

การปรับปรุงความคมชัดภาพถ่ายดาวเทียมอาศัยหน้ากากเพิ่มความคมชัด
แบบปรับตัวได้ โดยใช้เวฟเลตทรานส์ฟอร์ม

CONTRAST ENHANCEMENT OF SATELLITE IMAGE BASED ON ADAPTIVE
SHARPED MASKING USING WAVELET TRANSFORM

ศิวดล พหลโยธิน
SIWADON PHAHPONYOTHIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-EN-M-060-113

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงความคมชัดภาพถ่ายดาวเทียมอาศัยหน้าฉากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้
โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม

CONTRAST ENHANCEMENT OF SATELLITE IMAGE BASED ON ADAPTIVE
SHARPED MASKING USING WAVELET TRANSFORM



ศิวดล พหลโยธิน

SIWADON PHAHONYOTHIN

เลขหมู่.....77992
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี..... 12 ก.พ. 2551

| |
|---------|
| .b..... |
| .i..... |

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

KMITL-2007-EN-M-060-113

**CONTRAST ENHANCEMENT OF SATELLITE IMAGE BASED ON ADAPTIVE
SHARPENING MASKING USING WAVELET TRANSFORM**

SIWADON PHAHONYOTHIN

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

2007

KMITL-2007-EN-M-060-113

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงความคมชัดภาพถ่ายดาวเทียมอาศัยหน้ากากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม
Contrast Enhancement of Satellite Image Based on Adaptive Sharped Masking Using Wavelet Transform

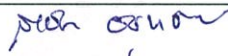




นักศึกษา นายศิวดล พหลโยธิน

รหัสประจำตัว 45060407

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ศักดิ์กริยา ชิตวงค์

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|--------------------------|-------------|--|
| รศ.ดร.สาริต | อินทจักร์ |  |
| ผศ.ทรงชัย | วีระทวีมาศ |  |
| ดร.สนั่น | ศรีสุข |  |
| รศ.ดร.ฟูศักดิ์ | ชีวิสุวิทย์ |  |
| รศ.ศักดิ์กริยา | ชิตวงค์ |  |

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 9 ตุลาคม 2550 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2


บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
(รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๕.....เดือน.....๕๓๐๖๑๒.....พ.ศ.....๒๕๕๐.....

| | |
|-----------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การปรับปรุงความคมชัดภาพถ่ายดาวเทียมอาศัยหน้าฉากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้โดยใช้เวฟเลิตทรานส์ฟอร์ม |
| นักศึกษา | นาย ศิวคล พหลโยธิน |
| รหัสนักศึกษา | 45060407 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมการวัดคุม |
| พ.ศ. | 2550 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | รศ. สักกรียา ชิตวงศ์ |

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับวิธีที่ใช้ หน้าฉากเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายดาวเทียม เราใช้คุณสมบัติของเวฟเลิตทรานส์ฟอร์มที่แยกส่วนของรูปภาพปกติในส่วนที่เป็นภาพกลุ่มย่อยของความถี่ต่ำและภาพกลุ่มย่อยของความถี่สูงจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำและฟิลเตอร์ความถี่สูง โดยตัวเลขของภาพกลุ่มย่อยด้านความถี่ต่ำจะประกอบไปด้วยสัมประสิทธิ์ด้านแนวนอน แนวตั้งและแนวทะแยง ที่อยู่ในรายละเอียดของข้อมูลที่ผ่านมาการทำเวฟเลิตทรานส์ฟอร์มกลับของแต่ละภาพกลุ่มย่อยในส่วนข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มของความถี่ต่ำจะถูกแยกออก จากนั้นทำเวฟเลิตทรานส์ฟอร์มกลับในเฉพาะส่วนที่เป็นความถี่สูงในรูปแบบที่เป็นแนวนอน, แนวตั้งและแนวทะแยง ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้จะเป็นสเกลตามสเกลลิงฟังก์ชันในแต่ละส่วนที่ถูกแยกจากกันขั้นตอนของการปรับตัวถูกนำมาใช้เพื่อหาผลลัพธ์ของค่าสเกลลิงฟังก์ชันที่เหมาะสมสำหรับเพิ่มความถูกต้องของรูปภาพด้วยการกำหนดหลักเกณฑ์ของข้อมูลด้วยความแปรปรวนของแต่ละพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบเรียบ และพื้นที่ที่มีรายละเอียด ผลลัพธ์จากการทดลองจะเห็นได้ว่าหลักการที่นำเสนอจะให้คุณสมบัติที่ดีต่อการเพิ่มความคมชัดของภาพในส่วนที่เป็นพื้นที่ที่มีรายละเอียดและมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากสำหรับพื้นที่ราบเรียบ

| | |
|-----------------------|---|
| Thesis Title | Contrast Enhancement of Satellite Image based on Adaptive Sharped Masking using Wavelet Transform |
| Student | Mr. Siwadon Phahonyothin |
| Student ID. | 45060407 |
| Degree | Master of Engineering |
| Program | Instrumentation Engineering |
| Year | 2007 |
| Thesis Advisor | Assoc. Sakreya Chitwong |

ABSTRACT

This thesis concerns with a method for unsharp masking for contrast enhancement of satellite image. We employ the nature of wavelet transform that separates the original image into low and high frequency sub-band images as low and high pass filter. Particularly, a number of high frequency sub-band images consist of horizontal, vertical, and diagonal coefficients that contain detail of information. Taking inverse wavelet transform of each sub-band image separately except low frequency one, we have each of high frequency information in horizontal, vertical, and diagonal image. All of them are scaled by the scaling factors in each one separately. Adaptive algorithm is implemented to results the suitable scaling factor to obtain the enhanced image corresponding with the given criterion based on variance of each area smooth and detail area. Experimental results show that our method performs well to high enhance in detail area and low in smooth area.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สักกรียา ชิดวงศ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และ ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุณสมบัติวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การสั่งสอนอบรมเพื่อนำความรู้ความเข้าใจมาประยุกต์ใช้กับการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนทั้งที่ทำงาน, ที่สถาบันและที่บ้านที่เป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือดูแลในทุกๆเรื่องตลอดมา

คุณงามความดีอันใดที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติทุกคน ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ศิวคล พหลโยธิน

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VI |
| สารบัญรูป..... | VII |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... | 1 |
| 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา..... | 1 |
| 1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ขอบเขตการวิจัย..... | 3 |
| 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา..... | 3 |
| บทที่ 2 หลักการพื้นฐานของเวฟเลิตทรานส์ฟอร์ม..... | 5 |
| 2.1 ความเป็นมาของเวฟเลิตทรานส์ฟอร์ม..... | 5 |
| 2.2 หลักการเบื้องต้นของเวฟเลิตทรานส์ฟอร์ม..... | 7 |
| 2.3 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด..... | 9 |
| 2.3.1 ฟังก์ชันสเกลลิง..... | 11 |
| 2.3.2 ฟังก์ชันเวฟเลิต..... | 12 |
| 2.4 เวฟเลิตทรานส์ฟอร์มดิสคริต..... | 14 |
| 2.4.1 เวฟเลิตทรานส์ฟอร์มโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์..... | 15 |
| 2.4.2 เวฟเลิตทรานส์ฟอร์มกลับโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์..... | 16 |
| 2.5 การนำเวฟเลิตมาใช้กับข้อมูลภาพในสองมิติ..... | 17 |
| บทที่ 3 หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์สัญญาณภาพดิจิทัล..... | 19 |
| 3.1 การวิเคราะห์ภาพ..... | 19 |
| 3.1.1 การปรับแต่งภาพ..... | 19 |
| 3.1.2 การเนียนภาพ..... | 22 |
| 3.1.3 การแบ่งส่วนภาพ..... | 24 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 3.1.4 การฟิลเตอร์..... | 30 |
| 3.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ..... | 35 |
| 3.2.1 การทำภาพให้คมชัด..... | 35 |
| 3.2.2 การทำภาพให้นุ่มนวลหรือมัว..... | 35 |
| 3.2.3 การกระจายค่าสีสโตแกรม..... | 36 |
| 3.2.4 การแจกแจงความถี่สีสโตแกรม..... | 36 |
| บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 38 |
| 4.1 การแยกองค์ประกอบและการสร้างกลับของข้อมูล..... | 38 |
| 4.2 วิธีการของหน้าปกเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้..... | 39 |
| บทที่ 5 ผลการทดลอง..... | 44 |
| บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 48 |
| 6.1 สรุปผลการวิจัย..... | 48 |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ..... | 48 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 49 |
| ภาคผนวก ก. ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์..... | 50 |
| ภาคผนวก ข. นิยามคำศัพท์..... | 56 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 57 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ในการกระจายและการรวมกลับของ เวฟเล็ทของคิวเบอร์ซีแบบสี่แท๊ป (db4)..... | 39 |
| 5.1 ผลลัพธ์เปรียบเทียบความแปรปรวนของการทดลอง..... | 47 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แสดงฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณเสมือนการแยกส่วนตามความถี่ของเวฟเล็ท..... | 2 |
| 1.2 แสดงหลักการของการแยกสัญญาณและการสร้างกลับของสัญญาณ โดยใช้ db4..... | 2 |
| 1.3 บล็อกไดอะแกรมเบื้องต้นของการเพื่อเพิ่มความคมชัด โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม..... | 2 |
| 1.4 แสดงระบบโดยรวมที่ได้ทำการวางแผนการดำเนินการทดลองไว้..... | 4 |
| 2.1 ระบายเวลาและความถี่แบบคงที่..... | 6 |
| 2.2 (ก) ระบายเวลาและความถี่สำหรับเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม (ข) การแยกองค์ประกอบสัญญาณไปยังระดับความละเอียดต่างๆ..... | 7 |
| 2.3 ลักษณะของเวฟเล็ทของคิวเบอร์ซีแบบ 8 แท็ป (db8)..... | 8 |
| 2.4 ลักษณะของเวฟเล็ทแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่าง ๆ กัน..... | 9 |
| 2.5 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง..... | 11 |
| 2.6 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเล็ทกรณีตั้งฉากกัน..... | 13 |
| 2.7 ฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณ..... | 14 |
| 2.8 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณ..... | 15 |
| 2.9 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ..... | 16 |
| 2.10 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณ..... | 16 |
| 2.11 เวฟเล็ททรานส์ฟอร์มของข้อมูลภาพ 2 มิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์เบงก์..... | 17 |
| 2.12 เวฟเล็ททรานส์ฟอร์มแบบหลายระดับ..... | 18 |
| 3.1 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการทำภาพเนกาทีฟ..... | 20 |
| 3.2 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งความคมชัด..... | 20 |
| 3.3 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการลดช่วงความลึกของภาพ..... | 21 |
| 3.4 ตัวอย่างตามระนาบตามลำดับบิตของภาพดิจิทัลแบบ 8 บิต..... | 22 |
| 3.5 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามระดับสีเทา..... | 23 |
| 3.6 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา..... | 24 |
| 3.7 หน้ากากที่ใช้ในการตรวจรู้แนวเส้น..... | 25 |
| 3.8 ตัวดำเนินการที่ใช้ในการคำนวณหาเกรเดียนต์..... | 28 |
| 3.9 หน้ากากที่ใช้ในตัวดำเนินการลาปลาเซียน..... | 28 |
| 3.10 ระบบประมวลผลภาพดิจิทัลในโดเมนของความถี่..... | 31 |
| 3.11 สเปกตรัมของฟิลเตอร์แบบอุดมคติ..... | 31 |
| 3.12 หน้ากากสำหรับฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำในโดเมนสเปเชียลที่ขนาดต่างๆ..... | 31 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.13 หน้ากากสำหรับตัวกรองผ่านความถี่สูงในโดเมนสเปเชียล..... | 33 |
| 3.14 จุดภาพที่ใช้ในฟิลเตอร์มัธยฐานเทียม..... | 34 |
| 4.1 โครงร่างของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม..... | 38 |
| 4.2 บล็อกโคอะแกรมพื้นฐานของหน้ากากเพิ่มความคมชัดของภาพ โดยใช้เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม..... | 39 |
| 4.3 แสดงหน้าการที่ใช้ในการหาค่าตัวกระทำ $g(\cdot)$ | 40 |
| 4.4 แสดงการปรับค่าเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงตามค่าความแปรปรวน โดยถูกกำหนดไว้เป็นช่วงๆ..... | 41 |
| 4.5 แสดงการคูณกันของค่าเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละบล็อก เพื่อหาค่าเกณฑ์การเปลี่ยนแปลง..... | 41 |
| 4.6 แสดงการหาค่าความคาดเคลื่อน..... | 42 |
| 4.7 แสดงกระบวนการหาค่าสเกลลิงแฟคเตอร์..... | 42 |
| 4.8 บล็อกโคอะแกรมแสดงระบบโดยรวมของหน้ากากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้..... | 43 |
| 5.1 ก) ภาพถ่ายดาวเทียมต้นฉบับ ข) ภาพที่ได้จากการทดลอง..... | 44 |
| 5.2 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่ราบเรียบจากการทดลองที่ 1..... | 44 |
| 5.3 ภาพเปรียบเทียบบริเวณรายละเอียดจากการทดลองที่ 1..... | 45 |
| 5.4 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่ราบเรียบจากการทดลองที่ 2..... | 45 |
| 5.5 ภาพเปรียบเทียบบริเวณรายละเอียดจากการทดลองที่ 2..... | 45 |
| 5.6 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่ราบเรียบจากการทดลองที่ 3..... | 46 |
| 5.7 ภาพเปรียบเทียบบริเวณรายละเอียดจากการทดลองที่ 3..... | 46 |
| 5.8 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่ราบเรียบจากการทดลองที่ 4..... | 46 |
| 5.9 ภาพเปรียบเทียบบริเวณรายละเอียดจากการทดลองที่ 4..... | 46 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

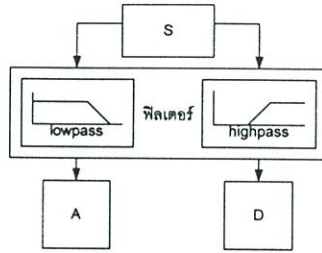
เนื่องจากปัจจุบันวิวัฒนาการด้านการศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้แพร่หลายมากขึ้นและได้รับความสนใจจากหน่วยงานหลาย ๆ ด้าน อย่างเช่น การนำเอาความรู้ในด้านนี้ไปประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกล ซึ่งเป็นเทคโนโลยีแขนงหนึ่งที่ใช้แสดงหรือจำแนกเพื่อบ่งบอกถึงคุณลักษณะและการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของวัตถุบนพื้นผิวโลกเพื่อแยกแยะประเภทและทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมโดยใช้เทคโนโลยีของภาพถ่ายดาวเทียมเข้ามาช่วย เมื่อดาวเทียมทำการถ่ายภาพเสร็จสิ้นก็จะส่งสัญญาณมายังสถานีรับบนพื้นโลกเพื่อทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ไว้หลาย ๆ รูปแบบ ซึ่งข้อมูลภาพก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการเก็บบันทึกความละเอียดของภาพโดยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่างเช่น ความละเอียดของกล้องที่ใช้ถ่าย เป็นต้น ดังนั้นการเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายดาวเทียมหรือภาพอื่น ๆ ที่ถ่ายจากระยะไกลที่มีความละเอียดต่ำก็เป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการนำไปพัฒนาจึงมีความพยายามที่จะคิดค้นหลักการหรือวิธีการใหม่ ๆ ที่จะนำมาใช้เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพดังกล่าวทำให้สามารถนำรายละเอียดของภาพมาใช้ประโยชน์ให้ได้สูงสุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการศึกษาเกี่ยวกับภาพถ่ายดาวเทียมในปัจจุบัน มีผู้ให้ความสนใจจากหลาย ๆ ด้าน เพื่อที่จะนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อาทิเช่น ด้านการวิเคราะห์ทรัพยากรธรรมชาติ ด้านภูมิศาสตร์ ด้านพยากรณ์อากาศ เป็นต้น แต่ความสามารถของระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ถ่ายภาพบางส่วนอาจจะให้ผลลัพธ์หรือรายละเอียดของภาพได้ไม่ดีนัก ดังนั้นจึงต้องอาศัยการปรับปรุงภาพถ่ายดาวเทียมด้วยการใช้เทคนิคต่างๆ เพื่อเพิ่มความคมชัดภาพ มีวิธีการมากมายที่ถูกคิดค้นขึ้นมา บางวิธีการก็ให้ผลลัพธ์ที่ดี แต่บางวิธีการก็ให้ผลลัพธ์ได้ไม่ดีนัก ส่วนหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้กัน ก็มีอยู่หลายหลักการที่นำมาดัดแปลงใช้เพื่อจุดประสงค์เดียวกัน คือเพื่อเพิ่มความคมชัดหรือรายละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดที่จะนำความรู้ความเข้าใจในแขนงวิชาที่ใกล้เคียงเข้ามาประยุกต์และปรับปรุงโดยให้ได้มาซึ่งวิธีการหรือแนวทางใหม่ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและศึกษาค้นคว้าต่อไป

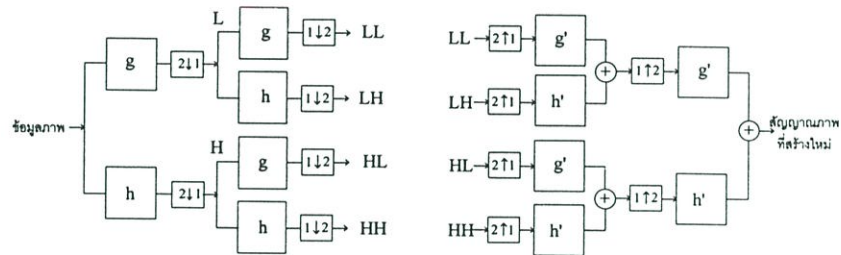
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ใช้หลักการของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มในการแยกองค์ประกอบต่างๆของภาพออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือในส่วนของความถี่สูงและความถี่ต่ำโดยการแยกองค์ประกอบออกเป็นแต่ละช่วงความถี่ก็เพื่อแยกการพิจารณา หรือเพื่อทำการเพิ่มความละเอียดของภาพในแต่ละส่วนตามหลักการที่จะเลือกใช้ โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของฟิลเตอร์แบงค์ ตามรูปที่ 1.1



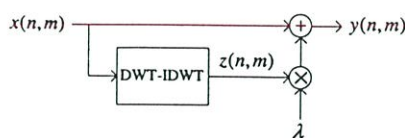
รูปที่ 1.1 แสดงฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณเสมือนการแยกส่วนตามความถี่ของเวฟเล็ด

การแยกส่วนประกอบของภาพมีหลายหลักการเช่นกัน ในการทดลองนี้จะนำหลักการของเวฟเล็ดของคิวเบอร์ซีแบบสี่แท๊ป (db4) [1] เพื่อทำการแยกส่วนประกอบของภาพออกเป็นสี่ส่วนแล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละส่วนที่เหมาะสมตามหลักการเพื่อใช้ในการเพิ่มความละเอียดของภาพเมื่อทำการแยกส่วนประกอบของภาพจากนั้นทำการรวมกลับโดยใช้หลักการเดิมในการสร้างภาพขึ้นใหม่ตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงหลักการของแยกส่วนประกอบของภาพและการสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยใช้เวฟเล็ดของคิวเบอร์ซีแบบสี่แท๊ป

หลักการเดิมที่ใช้จะวิเคราะห์ภาพเพียง 2 แนวแกน [2] ซึ่งมีความซับซ้อนของรูปแบบและวิธีการน้อยกว่าหลักการของเวฟเล็ดที่เราจะนำเสนอ โดยได้มีการเพิ่มความซับซ้อนให้มากขึ้น ซึ่งจะอาศัยค่าสัมประสิทธิ์ของการแยกส่วนประกอบของภาพและการสร้างใหม่ของหลักการเวฟเล็ดของคิวเบอร์ซีแบบสี่แท๊ป ทำให้รายละเอียดของภาพถูกต้องและเพิ่มมากขึ้น คุณสมบัติของเวฟเล็ดทรานส์ฟอร์มแบบคิซคริดใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด ทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบของภาพและการสร้างภาพขึ้นใหม่ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยตามรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมเบื้องต้นของการเพิ่มความคมชัดโดยใช้เวฟเล็ดทรานส์ฟอร์ม

1.4 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

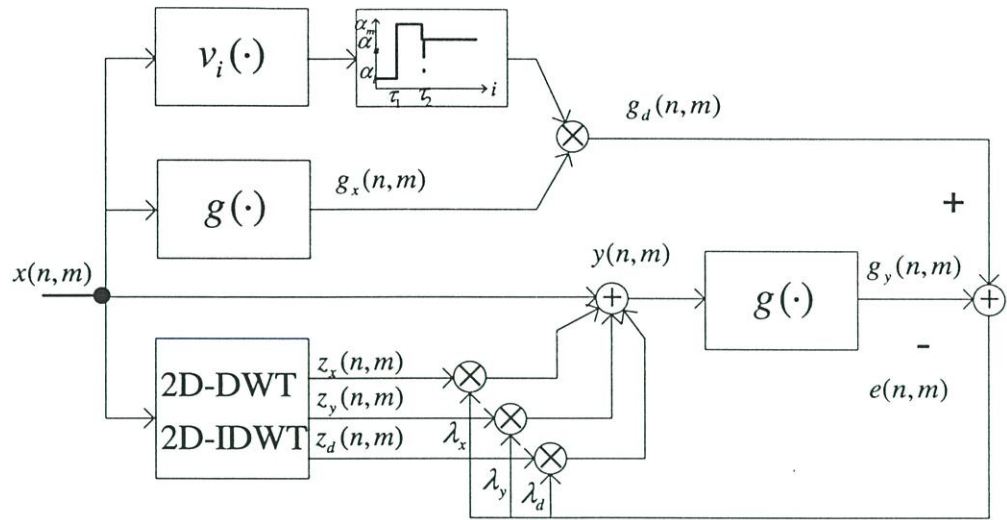
หลักการพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ในการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนี้คือ หลักการพื้นฐานของการเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม คุณสมบัติของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบดิสคริต (Discrete Wavelet Transform: DWT) โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multi-resolution Analysis: MRA) [3] ทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบสัญญาณและ การสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพขนาด 2 มิติ หลักการของการวิเคราะห์ภาพและการปรับปรุงคุณภาพของภาพก็ยังเป็นส่วนประกอบหลักของการทดลอง เพื่อแก้ไขความบกพร่องของข้อมูลภาพที่มีความคมชัดต่ำ โดยที่ข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับปรุงความคมชัดสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

เป็นการนำเสนอวิธีการปรับปรุงความคมชัดของภาพถ่ายดาวเทียม โดยอาศัยหลักการของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบดิสคริตเพื่อแยกองค์ประกอบของภาพและทำการสร้างภาพขึ้นใหม่ตามรูปแบบของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าสเกลลิงที่เหมาะสม และจะถูกนำมาปรับระดับของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อทำการปรับปรุงความคมชัดของภาพให้ดีขึ้น แต่พื้นที่ที่จะทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงระดับข้อมูลนั้นจะถูกพิจารณาเฉพาะส่วนของพื้นที่ภาพที่มีรายละเอียดเท่านั้น ส่วนภาพที่เป็นพื้นที่ราบเรียบ จะยังคงไว้ซึ่งข้อมูลระดับเดิม ในการปรับปรุงความคมชัดของภาพในพื้นที่ภาพที่ทำการปรับปรุงจะแสดงให้เห็นค่าความแปรปรวนจะเพิ่มมากขึ้นกว่าภาพที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงความคมชัด โดยโครงร่างคร่าวๆ ของงานวิจัยที่นำเสนอแสดงในรูปที่ 1.4

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. การแบ่งส่วนของภาพโดยการอาศัยตัวดำเนินการแบบ 8 เนเบอร์ (8 neighbor)
2. เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มของภาพ
3. การหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพในแต่ละพื้นที่
4. การแปลงภาพโดยใช้คุณสมบัติหรือค่าสัมประสิทธิ์จากส่วนต่างๆ
5. การแยกแยะพื้นที่ของรูปภาพตามรายละเอียด
6. การรวมเข้าขององค์ประกอบต่างๆเพื่อให้ได้ภาพเอาต์พุตที่ต้องการ



รูปที่ 1.4 แสดงระบบโดยรวมที่ได้ทำการวางแผนการดำเนินการทดลองไว้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม

ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและหลักการพื้นฐานของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม คุณสมบัติของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (Discrete Wavelet Transform: DWT) โดยใช้แนวคิดการวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis: MRA) ทำให้เกิดการแยกองค์ประกอบสัญญาณ และการสร้างใหม่ของสัญญาณ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลภาพขนาด 2 มิติ

2.1 ความเป็นมาของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม

ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการแปลงสัญญาณ $f(t)$ จากโดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณ $F(\omega)$ ซึ่งอยู่ในโมเดนมความถี่ หรือเรียกกันทั่วไปว่าการหาสเปกตรัมของสัญญาณ $f(t)$ นั้นเองโดยมีสมการดังนี้

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.1)$$

สังเกตเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการแปลงจะมีตลอดย่านความถี่ $-\infty$ ถึง $+\infty$ ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ขณะเวลาใด ๆ ก็จะส่งผลกระทบต่อตลอดย่านของสเปกตรัม $F(\omega)$ ด้วย นอกจากนี้ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มยังไม่สามารถเลือกทำการวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงเวลา หรือความถี่ใด ๆ ได้ ดังนั้นวิธีฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มจึงให้ข้อมูลมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น นอกจากนี้ในทางปฏิบัติ หากสัญญาณอินพุตมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ (Non-stationary signal) การใช้ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการคำนวณเนื่องจากมีข้อมูลมากเกินไปสำหรับการคำนวณใหม่ในแต่ละครั้ง ดังนั้นฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มจึงเหมาะสำหรับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stationary signal)

กาบอร์ทรานส์ฟอร์ม (Gabor transform) เป็นการแปลงที่พัฒนาขึ้นมาเป็นแบบแรกเพื่อแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น โดยจะเป็นฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มเฉพาะช่วงเวลาและช่วงความถี่ที่กำหนดผ่านฟังก์ชันหน้าต่างซึ่งหน้าต่างจะใช้ฟังก์ชันแบบเกาส์เซียน (Gaussian function) เท่านั้น

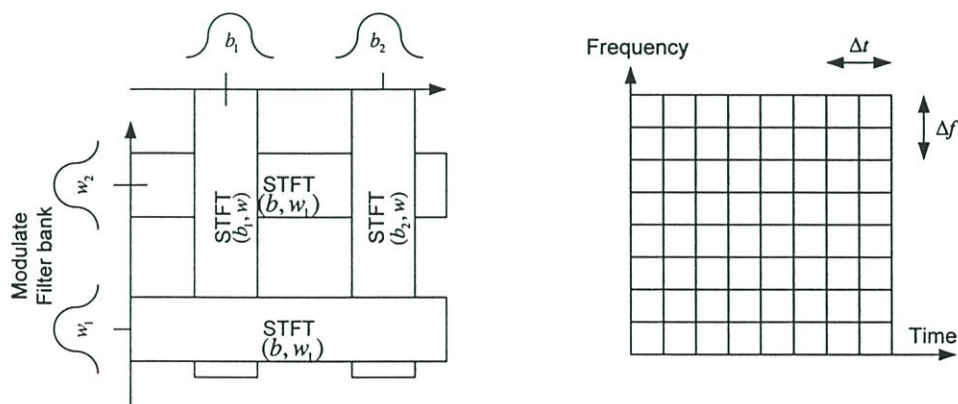
$$g_a(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi \cdot a}} e^{-\frac{t^2}{4a}} \quad (2.2)$$

$$G_{(a,b)}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} f(t) g_a(t-b) dt \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.2) เป็นฟังก์ชันหน้าต่างแบบเกาส์เซียนและสมการที่ (2.3) เป็นสมการของ การบอร์ทรานส์ฟอร์มจะเห็นว่าการแปลงแบบนี้ จะสามารถเลือกตำแหน่งการวิเคราะห์สัญญาณโดย กำหนดพารามิเตอร์ b และเลือกช่วงความถี่ด้วยพารามิเตอร์ a แต่เนื่องจากการบอร์ทรานส์ฟอร์มให้ ฟังก์ชันหน้าต่างแบบเดียวจึงอาจไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีการพัฒนา ค่อมาเป็นฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มช่วงเวลาสั้น (Short time Fourier transform: STFT) ดังสมการที่ 2.4 ซึ่ง สามารถเลือกฟังก์ชันหน้าต่างที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณได้ให้เกิดความยืดหยุ่น ในการเลือกใช้ให้ เหมาะสมกับสัญญาณอินพุตที่จะวิเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น

$$G_{(a,b)}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} (e^{-j\omega t} f(t)) \overline{w(t-b)} dt \quad (2.4)$$

สมการที่ (2.4) เป็นฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มช่วงเวลาสั้น โดยที่ตำแหน่งเวลาในการวิเคราะห์จะ กำหนดโดยค่า b และช่วงความถี่ในการวิเคราะห์จะกำหนดด้วยความถี่ของฟังก์ชันหน้าต่างนั้น ๆ จะ สังเกตเห็นว่าทั้งการบอร์ทรานส์ฟอร์มและฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มช่วงเวลาสั้น จะมีลักษณะของช่วงการ วิเคราะห์ที่คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงช่วงเวลาและความถี่ที่คงที่ ทั้งนี้ฟังก์ชันหน้าต่างไม่มีการ เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติขณะทำการแปลงจึงไม่เหมาะในการประยุกต์ใช้งานเนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูง จะมีช่วงคาบเวลาที่แคบ ในขณะที่สัญญาณความถี่ต่ำจะมีช่วงคาบเวลาที่กว้างกว่า การบอร์ทรานส์ฟอร์ม และการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มช่วงเวลาสั้นจึงอาจทำให้ข้อมูลที่ได้จากการแปลงนั้นออกมามากเกินไป ดังนั้นช่วงเวลาควรจะมีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับช่วงความถี่ที่จะทำการวิเคราะห์ นั่นคือในช่วงความถี่ สูงขึ้นจะมีช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยลง และในช่วงความถี่ที่ต่ำลงจะใช้ช่วงเวลาในการวิเคราะห์ที่มาก ขึ้น



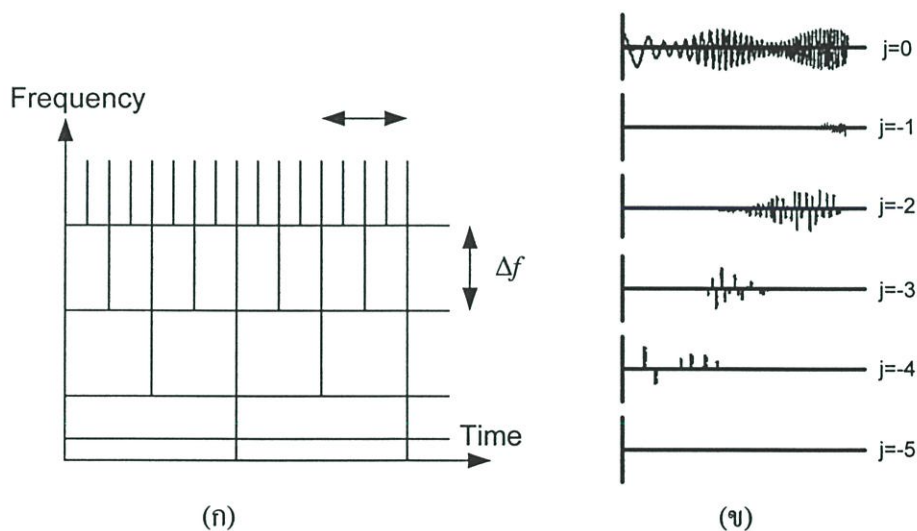
รูปที่ 2.1 ระยะเวลาและความถี่แบบคงที่

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นทำให้มีการพัฒนาการแปลงในรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า “เวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม” ซึ่งจะเป็นการแปลงผ่านฟังก์ชันหน้าต่างสามารถเลื่อนตำแหน่งและปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้เหมาะกับช่วงความถี่ที่จะวิเคราะห์ได้ โดยเรียกฟังก์ชันหน้าต่างแบบนี้ว่า “ฟังก์ชันเวฟเล็ท” (Wavelet function)

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi \times \left(\frac{t-b}{a} \right) dt \quad (2.5)$$

$\psi(t)$ คือฟังก์ชันเวฟเล็ทแม่ ซึ่งจะถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งโดยพารามิเตอร์ a และ b ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 2.2 (ก) จะพบว่าระนาบเวลาและความถี่จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของช่วงคาบเวลาและความถี่ที่สัมพันธ์กัน ในช่วงความถี่สูงจะใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นๆ (Δf สูง Δt ต่ำ) แต่ในช่วงเวลาความถี่ต่ำจะใช้ช่วงคาบเวลาในการวิเคราะห์ที่นานกว่า (Δf ต่ำ Δt สูง) [4] ซึ่งจะเหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณในทางปฏิบัติ

ในรูปที่ 2.2 (ข) เป็นการแสดงลักษณะการแยกองค์ประกอบสัญญาณออกไปในระดับความถี่ที่ต่างกัน โดยในระดับที่ $j = -1$ จะมีเฉพาะส่วนความถี่สูงและในระดับที่ j มีค่าต่ำลง สัญญาณจะมีความถี่ที่ต่ำลงด้วย ซึ่งจะเห็นว่าสอดคล้องกับรูปของระนาบเวลาและความถี่



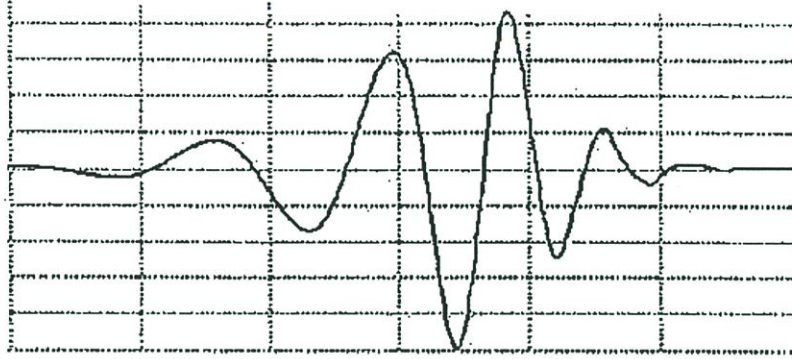
รูปที่ 2.2 (ก) ระนาบเวลาและความถี่สำหรับเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม

(ข) การแยกองค์ประกอบสัญญาณ ไปยังระดับความละเอียดต่างๆ

2.2 หลักการเบื้องต้นของเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม

ทฤษฎีเวฟเล็ทเป็นวิธีหนึ่งที่จะใช้ในการอธิบายลักษณะของสิ่งต่าง ๆ หรือระบบใด ๆ เช่น การแตกสิ่งเหล่านั้นออกเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ดังนั้นจึงเปรียบเสมือนว่าสัญญาณใด ๆ จะสามารถสร้างขึ้นมาได้ โดยใช้คลื่นเวฟเล็ทฟังก์ชันพื้นฐานเป็นเวฟเล็ทต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเล็ทแม่ คลื่นเวฟเล็ทแต่ละ

คลื่นจะอยู่ในเขตของเวฟเล็ดแม่ คลื่นเวฟเล็ดแต่ละคลื่นเกิดจากการสเกล (Scaling) คือการหดเข้า ขยายออก และการเลื่อนตำแหน่งของเวฟเล็ดแม่ โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆคูณกับสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดแต่ละแบบ ลักษณะของเวฟเล็ดแม่จะเป็นคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อเนื่องและขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นเวฟเล็ดชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเวฟเล็ดของคิวเบอร์ซีแบบแปดแท็ป (db8)



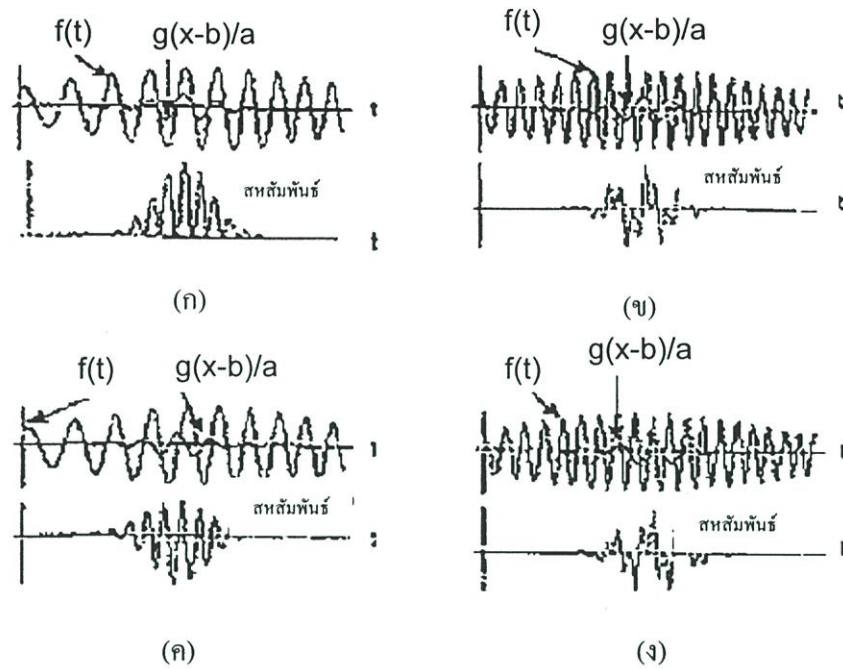
รูปที่ 2.3 ลักษณะของเวฟเล็ดของคิวเบอร์ซีแบบแปดแท็ป (db8)

สมการทั่วไปของฟังก์ชันเวฟเล็ดที่ตำแหน่ง a และ b ใดๆที่สัมพันธ์กัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.6)$$

$\psi(t)$ คือฟังก์ชันเวฟเล็ดแม่ที่ถูกเลื่อนตำแหน่งและถูกสเกลโดยพารามิเตอร์ “ a ” และ “ b ” ตามลำดับ โดยที่ช่วงคาบเวลาและความถี่ในการแปลงสัมพันธ์กันและเพื่อให้เวฟเล็ดที่ถูกสเกลไปแล้วมีพลังงานเท่ากับเวฟเล็ดแม่จึงต้องทำการนอร์มอลไลซ์ ด้วยค่า $1/\sqrt{a}$ เสมอ

จากรูปที่ 2.4 (ก) จะพบว่าเมื่อคลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุตมากจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เอาต์พุตมีค่าสูง แต่ในรูปที่ 2.4 (ข) คลื่นอินพุตที่มีความถี่สูงกว่าคลื่นเวฟเล็ดจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เอาต์พุตที่มีค่าต่ำกว่ามาก ขณะเดียวกันรูปที่ 2.4 (ค) ถ้าสัญญาณอินพุตมีความถี่เท่ากับคลื่นเวฟเล็ดแต่มีเฟสต่างกันจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอาต์พุตที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นเวฟเล็ดตามรูปที่ 2.4 (ก) ถ้าความถี่และเฟสของสัญญาณอินพุตแตกต่างกับความถี่และเฟสของคลื่นเวฟเล็ดในรูปที่ 2.4 (ง) จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เอาต์พุตมีขนาดต่ำมาก



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเวฟเล็ดแม่ที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่งไปที่ค่า a และ b ต่าง ๆ กัน

- (ก) คลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่และเฟสใกล้เคียงกับสัญญาณอินพุต
- (ข) คลื่นเวฟเล็ดที่มี ความถี่ต่างกัน แต่มีเฟสเท่ากับสัญญาณอินพุต
- (ค) คลื่นเวฟเล็ดที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณอินพุต แต่มีเฟสต่างกัน
- (ง) ความถี่และเฟสของสัญญาณอินพุตแตกต่างกับความถี่และเฟสของคลื่นเวฟเล็ด

จึงสรุปได้ว่า ถ้าคลื่นเวฟเล็ดมีความคล้ายกับสัญญาณอินพุตมากเท่าไรทั้งในด้านความถี่และเฟส จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงที่มากนั่นเอง

2.3 การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด [5]

ทฤษฎีเวฟเล็ดสามารถอธิบายได้โดยใช้การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สัญญาณจากคุณสมบัติการซ้อนทับกันของปริภูมิย่อยดังสมการที่ (2.7)

$$\dots V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset L^2 \quad (2.7)$$

พิจารณา a, b เป็นจำนวนจริงใดๆ และ i, j เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในปริภูมิเวกเตอร์ V ดังนั้นถ้า $ai + bj \in V$ แล้วจะได้ว่า เวกเตอร์ใดๆ ที่ประกอบขึ้นจากเวกเตอร์หนึ่งหน่วยตัวเดียวหรือหลายตัว แล้วเวกเตอร์นั้นยังคงอยู่ในปริภูมิเวกเตอร์ V นี้ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยดังกล่าวจะเรียกว่า เวกเตอร์พื้นฐาน ถ้าเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ตั้งฉากซึ่งกันและกันผลคูณภายในมีค่าเท่ากับศูนย์ดังสมการที่ (2.8)

$$(V, W) = \sum_N V_N W_N = 0 \quad (2.8)$$

ในทำนองเดียวกัน พิจารณาเวกเตอร์เป็นฟังก์ชัน โดยเวกเตอร์พื้นฐานนี้ว่าฟังก์ชันพื้นฐาน โดยถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ทำให้ผลคูณภายในมีค่าเป็นศูนย์ จะได้ว่าฟังก์ชันพื้นฐานดังกล่าวแสดงคุณสมบัติตั้งฉากซึ่งกันและกันดังสมการที่ (2.9)

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \int_a^b f(t) \cdot g^v(t) dt = 0 \quad (2.9)$$

และถ้าฟังก์ชันพื้นฐานของเวกเตอร์ให้ผลคูณภายในตัวเองแล้วมีค่าเป็นหนึ่งนั่นคือ ฟังก์ชันพื้นฐานดังกล่าวมีคุณสมบัติไม่ตั้งฉากกัน

ถ้าพิจารณาในลักษณะของสัญญาณอาจกล่าวได้ว่า ฟังก์ชันพื้นฐาน เป็นสัญญาณพื้นฐานเล็กๆที่สามารถนำมาประกอบกันเป็นปริภูมิของสัญญาณใดๆ ดังนั้น ถ้า U_i เป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันใด ๆ และ C_i เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของ U_i จะได้ว่า

สัญญาณ v ใดๆ สามารถประกอบขึ้นจากฟังก์ชันพื้นฐานที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันที่มีค่าขนาดต่างๆมารวมกันดังสมการที่ (2.10)

$$v = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_i U_i, \dots, v \in V \quad (2.10)$$

สมมติให้ $-V_j$ เป็นปริภูมิเวกเตอร์โดยที่ j แสดงถึงระดับความละเอียดและจำนวนของฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบขึ้นเป็นฟังก์ชัน จากลักษณะคุณสมบัติของการวิเคราะห์สัญญาณที่ระดับความละเอียดต่างๆได้สรุปลักษณะคุณสมบัติได้ดังนี้

- 1) $V_{-\infty} \dots \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \dots V_{\infty}$
- 2) $Close_{r_2} (U_{j \in \mathbb{Z}} V_j) = L^2(\mathbb{R}); \quad j \in \mathbb{Z}; \mathbb{Z} = \text{เซตของจำนวนเต็ม}; \mathbb{R} \text{ เป็นเซตของจำนวนจริง}$
- 3) $\lim_{j \rightarrow -\infty} V_j \cap V_j = \{0\}$
- 4) $V_j \oplus W_j = V_{j+1} \quad ; j \in \mathbb{Z}$
- 5) $f(x) \in V_j \Leftrightarrow f(2x) \in V_{j+1} \quad ; j \in \mathbb{Z}$

จากลักษณะคุณสมบัติทั้ง 5 ข้อ ถ้ากำหนดให้ $f(t) \in S$ เมื่อ S เป็นปริภูมิเวกเตอร์ของสัญญาณ เมื่อพิจารณาเทียบกับคุณสมบัติข้อที่ (2) จะได้ว่า สัญญาณ $f(t)$ สามารถประมาณให้อยู่ในปริภูมิเวกเตอร์

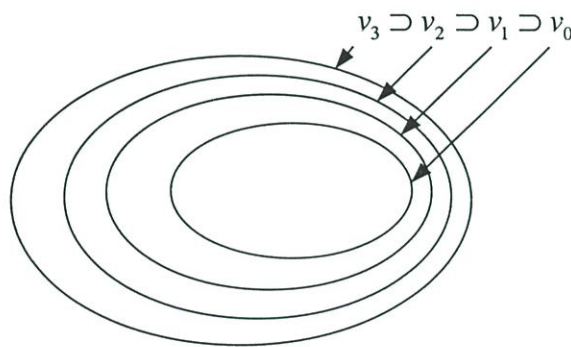
ผู้เข้าสู่สัญญาณต้นกำเนิด นั่นคือ $f(t) \in L^2(\mathbb{R})$ และในทางตรงกันข้าม ถ้าระดับความละเอียดที่ระดับ j ลดน้อยลงเรื่อยๆ จะทำให้สัญญาณที่ประมาณมีข่าวสารสูญหายไปมากขึ้นเป็นไปตามลักษณะคุณสมบัติข้อที่ (3)

2.3.1 ฟังก์ชันสเกลลิง (Scaling function)

พิจารณาปริภูมิเวกเตอร์ที่ระดับความละเอียด j จะมีฟังก์ชันพื้นฐานที่ประกอบกันเป็นสัญญาณการประมาณของ $f(t)$ เมื่อ $f(t) \in V_j$ ซึ่งก็คือฟังก์ชันพื้นฐานเรียกว่า ฟังก์ชันสเกลลิง เป็นฟังก์ชันพื้นฐานย่อยๆที่จะเกิดที่เวลาต่างๆกันภายใน V_j เดียวกัน ฟังก์ชันสเกลลิงที่ระดับปริภูมิสูงที่ความละเอียดสูง จะมีความถี่สูงและที่ระดับต่ำกว่าจะมีความถี่ต่ำกว่า

เนื่องจากความถี่ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดของปริภูมิ j นั้นๆ โดยอาศัยลักษณะคุณสมบัติที่ (5) จะได้ว่า

$$f(x) \in V_0 \Leftrightarrow f(2x) \in V_j \text{ เมื่อ } j \in \mathbb{Z} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.5 การซ้อนทับกันของปริภูมิฟังก์ชันสเกลลิง

การซ้อนทับกันของปริภูมิย่อย V_j ตามสมการที่ (2.7) และ (2.11) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันสเกลลิงของแต่ละปริภูมิดังรูปที่ 2.5 นั่นคือที่ระดับ V_1 มีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่ที่ระดับ V_0 ลักษณะดังกล่าวก็คือการสเกลททางเวลาของฟังก์ชันสเกลลิง ดังนั้นเซตของฟังก์ชันสเกลลิงที่เกิดจากการทำสเกลและเลื่อนตำแหน่งของฟังก์ชันสเกลลิงพื้นฐานที่ระดับ j และ $j+1$ ใดๆ เขียนได้ดังสมการที่ (2.12) และ (2.13)

$$\varphi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \varphi(2^j t - k) \quad (2.12)$$

$$V_j = \text{span}\{\varphi_k(2^j t)\} = \text{span}\{\varphi_{j,k}(t)\} \quad (2.13)$$

แต่ละฟังก์ชัน $f(t)$ ทั้งหมดที่อยู่ในปริภูมิ V_j สามารถเขียนอยู่ในรูปของผลรวมฟังก์ชันสเกลลิงดังสมการที่ (2.14)

$$f(t) = \sum_k a_k \varphi(2^j t - k) \quad (2.14)$$

ปริภูมิย่อยที่มี $j > 0$ จะมีรูปร่างของฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi_{j,k}(t)$ ที่มีลักษณะแคบและช่วงการเลื่อน k จะเป็นช่วงสั้นๆ แต่สำหรับปริภูมิย่อยที่มี $j < 0$ จะมีรูปร่างของสเกลลิงฟังก์ชัน $\varphi_{j,k}(t)$ ที่มีลักษณะกว้างและช่วงการเลื่อน k จะเป็นช่วงยาว ดังนั้นฟังก์ชัน $f(t)$ ในปริภูมิย่อยที่มี $j < 0$ จะมีลักษณะข้อมูลที่หยาบและฟังก์ชัน $f(t)$ ในปริภูมิย่อยที่มี $j > 0$ จะมีลักษณะข้อมูลที่มีรายละเอียดมากกว่า

2.3.2 ฟังก์ชันเวฟเล็ต

ฟังก์ชันเวฟเล็ต $\varphi_{j,k}(t)$ คือเซตของฟังก์ชันพื้นฐานที่ขยายครอบคลุมถึงปริภูมิย่อยที่เกิดจากผลต่างระหว่างปริภูมิย่อย V_{j+1} กับ V_j ได้จากสมการที่ (2.7) จากนิยามที่กำหนดให้เซตฟังก์ชันเวฟเล็ตครอบคลุมไปทั่วถึงปริภูมิย่อย W_0 ดังนั้น

$$V_1 = V_0 \oplus W_0 \quad (2.15)$$

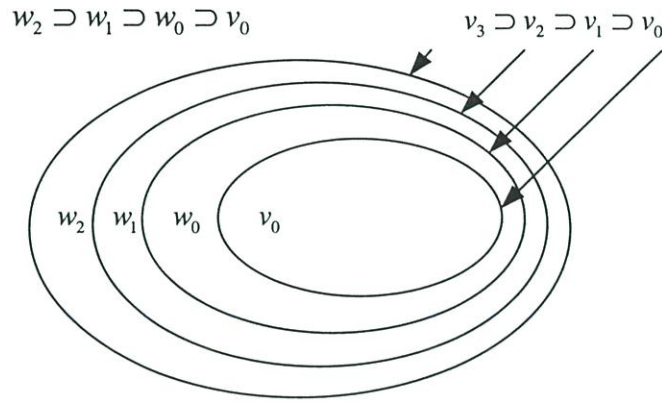
สามารถขยายออกเป็น

$$V_2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \quad (2.16)$$

และเขียนอยู่ในรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$L^2 = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \quad (2.17)$$

เมื่อ V_0 เป็นปริภูมิเริ่มต้นที่แผ่ขยายออกไปโดยฟังก์ชันสเกลลิง $\varphi(t-k)$ จากรูปที่ 2.6 แสดงฟังก์ชันสเกลลิงกับฟังก์ชันเวฟเล็ต ในปริภูมิต่างกัน เครื่องหมาย \oplus หมายถึงการรวมกันทางเชิงเส้นที่ตั้งฉากกัน



รูปที่ 2.6 ปริภูมิของฟังก์ชันสเกลลิ่งกับฟังก์ชันเวฟเล็ดกรณีตั้งฉากกัน

การเริ่มต้นของปริภูมิสามารถเริ่มที่ระดับ j ใดๆ เช่นเริ่มที่ $j=10$ สมการที่ (2.17) เขียนสมการใหม่ได้

$$L^2 = V_{10} \oplus W_{10} \oplus W_{11} \oplus \dots \quad (2.18)$$

และถ้า $j = \infty$ จากสมการที่ (2.17) จะกลายเป็น

$$L^2 = \dots \oplus W_{-2} \oplus W_{-1} \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus W_2 \oplus \dots \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.15) สามารถขยายไปที่ระดับความละเอียด $j+1$ หรือปริภูมิเวฟเล็ดจะครอบคลุมไปทั่วถึงโดยปริภูมิสเกลลิ่งที่ระดับความละเอียดสูงกว่า $V_{j+1} = V_j + W_j$ ดังนั้นทุกฟังก์ชันเวฟเล็ดในปริภูมิ W_j เขียนเป็นผลรวมเชิงเส้นของฟังก์ชันสเกลลิ่งใน V_{j+1} ได้

$$\psi(t) = \sum_n h_1(n) \sqrt{2} \varphi(2t-n) \quad n \in \mathbb{Z} \quad (2.20)$$

ชุดลำดับ $h_1(n)$ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของเวฟเล็ด และ $\psi(t)$ เรียกว่าเวฟเล็ดต้นแบบ หรือเวฟเล็ดแม่จากสมการที่ (2.20) ฟังก์ชันการกระจายเวฟเล็ดอยู่ในรูป

$$\psi_{j,k}(f) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \quad (2.21)$$

เมื่อ 2^j คือการยืดหดของตัวแปร t , $2^j k$ คือการเลื่อนของตัวแปร t และ $\psi_{j,k}(f)$ ฟังก์ชันเวฟเล็ดที่ระดับ ความละเอียด j

เมื่อได้เซตของฟังก์ชัน $\psi_{j,k}(t)$ และ $\varphi_{j,k}(t)$ ที่ครอบคลุมทั่วปริภูมิ $L^2(\mathbb{R})$ แล้ว ดังนั้น ฟังก์ชัน $g(t)$ ที่อยู่ใน $L^2(\mathbb{R})$ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.22)

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k)\varphi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j,k)\psi_{j,k}(t) \quad (2.22)$$

เทอมแรกของสมการที่ (2.22) แสดงส่วนประมาณของฟังก์ชัน $g(t)$ ส่วนเทอมที่สองจะแสดงรายละเอียดของฟังก์ชัน ซึ่งเมื่อรวมกับส่วนประมาณจะทำให้ได้รับส่วนประมาณที่ระดับความละเอียดสูงขึ้น ในกรณีเป็นเวฟเล็ตแบบตั้งฉากซึ่งกันและกันค่าสัมประสิทธิ์ $c(k)$ และ $d(j,k)$ กำหนดจากผลคูณภายใน

$$c(k) = c_j(k) = \langle g(t), \varphi_k(t) \rangle = \int h(t), \varphi_k(t) dt \quad (2.23)$$

และ

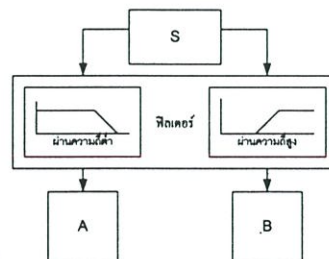
$$d_j(k) = d(j,k) = \langle g(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \int g(t), \psi_{j,k}(t) dt \quad (2.24)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ $d(j,k)$ บางครั้งเขียนแทนด้วย $d_j(k)$ เพื่อบ่งบอกความแตกต่างระหว่างการเลื่อนของเวลาที่ k และพารามิเตอร์ระดับที่ j ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ $c(k)$ บางครั้งเขียนอยู่ในรูป $c_j(k)$ หรือ $c(j,k)$ โดยทั่วไประดับสเกลเริ่มต้นมักจะเริ่มที่ $j = 0$

2.4 เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบดิสคริต [6]

วิธีการของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มจะมีลักษณะคล้ายกับวิธีการฟิลเตอร์แบงก์แบบออกเทฟ (Octave Filter banks) เนื่องจากการพิจารณาสัญญาณผ่านฟังก์ชันหน้าต่าง (Window function) ที่สามารถแปลงความถี่ ในอัตราครึ่งละสองเท่าซึ่งเปรียบเสมือนการนำสัญญาณอินพุตผ่านวงจรกรองความถี่ที่มีแบนด์วิธที่ให้ค่าอัตราการลดลงสองเท่าเหมือนกับแบนด์วิธของฟังก์ชันหน้าต่างในขณะนั่นเอง

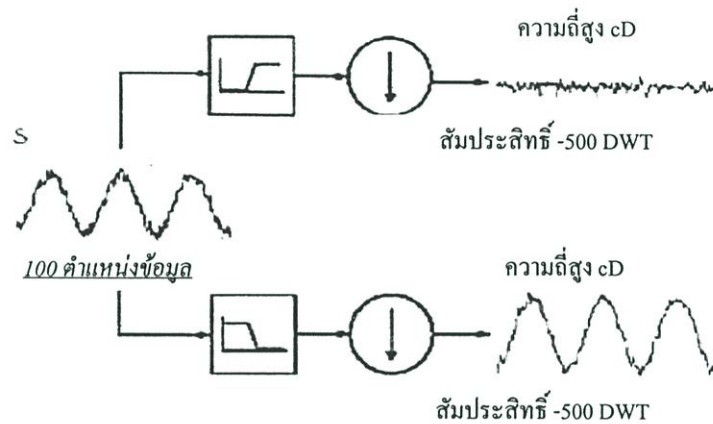
ดังนั้นสามารถนำเอาหลักการของฟิลเตอร์แบงก์มาใช้ในเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มในทางปฏิบัติได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

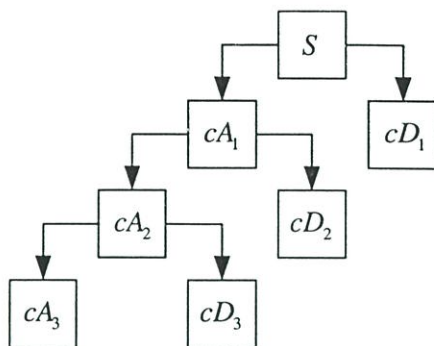
2.4.1 เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มโดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two channel filter banks) เป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งเป็นส่วนความถี่ต่ำและส่วนของความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณจึงประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำ (Lowpass filter : L) และฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูง (Highpass filter : H) ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (Two channel analysis filter banks) โดยนำสัญญาณ S ผ่านการแยกองค์ประกอบสัญญาณ (Decomposition) ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง



รูปที่ 2.8 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

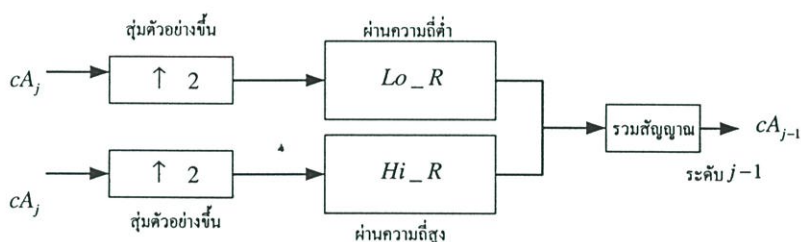
ลักษณะของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบออกเทพ มีโครงสร้างแบบต้นไม้ (Tree structure) ซึ่งเป็นการนำฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณเรียงต่อกัน โดยใช้สัญญาณเอาต์พุต (cA) ในส่วนที่เป็นความถี่ต่ำมาทำการแยกแบนด์ความถี่ออกอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการแยกองค์ประกอบ สามารถทำซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ ได้โดยการนำการประมาณค่าที่สมบูรณ์ (Successive approximations) มาแยกองค์ประกอบอีกครั้ง ดังนั้นสัญญาณหนึ่งๆ สามารถแยกออกไปได้อีก ซึ่งจะได้ส่วนประกอบที่มีรายละเอียดต่ำกว่า การทำแบบนี้เรียกว่า การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ (Multiple-level decomposition) ดังรูปที่ 2.9 ลักษณะของกระบวนการวิเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์แบงก์จะเรียกว่า เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (Discrete wavelet transform : DWT)



รูปที่ 2.9 การแยกองค์ประกอบแบบหลายระดับ

2.4.2 เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มกลับโดยใช้หลักการสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์

เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มกลับแบบดิสครีตเป็นการกระจายสัญญาณลงไปในปริภูมิของ V_j และ W_j ซึ่งทำให้รายละเอียดของสัญญาณลดลง ดังนั้นการรวมสัญญาณให้เป็นปริภูมิ V_j และ W_j กลับไปเป็นปริภูมิ V_{j+1} ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ $g(t)$ จากระดับ j ไปเป็น $j+1$ วิธีการดังกล่าวเหมือนกับขบวนการสังเคราะห์ การสร้างกลับฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณซึ่งเป็นการหาค่าของ $C_{j+1}(n)$ จากค่า $cA_j(k)$ และ $cD_j(k)$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.10



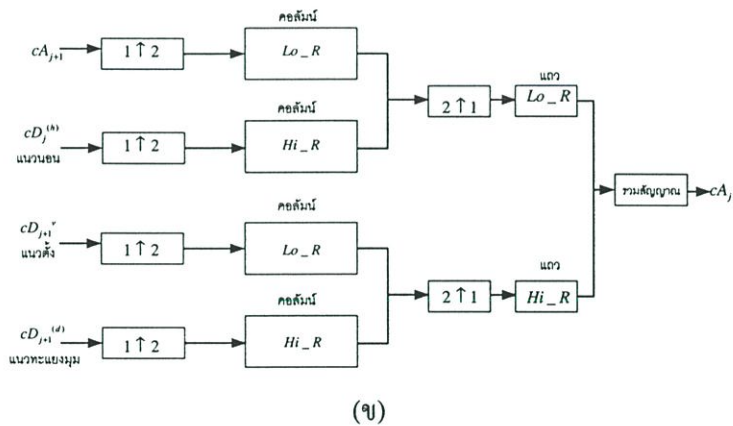
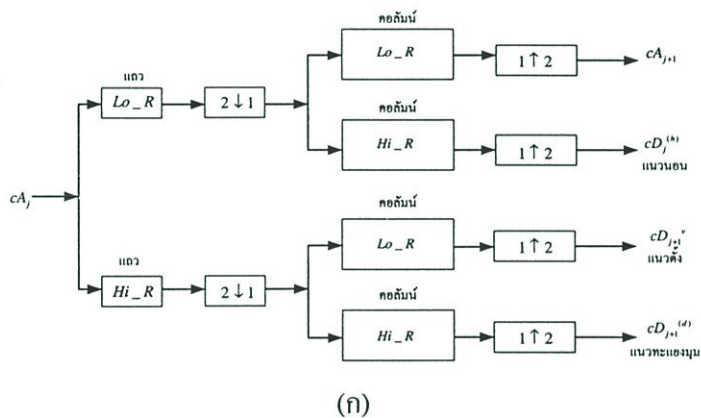
รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

ลักษณะของฟิลเตอร์แบงก์ที่มีโครงสร้างแบบต้นไม้เพื่อทำการรวบรวมสัมประสิทธิ์ $c(j,k)$ และ $d(j,k)$ กลับมาเป็น $c_{j+1}(n)$ อีกครั้ง วิธีการดังกล่าวเรียกว่าเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มกลับ จากกระบวนการเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มและเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มกลับจะสังเกตได้ว่า สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการทรานส์ฟอร์มกลับจะมีค่าประมาณเท่ากับสัญญาณอินพุตของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม โดยที่รูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) จะมีลักษณะการสร้างกลับอย่างสมบูรณ์ของฟิลเตอร์แบงก์ (Perfectly reconstruction filter banks) จากที่กล่าวมานี้จะใช้เฉพาะในกรณีของฟิลเตอร์แบงก์ที่ไม่ตั้งฉากเท่านั้น วิธีการสังเคราะห์ตามรูปแบบของฟิลเตอร์แบงก์จะเรียกว่าเป็น เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มกลับแบบดิสครีต (Inverse discrete wavelet transform : IDWT)

2.5 การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลภาพในสองมิติ [7]

การนำเวฟเล็ตมาใช้กับข้อมูลภาพที่เป็นข้อมูลสองมิติ ซึ่งเก็บค่าของแต่ละจุดภาพในรูปแบบเมตริกซ์สามารถทำได้โดยทรานส์ฟอร์มตามแนวนอนของภาพก่อนจากนั้นจึงทำการทรานส์ฟอร์มตามแนวตั้งของภาพในแถวที่ได้รับการทรานส์ฟอร์ม ดังรูปที่ 2.11(ก)

จากรูปที่ 2.11 (ก) สามารถอธิบายได้ว่าเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มสองมิติ จะเป็นการทรานส์ฟอร์มในแนวแกนตามจำนวนแถวของจุดภาพซึ่งทำให้ภาพถูกแบ่งออกเป็น 2 แบนด์ย่อย จากนั้นจะทำการทรานส์ฟอร์มในแนวแกนตั้งตามจำนวนคอลัมน์ของจุดภาพ ดังนั้นภาพในลักษณะสองมิติ เมื่อนำมาผ่านเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มหนึ่งครั้งจะถูกแบ่งออกเป็น 4 แบนด์ย่อย ซึ่งถือว่าเป็นเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบระดับเดียว (Single level)



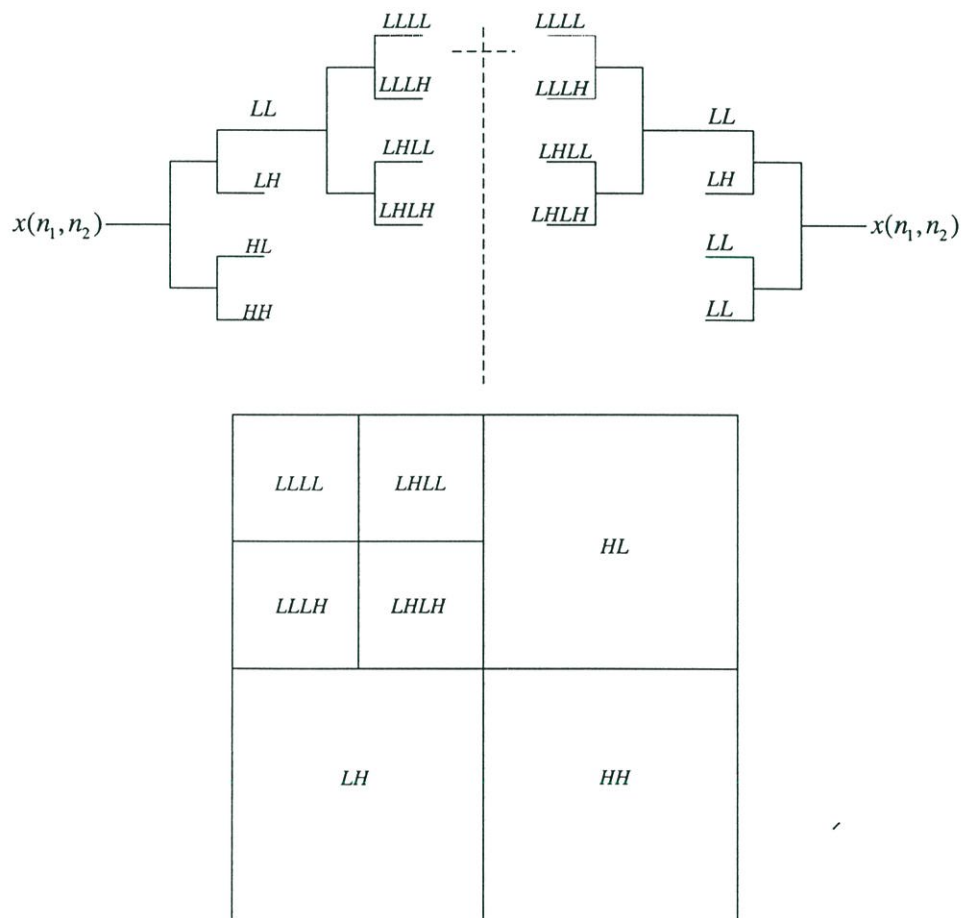
รูปที่ 2.11 เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มของข้อมูลภาพสองมิติ โดยใช้หลักการของฟิลเตอร์แบงก์

(ก) การแยกองค์ประกอบของเวฟเล็ต

(ข) การรวมองค์ประกอบของเวฟเล็ต

แบนด์ย่อยแรก ($Sb1$) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำทั้งสองแนวแกนเขียนด้วยแทนตัว LL แบนด์ย่อยที่ 2 ($Sb2$) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำในแนวนอนและผ่านความถี่สูงในแนวตั้งแทนเขียนแทนด้วย LH แบนด์ย่อยที่ 3 ($Sb3$) เป็นส่วนของภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูงในแนวนอนและผ่านความถี่ต่ำในแนวตั้งแทนเขียนแทนด้วย HL ส่วนของภาพที่ผ่านฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูงทั้งสองแนวแกนแทนด้วย HH

สามารถสร้างภาพกลับขึ้นมาใหม่จากแบนด์ย่อย แสดงดังรูปที่ 2.11 (ข) นำสี่แบนด์ย่อยทั้ง 4 มาเพิ่มจำนวนข้อมูลเป็น 2 เท่า หลังจากเพิ่มจำนวนข้อมูลแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะถูกฟิลเตอร์ไปตามแนวตั้งและบวกเข้าด้วยกัน จากนั้นทำซ้ำไปตามแนวนอนจะได้ผลลัพธ์ที่สร้างกลับขึ้นมาใหม่



รูปที่ 2.12 เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบหลายระดับ

ผลจากเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม ข้อมูลในแบนด์ย่อยที่ 1 มีค่าข้อมูลที่มีรายละเอียดค่าที่สุด ส่วนที่แสดงรายละเอียดของภาพจะเป็นข้อมูลในแบนด์ย่อยที่ 2, 3 และ 4 และถ้านำเอาแบนด์ย่อยที่ 1 ไปผ่านเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มต่อไปอีกก็จะทำให้สามารถแยกภาพได้ออกเป็นหลายแบนด์ย่อยเพิ่มมากขึ้นซึ่งเรียกว่าการ เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบหลายระดับดังรูปที่ 2.12

บทที่ 3

หลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์สัญญาณภาพดิจิทัล

3.1 การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) [8]

การวิเคราะห์ภาพเป็นการวิเคราะห์สำหรับดำเนินการเพื่อจำแนกหรือแยกแยะองค์ประกอบหรือโครงสร้างหลักต่างๆของภาพเพื่อหาข้อมูล (data) หรือข้อสนเทศ (Information) ซึ่งจำเป็นในการใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ต่อไป ปกติงานการวิเคราะห์เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการประมวลผลภาพดิจิทัลและมีวิธีการแบบลองผิด ลองถูก (Trial and error) เนื่องจากผลสำรวจตามเงื่อนไข โดยใช้ทฤษฎีส่วนใหญ่ไม่ให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจในสายตามนุษย์ เพราะเงื่อนไขเหล่านั้นใช้กับตัวแปรที่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือแม้แต่ตัวแปรสุ่ม (random variable) ก็ยังถูกสมมติให้มีรูปแบบการกระจายของความน่าจะเป็น (probability) ที่แน่นอนเช่นกัน ดังนั้นผลลัพธ์ที่ยังคงมีความน่าเชื่อถือน้อยกว่าผลลัพธ์ที่ได้จริง โดยอาศัยความรู้สึกรวมของมนุษย์เป็นเกณฑ์ เทคนิคการวิเคราะห์ที่ผ่านการคัดเลือกและรวบรวมไว้ในสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้มีเป็นจำนวนมากและสามารถจัด แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ หลายกลุ่ม ดังนี้

3.1.1 การปรับแต่งภาพ (Image Adjustment)

เทคนิคการปรับแต่งภาพเกือบทั้งหมดเป็นเทคนิคที่ไม่ยุ่งยากมาก สามารถดำเนินการได้รวดเร็วและเป็นการประมวลผลกับข้อมูลภาพที่อยู่ในรูปแบบปกติหรือเรียกว่าการประมวลผลในสเปซเชิงโดเมนแบ่งเป็น

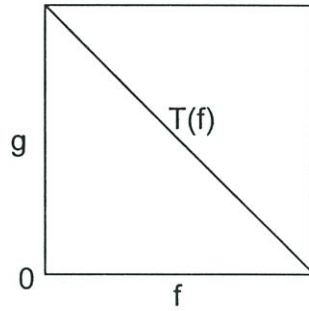
3.1.1.1 การทำภาพลบ (Image negative)

เทคนิคการทำภาพลบใช้หลักการสลับค่าความเข้ม (Intensity) หรือค่าระดับสีเทา (gray level) ของจุดภาพ (pixel หรือ picture element) จากสูงเป็นต่ำซึ่งเป็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มดังรูปที่ 3.1 และเขียนเป็นสมการ (3.1)

$$g(x, y) = -f(x, y) + (L - 1) \quad (3.1)$$

โดยที่ L เป็นจำนวนของระดับเทา

ประโยชน์ของเทคนิคที่ใช้กันแพร่หลายมาก คือ การวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ เช่น ภาพเอ็กซเรย์ (X-ray image) เนื่องจากข้อมูลบางอย่างอาจถูกกลืนหรือข่มด้วยข้อมูลข้างเคียงได้ ถ้าพิจารณาภาพในแบบบวก (Positive)



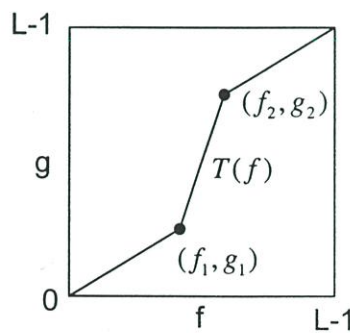
รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการทำภาพลบ

3.1.1.2 การปรับแต่งคอนทราสต์ (Contrast stretching)

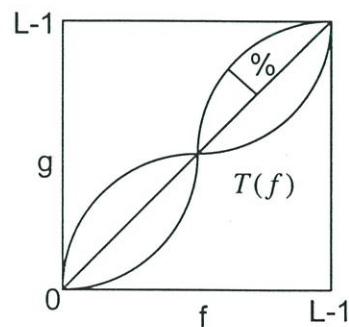
กรณีรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบบนภาพมีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันไม่มาก เป็นเหตุให้สังเกตความแตกต่างลำบาก จึงมีความจำเป็นในการปรับแต่งคอนทราสต์หรือการปรับแต่งการกระจายตัวของระดับสีเทาค่าต่าง ๆ บางครั้งอาจเรียกว่าเป็นการปรับแต่งช่วงความลึกของภาพได้เช่นกัน เทคนิคทางด้านนี้มีฟังก์ชันของการทรานส์ฟอร์มได้หลายแบบขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ว่าจะปรับแต่งคอนทราสต์ของภาพในย่านใด

3.1.1.2.1 การปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป (Generalized)

รูปที่ 3.2 (ก) จะแสดงให้เห็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป โดยกำหนดจุด (f_1, g_1) และจุด (f_2, g_2) ให้เป็นจุดที่ใช้ในการควบคุมรูปร่างของฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มปกติแต่ละช่วงของฟังก์ชันจะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง $f(x, y)$ และ $g(x, y)$ เป็นเชิงเส้นที่มีค่าความชันต่างกันทำให้เกิดข้อดีอยู่กับภาพที่มีค่าระดับสีเทาในบริเวณดังกล่าวซึ่งอาจเกิดความแตกต่างกันจนสังเกตได้ชัดเจน



ก) การปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป



ข) การปรับแต่งคอนทราสต์แบบค่าร้อยละ

รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งคอนทราสต์

3.1.1.2.2 การปรับแต่งคอนทราสต์แบบค่าร้อยละ (Percentage)

รูปที่ 3.2 (ข). แสดงฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งคอนทราสต์ที่แก้ปัญห
ของการปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป โดยกำหนดให้รูปร่างของฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มเป็นแบบไซน์
ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงที่ราบเรียบตลอดช่วงและไม่มีความต้องการจุดควบคุม แต่จะใช้กำหนดให้การ
เปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปของค่าร้อยละ นอกจากการใช้ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มแบบทั่วไปและแบบไซน์แล้ว
อาจมีรูปแบบอื่น ได้ที่ดูใช้ได้หลากหลาย เช่น ฟังก์ชันผิดพลาดแบบเกาส์เซียน (Gaussian error function)
ฟังก์ชันรีบเบอร์แบนด์ (Rubber band function) ฟังก์ชันรากที่สอง (Square root function) ฟังก์ชันรากที่
สาม (Cube root function) เป็นต้น

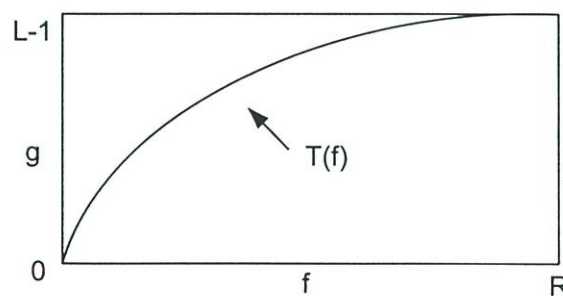
3.1.1.3 การบีบช่วงความลึกของภาพ (Dynamic range compression)

กรณีที่ภาพมีค่าระดับสีเทากระจายอยู่ในช่วงที่กว้างมากเกินไปเกินความสามารถในการ
แสดงผลของอุปกรณ์แสดงผลที่มีอยู่ รายละเอียดขององค์ประกอบที่มีค่าระดับสีเทาดำมาก ๆ หรือสูงมาก ๆ
จะแสดงความแตกต่างที่สังเกตเห็นได้ยากและบางครั้งเกินความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์แสดงผล
ผลทำให้เห็นเฉพาะส่วนที่มีความเข้มหรือค่าระดับสีเทาสูง ๆ จึงมีความจำเป็น ต้องลดการกระจายของ
ระดับสีเทาที่เรียกว่าการลดช่วงความลึกของภาพ ทั้งนี้เทคนิคในการปรับแต่งอย่างง่ายของการลดช่วง
ความลึกของภาพ คือ การแปลงข้อมูลภาพต้นฉบับด้วยฟังก์ชันลอกการิซึมดังสมการที่ (3.2)
เนื่องมาจากการทำงานแบบไม่เชิงเส้นของตามนุษย์ ดังนี้

$$g(x, y) = C \log(1 + |f(x, y)|) \quad (3.2)$$

โดย C เป็นค่าคงตัวที่เลือกใช้ในการปรับขนาด

รูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มในการลดช่วงความลึกของภาพ โดยที่
R คือช่วงความลึกของภาพที่สูงสุดก่อนจะทำการลด ทำให้ค่า $C = (L-1)/\log(1+R)$



รูปที่ 3.3 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการลดช่วงความลึกของภาพ

3.1.2 การเฉือนภาพ (Image slicing)

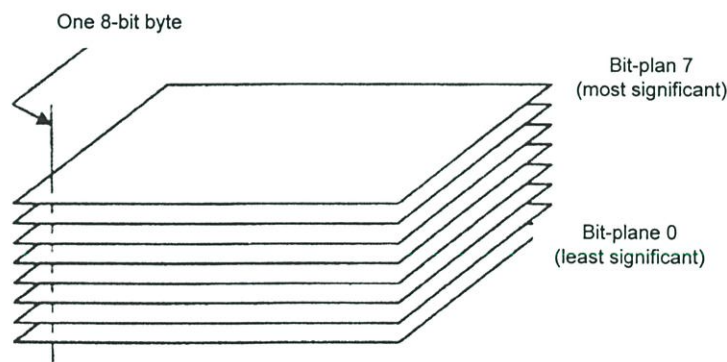
มีการตั้งสมมุติฐานว่า องค์ประกอบบางอย่างของภาพมีค่าระดับสีเทาส่วนใหญ่อยู่ระดับหนึ่งหรือช่วงหนึ่ง เทคนิคในการวิเคราะห์องค์ประกอบภาพที่พัฒนาให้เหมาะสมกับสมมุติฐานนี้เรียกว่า การเฉือนภาพ ซึ่งไม่ได้มีความหมายเกี่ยวกับการเฉือนวัตถุหรือสิ่งของต่างๆ ที่รู้จักกันทั่วไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1.2.1 การเฉือนระนาบตามลำดับบิต(Bit-plane slicing)

เทคนิคการเฉือนแบบนี้จะเป็นการแยกแยะจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาในแบบไบนารี (Binary format) มีค่า “1” และ “0” ในบิตที่ต้องการออกมาแสดงในภาพสีขาวและดำตามลำดับ ซึ่งเรียกว่า การเฉือนระนาบตามลำดับบิตนั้น ๆ เช่น การเฉือนระนาบตามลำดับบิตที่ 2 (2^{nd} Bit – plane slicing) ทั้งนี้ ในกรณีที่ข้อมูลของค่าระดับสีเทาต้องใช้หน่วยความจำขนาด 8 บิต บิตขวาสุดจะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (least significant bit) และบิตขวาสุด และบิตซ้ายสุด จะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (Most significant bit) คือบิตที่ 7 ดังรูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างระนาบตามลำดับ บิตของภาพดิจิทัลแบบ 8 บิตและฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเฉือนระนาบตามลำดับบิตดังสมการที่ (3.3)

$$g(x, y) = (L-1)b_n^{f(x,y)} \quad ; n = 0, 1, \dots, 7 \quad (3.3)$$

โดยที่ g เป็นค่าของบิตที่ n ของจุดภาพ $f(x, y)$ ที่เป็น 0 หรือ 1



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างตามระนาบตามลำดับบิตของภาพดิจิทัลแบบ 8 บิต

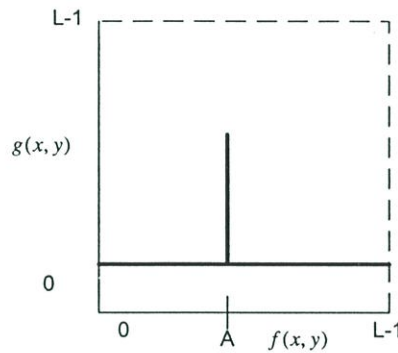
3.1.2.2 การเฉือนตามระดับสีเทา (Gray level slicing)

กรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาว่าองค์ประกอบที่มีค่าระดับสีเทาเฉพาะค่าเป็นอย่างไร จะใช้เทคนิคการเฉือนตามระดับสีเทาเพื่อดึงข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาที่ต้องการมาแสดงผลโดยลดหรือกุดค่าระดับสีเทาอื่นๆ ลงไปทั้งหมด ทั้งนี้ ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มของการเฉือนตามระดับสีเทา คือ

$$g(x, y) = \begin{cases} C_1 f(x, y) & , f(x, y) = A \\ C_2 f(x, y) & , f(x, y) \neq A \end{cases} \quad (3.4)$$

โดยที่ C_1 และ C_2 เป็นค่าคงตัวที่เลือกใช้ ทั้งนี้ $C_1 > C_2$ และค่า $C_1 \gg 1$ และ A เป็นค่าระดับสีเทาที่ต้องการ

รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มของการเลื่อนตามระดับสีเทา ทั้งนี้ บางกรณีไม่มีความจำเป็นจะต้องลดหรือกดยค่าระดับสีเทาอื่น ๆ ยังคงปล่อยไว้ในสภาพเดิมได้ กรณีดังกล่าวค่า $C_2 = 1$ โดยที่ค่า $C_1 \gg 1$



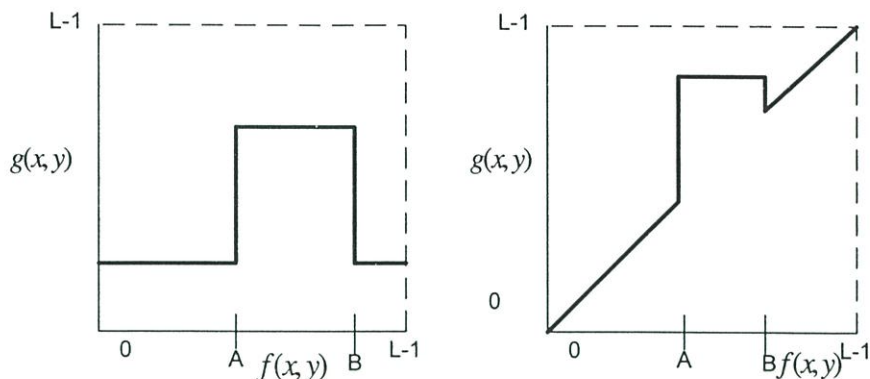
รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามระดับสีเทา

3.1.2.3 การเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา (Range gray level slicing)

เทคนิคการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทามีหลักการเช่นเดียวกับการเลื่อนตามระดับสีเทา แตกต่างกันตรงที่ระดับค่าสีเทาเป็นช่วงแทนการยกระดับเฉพาะค่าหนึ่ง ๆ ดังรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มของการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา ทั้งนี้

$$g(x, y) = \begin{cases} C_1 f(x, y) & , A \leq f(x, y) \leq B \\ C_2 f(x, y) & , f(x, y) < A : f(x, y) > B \end{cases} \quad (3.5)$$

โดยที่ C_1 และ C_2 เป็นค่าคงตัวที่ $C_1 > C_2$ และค่า $C_1 \gg 1$ และ A และ B เป็นช่วงระดับสีเทาที่ต้องการที่มีค่า $B > A$



ก) ลดค่าระดับสีเทาออกช่วงที่ต้องการลงเป็นค่าเดียวกัน ข) คงค่าระดับสีเทาออกช่วงที่ต้องการไว้

รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา

เช่นเดียวกับเทคนิคการเลื่อนตามระดับสีเทา ซึ่งอาจไม่มีความจำเป็นต้องลดหรือคงค่าระดับสีเทาอื่น ๆ ลงไปเท่ากันดังรูปที่ 3.6 (ก) หมายความว่า $C_2 f(x, y) = K$ หรือยังคงปล่อยไว้ในสภาพเดิมได้ ดังรูปที่ 3.6 (ข) กรณีที่สองค่า $C_2 = 1$ โดยที่ค่า $C_1 \gg 1$

3.1.3 การแบ่งส่วนภาพ (Image segmentation)

บางครั้งการวิเคราะห์ภาพจะเน้นวัตถุ (object) บนภาพ ซึ่งวัตถุเหล่านั้นจะถูกแยกแยะออกได้ด้วยวิธีการที่หลากหลายตั้งแต่วิธีการง่าย ๆ เช่นการหาส่วนที่เป็นแนวของวัตถุ หรือส่วนที่เป็นขอบของวัตถุไปจนกระทั่งวิธีการที่สลับซับซ้อน เช่นการหารายละเอียดรูปร่างของวัตถุเป็นต้น สำหรับการทดลองนั้นเน้นที่วิธีการง่าย ๆ ทำได้รวดเร็วและสามารถนำไปประกอบอยู่ในระบบการประมวลผลภาพดิจิทัลรวมกับเทคนิคอื่นต่อไปได้สะดวกและมีความยืดหยุ่นในการปรับแต่งซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.3.1 การตรวจหาแนวเส้น (Line detection)

เทคนิคในการตรวจหาแนวเส้นเป็นการเปรียบเทียบค่าระดับสีเทาระหว่างจุดภาพที่พิจารณากับจุดภาพข้างเคียง ทั้งนี้จะเน้นน้ำหนักหรือให้ความสำคัญกับจุดภาพข้างเคียงที่มีการเรียงตัวร่วมกับจุดภาพที่พิจารณาเป็นเส้นตรงรวม 4 แบบคือ เส้นตรงในแนวตั้ง เส้นตรงในแนวนอน และเส้นตรงในแนวทะแยงจากล่างซ้ายขึ้นไปทางบนขวาหรือเรียกว่าเส้นทะแยง $+45^\circ$ และเส้นตรงในแนวทะแยงและเส้นตรงในแนวทะแยงจากบนขวาไปทางล่างซ้ายหรือเรียกว่าเส้นทะแยง -45° หมายความว่าแนวเส้นที่จะตรวจหาเป็นแนวเส้นตั้ง แนวเส้นนอน และแนวเส้นเอียงทำมุม $+45^\circ$ และ -45° เท่านั้น

กระบวนการตรวจรู้จะทำได้โดยทำหน้ากาก (mask) ขนาด 3×3 (อาจใช้ขนาดใหญ่กว่านี้ เช่น 5×5 หรือ 7×7 ก็ได้ แต่จะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพน้อยลง เนื่องจากแนวเส้นตรงที่มีขนาดสั้น ๆ จะไม่ผ่านการตรวจรู้ได้) ไปวางซ้อนจุดภาพในตำแหน่งที่จะทำการประมวลผล จากนั้นจะคำนวณหาค่าตามสมการที่ (3.6)

$$R = \sum_{k=1}^9 w_k z_k \quad (3.6)$$

โดยที่ w_k เป็นค่าน้ำหนักของแต่ละจุดบนหน้ากาก ดังรูปที่ 3.7

z_k เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพในตำแหน่งที่ตรงกับจุดบนหน้ากาก กล่าวคือ

$$\begin{aligned} Z_1 &= f(x-1, y-1), & Z_2 &= f(x, y-1), & Z_3 &= f(x+1, y-1) \\ Z_4 &= f(x-1, y), & Z_5 &= f(x, y), & Z_6 &= f(x+1, y) \\ Z_7 &= f(x-1, y+1), & Z_8 &= f(x, y+1), & Z_9 &= f(x+1, y+1) \end{aligned}$$

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|
| w_1 | w_2 | w_3 | -1 | -1 | -1 | -1 | 2 | -1 | -1 | -1 | 2 | 2 | -1 | -1 |
| w_4 | w_5 | w_6 | 2 | 2 | 2 | -1 | 2 | -1 | -1 | 2 | -1 | -1 | 2 | -1 |
| w_7 | w_8 | w_9 | -1 | -1 | -1 | -1 | 2 | -1 | 2 | -1 | -1 | -1 | -1 | 2 |

(ก) หน้ากากทั่วไป (ข) หน้ากากแนวนอน (ค) หน้ากากแนวตั้ง (ง) หน้ากากแนว +45° (จ) หน้ากากแนว -45°

รูปที่ 3.7 หน้ากากที่ใช้ในการตรวจรู้แนวเส้น

การตรวจหาแนวเส้นของภาพ จะนำหน้ากากทั้ง 4 แบบ ไปวางซ้อนบนจุดภาพต่าง ๆ จนครบทุกภาพ ค่าผลรวมที่ได้ตามสมการที่ (3.6) จากหน้ากากแต่ละแบบของจุดภาพหนึ่ง ๆ จะเป็น R_1, R_2, R_3 และ R_4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแบบหน้ากากในรูปที่ 3.7 (ข) ถึง (ง) จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าของผลรวมทั้ง 4 ค่า ถ้า $|R_i| > |R_j|$ ที่ทุกค่าของ $j \neq i$ จุดภาพนั้นจะถูกตัดสินว่าเป็นส่วนหนึ่งของแนวเส้นตามแบบของหน้ากากที่ i

บางครั้งมีความต้องการตรวจรู้แนวเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่งก็อาจทำได้ โดยเลือกใช้หน้ากากแนวที่ต้องการวางซ้อนบนจุดภาพและหาผลรวมตามสมการที่ (3.6) จากนั้นจะนำ ค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้แล้ว ถ้าค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ จุดภาพนั้นจะถูกตัดสินว่าเป็นส่วนหนึ่งของแนวเส้น

3.1.3.2 การตรวจหาขอบ (Edge detection)

องค์ประกอบหรือวัตถุที่ถูกบันทึกภาพจะมีตำแหน่งการจัดวางและรูปแบบที่ทำให้มีการสะท้อนแสงแตกต่างกัน ค่าความเข้มแสงหรือค่าระดับสีเทาที่ปรากฏบนภาพจะสอดคล้องกับความสามารถในการสะท้อนแสงดังกล่าว หมายความว่าองค์ประกอบที่เห็นเด่นชัดบนภาพ จะต้องมิชอบขององค์ประกอบนั้น ๆ แสดงให้เห็นชัดเจนหรือค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกัน ดังนั้นการตรวจหาขอบขององค์ประกอบหรือวัตถุบนภาพ จึงใช้หลักการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาที่มี 2 แนวทาง กล่าวคือแนวทางการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือ

ค่าความเข้ม ในการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา ซึ่งเรียกว่า วิธีเกรเดียนต์ (Gradient method) และแนวทางการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มในการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา ซึ่งเรียกว่า วิธีลาปลาเซียน (Laplacian method)

3.1.3.2.1 วิธีเกรเดียนต์(Gradient method)

องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ปรากฏบนภาพมีค่าระดับสีเทาไม่สม่ำเสมอ แต่ความแตกต่างของค่าระดับสีเทาอาจจะมีไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออาจจะมี แต่ปรากฏแบบไม่เด่นชัด การตัดสินใจว่าบริเวณใดเป็นขององค์ประกอบหนึ่งหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับความชันในการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาว่าสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ ดังนั้นการตรวจหาขอบตามแนวทางนี้อาจให้ผลที่แตกต่างกันไปจะขึ้นอยู่กับกำหนดค่าเทรชโฮลด์

เนื่องจากวิธีเกรเดียนต์จะใช้หลักการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะถูกกำหนดให้เป็นบริเวณขอบของวัตถุ ทั้งนี้ค่าเกรเดียนต์ของภาพ $f(x, y)$ ณ ตำแหน่ง (x, y) เป็นค่าเวกเตอร์

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

โดยที่ขนาดของค่าเวกเตอร์ ∇f เป็นปริมาณที่มีความสำคัญในการตรวจสอบของวัตถุ โดยทั่วไปเรียกว่าค่าเกรเดียนต์ ซึ่งมีขนาดเท่ากับ

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (3.8)$$

ในทางปฏิบัติ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จะทำการประมาณค่าเกรเดียนต์ด้วยค่าสัมบูรณ์ คือ

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (3.9)$$

การหาอนุพันธ์ย่อย G_x กับ G_y ทำได้โดยการใช้หน้ากาก (Mask) หรือหน้าต่าง (Window) หรือตัวที่ดำเนินการ (operator) ขนาด 3×3 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (ก) เพื่อช่วยปรับค่าระดับสีเทา ณ จุดภาพที่สอดคล้องกัน ซึ่งตัวดำเนินการมีหลายแบบ ดังนี้

3.1.3.2.1.1 ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสเกรเดียนต์ (Robert – cross Gradient operator) แบบโรเบิร์ตครอสเกรเดียนต์ ใช้หน้ากากขนาด 3x3 ดังรูปที่ 3.8 (ข) ที่จะได้ค่าอนุพันธ์ย่อยคือ

$$G_x = |z_5 - z_9| \quad (3.10 \text{ ก})$$

$$G_y = |z_6 - z_8| \quad (3.10 \text{ ข})$$

3.1.3.2.1.2 ตัวดำเนินการแบบโซเบล (Sobel operator) ตัวดำเนินการแบบโซเบล ใช้หน้ากากขนาด 3x3 ดังรูป 3.8 (ค) จะได้ค่าอนุพันธ์ย่อยคือ

$$G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (3.11 \text{ ก})$$

$$G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (3.11 \text{ ข})$$

3.1.3.2.1.3 ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์ (Prewitt operator) ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์ ใช้หน้ากากขนาด 3x3 เช่นเดียวกับตัวดำเนินการโซเบล แต่มีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกัน ดังรูป 3.8 (ง) จะได้ค่าอนุพันธ์ย่อยคือ

$$G_x = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \quad (3.12 \text{ ก})$$

$$G_y = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7) \quad (3.12 \text{ ข})$$

| | | |
|-------|-------|-------|
| z_1 | z_2 | z_3 |
| z_4 | z_5 | z_6 |
| z_7 | z_8 | z_9 |

(ก) หน้ากากขนาด 3x3 ที่จะใช้เป็นตัวดำเนินการ

| | | |
|---|---|----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 2 |
| 0 | 0 | -1 |

หน้ากากที่ใช้คำนวณค่า G_x และ G_y ขนาด 3x3

(ข) ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสเกรเดียนต์

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -2 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 1 |

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_x

| | | |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -2 | 0 | 2 |
| -1 | 0 | 1 |

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_y

(ค) ตัวดำเนินการแบบโซเบล

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_x

| | | |
|----|---|---|
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |
| -1 | 0 | 1 |

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_y

(ง) ตัวดำเนินการแบบพรีวิคต์

รูปที่ 3.8 ตัวดำเนินการที่ใช้ในการคำนวณหาเกรเดียนต์

3.1.3.2.2 วิธีลาปลาเซียน (Laplacian method)

วิธีลาปลาเซียน ใช้หลักการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าเกรเดียนต์ของค่าระดับสีเทาอีกต่อหนึ่ง และจะกำหนดตำแหน่งที่มีการตัดด้วยค่าศูนย์ (zero-crossing) เกิดขึ้นเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุ ทั้งนี้การหาค่าอนุพันธ์ย่อยอันดับสองของภาพ $f(x, y)$ คือการหาค่าลาปลาเซียนแบบ 2 มิติ ดังสมการที่ (3.13 ก)

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (3.13 \text{ ก})$$

หน้ากากของวิธีลาปลาเซียนขนาด 3x3 จะมีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกันหลายแบบ ดังรูปที่ 3.9 และตัวอย่างการใช้ตัวดำเนินการแบบ 4 เนเบอร์ (4-neighbor) เพื่อหาค่าอนุพันธ์ย่อยอันดับสองของจุดภาพ $f(x, y)$ คือ

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) \quad (3.13 \text{ ข})$$

| | | |
|----|----|----|
| 0 | -1 | 0 |
| -1 | 4 | -1 |
| 0 | -1 | 0 |

ก) 4 เนเบอร์

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 8 | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

ข) 8 เนเบอร์

| | | |
|----|---|----|
| -2 | 1 | -2 |
| 1 | 4 | 1 |
| -2 | 1 | -2 |

ค) 8 เนเบอร์ที่แยกออกจากกันได้

รูปที่ 3.9 หน้ากากที่ใช้ในตัวดำเนินการลาปลาเซียน

3.1.3.2.3 การตรวจหาขอบแบบแคนนี่ (Canny edge detection)

การตรวจหาขอบแบบแคนนี่ เป็นการดัดแปลงวิธีเกรเดียนต์ให้เหมาะสมกับการตรวจหาขอบขององค์ประกอบในภาพที่มีสัญญาณรบกวน แต่อยู่บนเงื่อนไข 3 ประการดังนี้

ก) ไม่เกิดความผิดพลาดในการตรวจหาขอบที่สำคัญ และไม่ควรมีการตรวจหาที่ผิดๆเกิดขึ้น

ข) การบ่งบอกตำแหน่งของขอบ ต้องมีระยะระหว่างตำแหน่งจริง และตำแหน่งที่จะบ่งบอกสั้นที่สุด

ค) ถ้ามีค่าหลายค่าในการตรวจหาขอบของขอบใดขอบหนึ่ง ค่าที่น้อยที่สุดจะเป็นค่าของการตรวจหาขอบที่แท้จริง เพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อการหาค่าในการตรวจหาขอบ ซึ่งทำให้ได้ขอบที่ไม่เรียบ ขั้นตอนของวิธีการตรวจหาขอบแบบแคนนี่ มี 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ฟิลเตอร์แบบพหุนาม เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน ดังสมการ ที่ (3.14)

$$f(x, y) = \left[\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \right]^n \quad (3.14)$$

โดยที่ $n = 2$ เท่าของค่าความแปรปรวนของการกระจายแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution)

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณเกรเดียนต์ตามสมการที่ (3.10) และใช้ตัวดำเนินการแบบพรีวิดิค ดังรูปที่ 3.8 (ง) จะได้

$$\nabla f = |(z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)| + |(z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)| \quad (3.15)$$

ขั้นตอนที่ 3 ทำการประเมินว่าจุดภาพมีค่า เกรเดียนต์เฉพาะถิ่นสูงสุด(maximum local gradient) หรือไม่ สมมติค่าเกรเดียนต์ของแต่ละจุดภาพในกรอบขนาด 3x3 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{array}{ccc} P1 & P2 & P3 \\ P4 & P5 & P6 \\ P7 & P8 & P9 \end{array}$$

ทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าเกรเดียนต์ของจุดภาพกลางกับจุดภาพอื่น ๆ ในแนวเส้นตรงต่าง ๆ ประกอบด้วย แนวตั้ง แนวนอน แนวทแยง $+ 45^\circ$ และ $- 45^\circ$ ถ้า $P5 > Pk$ ทุกค่า $k \neq 5$ และ $P5 >$ ค่า

เทรชโฮลด์ต่ำ (Low threshold value) T_L แสดงว่าค่า P5 เป็นค่าเกรเดียนต์เฉพาะพื้นที่สูงสุด และจะนำค่าดังกล่าวไปคำนวณตามขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 การทำเทรชโฮลด์แบบฮิสเตอร์ซิส (Hysteresis threshold) ขั้นตอนสุดท้ายนี้ เป็นขั้นตอนการตัดสินใจว่าจุดภาพหนึ่ง ๆ เป็นขอบขององค์ประกอบหรือไม่มีเงื่อนไข 3 ประการ ดังนี้

- จุดภาพที่มีขนาดเกรเดียนต์มากกว่าค่าเทรชโฮลด์สูง (high threshold value) T_H จุดภาพนั้นจะเป็นขอบขององค์ประกอบ

- ทุกจุดภาพที่ประกอบกันขึ้นเป็นแนวขอบแนวหนึ่ง จะต้องมีย่าน้อย 1 จุดภาพในแนวนั้นที่มีค่าเกรเดียนต์มากกว่า T_H

- จุดภาพที่มีค่าเกรเดียนต์มากกว่า T_H และไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่สอง จะถูกคัดออกไป

3.1.4 การฟิลเตอร์ (Image filtering)

การฟิลเตอร์ภาพอาจจัดไว้ในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของภาพหรือการวิเคราะห์ภาพ ก็ได้ขึ้นกับวัตถุประสงค์และเป้าหมาย ถ้าการฟิลเตอร์ภาพเป็นเรื่องของการทำให้ภาพดูดีขึ้นหรือแสดงรายละเอียดที่ต้องการให้ชัดเจนยิ่งขึ้น แต่ถ้าการฟิลเตอร์ภาพเน้นในเรื่องการมองหารายละเอียดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นต่อไปแล้ว ก็สามารถจัดไว้ในเรื่องการวิเคราะห์ภาพได้เช่นกัน

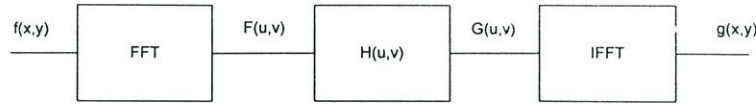
ปกติภาพต่าง ๆ นั้นจัดเป็นสัญญาณ 2 มิติในโดเมนสเปเชียลของตัวแปรค่าที่เป็นระยะทาง โดยที่อาจแปลงให้ไปอยู่ในโดเมน 2 มิติของตัวแปรค่าที่เป็นความถี่ และไม่ขึ้นกับหรือตั้งฉากกับ (orthogonal) โดเมนนี้ หมายความว่ากระบวนการฟอลเตอร์ภาพสามารถดำเนินการในโดเมนสเปเชียลหรือในโดเมนความถี่ก็ได้ ในการแปลงภาพคิจิตอลจากโดเมนสเปเชียลไปยังโดเมนของความถี่ทำได้โดยใช้ฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต 2 มิติ (2D discrete Fourier transform)

การดำเนินการในโดเมนความถี่แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 ข้อมูลภาพ $f(x, y)$ จะถูกคำนวณด้วยฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตด้วยอัลกอริทึม FFT จะได้ผลลัพธ์ในโดเมนของความถี่ คือ $F(u, v)$ จากนั้นจะไปผ่านฟิลเตอร์ที่มีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (transfer function) $H(u, v)$ จะได้ผลการฟิลเตอร์ $G(u, v)$ จากนั้นทำการทรานส์ฟอร์มกลับจะได้ข้อมูลภาพในโดเมนสเปเชียล $g(x, y)$ ฟิลเตอร์ที่ถูกนำมาใช้สามารถทำให้เป็นแบบอุดมคติได้ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งแสดงสเปกตรัมของฟิลเตอร์แบบต่าง ๆ ซึ่งการลบสัญญาณรบกวนในเชิงความถี่ ฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำ ในรูปที่ 3.11 (ก) จะถูกเลือกใช้งาน โดยที่

$$F(u, v) = FFT \{ f(x, y) \} \quad (3.16 \text{ ก})$$

$$G(u, v) = F(u, v)H(u, v) \quad (3.16 \text{ ข})$$

$$g(x, y) = IFFT \{ G(u, v) \} \quad (3.16 \text{ ค})$$



รูปที่ 3.10 ระบบการประมวลผลภาพดิจิทัลใน โดเมนของความถี่



(ก) ฟิวเตอร์ผ่านความถี่ต่ำ (ข) ฟิวเตอร์ผ่านความถี่สูง

รูปที่ 3.11 สเปกตรัมของฟิวเตอร์แบบอุดมคติ

เนื่องจากค่าความถี่ต่ำที่ได้จะสอดคล้องกับพื้นหลัง (background) ของฉากที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มอย่างช้าๆ ในขณะที่ค่าความถี่สูงนั้นจะสอดคล้องกับบริเวณขอบขององค์ประกอบหรือวัตถุบนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของแสงอย่างรวดเร็ว จากความรู้ในเรื่องความสัมพันธ์ดังกล่าว จะทำให้กระบวนการฟิวเตอร์ที่ดำเนินการในสเปซเฟสโดเมนทำได้รวดเร็วและใช้กรรมวิธีง่ายๆ โดยการใช้หน้ากาก (mask) ที่เหมาะสม เทคนิคการฟิวเตอร์มีดังนี้

3.1.4.1 ฟิวเตอร์ผ่านความถี่ต่ำ (Lowpass filter)

ฟิวเตอร์ในโดเมนสเปซเฟสทำได้โดยการใช้หน้ากากของตัวดำเนินการเฉลี่ยค่าระดับสีเทาของจุดภาพอื่นรวมกับจุดภาพที่ต้องการ แนวทางนี้จะสอดคล้องกับเทคนิคการทำภาพให้มัว (blurring) หรือนุ่มนวล (softening) เพราะเป็นการรวมค่าระดับสีเทาของจุดภาพในบริเวณใกล้เคียงเข้าด้วยกัน ทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาในบริเวณที่พิจารณาขนาดของหน้ากากจะสอดคล้องกับค่าความถี่ตัดขอบโดยที่ขนาดสูงขึ้น หมายถึง ค่าความถี่ตัดขอบยิ่งต่ำลง หน้ากากที่ใช้ฟิวเตอร์ผ่านความถี่ต่ำดังรูปที่ 3.12

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{25} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{49} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ขนาด 3x3

ขนาด 5x5

ขนาด 7x7

รูปที่ 3.12 หน้ากากสำหรับฟิวเตอร์ผ่านความถี่ต่ำในโดเมนสเปซเฟสที่ขนาดต่างๆ

3.1.4.1.1 ฟิลเตอร์ในโดเมนของความถี่

ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว กระบวนการประมวลผลภาพในโดเมนความถี่จะต้องทำฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบคิซคริต ดังนั้นระบบ $H(u, v)$ มีคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้ว่าจะให้ทำการฟิลเตอร์ค่าความถี่อย่างไร

3.1.4.1.1.1 ฟิลเตอร์อุดมคติ (Ideal filter)

จะใช้ $H(u, v)$ ตามรูปที่ 3.12 ก ดังสมการที่ (3.17) ในการจัดการค่าความถี่ $F(u, v)$ ตามสมการที่ (3.16 ก) จากนั้นทำการทรานส์ฟอร์มกลับไปอยู่ในโดเมนสเปเชียล ตามสมการที่ (3.16 ค)

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & , \sqrt{u^2 + v^2} < C \\ 0 & , \sqrt{u^2 + v^2} > C \end{cases} \quad (3.17)$$

โดยที่ C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

3.1.4.1.1.2 ฟิลเตอร์แบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth filter) จะให้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์การกิบส์ (Gibbs phenomenon) ซึ่งเป็นระลอกของค่าระดับสีเทาในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง โดยเฉพาะขอบขององค์ประกอบทำให้คุณภาพของภาพลดลง ฟิลเตอร์ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงบริเวณค่าความถี่ตัดขอบอย่างค่อยเป็นค่อยไปจึงถูกนำมาใช้แทนและฟิลเตอร์ที่นิยมใช้กันมากคือ ฟิลเตอร์แบบบัตเตอร์เวิร์ธ ดังสมการที่ 3.18

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C} \right]^{2n}} \quad (3.18)$$

โดยที่ n เป็นอันดับของตัวกรองที่เป็นค่าจำนวนเต็มบวก

C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

3.1.4.2 ฟิลเตอร์ผ่านค่าความถี่สูง (Highpass filter)

ฟิลเตอร์ในโดเมนสเปเชียลทำได้โดยใช้หน้ากากของตัวดำเนินการ โดยใช้หลักการสร้างความแตกต่างของจุดภาพที่ต้องการออกจากจุดภาพข้างเคียง แนวทางเช่นนี้เป็นแนวทางเดียวกับการทำภาพให้คมชัด (shapening) หน้ากากจะมีขนาด 3×3 ดังแสดงในรูปที่ 3.13

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.13 หน้ากากสำหรับฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูงในโดเมนสเปเชียล

3.1.4.2.1 ฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่

3.1.4.2.1.1 ฟิลเตอร์อุดมคติ (Ideal filter) จะใช้ $H(u, v)$ ดังรูปที่ 3.11 (ข) ในการจัดการคำนวณความถี่ $F(u, v)$ ตามสมการที่ (3.16 ก) จากนั้นทำการแปลงกลับไปอยู่ในโดเมนสเปเชียลตามสมการที่ (3.16 ค) โดยที่

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & , \sqrt{u^2 + v^2} < C \\ 1 & , \sqrt{u^2 + v^2} > C \end{cases} \quad (3.19)$$

โดยที่ C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

3.1.4.2.1.2 ฟิลเตอร์แบบบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth filter) ฟิลเตอร์บัตเตอร์เวิร์ธที่เป็นแบบผ่านความถี่สูงมีสมการดังนี้

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{C}{\sqrt{u^2 + v^2}} \right]^{2n}} \quad (3.20)$$

โดยที่ C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

3.1.4.3 ฟิลเตอร์แบบมัธยฐาน (Median Filter)

ฟิลเตอร์แบบมัธยฐานถูกเสนอใช้เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้ฟิลเตอร์ผ่านค่าความถี่ต่ำๆไป คือการลดสัญญาณรบกวนลงได้โดยไม่ทำให้ภาพพร่ามัวมากนัก หลักการทำงานของฟิลเตอร์แบบมัธยฐาน คือ การเปลี่ยนจากการใช้ค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาไปเป็นการใช้ค่าระดับสีเทาของจุดภาพรอบๆ ที่เป็นค่ามัธยฐานแทน กล่าวคือ

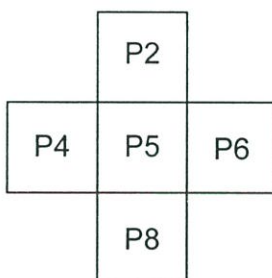
$$g(i, j) = \text{MEDIAN} \{ f(i+k, j+l) \dots, (k, l) \in A(i, j) \in L \times L \} \quad (3.21)$$

โดยที่ $L \times L$ เป็นขนาดของภาพ $A \subset L \times L$ เป็นขนาดของหน้ากากของฟิลเตอร์

3.1.4.4 ฟิวเตอร์แบบมัธยฐานเทียม (Pseudomedian filter)

เนื่องจากฟิวเตอร์มัธยฐานมีข้อจำกัดในด้านเวลาในการประมวลผลซึ่งเป็นฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลกับขนาดของหน้าภาพฟิวเตอร์แบบมัธยฐานเทียมจึงถูกนำมาใช้งานแทน หลักการของฟิวเตอร์แบบมัธยฐานเทียมจะเป็นเช่นเดียวกับฟิวเตอร์มัธยฐาน คือ การหาค่ามัธยฐานของค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่พิจารณาพร้อมจุดข้างเคียง แต่ลดจำนวนจุดภาพข้างเคียงลงเหลือแต่ในแนวตั้งและแนวนอนเท่านั้น ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งไม่ได้ใช้ค่ามัธยฐานโดยตรง แต่ต้องนำไปคำนวณหาค่าที่ต้องการต่อไปดังสมการที่ 3.22

$$P_{\text{pseudomedian}} = \frac{1}{2} \text{Max}\{\min(P4, P5, P6), \min(P2, P5, P8)\} + \frac{1}{2} \min\{\text{Max}(P2, P5, P6), \text{Max}(P2, P5, P8)\} \quad (3.22)$$



รูปที่ 3.14 จุดภาพที่ใช้ในตัวกรองมัธยฐานเทียม

ฟิวเตอร์มัธยฐานเทียม ใช้ลดสัญญาณรบกวนประเภทซอลท์แอนด์เปปเปอร์ (salt and pepper) ได้ดี เนื่องจากพจน์แรกทางขวามือของสมการที่ (3.22) จะได้ค่าที่น้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งเหมาะสมต่อการลดสัญญาณรบกวนประเภทซอลท์ (สัญญาณรบกวนที่เป็นจุดมีค่าระดับสีเทาสีเทาสูงกว่าจุดภาพข้างเคียง) และพจน์ที่สองทางขวามือของสมการเดียวกัน จะได้ค่าที่มากกว่าค่ามัธยฐาน และเหมาะสมต่อการลดสัญญาณรบกวนประเภทเปปเปอร์ (สัญญาณรบกวนที่เป็นจุดมีค่าระดับสีเทาสีเทาต่ำกว่าจุดภาพข้างเคียง)

3.1.4.5 ฟิวเตอร์ยกค่าความถี่สูง (High-boost filter)

เนื่องจากฟิวเตอร์ผ่านความถี่สูงอาจพิจารณาได้ว่าเป็นผลต่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ผ่านฟิวเตอร์ผ่านความถี่ต่ำนั้นคือ

$$\text{ภาพจากฟิวเตอร์ผ่านความถี่สูง} = \text{ภาพต้นฉบับ} - \text{ภาพจากฟิวเตอร์ผ่านความถี่ต่ำ}$$

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการแสดงให้เห็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาได้ชัดเจนขึ้นจะเสมือนกับการเพิ่มค่าความถี่สูงในบริเวณดังกล่าว เทคนิคดังกล่าวเรียกว่า ฟิวเตอร์ยกค่าความถี่สูง โดยการเพิ่มขนาดของค่าระดับสีเทาของภาพต้นฉบับ นั่นคือ

$$\begin{aligned} \text{ภาพจากฟิลเตอร์ยกความถี่สูง} &= (K)(\text{ภาพต้นฉบับ}) - \text{ภาพจากฟิลเตอร์ความถี่ต่ำ} \\ &= (K-1)(\text{ภาพต้นฉบับ}) + \text{ภาพจากฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูง} \quad (3.23) \end{aligned}$$

โดยที่ $K > 1$ เป็นค่าคงตัว ถ้า $K = 1$ จะได้ฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูงธรรมดา

3.1.4.6 ฟิลเตอร์อนุพันธ์ (Derivative filter)

ฟิลเตอร์อนุพันธ์ ใช้เทคนิคเกี่ยวกับการตรวจหาขอบโดยวิธีเกรเดียนต์ที่พยายามดึงเอาบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาออกมาก ๆ ออกมา ซึ่งสอดคล้องกับการดึงเอาค่าความถี่สูงออกมาเช่นกัน หมายความว่า การทำงานของฟิลเตอร์อนุพันธ์จะเป็นเช่นเดียวกับฟิลเตอร์ผ่านค่าความถี่สูง ดังนั้นฟิลเตอร์อนุพันธ์จะมีความแตกต่างกันโดยขึ้นกับลักษณะของตัวดำเนินการเช่นเดียวกับวิธีเกรเดียนต์

3.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement)

กรณีที่ภาพมีความบกพร่อง อย่างเช่น มีปัญหาในการบันทึกภาพจากความบกพร่องของกระบวนการบันทึก หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกหรือมีสัญญาณรบกวนในระหว่างการส่งข้อมูลภาพผ่านช่องการสื่อสาร และอื่นๆ ภาพที่บกพร่องจะต้องได้รับการปรับปรุงและแก้ไขเช่นเดียวกับสัญญาณทั่วไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องพร้อมที่จะนำไปใช้งานอื่นได้ต่อไป อย่างไรก็ตาม สำหรับภาพที่เป็นสัญญาณ 2 มิติ ที่บางครั้งอาจพิจารณากำหนดให้แต่ละมิติไม่มีความสัมพันธ์ได้ โดยการมองเป็นสัญญาณรูปแบบหนึ่ง แต่บางครั้งแต่ละมิติมีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้งเมื่อมองในรูปแบบขององค์ประกอบและวัตถุต่างๆ เทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของภาพจึงมีการจัดแบ่งออกเป็น 2 แนวทางที่แตกต่างกันตามหลักการดังกล่าว และบางเทคนิคในกลุ่มนี้เป็นเทคนิคเดียวกันกับการวิเคราะห์ภาพ พิจารณาจากวัตถุประสงค์ในการนำเทคนิคนั้นๆ มาใช้งาน ดังต่อไปนี้

3.2.1 การทำภาพให้คมชัด (Image sharpening)

ดังได้กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อของตัวกรองผ่านความถี่สูง การทำภาพให้คมชัด คือการฟิลเตอร์ความถี่ต่ำทิ้งไปและมีกระบวนการ 2 แนวทางคือ ดำเนินการในโดเมนสเปเชียลและในโดเมนความถี่ ดังนั้นฟังก์ชันต่างๆของการทำภาพให้คมชัดจะเหมือนกับฟังก์ชันของฟิลเตอร์ผ่านความถี่สูง

3.2.2 การทำภาพให้นุ่มนวล หรือ มัว (Image softening or smoothing or blurring)

เช่นเดียวกับการทำภาพให้คมชัดที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการในการฟิลเตอร์ แต่การทำภาพให้นุ่มนวลจะตรงกับการฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำ มีกระบวนการ 2 แนวทาง คือ ดำเนินการในโดเมนสเปเชียลและในโดเมนความถี่นอกจากนี้วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งของการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคนี้ คือ การลดผลของสัญญาณรบกวน

3.2.3 การกระจายค่าฮิสโตแกรม (Histogram equalization)

เทคนิคการกระจายค่าฮิสโตแกรมถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงค่าคอนทราสต์ (contrast) ของภาพให้ดีขึ้นซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากเพราะทำได้ง่ายโดยใช้หลักการให้มีการกระจายค่าฮิสโตแกรมของระดับสีเทาของภาพอย่างสม่ำเสมอมากที่สุด โดยอาศัยค่าความน่าจะเป็นเข้าช่วย ดังสมการที่ (3.24)

$$g_k = T\{f_k\} = \sum_{k=0}^m p_f(f_k) = \sum_{k=0}^m \frac{n_k}{n} \quad ; m = 0, 1, \dots \quad (3.24)$$

โดยที่ n_k คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่มีค่าระดับสีเทาที่ k

n คือจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพ

$p_f(f_k)$ คือค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ k

f_k คือตัวแปรค่าที่แทนระดับสีเทาที่ k ของภาพที่จะปรับปรุงมีค่าระหว่าง 0 และ 1

g_k คือค่าระดับสีเทาของภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว

T คือการทรานส์ฟอร์มแบบไม่เชิงเส้น $m = 0, 1, \dots$

3.2.4 การแจกแจงความถี่ฮิสโตแกรม (Histogram distribution)

การแจกแจงค่าฮิสโตแกรมเป็นการปรับปรุงมาจากเทคนิคการกระจายค่าฮิสโตแกรมให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแจกแจงค่าฮิสโตแกรมจะใช้ค่าความน่าจะเป็นที่มีการกระจายค่าฮิสโตแกรมจะใช้ค่าความน่าจะเป็นที่มีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม(uniform distribution) เท่านั้นจึงปรับแต่งให้สามารถแจกแจงได้หลากหลายขึ้น

สมมติให้ $u(x) \geq 0$ เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องที่มีค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นคือ $p_u(u)$ และการกำหนดค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นให้เป็น $p_v(v)$ ทั้งนี้ ประบวนการทรานส์ฟอร์มจะเป็นจริง ถ้าตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม นั่นคือ

$$w \triangleq \int_0^u p_u(x) dx = F_u(u) \quad (3.25)$$

สัมพันธ์กับ

$$w \triangleq \int_0^v p_v(y) dy = F_v(v) \quad (3.26)$$

ดังนั้น

$$v = F_v^{-1}\{F_u(u)\} \quad (3.27)$$

ซึ่งก็คือกระบวนการทรานส์ฟอร์มกลับที่ทำให้ได้ภาพตามที่ต้องการ ในกรณีของตัวแปรสุ่มแบบดิสครีต $u(n)$ และ $v(n)$ จะมีค่า x_i และ y_i ตามลำดับ และมีค่าความน่าจะเป็น $p_u(x_i)$ และ $p_v(y_i)$ ตามลำดับ โดยที่ $i = 0, 1, \dots, L-1$ และมีกระบวนการเช่นเดียวกับกรณีตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง คือ

$$w \triangleq \sum_0^u p_u(x_i) \quad (3.28)$$

และ

$$w_k \triangleq \sum_0^k p_v(y_i) \quad , k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (3.29)$$

ทั้งนี้อัลกอริทึมของการแจกแจงค่าฮิสโตแกรม มีขั้นตอนดังนี้

- ทำการกระจายค่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับตามสมการที่ (3.29)
- กำหนดแบบการกระจายค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $p_v(y_i)$ ตามที่ต้องการ และคำนวณ w
- ทำการแปลงกลับตามสมการที่ (3.28)

รูปการแจกแจงค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเลือกได้ 3 แบบ คือ

- 1) แจกแจงสม่ำเสมอ (uniform distribution)
- 2) แจกแจงแบบพาราโบลา (parabolic distribution)
- 3) แจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential distribution)

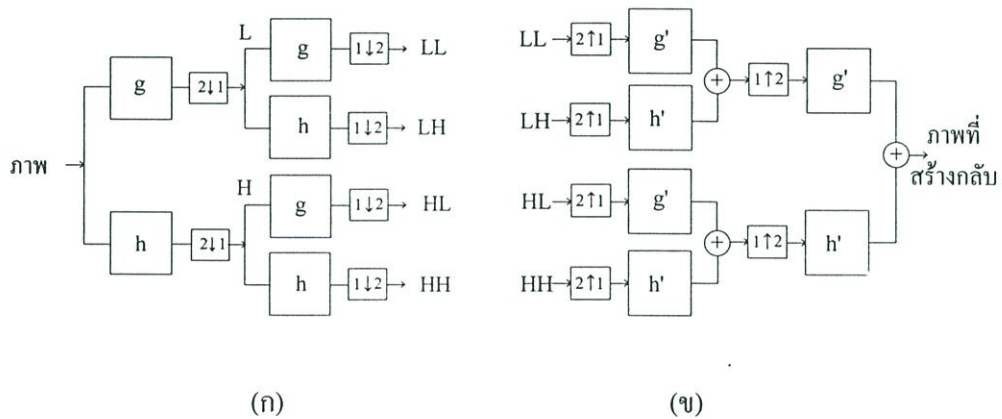
และการทรานส์ฟอร์มกลับมีรูปแบบให้เลือกได้ 3 แบบ เช่นกัน คือ

- 1) ทรานส์ฟอร์มเชิงเส้น (linear transformation)
- 2) ทรานส์ฟอร์มแบบพาราโบลา (parabolic transformation)
- 3) ทรานส์ฟอร์มทั่วไป (generalized transformation) ที่สามารถระบุอันดับที่ต้องการได้

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การแยกองค์ประกอบและการสร้างกลับของข้อมูล

เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบแยกองค์ประกอบหลายครั้ง จะถูกใช้เพื่อกระจายส่วนประกอบของภาพออกเป็นส่วนๆ โดยจะเรียกแต่ละส่วนนั้นว่ากลุ่มย่อย ซึ่งประกอบด้วยส่วนของภาพที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำ L และส่วนที่อยู่ในช่วงความถี่สูง H รูปที่ 4.1(ก) แสดงถึงการแยกองค์ประกอบของสัญญาณภาพปกติ ออกเป็นกลุ่มย่อย ในขั้นตอนที่ 2 กลุ่มย่อยจะถูกแยกองค์ประกอบออกมาซึ่งประกอบด้วย LL, LH, HL และ HH โดยที่ LL คือกลุ่มย่อยของความถี่ต่ำ และ LH, HL และ HH เป็นรูปภาพในแนวนอน แนวตั้งและแนวทแยง กลุ่มย่อยของความถี่สูง และเป็นส่วนที่บรรจุรายละเอียดของภาพที่ต้องการศึกษา ในรูปที่ 4.1 (ก) g และ h เป็นฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำและความถี่สูงของการแยกองค์ประกอบมิตติเดียวตามลำดับ ในรูปที่ 4.1 (ข) แสดงถึงการสร้างกลับของแต่ละกลุ่มย่อย โดยที่ g' และ h' เป็นฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำและความถี่สูงของการสร้างกลับแบบมิตติเดียวตามลำดับ



รูปที่ 4.1 โครงร่างของเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม

- (ก) การแยกองค์ประกอบภาพออกเป็น LL, LH, HL, และ HH.
- (ข) การสร้างกลับของ LL, LH, HL, และ HH เพื่อให้ได้รูปภาพใหม่

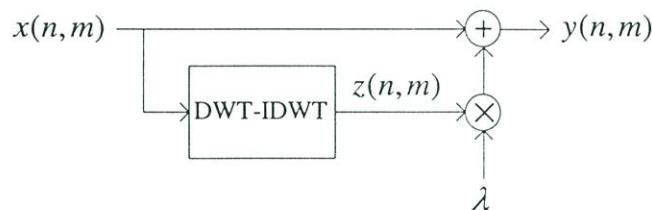
เวฟเล็ตของคิวเบอร์ซีสเวฟเล็ตแบบสี่แท็บ (db4) จะถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณตามเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง (DWT) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ ในตารางที่ 4.1 จะแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ของการแยกองค์ประกอบและการสร้างกลับที่ได้จากเวฟเล็ตของคิวเบอร์ซีสเวฟเล็ตแบบสี่แท็บ

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ฟิลเตอร์ในการกระแยกองค์ประกอบและสร้างกลับของเวฟเล็ตของคิวเบอร์
ซึ่งเวฟเล็ตแบบสี่แท่ง

| N | h | g | h' | g' |
|---|---------|---------|---------|---------|
| 0 | -0.2304 | -0.0106 | -0.0106 | 0.2304 |
| 1 | 0.7148 | 0.0329 | -0.0329 | 0.7148 |
| 2 | -0.6309 | 0.0308 | 0.0308 | 0.6309 |
| 3 | -0.0280 | -0.1870 | 0.1870 | -0.0280 |
| 4 | 0.1870 | -0.0280 | -0.0280 | -0.1870 |
| 5 | 0.0308 | 0.6309 | -0.6309 | 0.0308 |
| 6 | -0.0329 | 0.7148 | 0.7148 | 0.0329 |
| 7 | -0.0106 | 0.2304 | -0.2304 | -0.0106 |

4.2 วิธีการของหน้ากากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้

ในรูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมพื้นฐานวิธีการของหน้ากากเพิ่มความคมชัด ภาพ $y(n, m)$ โดยที่ $x(n, m)$ เป็นภาพอินพุตและ $z(n, m)$ เป็นภาพซึ่งเป็นส่วนประกอบความถี่สูงได้จากเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มของภาพอินพุต และ λ เป็นสเกลลิงแฟกเตอร์ที่ซึ่งใช้ควบคุมระดับของการเพิ่มความคมชัดของสัญญาณภาพแต่ละจุดเพื่อให้ได้ภาพเอาต์พุต



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของหน้ากากรูปร่างสำหรับเพิ่มความคมชัดของภาพโดยใช้เวฟเล็ตทรานส์ฟอร์ม

ส่วนประกอบความถี่สูงจากเวฟเล็ตทรานส์ฟอร์มประกอบด้วยภาพแนวนอน แนวตั้งและแนวทแยง กำหนดให้ $z_x(n, m)$, $z_y(n, m)$, และ $z_d(n, m)$ แทนด้วยภาพแนวนอน แนวตั้งและแนวทแยงตามลำดับ λ_x , λ_y , และ λ_d เป็นค่าสเกลลิงที่เหมาะสมสำหรับภาพแนวนอน แนวตั้งและแนวทแยงตามลำดับ

วัตถุประสงค์หลักของวิธีการเพิ่มความคมชัดคือการเพิ่มช่วงไดนามิกเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นรายละเอียดและคงค่าในพื้นที่ราบเรียบไว้ ตัวกระทำ $g(\cdot)$ ถูกใช้เพื่อคำนวณหาช่วงไดนามิกเฉพาะในพื้นที่สำหรับรูปภาพอินพุตและเอาต์พุต ตามรูปแบบของหน้ากากขนาด 3×3 ดังรูปที่ 4.3

| | | |
|----|----|----|
| -1 | -1 | -1 |
| -1 | 8 | -1 |
| -1 | -1 | -1 |

รูปที่ 4.3 แสดงหน้ากากที่ใช้ในการหาค่าตัวกระทำ $g(\cdot)$

สามารถคำนวณหาค่าตัวกระทำ $g(\cdot)$ ได้ดังสมการที่ (4.1) และ (4.2)

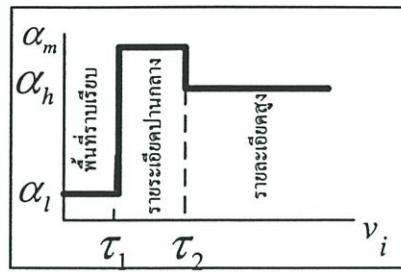
$$g_x(n, m) = x(n-1, m-1) - x(n, m-1) - x(n+1, m-1) - x(n-1, m) + 8x(n, m) - x(n+1, m) - x(n-1, m+1) - x(n, m+1) - x(n+1, m+1) \quad (4.1)$$

$$g_y(n, m) = y(n-1, m-1) - y(n, m-1) - y(n+1, m-1) - y(n-1, m) + 8y(n, m) - y(n+1, m) - y(n-1, m+1) - y(n, m+1) - y(n+1, m+1) \quad (4.2)$$

โดยที่ $\alpha(n, m)$ คือ อัตราขยายช่วงไดนามิก ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\alpha(n, m) = \begin{cases} \alpha_l & , v_i(n, m) < \tau_1 \\ \alpha_m & , \tau_1 < v_i(n, m) < \tau_2 \\ \alpha_h & , v_i(n, m) > \tau_2 \end{cases} \quad (4.3)$$

และ $\alpha_l, \alpha_m, \alpha_h$ จะถูกเลือกเพื่อให้ได้ระดับเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงที่ต้องการของการเพิ่มความคมชัดที่รูปภาพเอาต์พุต τ_1, τ_2 เป็นค่าเทรชโฮลที่จะกำหนดช่วงของค่าความแปรปรวนว่าจะถูกกำหนดเป็นพื้นที่ราบเรียบ ($v_i(n, m) < \tau_1$) รายละเอียดปานกลาง ($\tau_1 < v_i(n, m) < \tau_2$) และรายละเอียดสูง $v_i(n, m) > \tau_2$ ดังรูปที่ 4.4



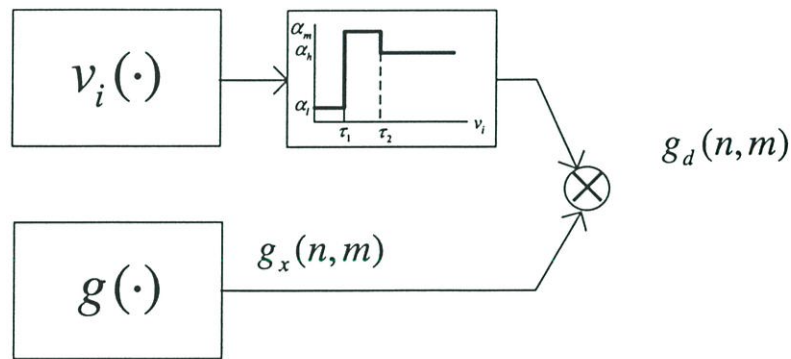
รูปที่ 4.4 แสดงการปรับอัตราขยายช่วงไดนามิกตามค่าความแปรปรวน โดยถูกกำหนดไว้เป็นช่วงๆ

และ $v_i(n, m)$ เป็นค่าความแปรปรวนเฉพาะพื้นที่ ที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.4)

$$v_i(n, m) = \frac{1}{9} \sum_{i=n-1}^{n+1} \sum_{j=m-1}^{m+1} (x(n, m) - \bar{x}(n, m))^2 \tag{4.4}$$

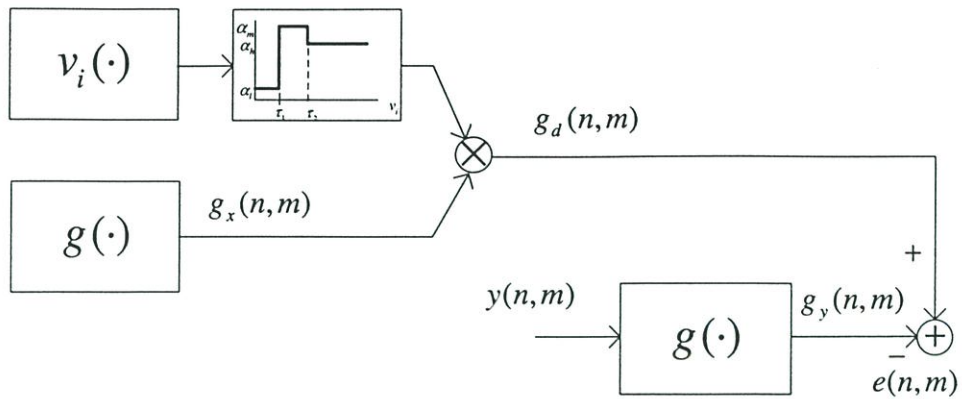
โดยที่ $\bar{x}(n, m)$ คือค่าเฉลี่ยของ $x(n, m)$

เมื่อได้อัตราขยายช่วงไดนามิกแล้ว จากนั้นนำค่าที่ได้มาคูณกับค่าช่วงไดนามิก $g_s(n, m)$ ดังรูปที่ 4.5 จะได้ช่วงไดนามิกที่ต้องการ $g_d(n, m)$ และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.5 แสดงบล็อกโคอะแกรมการคำนวณหาช่วงไดนามิกที่ต้องการ

นำค่าช่วงไดนามิกที่ต้องการมาลบออกจากค่าช่วงไดนามิกจริงจากเอาต์พุตจะได้ค่าความคลาดเคลื่อน $e(n, m)$ ดังรูปที่ 4.6 โดยที่การกระทำแบบนี้จะวนซ้ำอยู่เรื่อยๆจนกว่าค่าความคลาดเคลื่อนลดต่ำลงจนถึงค่าที่ยอมรับได้

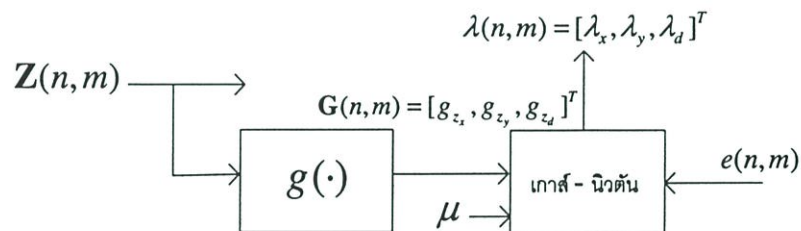


รูปที่ 4.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมการหาค่าความคลาดเคลื่อน

เพื่อจะปรับปรุงสเกลลิงแฟกเตอร์ $\lambda(n, m)$ วิธีการของเกาส์-นิวตันจะถูกนำมาใช้ดังสมการที่ (4.5)

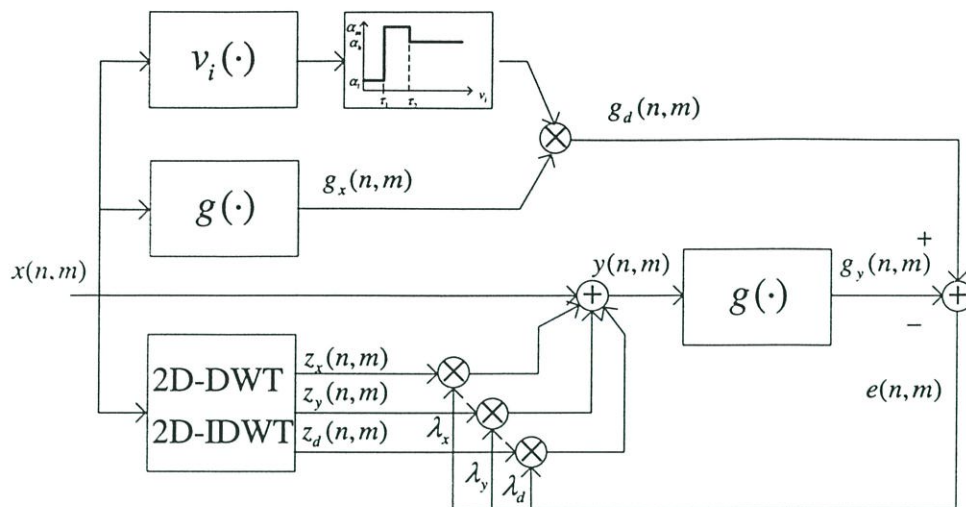
$$\lambda(n, m+1) = \lambda(n, m) + 2\mu e(n, m) \mathbf{R}^{-1}(n, m) \mathbf{G}(n, m) \quad (4.5)$$

โดยที่ $e(n, m) = g_d(n, m) - g_y(n, m)$ คือความคลาดเคลื่อนของช่วงไดนามิกเฉพาะพื้นที่ $\mathbf{R}(n, m)$ คือการประมาณของเมตริกซ์สหสัมพันธ์อัตโนมัติของเวกเตอร์อินพุต $\mathbf{G}(n, m)$ และ μ คือค่าคงที่ใด ๆ ในรูปที่ 4.7 แสดงการนำองค์ประกอบต่างๆมาเป็นอินพุตของกระบวนการหาค่าสเกลลิงแฟกเตอร์



รูปที่ 4.7 แสดงกระบวนการหาค่าสเกลลิงแฟกเตอร์

สุดท้ายนำบล็อกไดอะแกรมย่อยมารวมเข้าด้วยกันจะได้บล็อกไดอะแกรมระบบทั้งหมดของการเพิ่มความคมชัดอาศัยหน้าฉากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบทั้งหมดของหน้าภาพเพิ่มความคมชัดอาศัยหน้าภาพเพิ่มความคมชัดแบบปรับค่าได้โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม

บทที่ 5

ผลการทดลอง

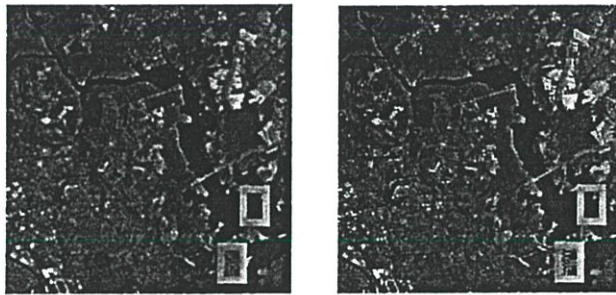
การทดลองจะใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท (Landsat) เป็นข้อมูลภาพอินพุต เพื่อดูความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบและภาพที่ได้รับการเพิ่มความคมชัดจากการทดลอง โดยจะกำหนดค่าคุณสมบัติของพารามิเตอร์ $\mu, \tau_1, \tau_2, \alpha_1, \alpha_m$ และ α_h ออกเป็น 4 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มจะมีค่า τ_1 และ τ_2 ที่แตกต่างกัน เพื่อให้เห็นผลลัพธ์จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกันออกไป

โดยจากการทดลอง ได้สุ่มพื้นที่ราบเรียบที่ตำแหน่งจุดด้านแนวตั้งที่ 198 ถึง 218 และด้านแนวนอนที่ 172 ถึง 192 ส่วนพื้นที่ที่เป็นรายละเอียดพิจารณาที่ตำแหน่งจุดด้านแนวตั้งที่ 185 ถึง 215 และด้านแนวนอนที่ 209 ถึง 239

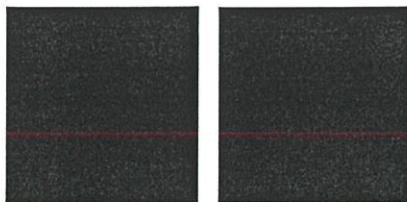
5.1 ผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองที่ 1 กำหนดพารามิเตอร์ $\mu = 0.1, \tau_1 = 100, \tau_2 = 150, \alpha_1 = 1, \alpha_m = 4$ และ $\alpha_h = 3$

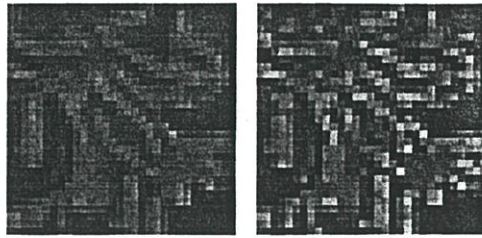
รูปที่ 5.1 ก) แสดงให้เห็นภาพถ่ายดาวเทียมต้นฉบับ ส่วนรูปที่ 5.1 ข) คือภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดและรูปที่ 5.2 และ 5.3 แสดงให้เห็นส่วนขยายของพื้นที่บริเวณที่ราบเรียบและบริเวณที่เป็นรายละเอียด



รูปที่ 5.1 ก) ภาพถ่ายดาวเทียมต้นฉบับ ข) ภาพที่ได้จากการทดลอง



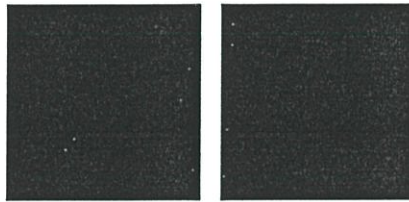
รูปที่ 5.2 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่เรียบการทดลองที่ 1



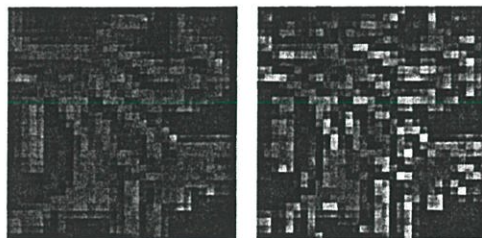
รูปที่ 5.3 ภาพเปรียบเทียบบริเวณที่เป็นรายละเอียดการทดลองที่ 1

5.1.2 การทดลองที่ 2 กำหนดพารามิเตอร์ $\mu = 0.1, \tau_1 = 50, \tau_2 = 150, \alpha_l = 1, \alpha_m = 4$ และ $\alpha_h = 3$

รูปที่ 5.4 แสดงภาพส่วนขยายของบริเวณพื้นที่ราบเรียบและ รูปที่ 5.5 แสดงถึงบริเวณที่เป็นรายละเอียด โดยจะเปรียบเทียบให้เห็นระหว่างภาพต้นฉบับด้านซ้ายและ ภาพที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดด้านขวามือ



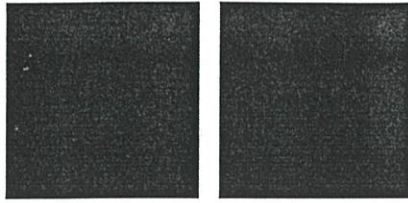
รูปที่ 5.4 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่เรียบการทดลองที่ 2



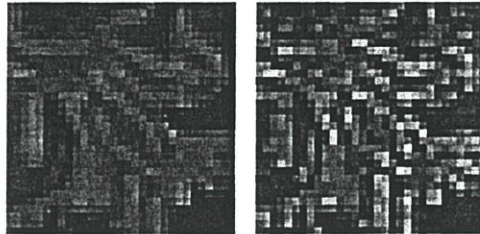
รูปที่ 5.5 ภาพเปรียบเทียบบริเวณที่เป็นรายละเอียดการทดลองที่ 2

5.1.3 การทดลองที่ 3 กำหนดพารามิเตอร์ $\mu = 0.1, \tau_1 = 10, \tau_2 = 200, \alpha_l = 1, \alpha_m = 4$ และ $\alpha_h = 3$

รูปที่ 5.6 แสดงภาพส่วนขยายของบริเวณพื้นที่ราบเรียบและ รูปที่ 5.7 แสดงถึงบริเวณที่เป็นรายละเอียด โดยจะเปรียบเทียบให้เห็นระหว่างภาพต้นฉบับด้านซ้ายและ ภาพที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดด้านขวามือที่ได้จากการกำหนดพารามิเตอร์ที่แตกต่างออกไป



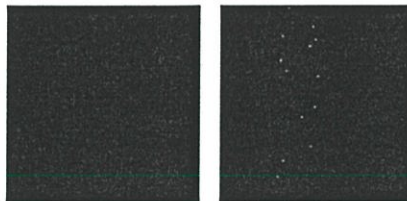
รูปที่ 5.6 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่เรียบการทดลองที่ 3



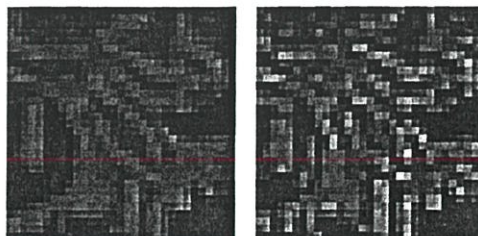
รูปที่ 5.7 ภาพเปรียบเทียบบริเวณที่เป็นรายละเอียดการทดลองที่ 3

5.1.4 การทดลองที่ 4 กำหนดพารามิเตอร์ $\mu = 0.3, \tau_1 = 10, \tau_2 = 200, \alpha_l = 1, \alpha_m = 4$ และ $\alpha_h = 3$

รูปที่ 5.8 แสดงภาพส่วนขยายของบริเวณพื้นที่ราบเรียบและ รูปที่ 5.9 แสดงถึงบริเวณที่เป็นรายละเอียด โดยจะเปรียบเทียบให้เห็นระหว่างภาพต้นฉบับด้านซ้ายและ ภาพที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดด้านขวามือที่ได้จากการกำหนดพารามิเตอร์ที่แตกต่างออกไป



รูปที่ 5.8 ภาพเปรียบเทียบบริเวณพื้นที่เรียบการทดลองที่ 4



รูปที่ 5.9 ภาพเปรียบเทียบบริเวณที่เป็นรายละเอียดการทดลองที่ 4

ผลลัพธ์จากการทดลองทั้ง 4 จะเห็นได้ว่ารูปภาพที่ได้จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากการกำหนดคุณสมบัติของภาพที่แตกต่างกันออกไป เพื่อยืนยันผลการทดลอง จึงตัวเลขด้วยค่าความแปรปรวนของภาพแต่ละภาพที่ได้ทั้งส่วนของภาพที่เป็นพื้นที่เรียบ และส่วนของภาพที่เป็นรายละเอียด โดยค่าความแปรปรวนที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของการทดลอง

| ลำดับการทดลอง | ความแปรปรวน บริเวณพื้นที่เรียบ | ความแปรปรวนบริเวณที่เป็น รายละเอียด |
|---------------------|-----------------------------------|--|
| ภาพถ่ายต้นฉบับ | 3.25 | 1105.36 |
| ภาพจากการทดลองที่ 1 | 3.25 | 1674.14 |
| ภาพจากการทดลองที่ 2 | 3.25 | 1869.47 |
| ภาพจากการทดลองที่ 3 | 3.25 | 1891.15 |
| ภาพจากการทดลองที่ 4 | 3.25 | 1780.30 |

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าค่าความแปรปรวนของภาพที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดบริเวณพื้นที่ราบเรียบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและค่าความแปรปรวนในบริเวณที่เป็นรายละเอียดมีค่าสูงกว่าค่าความแปรปรวนของภาพต้นฉบับ นั่นหมายความว่า การเพิ่มความคมชัดอาศัยหน้ากากเพิ่มความคมชัดสอดคล้องกับหลักเกณฑ์การปรับปรุงความคมชัดของภาพ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มความคมชัดให้กับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยอาศัยวิธีการของเกาส์-นิวตันและเวฟเล็ททรานส์ฟอร์มเพื่อเพิ่มความคมชัดของข้อมูลภาพในจุดหรือพื้นที่ที่ต้องการ โดยจะทำการเพิ่มความคมชัดในส่วนของพื้นที่ที่เป็นรายละเอียดเท่านั้น แต่ส่วนของพื้นที่ราบเรียบก็ยังคงไว้เหมือนภาพต้นฉบับ การเพิ่มความคมชัดของภาพดังกล่าวจะถูกวิเคราะห์และกระทำโดยหลักการของเวฟเล็ททรานส์ฟอร์ม โดยที่ข้อมูลภาพจะถูกแยกองค์ประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งรายละเอียดของข้อมูลภาพในแนวนอน แนวตั้งและแนวทะแยง แล้วนำข้อมูลภาพนั้นกลับมาคูณกับค่าสเกลลิงแพกเตอร์ซึ่งได้จากวิธีของเกาส์-นิ จากนั้นนำเอาที่หุดที่ได้ไปบวกกับภาพต้นฉบับ เพื่อให้ได้มาซึ่งการเพิ่มรายละเอียดของภาพในพื้นที่ที่เป็นรายละเอียด โดยในส่วนพื้นที่ราบเรียบก็ยังคงข้อมูลเดิมไว้

ผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนของภาพที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดจะเพิ่มขึ้นในส่วนพื้นที่ที่มีรายละเอียดเท่านั้น ส่วนของพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบเรียบยังคงมีค่าความแปรปรวนเท่าเดิม โดยความแปรปรวนที่ได้นี้แสดงถึงปริมาณรายละเอียดของภาพที่มีความคมชัดมากขึ้น ซึ่งยังมีค่าความแปรปรวนมากแสดงว่ารายละเอียดของภาพในส่วนนั้นเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน ยิ่งค่าความแปรปรวนมีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่ารายละเอียดของภาพในส่วนนั้นลดลงหรือไม่มีรายละเอียดเลย

สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า หน้ากากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์มตามที่ได้นำเสนอ แสดงคุณสมบัติที่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์การปรับปรุงความคมชัดที่ต้องการ นั่นคือที่ค่าความแปรปรวนของพื้นที่ราบเรียบไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ในพื้นที่ที่มีรายละเอียดมีค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าในการเพิ่มความคมชัดของภาพถ่ายดาวเทียมโดยเทคนิคหน้ากากเพิ่มความคมชัดแบบปรับตัวได้โดยใช้เวฟเล็ททรานส์ฟอร์มสามารถเพิ่มความคมชัดของภาพส่วนพื้นที่ที่มีรายละเอียด แต่ปัญหาที่พบในการทดลองก็คือ การกำหนดคุณสมบัติของพารามิเตอร์ค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องซึ่งมีผลต่อการทดลองโดยตรง โดยจะต้องทำการทดลองและทดสอบเปลี่ยนสลับค่าต่างๆเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดด้วยวิธีการลองผิดลองถูก

สำหรับการพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรม สามารถปรับปรุงเพื่อนำไปใช้งานจริงและใช้ได้กับงานที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ภาพสี ภาพ 3 มิติ ภาพถ่ายทางอากาศ หรือข้อมูลดิจิทัลในรูปแบบอื่นๆ เช่น ข้อมูลเสียง ข้อมูลภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น เพื่อเพิ่มรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการแล้วนำข้อมูลที่ผ่านการเพิ่มความคมชัดไปใช้ประโยชน์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Daubechies, (1992). Ten Lectures on Wavelets. **Philadelphia, PA: SIAM.**
- [2] A. Polesel, G. Ramponi, and V. J. Mathews, (2000). Image enhancement via adaptive unsharp masking. **IEEE Trans. Image Processing**, 9(3):505-510.
- [3] S. Mallat, (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. **IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.**, 11(7):674-693.
- [4] I. Daubechies. November 1988. **Orthonormal bases of compactly supported wavelets.** Communication in Pure and Applied Mathematics. Vol. 41, pp 909-996
- [5] B. Widrow and S.D. Steams, **Adaptive Signal Processing.** Englewood Cliffs, NJ:Prentice, 1985
- [6] ประพนธ์ รักประทานพร. 2546. “การสร้างลายน้ำภาพดิจิทัลโดยใช้การแปลงเวฟเล็ต” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] C. S. Burrus and et al. 1998. **Introduction to wavelets and wavelet transforms : A primer.** New Jersey : Prentice Hall International Inc.
- [8] สมชาย จิตะพันธ์กุล. 2541, “โปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และ ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล” โครงการสิ่งประดิษฐ์ กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] S.Chitwong, S.Phahonyothin, P.Nilas and F.Cheevasuvit, "Contrast Enhancement of Satellite Image Base On Adaptive Unsharp Masking Using Wavelet Transform" ASPRS Prospecting for Geospatial Information Integration, Reno, Nevada, May 1-5, 2006

CONTRAST ENHANCEMENT OF SATELLITE IMAGE BASED ON ADAPTIVE UNSHARP MASKING USING WAVELET TRANSFORM

S. Chitwong, S. Phahonyothin, P. Nilas and F. Cheevasuvit

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Bangkok, 10520 THAILAND

kcsakrey@kmitl.ac.th, kcfusak@kmitl.ac.th, siwadon.phahonyothin@kimball.com

ABSTRACT

This paper concerns with a method for unsharp masking for contrast enhancement of satellite image. We employ the nature of wavelet transform that separates the original image into low and high frequency sub-band images as low and high pass filter. Particularly, a number of high frequency sub-band images consist of horizontal, vertical, and diagonal coefficients that contain detail of information. Taking inverse wavelet transform of each sub-band image separately except low frequency one, we have each of high frequency information in horizontal, vertical, and diagonal image. All of them are scaled by the scaling factor in each one separately. Adaptive algorithm is implemented to results the suitable scaling factor to obtain the enhanced image corresponding with the given criterion based on variance of each area—smooth and detail area. Experimental results show that our method performs well to high enhance in detail area and low in smooth area.

INTRODUCTION

Generally, the unsharp masking algorithm (Polese, 2000) used a high pass filter to generate high frequency components which consist of horizontal, vertical, and diagonal components. Consequently, they are separately scaled by scaling factors suitably resulted from adaptive algorithm—Gauss-Newton algorithm implemented. As the same concept, in order to generate the high frequency components or multi-resolution sub-band images, 2-dimensional discrete wavelet transform (2D-DWT) and 2-dimensional inverse discrete wavelet transform (2D-IDWT) (Mallat, 1989 and Daubechies, 1992) are then applied for decomposition and to reconstruction, together. The output images of 2D-DWT-IDWT are the horizontal, vertical, and diagonal images, only used. In this our study, the four-tab Daubechies wavelet algorithm (db4) is only implemented. Others does not consider here. The objective of contrast enhancement is not only increasing variance in detail area but also unchanging or low increasing variance in smooth area. The local dynamics of each image, which consist of local dynamics of the input-output image, the horizontal, vertical, and diagonal images are then computed. The desired local dynamic is computed by scaling local dynamic of input image dependent on the area to require enhancement. Difference between the desired local dynamic and the output one as error value is used for adaptive algorithm to generate the suitable scaling factor. Each high frequency image is separately scaled by the scaling factors. The enhanced image results from summation of the scaled high frequency and input images.

This paper is organized as follows. In Section 2 wavelet transformation is briefly described; in Section 3 adaptive unsharp masking algorithm by using wavelet transform for contrast enhancement is described. The experimental results and conclusions are given in Section 4 and 5, respectively.

WAVELET TRANSFORMATION

Multi-resolution wavelet transform is used to decompose image into coarser resolution images which are called sub-bands consisting of the low frequency approximation band and high frequency detail band. Figure 1(a) shows the decomposition of the original image into a number of sub-bands. In second level, sub-bands consisting of LL, LH, HL, and HH where LL is low frequency sub-band image containing the most important feature (the highest energy sub-

ASPRS 2006 Annual Conference
Reno, Nevada ♦ May 1-5, 2006

band). Others—LH, HL, and HH are the horizontal, vertical, and diagonal images, are high frequency sub-bands containing details such as the edge information. In Figure 1(a), g and h are 1-D decomposition low-pass filter and 1-D decomposition high-pass filter, respectively. Figure 1(b) shows the reconstruction of a number of sub-bands into reconstructed image and g' and h' are 1-D reconstruction low-pass filter and 1-D reconstruction high-pass filter, respectively.

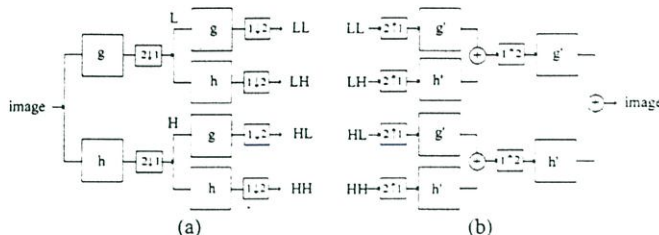


Figure 1. Wavelet Transform structure.
 (a) the decomposition of image into LL, LH, HL, and HH.
 (b) the reconstruction of LL, LH, HL, and HH into reconstructed image.

In this paper, the four-tap Daubechies wavelet algorithm (db4) is used for computing discrete WT (DWT) to generate coefficients. Table 1 shows the decomposition and reconstruction filter coefficients of the four-tap Daubechies wavelet, respectively.

Table 1 Decomposition and reconstruction filter coefficients of the four-tap Daubechies wavelet.

| N | h | g | h' | g' |
|---|---------|---------|---------|---------|
| 0 | -0.2304 | -0.0106 | -0.0106 | 0.2304 |
| 1 | 0.7148 | 0.0329 | -0.0329 | 0.7148 |
| 2 | -0.6309 | 0.0308 | 0.0308 | 0.6309 |
| 3 | -0.0280 | -0.1870 | 0.1870 | -0.0280 |
| 4 | 0.1870 | -0.0280 | -0.0280 | -0.1870 |
| 5 | 0.0308 | 0.6309 | -0.6309 | 0.0308 |
| 6 | -0.0329 | 0.7148 | 0.7148 | 0.0329 |
| 7 | -0.0106 | 0.2304 | -0.2304 | -0.0106 |

ADAPTIVE UNSHARP MASKING ALGORITHM

Figure 2 shows a basis block diagram of the unsharp masking algorithm. The enhanced image $y(n, m)$ is obtained as following equation:

$$y(n, m) = x(n, m) + \lambda z(n, m) \tag{1}$$

where $x(n, m)$ is the input image, $z(n, m)$ is the correction image which is high frequency component from wavelet transform of the input image, and λ is the positive scaling factor to control the level of contrast enhancement to obtain output image.

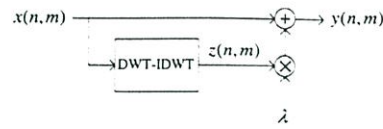


Figure 2. The basis unsharp masking block diagram for enhancing image by using wavelet transform.

The high frequency components from wavelet transform consist of horizontal, vertical, and diagonal images. Let $z_x(n, m)$, $z_y(n, m)$, and $z_d(n, m)$ be horizontal, vertical, and diagonal images. λ_x , λ_y , and λ_d are the positive scaling factors for horizontal, vertical, and diagonal images, respectively. Rewriting (1) is then as

$$y(n, m) = x(n, m) + \lambda_x z_x(n, m) + \lambda_y z_y(n, m) + \lambda_d z_d(n, m) \quad (2)$$

and also write (2) in vector form

$$y(n, m) = x(n, m) + \lambda^T(n, m) \mathbf{Z}(n, m) \quad (3)$$

where

$$\lambda(n, m) = [\lambda_x(n, m), \lambda_y(n, m), \lambda_d(n, m)] \quad (4)$$

$$\mathbf{Z}(n, m) = [z_x(n, m), z_y(n, m), z_d(n, m)] \quad (5)$$

The main objective of adaptive contrast enhancement algorithm is increasing local dynamics in detail areas and unchanged in smooth areas. The operator $g(\cdot)$ is used to compute the local dynamics for input and output image as following

$$g_x(n, m) = x(n-1, m-1) - x(n, m-1) - x(n+1, m-1) - x(n-1, m) + 8x(n, m) - x(n+1, m) - x(n-1, m+1) - x(n, m+1) - x(n+1, m+1) \quad (6)$$

$$g_y(n, m) = y(n-1, m-1) - y(n, m-1) - y(n+1, m-1) - y(n-1, m) + 8y(n, m) - y(n+1, m) - y(n-1, m+1) - y(n, m+1) - y(n+1, m+1) \quad (7)$$

and also for horizontal, vertical, and diagonal images

$$g_{z_x}(n, m) = z_x(n-1, m-1) - z_x(n, m-1) - z_x(n+1, m-1) - z_x(n-1, m) + 8z_x(n, m) - z_x(n+1, m) - z_x(n-1, m+1) - z_x(n, m+1) - z_x(n+1, m+1) \quad (8)$$

$$g_{z_y}(n, m) = z_y(n-1, m-1) - z_y(n, m-1) - z_y(n+1, m-1) - z_y(n-1, m) + 8z_y(n, m) - z_y(n+1, m) - z_y(n-1, m+1) - z_y(n, m+1) - z_y(n+1, m+1) \quad (9)$$

$$g_{z_d}(n, m) = z_d(n-1, m-1) - z_d(n, m-1) - z_d(n+1, m-1) - z_d(n-1, m) + 8z_d(n, m) - z_d(n+1, m) - z_d(n-1, m+1) - z_d(n, m+1) - z_d(n+1, m+1) \quad (10)$$

Writing (8), (9), and (10) is in vector form

$$\mathbf{G}(n, m) = [g_{z_x}, g_{z_y}, g_{z_d}]^T \quad (11)$$

The desired local dynamic $g_d(n, m)$ is defined as

$$g_d(n, m) = \alpha(n, m)g_x(n, m) \quad (12)$$

where $\alpha(n, m)$ is a variable gain given by

$$\alpha(n, m) = \begin{cases} \alpha_l & \text{if } v_l(n, m) < \tau_1 \\ \alpha_m & \text{if } \tau_1 < v_l(n, m) < \tau_2 \\ \alpha_h & \text{if } v_l(n, m) > \tau_2 \end{cases} \quad (13)$$

and $\alpha_l, \alpha_m, \alpha_h$ are selected to achieve a desired level of the contrast enhancement at output image. τ_1, τ_2 are the threshold values, and $v_l(n, m)$ is the local variance

$$v_l(n, m) = \frac{1}{9} \sum_{i=n-1}^{n+1} \sum_{j=m-1}^{m+1} (x(n, m) - \bar{x}(n, m))^2 \quad (14)$$

where $\bar{x}(n, m)$ is the local mean.

To update the scaling factors, $\lambda(n, m)$, the Gauss-Newton algorithm is implemented as following

$$\lambda(n, m+1) = \lambda(n, m) + 2\mu e(n, m)\mathbf{R}^{-1}(n, m)\mathbf{G}(n, m) \quad (15)$$

where $e(n, m) = g_d(n, m) - g_y(n, m)$ is the error of local dynamics. $\mathbf{R}(n, m)$ is an estimate of the autocorrelation matrix of the input vector $\mathbf{G}(n, m)$. Figure 3 shows overall system of the adaptive unsharp masking block diagram by using wavelet transform for enhancing image.

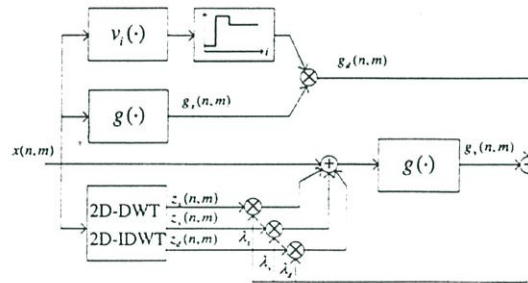


Figure 3. The overall system of the adaptive unsharp masking block diagram.

EXPERIMENTAL RESULTS

The data used to test result is this paper is the satellite imagery acquired by the Landsat shown in Figure 4(a). The parameters for testing result are as following: $\mu = 0.1$, $\tau_1 = 10$, $\tau_2 = 200$, $\alpha_l = 1$, $\alpha_m = 4$, $\alpha_h = 3$ which are chosen by experiment. The three components of horizontal, vertical, and diagonal image as high frequency component result from two-dimension wavelet transform and inverse wavelet transform which are scaled separately by λ_x, λ_y , and λ_d from adaptive algorithm as Gauss-Newton algorithm. Figure 4(b) shows the enhanced image. As the mentioned objective of contrast enhancement, the variance based criterion is evaluated. In smooth area both the original and enhanced images shown in Figure 5(a), the variances are the same of 3.25 which means that variance of our adaptive algorithm is unchanged. In detail area both the original and enhanced images shown in Figure 5(b), the variances are of 1105 and 1895, respectively, which means that variance is increased. All results from experiment are then corresponding with the desired criterion.

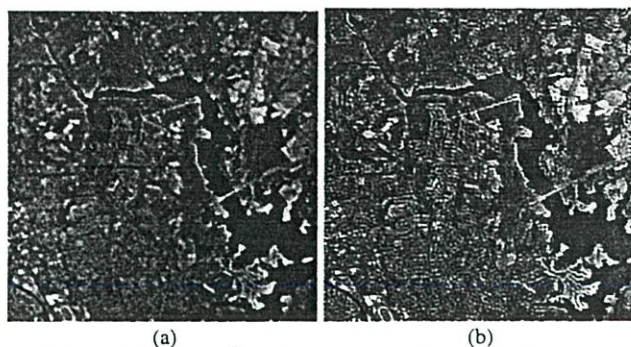
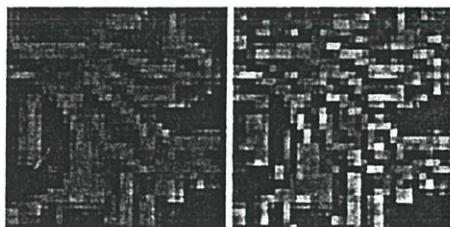


Figure 4. (a) Original satellite image (b) the enhanced image.



(a) Smooth area.



(b) Detail area.

Figure 5. Enlarged images (a) smooth area—original image (left), enhanced image (right).
(b) detail area—original image (left), enhanced image (right).

CONCLUSIONS

The our adaptive unsharp masking algorithm using wavelet transform for enhancing image shows the performance of experiment corresponding with the desired criterion. That is, the variance in smooth area is unchanged or low enhance; the variance in detail area is more increasing or high enhance.

REFERENCES

- Mallat,S. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation. *IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intell.*, 11(7):674-693.
- Daubechies, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, PA: SIAM.
- Polesel, A., G. Ramponi, and V. J. Mathews, (2000). Image enhancement via adaptive unsharp masking. *IEEE Trans. Image Processing*, 9(3):505-510.

ASPRS 2006 Annual Conference
Reno, Nevada ♦ May 1-5, 2006

ภาคผนวก ข

นิยามของคำศัพท์

หน้ากากปรับตัวได้คือ คือ หน้ากาก หรือ mask ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ภายในที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดตามค่าของอินพุตที่พิจารณา ซึ่งยังคงมีขนาดของหน้ากากที่คงที่

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นายศิวคณ พหลโยธิน |
| วัน เดือน ปี เกิด | 23 กันยายน พ.ศ. 2523 อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน |
| ที่อยู่ | 141 หมู่ 1 ต.แม่ขวม อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน |
| ประวัติการศึกษา | 2545 อดิศาสตร์ศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ |
| ประสบการณ์ทำงาน | 2546 ตำแหน่ง Customer Quality Engineer บริษัท Delta Electronics Thailand จ.สมุทรปราการ 2547 ตำแหน่ง Product Quality Engineer บริษัท Celestica (Thailand) จ.ชลบุรี 2549 ตำแหน่ง Supplier Quality Engineer บริษัท Kimball Electronics (Thailand) จ.ชลบุรี |