และช่วงเวลาไม่เหมาะสม เช่น ช่วงเวลาแคบเกินไปก็จะทำให้ต้องมี การทำการทรานฟอร์มหลายครั้งหลายตำแหน่งเพื่อให้ได้ข้อมูลครบในช่วงเวลาทั้งหมดที่ต้องการ ดังนั้นฟังก์ชันหน้าต่าง ที่มีความกว้างของช่วงเวลาและช่วงความถี่จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงเป็น สัดส่วนผกผันที่สัมพันธ์กันนั้นคือควรจะให้ Time Window ที่แคบแต่มี Frequency Window ที่กว้าง เมื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ความถี่สูงและ Time Window ที่กว้างแต่มี Frequency Window ที่ แคบเมื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ความถี่ต่ำซึ่งจะทำให้ได้รับข่าวสารที่ครบถ้วนและใช้เวลาใน การทรานฟอร์มได้น้อยลง จากที่กล่าวมาทั้งหมด STFT จึงไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ สัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงและต่ำในสัญญาณตัวเดียวกัน แต่ในการแปลงเวฟเลตจะ อาศัยฟังก์ชันหน้าต่าง ที่มีคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของช่วงเวลาและช่วงความถี่ ให้เหมาะสมกันสำหรับการวิเคราะห์สัญญาณที่ช่วงความถี่และช่วงเวลาที่น่าสนใจ ซึ่งฟังก์ชันหน้าต่าง ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่า “ฟังก์ชันเวฟเลต”

ถ้ากำหนดให้ $\psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ และเป็นไปตามเงื่อนไข Admissibility Condition [10][11] คือ

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (5.4)$$

จะเรียก $\psi(t)$ ว่าเป็น Basis Wavelet หรือเวฟเลตแม่ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเลื่อนตำแหน่ง (พารามิเตอร์: b) จะเปลี่ยนความถี่ได้ (พารามิเตอร์: a) ดังแสดงในสมการที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $\psi_{b,a}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.5) ถ้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะสามารถเขียนเป็นสมการการแปลงฟูรีเยร์ที่พิจารณาผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง ที่ตำแหน่ง เวลาและความถี่ขณะนั้น ได้ดังสมการที่ 5.6 ซึ่งจะเป็นสมการการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform : CWT) นั่นเอง

$$(W_{\psi} f)(b, a) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (5.6)$$

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

เทอม $|a|^{1/2}$ จะเป็นการ Normalization ของ $\psi(t)$ เพื่อให้พลังงานของ $\psi(t)$ ที่ b, a ใดๆ ยังคงมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอทำให้การแปลงเวฟเล็ตที่ตำแหน่ง b, a ใดๆ พลังงานของ $\psi(t)$ จะไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณ $f(t)$ ในช่วงนั้นเลยและจะสามารถเขียนสมการ CWT ในช่วงนั้นเลย และจะสามารถเขียนสมการของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง ในลักษณะของการ Inner Product ได้ ดังนี้

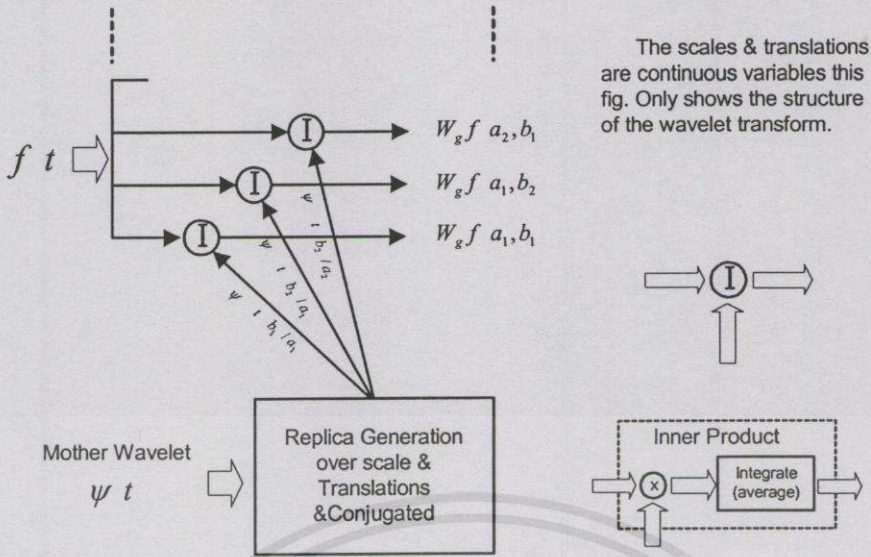
$$(W_{\psi} f)(b, a) = \langle f, \psi_{b,a} \rangle \quad (5.7)$$

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 จากการที่ $\psi(t), \hat{\psi}(\omega)$ เป็นฟังก์ชันหน้าต่าง ที่เป็นไปตามเงื่อนไขในสมการ $tW(t) \in L^2(\mathbb{R})$ นั้นแสดงว่า ความกว้างของ Time Frequency window จะเป็น $4\Delta\psi\Delta\hat{\psi}$ ในขณะเดียวกันถ้าให้ $\hat{\psi}(\omega)$ เป็น ฟังก์ชันที่ต่อเนื่อง ดังนั้นค่า C_{ψ} จะต้องมีค่าได้เสมอ แสดงว่าที่จุด $\omega = 0$ ต้องมีการกำหนดให้ $\hat{\psi}(0) = 0$ นั้นแสดงว่าต้องมีเงื่อนไขอีกอันหนึ่งเกิดขึ้นคือ

$$\begin{aligned} \hat{\psi}(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} \psi(t) dt \\ \hat{\psi}(0) &= \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \end{aligned} \quad (5.8)$$

แสดงว่าพื้นที่ใต้กราฟของ $\psi(t) = 0$ นั่นก็คือฟังก์ชันดังกล่าวนี้ต้องมีการออกสขิเลขเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.9 การแปลงเวฟเล็ตในลักษณะของการ Inner Product

ถ้าพิจารณา Time frequency window ของการแปลงเวฟเล็ต โดยที่ $\psi(t), \hat{\psi}(\omega)$ เป็นไปตามเงื่อนไขในสมการ $tW(t) \in L^2(\mathbb{R})$ และกำหนดให้จุดศูนย์กลางและรัศมีมีความกว้างของ $\psi(t)$ เป็น t^* และ $\Delta\psi$ ตามลำดับดังนั้น $\psi_{b,a}$ จะมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $b + at^*$ รัศมีเป็น $a\Delta\psi$ และข่าวสารของสัญญาณ $f(t)$ จะถูกพิจารณาผ่าน Time window ที่มีความกว้างของช่วงเวลาดังนี้[10]

$$[b + at^* - a\Delta\psi, b + at^* + a\Delta\psi] \tag{5.9}$$

จากสมการที่ 5.9 สังเกตว่า Time window จะแคบลงเมื่อความถี่สูงขึ้น (a มีค่าน้อยลง) และที่ความถี่ต่ำลง (a มากขึ้น) Time window จะกว้างออกสิ่งนี้จะเป็นข้อแตกต่างที่สำคัญเมื่อเทียบกับ STFT ซึ่งจะไม่มีพารามิเตอร์ a เข้ามาเกี่ยวข้อง ต่อไปลองพิจารณา Frequency window โดยเริ่มจากการแปลงฟูรีเยร์ของ $\psi(t)$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \hat{\psi}_{b,a}(\omega) &= \frac{1}{2\pi} |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \\ &= \frac{a|a|^{-\frac{1}{2}}}{2\pi} e^{-ib\omega} \hat{\psi}(a\omega) \end{aligned} \tag{5.10}$$

นำสมการที่ 5.6 และ 5.10 มาประยุกต์เข้ากับ Parseval Identity จะได้ว่า ใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 (W_{\psi} f)(b, a) &= \langle f, \psi_{b,a} \rangle = \frac{1}{2\pi} \langle \hat{f}, \hat{\psi}_{b,a} \rangle \\
 &= \frac{a|a|^{\frac{1}{2}}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega) e^{ib\omega} \hat{\psi}(a\omega) d\omega
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

จากสมการที่ 5.11 จะเห็นว่า $W_{\psi} f(b, a)$ ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลต ที่ตำแหน่ง b, a ใดๆ จะสามารถหาได้จากการพิจารณาการแปลงฟูรีเยร์ของ $f(t)$ ผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง : $\hat{\psi}(a\omega)$ ที่มีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ ω^*/a และมีรัศมีความกว้างของแบนด์วิธเป็น $\Delta\hat{\psi}/a$ โดยที่เทอมของ $a|a|^{\frac{1}{2}}/2\pi$ เป็นเพียงค่าคงที่และเทอม $e^{ib\omega}$ จะเป็นเพียงการชิฟของเฟสของสัญญาณเท่านั้น ซึ่งจะไม่มีผลกระทบต่อความถี่ศูนย์กลางและความกว้างของแบนด์วิธ

$$\left[\frac{\omega^*}{a} - \frac{1}{a} \Delta\hat{\psi}, \frac{\omega^*}{a} + \frac{1}{a} \Delta\hat{\psi} \right]
 \tag{5.12}$$

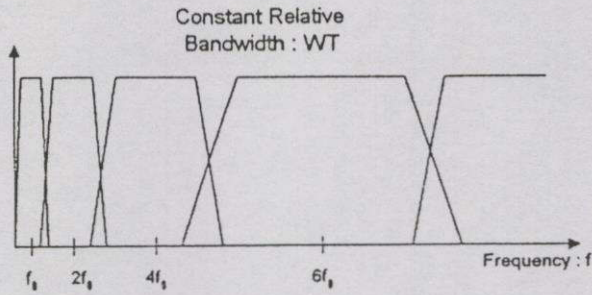
สมการที่ 5.12 เป็นการแสดงขอบเขตของแบนด์วิธและตำแหน่งความถี่ตรงกลางของสัญญาณที่ถูกวิเคราะห์ ดังนั้นจะสามารถพิจารณาได้ว่า $W_{\psi} f(b, a)$ เป็นการทำ Band pass filter ที่มีความถี่ศูนย์กลางที่ ω^*/a และมีความกว้างของแบนด์วิธ $2\Delta\hat{\psi}/a$ ถ้าทดสอบพิจารณาอัตราส่วนระหว่างความถี่ศูนย์กลางและแบนด์วิธจะพบว่า

$$\frac{\text{Center. fre}}{\text{Bandwidth}} = \frac{\omega^*/a}{2\Delta\hat{\psi}/a} = \frac{\omega^*}{2\Delta\hat{\psi}}
 \tag{5.13}$$

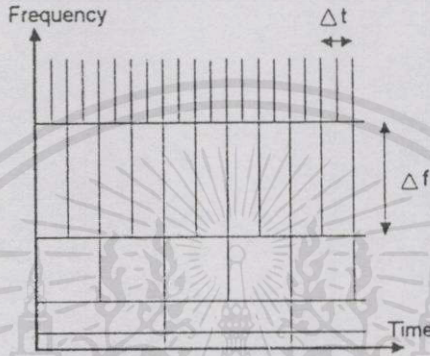
อัตราส่วนนี้คือค่า Q ซึ่งจะเห็นว่า Q จะมีค่าคงที่เสมอไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ (a) ที่เปลี่ยนไป ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง มีลักษณะเป็น Band pass filter-Constant Q นั้นเองดังแสดงในภาพที่ 5.13 ซึ่งจะเห็นว่าที่ความถี่สูงขึ้น (a น้อยลง) จะมีความกว้างของแบนด์วิธมากขึ้น

จากผลคูณระหว่างความกว้างของ Time window และ Frequency window จะกลายเป็น Time Frequency window ในระนาบเวลาและความถี่ของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นดังสมการที่ 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด $[b + at^* - a\Delta\psi, b + at^* + a\Delta\psi] \times \left[\frac{\omega^*}{a} - \frac{1}{a} \Delta\hat{\psi}, \frac{\omega^*}{a} + \frac{1}{a} \Delta\hat{\psi} \right]$ ครั้งที่มีการนำไป (5.14)



ภาพที่ 5.10 ลักษณะของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง ในลักษณะของ Band pass filter constant Q

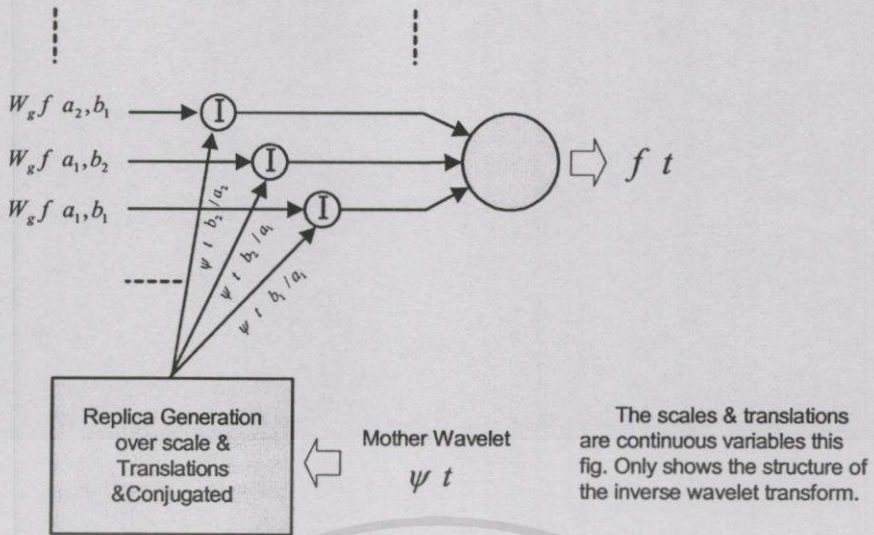


ภาพที่ 5.11 ลักษณะของระนาบเวลาและความถี่ของการแปลงเวฟเล็ต

จากภาพที่ 5.10 จะเห็นว่า $\psi(t)$ ที่มีค่าความถี่สูง (a มีค่าน้อยๆ) จะทำให้ช่วงความกว้างของ Time window ต่ำลง แต่จะส่งผลให้ความกว้างทางความถี่ของ Frequency Window เพิ่มขึ้นและในขณะ that a มีค่ามากขึ้น ก็จะมีผลการเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้ามกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเหมาะสมกับสัญญาณในทางปฏิบัติ

5.2.3.2 การแปลงกลับเวฟเล็ต

จากคุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง จะพบว่า $W_\psi f(b, a)$ เป็นการทรานส์ฟอร์มที่เลือกตำแหน่งการวิเคราะห์ได้จากเทอมของ b และความถี่ในเทอมของ a รวมทั้งยังสามารถทำการเลือกวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดใดก็ได้ (ในแนวของ a ใดๆ) ทำให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์แบบ Time frequency analysis ได้เป็นอย่างดีดังนั้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใน $W_\psi f(b, a)$ แล้วทำการแปลงกลับไปสู่โดเมนสเวลาก็จะทำให้ได้ $f(t)$ ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปสู่ตรในการหา $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ จากความสัมพันธ์ระหว่าง $W_\psi f(b, a)$ กับฟังก์ชัน $\tilde{\psi}(t)$ ซึ่งเรียกว่า Dual basis wavelet ของ $\psi(t)$ จะสามารถพิจารณาได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับขอบเขตของการเปลี่ยนของพารามิเตอร์ b และ a



ภาพที่ 5.12 ลักษณะของการแปลงกลับเวฟเลต

แบบที่หนึ่ง $W_\psi f(b, a) : b, a \in IR$

จากสมการที่ 5.4 $\psi(t)$ จะเป็น Basis wavelet ได้เมื่อมีเงื่อนไขดังนี้

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$$

สามารถเขียนเป็นสมการการแปลงกลับ (Reconstruction) หรือ “การแปลงกลับเวฟเลต” (Inverse Wavelet Transform : IWT) ได้ดังนี้

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (W_\psi f)(b, a) |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \frac{dad b}{a^2}; f(t) \in L^2(IR) \tag{5.15}$$

จะสังเกตเห็นว่าฟังก์ชันหน้าต่าง ของการแปลงกลับเวฟเลต จะเป็น Complex Conjugate กับฟังก์ชันหน้าต่าง ของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในสมการที่ 5.15 และภาพที่ 5.12 จะแสดงลักษณะของการแปลงกลับเวฟเลต

แบบที่สอง $W_\psi f(b, a) : b \in IR, a > 0$

เนื่องจากโดยปกติแล้วการพิจารณาสัญญาณใดๆ เท่านั้น จะสนใจเฉพาะช่วงความถี่ที่เป็นบวก ดังนั้นจะพิจารณาเฉพาะในกรณีนี้ที่ $a > 0$ เท่านั้นซึ่งก็จะได้ช่วงการพิจารณาที่แคบลงและฟังก์ชันหน้าต่าง จะต้องมิลักษณะเป็นฟังก์ชันคู่ตามสมการที่ 5.16

$$\int_0^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega = \int_0^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(-\omega)|^2}{|\omega|} d\omega = \frac{1}{2} C\psi < \infty \quad (5.16)$$

ดังนั้นถ้าใช้ $\psi(t)$ เป็นฟังก์ชันหน้าต่าง จะทำให้ได้สมการการแปลงกลับดังนี้

$$f(t) = \frac{2}{C\psi} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (W_{\psi} f)(b, a) |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) db \frac{da}{a^2} \quad (5.17)$$

แบบที่สาม $W_{\psi} f(b, a) : b \in \mathbb{R}, a = 1/2^j; j \in \mathbb{Z}$

ในกรณีที่ a มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะของ Octave โดยมีค่าเท่ากับ $1/2^j$ และ j เป็นจำนวนเต็มซึ่งแสดงถึงระดับของความละเอียดในการวิเคราะห์สัญญาณ เมื่อทำการพิจารณาความกว้างของแถบความถี่ใน Frequency window จะเป็นดังนี้

$$B_j = [2^j \omega^* - 2^j \Delta\psi, 2^j \omega^* + 2^j \Delta\psi] ; j \in \mathbb{Z}$$

โดยที่ B_j เป็นแบนด์วิทที่ระดับ j ใดๆ และความถี่ตรงกลางของ ω^* จะหามาจากสมการ

$$\omega^* = 3\Delta\psi$$

B_j จะมีลักษณะที่เชื่อมต่อกันบริเวณปลายๆ ตลอดแบนด์ความถี่ $[0, \infty)$ และในทำนองเดียวกันช่วงตำแหน่งของ Time window จะมีค่าเป็น

$$[b + 2^{-j} t^* - 2^{-j} \Delta\psi, b + 2^{-j} t^* + 2^{-j} \Delta\psi]$$

ซึ่งจะให้สเปกตรัมของ $f(t)$ ในช่วงแบนด์วิท B_j นั้นเอง

ถ้าพิจารณาให้ $b = k/2_j, a = 1/2_j$ จะทำให้การแปลงเวฟเล็ตเป็นแบบแบ่งช่วง (Discrete Wavelet Transform : DWT) นั้นเอง

$$(W_{\psi} f)\left(\frac{k}{2^j}, \frac{1}{2^j}\right) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) 2^{j/2} \overline{\psi(2^j t - k)} dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.18) ถ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลง $\langle f, \psi_{j,k} \rangle$ ให้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\psi_{j,k} = 2^{j/2} \psi(2^j t - k)$$

ซึ่งถ้ากำหนดให้ $C_{j,k} = (W_\psi f)\left(\frac{k}{2^j}, \frac{1}{2^j}\right)$ จะได้ว่า $C_{j,k} = \langle f, \psi_{j,k} \rangle$ ดังนั้นสามารถกำหนดเป็นสมการแปลงกลับเวฟเลตแบบช่วงได้ดังสมการที่ 2.32

$$f(t) = \sum_{j,k=-\infty}^{\infty} C_{j,k} \psi_{j,k} \quad (5.19)$$

โดยที่ $C_{j,k}$ เป็นสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงของ $f(t)$ ที่มีความสัมพันธ์กับ $\tilde{\psi}(t)$ ซึ่งเป็น Dual ของ Basis wavelet : $\psi(t)$ ที่ตำแหน่ง Time scale $(b,a) = \left(\frac{k}{2^j}, \frac{1}{2^j}\right)$

5.2.4 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

ก่อนที่จะศึกษาลักษณะสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด จะอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานของปริภูมิของเวกเตอร์ (Vector Space) ก่อนเนื่องจากเป็นสิ่งสำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียด

5.2.4.1 ปริภูมิของเวกเตอร์

ความหมายของ “ปริภูมิของเวกเตอร์” ในสาขาวิเคราะห์สัญญาณ คือ ปริภูมิหรือปริภูมิของสัญญาณใดๆ ที่เกิดจากการรวมกันของฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function :b.f.)

ถ้ากำหนดให้ a, b เป็นจำนวนจริงใดๆ และ \hat{i}, \hat{j} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit vector) ในปริภูมิของเวกเตอร์ V เสมอดังนั้นถ้าเวกเตอร์ใดประกอบขึ้นจากหลายเวกเตอร์หนึ่งหน่วย จะได้ว่าเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในปริภูมิของเวกเตอร์นี้ นั่นคือ $a\hat{i} + b\hat{j} + c\hat{k} + \dots \in V$ เวกเตอร์หนึ่งหน่วย \hat{i}, \hat{j} จะมีลักษณะเชิงตั้งฉาก (Orthonormal : o.n.) ซึ่งกันและกัน หมายความว่า \hat{i}, \hat{j} จะอยู่กันต่างมิติหรืออาจจะกล่าวได้ว่าอยู่บนแกนต่างกัน ดังนั้นถ้าพิจารณาจากผลของ Inner Product ระหว่าง \hat{i}, \hat{j} จะมีค่าเป็นศูนย์เสมอ แต่ถ้าเป็นการ Inner Product ระหว่างตัวมันซึ่งจะเป็นการหาขนาดของมันด้วย จะมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ ในขณะที่ a, b เป็นสัมประสิทธิ์ที่แสดงขนาดในแต่ละทิศทางของเวกเตอร์หนึ่งหน่วย

ดังนั้นถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจจะมองว่า \hat{i}, \hat{j} คือ basis function ที่เป็นสัญญาณเล็กๆ ซึ่งสามารถนำมาประกอบกันเป็นสัญญาณใดๆ ดังนั้นถ้าให้ U_i เป็นฟังก์ชันพื้นฐานเชิงตั้งฉาก (Orthonormal basis function : o.n.b.f) ใดๆ และ C_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของ U_i จะได้ว่าสัญญาณ V ใดๆ จะประกอบขึ้นจากฟังก์ชันพื้นฐานเชิงตั้งฉาก ที่มีค่าขนาดต่างๆมารวมกันแสดงในสมการที่ 5.20

$$v = \sum_i C_i U_i \quad ; v \in V \quad (5.20)$$

ในการประมวลผลสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์นั้น สัญญาณดังกล่าวควรมีจำนวนฟังก์ชันพื้นฐาน ที่จำกัด (Finite basis function) เนื่องจากข้อจำกัดของทรัพยากรของระบบถ้าให้ k เท่ากับ จำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่น้อยที่สุดที่ประกอบขึ้นมาเป็นสัญญาณชนิดนั้น ก็จะทำได้สัญญาณ V ที่มีขนาดที่จำกัด (Finite Dimension = $C_1U_1, C_2U_2, \dots, C_kU_k$)

5.2.4.2 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

สมมติให้ V^j เป็นปริภูมิของเวกเตอร์ที่มี j แสดงถึงระดับความละเอียดและ จำนวนของฟังก์ชันพื้นฐาน ที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชันนั้นถ้า j มีค่าสูงขึ้นก็แสดงว่าที่ระดับความละเอียดสูงขึ้นไปจะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐาน มากขึ้นด้วยทำให้สัญญาณที่เกิดจากการประกอบกัน จากฟังก์ชันพื้นฐาน เหล่านี้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นด้วย (ลองพิจารณาถึงคลื่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เกิด จากสัญญาณลักษณะรูปขายนจำนวนอนันต์มารวมกัน) ดังนั้นจึงอาจจะกล่าวได้ว่า j เป็นค่าแสดงถึง ระดับความละเอียดของสัญญาณนั่นเองจากข้อกำหนดเหล่านี้ ทำให้สามารถสรุปเป็นลักษณะสมบัติ ของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆ ได้ดังนี้[10][11]

$$(1) \quad V^{-\infty} \dots \subset V^{-1} \subset V^0 \subset V^1 \dots \subset V^{\infty}$$

$$(2) \quad \text{Close}_{L^2} \left(\bigcup_{j \in \mathbb{Z}} V^j \right) = L^2(\mathbb{R}) \quad ; \mathbb{R} := \text{เซตของจำนวนจริง}$$

$$(3) \quad \left(\bigcap_{j \in \mathbb{Z}} V^j \right) = \{0\}$$

$$(4) \quad V^j + W^j = V^{j+1} \quad ; j \in \mathbb{Z} \quad ; \mathbb{Z} := \text{เซตของจำนวนเต็ม}$$

$$(5) \quad f(x) \in V^j \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1} \quad ; j \in \mathbb{Z}$$

ความหมายของคุณสมบัติแต่ละข้อจะอธิบายได้ดังนี้

(1) หมายถึง ปริภูมิของเวกเตอร์ที่มีระดับความละเอียดสูงกว่า จะสามารถพิจารณาให้มี ระดับความละเอียดต่ำลงได้ โดยมีความสัมพันธ์กันเป็นโครงข่ายในลักษณะของเซตย่อย ซึ่งจะ หมายถึงสัญญาณใดๆก็ตามจะสามารถพิจารณาที่ระดับความละเอียดใดๆ ก็ได้โดยที่ยังคงอยู่ภายใต้ สัญญาณเดิมนั่นเอง

(2) ฟังก์ชันทุกฟังก์ชันใน $L^2(\mathbb{R})$ สามารถถูกประมาณให้อยู่ในปริภูมิของเวกเตอร์ที่ ระดับความละเอียด j ใดๆ ก็ได้ในลักษณะของการโปรเจกชันสัญญาณ $f(t)$ ลงใน V^j การ ประมาณฟังก์ชันไปที่ระดับ j ใดๆ จะทำให้ข่าวสารของ $f(t)$ สูญหายไปตามระดับความละเอียด นั้นๆ แต่ถ้าระดับความละเอียดเพิ่มขึ้นถึงอนันต์สัญญาณที่ประมาณนั้นยังคงลู่เข้าสู่สัญญาณต้น กำเนิด $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$

(3) การโปรเจกต์แต่ละครั้งที่ระดับ j น้อยลงเรื่อยๆ จะทำให้สัญญาณที่ประมาณมีข่าวสารที่สูญหายไปมากขึ้น ดังนั้นรายละเอียดของสัญญาณจะน้อยลงเรื่อยๆ จนเข้าสู่ศูนย์

(4) การโปรเจกต์สัญญาณจากระดับหนึ่งไปยังระดับที่ต่ำกว่าหนึ่งระดับ จะทำให้ข่าวสารหรือพลังงานของสัญญาณส่วนหนึ่งหายไป หรือ อาจมองว่าแถบความถี่ของสัญญาณบางส่วนหายไป พลังงานหรือสัญญาณในแบนด์ความถี่ที่หายไปนี้จะถูกรวมอยู่ใน Complementary Subspace : W^j

(5) คุณสมบัติของ Two Scale Property จะเป็นการลดระดับความละเอียดของสัญญาณลงมาหนึ่งระดับ ซึ่งหมายถึงว่าสัญญาณที่อยู่ใน V^{j+1} จะมีความถี่เป็นสองเท่าของสัญญาณใน V^j

จากลักษณะสมบัติทั้ง 5 ข้อ แสดงว่าถ้ากำหนดให้ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ สัญญาณ $f(t)$ อันเดียวกันแต่อยู่ที่ปริภูมิต่างกันจะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ต่างกัน โดยระดับปริภูมิที่สูง (j มาก) จะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานมาก ซึ่งหมายถึงสัญญาณมีความละเอียดสูงนั่นเอง ถ้าให้ช่วงเวลาที่ทำการพิจารณาสัญญาณในแต่ละปริภูมิเท่ากัน ก็จะพบว่าเนื่องจากที่ระดับ j สูงๆ จะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานมาก แต่ต้องบรรจุฟังก์ชันพื้นฐานลงในปริภูมิที่มีช่วงเวลาที่จำกัด ดังนั้นแสดงว่าฟังก์ชันพื้นฐานแต่ละตัวจะมีช่วงเวลาที่แคบ ซึ่งหมายถึงฟังก์ชันพื้นฐานมีความถี่สูงนั่นเอง ในขณะที่ระดับปริภูมิ j ต่ำกว่าจะมีฟังก์ชันพื้นฐานน้อยกว่าทำให้ช่วงเวลาของฟังก์ชันพื้นฐานแต่ละตัวกว้างขึ้นดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐานที่ระดับความละเอียด $j+1$ จะมีความถี่เป็นสองเท่าของระดับความละเอียด j ตามลักษณะคุณสมบัติข้อที่ 5 ของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

จากการที่มีฟังก์ชันพื้นฐานประกอบกันเป็นสัญญาณ การประมาณที่ระดับความละเอียด j ภายในปริภูมิ V^j จะเรียกฟังก์ชันพื้นฐานเหล่านี้ว่า “ฟังก์ชันสเกลลิง” (Scaling Function) : $\phi(t)$ สัญญาณเหล่านี้จะเกิดที่ตำแหน่งเวลาที่ต่างๆ กันของปริภูมิ และมีความถี่เท่ากันภายในปริภูมิเดียวกัน และความถี่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของปริภูมินั้นๆ ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการฟังก์ชันสเกลลิงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดภายในปริภูมิได้ดังแสดงในสมการที่ 5.21

$$\phi_k(t) = \phi(t - k) \quad ; k \in \mathbb{Z} \quad (5.21)$$

โดยที่ k จะเป็นตำแหน่งการเกิดของ $\phi(t)$ แต่ละตัว $\phi(t)$ ที่มีลักษณะสมบัติเป็นลักษณะเชิงตั้งฉาก ตามตำแหน่งต่างๆ กัน เหล่านี้จะอยู่ภายในปริภูมิเดียวกันซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V^0 = \text{space}_k \{ \phi_k(t) \} \quad (5.22)$$

$$\text{โดยที่} \quad \langle \phi_k, \phi_l \rangle = \delta_{k,l} \quad ; k, l \in \mathbb{Z} \quad (5.23)$$

สมการที่ 5.23 หมายถึง ϕ_k, ϕ_l ที่ตำแหน่งเดียวกันเท่านั้น ($k=l$) ที่จะทำให้ผลของ Inner Product มีค่าเป็นหนึ่ง (δ) ถ้าต่างตำแหน่งกันเป็นศูนย์ลักษณะนี้เรียกว่า ฟังก์ชันพื้นฐาน มีลักษณะสมบัติเชิงตั้งฉาก

จากการที่สัญญาณ $f(t)$ สามารถถูกประมาณลงในระดับปริภูมิใดๆ ก็ได้โดยจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันสเกลลิงชนิดเดียวกันแต่ต่างกันที่จำนวนและความถี่เท่านั้น ฟังก์ชันสเกลลิงที่ระดับปริภูมิสูง(ระดับความละเอียดมาก) จะมีความถี่สูง และที่ระดับที่ต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นแสดงว่าจะต้องมีความสัมพันธ์กันระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงของแต่ละปริภูมิ ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะมีลักษณะเป็น Two scale property ตามลักษณะสมบัติข้อที่ 5 ของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

$$f(x) \in V^j \Leftrightarrow f(2x) \in V^{j+1} \quad ; j \in \mathbb{Z} \quad (5.24)$$

ดังนั้นเมื่อนำลักษณะสมบัติในสมการที่ 5.24 มารวมกับลักษณะสมบัติความเป็นลักษณะเชิงตั้งฉาก ของฟังก์ชันสเกลลิงภายใน V^0 จะทำให้สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงภายในปริภูมิ V^j ใดๆ ได้ดังสมการที่ 5.25 ซึ่งจะเห็นว่าที่ระดับความละเอียดต่ำลงมาหนึ่งระดับ ฟังก์ชันพื้นฐานจะมีความถี่ลดลงมาครึ่งละสองเท่า

$$\phi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \phi(2^j t - k) \quad ; j, k \in \mathbb{Z} \quad (5.25)$$

$$\langle \phi_{j,k}, \phi_{j,l} \rangle = \delta_{k,l} \quad ; j, l, k \in \mathbb{Z} \quad (5.26)$$

$$V^j = \text{Close}_{L^2(\mathbb{R})} \{ \phi_{j,k}(t) \} \quad ; k \in \mathbb{Z} \quad ; j \in \mathbb{Z}$$

ในสมการที่ 5.25 แฟกเตอร์ $2^{j/2}$ มีไว้เพื่อทำให้ค่า norm ของสัญญาณ $\phi(t)$ มีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอ ($\| \phi_{j,k}(t) \|_2 = \| \phi(t) \|_2 = 1$) เนื่องจากการเพิ่มหรือลดความถี่สัญญาณจะทำให้พลังงานหรือขนาดของสัญญาณเปลี่ยนไป ดังนั้นเพื่อให้พลังงานของฟังก์ชันสเกลลิงยังคงเท่ากับหนึ่งไม่มีผลกระทบกับสัญญาณโดยรวม จึงต้องมีแฟกเตอร์นี้คูณอยู่เสมอจะสังเกตว่าผลของการ Inner Product ยังคงเป็นไปตามสมการที่ 5.23 ถึงแม้สัญญาณจะถูกลดความถี่ไปก็ตาม

อาศัยลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด จะทำให้สามารถทำการประมาณสัญญาณ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ ไปอยู่ในปริภูมิที่ระดับความละเอียด j ใดๆ ก็ได้ ดังสมการที่ 5.27

$$f_j(t) = \sum_k C_k^j \phi_{j,k}(t) \quad (5.27)$$

โดยที่ C_k^j เป็นสัมประสิทธิ์หรือนำหนักที่คูณกับฟังก์ชันสเกลลิงที่ตำแหน่ง k ใดๆ แล้วประกอบขึ้นเป็น $f(t)$ ที่ระดับความละเอียด j นั้นๆ

จากลักษณะคุณสมบัติข้อที่ 4 ของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด การวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่ำลงจะทำให้พลังงานหรือสัญญาณบางส่วนหายไปอยู่ในปริภูมิอีกอันหนึ่ง ซึ่งจะเรียกว่า “ปริภูมิของเวกเตอร์เวฟเลต”(Wavelet vector space : W^j) ปริภูมินี้จะคล้ายกับปริภูมิของเวกเตอร์ นั่นคือสัญญาณภายใน W^j จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันพื้นฐาน เช่นเดียวแต่เรียกว่า “ฟังก์ชันเวฟเลต” (Wavelet Function : $\psi(t)$) ดังนั้นจะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ของสัญญาณองค์ประกอบในปริภูมิที่ความละเอียดใดๆ ได้เป็น

$$W^j = \text{Close}_{L^2(\mathbb{R})} \{ \psi_{i,k}(t) \} ; k \in \mathbb{Z} \quad (5.28)$$

คล้ายกับสมการที่ 5.25 จะสามารถเขียนสมการฟังก์ชันเวฟเลตที่ระดับความละเอียดใดๆ ได้ ดังสมการที่ 5.29

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad ; j, k \in \mathbb{Z} \quad (5.29)$$

ถ้ากำหนดให้ $g(t)$ เป็นสัญญาณที่เกิดจากฟังก์ชันพื้นฐาน : $\psi_{j,k}(t)$ ภายในปริภูมิ W^j เดียวกันมารวมกันเป็นสัญญาณใดๆ จะได้ว่า

$$g_j(t) = \sum_k d_k^j \psi_{j,k}(t) \quad (5.30)$$

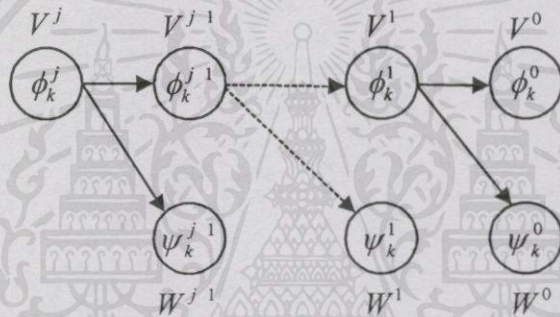
โดยที่ d_k^j เป็นสัมประสิทธิ์หรือนำหนักที่คูณอยู่กับฟังก์ชันเวฟเลตที่ตำแหน่งนั้นๆ เพื่อให้เกิดสัญญาณเป็นสัญญาณ $g(t)$ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ความสัมพันธ์ $W^j + W^j = W^{j+1}$ และจากสมการที่ 5.27 และ 5.30 จะได้ว่า ไปใช้

$$f_{j+1} = f_j + g_j \quad (5.31)$$

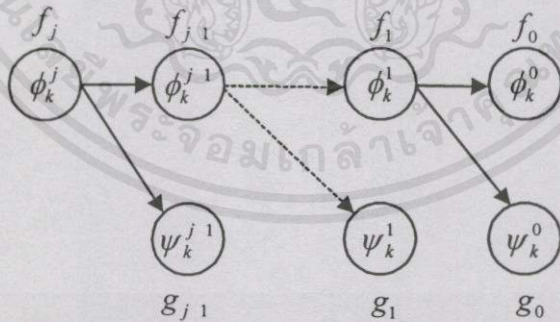
สมมุติให้ $f(t) \in V^{j+1}$ จะสามารถแตกกระจายให้ $f(t)$ ให้มีความละเอียดน้อยลงได้จากสมการ $V^j + W^j = V^{j+1}$ ซึ่งในขณะเดียวกัน V^j สามารถแตกต่อไปได้เรื่อยๆจนกระทั่ง $j = 0$ ดังนั้นจะได้เป็นความสัมพันธ์ว่า

$$V^j = V^0 + W^0 + W^1 + \dots + W^j$$

ในทำนองเดียวกัน f_{j+1} ก็สามารรถแตกกระจายเป็น f_j และ g_j ซึ่งก็สามารถเขียนเป็นแผนภูมิแสดงการแตกกระจายปริภูมิของสัญญาณได้ดังภาพที่ 5.13 และภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.13 ลักษณะการแตกกระจายของปริภูมิของเวกเตอร์



ภาพที่ 5.14 ลักษณะการแตกกระจายสัญญาณ f_j ไปยังระดับความละเอียดต่างๆ กัน

f และ g ที่ลดระดับความละเอียดลงมาจะมีความถี่ของฟังก์ชันพื้นฐาน ลดลงครึ่งละสองเท่าเสมอตามลักษณะข้อที่ 5 ของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด

W^j ที่ระดับความละเอียดใดๆ จะมีลักษณะเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) ซึ่งกันและกันเสมอเนื่องจากสัญญาณภายในปริภูมิของเวฟเลตที่ระดับ j ต่างกันจะไม่มีสัญญาณเกี่ยวข้องกันเลย ดังนั้น

จะสามารถเปลี่ยนการบวกกันแบบตรงๆ ของปริภูมิ (Direct sum) เป็นการบวกในลักษณะแบบการบวกเชิงตั้งฉาก (Orthogonal Sum) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังนี้

$$V^j = V^0 \oplus W^0 \oplus W^1 \oplus \dots \oplus W^j$$

สัญกรณ์องค์ประกอบย่อยที่อยู่ในปริภูมิของเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดใดๆ ซึ่งเรียกว่า “ฟังก์ชันเวฟเล็ตพื้นฐาน” (Wavelet basis function) จะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ [10] ตามลักษณะสมบัติเชิงตั้งฉาก เพื่อเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสมและสะดวกในการสร้างฟังก์ชันเวฟเล็ต

(1) Orthogonal Wavelets : ψ

จะหมายถึง $\{\psi_{i,k}\}$ ที่มีเงื่อนไขดังนี้

$$\langle \psi_{j,k}, \psi_{l,m} \rangle = \delta_{j,l} \delta_{k,m} \quad ; j, l, k, m \in \mathbb{Z}$$

ซึ่งหมายถึงผลของการ Inner Product ของเวฟเล็ตจะเป็นหนึ่งได้เมื่อเป็นเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดเดียวกันและตำแหน่งเดียวกันเท่านั้น

(2) Semi-orthogonal Wavelet : ψ

จะหมายถึง $\{\psi_{i,k}\}$ ที่มีเงื่อนไขดังนี้

$$\langle \psi_{j,k}, \psi_{l,m} \rangle = 0 \quad j \neq l \quad ; j, l, k, m \in \mathbb{Z}$$

ซึ่งหมายถึง ผลของการ Inner Product ของเวฟเล็ตจะเป็นศูนย์เสมอถ้าต่างระดับความละเอียดกันแต่ถ้าเป็นระดับความละเอียดเดียวกันอาจจะเป็นศูนย์หรือหนึ่งก็ได้ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าทุก Orthogonal Wavelet จะเป็น Semi-orthogonal wavelet เสมอ

(3) Nonorthogonal Wavelet : ψ

หมายถึงเวฟเล็ตที่ไม่เป็น Semi-orthogonal Wavelet

(4) Bi-orthogonal Wavelet : ψ

จะหมายถึง $\{\psi_{i,k}\}$ ที่มีเงื่อนไขดังนี้

$$\langle \psi_{j,k}, \tilde{\psi}_{l,m} \rangle = \delta_{j,l} \delta_{k,m} \quad ; j, l, k, m \in \mathbb{Z}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้ซึ่งนำเอกสารนี้ไปคัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
หมายถึงฟังก์ชันเวฟเล็ต $\psi(t)$ จะมีคุณสมบัติเป็นลักษณะเชิงตั้งฉากกับ Dual : $\tilde{\psi}(t)$ ของมันเท่านั้น ถ้าพิจารณาคุณสมบัติเชิงตั้งฉาก $\psi_{i,k}(t)$ ด้วยกันจะไม่มีคุณสมบัตินี้

จากการที่ได้ทราบถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในปริภูมิมาแล้ว ในส่วนต่อไปนี้จะอธิบายให้เห็นความสัมพันธ์ของส่วนประกอบเหล่านี้ระหว่างปริภูมิที่ต่างกัน

ถ้ากำหนดให้ $\phi(t) \in V^0$ และ $V^0 \subset V^1$ จากสมการที่ 5.25 จะได้ว่าฟังก์ชันสเกลลิ่งที่ระดับ $j=1$ คือ $2^{1/2}\phi(2t-n)$ จะเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิ่งใน $V^0(\phi(t))$ และ $V^1(\phi(2t-n))$ ได้ดังนี้

$$\phi(t) = \sum_n \overline{h_0(n)} \phi(2t-n) \quad (5.32)$$

เทอมสัมประสิทธิ์ $\overline{h_0(n)}$ จะใช้สำหรับลดจำนวนของฟังก์ชันสเกลลิ่งลงมารั้งหนึ่งซึ่งจะทำให้ความถี่ของฟังก์ชันสเกลลิ่งลดลงน้อยตามที่ได้กล่าวมาแล้วสังเกตว่าเทอมของการ Normalize $2^{1/2}$ หายไปเนื่องจากจะถูกรวมอยู่ใน $\overline{h_0(n)}$ ซึ่งจะอธิบายอย่างละเอียดอีกครั้งในหัวข้อต่อไป

จากลักษณะสมบัติของปริภูมิของเวกเตอร์จะสามารถกล่าวได้ว่า ถ้า $f(t) \in V^j$ จะทำให้สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $f(t)$ กับฟังก์ชันพื้นฐาน ที่ระดับความละเอียด j ใดๆ ได้ดังนี้

$$f_j(t) = \sum_n c_j(n) \phi_{j,n}(t) \quad (5.33)$$

ซึ่งจะหมายความว่า $f(t)$ จะเกิดจากฟังก์ชัน $\phi_{j,n}(t)$ ที่ระดับความละเอียด j และมีจำนวน k เทอมคูณกับค่าน้ำหนัก $c_j(n)$ ที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งค่าน้ำหนักนี้จะสามารถหาได้จากการโปรเจกชัน สัญญาณ $f(t)$ ด้วย $\phi_{j,n}(t)$ ดังแสดงในสมการที่ 5.34

$$c_j(n) = \langle f(t), \phi_{j,n}(t) \rangle \quad (5.34)$$

ในขณะเดียวกันถ้าพิจารณาสัญญาณ $f(t)$ ในระดับความละเอียดสูงขึ้นไป $j+1$ ซึ่งแสดงว่า $f(t) \in V^{j+1}$ ด้วยดังนั้นจึงสามารถเขียนได้ว่า

$$f_{j+1}(t) = \sum_n c_{j+1}(n) \phi_{j+1,n}(t) \quad (5.35)$$

จากการที่ $V^j \subset V^{j+1}$ นั้นแสดงว่าเซตของฟังก์ชัน $\phi(2^{j+1}t-n)$ จะถูกลดทอนด้วยเฟกเตอร์สองในแกนเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับฟังก์ชัน $\phi(2^j t-m)$ ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ดังนั้นปริภูมิ V^{j+1} จะมีความละเอียดของสัญญาณเป็นสองเท่าของสัญญาณในปริภูมิ V^j เพราะฉะนั้น

ความละเอียดของปริภูมีย่อยๆ จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในลักษณะสองยกกำลัง ซึ่งจะดูเหมือนเป็นการหดหรือการขยายความละเอียดนั่นเอง (Dyadic Multi resolution or Dyadic Scaling Function)

5.2.5 การหดและการขยายของเวฟเล็ต

จากการที่สามารถทำการลดระดับความละเอียดของสัญญาณ $f(t)$ ให้น้อยลงได้โดยส่วนรายละเอียดที่หายไปจะอยู่ในปริภูมิที่เป็น Orthogonal Complement กับ V^j นั่นคือ

$$V^{j+1} = V^j \oplus W^j \quad (5.36)$$

สัญญาณใน W^j ก็จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันพื้นฐานเวฟเล็ตคือ

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (5.37)$$

โดยมี $\psi(t)$ จะเป็นเวฟเล็ตแม่จากการที่รายละเอียดของสัญญาณ $f(t)$ ปากฎอยู่ในปริภูมิทั้งสองส่วน ดังนั้นแสดงว่าจะเกิดเป็นสัญญาณใหม่ $g(t)$ ที่เป็นส่วนประกอบภายในของ $f(t)$ อยู่ใน W^j ซึ่ง $g(t)$ จะเป็นไปตามสมการที่ 5.38

$$g_j(t) = \sum_n d_j(n) \psi_{j,n}(t) \quad (5.38)$$

โดยที่ $d_j(n)$ เป็นสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการ โปรเจกชันเชิงตั้งฉาก (Orthogonal Projection) สัญญาณ $f(t)$ ด้วย $\psi_{j,n}(t)$ ดังแสดงในสมการที่ 5.39

$$d_j(n) = \langle f(t), \psi_{j,n}(t) \rangle \quad (5.39)$$

แต่เนื่องจาก $W^j \subset V^{j+1}$ และ $g_j(t) \in W^j$ แสดงว่า $g_j(x)$ จะต้องเกิดจากฟังก์ชันสเกลถึง $\phi_{j+1,n}(t)$ ที่ระดับ V^{j+1} ถ้าพิจารณาระดับสัญญาณที่ V^0 เพื่อพิจารณาหาฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ จะทำให้เขียนเป็นความสัมพันธ์กับฟังก์ชันสเกลถึงที่ระดับความละเอียด $j=1$ ใน V^1 ได้ดังนี้

$$\psi(t) = \sum h_1(n) \phi(2t - n) \quad (5.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมสัมประสิทธิ์ $\overline{h_1(n)}$ จะใช้สำหรับเปลี่ยนฟังก์ชันสเกลลิงเป็นฟังก์ชันเวฟเลต โดยมีจำนวนลดลงมาครึ่งหนึ่งสังเกตว่าเทอม Normalize $2^{1/2}$ หายไปเนื่องจากถูกรวมอยู่ใน $\overline{h_1(n)}$ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดอีกในหัวข้อต่อไป

จากความสัมพันธ์ $V^{j+1} = V^j \oplus W^j$ แสดงว่าในขณะเดียวกัน V^j ก็สามารถแตกได้เป็น $V^j = V^{j-1} \oplus W^{j-1}$ และยังคงใช้เทอมสัมประสิทธิ์ $\overline{h_0(n)}$ และ $\overline{h_1(n)}$ ในการแตกปริภูมิ ดังนั้นจะสามารถเขียนเป็นสัมพันธ์ของการแตกกระจายปริภูมิ (Decomposition vector space) ได้ดังนี้

$$L^2(\mathbb{R}) = V_j \oplus W_j \oplus W_{j-1} \oplus \dots \oplus W_{-1} \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \quad (5.41)$$

โดยที่ j เป็นระดับความลึกของการแตกกระจายจากสมการที่ 2.54 จะแสดงให้เห็นว่าสัญญาณใดๆ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ จะสามารถถูกแตกกระจายออกในลักษณะของผลรวมของสัญญาณในปริภูมิย่อยที่ประกอบด้วยฟังก์ชันสเกลลิง กับสัญญาณในปริภูมิย่อยหลายๆ ชุดที่แต่ละชุดประกอบด้วยฟังก์ชันเวฟเลตที่มีการหดหรือขยายความถี่ (Dyadic wavelet)

เปรียบเทียบกับสมการ 5.37 กับสมการของการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง จะพบว่าฟังก์ชันเวฟเลต $|a|^{1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ซึ่งมีลักษณะของสัญญาณที่มีการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่อย่างต่อเนื่อง จะเปลี่ยนเป็นฟังก์ชันเวฟเลต $\psi_{i,k}(t) = 2^{i/2} \psi(2^i t - k)$ ที่มีการเลื่อนตำแหน่งและเปลี่ยนความถี่แบบแบ่งช่วง โดยที่ $a = 2^{-i}, b = 2^{-i}k; i, k \in \mathbb{Z}$ ดังนั้นรายละเอียดความต่อเนื่องการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่องจะถูกตัดออกไป

5.2.6 การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงและการแปลงกลับเวฟเลต

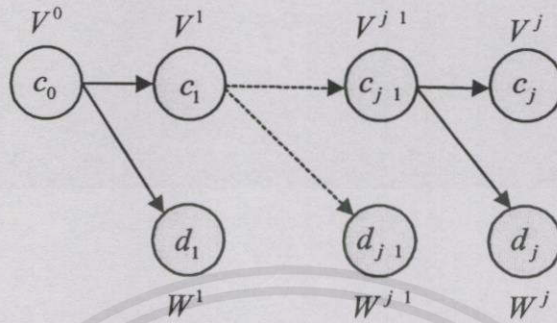
ในทางปฏิบัติสัญญาณที่วิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์จะเป็นการสุ่ม (Sampling) สัญญาณเข้ามาในจำนวนที่จำกัด ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $c_0(m)$ เป็นเซตของสัมประสิทธิ์ของสัญญาณอินพุตจำนวน m ตัวและกำหนดให้ระดับความละเอียดของสัญญาณเริ่มต้นที่ศูนย์ จะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

$$f(t) \in V_0; f(t) \subset L^2(\mathbb{R}) \quad (5.42)$$

$$V_0 = W_0 \oplus \dots \oplus W_{j+2} \oplus W_{j+1} \oplus W_j \oplus V_j \quad (5.43)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่มีการ
สมการที่ 5.32 จะเป็นสมการการแตกกระจายสัญญาณ $f(t)$ ในปริภูมิ V^0 ไปจนถึงระดับความละเอียดที่ j ดังนั้นเทอมสัมประสิทธิ์ $c_0(m)$ จะถูกแตกเป็นสัมประสิทธิ์ในเซตของ $c_j(m)$

ในปริภูมิ V^j และกลุ่มของเซต $d_0(m), d_1(m), \dots, d_j(m)$ ซึ่งอยู่ในเวฟเล็ตปริภูมิที่ระดับความละเอียดต่างๆ กัน ขบวนการดังกล่าวนี้จะเป็นลักษณะของวิธีการ “การแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วง”(Discrete Wavelet Transform : DWT) นั้นเองดังแสดงในภาพที่ 5.15



ภาพที่ 5.15 ลักษณะของการแจกแจงสัมประสิทธิ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ต

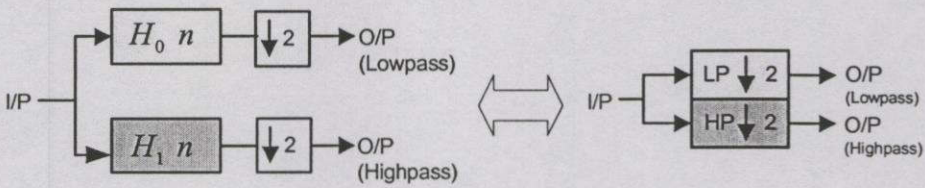
5.2.6.1 การแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการของ Analysis filter banks

ขบวนการแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วง จะมีลักษณะคล้ายกับขบวนการของ Octave filter banks เนื่องจากการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง ที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละสองเท่า ก็เปรียบเสมือนกับการนำสัญญาณอินพุตนั้นผ่านวงจรฟิลเตอร์ที่มีแบนด์วิทที่มีอัตราการลดลงสองเท่าเหมือนแบนด์วิทของฟังก์ชันหน้าต่าง ในขณะนั้นนั่นเอง ดังนั้นจะสามารถนำเอาหลักการของ Filter banks มาใช้ในการแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วง ในทางปฏิบัติได้ ก่อนที่จะอธิบายการแปลงเวฟเล็ตแบบแบ่งช่วงในลักษณะของ Filter banks จะขออธิบายหลักการพื้นฐานของ Filter banks ก่อน[12]

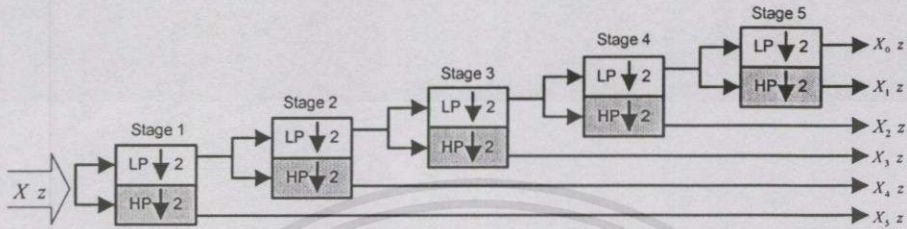
(1) Octave analysis filter banks

Two channel filter banks เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนความถี่ต่ำและความถี่สูง ดังนั้น Two channel filter banks จึงประกอบด้วยวงจรที่เป็น Lowpass filter : $H_0(z)$ และ Complementary highpass filter : $H_1(z)$ ซึ่งในส่วนของ Highpass จะใช้ในการแยกความถี่ในแบนด์ที่ที่ต้องการออกมา (Band-seperating filter) ดังแสดงในภาพที่ 5.16 และภาพที่ 5.17 ลักษณะของ Octave analysis filter banks จะเป็นแบบโครงสร้างต้นไม้ (Tree structure) ซึ่งเป็นการนำเอา Two channel filter banks มาเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาท์พุทในส่วนความถี่ต่ำจากวงจร Lowpass filter มาทำการแยกแบนด์ความถี่ออกอีกครั้งหนึ่งดังแสดงในภาพที่ 5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



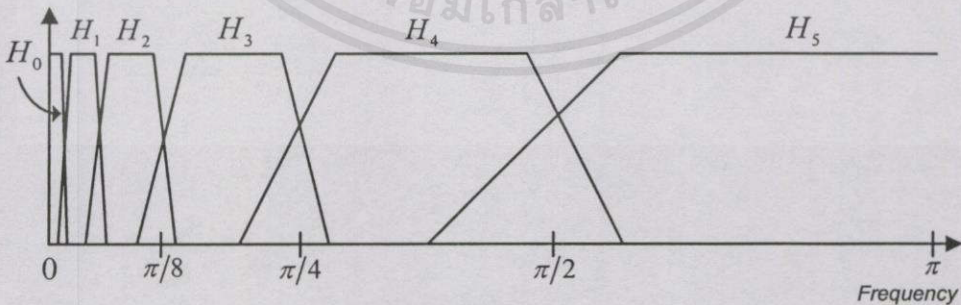
(ก) Two channel filter banks หรือ Band separator



(จ) Tree structure octave analysis filter banks

ภาพที่ 5.16 ลักษณะของ Octave analysis filter banks

ใน Two channel filter banks ชุดแรก จะทำการแยกสัญญาณความถี่สูงครึ่งค่านบนซึ่งจะได้สัญญาณ $X_5(z)$ และสัญญาณความถี่ต่ำครึ่งค่านล่างออกจากกัน จากนั้นจะนำสัญญาณความถี่ต่ำครึ่งค่านล่างมาทำการแยกแบนด์ความถี่ออกครั้งหนึ่งอีกครั้ง โดยครึ่งบนทางความถี่สูงจะได้เป็นสัญญาณ $X_4(z)$ และจะนำส่วนความถี่ต่ำไปแยกแบนด์ต่อไปเรื่อยๆ ตามระดับที่ต้องการ ในภาพที่ 5.17 จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะของแบนด์ความถี่ที่ถูกแบ่งออกไปเรื่อยๆ สัมพันธ์กับการสุ่มของสัญญาณอินพุท $X(z)$ อัตราสุ่มจะลดลงสองเท่า ซึ่งจะหมายถึงจำนวนค่าที่ถูกรวมจะลดลงสองเท่าในแต่ละสเตชันเอง Transfer function ของ filter banks ในแต่ละระดับจะหาได้จากสมการ $H_i(z) = X_i(z) / X(z), i = 0...5$



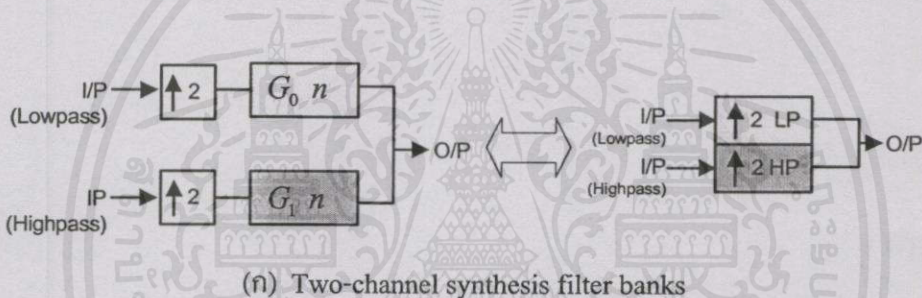
ภาพที่ 5.17 ลักษณะของการแยก Frequency bands ของ Octave filter bank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการ Cut off frequency จะมีค่าลดลงครึ่งละสองเท่า ดังนั้นจึงเรียกว่า Octave filter banks และจากภาพที่ 5.17 จะสังเกตว่า Absolute transition bandwidth (เอาที่พหุ Lowpass) จะลดลงในอัตรา

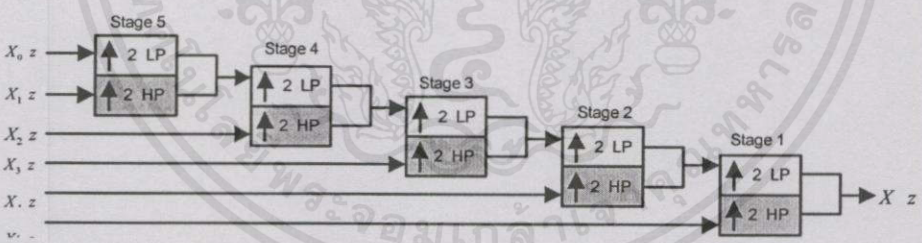
สองเท่า โดยลดลงไปในทางความถี่ที่ต่ำลง และ Transfer function $H_0(z)$ จะเป็นส่วน Lowpass ครั้งสุดท้าย และ $H_5(z)$ จะเป็นส่วน Highpass ในขณะที่ Transfer function อื่นๆ จะมีลักษณะเป็น Bandpass ดังนั้น Filter banks จึงมีความสามารถในการแยกแบนด์ความถี่ต่างๆ ออกมา(Band-seperating filter)

(2) Octave synthesis filter banks

ภาพที่ 5.18 จะแสดงลักษณะของ Octave synthesis filter banks ซึ่งจะเป็น โครงสร้างที่กลับกันของ Octave analysis filter banks ในภาพที่ 5.16 ถ้าทำการเชื่อมต่อ Filter banks ทั้งสองแบบเข้าด้วยกัน จะได้สัญญาณเอาต์พุต $X'(z)$ ออกมาซึ่งจะเป็นค่าประมาณของ $X(z)$ ถ้า รูปแบบของ Transfer function $H_0(z), H_1(z), G_0(z)$ และ $G_1(z)$ ทั้ง 4 ชุดเป็นแบบ Perfectly reconstructing two channel filter banks [12] แล้ว Octave filter banks จะเป็น Perfectly reconstructing นั่นคือ $X'(z)$ เท่ากับ $X(z)$ []



(ก) Two-channel synthesis filter banks



(ข) Octave synthesis filter banks

ภาพที่ 5.18 ลักษณะของ Octave synthesis filter banks

(3) การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงโดยใช้ Analysis filter banks

ในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการพิจารณาการแจกแจงสัมประสิทธิ์ของการโปรเจกต์สัญญาณในปริภูมิ V^{j+1} ไปในปริภูมิย่อย V^j และ W^j ซึ่งเป็นการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงหนึ่งระดับในรูปแบบของการวิเคราะห์ด้วย Filter banks โดยอาศัยหลักการของ Two channel analysis filter banks

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

$$f_{j+1}(t) = \sum_n c_{j+1}(n) \phi_{j+1,n}(t) \in V^{j+1} \quad (5.44)$$

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

$$f_{j+1}(t) = \sum_m c_j(m) \phi_{j,m}(t) + \sum_m d_j(m) \psi_{j,m}(t) \quad (5.45)$$

ในทางปฏิบัติการโปรเจกชันจะเป็นการหาค่าของ $c_j(m)$ และ $d_j(m)$ จาก $c_{j+1}(n)$ และ ขณะเดียวกันฟังก์ชันพื้นฐาน $\phi_{j+1,m}(t)$ ของปริภูมิ V^{j+1} สามารถถูกแบ่งออกเป็นเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน $\phi_{j,m}(t)$ ในปริภูมิ V^{j+1} โดยใช้สมการที่ 5.46 ซึ่งพิสูจน์มาจากสมการที่ 5.25 และ 5.32

จะได้ว่า

$$\phi_{j,m}(t) = 2^{j/2} \sum_v \overline{h_0(v)} \phi(2^{j+1}t - 2m - v) \quad (5.46)$$

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

$$\begin{aligned} \phi_{j,m}(t) &= \sum_v h_0(n - 2m) 2^{(j+1)/2} \phi(2^{j+1}t - n) \\ &= \sum_v h_0(n - 2m) \phi_{j+1,n}(t) \end{aligned} \quad (5.47)$$

ในทำนองเดียวกันฟังก์ชันพื้นฐาน $\phi_{j+1,m}(t)$ ของปริภูมิ V^{j+1} จะถูกแบ่งออกเป็นเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน $\psi_{j,m}(t)$ ในปริภูมิ W^j ด้วยเช่นกัน ดังนั้น $\psi_{j,m}(t)$ สามารถกำหนดได้โดยวิธีเดียวกันเป็นดังสมการที่ 5.48

$$\psi_{j,m}(t) = \sum_n h_1(n - 2m) \phi_{j+1,n}(t) \quad (5.48)$$

ถ้าต้องการหาสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันสเกลลิง $c_j(m)$ จะสามารถหาได้จากสมการที่ 5.49 โดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการที่ 5.34 และ 5.47 ช่วยในการพิสูจน์ดังนี้

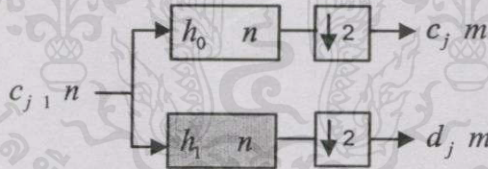
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
c_j(m) &= \langle f(t), \phi_{j,m}(t) \rangle \\
&= \left\langle f(t), \sum_n h_0(n-2m) \phi_{j+1,n}(t) \right\rangle \\
&= \sum_n h_0(n-2m) \langle f(t), \phi_{j+1,n}(t) \rangle \\
&= \sum_n h_0(n-2m) c_{j+1}(n) \\
&= h_0(-n) * c_{j+1}(n) \Big|_{n=2m}
\end{aligned} \tag{5.49}$$

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

$$d_j(m) = h_1(-n) * c_{j+1}(n) \Big|_{n=2m} \tag{5.50}$$

จากสมการที่ 5.49 และ 5.50 จะสามารถเขียนเป็นแผนภูมิในลักษณะของ Two channel analysis filter สำหรับการแจกแจงสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตได้ดังภาพที่ 5.19 ซึ่งจะเป็นการโปรเจกชันสัญญาณไปยังปริภูมิย่อยนั่นเอง



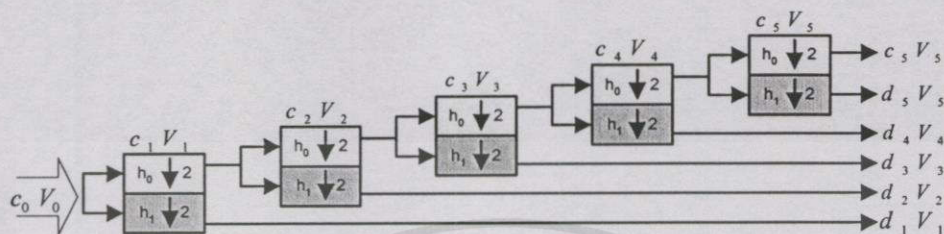
ภาพที่ 5.19 ลักษณะของ Two channel analysis filter banks ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

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

ถ้าพิจารณาคุณสมบัติ Two-scale property : $f(t) \rightarrow f(2t)$ และจากลักษณะสมบัติของการเป็นโครงข่ายของปริภูมิย่อยๆ V^j ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อการวิเคราะห์สัญญาณที่หลายระดับความละเอียด จะพบว่าการโปรเจกชัน V^{j+1} เป็น V^j จะเป็นการลดความถี่ของสัญญาณลงครึ่งหนึ่ง จึงมีลักษณะเป็น Lowpass filter และการโปรเจกชันไปใน W^j จะเป็นส่วนของ Highpass

filter ดังนั้น $h_0(-n)$ และ $h_1(-n)$ จึงเป็น Impulse response ของ Lowpass และ Highpass ตามลำดับ

ในกรณีที่มีการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงซ้ำในแนวของ Lowpass ก็จะกลายเป็นลักษณะของ Dyadic tree structure ซึ่งเหมือนกับขบวนการ Octave filter banks ดังแสดงในภาพที่ 5.20



ภาพที่ 5.20 ลักษณะของการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง โดยใช้ Dyadic tree structure

สัมประสิทธิ์เวฟเลต d_{-1} ถึง d_{-5} จะเปรียบเสมือน Discrete-time bandpass signal หมายถึงสัญญาณในส่วนที่ผ่าน Bandpass filter ที่แบนด์ความถี่ต่างๆ ในขณะที่ c_{-5} ของฟังก์ชันสเกลลิ่งจะเป็น Discrete-time lowpass signal ซึ่งดูได้จากภาพที่ 5.17 โครงสร้างในภาพที่ 5.20 เรียกว่า “การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง” (Discrete Wavelet Transform : DWT)

5.2.6.2 การแปลงกลับเวฟเลตโดยใช้หลักการของ Synthesis filter banks

การแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วงเป็นการแตกกระจายสัญญาณ หรือการโปรเจกต์สัญญาณลงไปนปริภูมิของ V^j และ W^j ซึ่งจะทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลง ดังนั้นการรวมสัญญาณในปริภูมิ V^j และ W^j กลับไปเป็นปริภูมิ V^{j+1} ก็จะเป็นเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ $f(t)$ จากระดับ j ไปเป็นระดับ $j+1$ วิธีดังกล่าวนี้จะเหมือนกับขบวนการ Two channel synthesis filter banks ซึ่งเป็นการหาค่าของ $c_{j+1}(n)$ จากค่า $c_j(m)$ และ $d_j(m)$ การพิสูจน์หาสมการของการรวมสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันสเกลลิ่ง และฟังก์ชันเวฟเลตที่ระดับ j ไปเป็นสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันสเกลลิ่งที่ระดับ $j+1$ จะอาศัยหลักการของการเกิดสัญญาณฟังก์ชันสเกลลิ่ง $\phi_{j+1}(t)$ ใน V^{j+1} จะมาจากการรวมกันของสัญญาณฟังก์ชันสเกลลิ่ง $\phi_j(t)$ ใน V^j กับฟังก์ชันเวฟเลต $\psi_j(t)$ ใน W^j และจะอาศัยความสัมพันธ์จาก $V^1 = V^0 \oplus W^0$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\phi(2t - n) = \sum_k \overline{g_0(k)} \phi(t - k) + \sum_k \overline{g_1(k)} \psi(t - k) \tag{5.51}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ถ้าใช้สมการที่ 5.51 สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ที่ระดับ j ใดๆ ก็ได้ว่า

$$\begin{aligned}\phi_{j-1,n}(t) &= 2^{(j+1)/2} \phi(2^{j+1}t - n) \\ &= \sum_k 2^{1/2} \overline{g_0(k)} 2^{j/2} \phi\left(2^j t - \frac{n}{2} - k\right) + \sum_k 2^{1/2} \overline{g_1(k)} 2^{j/2} \psi\left(2^j t - \frac{n}{2} - k\right)\end{aligned}\quad (5.52)$$

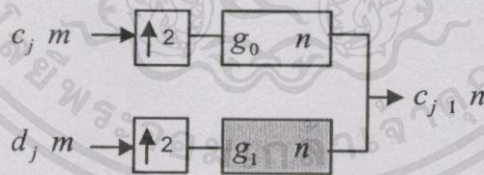
กำหนดให้ $2^{1/2} \overline{g_0(k)} = g_0(-2k)$, $2^{1/2} \overline{g_1(k)} = g_1(-2k)$ และให้ $n + 2k = 2m$ ดังนั้นจากสมการที่ 5.52 จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}\phi_{i+1,n}(t) &= \sum_m g_0(n-2m) 2^{i/2} \phi(2^i t - m) + \sum_m g_1(n-2m) 2^{i/2} \psi(2^i t - m) \\ &= \sum_m g_0(n-2m) \phi_{i,m}(t) + \sum_m g_1(n-2m) \psi_{i,m}(t)\end{aligned}\quad (5.53)$$

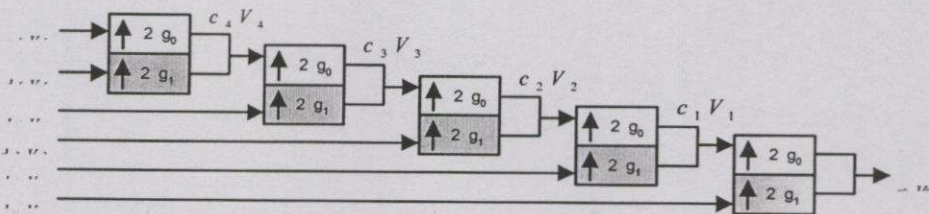
ใช้ความสัมพันธ์ $c_{j+1}(n) = \langle f(t), \phi_{j+1,n}(t) \rangle$ ในสมการที่ (4.16) แต่แทนเทอม $\phi_{j+1,n}(t)$ ด้วยสมการที่ 5.53 จะเป็นดังสมการที่ 5.54

$$\begin{aligned}c_{j+1}(n) &= \sum_m g_0(n-2m) \langle f(t), \phi_{j,m}(t) \rangle + \sum_m g_1(n-2m) \langle f(t), \psi_{j,m}(t) \rangle \\ &= \sum_m g_0(n-2m) c_j(m) + \sum_m g_1(n-2m) d_j(m)\end{aligned}\quad (5.54)$$

จากสมการที่ 5.54 จะเห็นว่าเป็นการรวมกลุ่มสัมประสิทธิ์ของ c_j และ d_j กลับเป็น c_{j+1} ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภูมิของ Synthesis filter banks ได้ดังแสดงในภาพที่ 5.21



ภาพที่ 5.21 ลักษณะของ Two-channel synthesis filter banks



ภาพที่ 5.22 ลักษณะของการแปลงกลับเวฟเล็ด โดยการใช้ Dyadic tree structure

ในภาพที่ 5.22 จะเป็น Tree structure synthesis filter banks เพื่อทำการรวบรวมสัมประสิทธิ์ c_j และ d_j กลับเป็น c_{j+1} อีกครั้ง ขบวนการนี้เรียกว่า “การแปลงกลับเวฟเลต” (Inverse Wavelets Trans Form : IWT) และจะสังเกตเห็นว่า Up sampling digital filter $g_0(n)$ และ $g_1(n)$ จะกระทำกับสัมประสิทธิ์ $c_j(m)$ และ $d_j(m)$ ในกรณีที่เป็นเลขคู่เท่านั้น เช่น สัมประสิทธิ์ $c_j(0)$ จะกระทำกับ $g_0(n)$ และ $c_j(1)$ จะกระทำกับ $g_0(n-2)$

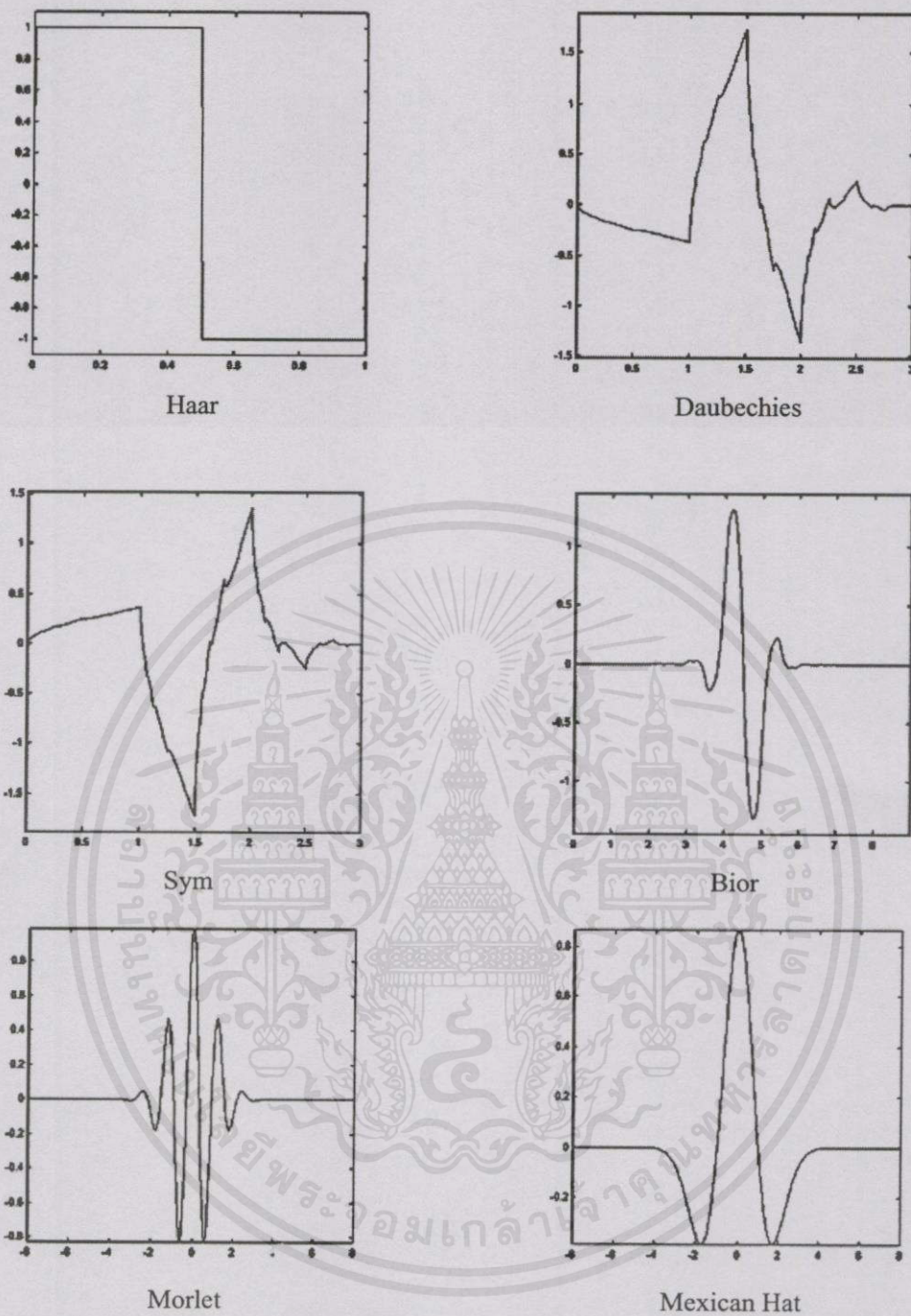
5.3 การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้เวฟเลต

เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการนำเอาทฤษฎีเวฟเลตมาใช้ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์[1] ซึ่งจะอธิบายตั้งแต่วิธีการแปลงเวฟเลตแบบ 2 มิติ ไปจนถึงวิธีการวิเคราะห์หลักขณะเด่นเท็กเจอร์นั้นๆ โดยจะแยกกล่าวเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

5.3.1 การเลือกเวฟเลตแม่สำหรับการแปลงเวฟเลต

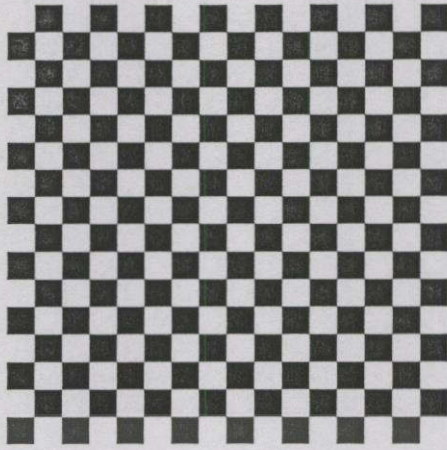
เวฟเลตแม่มีอยู่หลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็จะให้ผลของการแปลงเวฟเลตที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการจะเลือกใช้เวฟเลตแม่แบบใดนั้น จะต้องทำการเลือกฟังก์ชันสเกลลิ่งที่จะนำมาใช้เป็นฟังก์ชันองค์ประกอบพื้นฐานของสัญญาณที่จะทำการวิเคราะห์ ซึ่งสัญญาณที่จะนำมาวิเคราะห์สามารถพิจารณาให้มีฟังก์ชันสเกลลิ่งแบบใดนั้น จะขึ้นอยู่กับความจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้งานนั้นๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าเป็นสัญญาณที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงความต่อเนื่องของข้อมูล ก็สามารถใช้เวฟเลตแม่แบบ Haar เป็นฟังก์ชันพื้นฐานในการแปลงเวฟเลตได้ ซึ่งก็จะทำให้ง่ายต่อการคำนวณ แต่หากต้องการความต่อเนื่องของข้อมูล ก็อาจจะใช้เวฟเลตแม่ที่ให้ความต่อเนื่องมากขึ้น เช่น เวฟเลตแม่แบบ Daubechies เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันถ้าทำการเลือกเวฟเลตแม่ที่มีลักษณะคล้ายกับส่วนประกอบย่อยๆ ของสัญญาณที่ต้องการแปลงเวฟเลต ก็จะทำการแตกกระจายข้อมูลหรือการ โปรเจกชันสัญญาณ สามารถกระทำได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในภาพที่ 5.23 จะเป็นการแสดงถึงลักษณะรูปร่างของเวฟเลตแม่แบบต่างๆ ที่นิยมนำมาใช้ในการแปลงเวฟเลต

ในขั้นตอนของการพิจารณาหาเวฟเลตแม่ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการแปลงเวฟเลต ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม จำเป็นจะต้องจำลองลักษณะ โครงสร้างของเท็กเจอร์ของผ้าไหมขึ้นมา เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับเวฟเลตแม่แบบต่างๆ เหล่านี้ว่าเวฟเลตแม่แบบใดที่จะเหมาะสมที่สุด จากบทที่ 2 เราได้ศึกษาถึงโครงสร้างของผ้าไหมมาแล้วและ โครงสร้างของผ้าไหมโดยทั่วไปจะเป็นแบบ ลายขัดธรรมดา ดังนั้นจึงได้ทำการจำลองลักษณะ โครงสร้างของผ้าไหมได้ดังภาพที่ 5.24 เมื่อนำโครงสร้างที่ได้จำลองขึ้นมาตามภาพที่ 5.24 มาเปรียบเทียบกับลักษณะรูปร่างของเวฟเลตแม่แบบต่างๆ ตามภาพที่ 5.23 ก็จะพบว่าเวฟเลตแม่แบบ Haar จะมีลักษณะที่คล้ายกับโครงสร้างของผ้าไหมที่สร้างจำลองขึ้นมามากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวฟเลตแม่แบบ Haar ในการแปลงเวฟเลตตามวิธีการที่นำเสนอ



ภาพที่ 5.23 ลักษณะรูปร่างของเวฟเล็ตแม่แบบต่างๆ

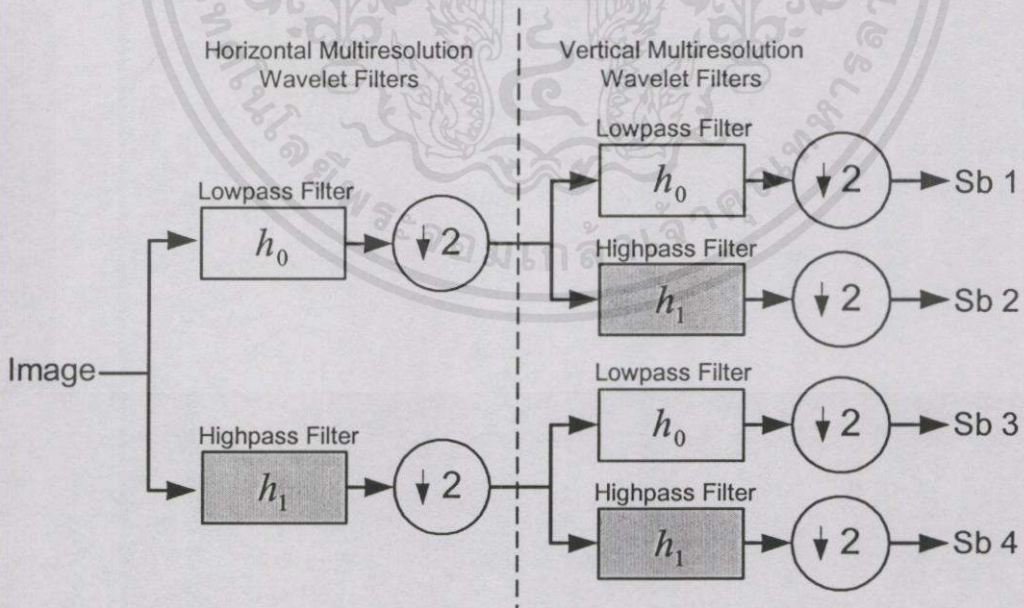
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.24 ลักษณะโครงสร้างของผ้าไหมที่จำลองขึ้นมาตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของผ้าทอ

5.3.2 การแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ

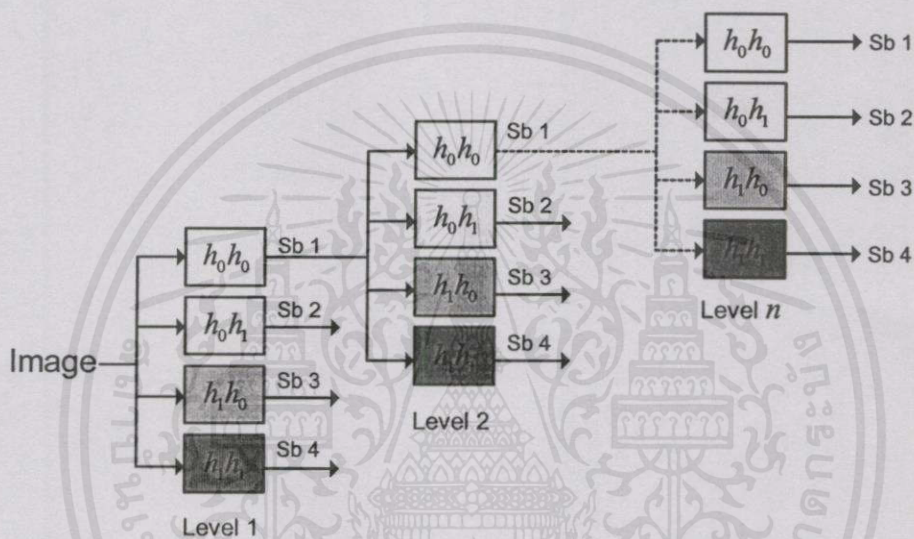
การแปลงเวฟเล็ตข้อมูลภาพนั้นจะเป็นการแปลงเวฟเล็ตในลักษณะ 2 มิติเนื่องจากสัญญาณภาพจะเป็นสัญญาณในลักษณะที่เป็น 2 มิติ ต่างจากสัญญาณทั่วๆ ไป เช่น สัญญาณเสียง หรือ สัญญาณวิทยุ เป็นต้น ดังนั้นในการแปลงเวฟเล็ตในลักษณะที่เป็น 2 มิติในแต่ละระดับจึงต้องแปลงเวฟเล็ตในลักษณะ 1 มิติเป็นจำนวน 2 ครั้ง คือแปลงเวฟเล็ตข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน 1 ครั้งและแปลงเวฟเล็ตข้อมูลที่อยู่ในแนวตั้งอีก 1 ครั้ง



ภาพที่ 5.25 | แผนภาพการแปลงเวฟเล็ตในลักษณะ 2 มิติ 1 ระดับ | เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกหนึ่งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

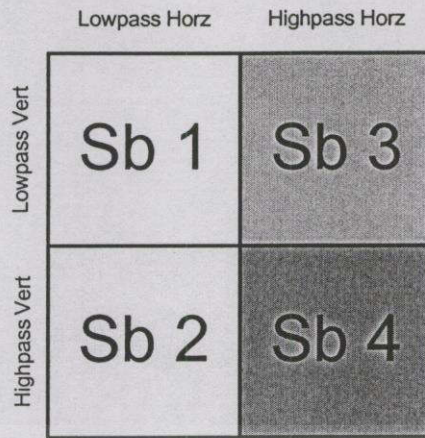
ภาพที่ 5.25 จะเป็นการแปลงเวฟเล็ดในลักษณะที่เป็น 2 มิติ โดยจะสังเกตเห็นว่าในการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ นี้จะใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ดแบบ 1 มิติ มาต่อเชื่อมกัน 2 ชุดโดยในทางปฏิบัติก็จะเป็นการแปลงเวฟเล็ดแบบ 1 มิติกับข้อมูลที่อยู่ในแนวนอน 1 ครั้ง และจากนั้นก็นำผลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดในครั้งแรกนี้มาผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ดแบบ 1 มิติอีกครั้ง แต่ในการแปลงเวฟเล็ดครั้งที่ 2 นี้จะเปลี่ยนแนวในการแปลงเวฟเล็ดมาเป็นแนวตั้งของข้อมูล ดังนั้นหลังจากทำการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ แล้วก็จะได้ข้อมูลออกมาถึง 4 ชุดดังภาพที่ 5.25 และหากจะทำการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ ในหลายๆ ระดับก็จะสามารถแสดงหลักการได้ดังภาพที่ 5.26



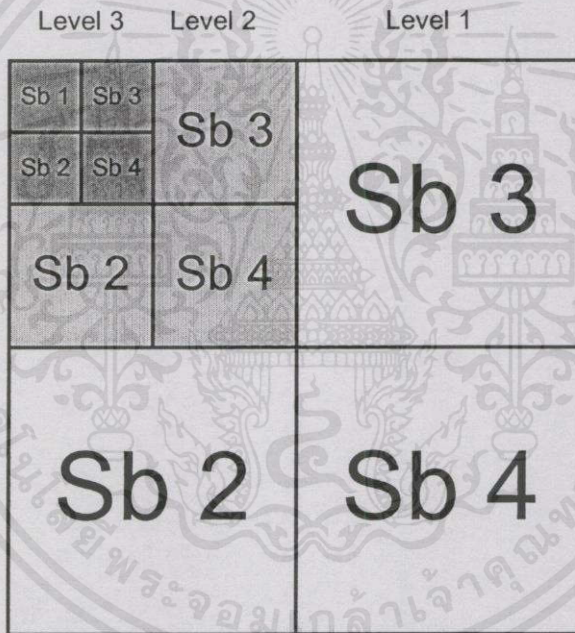
ภาพที่ 5.26 แผนภาพการแปลงเวฟเล็ดในลักษณะ 2 มิติ n ระดับ

ภาพที่ 5.27 และภาพที่ 5.28 จะเป็นการแสดงตำแหน่งของข้อมูลที่ถูกแยกออกเป็นชุดต่างๆ เมื่อผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ โดยในภาพที่ 5.27 จะแสดงตำแหน่งของข้อมูลทั้ง 4 ชุด เมื่อผ่านการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ 1 ระดับ และในภาพที่ 5.28 จะแสดงตำแหน่งของข้อมูลต่างๆ เมื่อผ่านการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.27 แผนภาพแสดงตำแหน่งข้อมูลเมื่อผ่านการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ 1 ระดับ



ภาพที่ 5.28 แผนภาพแสดงตำแหน่งข้อมูลเมื่อผ่านการแปลงเวฟเล็ดแบบ 2 มิติ 3 ระดับ

5.3.3 การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์

จากคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด แสดงให้เห็นว่าสัญญาณชุดเดียวกันแต่อยู่ในปริภูมิที่ต่างกัน ก็จะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ต่างกัน โดยใน ระดับปริภูมิที่สูงก็จะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานมาก ซึ่งจะหมายถึงสัญญาณจะมีความละเอียดสูงนั่นเอง ถ้าให้ช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์สัญญาณในแต่ละปริภูมิเท่ากัน ก็จะพบว่าที่ระดับปริภูมิที่สูงๆ ซึ่งมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานมากแต่ต้องบรรจุลงไป ในปริภูมิที่มีช่วงเวลาที่จำกัด นั่นก็ แสดงว่าฟังก์ชันพื้นฐานแต่ละตัวจะมีช่วงเวลาที่แคบ ซึ่งก็หมายความว่าฟังก์ชันพื้นฐานแต่ละตัวจะ

มีความถี่ที่สูงนั่นเอง ในขณะที่ระดับปริภูมิที่ต่ำกว่าจะมีจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานน้อยกว่า ทำให้ช่วงเวลาของฟังก์ชันพื้นฐานแต่ละตัวกว้างขึ้น นั่นก็แสดงว่าฟังก์ชันพื้นฐานที่ระดับปริภูมิที่ต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่าฟังก์ชันพื้นฐานที่ระดับปริภูมิที่สูงกว่า

เมื่อย้อนกลับ ไปดูถึงคุณสมบัติของเท็กเจอร์ที่จะประกอบไปด้วย เท็กเซล หลายๆ ชุดที่เรียกติดต่อกัน โดยที่เท็กเจอร์เหล่านี้จะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง เช่น ความหยาบ ความละเอียด ความสม่ำเสมอ ความราบเรียบ ที่แตกต่างกันนั้น ก็จะทำให้เท็กเจอร์แต่ละแบบมีองค์ประกอบของความถี่ที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นเมื่อนำเอาเท็กเจอร์เหล่านี้มาผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ต ก็จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับต่างๆ ซึ่งเราสามารถวัดทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้เหล่านี้ว่าจะให้ผลตอบสนองกับช่วงความถี่ใดหรือที่ระดับใดของการแปลงเวฟเล็ต โดยการวัดค่าพลังงานของข้อมูลในแต่ละ Subband และแต่ละระดับของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งเท็กเจอร์แต่ละแบบก็จะให้ผลตอบสนองหรือให้ค่าพลังงานสูงสุดเพียงระดับใดระดับหนึ่งเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเท็กเจอร์เหล่านั้นเอง และเราสามารถจะประมาณได้ว่าข้อมูลใน Subband และระดับที่ให้ค่าพลังงานสูงสุดนั้นคือ ลักษณะของเท็กเจอร์นั้นๆ[13]

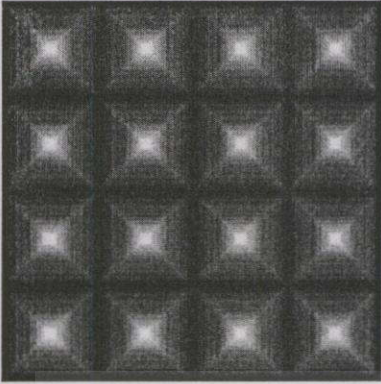
สำหรับการหาค่าพลังงานในแต่ละ Subband และแต่ละระดับจะสามารถหาได้โดยสมการที่

5.55

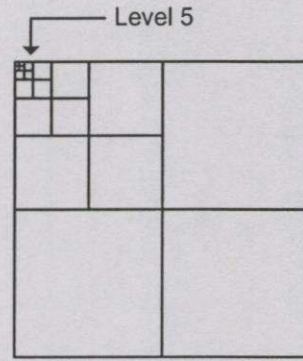
$$E = \frac{1}{M \times N} \left(\sum_i^M \sum_j^N W_{i,j}^2 \right) \quad (5.55)$$

เมื่อ M คือ จำนวนข้อมูลในแนวนอน N คือ จำนวนข้อมูลในแนวตั้ง และ W คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตแต่ละตำแหน่งในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เท็กเจอร์ขนาด 256×256 จุดภาพ

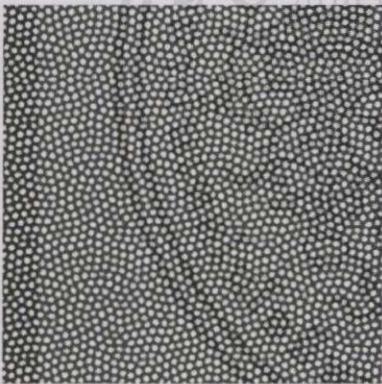


(ข) ตำแหน่งข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์

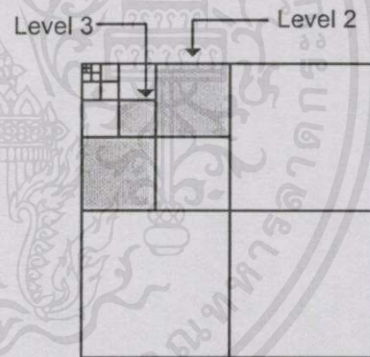
	Level 1 128x128	Level 2 64x64	Level 3 32x32	Level 4 16x16	Level 5 8x8	Level 6 4x4	Level 7 2x2	Level 8 1x1
Sb 2	4.309	15.251	60.654	236.740	935.040	59.641	2.664	1.484
Sb 3	4.309	15.247	60.657	236.73	934.980	59.668	3.320	1.055
Sb 4	0.472	1.528	10.552	79.768	623.060	1.205	0.301	0.258

(ค) ค่าพลังงาน

ภาพที่ 5.29 ตัวอย่างเท็กเจอร์ทั่วไป 1 และค่าพลังงานในแต่ละระดับ



(ก) เท็กเจอร์ขนาด 256×256 จุดภาพ



(ข) ตำแหน่งข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์

	Level 1 128x128	Level 2 64x64	Level 3 32x32	Level 4 16x16	Level 5 8x8	Level 6 4x4	Level 7 2x2	Level 8 1x1
Sb 2	27.880	71.270	48.858	39.284	19.309	14.354	13.199	14.586
Sb 3	27.980	71.626	51.025	29.924	23.457	10.738	9.477	3.023
Sb 4	7.812	41.243	73.218	49.223	21.222	22.109	8.566	2.406

(ค) ค่าพลังงาน

ภาพที่ 5.30 ตัวอย่างเท็กเจอร์ทั่วไป 2 และค่าพลังงานในแต่ละระดับ

พิจารณาเท็กเจอร์ทั่วไป ตามภาพที่ 5.29 และ ภาพที่ 5.30 สังเกตเห็นว่าเท็กเจอร์ในภาพที่ 5.29 จะมีลักษณะของเท็กเจอร์ที่มีความหยาบมากกว่าเท็กเจอร์ในภาพที่ 5.30 นั่นก็หมายความว่า ลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ทั้งสองจะไม่เหมือนกัน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการวิเคราะห์หา ลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ทั่วไป ตามที่ได้นำเสนอมาแล้วในข้างต้น จะเห็นว่าเมื่อนำภาพเท็กเจอร์ทั้ง

2 มาหาลักษณะเด่นตามวิธีการนี้ ลักษณะเด่นของแต่ละเท็กเจอร์จะปรากฏอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของเท็กเจอร์นั้นๆ เอง ดังเช่นเท็กเจอร์ในภาพที่ 5.29 จะมีลักษณะเด่นของ Subband ที่ 2 อยู่ที่ระดับที่ 5 Subband ที่ 3 อยู่ที่ระดับที่ 5 และ Subband ที่ 4 อยู่ที่ระดับที่ 5 ของการแปลงเวฟเล็ทเช่นกัน แต่สำหรับเท็กเจอร์ในภาพที่ 5.30 จะมีลักษณะเด่นของ Subband ที่ 2 อยู่ที่ระดับที่ 2 Subband ที่ 3 อยู่ที่ระดับที่ 2 และ Subband ที่ 4 อยู่ที่ระดับที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะฉีกาหรือทำสำเนาอื่นทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมเพื่อตรวจหาสิ่งผิดปกติ โดยใช้เวฟเล็ต

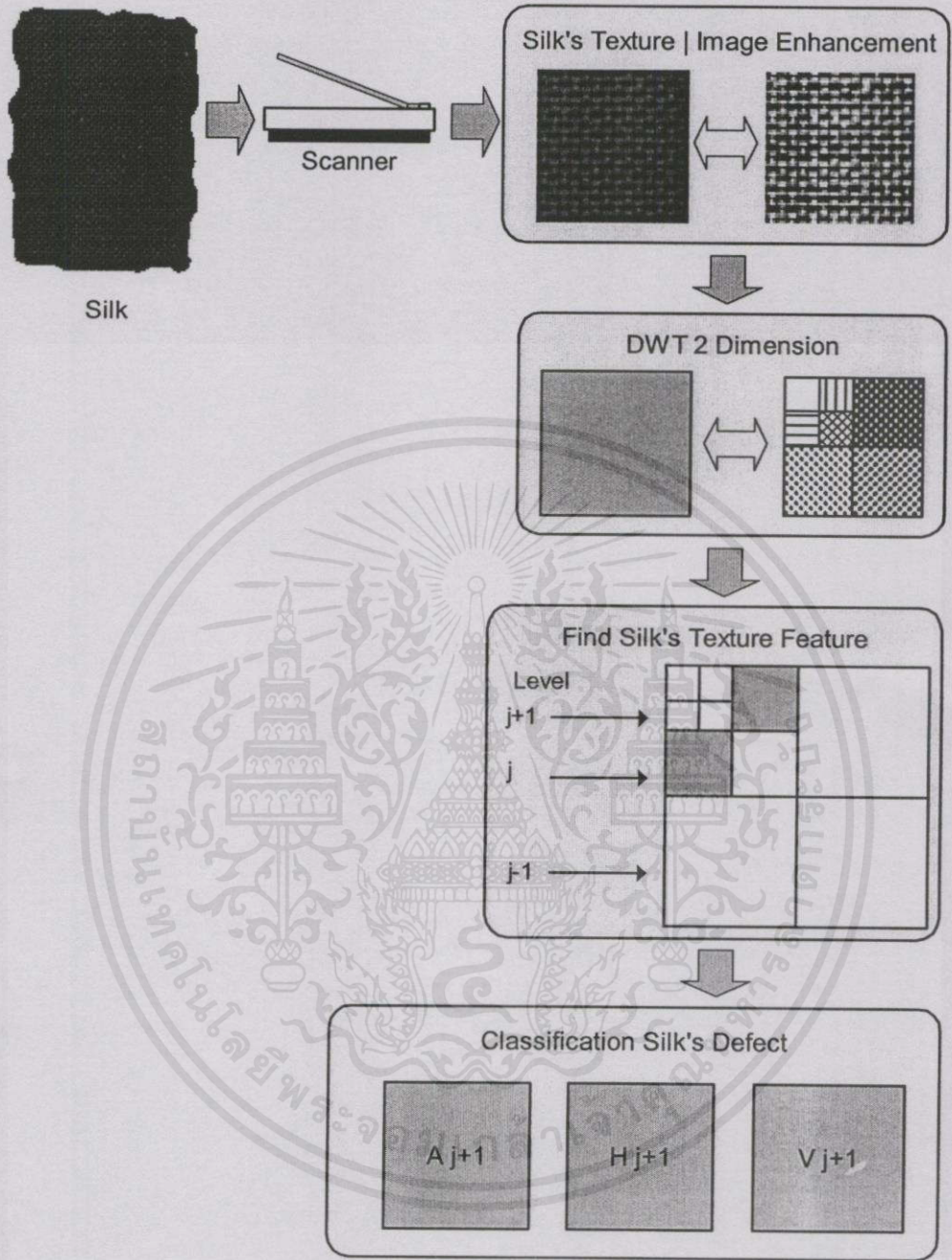
6.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงหลักการต่างๆ ที่นำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งหลักการต่างๆ ที่นำมาใช้นั้นก็ได้มาจากการประยุกต์ใช้ทฤษฎี จากบทที่ผ่านมา มา โดยจะแสดงหลักการโดยรวมทั้งหมดของวิธีการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต และจะกล่าวถึงวิธีการย่อยๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อย่างละเอียดในหัวข้อย่อยถัดไป

6.2 หลักการโดยรวมของงานวิจัย

จากโครงสร้างของผ้าที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา ในงานทางด้านการประมวลผลภาพ จะมองว่านั่นคือ เท็กเจอร์ของผ้า ดังนั้นหลักการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ก็คือ การนำเอาโครงสร้างของผ้าไหม หรือเท็กเจอร์ของผ้าไหมมาวิเคราะห์เพื่อหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของผ้า ตามวิธีการทดสอบสิ่งทอตามมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต เพื่อหาคุณลักษณะของเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้นๆ เนื่องจากคุณสมบัติการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ จะทำให้เราสามารถแยกโครงสร้างของข้อมูลภาพ ออกเป็นข้อมูลโครงสร้างในแนวนอน แนวตั้ง และแนวทแยงได้ จากคุณสมบัตินี้เองจะทำให้สามารถวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมได้ เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างของผ้าไหมที่ได้ศึกษามาจะเป็นการนำด้ายยืน และด้ายพุ่ง มาถักทอขัดกัน ในลักษณะที่เป็นมุมฉากเพื่อให้เกิดเป็นผืนผ้า ดังนั้นหากสามารถแยกข้อมูล โครงสร้างของผ้าไหมให้ออกเป็น โครงสร้างข้อมูลในแนวนอน และแนวตั้งได้ นั่นก็แสดงว่าจะสามารถแยกส่วนของ ด้ายยืน และด้ายพุ่ง ออกมาได้และจะสามารถทำการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้นๆ ได้

ภาพที่ 6.1 จะแสดงขั้นตอนการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยจะแบ่งออกเป็นส่วนๆ ดังนี้คือ ส่วนของการเตรียมภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม ส่วนของการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ส่วนของการแปลงเวฟเล็ต ส่วนของการหาคุณลักษณะของเท็กเจอร์ของผ้าไหม และส่วนของการวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยจะอธิบายถึงในแต่ละส่วนเหล่านี้ อย่างละเอียดอีกครั้งในหัวข้อถัดไป

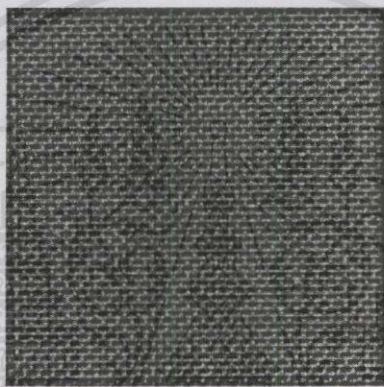


ภาพที่ 6.1 แผนภาพรวมของวิธีการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเลต

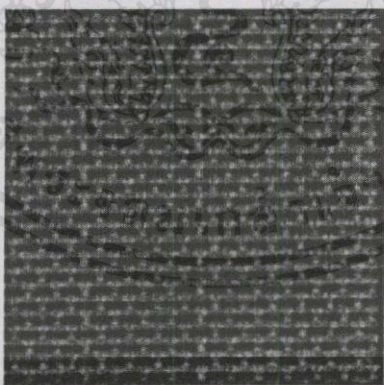
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

6.3 การเตรียมภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม

ในส่วนของการเตรียมภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้น จะเริ่มต้นขบวนการจากการนำผ้าไหมที่ต้องการนำมาทดสอบมาทำการสแกนโดยเครื่องสแกนเนอร์ สำหรับความละเอียดที่ใช้ในการสแกนจะใช้ระดับความละเอียดที่ 512 จุดต่อนิ้ว หรือ 1024 จุดต่อนิ้ว และขนาดภาพที่ทำการสแกนจะใช้ขนาด 1 นิ้ว จะทำให้ได้ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่มีขนาด 512×512 จุดภาพและ 1024×1024 จุดภาพ ตามลำดับแล้วแต่ความละเอียดในการสแกน ส่วนระดับสีที่ใช้ในการสแกนจะใช้เป็นระดับเทา 256 ระดับ เมื่อได้ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมแล้วก็จะนำเข้าไปสู่ขบวนการประมวลผลขั้นต่อไป ซึ่งก็คือ ขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพของภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม



ภาพที่ 6.2 ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จากการสแกนที่ระดับความละเอียด 512 จุดต่อนิ้ว



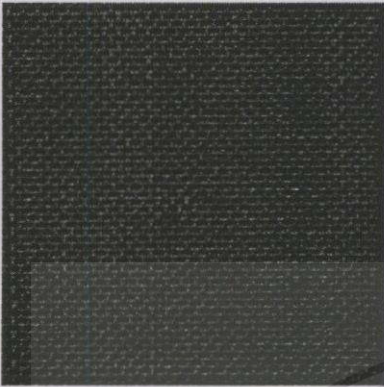
ภาพที่ 6.3 ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จากการสแกนที่ระดับความละเอียด 1024 จุดต่อนิ้ว

6.4 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ

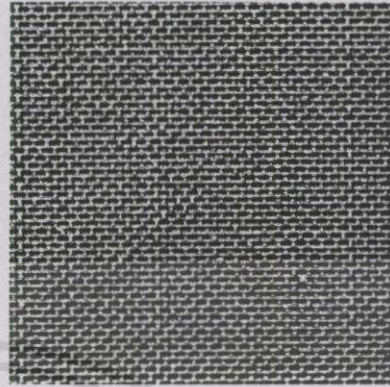
การปรับปรุงคุณภาพของภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการตามทฤษฎีของการปรับปรุงคุณภาพของภาพจากบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ โดยจะใช้วิธีการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพเท็กเจอร์ที่ได้มาจากการสแกน ซึ่งผลที่ได้ก็จะทำให้

สามารถเห็นส่วนที่เป็นเส้นด้ายและส่วนที่เป็นพื้นหลังของภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นกว่าเดิม เพื่อประโยชน์ต่อไปในการนำไปสู่ขั้นตอนของการแปลงเวฟเล็ตเพื่อหาลักษณะของผ้าไหมนี้

เพื่อ



(ก) ภาพต้นฉบับ

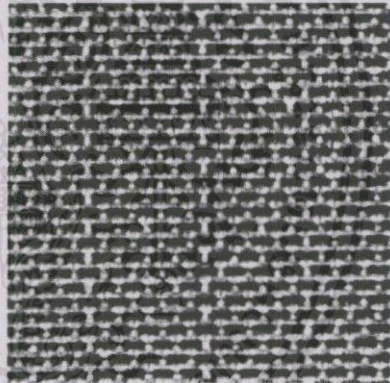


(ข) ภาพที่ผ่านขบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

ภาพที่ 6.4 ภาพเท็กเจอร์ต้นฉบับที่ระดับความละเอียด 512 จุดต่อนิ้วและภาพที่ผ่านขบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ภาพที่ผ่านขบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

ภาพที่ 6.5 ภาพเท็กเจอร์ต้นฉบับที่ระดับความละเอียด 1024 จุดต่อนิ้วและภาพที่ผ่านขบวนการฮิสโตแกรมอีควอไลเซชัน

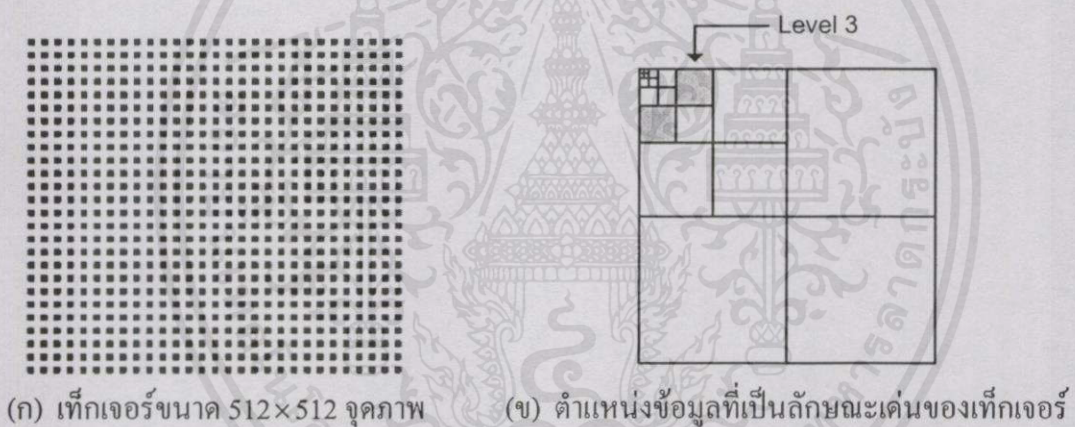
6.5 การแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติสำหรับภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา ทำการแปลงเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยเลือกใช้เวฟเล็ตแม่แบบ Haar ตามที่ได้นำเสนอมาแล้วในบทที่ผ่านมา โดยทำการแปลงเวฟเล็ตไปจนกระทั่งขนาดของ Subband มีค่าเท่ากับ 16×16 จุดภาพ เนื่องจากว่าหากทำเอเคสาร์เป็นเอเคสาร์ที่สว่างไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนลาดให้เข้าไปใช้ประโยชน์จากการแปลงเวฟเล็ตไปจนขนาดของ Subband มีค่าน้อยกว่า 16×16 จุดภาพแล้วข้อมูลที่ได้ก็จะไม่มีลักษณะโครงสร้างของผ้าไหมเหลืออยู่ จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้ ตัวอย่างเช่น ภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมขนาด 256×256 จุดภาพ จะทำการแปลงเวฟเล็ตได้เพียง 4 ระดับเท่านั้น

หากภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมมีขนาด 512×512 จุดภาพ ก็จะทำกรแปลงเวฟเล็ดได้สูงสุด 5 ระดับเท่านั้น

6.6 การวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหม

สำหรับการวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้น ก็จะใช้หลักการเดียวกันกับวิธีการวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ทั่วไปที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา เพียงแต่ในขั้นตอนการทดสอบหาค่าพลังงานนั้นจะทำการทดสอบเฉพาะข้อมูลใน Subband ที่ 2 และ 3 เท่านั้นสืบเนื่องมาจากโครงสร้างของผ้าไหมที่จะมีด้ายยืนและด้ายพุ่งมาดักทอกันในลักษณะตั้งฉากกันเอง จากคุณสมบัตินี้จะทำให้ข้อมูลลักษณะโครงสร้างของผ้าไหมจะปรากฏเฉพาะใน Subband ที่ 2 และ 3 เท่านั้น แต่จะปรากฏอยู่ในระดับใดของการแปลงเวฟเล็ดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นด้ายว่าจะมีขนาดใหญ่หรือเล็ก



(ก) เท็กเจอร์ขนาด 512×512 จุดภาพ

(ข) ตำแหน่งข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์

	Level 1 256x256	Level 2 128x128	Level 3 64x64	Level 4 32x32	Level 5 16x16
Sb 2	0	0	2	0	0
Sb 3	0	0	2	0	0
Sb 4	Don't care				

(ค) ค่าพลังงาน

ภาพที่ 6.6 ตัวอย่างเท็กเจอร์ของผ้าไหมและค่าพลังงานในแต่ละระดับ

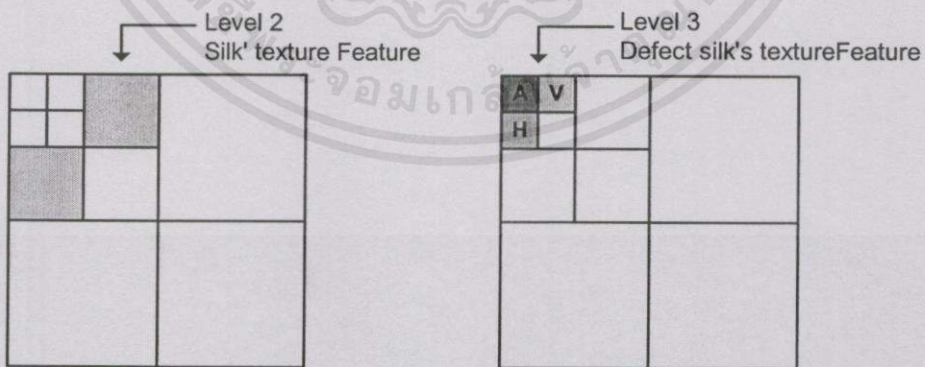
พิจารณาภาพที่ 6.6 ซึ่งเป็นภาพของเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จำลองขึ้นมา เมื่อได้ทำการทดลองหาลักษณะของเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้จำลองนี้ ปรากฏว่าจะมีค่าพลังงานอยู่ใน Subband ที่ 2 และ 3 ของระดับที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ด ดังนั้นก็จะสามารถพิจารณาได้ว่า ลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหมนี้จะอยู่ใน Subband ที่ 2 และ 3 ของระดับที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ด

6.7 การวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม

ในหัวข้อนี้จะเป็นหลักการส่วนที่สำคัญที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ โดยในการพิจารณาหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้นก่อนอื่นจะต้องย้อนกลับไปถึง การตรวจสอบสิ่งทอที่ได้กล่าวผ่านมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการทดสอบลักษณะทั่วไปของผ้าไหม ได้แก่ ความผิดปกติของเส้นด้ายทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่ง เช่น มีด้ายเส้นใดขาดหายไปหรือไม่ หรือการพิจารณาทดสอบผืนผ้าว่ามีส่วนใดขาดเป็นรูหรือไม่เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการตรวจสอบต่อไปนี้คือ ผ้าไหมเป็นรู ด้ายยืนขาด และด้ายพุ่งขาด

6.7.1 การพิจารณาข้อมูลสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราสามารถหาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหมออกมาได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นหลักในการพิจารณาความผิดปกติของเท็กเจอร์ของผ้าไหม จากที่ทราบแล้วว่า โครงสร้างของผ้าไหมจะเป็นลักษณะโครงสร้างแบบลายขัด ดังนั้นหากมีความผิดปกติเกิดขึ้นกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ทำการวิเคราะห์ นั่นก็แสดงว่าจะต้องมีกลุ่มของข้อมูลที่มีค่าความถี่ต่ำกว่าข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหม เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่กำลังทำการวิเคราะห์อยู่ เมื่อเป็นดังนี้เราก็จะทำการพิจารณาหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยจะพิจารณาข้อมูลในระดับของการแปลงเวฟเล็คที่สูงขึ้นไปจากระดับที่วิเคราะห์แล้วว่าเป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้นๆ เนื่องจากข้อมูลที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไปของการแปลงเวฟเล็คจะเป็นข้อมูลที่มีค่าความถี่ต่ำกว่า ดังนั้นหากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหม ข้อมูลที่ผิดปกติเหล่านี้ก็จะปรากฏขึ้นในระดับนี้



(ก) ตำแหน่งข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นของ

เท็กเจอร์ของผ้าไหม

(ข) ตำแหน่งข้อมูลที่น่ามาพิจารณาหา

สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหม

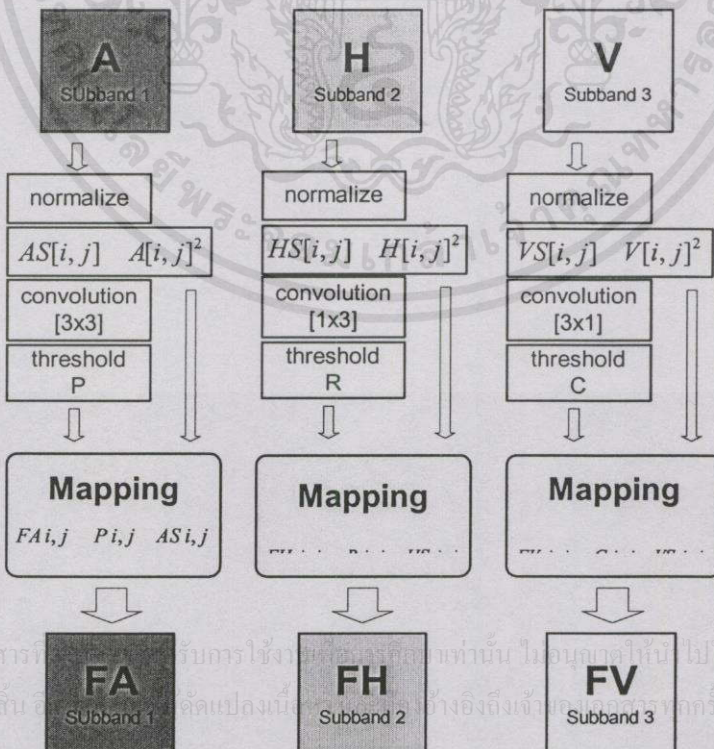
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 6.7 ตำแหน่งข้อมูลที่น่ามาพิจารณาหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทางสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

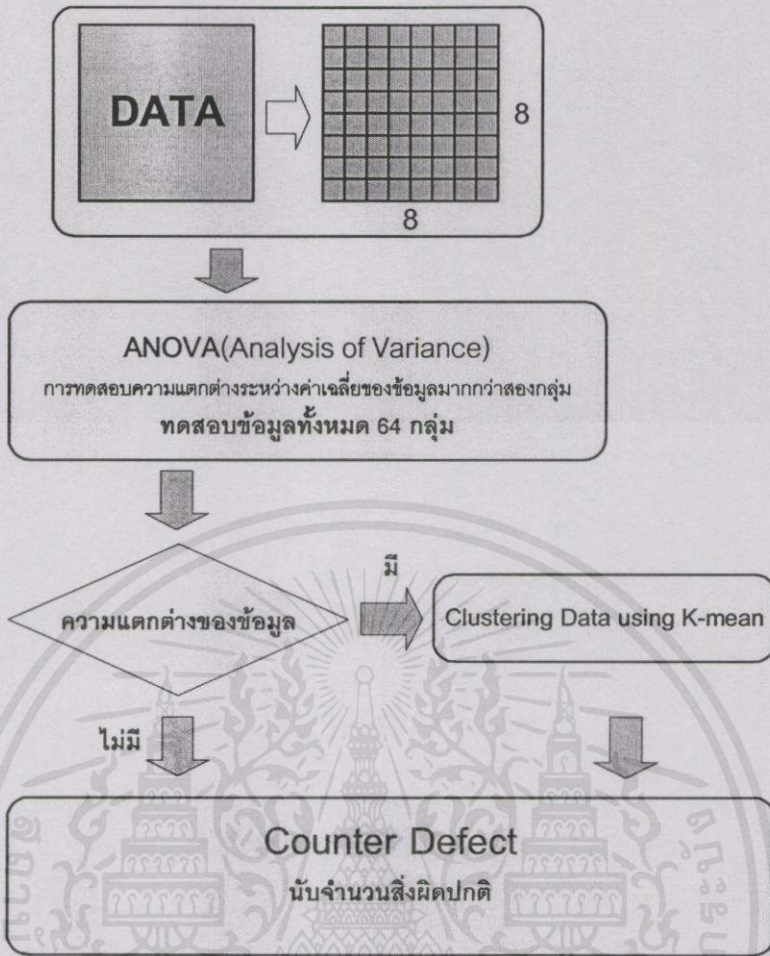
จากภาพที่ 6.7 เมื่อทำการวิเคราะห์หลักขณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหมได้แล้วดังในภาพ (ก) ซึ่งจะอยู่ในระดับที่ 2 ของการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาพิจารณาสำหรับตรวจหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมก็จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไป ซึ่งก็คือข้อมูลที่อยู่ในระดับที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ต โดยจะทำการพิจารณาข้อมูลที่อยู่ใน Subband ที่ 1, 2 และ 3 เท่านั้น เนื่องจากทราบอยู่แล้วว่าข้อมูลเท็กเจอร์ของผ้าไหมจะมีอยู่ข้อมูลของด้ายยืนและด้ายพุ่ง ซึ่งก็คือข้อมูลที่อยู่ใน Subband ที่ 2 และ 3 เท่านั้น แต่สำหรับข้อมูลใน Subband ที่ 1 ที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วยก็เนื่องจากคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดที่ว่าข้อมูลสามารถที่จะกระจายออกไปในปริภูมิย่อยๆ ใต้นั้นเอง ซึ่งข้อมูลที่อยู่ใน Subband ที่ 1 นี้ก็จะบรรจุข้อมูลของด้ายยืนและด้ายพุ่งเอาไว้ด้วยดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลใน Subband นี้มาทำการพิจารณาด้วย

6.7.2 การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราทราบแล้วว่าเราสามารถตรวจหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหม ได้จากข้อมูลใน Subband ที่ 1, 2 และ 3 ในระดับของการแปลงเวฟเล็ตที่สูงกว่าระดับที่เป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหม ดังนั้นในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการตรวจหาสิ่งผิดปกติในแต่ละ Subband ซึ่งในแต่ละ Subband จะมีวิธีการที่แตกต่างกันเนื่องจากข้อมูลที่บรรจุอยู่ในแต่ละ Subband แตกต่างกันนั่นเอง



ภาพที่ 6.8 แผนภาพของวิธีการปรับปรุงข้อมูลสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นใน Subband ต่างๆ



ภาพที่ 6.9 แผนภาพของวิธีการจำแนกสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์

6.7.2.1 การตรวจสอบสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 1

ข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน Subband ที่ 1 นั้นจะเป็นข้อมูลของเท็กเจอร์โดยรวมทั้งหมด ทั้งข้อมูลของค้ำยยืนและค้ำยพุ่ง แต่จะเป็นข้อมูลในส่วนที่มีความถี่ต่ำ ดังนั้นวิธีการที่จะทำการตรวจสอบสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 1 นี้ทำได้โดยทำการ Normalize ข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0-1 และปรับระดับความแตกต่างของข้อมูลโดยการยกกำลังสองในแต่ละตำแหน่งตามสมการที่ 6.1

$$AS[i, j] = A[i, j]^2 \quad (6.1)$$

เมื่อ i, j เป็นตำแหน่งต่างๆ ของข้อมูลใน Subband ที่ 1 โดยที่ i จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนแถวสูงสุด และ j จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนคอลัมน์สูงสุดในเมตริกซ์ของข้อมูล Subband ที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลมาทำการ Convolution กับเมตริกซ์ขนาด 3×3 ซึ่งมีค่าประจำตำแหน่งเท่ากับ $1/9$ และทำการ Threshold ที่ระดับ 0.667 ต่อไปก็จะนำเอาเมตริกซ์ที่ได้นี้มาทำการ Mapping

กับข้อมูลที่ผ่านการปรับระดับแล้วตามสมการที่ 6.2 จากนั้นก็จะนำเอาข้อมูลที่ได้นี้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและจำแนกสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ตามภาพที่ 6.9

$$FA[i, j] = P[i, j] \times AS[i, j] \quad (6.2)$$

6.7.2.2 การตรวจหาสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 2

ข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน Subband ที่ 2 นั้นจะเป็นข้อมูลของเท็กเจอร์ของผ้าไหมในส่วนของด้ายพุ่ง ดังนั้นสำหรับการตรวจหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเท็กเจอร์ใน Subband ที่ 2 นี้ก็จะเป็นการตรวจหาสิ่งผิดปกติของด้ายพุ่งนั่นเอง ซึ่งจะมีวิธีการตรวจสอบที่แตกต่างไปจากวิธีการที่ใช้กับ Subband ที่ 1 โดยจะนำเอาข้อมูลใน Subband ที่ 2 มาทำ Normalize ให้ข้อมูลอยู่ในช่วง 0-1 และปรับระดับความแตกต่างของข้อมูลโดยการยกกำลังสองในแต่ละตำแหน่งตามสมการที่ 6.3

$$HS[i, j] = H[i, j]^2 \quad (6.3)$$

เมื่อ i, j เป็นตำแหน่งต่างๆ ของข้อมูลใน Subband ที่ 2 โดยที่ i จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนแถวสูงสุด และ j จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนคอลัมน์สูงสุดในเมตริกซ์ของข้อมูล Subband ที่ 2

จากนั้นนำข้อมูลมาทำการ Convolution กับเมตริกซ์ขนาด 1×3 ซึ่งมีค่าประจำตำแหน่งเท่ากับ $1/3$ และทำการ Threshold ที่ระดับ 0.667 ต่อไปก็จะนำเอาเมตริกซ์ที่ได้นี้มาทำการ Mapping กับข้อมูลที่ผ่านการปรับระดับแล้วตามสมการที่ 6.4 และนำเอาข้อมูลที่ได้นี้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและจำแนกสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ตามภาพที่ 6.9

$$FH[i, j] = R[i, j] \times HS[i, j] \quad (6.4)$$

จากนั้นก็ทำการ Normalize ข้อมูล HD ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยใช้สมการที่ 6.6 จากนั้นก็จะนำเอาข้อมูลที่ได้นี้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล และจำแนกสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ตามภาพที่ 6.9 ก็จะเสร็จสิ้นขั้นตอนในการตรวจหาสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 2

3.7.2.3 การตรวจหาสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 3

ใน Subband ที่ 3 จะเป็นการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่เกิดขึ้นกับส่วนของด้ายยืน ซึ่งจะตั้งฉากเส้นด้ายพุ่ง ดังนั้นวิธีการตรวจหาสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 3 นี้ก็จะมีลักษณะคล้ายกันกับวิธีการตรวจหาสิ่งผิดปกติใน Subband ที่ 2 เพียงแต่ในส่วนของการ Convolution จะใช้เมตริกซ์ขนาด 3×1 ซึ่งเป็นแนวของเส้นด้ายยืนนั่นเอง

ขั้นตอนคือทำการ Normalize ข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0-1 และปรับระดับความแตกต่างของ ข้อมูลโดยการยกกำลังสองในแต่ละตำแหน่งตามสมการที่ 6.5

$$VS[i, j] = V[i, j]^2 \quad (6.5)$$

เมื่อ i, j เป็นตำแหน่งต่างๆ ของข้อมูลใน Subband ที่ 3 โดยที่ i จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวน แถวสูงสุด และ j จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนคอลัมน์สูงสุดในเมตริกซ์ของข้อมูล Subband ที่ 3

จากนั้นนำข้อมูลมาทำการ Convolution กับเมตริกซ์ขนาด 3×1 ซึ่งมีค่าประจำตำแหน่ง เท่ากับ $1/3$ และทำการ Threshold ที่ระดับ 0.667 ต่อไปก็จะนำเอาเมตริกซ์ที่ได้นี้มาทำการ Mapping กับข้อมูลที่ผ่านการปรับระดับแล้วตามสมการที่ 6.6 จากนั้นก็จะนำเอาข้อมูลที่ได้นี้มาทำการ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและจำแนกสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ตามภาพที่ 6.9 ก็จะจบ ขั้นตอน

$$FV[i, j] = C[i, j] \times VS[i, j] \quad (6.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลองและผลการทดลอง

7.1 บทนำ

การทดลองตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมตามวิธีการในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการทดลองโดยแยกกลุ่มของเท็กเจอร์ของผ้าไหมออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มของเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้สร้างจำลองขึ้นมาจากคอมพิวเตอร์ ตามลักษณะโครงสร้างของผ้าทอแบบลายขัดซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างของผ้าไหมโดยทั่วไป กลุ่มที่สองคือกลุ่มของเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่นำมาใช้ในการทำซิลด์สกรีน และกลุ่มสุดท้ายคือกลุ่มของเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่นำมาใช้ในการตัดเย็บเสื้อผ้าแต่ละจะเป็นผ้าไหมที่ได้มาจากการทอในโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น และเท็กเจอร์ของผ้าไหมแต่ละแบบที่นำมาทดลองนั้นจะถูกทำให้มีสิ่งผิดปกติในลักษณะต่างๆ เกิดขึ้นในเท็กเจอร์เหล่านั้นและในส่วนท้ายสุดของบทที่ 7 นี้จะเป็นการศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์เท็กเจอร์และทดลองวิธีการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยใช้วิธีการฮีสโตแกรมโปรเจกชัน ซึ่งเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในงานวิจัยที่มีการวิเคราะห์เท็กเจอร์ เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับวิธีการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

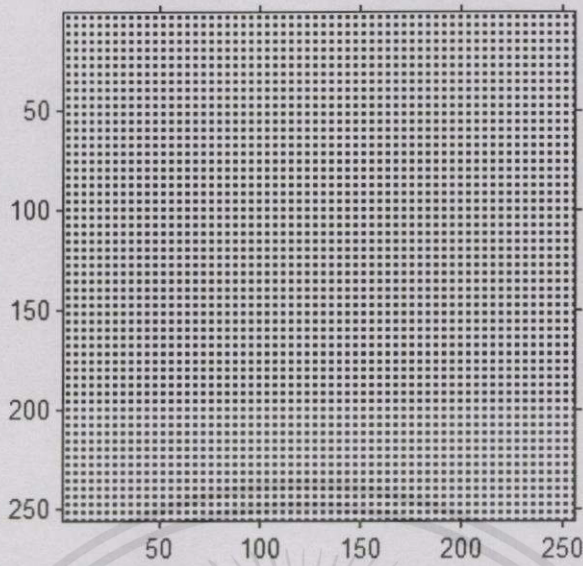
ในส่วนของขั้นตอนการทดลองก็จะมีขั้นตอนของงานตามที่ได้กล่าวผ่านมาแล้วในบทที่ 6 โดยในส่วนของการเขียน โปรแกรมนั้นได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมต่างๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB เนื่องจากเป็น โปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นและสะดวกในการพัฒนา

7.2 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่สร้างจำลองจากคอมพิวเตอร์

ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น ว่าในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองตามวิธีการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้สร้างจำลองขึ้นมา ดังนั้นในขั้นตอนแรกก็จะเป็นการสร้างจำลองเท็กเจอร์ของผ้าไหมขึ้นมาตามลักษณะโครงสร้างของผ้าทอเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงจะนำภาพเท็กเจอร์ที่ได้มาผ่านขบวนการต่างๆ ตามวิธีการที่ได้นำเสนอ

การทดลองในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองที่ใช้เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้สร้างจำลองขึ้นมาด้วยคอมพิวเตอร์และมีขนาดของภาพเท่ากับ 256×256 จุดภาพ โดยได้ทำการสร้างให้ขนาดของเส้นด้ายมีขนาดเท่ากับ 2 จุดภาพทั้ง เส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่ง

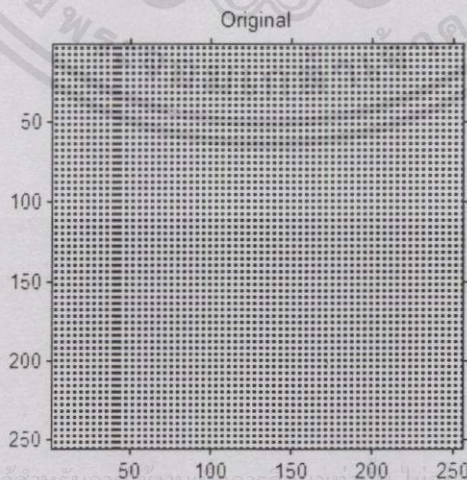
อีกส่วนที่เป็นเอกสารที่ส่งไปวัดหรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



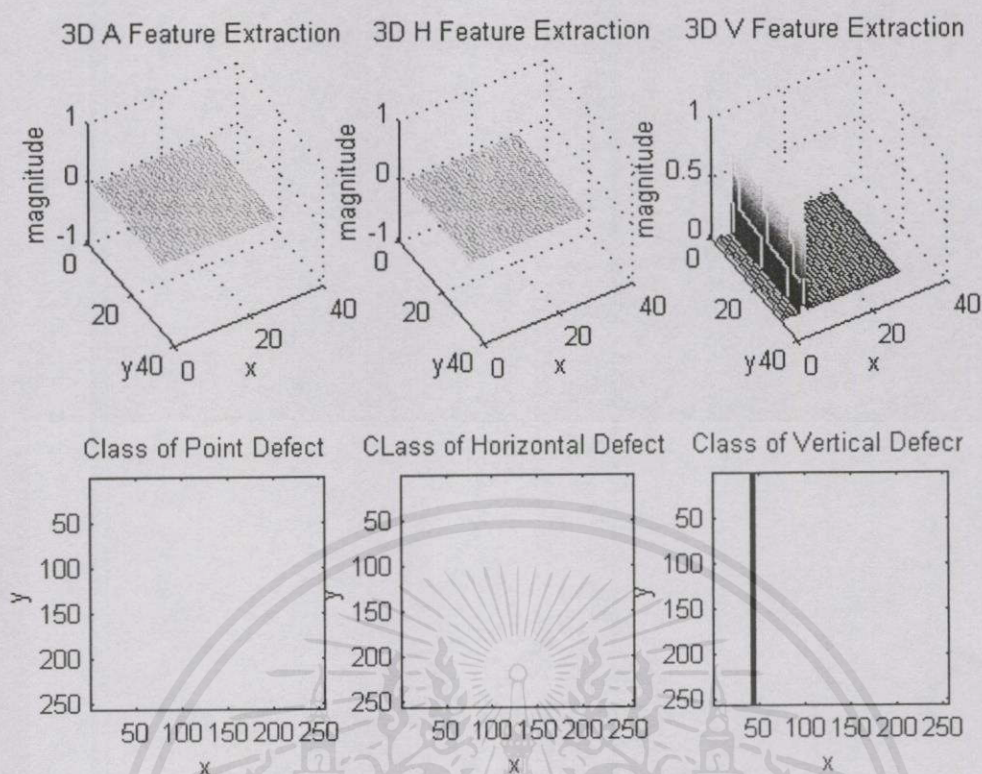
ภาพที่ 7.1 เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ได้สร้างจำลองขึ้นมาด้วยคอมพิวเตอร์

7.2.1 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่เส้นด้ายมีปัญหา

ในการทดลองนี้ได้นำภาพที่ 7.1 ซึ่งเป็นภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมต้นฉบับที่ได้ทำการสร้างจำลองขึ้นมาทำให้เส้นด้ายขนาดหายไป 1 เส้น ซึ่งก็คือปัญหาที่จะใช้วิธีการตามวิทยานิพนธ์นี้เพื่อค้นหาให้เจอจุดบกพร่องนี้ จากการทดลองจะพบว่าข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นของเท็กเจอร์นี้คือข้อมูลที่อยู่ในระดับที่ 2 ของการแปลงเวฟเล็ตซึ่งจะมีขนาดของ Subband เท่ากับ 64×64 จุดภาพ ดังนั้นในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติจะกระทำกับข้อมูลที่อยู่ในระดับที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งจะมีขนาด Subband เท่ากับ 32×32 จุดภาพ



ภาพที่ 7.2 เท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายขาด



ภาพที่ 7.3 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายขึ้น

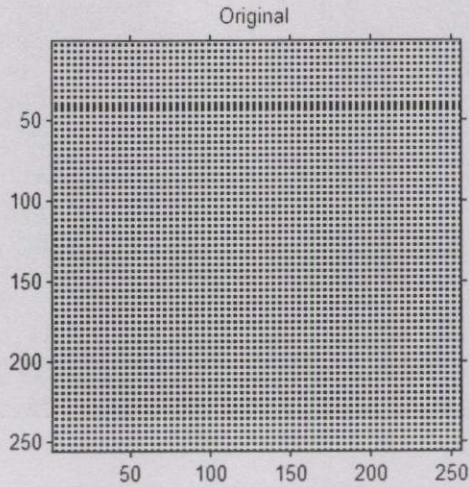
ตารางที่ 7.1 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายขึ้น

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายขึ้นขาด	1
ด้ายพุ่งขาด	0

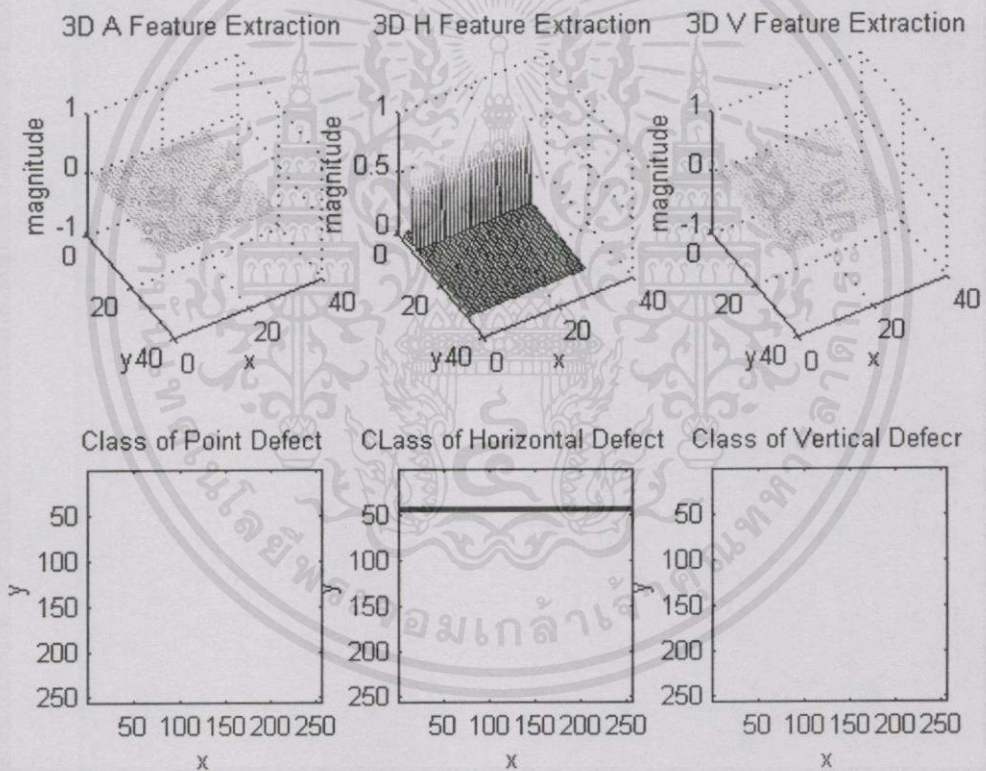
7.2.2 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา

การทดลองนี้ก็เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมาคือจะนำเอาภาพเท็กเจอร์ในภาพที่ 7.1 มาทำการดัดแปลงให้เส้นด้ายพุ่งขาดหายไป 1 เส้น จากนั้นก็นำมาผ่านขั้นตอนตามวิธีการของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อค้นหาจุดบกพร่อง ซึ่งระดับของการแปลงเวฟเล็ทที่เป็นลักษณะของเท็กเจอร์ก็ยังคงอยู่ในระดับที่ 2 เช่นเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.4 เท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายพุ่ง



ภาพที่ 7.5 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายพุ่ง

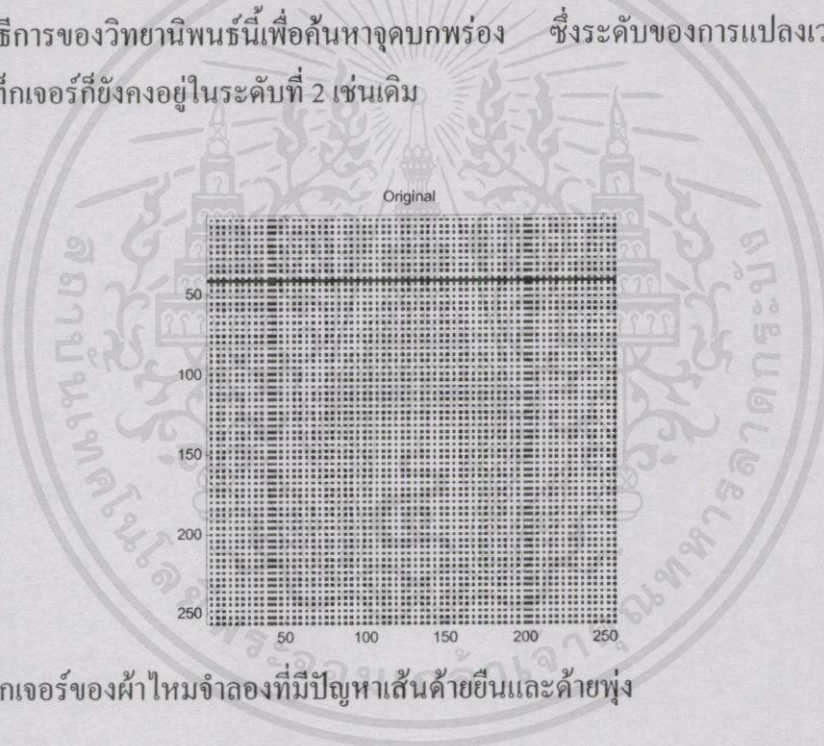
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 ผลของการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยืน

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายยืนขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	1

7.2.3 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่เส้นด้ายยืนและด้ายพุ่งมีปัญหา

การทดลองนี้ก็เช่นเดียวกับการทดลองที่ผ่านมาคือจะนำเอาภาพเท็กเจอร์ในภาพที่ 7.1 มาทำการดัดแปลงให้เส้นด้ายพุ่งขาดหายไป 1 เส้นและเส้นด้ายยืนหายไป 2 เส้น จากนั้นก็นำมาผ่านขั้นตอนตามวิธีการของวิทยานิพนธ์นี้เพื่อค้นหาจุดบกพร่อง ซึ่งระดับของการแปลงเวฟเล็ตที่เป็นลักษณะของเท็กเจอร์ก็ยังคงอยู่ในระดับที่ 2 เช่นเดิม

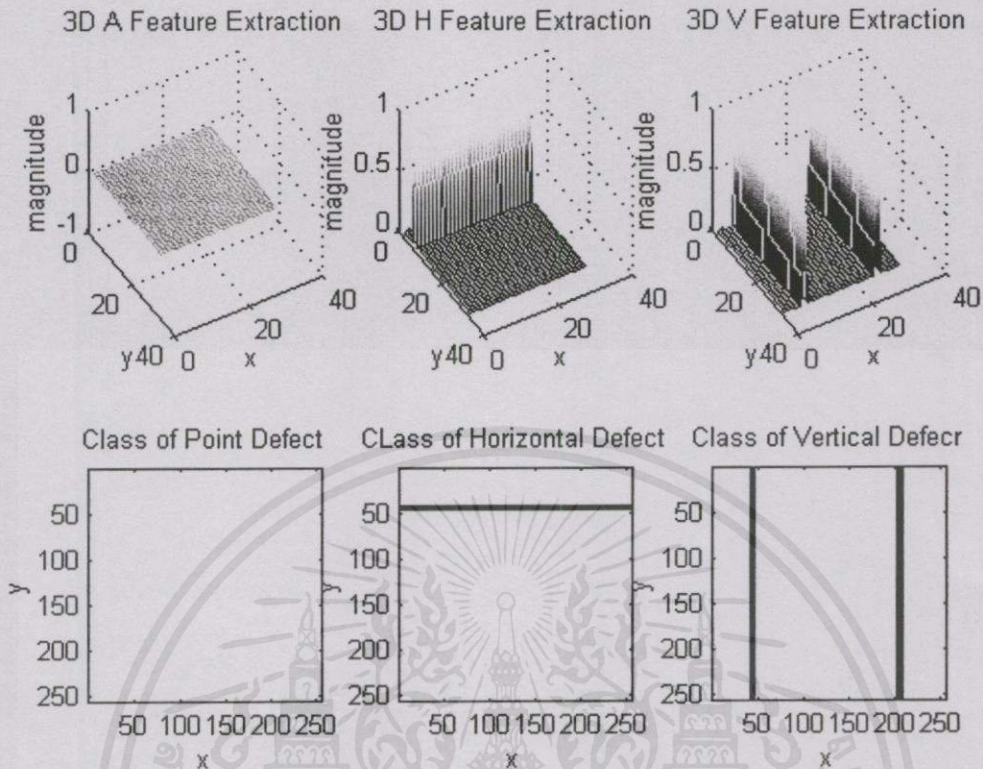


ภาพที่ 7.6 เท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่ง

ตารางที่ 7.3 ผลของการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายยืนและด้ายพุ่ง

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายยืนขาด	2
ด้ายพุ่งขาด	1

เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผู้แต่งการวิจัยครั้งนี้ อีกรั้วให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.7 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจำลองที่มีปัญหาเส้นด้ายขึ้นและด้ายพุ่ง

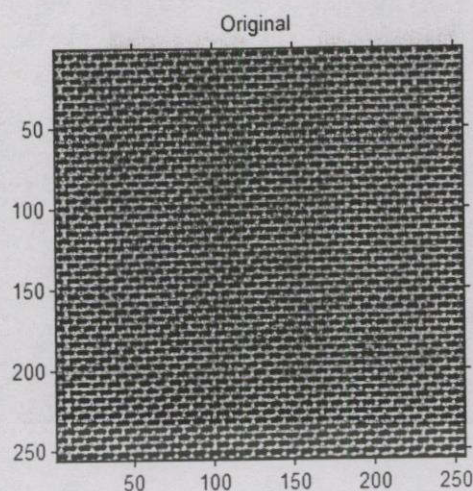
7.3 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ในงานซิลด์สกรีน

การทดลองในหัวข้อนี้จะนำเอาผ้าไหมที่ใช้สำหรับงานซิลด์สกรีนมาทดสอบ โดยการนำผ้าไหมมาทำให้มีสิ่งผิดปกติแบบต่างๆ ปะปนอยู่ จากนั้นก็ทำการสแกนด้วยความละเอียด 512 จุดต่อนิ้ว และจำกัดขนาดของภาพเป็น 256×256 จุดภาพ แล้วจึงนำมาผ่านขั้นตอนของการทดสอบต่างๆ ดังหัวข้อย่อยต่อไปนี้

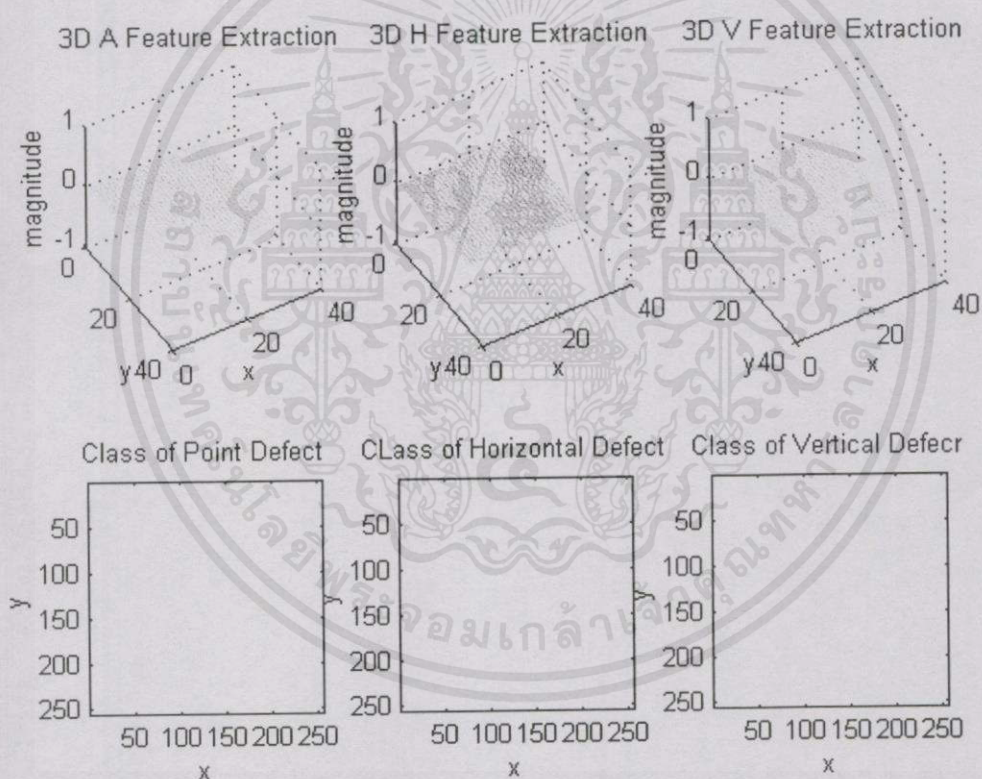
7.3.1 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ

สำหรับการทดลองนี้เพื่อเป็นการศึกษาถึงความถูกต้องของวิธีการที่ได้นำเสนอมาว่า หากนำเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ไม่มีสิ่งผิดปกติปะปนอยู่ จะสามารถตรวจสอบได้หรือไม่ว่าไม่มีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหมนั้น โดยได้นำเอาผ้าไหมที่มีโครงสร้างที่สมบูรณ์ไม่มีสิ่งผิดปกติใดๆ มาทำการสแกนและนำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.8 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ



ภาพที่ 7.9 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกวนนำไปใช้

ตารางที่ 7.4 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลส์สกรีนที่ไม่มีสิ่งผิดปกติ

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	1
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายยื่นขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	0

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าวิธีการที่ได้นำเสนอนี้สามารถตรวจสอบได้ว่าเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่นำมาทดสอบในการทดลองนี้ไม่มีสิ่งผิดปกติใดๆ ประปนอยู่

7.3.2 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลส์สกรีนที่เส้นด้ายยืนมีปัญหา

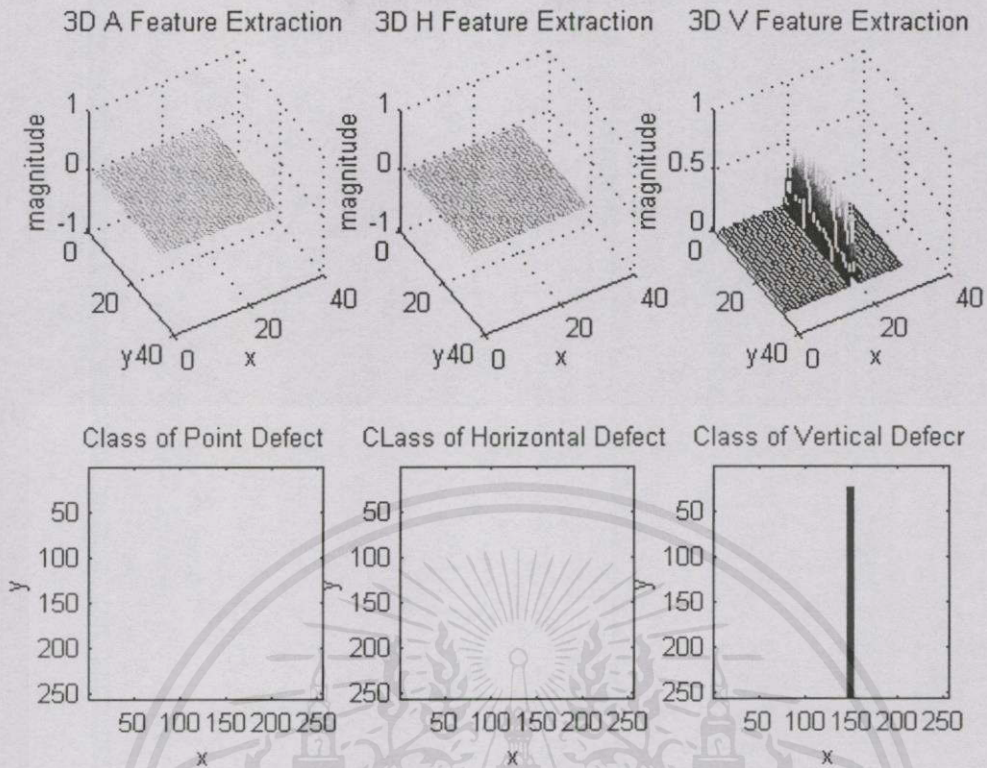
การทดลองนี้จะทดสอบการตรวจสอบข้อมูลของเส้นด้ายยืนของผ้าไหม โดยการทำให้ด้ายยืนของผ้าไหมขาดไป 1 เส้น เพื่อดูว่าสามารถตรวจสอบเจอหรือไม่



ภาพที่ 7.10 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลส์สกรีนที่เส้นด้ายยืนมีปัญหา

ตารางที่ 7.5 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลส์สกรีนที่เส้นด้ายยืนมีปัญหา

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายยื่นขาด	1
ด้ายพุ่งขาด	0



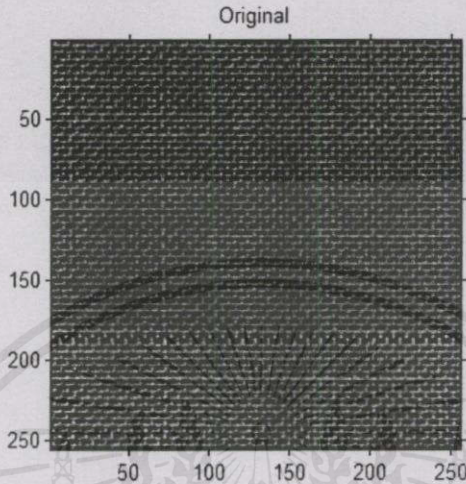
ภาพที่ 7.11 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่เส้นด้ายยืนมีปัญหา

จากผลการทดลองจะพบว่า วิธีการนี้สามารถตรวจสอบความผิดปกติของเส้นด้ายยืนได้
อย่างถูกต้อง แต่ก็อาจมีส่วนผิดพลาดอยู่บ้างเนื่องจากลักษณะของผ้าไหมที่มีแป๊ะเกาะอยู่ระหว่าง
เส้นด้ายอาจจะทำให้วิเคราะห์ผิดพลาดได้

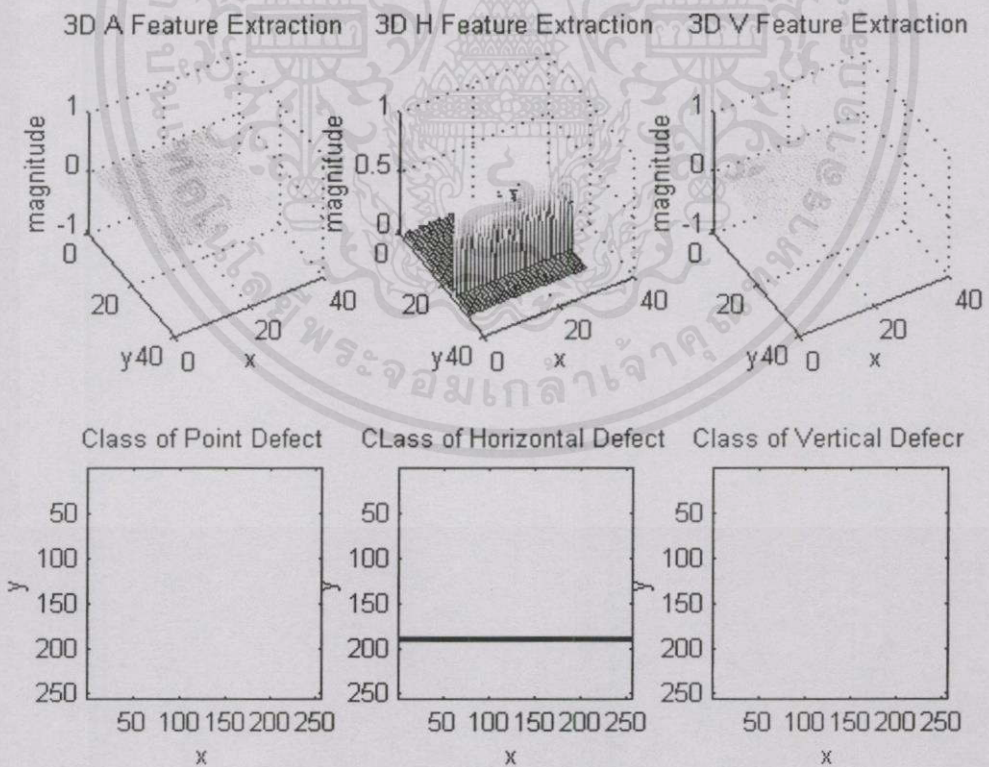
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา

สำหรับการทดลองนี้จะทำการทดสอบเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่เส้นด้ายพุ่งขาดไป 1 เส้น เพื่อ
 ดูว่าวิธีการนี้สามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติในลักษณะนี้ได้หรือไม่



ภาพที่ 7.12 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา



ภาพที่ 7.13 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
 ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา

ตารางที่ 7.6 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีน
ที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหา

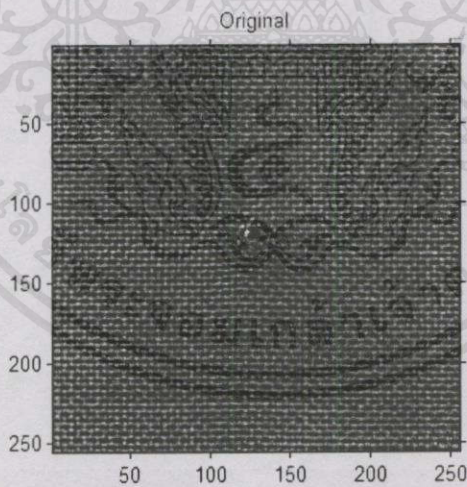
ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายขึ้นขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	1

จากผลการทดลองจะพบว่าสามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมในลักษณะ
ที่ด้ายพุ่งมีปัญหาได้

ปัญหาได้

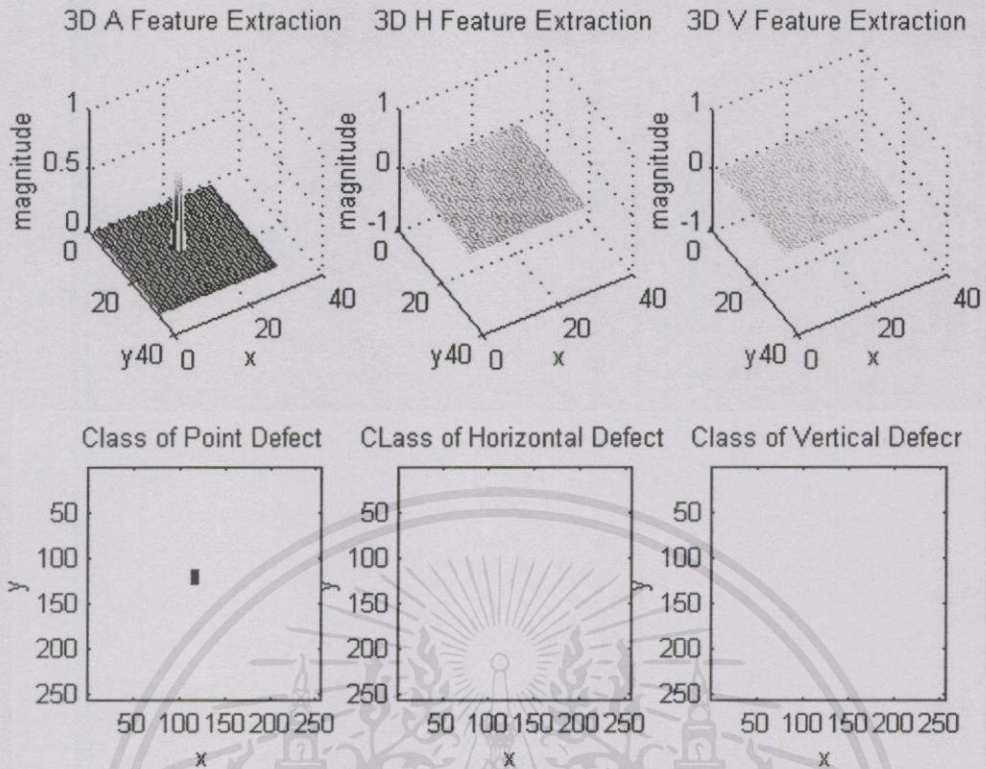
7.3.4 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เป็นรู

ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบว่าจะสามารถตรวจสอบความผิดปกติในลักษณะที่ ผ้า
ไหมเป็นรูได้หรือไม่ โดยทำให้ผ้าไหมขาดเป็นรูแล้วนำมาทดลอง



ภาพที่ 7.14 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เป็นรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.15 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เป็นรู

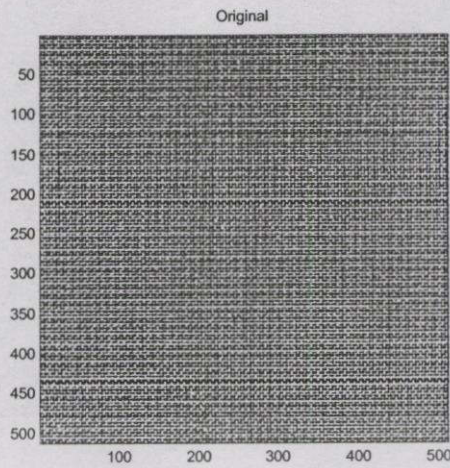
ตารางที่ 7.7 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เป็นรู

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	1
ด้ายยื่นขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	0

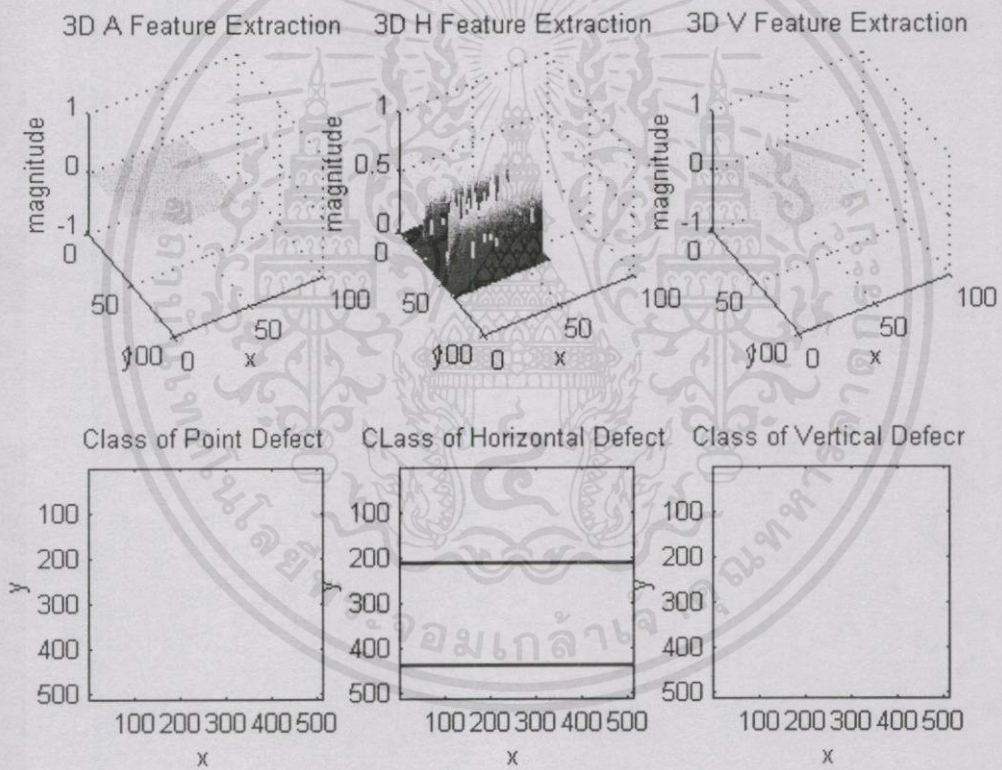
จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถใช้ตรวจสอบสิ่งผิดปกติของเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่มีลักษณะเป็นรูบนผืนผ้าได้

7.3.5 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งมีปัญหามากกว่า 1 เส้น

เอกสารนี้ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบว่าจะสามารถตรวจสอบความผิดปกติในลักษณะที่มากกว่าเส้นด้ายพุ่งมีปัญหา มากกว่า 1 เส้นได้หรือไม่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



ภาพที่ 7.16 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งขนาด 2 เส้น



ภาพที่ 7.17 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลด์สกรีนที่เส้นด้ายพุ่งขนาด 2 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

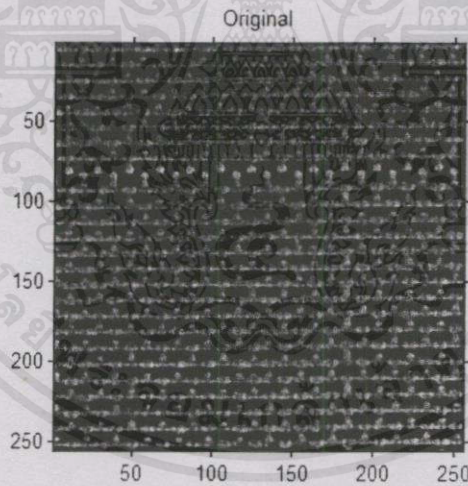
ตารางที่ 7.8 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีน
ที่เส้นด้ายพุ่งขนาด 2 เส้น

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายย่นขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	2

จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถจะใช้ตรวจสอบสิ่งผิดปกติของเท็กเจอร์
ของผ้าไหมที่มีเส้นด้ายขนาดมากกว่า 1 เส้นได้

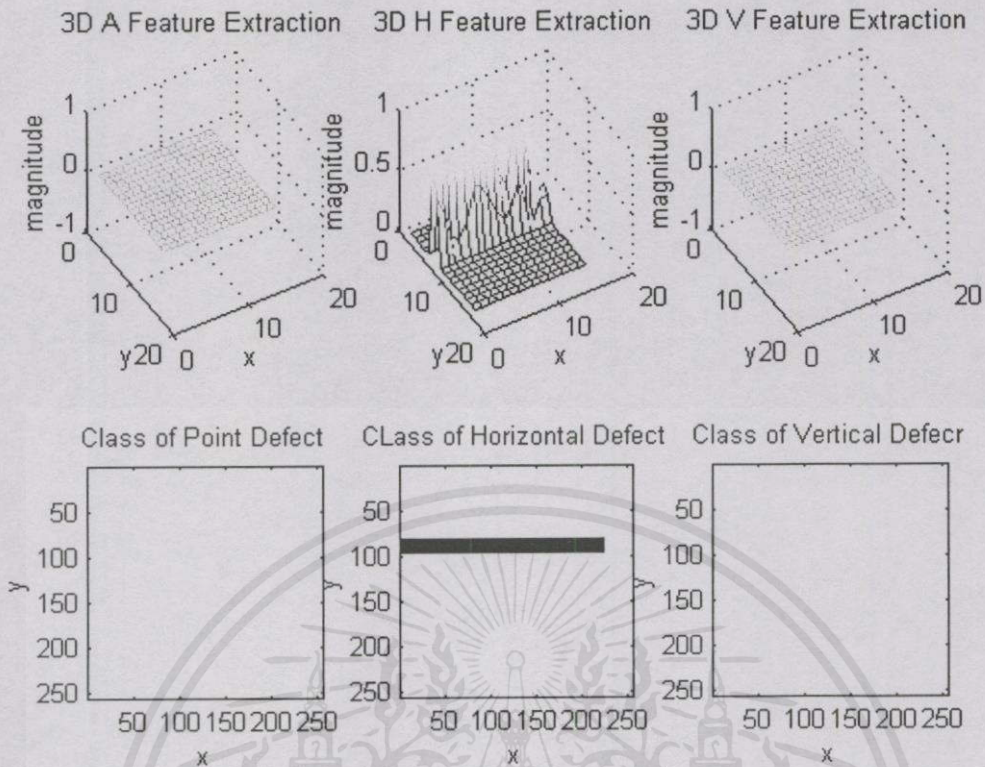
7.3.6 การทดลองกับผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่สแกนด้วยความละเอียดสูง

สำหรับการทดลองนี้จะทดสอบว่าหากใช้ความละเอียดของการสแกนภาพที่สูงขึ้นคือ 1024
จุดต่อนิ้ว แล้วจะยังสามารถตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมได้หรือไม่



ภาพที่ 7.18 เท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลล์สกรีนที่สแกนด้วยความละเอียดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.19 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ
 ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีนที่ที่สแกนด้วยความละเอียดสูง

ตารางที่ 7.9 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมสำหรับงานซิลค์สกรีน
 ที่สแกนด้วยความละเอียดสูง

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายยื่นขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	1

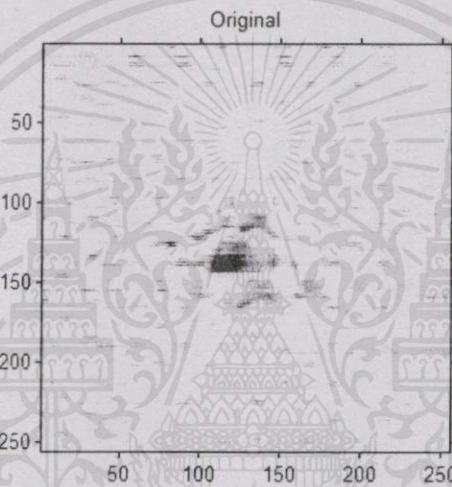
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้ความละเอียดในการสแกนภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมให้มีความละเอียดที่สูงขึ้น วิธีการนี้ก็ยังทรงสามารถตรวจสอบสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

7.4 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า

สำหรับการทดลองต่อไปนี้จะทำการทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่นำมาใช้ในการตัดเสื้อผ้า แต่จะเป็นผ้าไหมที่ทอจากโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น เนื่องจากในหัวข้อที่ผ่านมาของการทดลองจะใช้ความละเอียดในการสแกนภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ 512 จุดต่อนิ้ว ดังนั้นการทดลองในหัวข้อนี้จึงจะใช้ความละเอียดในการสแกนที่ 1024 จุดต่อนิ้วบ้าง เพื่อจะยืนยันถึงคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่หลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ต

7.4.1 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1

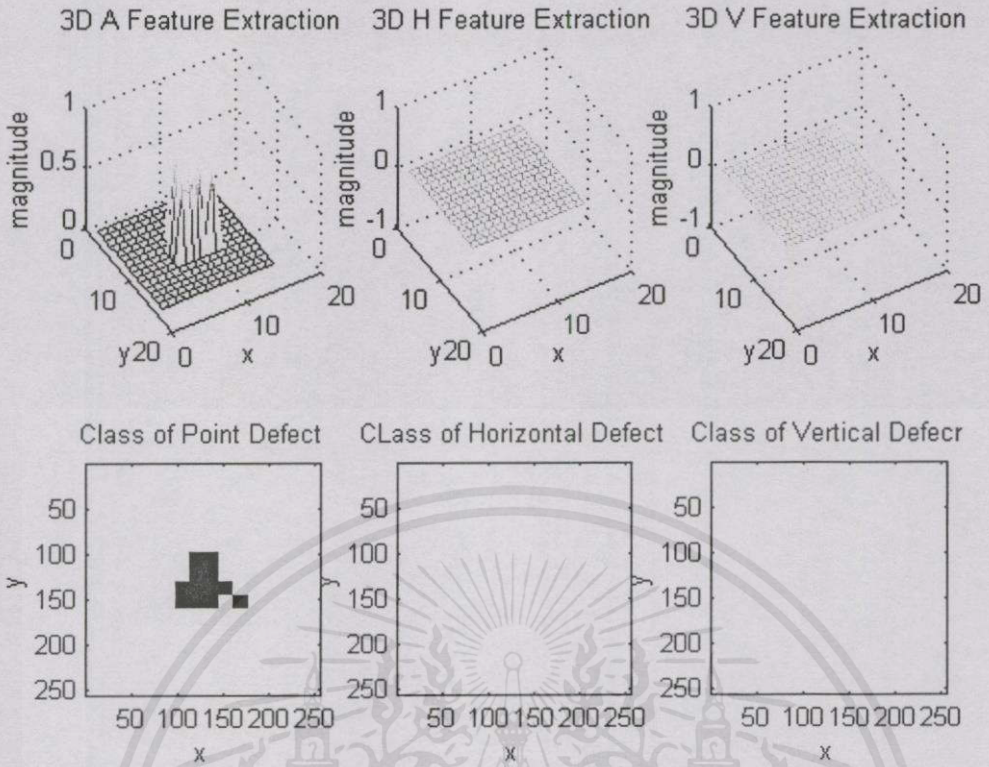


ภาพที่ 7.20 เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1

ตารางที่ 7.10 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 1

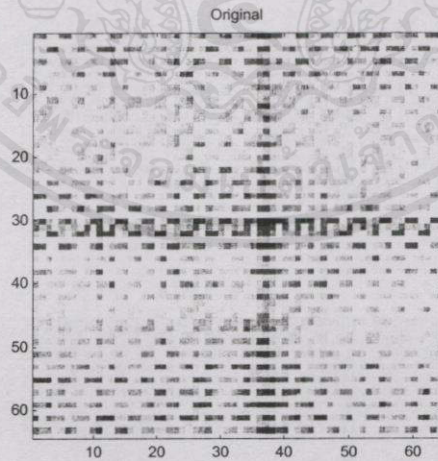
ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	1
ด้ายย่นขาด	0
ด้ายพุ่งขาด	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



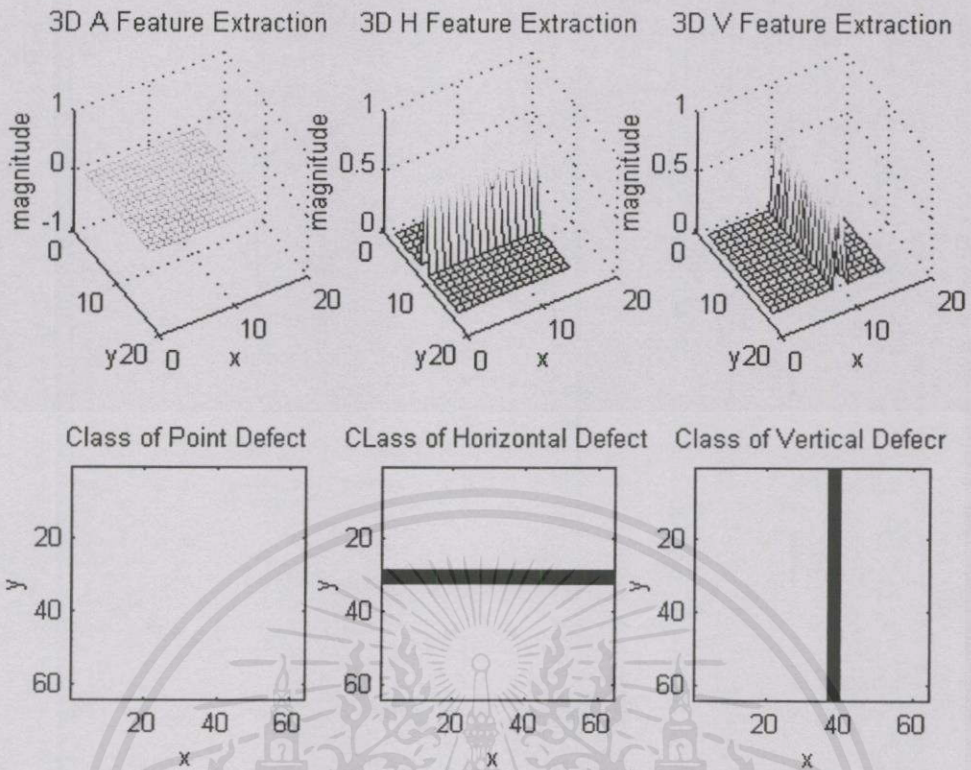
ภาพที่ 7.21 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติ ในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ดัดเสื่อผ้า แบบที่ 1

7.4.2 การทดลองกับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ดัดเสื่อผ้า แบบที่ 2



ภาพที่ 7.22 เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ดัดเสื่อผ้า แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.23 ลักษณะเด่นของสิ่งผิดปกติและผลของการจำแนกกลุ่มของสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 2

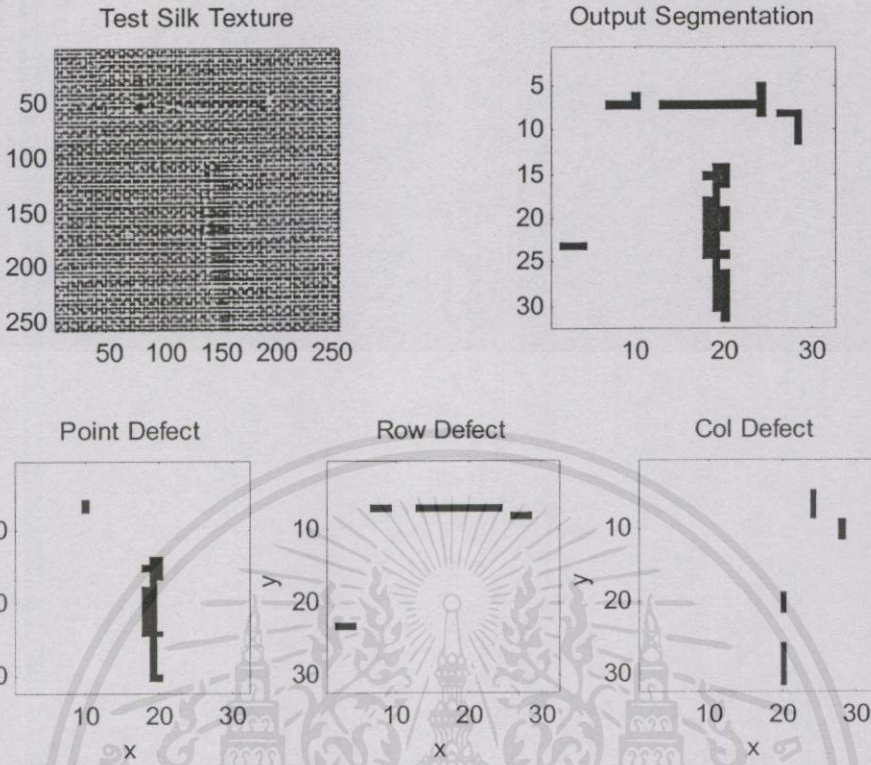
ตารางที่ 7.11 ผลของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้ตัดเสื้อผ้า แบบที่ 2

ชนิดของความผิดปกติ	จำนวน
ไม่มีความผิดปกติ	0
ผ้าเป็นรู	0
ด้ายยื่นขาด	1
ด้ายพุ่งขาด	1

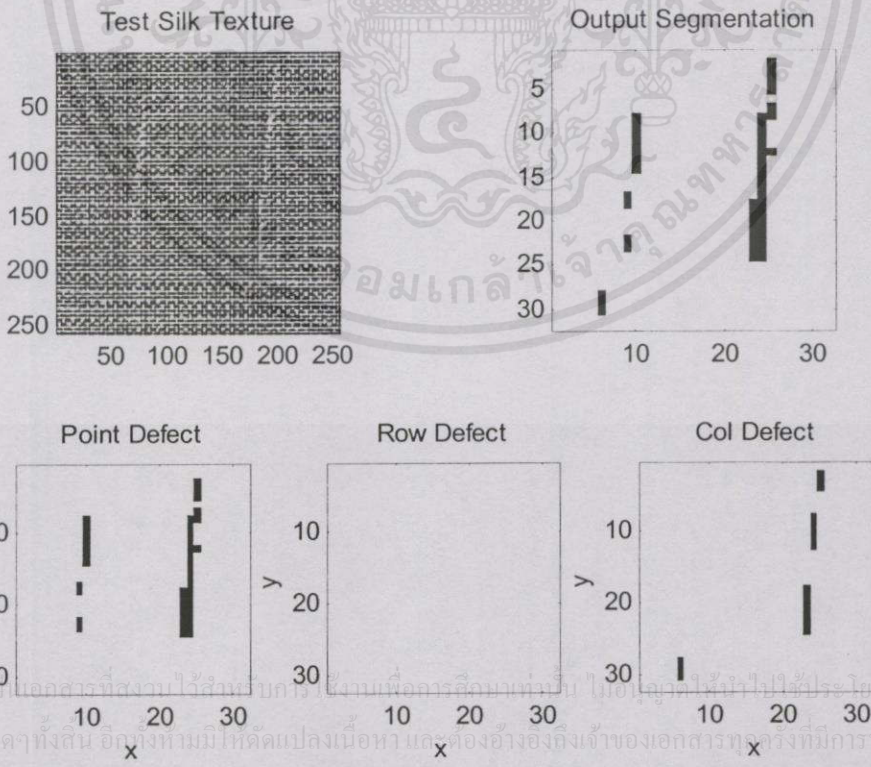
จากการทดลองจะเห็นว่าวิธีการที่วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอ สามารถจะใช้กับเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้สำหรับงานซิลด์สกรีนและเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่ใช้สำหรับตัดเสื้อผ้าได้

7.5 การทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน

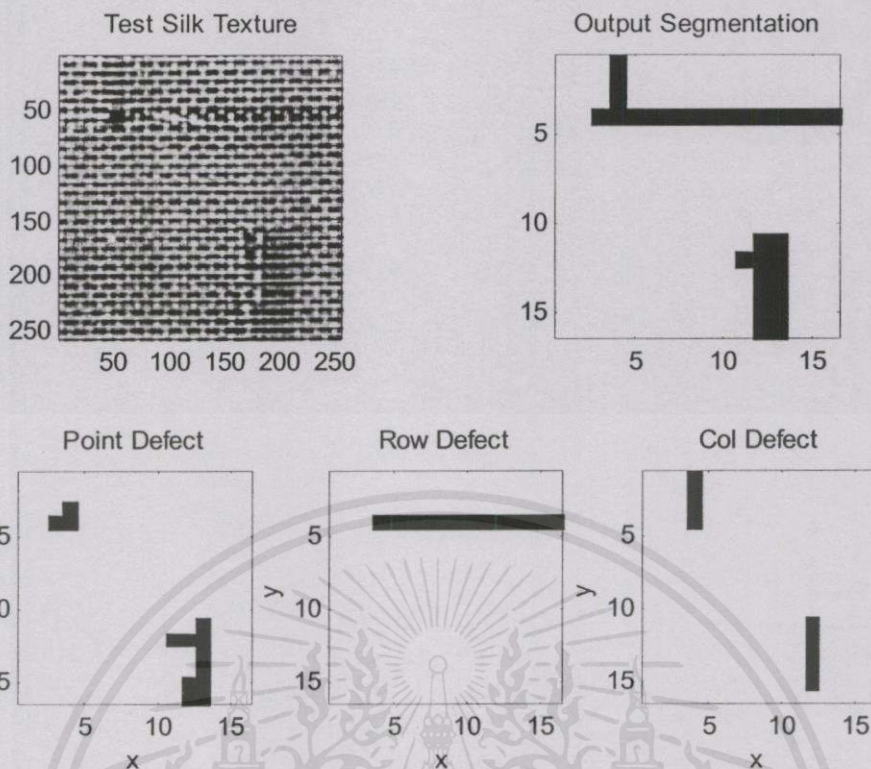
เอกสารนี้ สำหรับการทดลองนี้จะทดสอบว่าหากผ้าไหมมีสิ่งผิดปกติหลายๆ แบบรวมอยู่ในเท็กเจอร์เดียวกันวิธีการนี้จะสามารถตรวจสอบได้หรือไม่ โดยในการเสนอผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงผลของการตรวจสอบในแต่ละ Subband และผลการรวมของสิ่งผิดปกติทั้งหมดที่เกิดขึ้นเท่านั้น



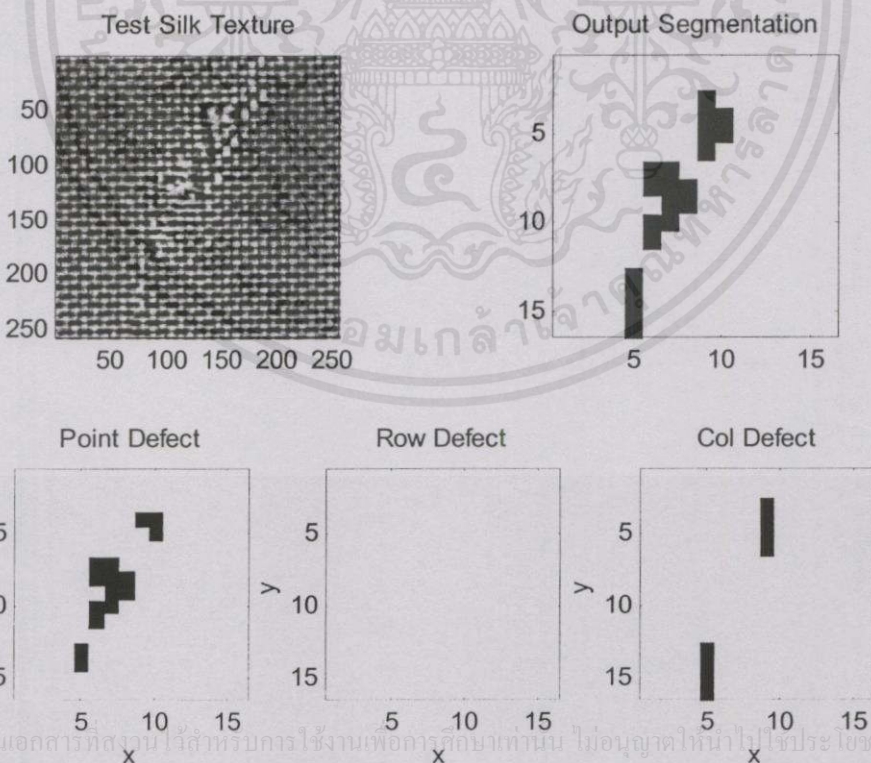
ภาพที่ 7.24 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 1



ภาพที่ 7.25 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 2



ภาพที่ 7.26 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 3



ภาพที่ 7.27 ผลการทดลองกับผ้าไหมที่มีสิ่งผิดปกติหลายแบบรวมกัน แบบที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

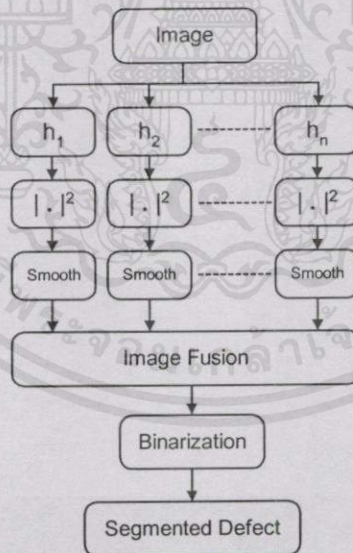
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูงและขอแจ้งถึงเจ้าของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะพบว่าด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถที่จะใช้ในการตรวจสอบเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่มีความผิดปกติหลายๆ แบบรวมกันอยู่ได้ และจากการทดลองในภาพที่ 7.25 ซึ่งได้ทำให้ผ้าไหมเป็นรอยถูกขีดด้วยของแหลม ก็สามารถตรวจสอบได้เช่นกัน และในภาพที่ 7.27 สามารถจะตรวจสอบผ้าไหมที่ฉีกขาดได้ แต่ในการตรวจสอบความผิดปกติในลักษณะที่ฉีกขาดนี้ผลของการจำแนกความผิดปกติอาจจะไม่มีความต่อเนื่องอยู่บ้าง เนื่องจากลักษณะการฉีกขาดนั้นความถี่ของภาพจะไม่สม่ำเสมอเหมือนกับที่เส้นด้ายขาดหายไปนั่นเอง

7.6 การตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์โดยวิธีอื่น

สำหรับในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการตรวจหาความผิดปกติในเท็กเจอร์ โดยวิธีการอื่นซึ่งเป็นผลงานวิจัยต่างๆ และได้ทำการทดลองตรวจหาความผิดปกติโดยใช้วิธีการฮีสโตแกรมโปรเจกชัน

วิธีการแรกที่จะกล่าวถึงคืองานวิจัยเรื่อง Defect Detection in Textured Materials Using Optimized Filters[14] ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้ในการตรวจหาความผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้า สำหรับวิธีการในงานวิจัยนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 7.28



ภาพที่ 7.28 แผนภาพของวิธี Defect Detection in Textured Materials Using Optimized Filters

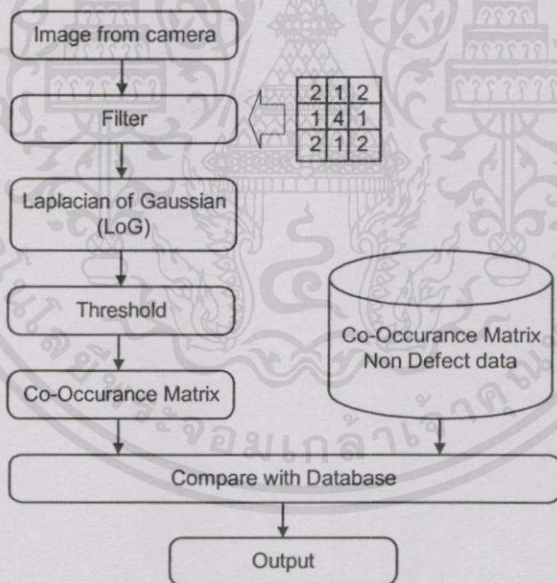
ในวิธีการนี้จุดสำคัญอยู่ที่การสร้าง Filter h_1, h_2, \dots, h_n ซึ่ง Filter เหล่านี้จะเป็น Filter ของความผิดปกติแบบต่างๆ ในเท็กเจอร์ที่ต้องการทดสอบ โดยในการสร้างจะคือนำภาพของเท็กเจอร์ที่มีความผิดปกติมาใช้เป็นต้นแบบ ดังนั้นหากต้องการให้ระบบตรวจสอบความผิดปกติแบบใดก็นำภาพเท็กเจอร์ที่ผิดปกติแบบนั้นๆ มาสร้าง ในขั้นตอนการทำงานหากนำเอาเท็กเจอร์ที่มีความ

คิดปกติมาทำการ Convolution กับ Filter เหล่านี้ จุดใดที่มีความผิดปกติตรงกับ Filter ก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่สูง เมื่อนำผลที่ได้จากการนำเอาเท็กเจอร์มาทำการ Convolution กับ Filter ทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบแล้ว ก็นำทั้งหมดมารวมกันในขั้นตอนของ Image Fusion ก็จะได้ข้อมูลความผิดปกติทั้งหมด จากนั้นก็นำมาทำการ Segmentation ต่อไป

จะเห็นว่าวิธีการนี้เหมาะสำหรับเท็กเจอร์ที่ต้องการทดสอบแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น หากต้องการทดสอบกับเท็กเจอร์แบบอื่นๆ ก็จะต้องสร้าง Filter ความผิดปกติของเท็กเจอร์ใหม่และหากต้องการตรวจสอบความผิดปกติหลายๆ ชนิดจะต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มมากขึ้นด้วย

วิธีการที่สองที่จะกล่าวถึงคือ การใช้ Co-Occurance Matrix ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ โดยได้มีงานวิจัยเรื่อง การตรวจสอบลายแผ่นแป้งด้วยวิธีการประมวลผลภาพ[15] วิธีการนี้จะนำภาพเท็กเจอร์มาแปลงให้เป็นภาพ Binary จากนั้นก็นำเอาภาพ Binary ที่ได้มาทำการหา Co-Occurance Matrix ซึ่งมีถึง 8 ชุด และนำค่าที่ได้จาก Co-Occurance Matrix ทั้ง 8 ชุด มาเปรียบเทียบกับ Database ของ Co-Occurance Matrix ที่มีลวดลายเท็กเจอร์ที่สมบูรณ์ โดยมีขั้นตอนตามภาพที่

7.29

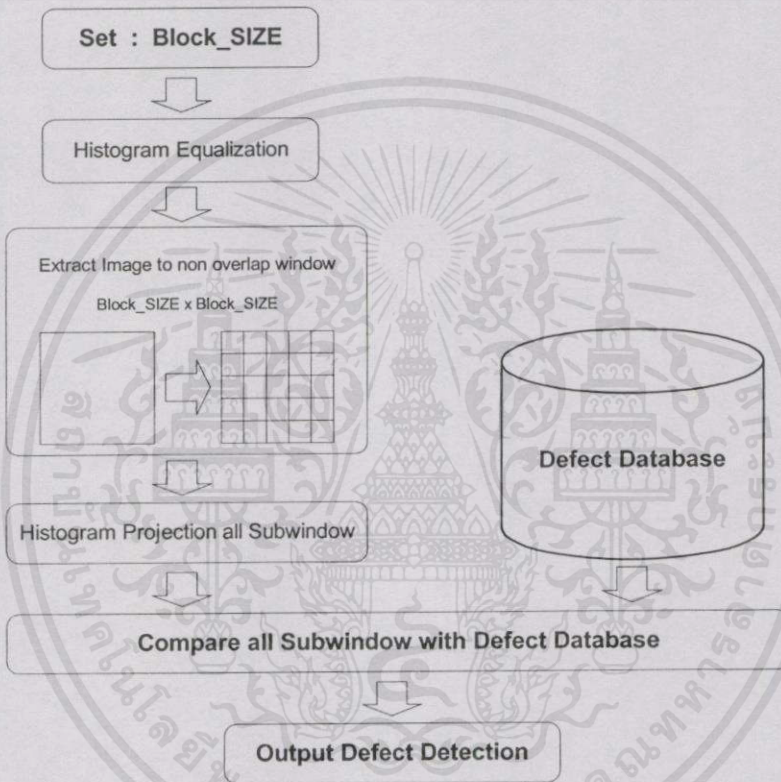


ภาพที่ 7.29 แผนภาพของวิธีการตรวจสอบลายแผ่นแป้งด้วยวิธีการประมวลผลภาพ

สำหรับวิธีการนี้หากเท็กเจอร์ที่ต้องการนำมาทดสอบ มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการสุ่มตัวอย่างที่เปลี่ยนไปก็จะต้องทำการหา Co-Occurance Matrix ของเท็กเจอร์ใหม่ที่มีลวดลายสมบูรณ์ เก็บเอาไว้เป็น Database ก่อนด้วย และหากกำหนดค่าตัวแปรระยะ d ในการหา Co-Occurance Matrix ไม่สอดคล้องกับเท็กเซลก็จะทำให้ข้อมูลที่ได้ใน Co-Occurance Matrix ผิดพลาดด้วย

วิธีการสุดท้ายที่จะกล่าวถึงและได้ทำการทดลองด้วยก็คือ วิธีการของ Histogram Projection ดังเช่นงานวิจัยเรื่อง Automated Sheet Rubber Defect Detection and Removal[16] ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจสอบหาตำหนิของแผ่นยาง โดยวิธีการนี้จะทำการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ และนำมาหาฮิสโตแกรมในแต่ละส่วน แล้วนำค่าที่ได้มาทำการ Threshold

ในภาพที่ 7.30 จะเป็นขั้นตอนที่นำมาใช้ในการทดลองตรวจหาความผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยใช้วิธีการฮิสโตแกรมโปรเจคชัน

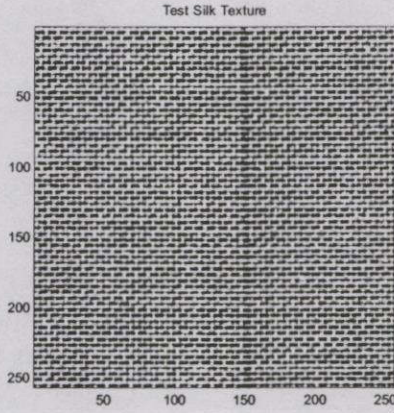


ภาพที่ 7.30 แผนภาพของการตรวจหาความผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม โดยใช้วิธีการฮิสโตแกรมโปรเจคชัน

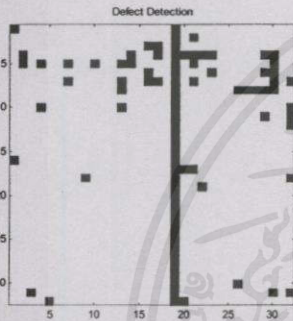
ในการทดลองนี้จะทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร 2 ค่าคือ ขนาดของหน้าต่างที่แบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ และค่าความละเอียดในการสแกนภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหม

กำหนดภาพที่นำมาทดสอบโดยมีความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 512 จุดต่อนิ้ว

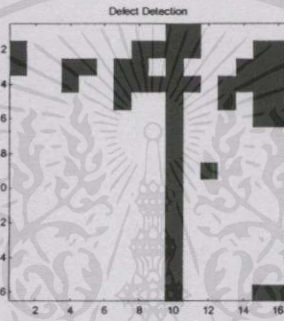
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7.31 ภาพทดสอบที่ถูกสแกนด้วยความละเอียด 512 จุดต่อนิ้ว



(ก) ขนาดภาพย่อย 8x8



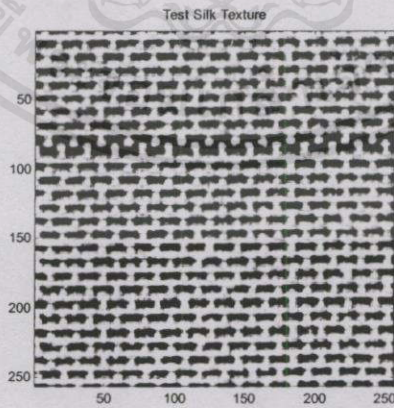
(ข) ขนาดภาพย่อย 16x16



(ค) ขนาดภาพย่อย 32x32

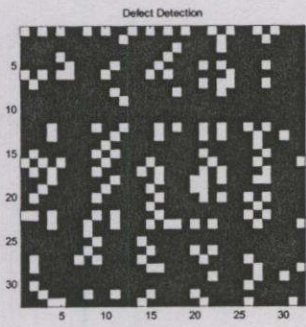
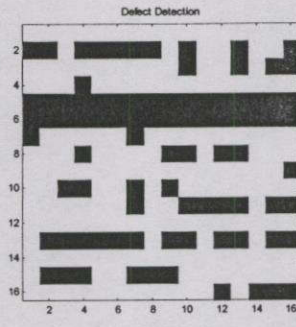
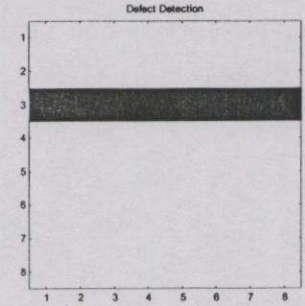
ภาพที่ 7.32 ผลการทดลองที่แบ่งภาพเป็นขนาดต่างๆ ที่ความละเอียดในการสแกน 512 จุดต่อนิ้ว

กำหนดภาพที่นำมาทดสอบ โดยมีความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 1024 จุดต่อนิ้ว



ภาพที่ 7.33 ภาพทดสอบที่ถูกสแกนด้วยความละเอียด 1024 จุดต่อนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าครมึใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) ขนาดภาพย่อย 8×8 (ข) ขนาดภาพย่อย 16×16 (ค) ขนาดภาพย่อย 32×32

ภาพที่ 7.34 ผลการทดลองที่แบ่งภาพเป็นขนาดต่างๆ ที่ความละเอียดในการสแกน 1024 จุดต่อนิ้ว

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ด้วยวิธีการนี้หากกำหนดขนาดของหน้าต่างที่ใช้ในการแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อยๆ ไม่สัมพันธ์กับขนาดของเทกเซลในเทกเจอร์แล้วก็จะทำให้การวิเคราะห์เกิดความผิดพลาดได้และวิธีการนี้ก็จำเป็นที่จะต้องมีการเทกเจอร์ที่สมบูรณ์เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วย และเมื่อดูจากการทดลองจะพบว่าวิธีนี้ไม่เหมาะกับเทกเจอร์ที่มีความละเอียดสูงเพราะเมื่อเทกเจอร์ที่มีความละเอียดสูงขนาดของหน้าต่างที่ใช้แบ่งภาพก็จะเล็กคืบตามความละเอียดของเทกเจอร์ ซึ่งค่าความเปลี่ยนแปลงของสีสโตแกรมในหน้าต่างเล็กๆ จะพบความแตกต่างได้ยากกว่า ทำให้อาจจะไม่สามารถระบุความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้หรือวิเคราะห์ความผิดปกติในเทกเจอร์ผิดพลาด ดังผลการทดลองที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

8.1 บทสรุป

การนำเอาคุณสมบัติการวิเคราะห์สัญญาณที่หลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหม ตามวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นั้น สามารถจะตรวจสอบความผิดปกติของเท็กเจอร์ของผ้าไหมทั้งโครงสร้างของด้ายขึ้นและด้ายพุ่งได้ โดยสามารถตรวจหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหมในลักษณะต่างๆ คือ เส้นด้ายในแนวด้ายขึ้นและด้ายพุ่ง ขาด แยก หรือ ผืนผ้าเป็นรู ซึ่งลักษณะต่างๆ เหล่านี้ก็คือลักษณะทั่วไปของผืนผ้าที่ ตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กำหนดไว้ใน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ

8.1.1 ข้อดีของการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ด

8.1.1.1 สามารถลดจำนวนของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์

เมื่อใช้วิธีการตรวจหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมตามที่ได้เสนอนี้ จะทำให้สามารถลดจำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ลงได้หลายเท่า ทั้งนี้ก็เนื่องจากคุณสมบัติการวิเคราะห์สัญญาณที่หลายความละเอียดนั่นเองที่ทำให้เราสามารถแตกกระจายข้อมูลลงไปในปริภูมิย่อยๆ ที่มีขนาดของข้อมูลลดลงแต่ยังคงประมาณได้เท่ากับข้อมูลเดิมที่อยู่ในปริภูมิที่สูงกว่า เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่มีลักษณะของเท็กเจอร์ที่ไม่ซับซ้อนและเป็นคาบสม่ำเสมอ ก็จะสามารถประมาณค่าข้อมูลที่เป็นลักษณะเด่นหรือเป็นตัวแทนของเท็กเจอร์นั้นๆ ได้ว่าอยู่ในระดับใดของการแปลงเวฟเล็ด และในการวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นก็จะกระทำกับข้อมูลที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไปของการแปลงเวฟเล็ดเท่านั้น เนื่องจากสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมจะเป็นข้อมูลที่มีความถี่ต่ำกว่าข้อมูลที่เป็นตัวแทนหรือลักษณะเด่น เช่น ในการวิเคราะห์เท็กเจอร์ของผ้าไหมที่มีขนาดภาพเท่ากับ 256×256 จุดภาพ เมื่อวิเคราะห์หาลักษณะเด่นของเท็กเจอร์นี้แล้วปรากฏว่าอยู่ที่ระดับที่ 2 ของการแปลงเวฟเล็ด แสดงว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในระดับที่ 3 ของการแปลงเวฟเล็ด ที่มีขนาดของ Subband ของข้อมูลเท่ากับ 32×32 จุดภาพ ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ทั้งหมดจะเท่ากับ $32 \times 32 \times 3 = 3072$ ข้อมูลเท่านั้น ซึ่งหากใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลของเท็กเจอร์โดยตรงนั้น จะต้องใช้ข้อมูลทั้งหมดถึง $256 \times 256 = 65536$ ข้อมูล จะเห็นว่าวิธีการนี้สามารถลดจำนวนข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ลงได้มาก หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยเรื่อง Defect Detection in Textured Materials Using Optimized Filters แล้วจะเห็นว่าวิธีการนี้หากต้องการตรวจสอบหาความผิดปกติลักษณะใดก็จะต้องทำการวิเคราะห์

ข้อมูลเพิ่มเติมอีกเท่าตัว หรือในงานวิจัยเรื่อง การตรวจสอบลายแผ่นแบ่งด้วยวิธีการประมวลผลภาพ วิธีการนี้ก็จะต้องทำการหา Co-Occurance Matrix ถึง 8 ชุดด้วยกันนั้นก็หมายถึงจำนวนข้อมูลที่มากด้วย

8.1.1.2 สามารถลดสัญญาณรบกวนที่อาจจะมึนในเท็กเจอร์

เนื่องจากการนำเอาเฉพาะข้อมูลที่อยู่ในระดับที่สูงขึ้นไป จากระดับของข้อมูลที่เป็นตัวแทนหรือลักษณะเด่นของเท็กเจอร์ของผ้าไหมมาทำการวิเคราะห์นั้น จะทำให้ข้อมูลที่เป็นความถี่สูงซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในเท็กเจอร์ของผ้าไหมถูกตัดออกไป ทำให้ตัดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนในเท็กเจอร์ของผ้าไหมออกไปได้

8.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

8.2.1 ปัญหาของการตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติในเท็กเจอร์ของผ้าไหมโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต

จากการทดลองสามารถสรุปปัญหาที่พบได้ดังนี้

8.2.1.1 ปัญหาจากผ้าไหม

ปัญหาที่เกิดจากผ้าไหมนั้นก็มียุ่หลายอย่าง ตั้งแต่ลักษณะของผ้าว่ามีรอยยับหรือไม่ หากมีรอยยับก็จะทำให้การวิเคราะห์อาจจะผิดพลาดได้เนื่องจากรอยยับของผ้าไหมเมื่อผ่านการสแกนก็จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของเท็กเจอร์ของผ้าไหมด้วย อีกปัญหาที่สำคัญก็คือ แ่งที่เคลือบเส้นด้ายในบางครั้งแ่งที่เคลือบอาจจะมึนมากจนทำให้เท็กเจอร์ของผ้าไหมมีรูปแบบที่ผิดไปจากความเป็นจริง ซึ่งตรงส่วนนี้ก็จะทำให้การวิเคราะห์เกิดการผิดพลาดได้ แต่ปัญหานี้ก็จะเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนของการปั่นด้ายซึ่งก็จะยากแก่การแก้ปัญหา

8.2.1.2 ปัญหาจากการแปลงเวฟเล็ต

จากการทดลองภาพเท็กเจอร์ของผ้าไหมที่จะนำมาตรวจสอบโดยวิธีนี้นั้น จะต้องนำมาผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ต แต่ขนาดของภาพที่จะนำมาแปลงเวฟเล็ตนั้นจะต้องมีขนาดเป็น $2^n \times 2^n$ เสมอ เนื่องจากคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่หลายระดับความละเอียดที่จะลดจำนวนข้อมูลลง 2 เท่าในแต่ละครั้งของการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นหากขนาดของภาพเท็กเจอร์ที่นำมาวิเคราะห์มีขนาดไม่เป็นไปตามนั้น ก็จะต้องนำไปผ่านขบวนการอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อปรับขนาดของภาพเท็กเจอร์ให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์นั้นก่อนนำไปแปลงเวฟเล็ต โดยอาจจะใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ก็ได้

8.2.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการนี้สามารถพัฒนาใช้กับ โครงสร้างของผ้าทอแบบอื่นๆ ที่นอกเหนือจากลายขัคได้ เพราะโดยพื้นฐานของผ้าทอแล้วก็จะเป็นการถักทอกันของด้ายยืนและด้ายพุ่งในลักษณะตั้งฉาก แต่

จำนวนของเส้นด้ายในแต่ละแนวอาจจะแตกต่างกันแล้วแต่ลวดลาย ซึ่งข้อมูลของด้ายยืนและด้ายพุ่งก็จะปรากฏอยู่ใน Subband ที่ 2 และ 3 ของการแปลงเวฟเล็ตอยู่แล้ว

เมื่อมองถึงการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของสิ่งทอในปัจจุบัน ยังคงใช้คนตรวจพินิจด้วยสายตา ซึ่งหากคนที่ทำการทดสอบไม่มีความชำนาญพอ หรือเกิดการเมื่อยล้าสายตา ก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นหากนำวิธีการนี้ไปพัฒนาต่อโดยการนำไปสร้างเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อให้มีความสะดวกในการใช้งานก็จะเป็นประโยชน์ในขั้นตอนการทดสอบสิ่งทอต่อไป หรือหากจะพัฒนาให้เป็นส่วนหนึ่งในขบวนการทอผ้า ก็อาจจะพัฒนาไปใช้ฮาร์ดแวร์แทนการใช้ซอฟต์แวร์ เนื่องจากการทำงานของฮาร์ดแวร์จะมีความเร็วมากกว่า ในส่วนของตัวรับภาพก็อาจจะใช้กล้อง CCD แทนการใช้เครื่องสแกนเนอร์ ก็จะสามารถทำงานได้ในลักษณะที่เป็น Real Time



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrew Laine and Jian Fan. 1993. "Texture Classification by Wavelet Packet Signatures." *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 15(11) : 1186-1191.
- [2] นवलแข ปาลิวณิช. 2542. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดเคชั่น.
- [3] วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2544. อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2540. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 179-2540. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [5] Sid-Ahme. 1995. *Image Processing*. McGraw-Hill Inc.
- [6] John A. Richards. 1993. *Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction*. Springer-Verlag.
- [7] Morton Nadler and Eric P. Smith. 1993. *Pattern Recognition Engineering*. New York : John Wiley & Sons Inc.
- [8] พรรณี ลีกิจวัฒน์. 2544. เอกสารประกอบการเรียน วิชาสถิติเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] Randy K. Young. 1993. *Wavelet Theory and Its Applications*. Boston : Kluwer Academic Publishers.
- [10] C.K. Chui. 1992. *An Introduction to Wavelets*. Boston : Academic Press.
- [11] C. Sidney Burrus *et al.* 1998. *Introduction to Wavelets and Wavelet Transform*. Prentice-Hall International.
- [12] S. Mallat. 1989. "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition : The Wavelet Representation." *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 11(7) : 674-693.
- [13] อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ และคณะ. 2540. "การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต." หน้า 530-535. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20. กรุงเทพฯ :

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. บัณฑิตใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

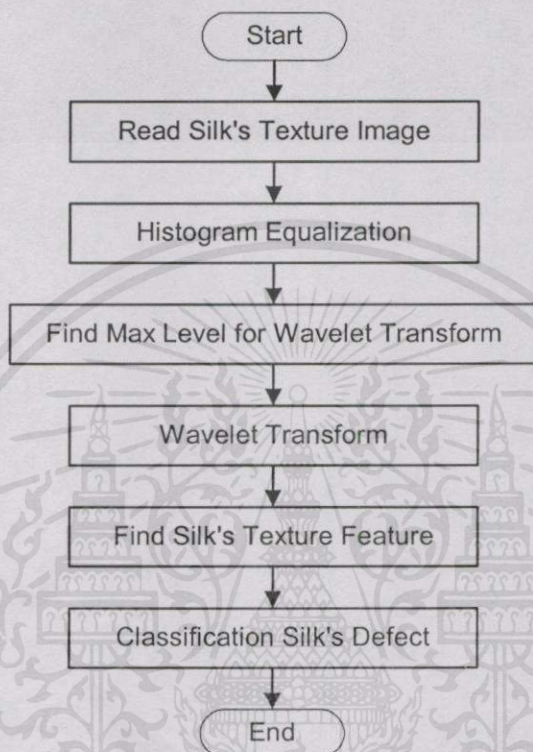
- [14] Ajay Kumar and Grantham K. H. 2002. "Defect Detection in Textured Materials Using Optimized Filters" **IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics**. 32(5) : 553-570.
- [15] อภิชาติ ส่งศักดิ์เสรี และ สุเทพ มาดารัสมี. 2544. "การตรวจสอบลายแผ่นแป่งด้วยวิธีการประมวลผลภาพ." หน้า 1147-1152. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [16] S. Madarasami *et.al.* 2000. "Automated Sheet Rubber Defect Detection and Removal." 486-498. in **Proceedings of the IASTED international conference on signal and image processing (SIP) 2000**. Lasvagas : USA.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

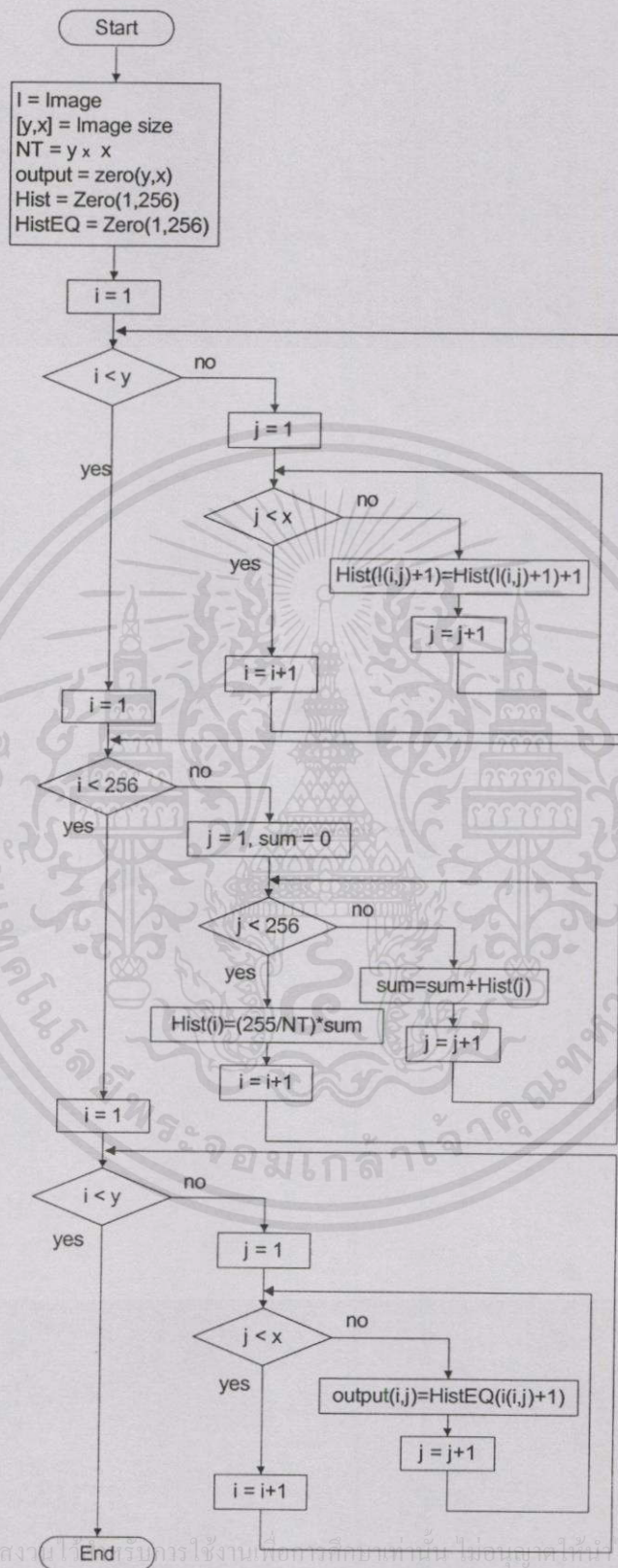
ภาคผนวก ก.

ผังงานของระบบ

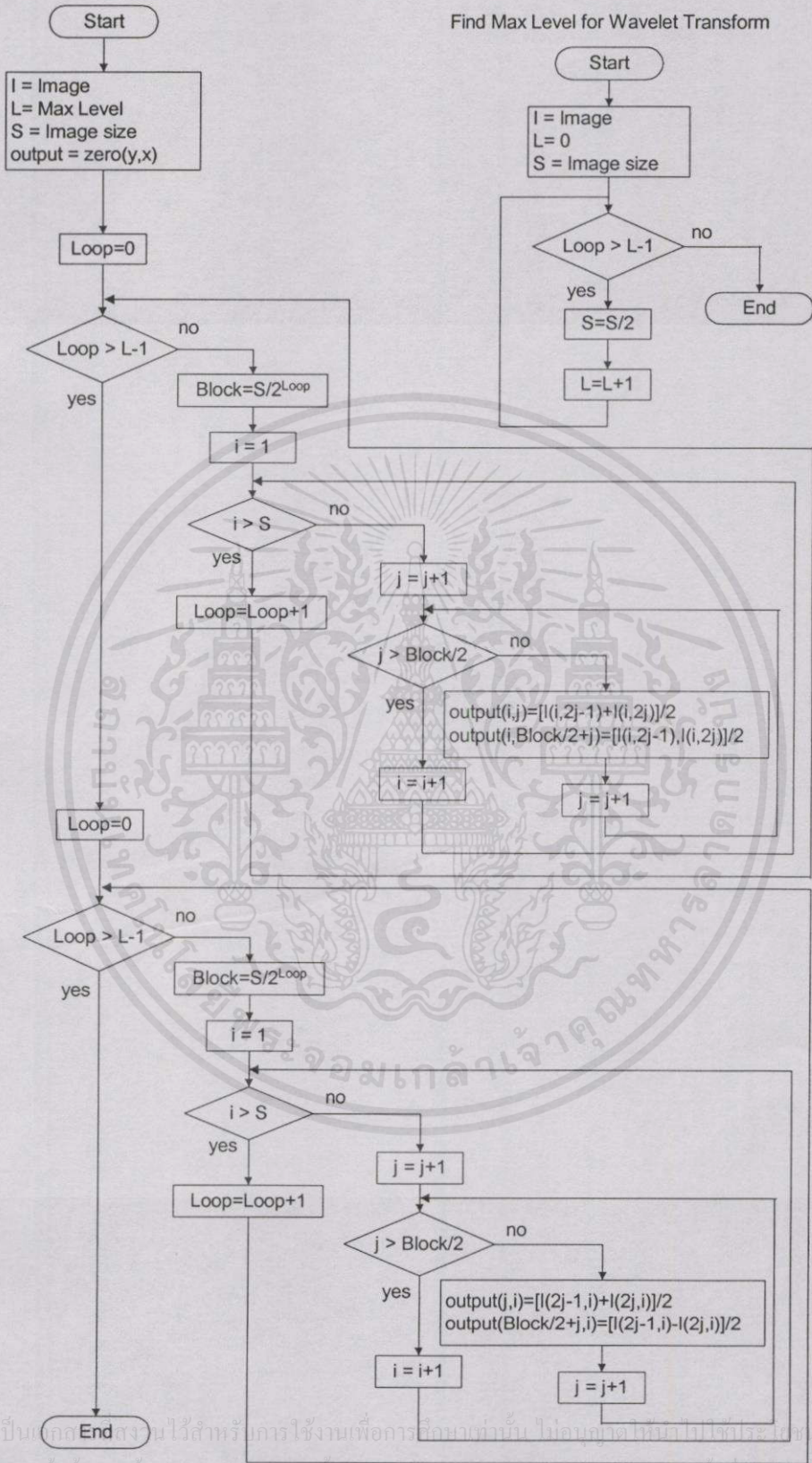


ภาพที่ ก.1 ผังงานรวมของระบบทั้งหมด

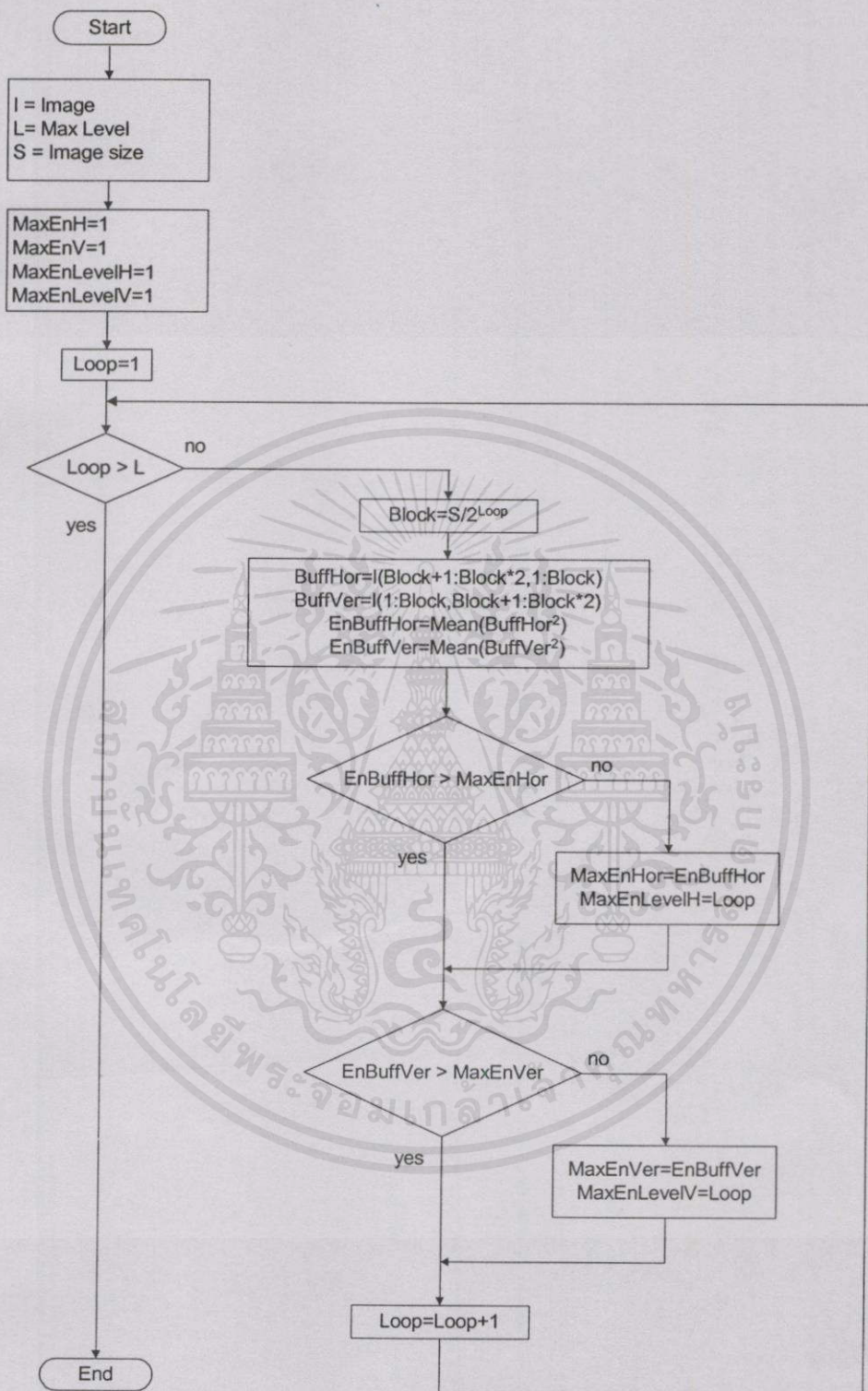
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่า, ปรกติใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา, และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ภาพที่ ก.2 ผังงานของฮิสโตแกรมอีควอลไลเซชัน

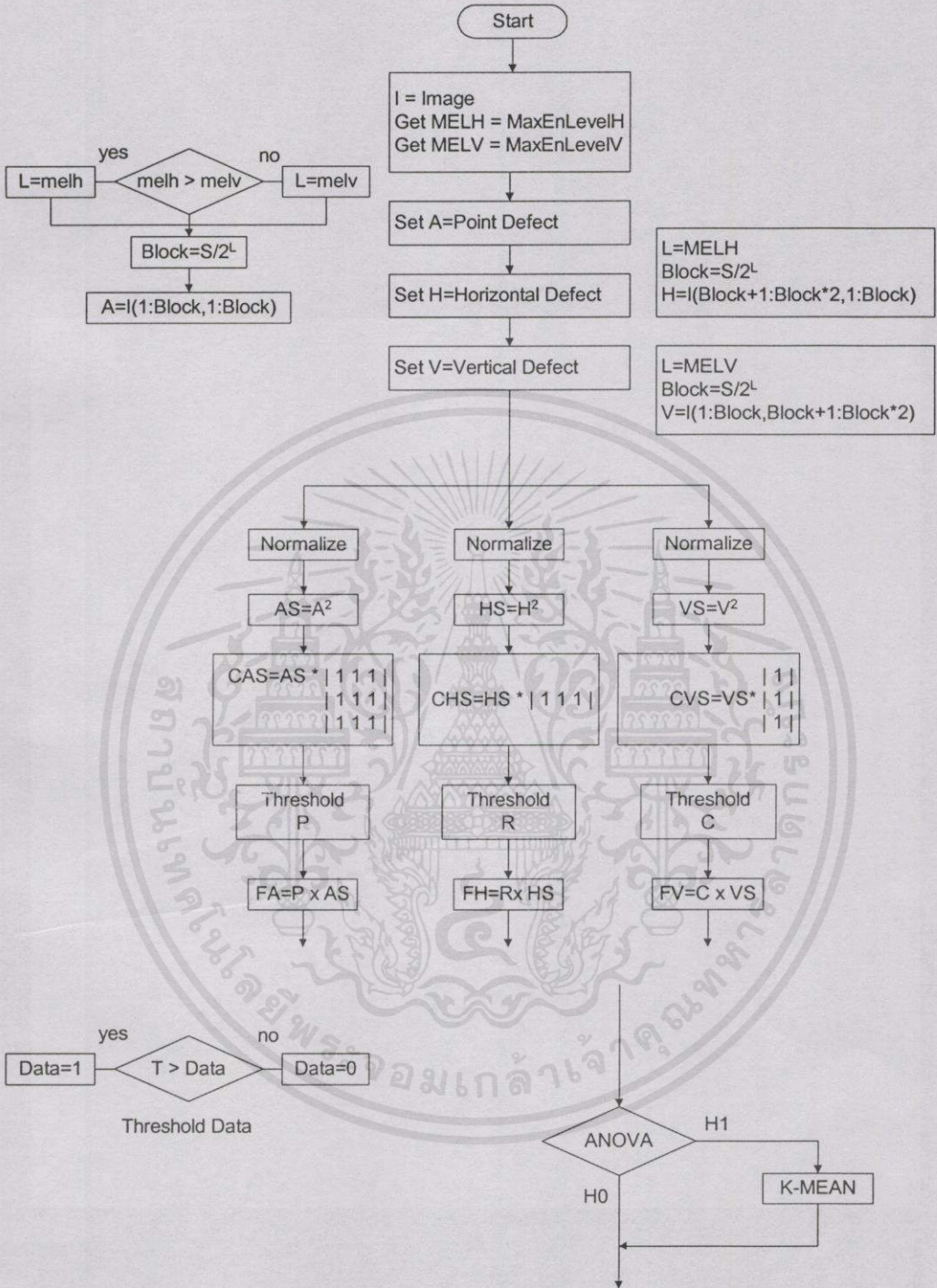


เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่สามารถนำข้อมูลทั้งหมดไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ภาพที่ ก.3 ผลงานของการแปลงเวฟเกิดแบบแบ่งช่วง โดยใช้เวฟเกิดแม่แบบ Haar



ภาพที่ ก.4 ผังงานของการวิเคราะห์ลักษณะเด่นของเท็กเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.5 ผังงานของการปรับปรุงข้อมูลสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

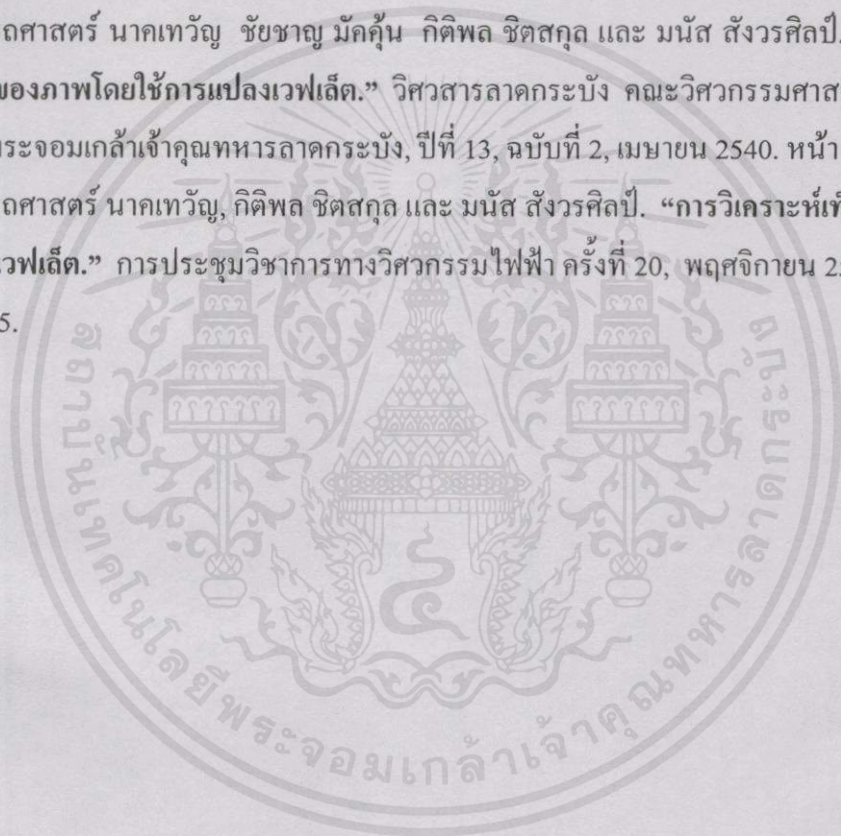
ประวัติผู้เขียน

นายอรรถศาสตร์ นาคเทวัญ เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2516 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2536 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง สาขาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช ปีการศึกษา 2534

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ ชัยชาญ มัคคุ่น กิติพล ชิตสกุล และ มนัส สังวรศิลป์. “การแก้ไข รายละเอียดของภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ด.” วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, เมษายน 2540. หน้า 44-50.

อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ, กิติพล ชิตสกุล และ มนัส สังวรศิลป์. “การวิเคราะห์เท็กเจอร์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ด.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20, พฤศจิกายน 2540. หน้า 530-535.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้