

การผสมภาพทางการแพทย์โดยใช้การแปลงเวฟเลต

MEDICAL IMAGE FUSION USING WAVELET TRANSFORM

มานิดา กันทุกษ์  
MANIDA KUNTOOK

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-984-4

การผสมภาพทางการแพทย์โดยใช้การแปลงเวฟเลต

MEDICAL IMAGE FUSION USING WAVELET TRANSFORM



มานิดา กันทุกษ์  
MANIDA KUNTOOK

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 47898  
วัน, เดือน, ปี 2๕ ส.ค. 2546

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2545

ISBN 974-648-984-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MEDICAL IMAGE FUSION USING WAVELET TRANSFORM



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

2002

ISBN 974-648-984-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2002**

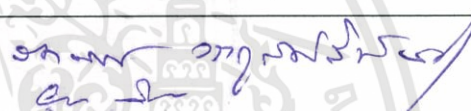



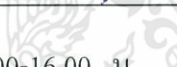
**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การผสมภาพทางการแพทย์โดยใช้การแปลงเวฟเลต  
MEDICAL IMAGE FUSION USING WAVELET TRANSFORM  
ชื่อนักศึกษา      นางสาวมานิดา กันทุภักข์  
รหัสประจำตัว      42061401  
ปริญญา      วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา      วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์      รศ.ดร.สุรพันธุ์      เอื้อไพบูลย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.รัตติกกร	วราภรณ์ศิริพันธ์	
ดร.ยุพธนา	คิดใจเดียว	
ดร.กิติพล	ชิตสกุล	
รศ.ดร.มนัส	สังวรศิลป์	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพบูลย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 พฤษภาคม 2545 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว



(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัทธู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... ๒๑.....เดือน..... สิงหาคม..... พ.ศ..... ๒๕๔๕.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผสมภาพทางการแพทย์โดยใช้การแปลงเวฟเลข
นักศึกษา	นางสาวมานิดา กันทุกซ์
รหัสประจำตัว	42061401
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการผสมภาพ (Image Fusion) 2 มิติ โดยคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของเวฟเล็ททรานส์ฟอร์มร่วมกับเทคนิคการผสมภาพให้เกิดภาพใหม่ โดยการทำอินเวอร์สเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม ซึ่งสามารถเลือกประมวลผลในช่วงความถี่ต่างๆได้ โดยไม่ก่อให้เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล เช่น การผสมภาพ CT (Computed Tomography) กับภาพ MRI (Magnetic Resonance Imaging) ในการวัดคุณภาพ หรือความเหมือนกันของภาพ จะทำได้โดยการหาค่าของ Root mean square error (RMSE) ระหว่างภาพที่เหมาะสมที่สุด (Perfect Image) กับภาพที่ผสม โดยใช้เวฟเล็ทแม่ 3 ชนิด ได้แก่ Haar, Daubechies4 และ B-spline

<b>Thesis Title</b>	Medical Image Fusion using Wavelet Transform
<b>Student</b>	Miss Manida Kuntook
<b>Student ID</b>	42061401
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2002
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. Surapan Airphaiboon

### ABSTRACT

This thesis presents a method of image fusion scheme using the combination of wavelet transform and fusion rule. The new image is obtained by taking the inverse wavelet transform of the fused wavelet coefficients. When image are fused in wavelet space, we can process different frequency ranges are possible processed, i.e. fusion of Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) images. The root mean square error (RMSE) for the performance measure of the difference image between the 'perfect image' and the 'fused image'. By using three mother wavelet; namely Haar , Daubechies 4 and B-spine .

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลือและสนับสนุนจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ซึ่งผู้เขียนขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านดังต่อไปนี้

คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ซึ่งคอยอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนในเรื่องการศึกษา และเป็นกำลังใจให้ อย่างเสมอมา

รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ซึ่งคอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความรู้ ความเข้าใจ และให้การอบรมสั่งสอนในทุก ๆ ด้าน ตลอดระยะเวลาการศึกษา ซึ่งผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตาจากท่านเป็นอย่างสูง

ร.ศ.ดร.มนัส สัจจศิลปี่ ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว ที่กรุณาให้คำปรึกษาอันมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อ งานวิจัย

ครู อาจารย์ทุก ๆ ท่านที่กรุณาให้การอบรม สั่งสอนและให้ความรู้  
ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ประจำปีงบประมาณ 2544 จากทบวงมหาวิทยาลัย

พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

มานิดา กันทุกข์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของการผสมข้อมูล.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.1.1 การผสมข้อมูลจากหลายตัวตรวจนับ.....	4
2.1.2 การผสมข้อมูลคุณภาพ.....	8
2.2 ขบวนการผสมภาพ.....	11
2.2.1 วิวัฒนาการของขบวนการผสมภาพ.....	11
2.3 ความผิดเพี้ยนที่เกิดจากการผสมภาพ.....	13
2.3.1 ความผิดเพี้ยนแบบบดบัง.....	13
2.3.2 ความผิดเพี้ยนแบบการลดทอนความคมชัดของภาพ.....	13
2.4 การวัดประสิทธิภาพการผสมภาพ.....	14
2.4.1 การวัดเชิงคุณภาพหรือวัด โดยความหมายของภาพ.....	14
2.4.2 การวัดเชิงปริมาณ.....	14
บทที่ 3 การแปลงเวฟเล็ท.....	17
3.1 ทฤษฎีเวฟเล็ท.....	17

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด.....	20
3.3 การแปลงเวฟเล็ทแบบคิสครีท.....	22
3.3.1 การแปลงเวฟเล็ทแบบคิสครีท 1 มิติ.....	22
3.3.2 การแปลงเวฟเล็ทแบบคิสครีท 2 มิติ.....	24
3.4 การประยุกต์ใช้กับข้อมูล.....	27
3.5 การหาขอบที่หลายระดับความละเอียด.....	29
3.5.1 การหาอนุพันธ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ทใน 1 มิติ.....	29
3.5.2 การหาอนุพันธ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ทใน 2 มิติ.....	32
3.5.3 การหาขอบภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ท.....	35
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ทในการผสมภาพถ่ายทางการแพทย์.....	37
4.1 บทนำ.....	37
4.2 การกระจายและการรวมเวฟเล็ท.....	37
4.2.1 การแปลงเวฟเล็ท.....	37
4.2.2 การแปลงผกผันเวฟเล็ท.....	38
4.3 การแปลงเวฟเล็ทของข้อมูลภาพ.....	38
4.4 การผสมภาพทางการแพทย์โดยทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ท.....	42
4.4.1 การผสมโดยตรง.....	43
4.4.2 การผสมโดยใช้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท.....	44
4.4.2.1 การผสมโดยค่าเฉลี่ย.....	45
4.4.2.2 การผสมโดยค่าแมกซ์มี้ม.....	45
4.4.2.3 การผสมโดยความถี่สูง/ความถี่ต่ำ.....	45
4.4.2.4 การผสมโดยค่าเฉลี่ยและค่าแมกซ์มี้ม.....	45
4.4.2.5 การผสมโดยขอบภาพ.....	46
4.4.2.6 การผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ.....	46
4.5 สรุป.....	48
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	49

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1 บทนำ.....	49
5.2 การทดลองกับภาพถ่ายทางการแพทย์.....	49
5.2.1 การผสมภาพโดยหาค่าเฉลี่ย.....	51
5.2.2 การผสมภาพโดยหาค่าแมกซิมัม.....	52
5.2.3 การผสมภาพโดยหาค่าความถี่สูงร่วมกับค่าแมกซิมัม.....	53
5.2.4 การผสมภาพโดยหาค่าเฉลี่ยและแมกซิมัม.....	54
5.2.5 การผสมภาพโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ.....	54
5.2.6 การผสมขอบภาพ.....	56
5.3 การทดลองวัดความเร็วในการผสมภาพ.....	59
บทที่ 6 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา.....	62
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	62
6.2 แนวทางในการพัฒนา.....	63
เอกสารอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก ก.....	66
ภาคผนวก ข.....	71
ประวัติผู้เขียน.....	78

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างการผสมในระดับสูง.....	5
2.2 ตัวอย่างการผสมในระดับลักษณะเดิม.....	6
2.3 แสดงการผสมในระดับ signal , pixel , feature และ symbol level fusion..... ในระบบการรู้จำรถถังอัตโนมัติ.....	8
2.4 การแบ่งแยกข่าวสารระหว่างข่าวสารที่ประกอบกันและข่าวสารซ้ำซ้อน.....	9
2.5 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างข่าวสารซ้ำซ้อนและข่าวสารประกอบกัน.....	10
2.6 การลดระดับความละเอียดของการแปลงปริมาตร.....	12
3.1 ความแตกต่างระหว่าง STFT และ WT.....	17
3.2 การกระจายข้อมูลที่ระดับความละเอียด.....	21
3.3 การซับซ้อนกันของปริภูมีย่อยที่มีฟังก์ชันสเกลลิงแก่ทัวปริภูมิ.....	21
3.4 ลักษณะของ DWT กับขบวนการ Two channel analysis filter bank.....	23
3.5 ลักษณะของ IDWT กับขบวนการ Two channel analysis filter bank.....	24
3.6 แผนภาพการกระจายต้นแบบ 2 มิติ.....	26
3.7 แผนภาพการกระจายต้นแบบ 2 มิติ ในซับแบนด์ต่าง ๆ.....	26
3.8 แผนภาพการรวมข้อมูลกลับ.....	27
3.9 บล็อกไดอะแกรมของการกระจายในแต่ละซับแบนด์.....	28
3.10 ตัวอย่างการหาค่าสูงสุดของสัญญาณใน 1 มิติ.....	31
3.11 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีทใน 1 มิติ.....	31
3.12 การหาขอบของภาพต้นแบบ CIRCLE.....	34
3.13 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีทใน 2 มิติ.....	34
3.14 การแบ่งทิศทางของเกรเดียนท์.....	35
3.15 ลักษณะขอบที่ได้จากการแปลงภาพต้นแบบ LENA.....	36
4.1 เมตริกซ์การแปลงเวฟเล็ตระดับ $j = 3$ .....	39
4.2 เมตริกซ์การแปลงกลับระดับ $j = 3$ .....	40
4.3 เมตริกซ์การแปลงเวฟเล็ตระดับ $j = 3$ .....	41
4.4 ภาพต้นแบบ.....	41
4.5 แสดงภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตของเส้นภาพตามแนวนอน.....	41
4.6 แสดงภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตของเส้นภาพตามแนวคอลัม.....	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ตัวอย่างภาพการแปลงเวฟเล็ตสำหรับหาขอบภาพ.....	42
4.8 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยการบวกภาพอินพุตแบบจุดต่อจุด.....	44
4.9 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยหาค่าเฉลี่ยแบบจุดต่อจุด.....	44
4.10 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยใช้ DWT.....	44
4.11 บล็อกไดอะแกรมของภาพผสมภาพในแต่ละช่วงแบนด์.....	45
4.12 บล็อกไดอะแกรมของภาพผสมขอบภาพหลายระดับการแปลง.....	46
4.13 บล็อกไดอะแกรมของการผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ.....	48
5.1 ภาพต้นแบบ 1.....	49
5.2 ภาพที่ได้จากการตัดแปะด้วยมือของภาพต้นแบบ 1.....	50
5.3 ภาพต้นแบบ 2.....	50
5.4 ภาพที่ได้จากการตัดแปะด้วยมือของภาพต้นแบบ 2.....	50
5.5 ภาพที่ผ่านการผสมโดยตรง.....	51
5.6 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยหาค่าเฉลี่ย.....	51
5.7 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยหาค่าแมกซ์มี้ม.....	52
5.8 การผสมภาพต้นแบบ 2 โดยหาค่าแมกซ์มี้ม.....	52
5.9 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยค่าความถี่สูงร่วมกับค่าแมกซ์มี้ม.....	53
5.10 การผสมภาพต้นแบบ 2 โดยค่าความถี่สูงร่วมกับค่าแมกซ์มี้ม.....	53
5.11 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยค่าเฉลี่ยและค่าแมกซ์มี้ม.....	54
5.12 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ.....	55
5.13 การผสมภาพต้นแบบ 2 โดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ.....	55
5.14 การหาขอบภาพต้นแบบ 1 ที่ระดับการแปลง 2 ระดับ.....	57
5.15 การหาขอบภาพต้นแบบ 2 ที่ระดับการแปลง 1 ระดับ.....	57
5.16 การผสมขอบภาพต้นแบบ 1 ที่หลายระดับการแปลง.....	58
5.17 การผสมขอบภาพต้นแบบ 2 ที่หลายระดับการแปลง.....	59

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สรุปลักษณะพื้นฐาน 2 มิติ.....	25
5.1 แสดงการวัดประสิทธิภาพของการผสมภาพต้นแบบ 2 .....	55
5.2 แสดงการวัดประสิทธิภาพของการผสมภาพต้นแบบ 1.....	56
5.3 แสดงผลการวัดความเร็วในการประมวลผลการผสมภาพต้นแบบ 1.....	60
5.4 แสดงผลการวัดความเร็วในการประมวลผลการผสมภาพต้นแบบ 2.....	60



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตการตรวจวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในของมนุษย์เรานั้นแพทย์จะต้องทำการผ่าตัดร่างกายของมนุษย์จริง เพราะเนื่องจากเรายังไม่มีเครื่องมือใดๆที่สามารถแสดงให้เห็นถึงอวัยวะที่อยู่ภายในร่างกายของมนุษย์ได้ แต่ในปัจจุบันจะเห็นว่าวิทยาการทางด้านการแพทย์มีความเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ประกอบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ทางการแพทย์ เพื่อประสิทธิภาพและขีดความสามารถในการตรวจวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของมนุษย์ เราได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว จึงทำให้แพทย์ไม่จำเป็นต้องทำการผ่าตัดกับร่างกายมนุษย์จริง โดยมีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายภาพตัดขวางของอวัยวะภายในร่างกายมนุษย์ ได้แก่ เครื่อง CT (Computer Tomography) สแกนเนอร์ และ เครื่อง MRI (Magnetic Resonance Imaging) สแกนเนอร์ เป็นต้น ซึ่งภาพเหล่านี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการตรวจวิเคราะห์ทางการแพทย์เป็นอย่างมากและ ภาพเหล่านี้มีความเหมาะสมในลักษณะที่ต่างกัน เช่น ภาพถ่ายจากเครื่อง CT สแกนเนอร์ สามารถสังเกตเห็นในส่วนที่เป็นกระดูกได้อย่างชัดเจน แต่จะสังเกตเห็นในส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อได้น้อยกว่า ส่วนภาพถ่ายจากเครื่อง MRI สแกนเนอร์สามารถสังเกตเห็นในส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อบางได้มากกว่าส่วนที่เป็นกระดูกหรืออาจจะไม่สามารถสังเกตเห็นส่วนที่เป็นกระดูกได้เลย

แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในร่างกายของมนุษย์ด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง CT สแกนเนอร์ หรือ ภาพถ่ายจากเครื่อง MRI สแกนเนอร์ภาพใดภาพหนึ่งนั้นอาจจะไม่เพียงพอต่อการวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในร่างกายมนุษย์ได้ ดังนั้นจึงต้องนำภาพถ่ายจากเครื่องสแกนเนอร์ทั้ง 2 ประกอบการวินิจฉัยโรคร่วมกัน ซึ่งทำได้โดยการนำภาพถ่ายจากเครื่อง CT สแกนเนอร์ หรือ ภาพถ่ายจากเครื่อง MRI สแกนเนอร์ มาสังเกตกลุ่มเนื้อเยื่อหรืออวัยวะต่างๆ พร้อมกันทั้ง 2 ภาพด้วยตาเปล่าของแพทย์ผู้ตรวจ ซึ่งการสังเกตเห็นภาพถ่ายที่ละภาพพร้อมๆกันทั้ง 2 ภาพ อาจทำให้การสังเกตเห็นเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ ผิดตำแหน่งที่เป็นจริงได้ และยิ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจวินิจฉัยหาสาเหตุโรคได้ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยสังเขป คือการนำวิธีทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการผสมภาพถ่ายทางการแพทย์

ในการผสมภาพถ่ายทางการแพทย์ (Medical image fusion) นั้นเป็นการนำลักษณะเด่นของภาพแต่ละภาพผสมกัน เพื่อให้เกิดภาพใหม่หนึ่งภาพที่ยังคงรักษาลักษณะเด่นของภาพแต่ละภาพได้เท่าที่จะทำได้ โดยไม่ก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการภายในภาพผสม เช่น การเกิดตารางหมากรุก (Block artifact) และความคมชัดของภาพผสมถูกลบเลือนไป อย่างไรก็ตาม การผสมภาพส่วนใหญ่

เป็นการผสมภาพโดยพิจารณาที่ความละเอียดเพียงภาพ ถ้าเราสามารถผสมภาพโดยพิจารณาที่หลายระดับความละเอียดได้ก็จะสามารถรักษาลักษณะเด่นของภาพแต่ละภาพได้มากขึ้น

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

จุดประสงค์ในการทำงานวิจัยนี้คือ ศึกษาถึงเทคนิคต่าง ๆ เพื่อใช้ในการผสมภาพทางการแพทย์ โดยเทคนิคการผสมภาพที่นำเสนอ นั้น มีจุดประสงค์เพื่อที่จะได้ภาพผสมที่ยังคงรักษารายละเอียดของภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพ ได้โดยไม่ให้ความคมชัดของภาพถูกลบเลือนไป ให้ความราบเรียบ และไม่ก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการภายในภาพผสมที่เน้นในการปรับปรุงภาพเพื่อให้มนุษย์สามารถมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจน และสามารถนำภาพที่ผสมแล้วไปประมวลผลอื่น ๆต่อไปได้

## 1.3 แนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

โดยทั่วไปการผสมภาพ 2 มิติ มีหลักการพื้นฐานในการผสมภาพ คือ การผสมโดยการบวกภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพแบบจุดต่อจุดโดยตรง และการผสมภาพโดยการหาค่าเฉลี่ยของภาพอินพุตแบบจุดต่อจุดทั้ง 2 ภาพ ซึ่งจะให้ความคมชัดของภาพถูกลบเลือนไป ดังนั้นแนวความคิดของงานวิจัยนี้คือ การผสมภาพโดยใช้การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ดมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการผสมภาพ 2 มิติ เพื่อให้ได้ภาพผสมที่ยังคงรักษารายละเอียดของภาพอินพุตได้โดยไม่ให้ความคมชัดของภาพถูกลบเลือนไป ให้ความราบเรียบ และไม่ก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการภายในภาพผสม

เทคนิคการผสมภาพ ที่นำเสนอ นั้นได้เลือกเอาวิธีการผสมโดยการหาค่าเฉลี่ยและ การผสมโดยหาค่าแมกซิมัมของจุดภาพมาเป็นพื้นฐานในการผสมโดยพิจารณาจากความเข้มของจุดภาพ แต่ละภาพมีความต่างกันหรือไม่ ซึ่งจะพิจารณาจากค่าเทรชโฮลด์ที่ได้จากค่าเฉลี่ยของความแตกต่างทั้งสองภาพอินพุต ถ้าค่าความต่างของทั้งสองภาพมากกว่าค่าเทรชโฮลด์ ดังนั้นจะเลือกการผสมโดยค่าแมกซิมัม แต่ถ้าค่าความต่างของทั้งสองภาพ น้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ ดังนั้นจะเลือกการผสมโดยการหาค่าเฉลี่ยทั้งสองภาพ ซึ่งการผสมโดยการหาค่าเฉลี่ยจะช่วยลดสัญญาณรบกวน และจะได้ผลดีในค่าความเข้มของจุดภาพแต่ละภาพใกล้เคียงกัน

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้คือ การนำเสนอเทคนิคการผสมภาพทางการแพทย์ที่สามารถพิจารณาในการเลือกการผสมได้ โดยพิจารณาจากค่าความเข้มของแต่ละภาพอินพุตสามารถพิจารณาแบ่ง รายละเอียดเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ออกเป็น 6 บท แต่ละบทจะมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1. กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาตลอดจนวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2. กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการผสมภาพ คือการผสมข้อมูลหลายตัวตรวจจับ การผสมข้อมูลภาพ ขบวนการผสมภาพความผิดเพี้ยนที่เกิดจากการผสมภาพ และการวัดประสิทธิภาพผสมภาพ

บทที่ 3. กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานการแปลงของเวฟเล็ท ทั้งคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับ ความละเอียด การแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่อง แบบ 1 มิติ และ 2 มิติ การประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพ และการหาขอบที่หลายระดับของการแปลงภาพ

บทที่ 4. กล่าวถึงการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ทผสมภาพทางการแพทย์ การแปลงเวฟเล็ทด้วยเวฟเล็ทแม่ต่าง ๆ ในรูปเมตริกซ์ การผสมภาพด้วยเทคนิคต่าง ๆ และ เทคนิคที่นำเสนอ โดย ใช้การแปลงเวฟเล็ท การผสมขอบภาพ โดยการแปลงเวฟเล็ท

บทที่ 5. เสนอผลการทดลองแสดงการผสมภาพทางการแพทย์ และการวัดประสิทธิภาพในการผสมภาพทางการแพทย์

บทที่ 6. เป็นการสรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะถึงแนวทางในการทำวิจัยต่อไป

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานของการผสมข้อมูล

### 2.1 บทนำ

ขอบเขตของการผสมข้อมูลโดยทั่วไปจะเป็นงานวิจัยในด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงงานทางด้านปัญญาประดิษฐ์ การผสมข้อมูลเป็นการรวม หรือหล่อหลอมข้อมูลหลายๆ ข้อมูลที่กำเนิดมาจากแหล่งความรู้หลายแหล่งเข้าด้วยกันจนก่อให้เกิดข้อมูลใหม่ที่มีรายละเอียดของข้อมูลเพิ่มขึ้น เช่น การผสมภาพทางการแพทย์ การผสมภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น

#### 2.1.1 การผสมข้อมูลจากหลายตัวตรวจจับ

การผสมข้อมูล (Data) หรือ ข่าวสาร (Information) จากหลายตัวตรวจจับ (Multisensor) คือ การผสมข้อมูลที่มีแหล่งกำเนิดข้อมูลต่างกัน เพื่อเหมาะสำหรับใช้ในระบบอัจฉริยะ (Intelligent system) ซึ่งข้อมูลที่ผสมอาจได้มาจากตัวตรวจจับต่างชนิดกัน หรือ ตัวตรวจจับชนิดเดียวกันแต่ต่างเวลาในการตรวจจับ เช่น ข้อมูลของสัญญาณ (Signal) อาจได้จากตัวตรวจจับต่างชนิดกัน หรือ ข้อมูลภาพ (Image) อาจได้จากหลายแบบจำลอง (Multimodality) หลักการและวิธีที่นำมาใช้ร่วมกับการผสม เช่น ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก (Weighted average) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural networks) ซับ-แบนด์ ฟิลเตอร์ (Sub-band filter) และ กฎเชิงความรู้ (Rules based knowledge) เมื่อเร็วๆ นี้ได้นำหลักการตรรกศาสตร์ฟัซซี (Fuzzy logic) และ โครงสร้างพีระมิด (Graph pyramid) นิยมนำมาใช้ร่วมกับการผสมข้อมูลด้วย

ประเภทของข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับแบ่งออกเป็น

1. สัญญาณ 1-มิติ เช่น สัญญาณอนาล็อก (Analog) คือ สัญญาณซึ่งมีค่าต่อเนื่องกันโดยตลอด สัญญาณดิจิทัล (Digital) และ สัญญาณตรรกะ (Logic)
2. สัญญาณ 2-มิติ เช่น รูปภาพ (Image) หรือ radiation field
3. ข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อความ (Text) และ เสียง (Speech) เป็นต้น

การผสมข้อมูลจากหลายตัวตรวจจับที่ระดับต่างๆ[1]

การผสมในระดับสัญญาณ (Signal level fusion) สามารถใช้ร่วมกับ real-time application และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลสัญญาณ

การผสมในระดับจุดภาพ (Pixel level fusion) สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพในด้านการประมวลผลภาพ (Image processing) เช่น การแยกแยะ (Segmentation)

การผสมในระดับลักษณะเด่น และระดับสัญลักษณ์ (Feature and Symbol level fusion) สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการจดจำวัตถุ (Object recognition) และเพิ่มลักษณะเด่นในการจดจำ การแบ่งระดับของการผสมนั้นพิจารณาจากข่าวสารที่กำเนิดมาจากตัวตรวจจับ (Sensor) แต่ละชนิด

#### การผสมระดับสัญญาณ (Signal level fusion)

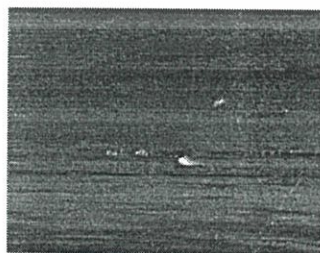
การผสมในระดับสัญญาณ เป็นการผสมสัญญาณหลายสัญญาณที่ได้จากกลุ่มของตัวตรวจจับหลายตัว โดยมีเงื่อนไขว่า สัญญาณนั้นจะต้องมีแหล่งกำเนิดสัญญาณในรูปแบบเดียวกัน ซึ่งการผสมในระดับสัญญาณจะเป็นการผสมในระดับต่ำ (Low level fusion) หรือเรียกว่า การผสมในระดับการประมาณ (Measurement level fusion) ข้อมูลที่ใช้ในขบวนการผสมจะเป็นข้อมูลดิบ (Raw data) ชนิดของสัญญาณอาจเป็น สัญญาณเดี่ยว (Single signal) หรือ มัลติไดเมนชันซิกเนล (Multidimension signal) ลักษณะรูปแบบสัญญาณ จะเป็นตัวแปรแรนดัม (Random variable) และลักษณะวิธีการผสม เช่น signal estimation ประโยชน์ที่ได้รับจากการผสมในระดับสัญญาณ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการวิเคราะห์สัญญาณ

#### การผสมระดับจุดภาพ (Pixel level fusion)

การผสมระดับจุดภาพเป็นการผสมข้อมูลที่เป็นจุดภาพที่มีแหล่งข้อมูลต่างกันหรือจากหลายตัวตรวจจับ (Multiple sensor) การผสมในระดับจุดภาพจะเป็นการผสมในระดับต่ำถึงระดับกลาง (Low to medium level fusion) ในส่วน low level image fusion เป็นการนำเอาข้อมูลดิบหรือภาพดิบที่ต่างตัวตรวจจับผสมกันจนได้ภาพใหม่ แนวความคิดหลักในการผสมภาพเพื่อดึงข่าวสารที่สำคัญ (Important information) ในแต่ละภาพมาผสมกันจนเกิดภาพใหม่ การดึงข่าวสารที่สำคัญนั้นขึ้นอยู่กับเทคนิคต่างๆที่นำมาประยุกต์ร่วมกับการผสมภาพ รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการผสมภาพ โดยที่ทั้ง 2 ภาพ แสดงตำแหน่งเดียวกัน ในรูป ก. เป็นภาพจาก visual image จะสังเกตเห็นควันและภูเขา ส่วน รูป ข. เป็นภาพจาก thermal infrared image ซึ่งจะสังเกตเห็นเป้าหมาย คือ รถสินค้าและฮอติคอปเตอร์ แต่ภาพจาก visual image จะสังเกตเห็นเป้าหมายได้บางส่วน และรูป ก. ผลจากการผสมภาพทั้ง 2



(ก) Visual Image



(ข) Thermal Infrared Image

#### รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการผสมในระดับจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ผลจากการผสมภาพทั้งสอง

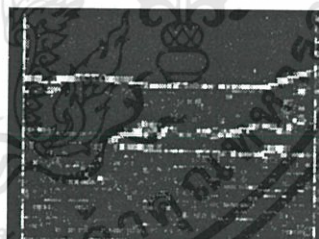
รูปที่ 2.1 (ต่อ)

### การผสมในระดับลักษณะเด่น (Feature level fusion)

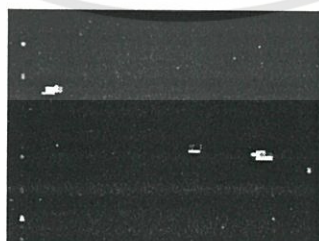
การผสมในระดับลักษณะเด่น เป็นการผสมเพื่อให้เกิดลักษณะเด่นเพิ่มมากขึ้น โดยลักษณะเด่นนั้นเกิดจากข้อมูลข่าวสารจากตัวตรวจจับหรือดึงลักษณะเด่นจากข้อมูลดิบ ทำการผสมกัน การผสมในระดับลักษณะเด่นนี้เรียกอีกอย่างว่า การผสมในระดับกลาง (Medium level fusion) ซึ่งรวมถึงการดึงลักษณะเด่นในภาพแต่ละภาพผสมกัน เช่น การดึงลักษณะเด่นที่เป็นขอบภาพ (Edge) หรือการดึงความเข้มของภาพ (Depth) เป็นต้น รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการผสมลักษณะเด่นของความหยาบละเอียด (texture image) โดยกระทำที่แต่ละจุดภาพในภาพอินพุตที่ได้จากตัวตรวจจับที่แตกต่างกัน รูป ก. texture image จากภาพ IR รูป ข. texture image จากภาพ VIS รูป ค. ผลจากการผสมความละเอียดจากภาพทั้งคู่



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการผสมในระดับลักษณะเด่น (ก) ภาพจากตัวตรวจจับ IR  
(ข) ภาพจากตัวตรวจจับVIS (ค) ผลจากการผสมทั้ง 2 ตัวตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

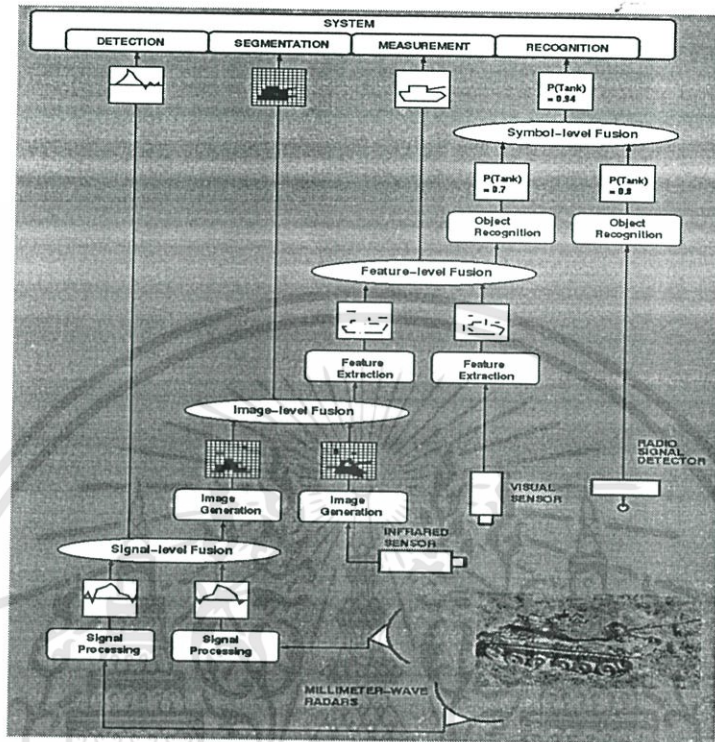
## การผสมระดับสัญลักษณ์ (Symbol level fusion)

การผสมในระดับสัญลักษณ์ หรือเรียกอีกอย่างว่า การผสมในระดับการตัดสินใจ (Decision level fusion) เป็นการผสมในระดับสูง (High level fusion) ซึ่งสัญลักษณ์ที่จะผสมนั้นจะเป็นข้อมูลที่ต่างตำแหน่งกัน สัญลักษณ์นั้นจะได้ออกมาจากการตัดสินใจจากกฎเกณฑ์ตามสภาพแวดล้อม การตัดสินใจนั้น (Decision) เกิดจาก matching features จาก sensory information วิธีของการตัดสินใจ เช่นการอนุมานทางตรรกะ (Logical inference) ประโยชน์ที่ได้รับจากการผสมระดับสัญลักษณ์ เพื่อเพิ่มค่าความจริง (Truth) หรือ ค่าความน่าจะเป็น (Probability) ในการสร้างสัญลักษณ์ซึ่งเป็นผลสำเร็จของขบวนการอนุมาน (Inference process)

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการผสมในระดับต่างๆ ของหลายตัวตรวจจับในระบบรับรู้จำโดยในระบบมีตัวตรวจจับ ทั้งหมด 5 ตัว คือ มิลลิเมตร เวฟ เรดาร์ (Millimeter wave radars) 2 ตัว แต่กระทำที่ความถี่ต่างกัน อินฟราเรด เซนเซอร์ (Infrared sensor) ทัศนวิสัย เซนเซอร์ (Visual sensor) เรดิโอ ซิกแนล ดีเทกเตอร์ (Radio signal detector) อย่างละ 1 ตัว โดยที่ตัวตรวจจับ (sensor) ทั้งหมดจับไปที่รถถัง และ ตัวตรวจจับแต่ละชนิดจะให้ข่าวสารต่างกัน เช่น เรดาร์จะกำเนิดข่าวสารชนิดที่เป็น range information และสัญญาณซึ่งจะมีผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศน้อยกว่า อินฟราเรด เซนเซอร์ ในขณะที่ อินฟราเรด เซนเซอร์ จะให้ข่าวสารที่มีความละเอียดมากกว่า ตัวตรวจจับที่เป็นเรดาร์ แต่จะไม่เท่ากับ ทัศนวิสัย เซนเซอร์ ที่สามารถจับภาพได้ในตอนกลางคืน

เรดาร์ทั้ง 2 ตัวจะให้สัญญาณแบบซิงโครนัส และ coaligned ดังนั้นข้อมูลจะถูกเก็บและสามารถผสมที่ระดับสัญญาณได้ จากรูปสัญญาณที่ผสมจะส่งไปยังระบบ (System) ซึ่งระบบสามารถนำไปใช้ในด้านการค้นหาเป้าหมาย (Detection) ได้อย่างแม่นยำ และเป็นอินพุตเพื่อสร้างขอบเขตภาพในการผสมกับค่าความหนาแน่นของภาพที่ได้จาก อินฟราเรด เซนเซอร์ บนตำแหน่งเดียวกัน โดยผสมระดับจุดภาพ (Pixel level) ภาพที่ถูกผสมจะส่งไปยังระบบ ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในด้านการแยกแยะเป้าหมาย (Segmentation) และเป็นอินพุตในขบวนการผสมลักษณะเด่น โดยลักษณะเด่นที่ดึงมาจากการผสมภาพระดับจุดภาพทำการผสมกับลักษณะเด่นที่ได้จาก ทัศนวิสัย เซนเซอร์ ในระดับลักษณะเด่น (Features level) ณ ตำแหน่งเดียวกัน ลักษณะเด่นที่ถูกผสมจะส่งไปยังระบบ ซึ่งลักษณะเด่นนั้นสามารถนำมาวัดทิศทางหรือลักษณะท่าทางของเป้าหมายให้มีความถูกต้องและยังเป็นอินพุตในขบวนการจดจำวัตถุ ซึ่งเอาที่พุทของขบวนการจดจำจะออกมาในรูปแบบสัญลักษณ์ (Symbol) สมมุติวัดขนาดรถถังที่ได้จากการผสมในระดับลักษณะเด่นเท่ากับ 0.7 ผสมกับขนาดรถถังจาก เรดิโอ ซิกแนล ดีเทกเตอร์ เท่ากับ 0.8 สัญลักษณ์ที่ถูกผสมจะส่งไปยังระบบ ซึ่งระบบจะทำการรู้จำรถถัง (Recognition) ซึ่งขนาดรถถังที่ผสมวัดได้เท่ากับ 0.94 มีขนาดใหญ่กว่า

สัญลักษณ์อินพุตทั้ง 2 เพื่อเพิ่มสัญลักษณ์รถถังให้มีขนาดใหญ่เพื่อสังเกตเห็นรถถังได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 แสดงการผสมในระดับ สัญญาณ จุดภาพ ลักษณะเด่น และ สัญลักษณ์ ในระบบการรู้จำรถถังอัตโนมัติ

### 2.1.2 การผสมข้อมูลภาพ (Image fusion)

การผสมภาพ คือ การนำข้อมูลภาพอินพุต 2 มิติ จำนวน 2 ภาพ ที่มีแหล่งกำเนิดต่างกันรวมกัน หรือหล่อหลอมกันจนเกิดภาพใหม่ขึ้นมา 1 ภาพ ที่ยังคงรักษาส่วนประกอบหรือลักษณะเด่น (Feature) ของภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพ ได้ ซึ่งการผสมภาพในระดับจุดภาพ (Pixel level fusion) เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจนของมนุษย์ (Human perception) หรือ หุ่นยนต์ (Machine perception) และสามารถนำไปปรับปรุงได้ง่ายขึ้น จะรวมถึง ภาพทางการแพทย์ (Medical image) เช่น ภาพถ่ายจากเครื่อง CT สแกนเนอร์ ผสมกับภาพถ่ายจากเครื่อง MRI เป็นต้น

### สาระสำคัญบางประการของการผสมข้อมูลภาพ

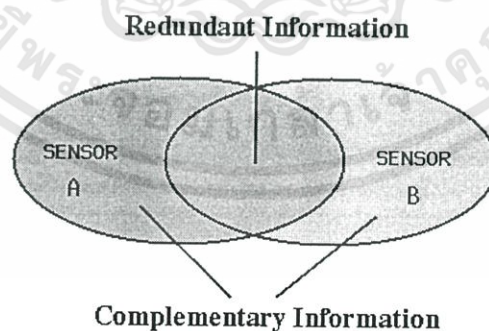
บทบาทของการผสมภาพหลายตัวตรวจจับมีความสัมพันธ์กับประเภทข่าวสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข่าวสารซ้ำซ้อน (Redundant information) ที่ได้จากกลุ่มของหลายตัวตรวจจับ หรือ ตัวเดียว แต่ต่างเวลาในการตรวจจับ ซึ่งเป็นข่าวสารที่ตัวตรวจจับอาจจะตรวจจับข่าวสารผิดไปจากลักษณะที่เป็นจริง ในลักษณะเด่นเดียวกัน ดังนั้น การผสมข่าวสารซ้ำซ้อนจะช่วยลดความไม่แน่นอน และด้วยเหตุนี้จะเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่น (Reliability) ในกรณีของภาพที่ได้จากตัวตรวจจับที่มีข้อผิดพลาดได้

ข่าวสารประกอบกัน (Complementary information) ได้จากหลายตัวตรวจจับ คือ ข่าวสารที่ได้จากตัวตรวจหลายตัวตรวจจับที่ตรวจจับลักษณะเด่นต่างกัน หรือเป็นอิสระกันมาประกอบกันในสภาพแวดล้อมนั้น หรือกล่าวได้ว่าข่าวสารประกอบกัน จะเป็นข่าวสารที่ตัวตรวจจับตัวเดียวไม่สามารถให้ลักษณะเด่นครบได้ เช่น การมองเห็นลักษณะเด่นของตัวตรวจจับแต่ละตัว จะเป็นอิสระในการมองเห็นลักษณะเด่นอื่นๆจากตัวตรวจจับแต่ละตัว ในทางตรงข้ามถ้ามองเห็นลักษณะเด่นจากตัวตรวจจับแต่ละตัวขึ้นอยู่กับมองเห็นลักษณะเด่นลักษณะเดียวจากตัวตรวจจับอื่นๆ จะเป็นข่าวสารที่ซ้ำซ้อน (Redundant information)

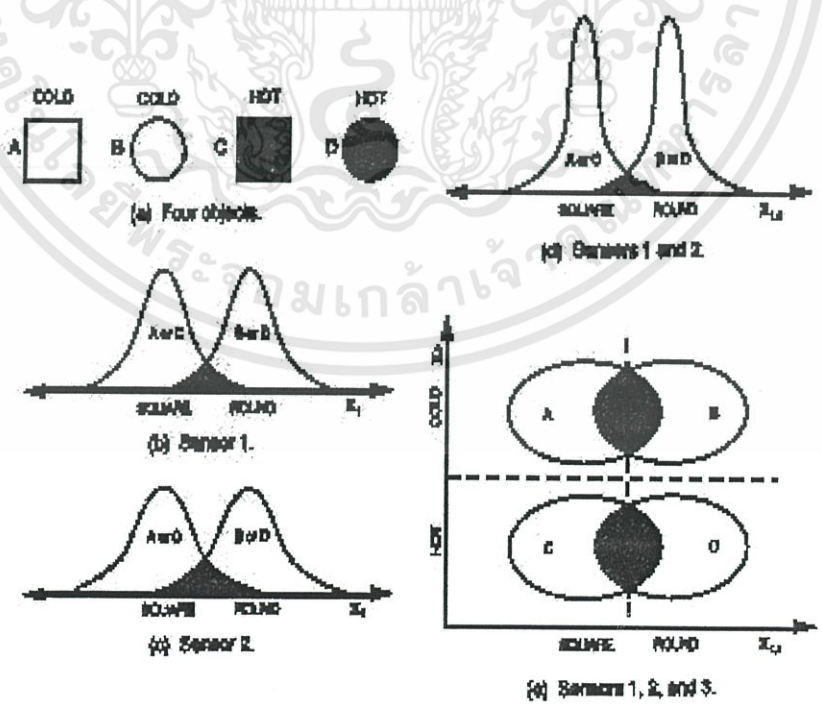
ดังนั้น ข่าวสารซ้ำซ้อนเป็นข่าวสารที่ผสมในระดับต่ำ (Low level) เพราะ สามารถนำข้อมูลดิบมาผสมโดยไม่ต้องผ่านขบวนการทำ pre-processing แต่ข่าวสารประกอบกันจะสามารถผสมในระดับสัญลักษณ์ และ การผสมภาพด้วย ข่าวสารที่ซ้ำซ้อนจะเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นและปรับปรุงเสถียรภาพข่าวสาร โดยการผสมด้วยข่าวสารประกอบกันจะเป็นการปรับปรุงในด้านความสามารถรูปที่ 2.4 แสดงถึงการแบ่งแยกข่าวสารระหว่างข่าวสารประกอบกันและข่าวสารซ้ำซ้อนกันที่ได้จากตัวตรวจจับ A และตัวตรวจจับ B โดยที่ข่าวสารซ้ำซ้อนที่ได้จากตัวตรวจจับ A จะมีลักษณะเด่นของข่าวสารเดียวกับข่าวสารซ้ำซ้อนที่ได้จากตัวตรวจจับ B แต่ข่าวสารประกอบกันที่ได้จากตัวตรวจจับ A และ B จะมีลักษณะเด่นของข่าวสารที่เป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 2.4 การแบ่งแยกข่าวสารระหว่างข่าวสารประกอบกันและข่าวสารซ้ำซ้อนที่ได้จากตัวตรวจจับ A และตัวตรวจจับ B

ตัวอย่างการแยกข้อมูลระหว่างข่าวสารประกอบกัน (Complementary information) และข่าวสารซ้ำซ้อน (Redundant information) ในการรู้จำวัตถุ (Object recognition) โดยมี 4 วัตถุ แสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.5(a) โดยจะแยก 2 ลักษณะเด่นที่เป็นอิสระต่อกัน คือ ลักษณะรูปร่าง (Shape) และ ลักษณะอุณหภูมิ (Temperature) โดยที่ตัวตรวจจับ 1 และ ตัวตรวจจับ 2 จะให้ข่าวสารซ้ำซ้อน ใน ลักษณะรูปร่างวัตถุ และตัวตรวจจับ 3 จะให้ข่าวสารประกอบกันในลักษณะอุณหภูมิ รูปที่ 2.5(b) และ 2.5(c) เป็นการกระจาย ความถี่แบบไฮโปเธติคัล (Hypothetical frequency distribution) ของวัตถุทรงสี่เหลี่ยม (Square) และวัตถุทรงกลม (Round) เนื่องจากตัวตรวจจับ 1 และ 2 ไม่สามารถตรวจจับลักษณะอุณหภูมิของวัตถุได้ ดังนั้นวัตถุ A เท่ากับวัตถุ C และ วัตถุ B เท่ากับวัตถุ D โดยที่พื้นที่ใต้กราฟในส่วนที่เป็นสีขาวแสดงถึงค่าที่ตัวตรวจจับสามารถตรวจจับวัตถุทรงสี่เหลี่ยม และวัตถุทรงกลมได้ในแต่ละตัวตรวจจับ แต่พื้นที่ใต้กราฟที่เป็นสีดำแสดงถึงค่าที่ตัวตรวจจับไม่สามารถแยกลักษณะวัตถุทรงสี่เหลี่ยมและวัตถุทรงกลมได้อย่างชัดเจนในแต่ละตัวตรวจจับ ส่วนใน รูปที่ 2.5 (d) แสดงถึงผลของการกระจายความถี่ในการผสมข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับ 1 และตัว ตรวจจับ 2 ซึ่งจะให้ค่าความถี่ของวัตถุทรงสี่เหลี่ยม และวัตถุทรงกลมสูงกว่าค่าความถี่ของวัตถุที่ได้ จากตัวตรวจจับ 1 หรือตัวตรวจจับ 2 ที่ยังไม่ได้ผสม ดังนั้นการนำข่าวสารซ้ำซ้อนที่ได้จากการตัว ตรวจจับ 1 และข่าวสารซ้ำซ้อนที่ได้จากตัวตรวจจับ 2 ผสมกันทำให้เพิ่มความเชื่อมั่นในการมองเห็นวัตถุทรงสี่เหลี่ยมและวัตถุทรงกลมได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น รูปที่ 2.5(e)แสดงถึงผลของการกระจาย ความถี่ในการผสมกันระหว่างข่าวสารประกอบกันที่ได้จากตัวตรวจจับ 3 กับข่าวสารซ้ำซ้อนกันที่ ได้จากตัวตรวจจับ 1และ2 เป็นการผสมกันในระดับสูงหรือระดับสัญลักษณ์ ดังนั้นการเพิ่มข่าวสาร ประกอบกันเข้าไปในกระบวนการผสมจะให้ผลการผสมดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.5 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างข่าวสารซ้ำซ้อน และข่าวสารประกอบกันจาก 3 ตัวตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จับ รูปที่2.5(a) วัตถุ 4 ลักษณะ คือ A, B, C และ D โดยแยกลักษณะเด่นเป็น 2 ลักษณะ คือ รูปทรง (สี่เหลี่ยม และกลม) และ อุณหภูมิ (ร้อน และ เย็น) รูปที่2.5(b) การกระจาย ลักษณะรูปทรงที่ได้จาก ตัวตรวจจับ 1 รูปที่2.5(c) การกระจายลักษณะรูปทรงที่ได้จากตัวตรวจจับ 2 รูปที่2.5(d) ผลการผสมของข่าวสารซ้ำซ้อนจากตัวตรวจจับ 1 กับตัวตรวจจับ 2 รูปที่2.5(e) ผลการผสมของข่าวสารซ้ำซ้อนจากตัวตรวจจับ 1,2 (ลักษณะรูปทรง) กับข่าวสารประกอบกันจากตัวตรวจจับ 3 (ลักษณะอุณหภูมิ)

วัตถุประสงค์ของการผสมในระดับจุดภาพ

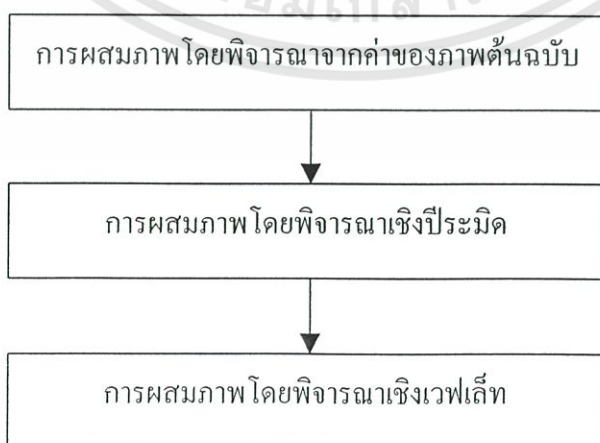
1. เพื่อดึง (Extract) ลักษณะเด่นจากภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพได้เท่าที่จะทำได้
2. ไม่ควรก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการ หรือเกิดรอยหยักภายในภาพผสม ซึ่งทำให้การมองเห็นของมนุษย์ผิดเพี้ยนไป

ดังนั้นการผสมภาพจะมีความสัมพันธ์ในงานวิจัยหลายด้าน เช่น คอมพิวเตอร์วิชัน (Computer vision) การประมวลผลภาพ (Image processing) และรีโมตเซนซิง(Remote sensing) เป็นต้น

## 2.2 กระบวนการผสมภาพ

### 2.2.1 วิวัฒนาการของกระบวนการผสมภาพ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิวัฒนาการของกระบวนการผสมภาพ จากการผสมภาพระหว่างค่าของจุดภาพแต่ละภาพจนถึงการผสมภาพโดยการผ่านกระบวนการแปลงต่างๆ และนำสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงมาผสม ซึ่งเห็นได้จากแผนผัง แสดงกระบวนการผสมภาพต่างๆ ดังนี้ [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการแรกเป็นการผสมภาพแบบเบื่องต้น โดยกระทำการผสมบนภาพต้นฉบับ (Source images) ทั้ง 2 ภาพ ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบในด้านของความคมชัดของภาพลดน้อยลงไป และ ลักษณะเด่นจากภาพต้นฉบับทั้ง 2 ภาพหายไป เช่น การผสมภาพ 2 ภาพ โดยการนำค่าของแต่ละจุดภาพบวกกัน

กระบวนการที่สองเป็นกระบวนการผสมภาพเชิงพีระมิดโดยกระทำการผสมภาพบนสัมประสิทธิ์ ที่ได้จากการแปลงพีระมิดซึ่งจะให้ผลดีว่าการผสมภาพบนภาพต้นฉบับโดยตรง การแปลงพีระมิดนั้นมีความสำคัญมากในการผสมภาพ โครงสร้างของการแปลงพีระมิด(Pyramid transform) สำหรับการผสมภาพนั้น จะเป็นการแปลงจากภาพต้นแบบที่มีขนาด  $n \times n$  จะมีระดับความละเอียด (level) เท่ากับ  $\log_2 n$  และสามารถลดระดับความละเอียดลงครั้งไปเรื่อย ๆ เท่ากับ  $n/2 \times n/2, n/4 \times n/4, n/8 \times n/8, \dots, 1 \times 1$  ดังนั้นการผสมภาพ โดยกระบวนการแปลงพีระมิดจะนำสัมประสิทธิ์ของแต่ละระดับผสมกัน และได้ภาพที่ผสมโดยการแปลงกลับพีระมิด (Inverse pyramid transform) ในรูปที่ 2.6 แสดงถึงภาพต้นแบบที่มีขนาด  $512 \times 512$  สามารถลดระดับความละเอียดได้ โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยจุดภาพระดับเท่า ที่อยู่ติดกัน ตามแกนแนวนอนและตามแกนตั้ง [3]



รูปที่ 2.6 การลดระดับความละเอียดของการแปลงพีระมิด ภาพต้นฉบับ มีขนาด  $512 \times 512$  ลดระดับความละเอียด โดยหาค่าเฉลี่ยจุดภาพที่อยู่ติดกัน

ข้อดีของการผสมภาพโดยพิจารณาเชิงพีระมิด คือ

- เหมาะสำหรับข้อมูลภาพที่มีความคมชัดไม่สม่ำเสมอภายในภาพ
- สามารถกระทำได้ทั้ง โดเมนระยะทางและโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการที่สาม เป็นกระบวนการผสมภาพเชิงทฤษฎีเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม โดยจะใช้คุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของทฤษฎีเวฟเล็ตมากระทำให้อยู่ในรูปของการกระจายข้อมูลแบบปริมาตร สำหรับการผสมภาพ และยังสามารถรักษารายละเอียดภายในภาพได้เป็นอย่างดี ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำมาประยุกต์ร่วมกับเทคนิคการผสมภาพได้

ในการทำงานวิจัยนี้จะเน้นในเรื่องของทฤษฎีเวฟเล็ตเพื่อใช้ร่วมกับเทคนิคการผสมภาพดังนั้น จะกล่าวอย่างละเอียดในบทถัดไป

## 2.3 ความผิดเพี้ยนที่เกิดจากการผสมภาพ

คุณภาพในการมองเห็นของภาพ ที่ได้จากการผสมภาพ (Image fusion) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญต่าง ๆ เช่น ประเภทข้อมูล ที่ได้จากตัวตรวจชนิดต่าง ๆ และขั้นตอนการผสมภาพ ซึ่งประเภทข้อมูลที่นิยมใช้ในการผสมภาพ เช่น ข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกัน และ ข้อมูลที่ประกอบกัน ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1.2 สำหรับขั้นตอนการผสมภาพ พบว่าข้อมูลภาพในพื้นที่ที่มีรายละเอียดมากจะมีความผิดเพี้ยนของภาพมากกว่าพื้นที่ที่มีรายละเอียดน้อย และในขบวนการผสมภาพควรมีการสูญเสียข้อมูลให้น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้ภาพที่ผสมมีความผิดเพี้ยนไป ดังนั้น การผสมภาพ ควรทำการผสมในแบบหลายระดับความละเอียด เพื่อรักษารายละเอียดของภาพให้มีการสูญเสียที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

### 2.3.1 ความผิดเพี้ยนแบบบล็อก (Blocking artifact)

การเกิดบล็อกหรือรอยหยักภายในภาพผสมเป็นผลเนื่องจาก ลักษณะความชัน (Slope) แบบไม่ต่อเนื่อง ที่บริเวณของค่าจุดภาพที่อยู่ติดกัน หรือค่าระดับความเข้ม (Intensity) ของจุดภาพไม่ต่อเนื่องที่บริเวณจุดภาพติดกัน โดยจะปรากฏให้เห็นเป็นขอบภาพในแนวนอน และแนวตั้งตลอดเกือบทั้งภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ของภาพที่มีความราบเรียบ (Smooth region) เป็นผลเนื่องมาจากการไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่อยู่ติดกัน

### 2.3.2 การลดทอนความคมชัดของภาพ หรือการเบลอ (Blurring)

การเบลอของภาพเป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสียองค์ประกอบความถี่สูงไป และเกิดขึ้นได้ในเทคนิคของการผสมภาพที่มีการสูญเสียข้อมูลจากเดิมไปมาก อย่างไรก็ตามระดับการเบลอของภาพจะไม่รบกวนในการมองเห็นของผู้สังเกตการณ์ ถ้าระยะของการมองเห็นที่มีค่ามากผลของความเบลอในภาพจะลดลง ลักษณะการเบลอของภาพ ปรากฏให้เห็นในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น บริเวณขอบภาพที่มีความราบเรียบการเบลอในเนื้อหาของภาพและการเบลอแบบเป็นช่วง ๆ ในการเคลื่อนไหวของวัตถุ เนื่องจากการประมาณทิศทางการเคลื่อนไหวที่ไม่ดีพอ (Motion compensation) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 วัดประสิทธิภาพการผสมภาพ

ในการผสมภาพ บางส่วนของภาพที่ผสม อาจจะสูญเสียไปบ้าง ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการผสมภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้

### 2.4.1 การวัดเชิงคุณภาพหรือวัดโดยความหมายของภาพ

เป็นวิธีพื้นฐานโดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องทำการตัดสิน คุณภาพของภาพในฐานะที่เป็นผู้ใช้ธรรมดา และยังใช้สายตาของผู้เชี่ยวชาญที่มีความสามารถในการสังเกตความบกพร่องเล็กน้อยที่ผู้ใช้ทั่วไปอาจมองข้ามการตัดสินใจอาจใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

(1) การตัดสินใจจากภาพทดสอบแล้วให้ระดับคะแนน เมื่อผู้ทดสอบได้มองภาพทดสอบแล้วระดับคุณภาพตามที่ระบุไว้ โดยอาจมีชุดภาพมาตรฐานที่มีระดับคะแนนระบุไว้อ้างอิงด้วย ระดับคุณภาพสามารถแสดงได้ทั้งระดับความถูกต้องและระดับความผิดพลาด

(2) การตัดสินใจจากชุดภาพทดสอบแล้วเรียงลำดับคุณภาพของภาพ ซึ่งผู้ใช้จะเรียงลำดับภาพทดสอบตามคุณภาพของภาพที่เห็น โดยผู้ทดสอบจะตัดสินใจในลักษณะเปรียบเทียบว่าดีกว่าหรือแย่กว่า

ดังนั้นการวัดคุณภาพของภาพ โดยอาศัยการประเมินจากผู้สังเกต จะให้ผลถูกต้อง และน่าเชื่อถือมาก

### 2.4.2 การวัดเชิงปริมาณ

ค่าของปริมาณข้อมูลที่สูญเสียหรือผิดพลาดไป จะสามารถอธิบายได้ในรูปของ ฟังก์ชันของภาพที่สมบูรณ์ กับภาพที่ได้หลังจากผ่านขบวนการผสมแล้ว ซึ่งการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการผสมภาพสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น

รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square error : RMSE) [4]

เป็นการหาค่าผิดพลาดระหว่างภาพสมบูรณ์ กับภาพผลลัพธ์ที่ได้ ถ้ามีค่า RMSE น้อยแสดงว่าภาพ ผลลัพธ์ที่ได้มีความผิดเพี้ยนจากภาพสมบูรณ์น้อย แต่ถ้าค่า RMSE มากแสดงว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้ มีความผิดเพี้ยนจากภาพสมบูรณ์มาก ดังนั้นเราสามารถหาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยของข้อมูลภาพ ขนาด  $M \times N$  ดังนี้

$$RMSE = \left[ \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - f'(x, y)]^2 \right]^{1/2} \quad (2.1)$$

โดยที่  $M$  คือ จำนวนพิกเซลตามแกนแนวนอนของภาพ

$N$  คือ จำนวนพิกเซลตามแกนแนวตั้งของภาพ

$f(x, y)$  คือ ค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  ของภาพสมบูรณ์

$f'(x, y)$  คือ ค่าของพิกเซลที่ตำแหน่ง  $(x, y)$  ของภาพผลลัพธ์

อัตราส่วนของสัญญาณรบกวนสูงสุด (Peak signal – to – noise ratio : PSNR) [5]

ในงานบางประเภทนิยมใช้ค่า PSNR หาได้จาก

$$PSNR = 10 \log \frac{Peak^2}{MSE} \quad (2.2)$$

โดยที่ Peak คือค่าสูงสุดของขอบเขตข้อมูล สำหรับภาพที่มีพิกเซลแทนด้วยขนาดข้อมูล  $n$  บิตจะมีจำนวนระดับเทา (Gray scale) เท่ากับ  $2^n$  จะได้ว่า

$$PSNR = 10 \log \frac{(2^n - 1)^2}{MSE} \quad (2.3)$$

ดังนั้น ภาพขนาด 8 บิต หรือมีจำนวนระดับเทาเท่ากับ 256 ระดับจะได้

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{MSE} \quad (2.4)$$

โดยที่ MSE คือ ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error)

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - f'(x, y)]^2 \quad (2.5)$$

หรือ หา Peak signal – to – noise ratios ได้ตามสมการที่ (2.6) [6]

$$PSNR = 20 \log 10 \left( \frac{255}{RMSE} \right) \quad (2.6)$$

ถ้าค่า PSNR มีค่ามาก หมายความว่า อัตราส่วนของสัญญาณ (Signal) มีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวน (noise)

จากเนื้อหาทั้งหมดที่กล่าวมาหลักการพื้นฐานในการผสมข้อมูลหลายตัวตรวจจับ และการผสมในระดับต่างๆ ซึ่งในวิทยานิพนธ์จะเน้นที่การผสมในระดับจุดภาพหรือการผสมข้อมูลภาพ เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจน เช่นภาพทางการแพทย์ เน้นในเรื่องการมองเห็นอวัยวะต่างๆภายในร่างกายของมนุษย์เราได้อย่างชัดเจน และในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเอาคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์กับการผสมภาพด้วย ซึ่งทฤษฎีเวฟเล็ตจะกล่าวในบทต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

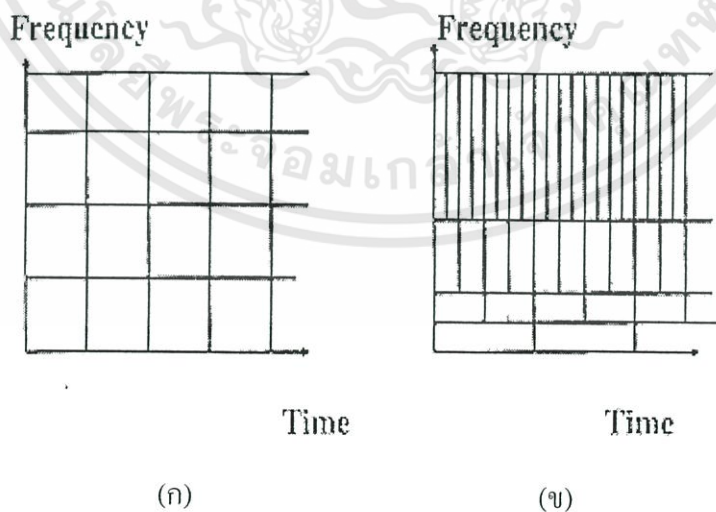
บทที่ 3

การแปลงเวฟเล็ท

บทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ทแบบดิสครีท (Discrete wavelet transform : DWT) 1 มิติ และ 2 มิติ ในลักษณะของฟิลเตอร์แบงก์ (Filter bank) ซึ่งการแปลงเวฟเล็ทนั้นจะมีคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด (Multi resolution analysis) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการประมวลผลภาพ และ การหาขอบที่หลายระดับของการแปลงภาพได้โดยการหาอนุพันธ์ของการแปลงเวฟเล็ท

3.1 ทฤษฎีเวฟเล็ท

การแปลงเวฟเล็ทเป็นการพัฒนามาจาก STFT (Short time fourior transform) ที่ต่างกันคือ การแปลงเวฟเล็ทใช้ วินโดว์ที่ปรับขนาดได้ตามช่วงความถี่ (Frequency range) หรือ สามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ โดยที่สัญญาณความถี่สูงจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์น้อยลง แต่ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์กว้างขึ้น ดังรูปที่ 3.1(ข) แต่ STFT จะวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้ หน้าต่างที่ไม่มีเปลี่ยนแปลง (Fixed window) ดังรูปที่ 3.1(ก)



รูปที่ 3.1 (ก) Short Time Fourior Transformation (ข) Wavelet Transformation

การแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปของเวฟเล็ต ต้องสร้างเซตของฟังก์ชันพื้นฐาน ที่เรียกว่า เวฟเล็ต ก่อนเพื่อใช้เป็นฟังก์ชันต้นแบบ หรือ เวฟเล็ตแม่ (Mother wavelet :  $\Psi(t)$ ) โดยมีฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) ดังนี้

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.1)$$

โดยเวฟเล็ตแม่ จะทำการย่อ / ขยายมาตราส่วน (Scaling) โดยให้  $a$  คือ พารามิเตอร์ ย่อ/ขยาย และ  $b$  คือ พารามิเตอร์ เลื่อนตำแหน่ง (Translation) ไปตามแกนของเวลา เมื่อค่า  $a$  มีขนาดใหญ่ ฟังก์ชันพื้นฐานจะเป็นต้นแบบใช้ในการขยายขนาด (Low frequency) และเมื่อค่า  $a$  มีขนาดเล็ก ฟังก์ชันพื้นฐานจะเป็นต้นแบบในการย่อขนาด (High frequency) การย่อ (Contraction) และการขยาย (dilation) กระทบกับเวฟเล็ตแม่ใน โดเมนเวลา ต้องสัมพันธ์กับการทำการขยาย และการทำการย่อ ใน โดเมนความถี่ด้วยการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (The continuous wavelet transformation : CWT) ของสัญญาณ  $x(t)$  หาได้จาก inner product ของ  $x(t)$  และ  $\Psi_{a,b}(t)$  [7]

$$w_c(a,b) = \int x(t) \Psi_{a,b}^*(t) dt \quad (3.2)$$

เมื่อ  $*$  คือ การ complex conjugation และ  $\Psi_{a,b}$  เป็นอิสระในแนวตั้งฉาก (Orthogonal) โดยที่  $a$  เป็นพารามิเตอร์ของการสเกล และ  $b$  เป็นพารามิเตอร์ของการเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ การแปลงเวฟเล็ตจะเป็นการส่งสัญญาณอินพุต ผ่านฟังก์ชันที่มีตัวแปรอิสระไปยังปริภูมิ (space) ของฟังก์ชันที่เป็น 2 มิติ ที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ  $a, b$  และเซตของค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดที่ได้ ( $W_c(a,b)$  ที่  $a, b$  ใดๆ) เรียกว่า โดเมนของเวฟเล็ต (Wavelet domain)

ดังนั้นการแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง เป็นผลรวมของสัญญาณเวลาทั้งหมดที่ถูกคูณด้วยเวฟเล็ตที่มีขนาด (Scale) และการเลื่อน (Shift) กระบวนการนี้จะสร้างสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดและตำแหน่ง สัญญาณเดิม (Original Signal) จะสามารถถูกสร้างกลับคืน (Reconstructed) ได้ด้วยค่าสัมพันธ์ ผกผัน (Inverse relationship) ดังนี้

$$X(t) = c \iint W_c(a,b) \Psi_{a,b}(t) da db \quad (3.3)$$

เมื่อ  $C$  เป็นค่าคงที่ของคูณสมบัติเฉพาะ (Constant of proportionality) จากการพัฒนาฟังก์ชันเวฟเล็ต (Wavelet function) :  $\Psi(t)$  ไปสู่การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด (Multi resolution Analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องใช้ฟังก์ชันพื้นฐานเพิ่มขึ้นอีก คือฟังก์ชันสเกลลิง (Scaling function) :  $\Phi(t)$

ฟังก์ชันสเกลลิงใช้ในการแปลงสัญญาณจากละเอียดไปจนถึงหยาบ ซึ่งในทางปฏิบัติเราแทนการสเกล(Scaling) เป็นตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) ในขณะที่ฟังก์ชันเวฟเล็ต ทำหน้าที่คล้ายตัวกรองความถี่สูง (High pass filtering) ซึ่งฟังก์ชันสเกลลิง มีรูปแบบดังนี้

$$\Phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Phi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.4)$$

### การย่อ / ขยาย ต้นแบบ

การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง มีข้อเสีย 2 ประการ คือความซ้ำซ้อน (Redundancy) และปฏิบัติจริงได้ยาก (Impracticality) ปัญหาทั้งสองแก้ไขได้โดยการสุ่มพารามิเตอร์สำหรับการย่อ / ขยาย และ ปรับตำแหน่ง (Dilation and translation) แนวทางการแก้ปัญหาจึงนำไปสู่ family of wavelets และ scaling function ที่มีพารามิเตอร์ขนาดเจาะจงเฉพาะค่า (Discrete parameter)

ให้  $a = a_0^m$  และ  $b = kb_0 a_0^m$  หากค่า  $\Psi(t)$  และ  $\Phi(t)$  จากสมการที่ (3.1) และ (3.4) จะได้

$$\Psi_{mk}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Psi(a_0^{-m}t - kb_0) \quad (3.5)$$

$$\Phi_{mk}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \Phi(a_0^{-m}t - kb_0) \quad (3.6)$$

เมื่อ  $m, k$  เป็นเลขจำนวนเต็ม และ  $a_0$  มากกว่า 1 และ  $b_0$  ไม่เท่ากับ 0 แทนค่า สมการ (3.5) ด้วยสมการ (3.2) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ตแบบเจาะจงเฉพาะค่า (Wavelet Coefficients in discrete form )

$$W_d(m, k) = a_0^{-\frac{m}{2}} \int x(t) \Psi(a_0^{-m}t - kb_0) dt \quad (3.7)$$

เราจะเลือกเวฟเล็ตแม่ที่สามารถสร้างสัญญาณเดิมกลับคืนได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวฟเล็ตแม่ต้องสามารถสร้างฟังก์ชันพื้นฐานเชิงตั้งฉากปกติ (Orthogonal basis) ในปริภูมิ  $L^2(\mathbb{R})$  ได้ นั่นคือ ต้องมีลักษณะดังนี้

$$\int \Psi_{mk}(t) \Psi_{m'k'}^*(t) dt = 1 \quad \text{เมื่อ } m=m', k=k'$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{หรือ } =0 \quad \text{กรณีอื่น ๆ} \quad (3.8)$$

Orthonormality Condition ใช้พารามิเตอร์  $a_0 = 2$  และ  $b_0 = 1$  ซึ่งหมายถึงฟังก์ชันพื้นฐานจะเป็น dyadic scale

### 3.2 การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด

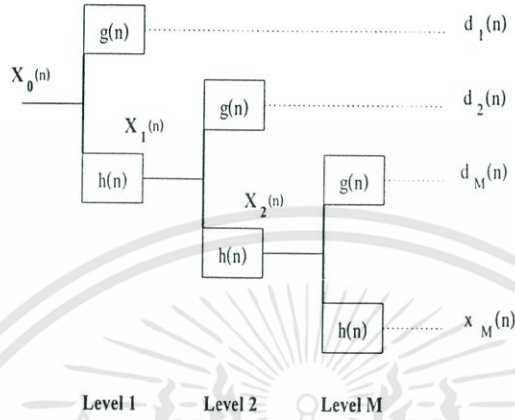
การแปลงเวฟเล็ทแบบหลายระดับความละเอียด (Multi resolution wavelet transform) นั้น ฟังก์ชันที่จะนำมาใช้เป็นเวฟเล็ทแม่ หรือตัวกรองความถี่สูง (High pass filter) จะต้องสัมพันธ์กันกับ ฟังก์ชันที่เป็นฟังก์ชันสเกลลิ่ง หรือตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) ด้วยการแปลงหลายระดับความละเอียดนี้ มีคุณสมบัติของจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ออกมาเป็นแบบ โครงสร้างเชิงพีระมิด (Pyramidal structure) อยู่ในตัว ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้ไม่จำเป็นสำหรับการทำการแปลงเวฟเล็ททั่วไป แต่ด้วยคุณสมบัติของโครงสร้างเชิงพีระมิดนี้ทำให้การแปลงเวฟเล็ท ที่ระดับสเกลต่าง ๆ สามารถใช้ ฟังก์ชันสเกลลิ่ง (Low pass filter) และฟังก์ชันเวฟเล็ท (High pass filter) เพียงตัวเดียวได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยง่ายในทางปฏิบัติด้วยการทำซ้ำ

การแปลงเวฟเล็ทแบบหลายระดับความละเอียด เสมือนกับเป็นการกรองสัญญาณอินพุทที่เข้ามา ให้แยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่มีความถี่สูง (High frequency band) และ ส่วนที่มีความถี่ต่ำ (Low frequency band) การกรองจะเริ่มจากข้อมูลทั้งหมดของสัญญาณก่อน ในการกรองนี้จะได้ สัญญาณส่วนที่เป็นความถี่สูง และส่วนที่เป็นความถี่ต่ำออกมา จากนั้นสัญญาณอินพุทจะถูกลดข้อมูลลง ในแต่ละขั้นของการแปลง ดังรูปที่ 3.2 สัญญาณเอาต์พุทที่ได้จากส่วนที่มีความถี่สูงก็คือ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท (Wavelet coefficient) ที่ความละเอียดสูง และสำหรับสัญญาณเอาต์พุทที่ส่วนที่มีความถี่ต่ำ จะนำไปผ่านการ decimation ด้วยค่าอัตราของ 2 จากนั้นสัญญาณส่วนที่เหลือนี้ถูกแบ่งเป็นความถี่สูงและความถี่ต่ำ อีกครั้งหนึ่ง สำหรับสัญญาณเอาต์พุทที่ได้จากตัวกรองความถี่สูงนี้ แต่ ละจุดของ sampling ก็จะเป็นสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทที่เลื่อนตำแหน่ง ต่าง ๆ ที่ค่าระดับสเกลลิ่งเดียวกัน

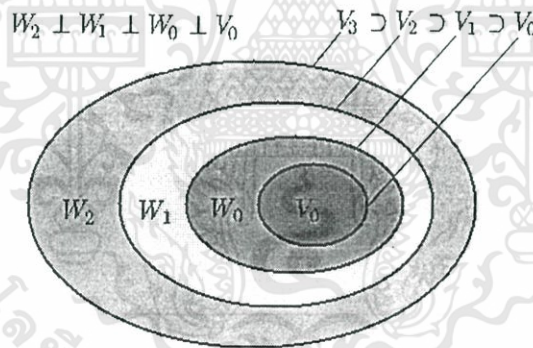
การกรองสัญญาณแยกออกเป็นสองส่วน สามารถกระทำได้เรื่อยๆ จนถึงสัญญาณเอาต์พุทจากตัวกรองความถี่ต่ำสุดท้าย คือ องค์ประกอบทาง DC ของสัญญาณนั้น คุณสมบัติของการวิเคราะห์ สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

$$V_0 \subset V_1 \subset \dots \subset V_{j-1} \subset V_j \quad (3.9)$$

ในปริภูมิ  $L^2(\mathbb{R})$  จะเป็นปริภูมิของสัญญาณใดๆที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณพื้นฐานย่อยที่เรียกว่า ฟังก์ชันพื้นฐาน (Basis function) ภายในปริภูมิ  $L^2(\mathbb{R})$  จะปรากฏปริภูมิย่อย (Subspace) ของสัญญาณซ้อนทับกันอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การกระจายข้อมูลที่ระดับความละเอียดของสัญญาณเดิม ที่  $j=0$  และระดับความละเอียดต่ำสุดที่  $j=M$  โดยที่  $g(n)$  คือ High pass filter และ  $h(n)$  คือ Low pass filter



รูปที่ 3.3 การทับซ้อนกันของปริภูมิย่อยที่มีฟังก์ชันสเกลลิ่งแผ่ทั่วปริภูมิ

สมมุติให้  $V_j$  เป็นปริภูมิของเวกเตอร์ที่มี  $j$  แสดงถึงระดับความละเอียด ถ้า  $j$  เท่ากับ 3 เป็นปริภูมิเริ่มต้น  $V_3$  ที่มีความละเอียดระดับ 3 สามารถแปลงไปสู่ระดับความละเอียด  $V_2$  เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มีความละเอียดระดับ 2 ผลต่างระหว่าง  $V_3$  และ  $V_2$  คือปริภูมิย่อย  $W_2$  ดังนั้นปริภูมิเวกเตอร์  $V_2$  เป็นเซตย่อยของปริภูมิเวกเตอร์  $V_3$  ในทางเดียวกัน ปริภูมิเวกเตอร์  $V_2$  สามารถแปลงไปสู่ระดับความละเอียด  $V_1$  เป็นปริภูมิเวกเตอร์ที่มีความละเอียดระดับ 1 ผลต่างระหว่าง  $V_2$  และ  $V_1$  คือปริภูมิย่อย  $W_1$  ดังนั้นปริภูมิเวกเตอร์  $V_1$  จากรูปที่ 3.3 แสดงการแปลง 3ระดับ ถ้าแปลง  $N$  ระดับ จะได้ เซตย่อยเท่ากับ  $N + 1$  ระดับความละเอียด โดยมี 1 เซตย่อยที่เป็นค่าการประมาณ (Coarse) คือ  $V_j$  และ  $N$  เซตย่อยเป็นค่ารายละเอียด หรือความละเอียดสูง (Detail) คือ  $W_i$  โดยที่  $i$  เป็น 1 ถึง  $N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lim_{j \rightarrow +\infty} V_j = \bigcup_{j=-\infty}^{+\infty} V_j = L^2(\mathbb{R}) \rightarrow \lim_{j \rightarrow -\infty} V_j = \bigcap_{j=-\infty}^{+\infty} V_j = \{0\} \quad (3.10)$$

ฟังก์ชันทุกฟังก์ชันในปริภูมิ  $L^2(\mathbb{R})$  สามารถประมาณให้อยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ ที่ระดับความละเอียด  $j$  ใดๆ ได้ และการประมาณฟังก์ชันที่ระดับ  $j$  ใดๆ ทำให้ข่าวสารสูญหายไปตามระดับความละเอียดนั้น จนลู่เข้าสู่ศูนย์ที่ระดับ  $j$  น้อยลงเรื่อยๆ แต่ถ้าระดับความละเอียดเพิ่มขึ้นถึงอนันต์ ฟังก์ชันที่ประมาณจะยังคงลู่เข้าสู่สัญญาณต้นกำเนิด

$$V_{j+1} = V_j \oplus W_j \quad (3.11)$$

ความเป็นอิสระต่อกัน (Orthogonality) เมื่อ  $V^{j+1}$  มีค่าเท่ากับ  $V^j$  รวมกับความละเอียด  $W^j$  และด้วยคุณสมบัติ Orthogonality

$$f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2x) \in V_{j+1} \quad (3.12)$$

คุณสมบัติของ two scale property จะลดระดับความละเอียดของสัญญาณหนึ่งระดับหมายถึงถึง  $V^{j+1}$  จะมีความถี่เป็น 2 เท่าของ  $V^j$

### 3.3 การแปลงเวฟเล็ทแบบดิสครีท

การแปลงเวฟเล็ทแบบดิสครีท คือ การแปลงเวฟเล็ทแบบเต็มหน่วย ถูกพัฒนามาใช้กับสัญญาณเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete time Signal) ประกอบด้วยลำดับชั้นของความถี่ต่ำและความถี่สูง ที่มีค่าพารามิเตอร์ของ dilation และ translation โดยลุ่มสัญญาณมาเป็นช่วงเวลา

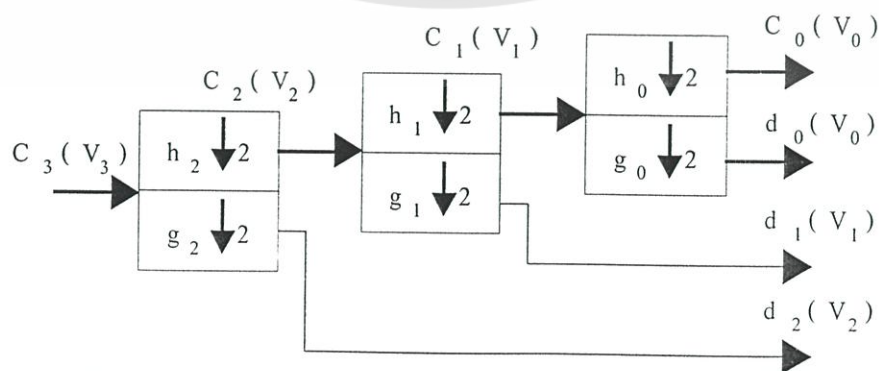
#### 3.3.1 การแปลงเวฟเล็ทแบบดิสครีท 1 มิติ

ค่าประมาณของสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่องที่มีความละเอียดลดลงครั้งหนึ่ง ทำได้โดยนำสัญญาณ  $x(n)$  คือ ลำดับของข้อมูลอินพุต มาคอนโวลูชัน (Convolution) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ (low pass filter) แล้วลุ่มตัวอย่างสัญญาณเว้าสัญญาณ (Decimation) หรือ การ down sampling เพื่อลดขนาดข้อมูลลงครั้งหนึ่ง วิธีนี้เป็นการแตกสัญญาณเดิมแบบพื้นฐาน ซึ่งมีผลให้สัญญาณมีความละเอียดลดลง ซึ่งสามารถใช้ประมวลผลคุณภาพแบบพีรามิดได้ ในขณะที่เดียวกันจะคอนโวลูชัน (Convolution) ลำดับสัญญาณในแต่ละชั้นพีรามิดด้วยตัวกรองความถี่สูง (High pass filter) เมื่อผ่านการประมวลผลก็จะได้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ท

ขั้นตอนการแตกสัญญาณแบบพีรามิด

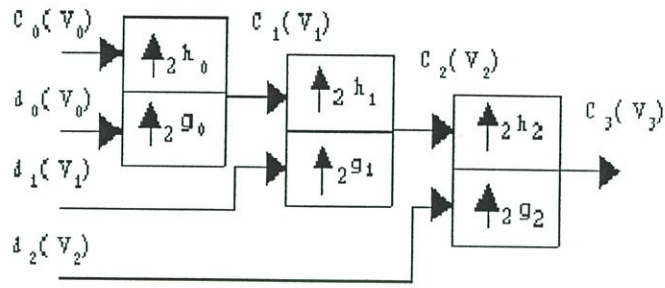
1. คอนโวลูชัน ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ  $h(n)$  และตัวกรองของความถี่สูง  $g(n)$
2. สุ่มตัวอย่างที่จะลำดับเว้นลำดับ
3. ทำ normalization ด้วย  $\sqrt{2}$

การแยกสัญญาณ (Decomposition) กำหนดให้ลำดับสัญญาณแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง  $x(n) \in L^2(\mathbb{R})$  สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณจากการคำนวณเวียนเรียกซ้ำ (Computed recursively) โดยแต่ละบล็อกจะแยกออกโดยการคอนโวลูชัน ด้วยตัวกรองความถี่สูงและตัวกรองความถี่ต่ำ เลื่อนไปที่ละ 2 ตำแหน่ง จะได้ข้อมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ผ่านตัวกรองความถี่สูง (High pass filter) :  $g(n)$  คือ รายละเอียดของข้อมูลที่ระดับความละเอียดนั้น อีกส่วนที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ (Low pass filter) :  $h(n)$  คือ ข้อมูลหายไปในระดับความละเอียดนั้น ซึ่งข้อมูลหายไปในระดับความละเอียดนั้นจะถูกนำไปวิเคราะห์ในระดับความละเอียดถัดไป โดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์ไปจนถึงระดับที่ 3 ของความละเอียด ทั้งนี้สามารถคืนสภาพกลับ (Reconstruction) ได้ทุกขั้นตอน เพราะเราเก็บค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต และสัมประสิทธิ์ของค่าโดยประมาณของระดับต่ำสุดไว้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง ของ  $x(n)$  ประกอบด้วยชุดของค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient set) :  $C_{(n)}$  และ  $d_{(n)}$  ดังรูปที่ 3.4 แสดงถึงการแปลงเวฟเล็ตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ (Analysis filter banks) เป็นขบวนการกระจายข้อมูลจากระดับความละเอียดสูงสู่ระดับความละเอียดต่ำกว่า โดยอาศัยหลักการ two channel analysis filter banks โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ในอัตราครึ่งละสองเท่า คือ จำนวนข้อมูลสุ่มจะลดลง (Down sampling) 2 เท่าในแต่ละสเตจนั้น โดยที่  $h(n)$  เป็นตัวกรองความถี่ต่ำ และ  $g(n)$  เป็นตัวกรองความถี่สูง และรูปที่ 3.5 แสดงถึงการแปลงกลับเวฟเล็ตโดยใช้หลักการสังเคราะห์ (Synthesis filter banks) เป็นการรวมข้อมูลระดับความละเอียดต่ำสู่ระดับความละเอียดสูงกว่า โดยจะทำการรวมตามลำดับของการแตกกระจาย จำนวนข้อมูลจะเพิ่มขึ้นได้จากการ Up sampling 2 เท่าในแต่ละสเตจ โดยที่  $h(n)$  และ  $g(n)$  กระทำกับสัมประสิทธิ์  $C_{j+1}(n)$  และ  $d_{j+1}(n)$  จะได้สัมประสิทธิ์  $C_j(n)$



รูปที่ 3.4 ลักษณะของการแปลงเวฟเล็ตด้วยขบวนการ Two channel analysis filter bank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะของการแปลงกลับด้วยขบวนการ Two channel analysis filter bank

3.3.2 การแปลงเวฟเล็ทแบบดิสครีท 2 มิติ

ให้  $V_{2^j}^1$  ที่ระดับความละเอียด  $2^j$  ใน 1 มิติ เป็น set of subsequence ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไข แบบหลายระดับความละเอียด จะได้ ปริภูมิเวกเตอร์  $V_{2^j}^2$  ที่ระดับความละเอียด  $2^j$  ใน 2 มิติ เป็น tensor product ของ ปริภูมิ  $V_{2^j}^1$  ใน ปริภูมิ  $L^2(\mathbb{R})^2$

$$V_{2^j}^2 = V_{2^j}^1 \otimes V_{2^j}^1 \tag{3.13}$$

ดังนั้น  $V_{2^{j+1}}^2$  หาได้จาก

$$V_{2^j}^2 = V_{2^j}^1 \oplus V_{2^j}^1 \tag{3.14}$$

โดยที่  $O_{2^j}$  เป็น orthogonal complement

$$V_{2^{j+1}}^2 = (V_{2^j}^1 \oplus O_{2^j}^1) \otimes (V_{2^j}^1 \oplus O_{2^j}^1) \tag{3.15}$$

$$\begin{aligned} &= (V_{2^j}^1 \otimes V_{2^j}^1) \\ &\quad \oplus (V_{2^j}^1 \otimes O_{2^j}^1) \\ &\quad \oplus (O_{2^j}^1 \otimes V_{2^j}^1) \\ &\quad \oplus (O_{2^j}^1 \otimes O_{2^j}^1) \end{aligned} \tag{3.16}$$

ดังนั้นเราสามารถสร้างฟังก์ชันสเกลถึง 2 มิติ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Phi(x, y) = \phi(x)\phi(y) \quad (3.17)$$

และ ฟังก์ชันเวฟเล็ต 2 มิติ ได้ดังนี้

$$\Psi^1(x, y) = \phi(x)\Psi(y) \quad (3.18)$$

$$\Psi^2(x, y) = \Psi(x)\phi(y) \quad (3.19)$$

$$\Psi^3(x, y) = \Psi(x)\Psi(y) \quad (3.20)$$

โดยที่  $\phi(x)$  เป็น ฟังก์ชันสเกลลิง  $(V_{2^j}^1)_{j \in \mathbb{Z}}$  ใน 1 มิติและฟังก์ชันเวฟเล็ตทั้ง 4 มีลักษณะเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) ซึ่งกันและกัน สรุปได้ที่ตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปฟังก์ชันมูลฐาน 2 มิติ สัมประสิทธิ์ และคุณลักษณะเฉพาะทางความถี่

ฟังก์ชันมูลฐาน	สัมประสิทธิ์	คุณลักษณะเฉพาะทางความถี่
$\Phi(x, y)$	$A_{2^j}^d(x, y)$ (Subband 1)	Vertical Low pass Horizontal Low pass
$\Psi^1(x, y)$	$D_{2^j}^1(x, y)$ (Subband 2)	Vertical High pass Horizontal Low pass
$\Psi^2(x, y)$	$D_{2^j}^2(x, y)$ (Subband 3)	Vertical Low pass Horizontal High pass
$\Psi^3(x, y)$	$D_{2^j}^3(x, y)$ (Subband 4)	Vertical High pass Horizontal High pass

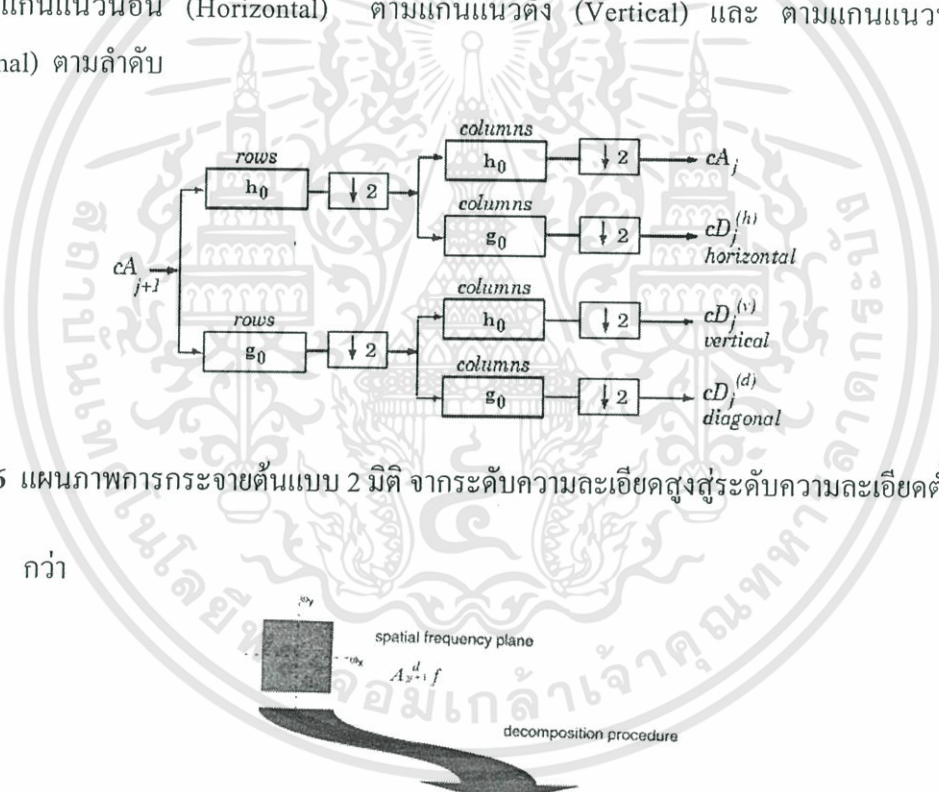
การกระจายฟังก์ชัน (Decomposition)

เป็นการหาค่าโดยประมาณ  $A_{2^j}^d(x, y)$  และ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟ  $D_{2^j}^1, D_{2^j}^2, D_{2^j}^3$  โดยการประสานสัญญาณของค่าโดยประมาณที่ระดับสูงกว่าด้วย scaling filter และ wavelet filter ทั้งทางแกนแนวนอน (Horizontal) และ แกนแนวตั้ง (Vertical) ดังนี้ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

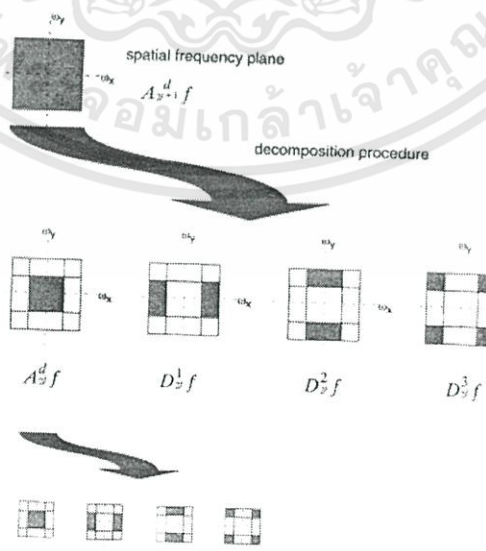
$$\begin{aligned}
 D_{2^j}^1 f &= \left( (f(x, y)^* \Phi_{2^j}(-x) \Psi_{2^j}(-y)) (2_n^{-j}, 2_m^{-j}) \right)_{(n,m) \in Z^2} \\
 D_{2^j}^2 f &= \left( (f(x, y)^* \Psi_{2^j}(-x) \Phi_{2^j}(-y)) (2_n^{-j}, 2_m^{-j}) \right)_{(n,m) \in Z^2} \\
 D_{2^j}^3 f &= \left( (f(x, y)^* \Psi_{2^j}(-x) \Psi_{2^j}(-y)) (2_n^{-j}, 2_m^{-j}) \right)_{(n,m) \in Z^2} \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

ในรูปที่ 3.6 แสดงการกระจายต้นแบบ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์เบงค์ โดยที่  $h_0$  คือ ตัวกรองความถี่ต่ำ และ  $g_0$  คือ ตัวกรองความถี่สูง และรูปที่ 3.7 แสดงแผนความถี่ในแต่ละชั้นแบบด์ของการกระจายต้นแบบ โดยที่  $A_{2^j}^d f$  เป็นการกระจายค่าโดยประมาณ หรือการกระจายความถี่ต่ำ และ  $D_{2^j}^1 f$   $D_{2^j}^2 f$   $D_{2^j}^3 f$  เป็นการกระจายค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต หรือการกระจายความถี่สูงตามแกนแนวนอน (Horizontal) ตามแกนแนวตั้ง (Vertical) และ ตามแกนแนวทแยง (Diagonal) ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แผนภาพการกระจายต้นแบบ 2 มิติ จากระดับความละเอียดสูงสู่ระดับความละเอียดต่ำ

กว่า



รูปที่ 3.7 แผนภาพกระจายต้นแบบ 2 มิติ ในชั้นแบบด์ต่าง ๆ

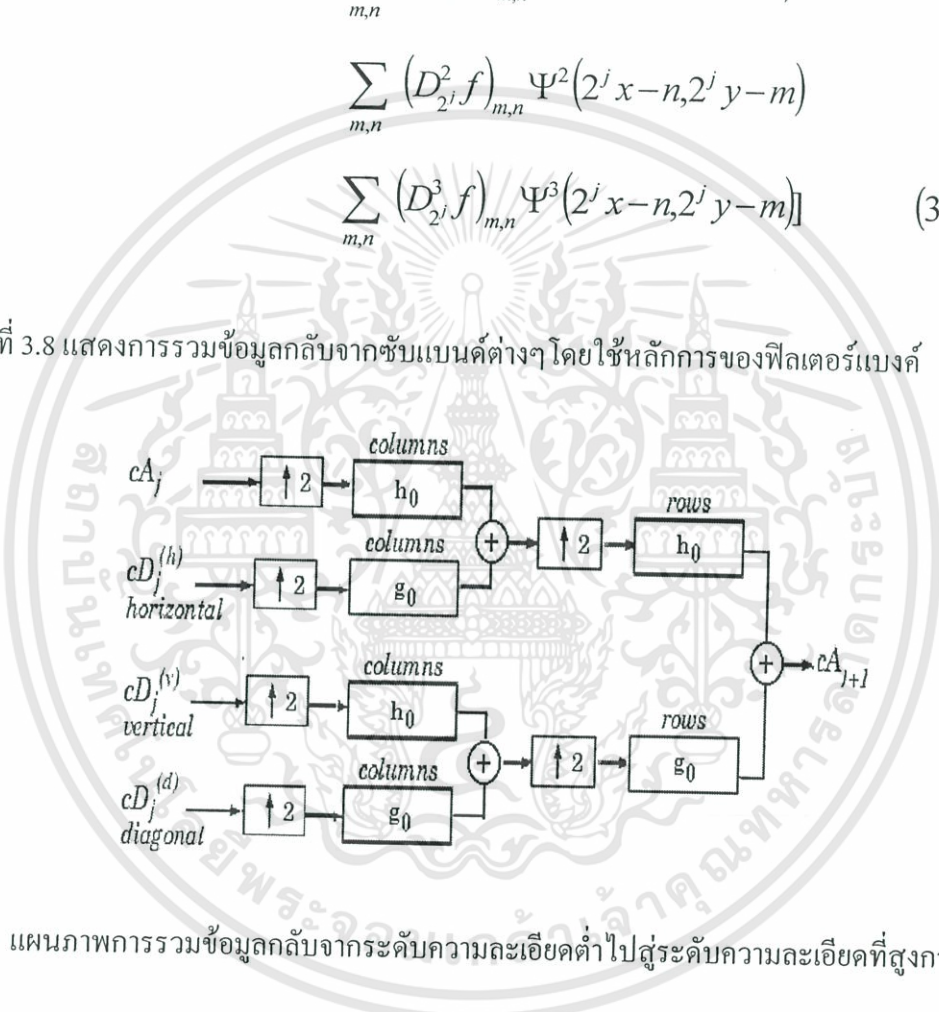
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมกลับ (Reconstruction)

อัลกอริทึมในการรวมข้อมูลกลับไปยังระดับ  $2^{j+1}$  ตามสมการที่ 3.22 ดังนี้

$$\begin{aligned}
 A_{2^{j+1}}f(x,y) = & \sum_{m,n} (A_{2^j}^d f)_{m,n} \Phi(2^j x - n, 2^j y - m) \\
 & + \sum_{m,n} [(D_{2^j}^1 f)_{m,n} \Psi^1(2^j x - n, 2^j y - m) \\
 & \quad \sum_{m,n} (D_{2^j}^2 f)_{m,n} \Psi^2(2^j x - n, 2^j y - m) \\
 & \quad \sum_{m,n} (D_{2^j}^3 f)_{m,n} \Psi^3(2^j x - n, 2^j y - m)] \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

ในรูปที่ 3.8 แสดงการรวมข้อมูลกลับจากชั้นแบนด์ต่างๆ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์เบงค์



รูปที่ 3.8 แผนภาพการรวมข้อมูลกลับจากระดับความละเอียดต่ำไปสู่ระดับความละเอียดที่สูงกว่า

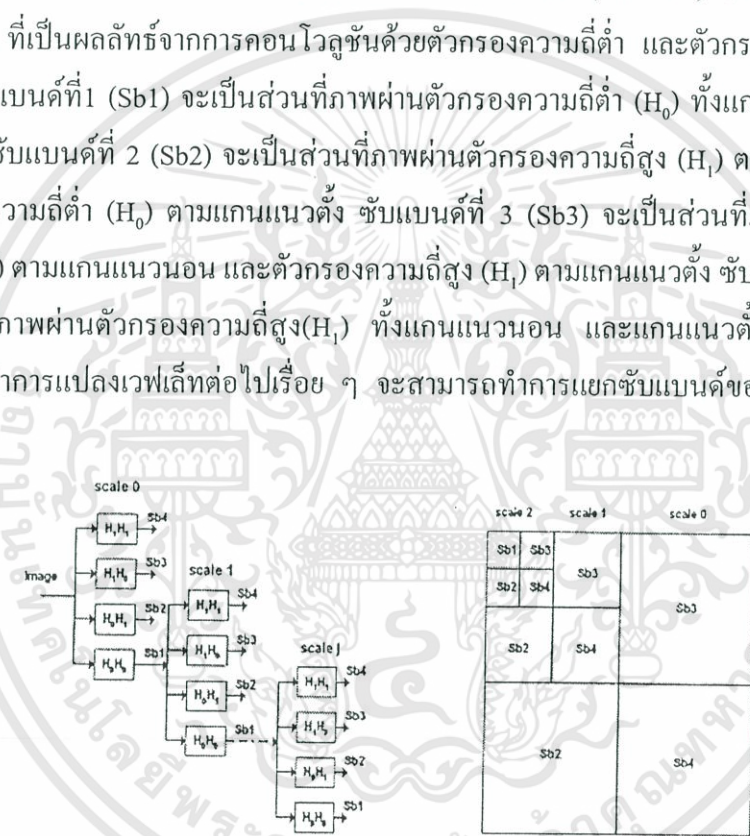
3.4 การประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพ

ขบวนการแปลงเวฟเล็ทที่นำมาใช้จะเป็นวิธีการของ Multi resolution wavelet transform ที่ได้อธิบายในหัวข้อ 3.2 ในที่นี้กล่าวถึงการแปลงข้อมูลภาพ 2 มิติ แบ่งออกเป็น 2 ชั้น ตอนคือ

1. การกระจายข้อมูล (Decomposition)

จากข้อมูลภาพที่เป็นสัญญาณ 2 มิตินี้ ขบวนการแปลงเวฟเล็ทที่ใช้ จะต้องเป็น 2 มิติ ด้วย โดยเริ่มแปลงสัญญาณภาพต้นแบบ  $f(x,y)$  ใน 1 มิติ 2 ระดับ ในการกระจายครั้งแรกจะทำการแปลงในแกนแนวนอน (Horizontal) แต่ละแถวจนครบทุกแถว และการกระจายครั้งที่ 2 นำข้อมูล ที่ผ่านการแปลงตามแกนแนวนอนแล้วไปผ่านขบวนการแปลงตามแกนแนวตั้ง (Vertical) อีกครั้ง

จากการแปลงเวฟเล็ทแบบวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดที่มีอัตราส่วนในการสเกลลิ่ง เท่ากับสอง ผลลัพธ์ที่ได้จะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ข้อมูลผ่านตัวกรองความถี่สูง และ ส่วนที่ข้อมูลผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ ดังนั้นเมื่อข้อมูลภาพถูกนำมาทำการแปลงเวฟเล็ท ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนเรียกว่า ซับแบนด์ (Subband) เก็บค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่เป็นผลลัพธ์จากการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูง ดังรูปที่ 3.9 ซับแบนด์ที่ 1 (Sb1) จะเป็นส่วนที่ภาพผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ ( $H_0$ ) ทั้งแกนแนวนอน และแกนแนวตั้ง ซับแบนด์ที่ 2 (Sb2) จะเป็นส่วนที่ภาพผ่านตัวกรองความถี่สูง ( $H_1$ ) ตามแกนแนวนอน และตัวกรองความถี่ต่ำ ( $H_0$ ) ตามแกนแนวตั้ง ซับแบนด์ที่ 3 (Sb3) จะเป็นส่วนที่ภาพผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ ( $H_0$ ) ตามแกนแนวนอน และตัวกรองความถี่สูง ( $H_1$ ) ตามแกนแนวตั้ง ซับแบนด์ที่ 4 (Sb4) จะเป็นส่วนที่ภาพผ่านตัวกรองความถี่สูง ( $H_1$ ) ทั้งแกนแนวนอน และแกนแนวตั้ง เมื่อนำเอาซับแบนด์ที่ 1 ทำการแปลงเวฟเล็ทต่อไปเรื่อย ๆ จะสามารถทำการแยกซับแบนด์ของภาพออกไปได้มากขึ้น



รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมของการกระจายในแต่ละซับแบนด์

2. การรวมข้อมูลกลับ (Reconstruction)

เป็นการสร้างภาพขึ้นมาใหม่จากองค์ประกอบของซับแบนด์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.8 โดยเริ่มจากภาพ ซับแบนด์ทั้ง 4 ภาพ ถูกเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็น 2 เท่า โดยการเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแต่ละคู่ของคอลลัมน์ หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้คอนโวลูชันด้วย ตัวกรองความถี่ต่ำ และ ตัวกรองความถี่สูง และบวกเข้าด้วยกัน จากนั้นทำซ้ำไปตามแกนแนวนอน โดยเติมศูนย์เข้าไปในระหว่างแถว หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคอนโวลูชันด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และ ตัวกรองความถี่สูง บวกเข้าด้วยกันจะได้ผลลัพธ์ที่สร้างขึ้นมาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การหาขอบที่หลายระดับความละเอียด

การหาขอบภาพ คือ การหาคำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (Sharp variation point) ค่าความเข้มของค่าระดับเทา (Gray level) ซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญในการวิเคราะห์คุณสมบัติของสัญญาณที่ขณะใดขณะหนึ่ง หรือ สัญญาณภาพ โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดของข้อมูลภาพจะระบุขอบเขตที่แบ่งระหว่างวัตถุ กับวัตถุ หรือ วัตถุ กับ พื้นหลัง ก็ได้ การหาขอบที่หลายระดับการแปลงภาพ (Multiscale edge detection) จะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณที่บริเวณใกล้เคียงเพื่อคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณนั้นๆ การแปลงเวฟเล็ทมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการหาขอบที่หลายระดับของการแปลงภาพ และสามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงานได้เป็นอย่างดี

#### 3.5.1 การหาอนุพันธ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ท ใน 1 มิติ [9]

##### 1. คุณสมบัติทั่วไป

กำหนดให้ฟังก์ชัน  $\Psi_{2^j}(x)$  แทนการขยาย (dilation) ของฟังก์ชัน  $\Psi(x)$  ด้วยแฟกเตอร์ของ  $2^j$

$$\Psi_{2^j}(x) = \frac{1}{2^j} \Psi\left(\frac{x}{2^j}\right) \quad (3.23)$$

การแปลงเวฟเล็ทของ ฟังก์ชัน  $f(x)$  ที่ระดับการแปลงภาพ  $2^j$  และที่ตำแหน่ง  $x$  สามารถเขียนในรูปผลคูณของการคอนโวลูชัน ได้ดังนี้

$$W_{2^j}f(x) = f * \Psi_{2^j}(x) \quad (3.24)$$

ดังนั้นลำดับการแปลงเวฟเล็ทที่ของฟังก์ชัน

$$[W_{2^j}f(x)]_{j \in \mathbb{Z}} \quad (3.25)$$

การแปลงฟูเรียร์ของ  $W_{2^j}f(x)$  คือ

$$\hat{W}_{2^j}f(\omega) = \hat{f}(\omega)\hat{\Psi}(2^j\omega) \quad (3.26)$$

จะได้ว่า

$$\sum_{j=-\infty}^{+\infty} |\hat{\Psi}(2^j\omega)|^2 = 1 \quad (3.27)$$

ดังนั้นการขยายของฟังก์ชัน  $\hat{\Psi}(\omega)$  ด้วยแฟกเตอร์ของระดับของการแปลง  $(2^j)_{j \in \mathbb{Z}}$  จะครอบคลุมความถี่ทั้งหมดและสามารถสร้างฟังก์ชัน  $f(x)$  กลับคืนจากการแปลงของฟังก์ชันนั้นๆ รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างสัญญาณ และการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณที่เป็นลำดับ ถ้าสัญญาณต้นแบบ มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง (Discrete signal) จำนวน  $N$  ค่าจะใช้การคำนวณในการแปลงเวฟเล็ตของสัญญาณจำนวน  $O(N \log(N))$  ครั้ง การสร้างสัญญาณกลับคืนไปยังสัญญาณเดิมต้องใช้การคำนวณเท่ากับ  $O(N \log(N))$  ครั้ง เช่นเดียวกัน

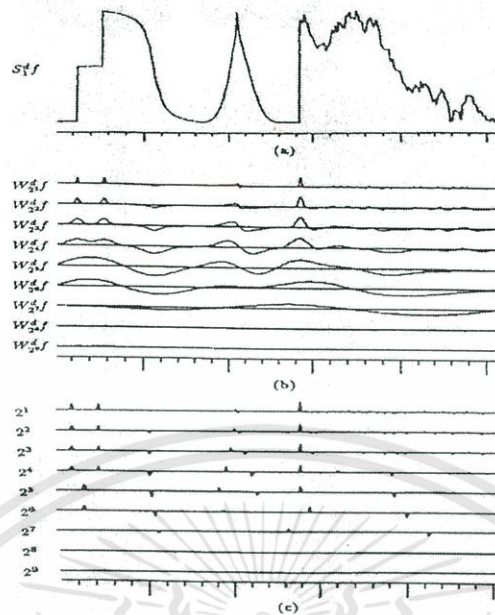
ฟังก์ชันเวฟเล็ต  $\Psi(x)$  บางฟังก์ชันจะมีค่าสูงสุดของการแปลงเวฟเล็ตเช่นเดียวกับจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสัญญาณ ถ้ากำหนดให้  $\theta(x)$  เป็นฟังก์ชันของความราบเรียบ (Smoothing function) กำหนดให้  $\Psi(x)$  เป็นอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของฟังก์ชัน  $\theta(x)$

$$\Psi(x) = \frac{d\theta(x)}{dx} \quad (3.28)$$

กำหนดให้  $\theta_{2^j}(x) = \frac{1}{2^j} \theta\left(\frac{x}{2^j}\right)$  การแปลงเวฟเล็ตที่ระดับ  $2^j$  หาได้โดย

$$\begin{aligned} W_{2^j} f(x) &= f * \Psi_{2^j}(x) \\ &= f * \left( 2^j \frac{d\theta_{2^j}}{dx} \right)(x) \\ &= 2^j \frac{d}{dx} (f * \theta_{2^j})(x) \end{aligned} \quad (3.29)$$

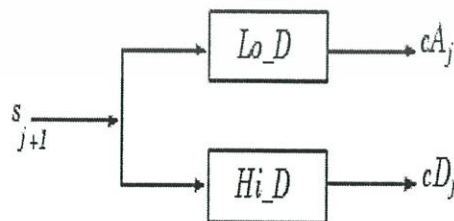
การแปลงเวฟเล็ต  $W_{2^j} f(x)$  เป็นปฏิภาคโดยตรงกับอนุพันธ์อันดับที่ 1 ของฟังก์ชัน  $f(x)$  ที่ถูกทำให้เรียบด้วย  $\theta_{2^j}(x)$  ดังนั้นแอมพลิจูดสูงสุดของการแปลงเวฟเล็ต  $|W_{2^j} f(x)|$  สัมพันธ์กับค่าสูงสุดของอนุพันธ์ของฟังก์ชัน  $f * \theta_{2^j}(x)$  คือจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่ระดับของการแปลง  $2^j$  ตัวอย่างการหาค่าสูงสุดของการแปลงเวฟเล็ต ดังรูปที่ 3.10 ค่าสูงสุดของการแปลงเวฟเล็ตจะระบุตำแหน่งของจุดที่เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของสัญญาณแต่ละระดับของการแปลงที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการหาค่าสูงสุดของสัญญาณใน 1 มิติ (a) สัญญาณต้นแบบจำนวน 256 ค่า (b) องค์ประกอบของสัญญาณที่ระดับของการแปลง  $1 \leq j \leq 9$

## 2. การแปลงเวฟเล็ต

สมมติให้สัญญาณ  $S$  ความยาว  $N$  ทำการคอนโวลูชัน กับ low pass filter ( $Lo\_D$ ) สำหรับค่าประมาณของสัญญาณและสัญญาณ  $S$  ทำการคอนโวลูชันกับ high pass filter ( $Hi\_D$ ) สำหรับรายละเอียดของสัญญาณ หลังจากทำการคอนโวลูชันทั้ง 2 ฟิเตอร์ แล้วไม่ต้องทำการควานซ์แซมปลิง (Down sampling) เพื่อรักษาคุณสมบัติที่สำคัญในการประมวลผล ดังนั้นการแยกภาพต้นแบบออกเป็นองค์ประกอบย่อยได้ดังรูปที่ 3.11 โดยเริ่มจากสัญญาณต้นแบบ  $s_{j+1}$  ที่ระดับการแปลง  $j+1$  จะแยกสัญญาณเป็นองค์ประกอบเป็น  $cA_j$  และ  $cD_j$  ที่ระดับการแปลง  $j$  โดยแต่ละองค์ประกอบจะมีขนาดเดียวกับสัญญาณต้นแบบ ทำนองเดียวกันการรวมองค์ประกอบเวฟเล็ตของสัญญาณ  $s_{j+1}$  ที่ระดับการแปลง  $j+1$  ใด ๆ ทำได้โดยรวมองค์ประกอบของ  $cA_j$  และ  $cD_j$  ที่ระดับการแปลง  $j$



รูปที่ 3.11 การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีท ใน 1 มิติ

### 3.5.2 การหาอนุพันธ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ทใน 2 มิติ

#### 1. คุณสมบัติทั่วไป

การแปลงเวฟเล็ทสามารถขยายต่อไปใน  $L^2(\mathbb{R}^2)$  โดยฟังก์ชันเวฟเล็ทมีเงื่อนไขดังนี้  $\Psi^k(x,y) \in L^2(\mathbb{R}^2)$  ในที่นี้จะกล่าวถึงการแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ท 2 มิติใน 2 ทิศทางเท่านั้น คือ แนวอน (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) การแปลงเวฟเล็ทนี้จะกำหนดฟังก์ชันเวฟเล็ทจำนวน 2 ฟังก์ชัน คือ  $\Psi^1(x,y)$  และ  $\Psi^2(x,y)$  เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}\Psi^1(x,y) &= \frac{\partial \Theta^1(x,y)}{\partial x} \\ \Psi^2(x,y) &= \frac{\partial \Theta^2(x,y)}{\partial y}\end{aligned}\quad (3.30)$$

เมื่อ  $\Theta^1(x,y)$  และ  $\Theta^2(x,y)$  คือฟังก์ชันของความราบเรียบ ถ้ากำหนดให้

$$\begin{aligned}\Psi_{2^j}^1(x,y) &= \frac{1}{2^j} \Psi^1\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \\ \Psi_{2^j}^2(x,y) &= \frac{1}{2^j} \Psi^2\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right)\end{aligned}\quad (3.31)$$

การแปลงเวฟเล็ทของฟังก์ชัน  $f(x,y) \in L^2(\mathbb{R}^2)$  ที่ระดับของการแปลง  $2^j$  ในทิศทางแนวอน และแนวตั้งหาได้ดังนี้

$$W_{2^j}^1 f(x,y) = f * \Psi_{2^j}^1(x,y) \quad (3.32)$$

$$W_{2^j}^2 f(x,y) = f * \Psi_{2^j}^2(x,y) \quad (3.33)$$

เรียกการแปลงเวฟเล็ทใน 2 มิติของฟังก์ชัน  $f(x,y)$  ว่าเป็นเซตของฟังก์ชัน

$$\left(W_{2^j}^1 f(x,y), W_{2^j}^2 f(x,y)\right)_{j \in \mathbb{Z}} \quad (3.34)$$

การเลือกฟังก์ชัน  $\Theta^1(x,y)$  และ  $\Theta^2(x,y)$  ที่มีลักษณะเฉพาะ และฟังก์ชันเวฟเล็ทไปตามเงื่อนไขดังนี้

$$\sum_{j=-\infty}^{+\infty} \left( \left| \hat{\Psi}^1(2^j \omega_x, 2^j \omega_y) \right|^2 + \left| \hat{\Psi}^2(2^j \omega_x, 2^j \omega_y) \right|^2 \right) = 1 \quad (3.35)$$

ข้อกำหนดดังกล่าวจะทำให้การแปลงเวฟเล็ทใน 2 มิติ มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับการการแปลงเวฟเล็ทใน 1 มิติ ฟังก์ชัน  $f(x, y)$  สามารถสร้างกลับคืนมาได้จากการรวมองค์ประกอบเวฟเล็ทของสัญญาณ

$$\text{กำหนดให้ } \Theta_{2^j}^1(x, y) = \frac{1}{2^j} \Theta^1\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right) \text{ และ } \Theta_{2^j}^2(x, y) = \frac{1}{2^j} \Theta^2\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right)$$

ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ (3.31) (3.32) และ (3.33) ได้ใหม่ดังนี้

$$W_{2^j}^1 f(x, y) = 2^j \frac{\partial}{\partial x} (f * \Theta_{2^j}^1)(x, y) \quad (3.36)$$

$$W_{2^j}^2 f(x, y) = 2^j \frac{\partial}{\partial y} (f * \Theta_{2^j}^1)(x, y) \quad (3.37)$$

องค์ประกอบเวฟเล็ท  $W_{2^j}^1 f(x, y)$  และ  $W_{2^j}^2 f(x, y)$  คืออนุพันธ์อันดับย่อยของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ในทิศทางแนวนอนและแนวตั้งที่ระดับของการแปลงภาพ  $2^j$  ตามลำดับ หรือมองในลักษณะองค์ประกอบเกรเดียนท์เวกเตอร์ของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ที่ทำให้เปรียบด้วยฟังก์ชัน  $\Theta_{2^j}^1 f(x, y)$  และ  $\Theta_{2^j}^2 f(x, y)$  ดังนั้นค่ามอดูลัสของเกรเดียนท์เวกเตอร์ในแต่ละระดับของการแปลงภาพ  $2^j$  หาได้จาก

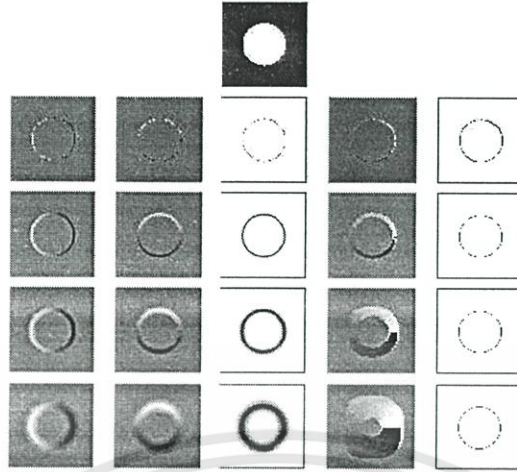
$$M_{2^j} f(x, y) = \sqrt{|W_{2^j}^1 f(x, y)|^2 + |W_{2^j}^2 f(x, y)|^2} \quad (3.38)$$

มุมของเกรเดียนท์เวกเตอร์หาได้จาก

$$A_{2^j} f(x, y) = \arctan\left(\frac{W_{2^j}^2 f(x, y)}{W_{2^j}^1 f(x, y)}\right) \quad (3.39)$$

จุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  ที่ระดับของการแปลงภาพ  $2^j$  จะสัมพันธ์กับค่ามอดูลัสสูงสุดในทิศทางของเกรเดียนท์การหาค่ามอดูลัสสูงสุดในข้อมูลภาพจะพิจารณา พิกเซลที่มีค่า  $M_{2^j} f(x, y)$  มากกว่าค่ามอดูลัสของ 2 พิกเซลที่อยู่ติดกันในทิศทางเดียวกันมุม  $A_{2^j} f(x, y)$  ตัวอย่างของการแปลงเวฟเล็ทของข้อมูลภาพต้นแบบ CIRCLE ดังรูปที่ 3.12(a) และแสดงองค์ประกอบเวฟเล็ท  $W_{2^j}^{1,d} f$  และ  $W_{2^j}^{2,d} f$  ที่ระดับของการแปลงภาพ  $1 \leq j \leq 4$  ในคอลัมน์ที่ 1 และ 2 ของรูปที่ 3.9(b) แสดงตำแหน่งของค่ามอดูลัสสูงสุดของภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ท จะเห็นได้ค่ามอดูลัสสูงสุดมีความสัมพันธ์กับส่วนที่เป็นขอบภาพหลักของข้อมูลภาพนั้น

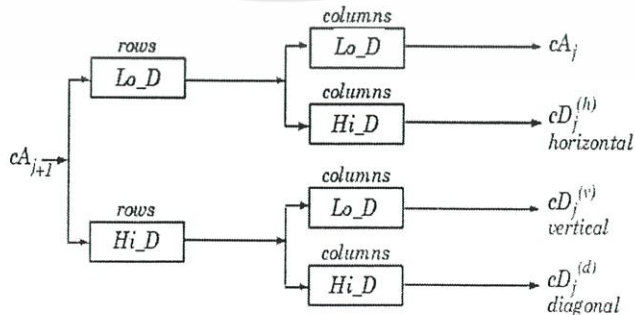
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การหาขอบของข้อมูลภาพต้นแบบ CIRCLE ขนาด 128x128 พิกเซล ที่ระดับของการแปลงภาพ  $1 \leq j \leq 4$  (จากบนลงล่าง) สำหรับพิกเซลสีขาว สีเทา สีดำแสดงค่าลบ ศูนย์และค่าบวกตามลำดับของ  $W_{2^j}^{1,d} f$   $W_{2^j}^{2,d} f$   $M_{2^j} f$   $A_{2^j} f$  และตำแหน่งของค่ามอดูลัสสูงสุด (พิกเซลสีดำ)

2. การแปลงเวฟเล็ทใน 2 มิติ

กำหนดให้  $cA_{j+1}$  เป็นข้อมูลภาพที่ระดับ  $j + 1$  ใดๆ ทำการคอนโวลูชัน ตามแนวแถว (Row) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ (Lo\_D) และตัวกรองความถี่สูง (Hi\_D) จะได้เอาท์พุทความถี่สูงและความถี่ต่ำที่มีขนาด 1 มิติ จากนั้นเอาท์พุททั้งสองจะถูกคอนโวลูชันตามแนวคอลัมน์ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ และตัวกรองความถี่สูงอีกครั้งจะได้ภาพแบนด์ย่อยความถี่ต่ำ  $cA_j$  จำนวน 1 ภาพ และภาพแบนด์ย่อยความถี่สูงจำนวน 3 ภาพ คือ  $cD_j^{(h)}$   $cD_j^{(v)}$  และ  $cD_j^{(d)}$  ที่ระดับ  $j$  ตามลำดับ โดยแต่ละภาพจะมีขนาดเท่ากับขนาดของภาพต้นแบบ เนื่องจากไม่ต้องมีการลดจำนวนข้อมูลลง 2 เท่า (Down sampling) ทำนองเดียวกันการรวมองค์ประกอบเวฟเล็ทของ  $cA_{j+1}$  หาได้โดยการรวมองค์ประกอบ  $cA_j$   $cD_j^{(h)}$   $cD_j^{(v)}$  และ  $cD_j^{(d)}$  ที่ระดับ  $j$  ดังรูปที่ 3.13 ขั้นตอนการกระจายข้อมูล 2 มิติ



รูปที่ 3.13 การแปลงเวฟเล็ทแบบดิสครีทใน 2 มิติ สำหรับหาขอบภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การหาขอบภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ท

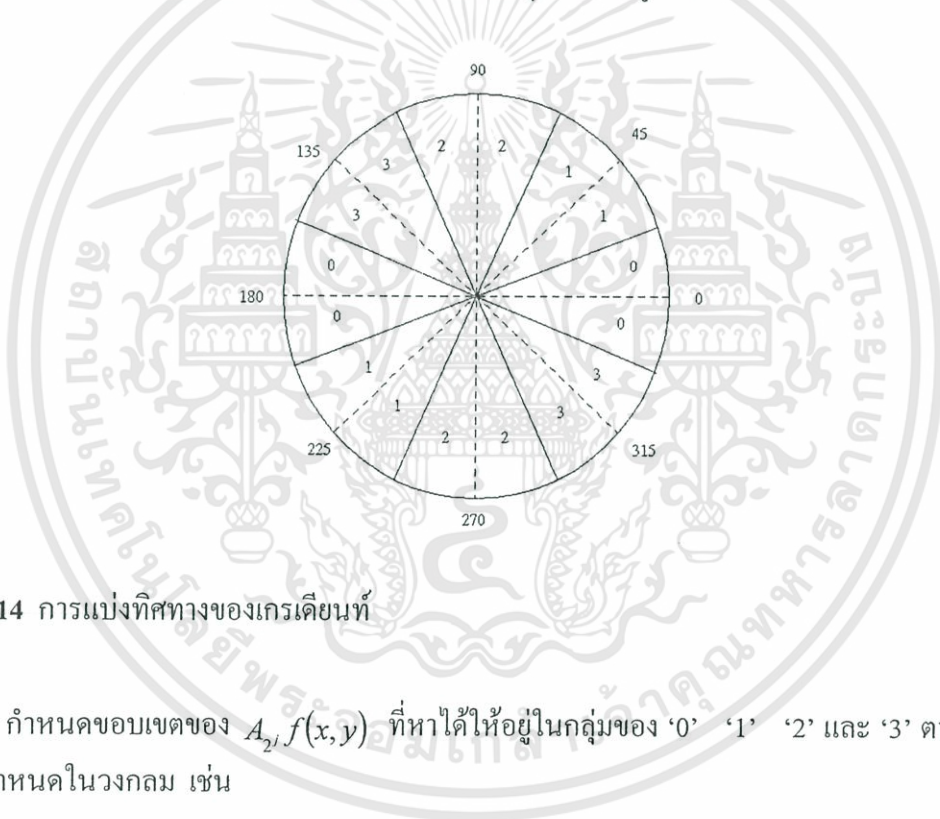
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาขอบภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ทโดยตรง

**ทฤษฎีที่ 1.** หาอนุพันธ์ด้วยการแปลงเวฟเล็ท 2 มิติ ใน 2 ทิศทางเท่านั้น คือ แนวนอน และแนวตั้ง ที่ระดับ  $j$  ใดๆ ตามสมการที่ 3.32 และ 3.33

**ทฤษฎีที่ 2.** หาขนาดเกรเดียนท์เวกเตอร์ในแต่ละระดับของการแปลงตามสมการที่ 3.38

**ทฤษฎีที่ 3.** หามุมเกรเดียนท์เวกเตอร์ ตามสมการที่ 3.39

หลังจากหาทฤษฎีทั้งสามแล้วจะทำการหาตำแหน่งสูงสุดในแต่ละจุดภาพ โดยพิจารณาจากขนาดเกรเดียนท์เวกเตอร์ และทิศทางที่กำหนดขึ้น ดังรูปที่ 3.14 แสดงทิศทางของเกรเดียนท์ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ '0' แสดงทิศทางแนวนอน '1' แสดงถึงทิศทางแนวทะแยงขวา '2' แสดงถึงทิศทางแนวตั้ง และ '3' แสดงทิศทางแนวทะแยงซ้าย ของจุดภาพที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 3.14 การแบ่งทิศทางของเกรเดียนท์

กำหนดขอบเขตของ  $A_{2j}f(x,y)$  ที่หาได้ให้อยู่ในกลุ่มของ '0' '1' '2' และ '3' ตามทิศทางที่กำหนดในวงกลม เช่น

```

if ( $A_{2j}f(x,y) > 22.5$  and  $A_{2j}f(x,y) \leq 67.5$ )
  or ( $A_{2j}f(x,y) > 202.5$  and  $A_{2j}f(x,y) \leq 247.5$ ) then
  D(x,y) = '1' ;
end

```

พิจารณาหาจุดที่มีค่า  $M_{2j}f(x,y)$  มากกว่าค่ามอดูลัสของ 2 จุดภาพที่อยู่ติดกันในทิศทางเดียวกับมุม  $A_{2j}f(x,y)$  เป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด หรือ ขอบของ  $f(x,y)$  เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if D(x,y) = '1' then
  if (M(x,y) > M(x-1,y+1)) and (M(x,y) > M(x+1,y-1)) then
    Edge(x,y) = 0 ;
  end
end
end

```

ตัวอย่างการหาขอบเขตของภาพต้นแบบ LENA ขนาด 256 x 256 พิกเซล ดังรูปที่ 3.15 ที่ระดับการแปลง  $1 \leq j \leq 3$  ตำแหน่งของค่ามอดูลัสสูงสุดในทิศทางของเกรเดียนท์เวกเตอร์



รูปที่ 3.15 ลักษณะขอบที่ระดับของการแปลง  $1 \leq j \leq 3$  (ก) ภาพต้นแบบ LENA (ข) ตำแหน่งของค่ามอดูลัสสูงสุดในทิศทางเกรเดียนท์เวกเตอร์

จากทฤษฎีทั้งหมดที่กล่าวมา เป็นการพิจารณาคุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็กซ์กับสัญญาณแบบแบ่งช่วง (Discrete signal) ซึ่งเป็นสัญญาณในทางปฏิบัติที่ถูกวิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ สัญญาณอินพุตจะมีลักษณะเป็นข้อมูลการสุ่ม (Sample data) และยังมีคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด ที่สามารถแยกข้อมูลออกเป็นความถี่สูง และความถี่ต่ำได้ ดังนั้นจึงเหมาะสมกับงานทางด้าน การประมวลผลภาพเป็นอย่างยิ่ง

ดังนั้นจะเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมวลผลภาพเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลตในการผสมภาพถ่าย ทางการแพทย์

### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการนำหลักการที่ได้ศึกษามาในบทที่ 2 และ 3 มาประยุกต์ใช้ในการผสมภาพทางการแพทย์ โดยกล่าวถึง ขบวนการแปลงเวฟเลตมาใช้กับข้อมูลภาพ และขบวนการแปลงกลับ รวมถึงการผสมภาพด้วยค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตที่ได้

### 4.2 การกระจายและการรวมข้อมูลภาพด้วยเวฟเลต

#### 4.2.1 การแปลงเวฟเลต

การแปลงเวฟเลต หรือ การกระจายข้อมูล ที่จะใช้นั้นเป็นการแปลงเวฟเลตแบบแบ่งช่วง (Discrete time wavelet series) เนื่องมาจากการแปลงแบบนี้ ข้อมูลที่ได้จะไม่มี ความซ้ำซ้อนกันจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผสมข้อมูลภาพ ซึ่งการแปลงเวฟเลตจะสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์สัญญาณหลายระดับความละเอียด เป็นขบวนการที่ประกอบด้วย การกระทำพื้นฐานอยู่สองแบบ คือการคอนโวลูชัน (Convolution) และการลดจำนวนสัญญาณลง 2 เท่า (Down sampling) โดยที่สัญญาณอินพุต จะถูกคอนโวลูชัน กับฟังก์ชันเวฟเลตแม่ (H) และส่วนกลับของเวฟเลตแม่ (G) ในการทดลองจะเลือกใช้ฟังก์ชันที่เป็นเวฟเลตแม่ คือ Haar Daubechies4 และ B-spline[10] [11] เช่น

ตัวกรอง Haar

$$H = [0.707 \ 0.707]$$

$$G = [-0.707 \ 0.707]$$

ตัวกรอง Daubechies4

$$H = [0.4830 \ 0.8365 \ 0.2241 \ -0.1294]$$

$$G = [-0.1294 \ -0.2241 \ 0.8365 \ -0.4830]$$

จากสัญญาณที่ผ่านการกรอง หรือการคอนโวลูชันแล้ว จะถูกนำมาผ่านการลดจำนวนสัญญาณลง 2 เท่า เพื่อเป็นการลดความซ้ำซ้อนกันของข้อมูล ขบวนการลดจำนวนสัญญาณลง 2 เท่า นี้ จะเป็นการตัดเอาข้อมูลบางส่วนของสัญญาณทิ้งไป

การกระจายของสัญญาณจะสามารถกระทำต่อไปในระดับความละเอียดที่ต่ำลงมาได้ โดยการกระจายค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากส่วนของตัวกรองความถี่ต่ำ (H) ก็จะทำให้ได้การกระจายสัญญาณในทุก ๆ ระดับความละเอียด

#### 4.2.2 การแปลงผกผันเวฟเล็ท

การแปลงผกผันเวฟเล็ทจะสามารถทำได้จากค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ท ซึ่งเวฟเล็ทแม่ที่ใช้ต้องเป็นตัวเดียวกันกับการกระจายสัญญาณ และสัญญาณที่ได้จะเหมือนกับสัญญาณอินพุท โดยมีขั้นตอนดังนี้

การทำอัพแซมปลิง (Up sampling) โดยการแทรกข้อมูลศูนย์เพิ่มลงไป ข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ท เพื่อเพิ่มสัญญาณให้สูงเป็น 2 เท่า และนำมาคอนโวลูชัน กับฟังก์ชันที่เป็นเวฟเล็ทแม่ เช่น

ตัวกรอง Haar

$$H = [0.707 \ 0.707]$$

$$G = [0.707 \ -0.707]$$

ตัวกรอง Daubechies4

$$H = [-0.1294 \ 0.2241 \ 0.8365 \ 0.4830]$$

$$G = [-0.483 \ 0.8365 \ -0.2241 \ -0.1294]$$

สัญญาณเอาต์พุทจะสร้างมาจาก การรวมผลของสัญญาณที่ได้จากตัวกรองทั้งสอง ซึ่งสัญญาณเอาต์พุทนี้ จะมีค่าเท่ากับสัญญาณที่เป็นอินพุทในขบวนการแปลงเวฟเล็ท

#### 4.3 การแปลงเวฟเล็ทของข้อมูลภาพ

ขบวนการแปลงเวฟเล็ทแบบ Multi resolution wavelet transform ที่แสดงข้างต้นเป็นขบวนการที่ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากจะมีการคำนวณที่มากเกินไป ในส่วนของการ Convolution ของสัญญาณกับฟังก์ชันเวฟเล็ท ซึ่งผลที่ได้จะถูกนำมาใช้งานเพียงครั้งหนึ่งเท่านั้น จากการทำ Decimation by 2 ดังนั้นในการใช้งานจริงของขบวนการแปลงเวฟเล็ท จึงต้องปรับปรุงโดยแทนที่จะต้องทำการ Convolution ของสัญญาณทุก ๆ จุด มาเป็นการคูณสัญญาณกับเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ทแทน เพื่อลดการตัดข้อมูลบางส่วนออกของสัญญาณทิ้งไป และเวลาที่ใช้ในการคำนวณเร็วกว่าเดิม

ตั้งขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำหนดให้ข้อมูลภาพอินพุทมีขนาด  $256 * 256$  ซึ่งเท่ากับ 8 ระดับความละเอียด



คูณกับ เมตริกซ์ฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ ที่ระดับความละเอียดใด ๆ ซึ่งสามารถรวมข้อมูลภาพกลับได้ตาม แกนแนวตั้งและแนวนอน ดังสมการที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

$$C_{j^x} = [H \quad G] \times C_{j-1^y} \quad (4.8)$$

$$C_j = [H \quad G] \times (C_{j^x})' \quad (4.9)$$

โดยที่ การเรียงสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในรูปเมตริกซ์จะเป็นไปตาม ดังรูปที่ 4.2 แสดงการเรียง สัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์ Daubechies4 ในระดับความละเอียด  $j=3$

$$[H \quad G] = \begin{bmatrix} c0 & & & & c2 & c3 & & & c1 \\ c1 & & & & c3 & -c2 & & & -c0 \\ c2 & c0 & & & c1 & c3 & & & \\ c3 & c1 & & & -c0 & -c2 & & & \\ & c2 & c0 & & c1 & c3 & & & \\ & c3 & c1 & & -c0 & -c2 & & & \\ & & c2 & c0 & & c1 & c3 & & \\ & & c3 & c1 & & -c0 & -c2 & & \end{bmatrix}$$

รูปที่ 4.2 เมตริกซ์การแปลงกลับระดับ  $j=3$

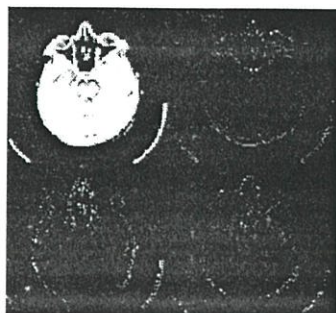
ส่วนขบวนการหาขอบภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ท จะสามารถเรียงสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในรูป เมตริกซ์ ได้ดังรูปที่ 4.3 แสดงการเรียงสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์ Doubechies4 ในระดับความ ละเอียด  $j=3$  ซึ่งจะมีลักษณะการเรียงคล้ายกับการเรียงสัมประสิทธิ์ของการแปลงข้อมูลภาพปกติแต่ จะต่างที่เมตริกซ์ความถี่ต่ำ (H) จะแยกกันกับเมตริกซ์ความถี่สูง (G) โดยที่จะเรียงสัมประสิทธิ์ เวฟเล็ทต่างกันหนึ่งหลักในระหว่างแถว หรือเป็นการแปลงเวฟเล็ทโดยไม่ต้องทำการควาน์แซมปลิง (Down sampling)

$$[H] = \begin{bmatrix} c0 & c1 & c2 & c3 & & & & & \\ & c0 & c1 & c2 & c3 & & & & \\ & & c0 & c1 & c2 & c3 & & & \\ & & & c0 & c1 & c2 & c3 & & \\ & & & & c0 & c1 & c2 & c3 & \\ c3 & & & & & c0 & c1 & c2 & \\ c2 & c3 & & & & & c0 & c1 & \\ c1 & c2 & c3 & & & & & c0 & \end{bmatrix}$$

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.6 แสดงภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทตามแกนแนวคอลัมน์



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพการแปลงเวฟเล็ทสำหรับหาขอบภาพ

ผลที่ได้นี้เป็นการแปลงเวฟเล็ทแบบหลายระดับความละเอียดของข้อมูลภาพในหนึ่งระดับ ซึ่งการแปลงเวฟเล็ทในระดับต่อไป จะทำได้โดยการนำเอาข้อมูลจะระดับต่ำกว่า มาทำการคูณกับเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ที่มีระดับเดียวกับข้อมูลที่จะคูณ และการแปลงเวฟเล็ทโดยใช้หลักการคูณด้วยเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ จะช่วยป้องกันการสูญหายของข้อมูลได้เป็นอย่างดี ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมการแปลงเวฟเล็ท Haar Dabuchise4 และ B-spline จะแสดงไว้ในภาคผนวก ข และตัวอย่างของเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ทั้ง 3 แม่จะแสดงไว้ในภาคผนวก ก

#### 4.4 การผสมภาพทางการแพทย์โดยใช้ทฤษฎีการแปลงเวฟเล็ท [13] [14] [15]

การผสมภาพทางการแพทย์ (Medical image fusion) นิยามได้ว่าเป็นการนำภาพทางการแพทย์จำนวน 2 ภาพ ที่มีแหล่งกำเนิดภาพต่างกัน ถ่าย ณ ตำแหน่งเดียวกันมาผสมการเพื่อให้เกิดภาพใหม่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งภาพ ที่ยังคงรักษารายละเอียดของภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพไว้ ซึ่งการผสมภาพทางการแพทย์เป็นการผสมในระดับจุดภาพ (Pixel level fusion) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “Image fusion” จุดประสงค์เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นได้อย่างชัดเจนของมนุษย์ และสามารถนำภาพที่ผสมไปปรับปรุงได้ง่าย

ในการทดลอง ได้นำเอาคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ทมาใช้ร่วมกับเทคนิคการผสมภาพทางการแพทย์ให้เกิดภาพใหม่ โดยการทำอินเวอร์สเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม ภาพถ่ายทางการแพทย์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นภาพถ่าย CT (Computed Tomography) ผสมกับภาพถ่าย MRI (Magnetic Resonance Imageing) ซึ่งภาพถ่ายทั้ง 2 มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

### ภาพถ่าย CT

หลักการของ CT คือ ลำแสงของเอ็กซเรย์จะผ่านส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่ต้องการศึกษาตามความหนาแน่นของอวัยวะนั้น ๆ โดยมีตัวรับ (Detector) ริงส์ที่ผ่านออกมาอยู่ด้านตรงข้าม เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างภาพขึ้นมาในแนวตัดขวาง

เนื้อเยื่อที่มีความหนาแน่นมากจะดูดแสงเอ็กซเรย์ได้มาก เช่น กระดูก จึงให้ภาพ high attenuation (ขาว) ตรงข้ามกับเนื้อเยื่อที่มีความหนาแน่นน้อย แสงเอ็กซเรย์จะผ่านได้ดี เช่น อากาศ จะให้ภาพ low attenuation (ดำ) ซึ่งสามารถวัดได้เป็นหน่วย Hounsfield (HU) ได้แก่ กระดูกมีความหนาแน่นประมาณ 30 – 230 HU , white matter มีความหนาแน่นประมาณ 22 – 30 HU

### ภาพถ่าย MRI

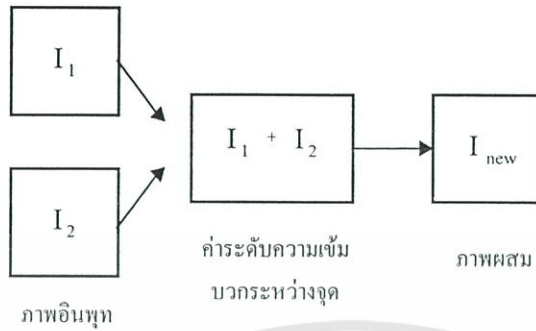
MRI คือ เครื่องมือตรวจอวัยวะต่างๆ ของร่างกายโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นวิทยุร่วมกับคอมพิวเตอร์ ภาพที่ได้จะมีรายละเอียดชัดเจนเหมือนภาพถ่ายจริง ซึ่งจะสามารถบอกลักษณะของเนื้อเยื่อบางได้ดี จึงมีประโยชน์ในการตรวจในระบบสมองแต่ไม่สามารถบอกรายละเอียดของกระดูกได้

จากคุณสมบัติข้างต้นจะเห็นว่าภาพถ่าย CT จะเป็นภาพที่สังเกตเห็นในส่วนของกระดูกได้ชัดเจน แต่ภาพถ่าย MRI จะเป็นภาพที่สังเกตเห็นส่วนของเนื้อเยื่อได้อย่างชัดเจน ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกภาพ CT และภาพถ่าย MRI มาผสมกันเพื่อเกิดภาพใหม่ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบที่เป็นกระดูกจากภาพถ่าย CT และส่วนประกอบที่เป็นเนื้อเยื่อจากภาพถ่าย MRI ภายในภาพเดียวกัน

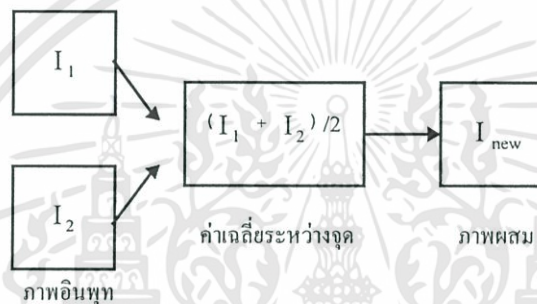
#### 4.4.1 การผสมภาพโดยตรง

การผสมภาพโดยตรง คือการผสมภาพโดยไม่ต้องผ่านขบวนการแปลงเวฟเล็ท หรือขบวนการอื่นๆ ก่อนการผสมภาพ โดยจะผสมภาพจากค่าความเข้มของจุดภาพระหว่างภาพอินพุต  $I_1$  กับ ภาพอินพุต  $I_2$  แบบจุดต่อจุด ดังรูปที่ 4.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยการบวก ภาพอินพุตแบบจุดต่อจุด ระหว่างภาพอินพุต  $I_1$  กับภาพอินพุต  $I_2$  และรูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยการหาค่าเฉลี่ยของภาพอินพุตแบบจุดต่อจุดระหว่างภาพอินพุต  $I_1$

กับภาพอินพุต  $I_2$  อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำให้ความคมชัดของภาพผสมถูกลบเลือนไปได้ ถึงแม้ว่าวิธีการผสมแบบหาค่าเฉลี่ยจะช่วยลดการเกิดสัญญาณรบกวนก็ตาม



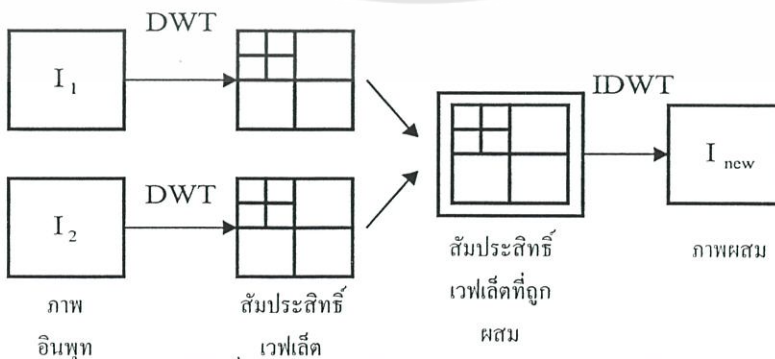
รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพ โดยการบวกภาพอินพุต แบบจุดต่อจุด



รูปที่ 4.9 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพ โดยการหาค่าเฉลี่ยของภาพอินพุตแบบจุดต่อจุด

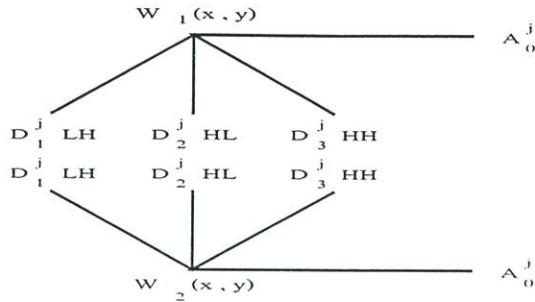
#### 4.4.2 การผสมภาพโดยใช้สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต

การผสมภาพถ่ายทางการแพทย์ โดยใช้ทฤษฎีเวฟเล็ต เป็นการนำภาพถ่ายทางการแพทย์ 2 ภาพที่มีขนาดภาพเท่ากัน ถ่าย ณ ตำแหน่งเดียวกัน ทำการทรานส์ฟอร์มเวฟเล็ตที่ละภาพ หลังจากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตทั้ง 2 ภาพ ผสมกันโดยใช้เทคนิคการผสมต่างๆ จนได้ภาพใหม่หนึ่งภาพ ดังนั้นการทำอินเวอร์สเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม จะเป็นการนำสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่ผสมแล้ว มารวมข้อมูลกลับ ดังรูปที่ 4.10 และการผสมจะเป็นการผสมแต่ละคู่ที่มีความสัมพันธ์ในแต่ละซับแบนด์ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพ 2 ภาพ โดยใช้ DWT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพในแต่ละชั้นแบนด์ โดยที่  $A_0^j$  คือ ค่าประมาณ และ  $D_c^j$  คือ ค่าความละเอียด

4.4.2.1 การผสมโดยค่าเฉลี่ย

การผสมโดยค่าเฉลี่ย คือการหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตระหว่างภาพอินพุต  $I_1$  กับอินพุต  $I_2$  ในแต่ละชั้นแบนด์ของการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียด  $j$  ใดๆ เช่น

$$D_c^j I_{new} = (D_c^j I_1 + D_c^j I_2) / 2$$

$$A_0^j I_{new} = (A_0^j I_1 + A_0^j I_2) / 2$$

4.4.2.2 การผสมโดยค่าแมกซ์มี้ม

การผสมโดยค่าเฉลี่ยแมกซ์มี้ม คือการผสมโดยตัดสินใจเลือกค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่มีค่ามากที่สุดระหว่างค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของภาพอินพุต  $I_1$  กับค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของภาพอินพุต  $I_2$  ในแต่ละชั้นแบนด์ของการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียด  $j$  ใดๆ เช่น

$$D_c^j I_{new} = \max(D_c^j I_1, D_c^j I_2)$$

$$A_0^j I_{new} = \max(A_0^j I_1, A_0^j I_2)$$

4.4.2.3 การผสมโดยความถี่สูง/ความถี่ต่ำ

การผสมโดยค่าความถี่สูง/ความถี่ต่ำ คือการผสมโดยการตัดสินใจเลือกค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตจากภาพใดภาพหนึ่งเก็บไว้ในความถี่ใดความถี่หนึ่งและค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตอีกภาพหนึ่งจะถูกเก็บอีกชั้นแบนด์หนึ่งของการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียด  $j$  ใดๆ เช่น

$$D_c^j I_{new} = (D_c^j I_1) \text{ และ } A_0^j I_{new} = (A_0^j I_2)$$

$$D_c^j I_{new} = (D_c^j I_2) \text{ และ } A_0^j I_{new} = (A_0^j I_1)$$

4.4.2.4 การผสมโดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าแมกซ์มี้ม

การผสมโดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าแมกซ์มี้ม คือการผสมโดยเลือกให้ชั้นแบนด์ที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำ หรือค่าการประมาณ (Coarse) จะผสมในขบวนการหาค่าเฉลี่ย และเลือกให้ชั้นแบนด์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

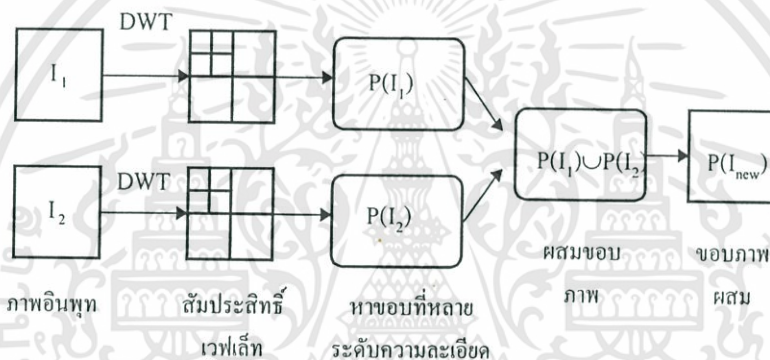
ที่อยู่ในช่วงความถี่สูง หรือความละเอียด (Detail) จะผสมในขบวนการหาค่าแมกซิมัมของการแปลงเวฟเล็ทที่ระดับความละเอียด  $j$  ใดๆ เช่น

$$D_c^j I_{\text{new}} = \max(D_c^j I_1, D_c^j I_2)$$

$$A_o^j I_{\text{new}} = (A_o^j I_1 + A_o^j I_2) / 2$$

#### 4.4.2.5 การผสมโดยขอบภาพ

การผสมโดยขอบภาพ คือการหาขอบภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ทในหัวข้อที่ 3.5.3 ของแต่ละภาพอินพุท  $I_1$  และภาพอินพุท  $I_2$  หลังจากได้ขอบของแต่ละภาพอินพุทแล้วจะทำการผสมขอบภาพโดยใช้ทฤษฎีของตรรกศาสตร์ คือการยูเนียนค่าของขอบทั้ง 2 ภาพ ดังรูปที่ 4.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยขอบภาพ



รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมของการผสมขอบภาพหลายระดับการแปลง

#### 4.4.2.6 การผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ

การผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ คือการผสมภาพโดยพิจารณาเทคนิคการผสมค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ท 2 ข้อ คือ

1. ขบวนการเลือก ถ้าค่าความเข้มของจุดภาพในตำแหน่งภาพต้นแบบ ทั้ง 2 ภาพ มีความคมชัดต่างกันจะผสมโดยค่าแมกซิมัมของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทของภาพใดภาพหนึ่งที่มาสูงกว่าเพื่อรักษาลักษณะเด่นที่ชัดที่สุดจากสัมประสิทธิ์เวฟเล็ท และถ้าค่าความเข้มของจุดภาพในตำแหน่งภาพต้นแบบทั้ง 2 ภาพ มีความคมชัดเดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน จะผสมโดยการหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ทระหว่างภาพอินพุท  $I_1$  กับภาพอินพุท  $I_2$  เพื่อช่วยลดการเกิดสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งขบวนการเลือกจะกระทำในซับบเอนด์ที่เป็นความถี่ต่ำเท่านั้น และ
2. ส่วนที่เป็นซับบเอนด์ความถี่สูงจะกระทำการผสมโดยค่าแมกซิมัมเท่านั้น เพื่อเป็นการรักษาลักษณะขอบของภาพที่มีลักษณะเด่นชัดที่สุดจากสัมประสิทธิ์เวฟเล็ท

การพิจารณาค่าความเข้มของภาพแต่ละภาพแตกต่างกันหรือไม่ จะพิจารณาจากการหาค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของภาพต้นแบบทั้ง 2 ภาพ :  $(\mu)$  เพื่อเป็นตัวตัดสินในการเลือกเทคนิคการผสมระหว่างการผสมโดยค่าแมกซ์มี้ม หรือการผสมโดยค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ในชั้นแบนด์ที่เป็นความถี่ต่ำ ดังสมการที่ 4.10

$$\mu = \left| \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_1(i, j) - I_2(i, j))}{m \times n} \right| \quad (4.10)$$

โดยที่  $I_1(i, j)$  คือ ค่าความเข้มที่ตำแหน่ง  $(i, j)$  ของภาพต้นแบบ 1

$I_2(i, j)$  คือ ค่าความเข้มที่ตำแหน่ง  $(i, j)$  ของภาพต้นแบบ 2

$m$  คือ จำนวนพิกเซลตามแกนแนวนอน

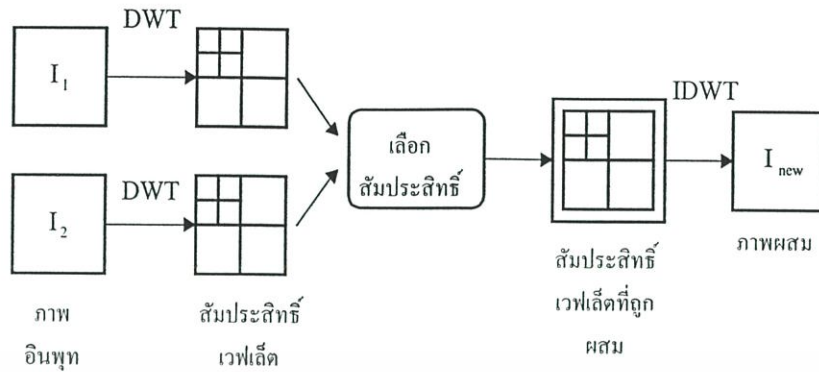
$n$  คือ จำนวนพิกเซลตามแกนแนวตั้ง

$I_1(i, j) - I_2(i, j)$  คือ ค่าความแตกต่างระหว่างภาพ  $I_1$  และภาพ  $I_2$  ที่ตำแหน่ง  $(i, j)$

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของภาพต้นแบบทั้ง 2 ภาพแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความแตกต่างระหว่างภาพ  $I_1$  และ  $I_2$  ที่ตำแหน่ง  $(i, j)$  โดยถ้าค่าความแตกต่างระหว่างภาพ  $I_1$  และ  $I_2$  ที่ตำแหน่ง  $(i, j)$  มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของภาพต้นแบบทั้ง 2 ภาพ แสดงว่าค่าความเข้มของจุดภาพตำแหน่งนั้นต่างกันมาก ให้ทำการผสมโดยค่าแมกซ์มี้มของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต และถ้าค่าความแตกต่างระหว่างภาพ  $I_1$  และ  $I_2$  ที่ตำแหน่ง  $(i, j)$  มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของค่าความแตกต่างของภาพต้นแบบทั้ง 2 ภาพ แสดงว่าค่าความเข้มของจุดภาพตำแหน่งนั้นไม่ต่างกัน ให้ทำการผสมโดยค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ในชั้นแบนด์ที่เป็นความถี่ต่ำ เช่น

$$\begin{aligned} A_o^j I_{\text{new}} &= \max(A_o^j I_1, A_o^j I_2) \quad \text{ถ้า } |I_1 - I_2| \geq \mu \\ &= \text{ave}(A_o^j I_1, A_o^j I_2) \quad \text{อื่น ๆ} \\ D_c^j I_{\text{new}} &= \max(D_c^j I_1, D_c^j I_2) \end{aligned}$$

และรูปที่ 4.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการผสมภาพโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ



รูปที่ 4.13 บล็อกโคโอะแกรมของการผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ

#### 4.5 สรุป

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงเทคนิคของการผสมภาพถ่ายทางการแพทย์ที่สามารถรักษารายละเอียดที่สำคัญของภาพอินพุตทั้ง 2 ภาพได้เท่าที่จะทำได้ ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่ที่พบได้ในการผสมภาพ คือ การเกิดรอยหยักภายในภาพที่ผสม และวิธีการที่ช่วยลดการเกิดรอยหยักภายในภาพได้โดยการผสมแบบหาค่าเฉลี่ยระหว่างสัมประสิทธิ์เวฟเลตทั้ง 2 ภาพอินพุต แต่มีข้อเสีย คือจะทำให้ความคมชัดภายในภาพลดลงไปได้ วิธีที่ช่วยได้ คือการผสมโดยค่าแมกซ์ิมัมระหว่างสัมประสิทธิ์เวฟเลตทั้ง 2 ภาพอินพุต แต่จะทำให้เกิดรอยหยักภายในภาพได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคนิคการผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ ซึ่งเป็นเทคนิคการผสมภาพที่สามารถรักษารายละเอียดที่สำคัญและยังช่วยลดการเกิดรอยหยักที่อาจเกิดขึ้นภายในภาพผสมได้ ประกอบกับการแปลงเวฟเลตด้วยการคูณกับเมตริกซ์ฟังก์ชันเวฟเลตแม่ ซึ่งจะช่วยลดการเกิดการสูญเสียหรือสูญหายของข้อมูล และช่วยลดเวลาในการแปลงเวฟเลตได้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

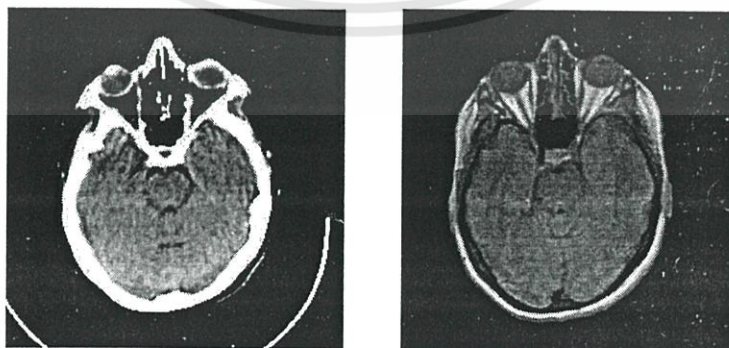
#### 5.1 บทนำ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดลองโดยใช้คุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ทแบบคริสคริต และเทคนิคการผสมภาพที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4. มาประยุกต์ให้กับภาพถ่ายทางการแพทย์ เช่นภาพถ่ายสมอง CT และภาพถ่ายสมอง MRI ที่มีขนาด 256 x 256 จุดภาพเป็นภาพระดับเทา (Gray scale) ถ่าย ณ ตำแหน่งเดียวกัน โดยใช้ฟังก์ชันเวฟเล็ท 3 ชนิด คือ Haar Daubechies4 และ B-spline การวัดประสิทธิภาพเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองกับภาพเหมาะสม (Image perfect) ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ทำการทดลองนี้ได้จำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม Matlab เวอร์ชัน 5.3 ประมวลผลบนเครื่อง PC Pentium III 550 MHz

#### 5.2 การทดลองกับภาพถ่ายทางการแพทย์

หัวข้อนี้จะเป็นการทดลองทำการผสมภาพถ่ายทางการแพทย์ เช่นภาพถ่าย CT และภาพถ่าย MRI โดยเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการผสมภาพโดยตรง และการผสมภาพโดยใช้เวฟเล็ท (เช่น การผสมโดยหาค่าเฉลี่ย การผสมโดยหาค่าแมกซิมัม การผสมโดยค่าความถี่สูง/ต่ำร่วมกับ การหาค่าแมกซิมัม การผสมโดยการหาค่าเฉลี่ยและค่าแมกซิมัม การผสมโดยขอบภาพ และการผสมโดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ) กับภาพเหมาะสมที่สุด (Image fusion) ซึ่งภาพเหมาะสมที่สุดเป็นภาพที่ได้จากขบวนการตัดแปะด้วยมือ (Cutting and pasting) หรือเป็นการเลือกค่าจุดภาพแต่ละภาพอินพุท โดยพิจารณาจากฮิสโตแกรม

ภาพต้นแบบที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพถ่ายทางการแพทย์ระดับเทา (8 บิต) ขนาด 256 x 256 พิกเซล จำนวน 4 ภาพ ประกอบด้วย ภาพถ่ายศรีษะมนุษย์ชนิด CT จำนวน 2 ภาพ และภาพถ่ายศรีษะมนุษย์ ชนิด MRI จำนวน 2 ภาพ ดังรูปที่ 5.1 และ 5.3

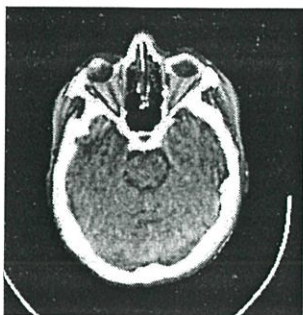


(ก)

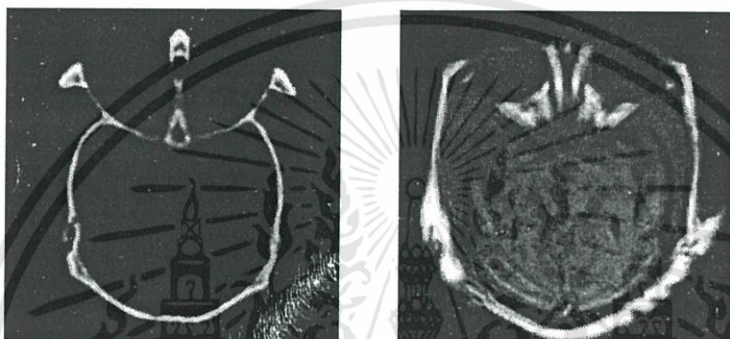
(ข)

รูปที่ 5.1 ภาพต้นแบบ 1 (ก) ภาพถ่าย CT (ข) ภาพถ่าย MRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ภาพที่ได้จากการตัดแปะด้วยมือ หรือภาพเหมาะสมที่สุด ของภาพต้นแบบ 1



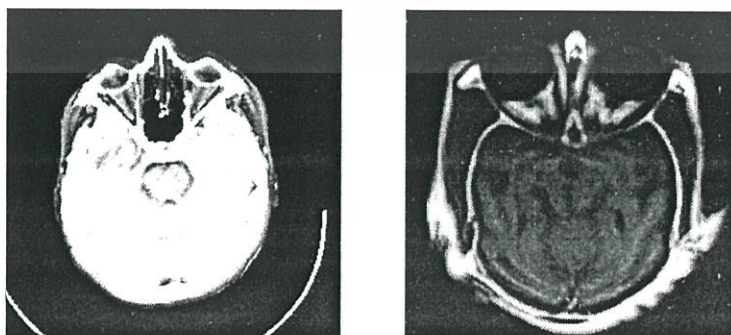
(ก)

(ข)

รูปที่ 5.3 ภาพต้นแบบ 2 (ก) ภาพถ่าย CT (ข) ภาพถ่าย MRI



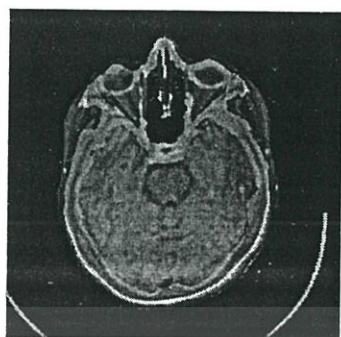
รูปที่ 5.4 ภาพที่ได้จากการตัดแปะด้วยมือ หรือภาพเหมาะสมที่สุด ของภาพต้นแบบ 2



(ก)

(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



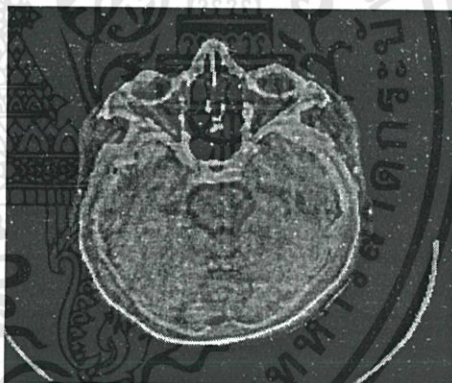
(ง)

รูปที่ 5.5 ภาพที่ผ่านการผสมโดยตรง (ค)และ(ข) ภาพที่ผสมโดยการบวกจุดต่อจุด (ค)และ(ง)ภาพที่ผสมโดยการหาค่าเฉลี่ยจุดต่อจุด ค่า RMSE เท่ากับ 61.0509 18.0025 41.1376 และ 40.0069 ตามลำดับ

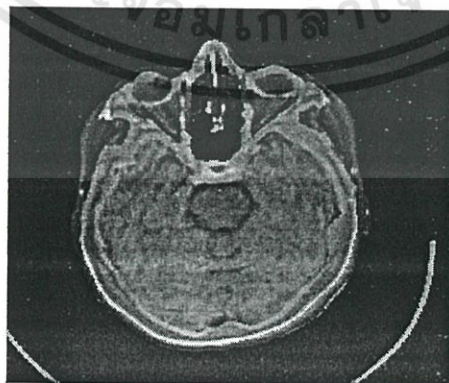
### 5.2.1 การผสมภาพโดยหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต



(ก)



(ข)

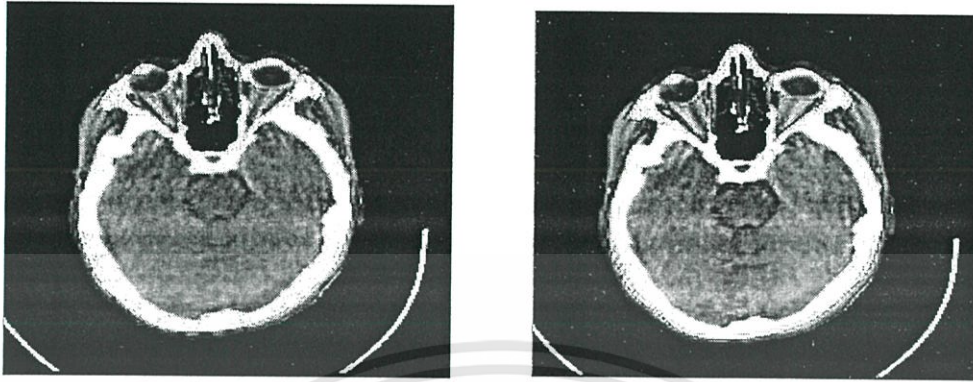


(ค)

รูปที่ 5.6 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยหาค่าเฉลี่ย (ก) B-spline (ข) Daubechies4 (ค) Haar

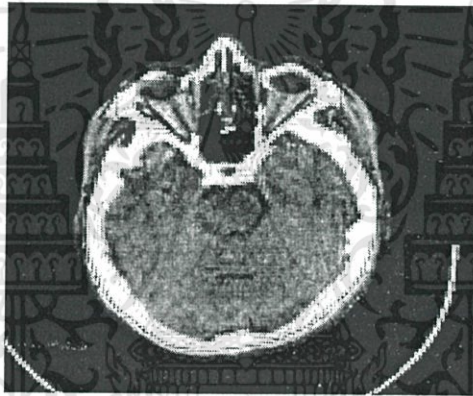
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 การผสมภาพโดยค่าแมกซิมัม



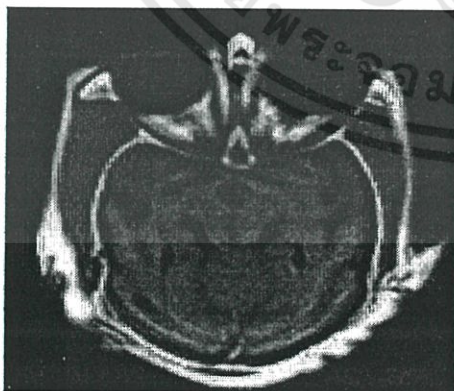
(ก)

(ข)

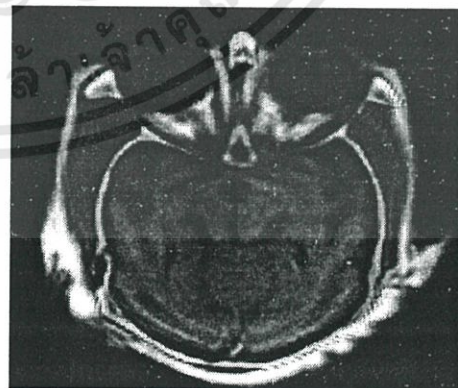


(ค)

รูปที่ 5.7 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยค่าแมกซิมัม (ก) B-spline (ข) Daubechies4 (ค) Haar



(ก)

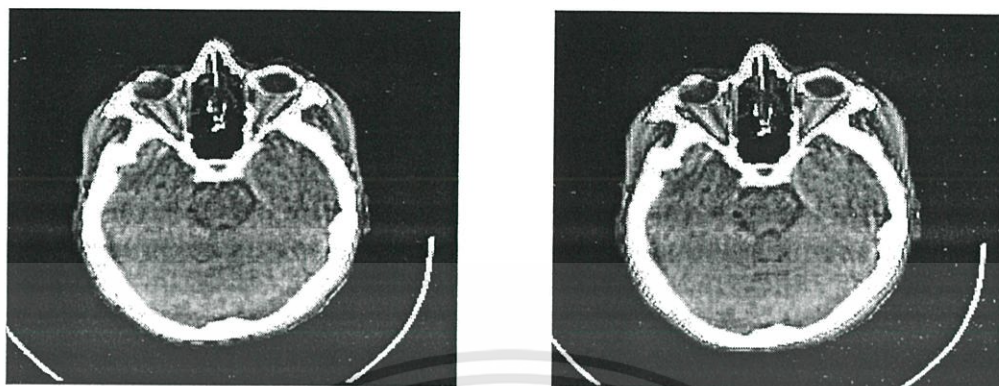


(ข)

รูปที่ 5.8 การผสมภาพต้นแบบ 2 โดยค่าแมกซิมัม (ก) B-spline (ข) Daubechies4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.3 การผสมภาพโดยค่าความถี่สูงร่วมกับค่าแมกซิมัม



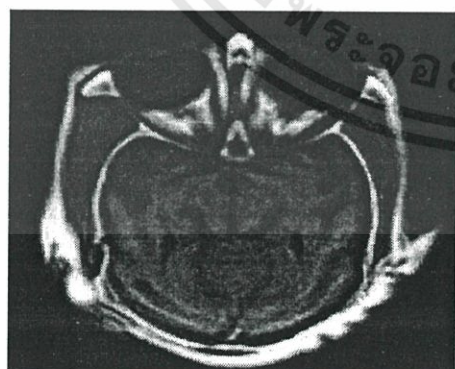
(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 5.9 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยค่าความถี่สูงร่วมกับค่าแมกซิมัม (ก) B-spline  
(ข) Daubechies4 (ค) Haar



(ก)

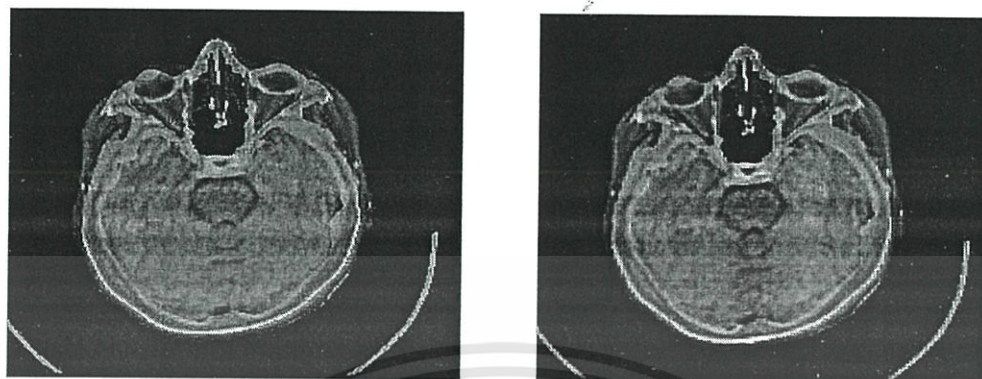


(ข)

รูปที่ 5.10 การผสมภาพต้นแบบ 2 โดยค่าความถี่สูงร่วมกับค่าแมกซิมัม (ก) B-spline  
(ข) Daubechies4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.4 การผสมภาพโดยค่าเฉลี่ยและค่าเมกซิมัม



(ก)

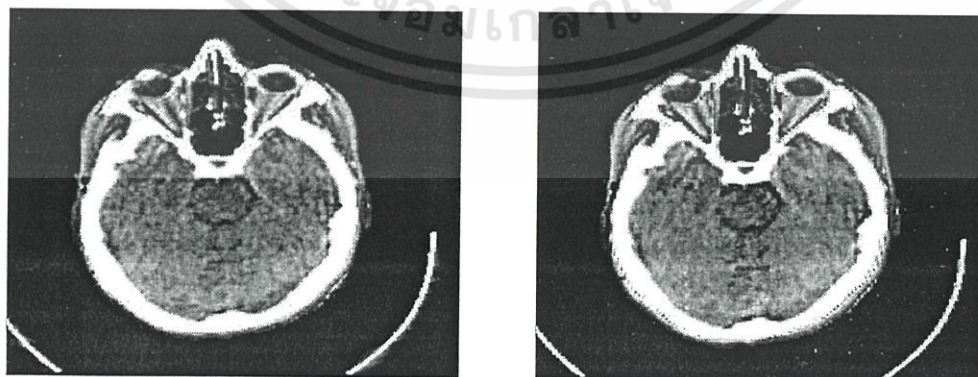
(ข)



(ค)

รูปที่ 5.11 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยค่าความเฉลี่ยและค่าเมกซิมัม (ก) B-spline  
(ข) Daubechies4 (ค) Haar

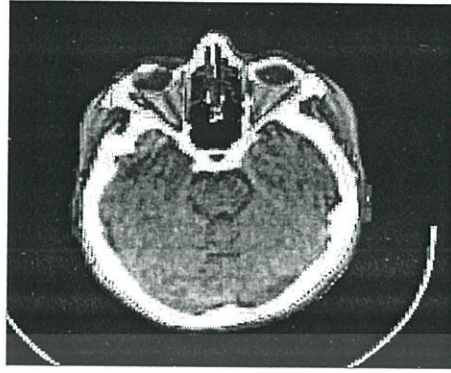
### 5.2.5 การผสมภาพโดยพิจารณาความเข้มของภาพ



(ก)

(ข)

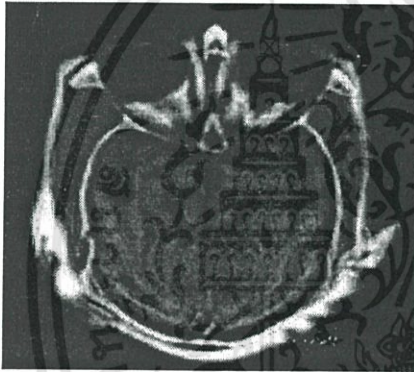
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



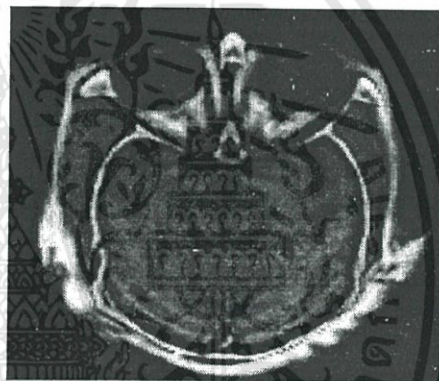
(ค)

รูปที่ 5.12 การผสมภาพต้นแบบ 1 โดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ (ก) B-spline

(ข) Daubechies4 (ค) Haar



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.13 การผสมภาพต้นแบบ 2 โดยพิจารณาค่าความเข้มของภาพ (ก) B-spline

(ข) Daubechies4

ตารางที่ 5.1 แสดงการวัดประสิทธิภาพของการผสมภาพต้นแบบ 2 ด้วยการแปลงเวฟเล็ตร่วมกับเทคนิคการผสมภาพ โดยการหาค่า Root Mean Square error : RMSE Peak signal to noise ratio : PSNR และค่า Mean โดยการเปรียบเทียบกับภาพเหมาะสมที่สุด ที่มีค่า

Mean = 59.7083

เทคนิคการผสมภาพ	RMSE		PSNR		Mean	
	B-spline	Db4	B-spline	Db4	B-spline	Db4
ค่าเฉลี่ย	40.0009	40.2042	16.0894	16.0454	31.3592	31.7440
ค่าแมกซิมัม	9.1427	4.5313	28.9093	35.0064	59.2270	59.5002
ค่าความถี่สูง/ค่าแมกซิมัม	4.8407	4.6938	34.4326	34.7003	59.2267	59.4918
ค่าเฉลี่ย/ค่าแมกซิมัม	40.0107	40.0962	16.0873	16.0687	31.3582	31.9719
พิจารณาความเข้มภาพ	4.5570	6.4885	38.4672	31.8880	59.3697	56.2039

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงการวัดประสิทธิภาพของการผสมต้นแบบ 1 ด้วยการแปลงเวฟเล็ตร่วมกันกับเทคนิคการผสมภาพ โดยการหาค่า RMSE PSNR และค่า Mean โดยเปรียบเทียบกับภาพเหมาะสมที่สุดมีค่า Mean = 75.8205

เทคนิคการผสมภาพ	RMSE			PSNR			Mean		
	B-spline	Db4	Haar	B-spline	Db4	Haar	B-spline	Db4	Haar
ค่าเฉลี่ย	40.2324	40.4135	40.3229	16.0393	16.0003	16.0198	54.5169	54.365	54.440
ค่าแมกซิมัม	13.2353	11.9689	24.6899	26.3799	27.1578	20.4816	75.7640	75.486	75.344
ค่าความถี่สูง/ ค่าแมกซิมัม	13.8708	10.0203	15.1041	25.2888	28.1132	24.5489	78.3667	75.848	75.238
ค่าเฉลี่ย/ค่าแมกซิมัม	40.6269	40.9402	40.7835	15.9545	15.8878	15.8216	53.8119	55.034	54.422
พิจารณาความเข้มของภาพ	13.0039	11.0256	15.0985	28.8493	27.2828	24.4889	75.8493	75.488	79.001

จากผลการทดลองในรูปที่ 5.6 – 5.13 และตารางที่ 5.1 , 5.2 จะสังเกตเห็นว่า การผสมภาพโดยใช้เวฟเล็ตนั้นจะให้ภาพที่ผสมมีประสิทธิภาพมากกว่าภาพที่ผสมโดยไม่ได้ผ่านการแปลงเวฟเล็ตจะสังเกตได้จากค่า RMSE ของภาพที่ผสมโดยไม่ได้ผ่านการแปลงเวฟเล็ตจะมีค่ามากกว่าค่า RMSE ของภาพที่ผสมโดยผ่านการแปลงเวฟเล็ตทุก ๆ วิธียกเว้นการผสมภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ตที่ร่วมกับการเทคนิคการผสมแบบหาค่าเฉลี่ยและการผสมแบบค่าเฉลี่ย/แมกซิมัมที่มีค่า RMSE ใกล้เคียงหรือเท่ากับภาพที่ผสมโดยไม่ได้ผ่านการแปลงเวฟเล็ต

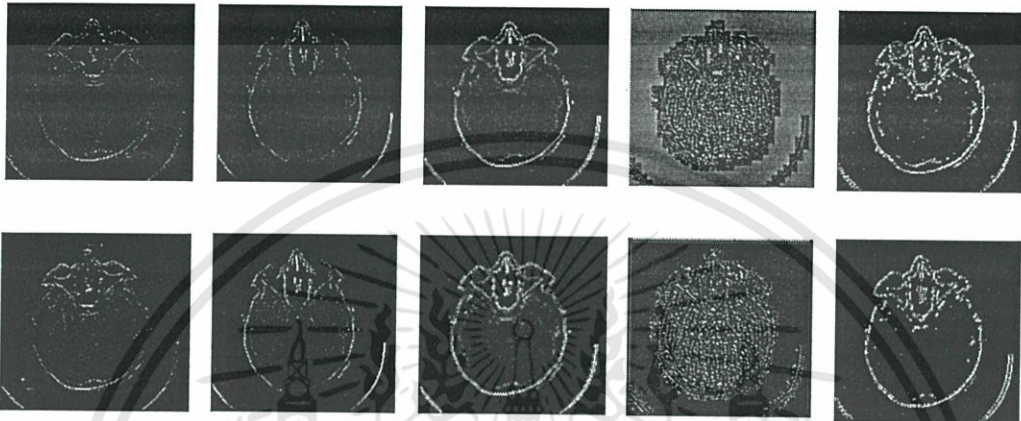
และเมื่อเปรียบเทียบในด้านเทคนิคการผสมภาพแล้วจะสังเกตเห็นว่าเทคนิคการผสมแบบพิจารณาค่าความเข้มของภาพจะให้ภาพผสมที่มีความราบเรียบ (Smooth) ของภาพมากที่สุดและไม่ก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการ หรือรอยหยัก (Block artifact) ภายในภาพผสมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต B-spline ซึ่งจะให้ค่า PSNR มากกว่าการผสมโดยเทคนิคอื่น และที่ร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต Daubechies 4 และ Haar รวมทั้งค่า Mean จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า Mean ของภาพที่เหมาะสมที่สุด ถึงแม้ว่าค่า RMSE ของ B-spline จะมีค่ามากกว่าการผสมแบบพิจารณาค่าความเข้มของภาพที่ร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต Daubechies4 บางภาพก็ตาม

### 5.2.6 การผสมขอบภาพ

ในการทดลองตอนนี้เป็นการผสมขอบภาพหลายระดับความละเอียด โดยใช้ภาพต้นแบบชุดเดียวกันกับการทดลองที่แล้ว (รูปที่ 5.1 และ 5.3) โดยแสดงผลการทดลองในการหาขอบภาพดังต่อไปนี้



ภาพต้นแบบ CT



แปลงตามแกน  
แนวนอน

แปลงตาม  
แกนแนวตั้ง

ขนาดของ  
เกรเดียนท์

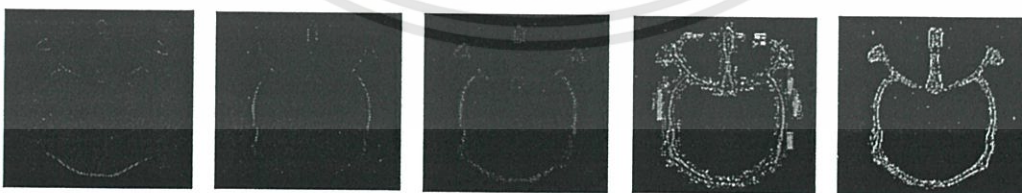
ทิศทางของ  
เกรเดียนท์

ขอบภาพ

รูปที่ 5.14 การหาขอบภาพต้นแบบ 1 ที่ระดับการแปลง  $1 \leq j \leq 2$  ตำแหน่งของค่ามอดูลัสสูงสุดในทิศทางของเกรเดียนท์เวกเตอร์



ภาพต้นแบบ CT



แปลงตามแกน  
แนวนอน

แปลงตาม  
แกนแนวตั้ง

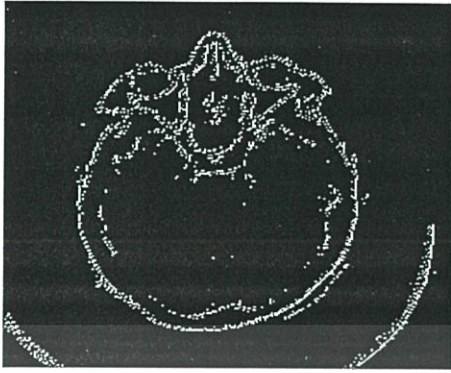
ขนาดของ  
เกรเดียนท์

ทิศทางของ  
เกรเดียนท์

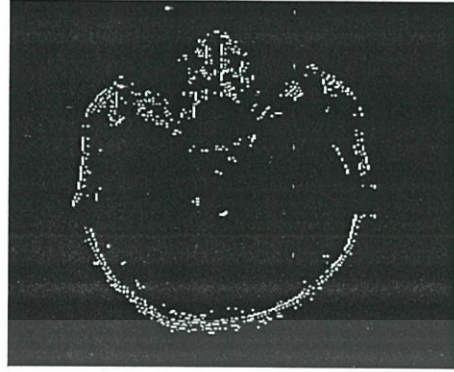
ขอบภาพ

รูปที่ 5.15 การหาขอบภาพต้นแบบ 2 ที่ระดับการแปลง 1 ระดับ ตำแหน่งของค่ามอดูลัสสูงสุดในทิศทางของเกรเดียนท์เวกเตอร์

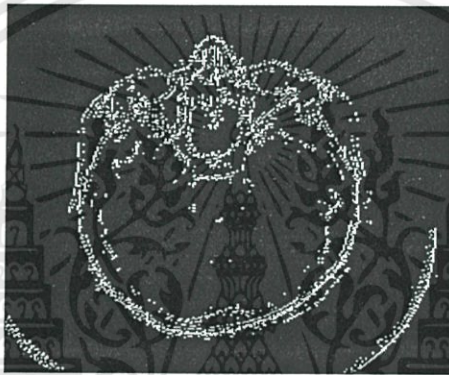
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

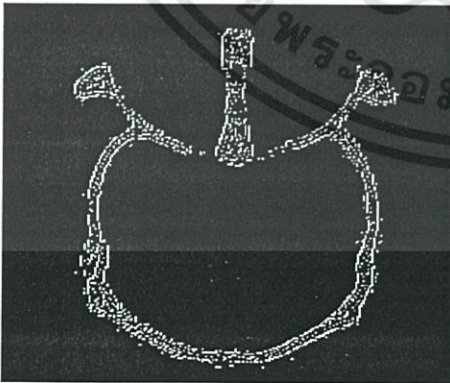


(ข)

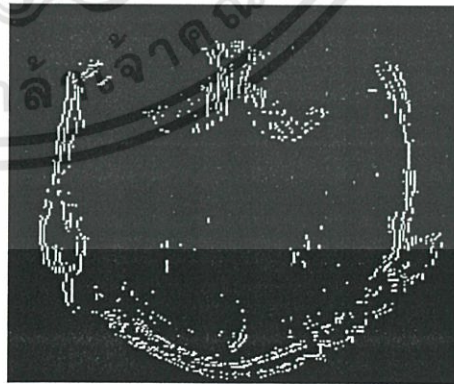


(ค)

รูปที่ 5.16 การผสมขอบภาพต้นแบบ 1 ที่หลายระดับการแปลง (ก) ขอบของภาพ CT  
(ข) ขอบภาพ MRI (ค) ขอบภาพที่ผสม

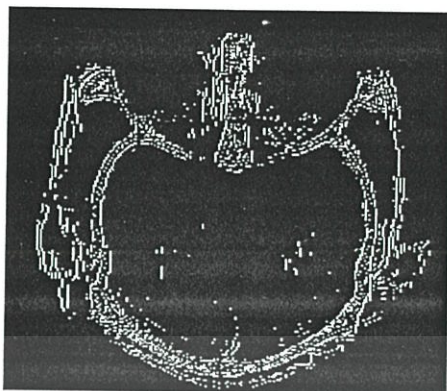


(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 5.17 การผสมขอบภาพต้นแบบ 2 ที่หลายระดับการแปลง (ก) ขอบของภาพ CT

(ข) ขอบภาพ MRI (ค) ขอบภาพที่ผสม

จากผลการทดลองผสมขอบภาพหลายระดับการแปลง จะเห็นว่าในภาพถ่ายทางการแพทย์ เป็นภาพที่มีรายละเอียดมาก เมื่อทำการหาขอบภาพโดยการแปลงเวฟเล็ท ทำให้ได้รายละเอียดของ ภาพผลลัพธ์ได้อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำขอบภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทไปใช้ ในขบวนการผสมขอบภาพ เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นลักษณะเด่นได้เป็นอย่างดี และถ้าต้องการ ลดรายละเอียดของขอบภาพ สามารถทำได้โดยการลดระดับความละเอียดในการแปลงเวฟเล็ท

### 5.3 การทดลองวัดความเร็วในการผสมภาพ

ในการทดลองตอนนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการแปลงเวฟเล็ท โดยการคูณสัญญาณ ภาพ กับเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ท ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3 เพื่อเพิ่มความเร็วในการแปลงเวฟเล็ท

ในการทดลองได้ใช้ภาพต้นแบบชุดเดียวกับการทดลองที่แล้ว โดยใช้สองอัลกอริทึมเพื่อเปรียบเทียบกัน อัลกอริทึมแรกจะเป็นการแปลงเวฟเล็ท โดยการคอนโวลูชันสัญญาณภาพกับฟังก์ชันเวฟ เล็ทแล้วนำสัมประสิทธิ์ที่ได้ทำการผสมภาพ อัลกอริทึมที่สองจะเป็นการแปลงเวฟเล็ท โดยการคูณ สัญญาณภาพกับเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ท แล้วนำสัมประสิทธิ์ที่ได้ทำการผสมภาพ โดยแสดงผล การวัดความเร็วในการประมวลผลการผสมภาพได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวัดความเร็วในการประมวลผลการผสมภาพต้นแบบ 1 ระหว่างการแปลงเวฟเล็ต โดยการคอนโวลูชันสัญญาณกับฟังก์ชันเวฟเล็ต และการแปลงเวฟเล็ต โดยการคูณสัญญาณกับ เมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ต

เทคนิคการผสมภาพ	เวลา(วินาที)					
	แปลงเวฟเล็ตโดยการคอนโวลูชัน			แปลงเวฟเล็ตโดยการคูณเมตริกซ์		
	B-spline	Db 4	Haar	B-spline	Db 4	Haar
ค่าเฉลี่ย	67	64	79	13	7	7
ค่าแมกซิ멈	80	77	92	26	20	20
ค่าความถี่สูง/ค่าแมกซิ멈	83	80	95	29	23	23
ค่าเฉลี่ย/ค่าแมกซิ멈	81	78	93	27	21	21
พิจารณาความเข้มของภาพ	86	83	98	32	26	26

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวัดความเร็วในการประมวลผลการผสมภาพต้นแบบ 2 ระหว่างการแปลงเวฟเล็ต โดยการคอนโวลูชันสัญญาณกับฟังก์ชันเวฟเล็ต และการแปลงเวฟเล็ต โดยการคูณสัญญาณกับ เมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ต

เทคนิคการผสมภาพ	เวลา(วินาที)					
	แปลงเวฟเล็ตโดยการคอนโวลูชัน			แปลงเวฟเล็ตโดยการคูณเมตริกซ์		
	B-spline	Db 4	Haar	B-spline	Db 4	Haar
ค่าเฉลี่ย	67	64	79	13	7	7
ค่าแมกซิ멈	80	77	92	26	20	20
ค่าความถี่สูง/ค่าแมกซิ멈	83	80	95	29	23	23
ค่าเฉลี่ย/ค่าแมกซิ멈	81	78	93	27	21	21
พิจารณาความเข้มของภาพ	86	83	98	32	26	26

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.3 และ 5.4 จะสังเกตเห็นว่า การผสมภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยการคูณสัญญาณกับเมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ตนั้นจะใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่าการผสมภาพด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยการคอนโวลูชันสัญญาณกับฟังก์ชันเวฟเล็ต และจะสังเกตเห็นว่าเวลาในการประมวลผลทั้งสองตารางจะมีค่าเท่ากันในแต่ละช่องเนื่องจากภาพต้นแบบ 1 และภาพต้นแบบ 2 มีขนาด 256 x 256 ทั้ง 2 ภาพ ดังนั้นปัจจัยในการเพิ่มความเร็วในการผสมภาพ มีดังนี้

1. ขนาดภาพต้นแบบ ถ้ามีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการคูณมากกว่า ภาพต้นแบบที่มีขนาดเล็ก

2. ระดับการแปลงเวฟเล็ท ถ้าจำนวนของระดับการแปลงมากจะใช้เวลาในการแปลงไปและแปลงกลับ มากกว่า จำนวนของระดับการแปลงน้อย (ในการทดลองจะทำการแปลงไปและแปลงกลับ 2 ระดับ)
3. เทคนิคการผสม ถ้ามีการเปรียบเทียบค่ามาก จะใช้เวลาในการประมวลผล มากกว่า เทคนิคการผสมที่มีการเปรียบเทียบค่าน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของเวฟเล็ต Daubechies4 และ B-spline สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการผสมภาพทางการแพทย์ได้โดยการแปลง (การแตกกระจาย) ข้อมูลภาพจากระดับความละเอียดสูงออกเป็นข้อมูลย่อยที่ระดับความละเอียดต่ำกว่า แต่ระดับความละเอียดประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนประมาณและส่วนรายละเอียด ดังนั้นจากการผสมภาพที่ระดับความละเอียดสูงสุด ก็เปลี่ยนมาเป็นการผสมข้อมูลภาพที่ระดับความละเอียดต่าง ๆ ในปริภูมิเวฟเล็ตแทน

จากเทคนิคการผสมภาพต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 จะมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เช่นวิธีการผสมโดยหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตนั้นจะไม่ก่อให้เกิดรอยหยักภายในภาพ ส่วนการหาค่าแมกซิมัมจะช่วยลดการลบเลือนและเพิ่มความคมชัดของภาพผสมได้ จากผลการทดลองการผสมภาพแสดงให้เห็นว่า การนำการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการผสมภาพนั้นจะให้ผลดีกว่าการผสมภาพในระดับความละเอียดสูงสุด

สำหรับการทดลองในการใช้เวฟเล็ต Daubechies4 , B-spline และ Haar แล้ว จะเห็นว่าจากการผสมภาพด้วยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต Daubechies 4 และ B-spline ที่มีขั้นตอนในการแปลงเวฟเล็ต โดยการคูณกับเมตริกซ์ฟังก์ชันเวฟเล็ต นั้นจะสามารถเก็บรักษาข้อมูลไม่ให้สูญหายได้เป็นอย่างดี ดังนี้ ผลที่ได้จากการผสมจะไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับค่าการวัดประสิทธิภาพ แต่การผสมด้วยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต B-spline จะให้ความราบเรียบของภาพ (Smooth) มากกว่า Daubechies4 และ Haar เนื่องจากเวฟเล็ตแม่ B-spline จะมีค่าสัมประสิทธิ์ที่ละเอียดกว่าค่าสัมประสิทธิ์ของ Daubechies4 และ Haar ดังนั้นเวฟเล็ต B-spline จึงเหมาะกับงานที่ต้องการความคมชัดของลายภาพ

ส่วนเวฟเล็ต Haar จะมีค่าสัมประสิทธิ์ 2 ค่าคือ 0.707 และ -0.707 ดังนั้นผลจากการผสมภาพจากเวฟเล็ต Haar จะให้ภาพที่หยาบไม่ราบเรียบได้

และจากผลการทดลองในด้านเทคนิคการผสมภาพนั้น จะสังเกตเห็นว่าการผสมภาพแบบพิจารณาค่าความเข้มของภาพจะให้ภาพผสมที่สามารถรักษาความคมชัด และรายละเอียดที่สำคัญภายในภาพผสมได้ และยังไม่ก่อให้เกิดสิ่งที่ไม่ต้องการภายในภาพผสมอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเน้นในการผสมภาพทางการแพทย์ เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นได้อย่างชัดเจนและความถูกต้องในส่วนต่าง ๆ ภายในภาพ ดังนั้นภาพที่ได้จากการผสมจึงควรเป็นภาพที่ยังคงรักษาส่วนประกอบสำคัญของภาพอินพุตที่จะนำมาผสมได้ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงใช้หลักการผสมแบบการพิจารณาค่าความ

เข้มของภาพมาตัดสินใจในการเลือกสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของทั้งสองภาพ และร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต B-spline จะสามารถนำมาใช้ผสมภาพทางการแพทย์ได้เป็นอย่างดี

จากผลการทดลองในการผสมขอบภาพนั้นเรียกอีกอย่างว่าเป็นการผสมในระดับลักษณะ (Feature level) เพื่อเน้นในเรื่องการมองเห็นลักษณะเด่นได้อย่างชัดเจน เนื่องจากภาพถ่ายทางการแพทย์เป็นภาพที่มีรายละเอียดมากจึงเหมาะสำหรับนำมาทดลองหาขอบภาพ โดยการแปลงหลายระดับของเวฟเล็ตเพื่อลักษณะเด่นของขอบภาพไว้ได้

ดังนั้นจากคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ต สามารถนำมาประยุกต์กับเทคนิคการผสมภาพได้ โดยการผสมข้อมูลที่ซับซ้อนใด ๆ ก็ได้ นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มจำนวนซับซ้อนในการผสมภาพได้ โดยการเพิ่มระดับของการทำ DWT จึงเป็นข้อดีของการผสมภาพโดยใช้ DWT ทำให้เกิดความยืดหยุ่น ความเป็นอิสระในการผสมภาพ ลดการซ้ำซ้อนของข้อมูล และให้ความต่อเนื่องไม่ก่อให้เกิดรอยหยัก และตารางหมากรุกภายในภาพผสม ซึ่งจะต่างจากการผสมภาพโดยตรงที่ทำได้เพียงการปรับอัตราส่วนผสมภาพทั้งภาพเท่านั้น และเทคนิคการผสมภาพที่นำเสนอเป็นวิธีง่ายต่อการเข้าใจ และการนำไปประยุกต์ใช้ซึ่งจะให้ผลการผสมภาพได้ดีระดับหนึ่ง และสามารถนำไปสู่กระบวนการประมวลผลอื่น ๆ ต่อไป

## 6.2 แนวทางในการพัฒนา

จากหลักการผสมภาพทางการแพทย์ โดยใช้ทฤษฎีเวฟเล็ตนั้นจะช่วยรักษาส่วนประกอบที่สำคัญของภาพอินพุตได้ ดังนั้นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผสมภาพถ่าย 3 มิติ โดยใช้หลักการแปลงเวฟเล็ต 2 มิติ เป็นทฤษฎีพื้นฐานในการแปลงเวฟเล็ต 3 มิติ หรือ การแปลงเวฟเล็ตข้อมูลเชิงปริมาตร (Volume) ที่สามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลทางการแพทย์ CT (Computed Tomography) และ MRI (Magnetic Resonance Imaging) เพื่อการผสมภาพถ่ายทางการแพทย์ 3 มิติ การผสมภาพถ่ายทางการแพทย์ที่มีลักษณะเป็นภาพสี และพัฒนาเทคนิคการผสมภาพที่เหมาะสมสำหรับการผสมภาพถ่าย 3 มิติ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mongi A. Abidi and Rafael C. Gonzalez, 1992, Data fusion in robotics and machine intelligenc. USA : Academic Press , Inc.
- [2] Electrical Engineering and Computer Science Department. 2002. Investigations of Image Fusion. [Online]. Available : <http://www.eecs.lehigh.edu/SPCRL/IF/image-fusion.htm>.
- [3] Ramesh Jain , Rangachar Kasturi and Brian G. Schunck. 1995. Machine Vision. Singapore : McGRAW-HILL
- [4] Li H., Manjunath B.S., and Mitra S.K. , “MuHisensor image fusion using the wavelet transform” , Graphical Model and Image Processing , Vol. 57 No. 3 , 1995 , pp. 235 – 245.
- [5] Sonja Grgic , Kresimir Kers , Mislav Grgic . , “Image Compression Using Wavelets” , ISIE '99 – Bled , Slovenia , Slovenia , 1999 , pp. 99 – 104.
- [6] Satish Kumar. 2001. An Introduction to Image Compression. [online]. Available : <http://www.debugmode.com>
- [7] ศิริวรรณ ภูเขาแก้ว , ชม กิมปาน , “ การบีบอัดข้อมูลภาพในหน้าบุคคลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท ” , วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 37 ประจำปี 2542 หน้า 94 – 105
- [8] J.L. Encarnacao, 1994, Visual Computing. Germany : Springer – Verlag.
- [9] S. Mallat and S. Zhong , “Characterization of signals from multiscale edges” , IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intell. , vol. 14(7), 1992, pp. 710 – 732 .
- [10] J. Stollniz , D. DeRose and H. Salesin. , “Wavelets for Computer Graphics Theory and Appliction” , Morgan Kaufmann Publishers , San Francisco California , 1996
- [11] สมศักดิ์ เขมวิวิช . 2542. “ การแก้ไขพื้นผิวแบบหลายระดับความละเอียดโดยใช้การแปลงเวฟเล็ท ” . วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [12] E. Yeung. 1997 . “Image Compression using Wavelets” . “CCECE '97” . pp. 241- 244 .
- [13] Laure J. Chipman and Timothy M. Orr. 1995. “Wavelets and image fusion.” In Proceedings IEEE Interional Conference on Image Processing. pp. 248 – 251.
- [14] Jun Zheng , Ping He , Kefu Xue and Jin Cheng. 1999. “Image fusion in 3D Ultrasound Scan of Residual Limbs” . “Proceeding of the first Joint BMES/EMBS Conference Serving Humanity” . pp. 1061.

- [15] Farid Hassainia , Ismael Magana M , Francois Langevin and Pierre Kernevez . “Image fusion by an Orthogonal Wavelet Transform and Comparison With Other Methods” . “IEEE” . pp. 1246 – 1247.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

## เมตริกซ์ของฟังก์ชันเวฟเล็ท

Harr Wavelet

$$H = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

เมตริกซ์การแปลงเวฟเล็ทในระดับ  $j$  ใดๆ

$$\begin{bmatrix} \frac{H}{G} \end{bmatrix}_{j=1} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{H}{G} \end{bmatrix}_{j=2} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{H}{G} \end{bmatrix}_{j=3} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์การแปลงกลับในระดับ  $j$  ใดๆ

$$\left[ \begin{array}{c} H \\ G \end{array} \right]_{j=1} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$\left[ \begin{array}{c} H \\ G \end{array} \right]_{j=2} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 0 & -1/\sqrt{2} & 0 \\ 1/\sqrt{2} & 0 & -1/\sqrt{2} & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & -1/\sqrt{2} \\ 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

$$\left[ \begin{array}{c} H \\ G \end{array} \right]_{j=3} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & -1/\sqrt{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

Daubechies 4

$$H = \begin{bmatrix} 0.4830 & 0.8365 & 0.2241 & -0.1294 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} -0.1294 & -0.2241 & 0.8365 & -0.4830 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์การแปลงเวฟเล็ดในระดับ  $j$  ใดๆ

$$\left[ \begin{array}{c} H \\ G \end{array} \right]_{j=2} = \begin{bmatrix} 0.4830 & 0.8365 & 0.2241 & -0.1294 \\ 0.2241 & -0.1294 & 0.4830 & 0.8365 \\ -0.1294 & -0.2241 & 0.8365 & -0.4830 \\ 0.8365 & -0.4830 & -0.2194 & -0.2241 \end{bmatrix}$$

$$\left[ \begin{array}{c} H \\ G \end{array} \right]_{j=3} = \begin{bmatrix} 0.4830 & 0.8365 & 0.2241 & -0.1294 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 0.4830 & 0.8365 & 0.2241 & -0.1294 & & & \\ 0 & 0 & & & & 0.4830 & 0.8365 & 0.2241 & -0.1294 \\ 0.2241 & -0.1294 & & & & 0 & 0 & 0.4830 & 0.8365 \\ -0.1294 & -0.2241 & 0.8365 & -0.4830 & & & & & \\ & -0.1294 & -0.2241 & 0.8365 & -0.4830 & & & & \\ 0 & 0 & & & & -0.1294 & -0.2241 & 0.8365 & -0.4830 \\ 0.8365 & -0.4830 & & & & & & -0.1294 & -0.2241 \end{bmatrix}$$

เมตริกซ์การแปลงกลับในระดับ  $j$  ใดๆ

$$\left[ H|G \right]_{j=2} = \begin{bmatrix} 0.4830 & 0.2441 & -0.1294 & 0.8365 \\ 0.8365 & 0.8365 & -0.2241 & -0.4830 \\ 0.2241 & 0.4830 & 0.8365 & -0.1294 \\ -0.1294 & 0.8365 & -0.4830 & -0.2241 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาคผนวก ข.

## ฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ท 2 มิติ

ฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ท B-spline โดยใช้โปรแกรม Matlab

```
function [Ima,needlevel_x,needlevel_y] = De_b(I);
```

```
[x,y] = size(I);
```

```
i=log2(x);
```

```
j=log2(y);
```

```
Ima_x = [];
```

```
% Decomposition axis x
```

```
for level = i:-1:8 %maxlevel to needlevel
```

```
maxrow = 2^i+3;
```

```
maxcol = 2^j+3;
```

```
% find matrix pq and inv
```

```
n = [Int2str(level)];
```

```
str1 = ['load pq3_',n];
```

```
eval(str1);
```

```
str_pq = ['pq3_',n];
```

```
pp = eval(str_pq); % matrix pq
```

```
pq_inv = inv(eval(str_pq)); % matrix inv pq
```

```
% expand Image = 259
```

```
if level == 8
```

```
Ima = I;
```

```
Ima(259,259) = 0;
```

```
end
```

```
% row decomposition
```

```
Ima_x = Ima(1:maxrow,1:maxcol)*(pq_inv)';
```

```
Ima(1:maxrow,1:maxcol,1) = Ima_x;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    needlevel_x = j;
    j = j-1;
end
clear Ima_x;
j = log2(y);
% -----
% B composition axis
for level = j:-1:8 % from level to needlevel

    maxrow = 2^i+3;
    maxcol = 2^j+3;

    % find matrix pq and inv
    n = [Int2str(level)];
    str1 = ['load pq3_',n];
    eval(str1);
    str_pq = ['pq3_',n];
    pp = eval(str_pq); % matrix pq
    pq_inv = inv(eval(str_pq)); % matrix inv pq

    % column decomposition
    Ima(1:maxrow,1:maxcol) = (pq_inv)*(Ima(1:maxrow,1:maxcol));

    needlevel_y = i;
    i = i-1;
end

return

```

### ฟังก์ชันการแปลงกลับ B-spline

```
function A = Re_b2(Ima_HL,needlevel_x,needlevel_y);
```

```
A = Ima_HL;
```

```
Ima_x = [];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

[x,y] = size(A);
i=log2(x-3);
j=log2(y-3);

%-----
% Reconstruction axis y
for level = needlevel_y:1:j % needlevel to maxlevel

    maxrow = 2^needlevel_y+3;
    maxcol = 2^j+3;

    % find matrix pq and inv
    n = [Int2str(level)];
    str1 = ['load pq3_',n];
    eval(str1);
    str_pq = ['pq3_',n];
    pp = eval(str_pq); % matrix pq
    pq_inv = inv(eval(str_pq)); % matrix inv pq

    % column reconstruction
    A(1:maxrow,1:maxcol) = (pp)*(A(1:maxrow,1:maxcol));

    needlevel_y = needlevel_y + 1;
end
%-----
i=log2(x-3);
j=log2(y-3);

% Reconstruction axis x
for level = needlevel_x:1:i % needlevel to maxlevel

    maxrow = 2^i+3;
    maxcol = 2^needlevel_x+3;

    % find matrix pq and inv
    n = [Int2str(level)];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

str1 = ['load pq3_',n];
eval(str1);
str_pq = ['pq3_',n];
pp = eval(str_pq); % matrix pq
pq_inv = inv(eval(str_pq)); % matrix inv pq

```

```

% row reconstruction

```

```

Ima_x = ((pp)*A(1:maxrow,1:maxcol));
A(1:maxrow,1:maxcol) = Ima_x';

```

```

needlevel_x = needlevel_x + 1;
end

```

```

return

```

ฟังก์ชันการแปลงเวฟเล็ต Db4 โดยใช้โปรแกรม Matlab

```

function [Ima,needlevel_x,needlevel_y] = decom_db4(Input);

```

```

Ima = double(Input);

```

```

[x,y] = size(Ima);

```

```

i=log2(x);

```

```

j=log2(y);

```

```

tra_x = [];

```

```

% Decomposition axis x

```

```

for level = i:-1:8 %maxlevel to needlevel

```

```

maxrow = 2^i;

```

```

maxcol = 2^j;

```

```

% find matrix pq and inv

```

```

n = [Int2str(level)];

```

```

str1 = ['load db4_',n];

```

```

eval(str1);

```

```

str_db = ['db4_',n];

```

```

fil = eval(str_db); % matrix filter db4

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% row decomposition
tra_x = Ima(1:maxrow,1:maxcol)*(fil) ;
Ima(1:maxrow,1:maxcol) = tra_x ;

-----

needlevel_x = j ;
j = j-1 ;
end
clear tra_x ;
j = log2(y) ;

-----

% Decomposition axis y
for level = j:-1:8 % from level to needlevel
maxrow = 2^i ;
maxcol = 2^j ;

% load matrix pq and mv
n = [Int2str(level)] ;
str1 = ['load db4_',n] ;
eval(str1) ;
str_db = ['db4_',n] ;
fil = eval(str_db) ; % matrix pq

% column decomposition
Ima(1:maxrow,1:maxcol) = (fil)*(Ima(1:maxrow,1:maxcol)) ;

needlevel_y = i ;
i = i-1 ;
end
return ;

```

### ฟังก์ชันการแปลงกลับ Db4

```
function Ima = recon_db4(Ima_in,needlevel_x,needlevel_y) ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

n = [Int2str(level)];
str1 = ['load rdb4_',n];
eval(str1);
str_db = ['rdb4_',n];
filt = eval(str_db);

```

```

%--- reconstruction

```

```

Ima_x = ((filt)*Ima(1:maxrow,1:maxcol));
Ima(1:maxrow,1:maxcol) = Ima_x';

needlevel_x = needlevel_x + 1 ;
end
Ima = round(Ima);
return

```



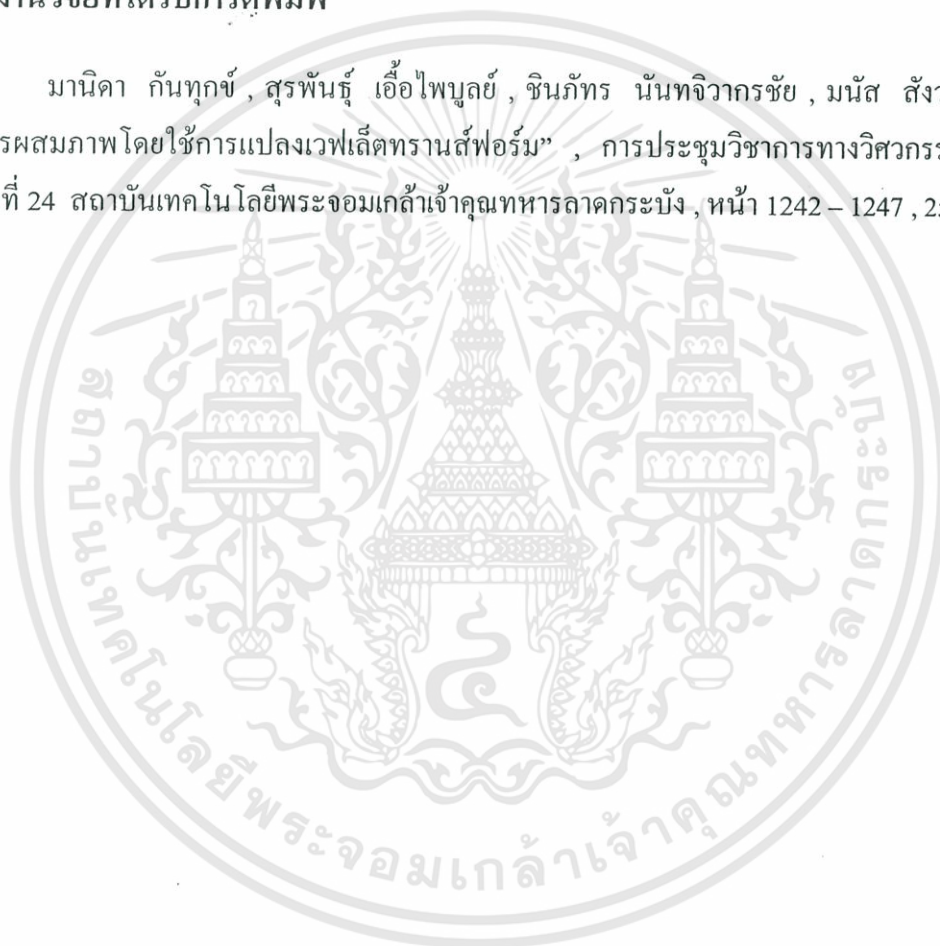
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวมานิดา กันทุกซ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2539

### ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

มานิดา กันทุกซ์ , สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ , ชินภัทร นันทจิรากรชัย , มนัส สังวรศิลป์ , “การผสมภาพโดยใช้การแปลงเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม” , การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , หน้า 1242 – 1247 , 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้