การกำจัดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ต
โดยการใช้จีนเนติกอัลกอริทึม

นายทนงศักดิ์ เสงี่ยมรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2550

MULTIWAVELET-BASED IMAGE DENOISING

USING GENETIC ALGORITHM

Thanongsak Sa-ngiamrat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2007

การกำจัดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ต
โดยการใช้จีนเนติกอัลกอริทึม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(ผศ. ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว)
ประธานกรรมการ

____

(รศ. ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ

____

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

____

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ทนงศักดิ์ เสงี่ยมรัตน์ : การกำจัดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ตโดยการใช้จีนเนติกอัลกอริทึม (MUTIWAVELET-BASED IMAGE DENOISING USING GENETIC ALGORITHM) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล, 97 หน้า

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกระบวนการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพ โดยใช้วิธีการแปลงมัลติเวฟเล็ต ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้วิธี Cross validation ร่วมกับการค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมเพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูง เนื่องจากค่าจุดเริ่มเปลี่ยนจะส่งผลโดยตรงกับคุณภาพของภาพเอาท์พุต วิทยานิพนธ์นี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกันในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจีนเนติกอัลกอริทึม โดยได้พิจารณาคุณสมบัติของค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าไบอัส จากคุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี เนื่องจากแต่ละวิธีให้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมและคุณสมบัติค่าความแปรปรวนและไบอัสที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อสร้างความสมดุลของค่าความแปรปรวนและไบอัสของภาพเอาท์พุตจึงได้นำคุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี มาใช้ร่วมกันและเป็นการประยุกต์ใช้วิธีทางปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับการประมวลผลสัญญาณภาพเพื่อให้กระบวนการมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นในการลดสัญญาณรบกวนได้ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ เนื่องจากเป็นการรวมการทำจุดเริ่มเปลี่ยนของทั้ง 2 วิธี ทำให้สามารถใช้คุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี ได้พร้อมกัน รวมทั้งได้ทำการแก้ปัญหาผลกระทบของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนจากปรากฏการณ์กิบส์ด้วยการทำ Translation invariant ซึ่งผลที่ได้ภาพเอาต์พุตมีคุณภาพที่ดีขึ้นและปริมาณสัญญาณรบกวนที่ปะปนภายในลดลง

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา ____________

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ____________

THANONGSAK SA-NGIAMRAT : MULTIWAVELET-BASED IMAGE DENOISING USING GENETIC ALGORITHM. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KITTI ATTAKITMONGCOL, Ph.D., 97 PP.

IMAGE DENOISING/MULTIWAVELET TRANSFORM/GENETIC ALGORITHM

This thesis presents an efficient image denoising algorithm using multiwavelet transform and thresholding process. The genetic algorithm and cross validation technique are applied to search for optimal threshold value for each high-frequency image subband resulting from multiwavelet decomposition because previous study has shown that the threshold values have direct effects to the quality of output image. Since both soft thresholding and hard thresholding yield output image with different properties by considering the bias value and the variance of the output image, we apply both thresholding processes in the genetic algorithm to balance the bias value and the variance in order to obtain optimal threshold values. To perform thresholding process, the semi-soft thresholding is selected because this method has more adventage than the typical soft thresholding and hard thresholding. In addition, the translation invariant technique is applied to the noisy image to reduce the effect caused by Gibbs phenomenon. Experimental results show that the proposed method yields the output images with higher quality as compared with the ones from previous works.

School of Electrical Engineering | Student's Signature _____________

Academic Year 2007 | Advisor's Signature _____________

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ซึ่งได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติ อัตถกิจมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยเสมอมา

ศาสตราจารย์ นาวาอากาศโท ดร.สราวุฒิ สุจิตจร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร้อยเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำและความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคุณอัญชุลี รักด่านกลาง คุณภัทรวรรณ สิทธิกวินกุล คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ คุณณิชชาภัทร สิทธิคุณ และบุคลากรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานของข้าพเจ้า

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายที่คอยถามไถ่และให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อสมโภชน์ คุณแม่ประภาพรรณ คุณอาวรางคณา คุณอาเทวิน รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใยในการอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอดและขอขอบคุณคุณอรอนงค์ ประทุมทิพย์ ที่ได้ให้ความรัก ดูแล ห่วงใย ให้ความช่วยเหลือและความเสียสละทุกอย่างรวมทั้งเป็นกำลังใจในยามที่ผู้วิจัยท้อและทุกข์ใจช่วยให้มีพลังเข้มแข็งพร้อมเผชิญกับปัญหาอุปสรรคต่าง ๆ จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ทนงศักดิ์ เสงี่ยมรัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)……………………………………………………………………..ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)………………………………………………………………....ข
กิตติกรรมประกาศ…………………………………………………………………….....ค
สารบัญ……………………………………………………………………………….....ง
สารบัญตาราง…………………………………………………………………………...ช
สารบัญรูป……………………………………………………………………………....ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ…………………………………………………………ฎ

บทที่

1 บทนำ……………………………………………………………………………1

1.1 ความสำคัญของปัญหา…………………………………………………………1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย………………………………………………………2

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น……………………………………………………………..2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย……………………………………………………………2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย…………………………………………2

1.6 รูปเล่มวิทยานิพนธ์………………………………………………………………3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……………………………………………4

2.1 บทนำ………………………………………………………………………………4

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……………………………………………4

3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง……………………………………………………………………..9

3.1 บทนำ……………………………………………………………………………….9

3.2 การแปลงมัลติเวฟเล็ต…………………………………………………………….9

3.3 การคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Cross vaaalidation…………………………………16

3.3.1 การคำนวณแบ่งจุดสัญญาณออกเป็น 2 ส่วน……………………………………17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การทำจุดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding)……………………………………………..21
3.4.1 ผลกระทบของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัญญาณ…………………………..24
3.4.2 การทำ Cycle spinning หรือ Translation Invariant (TI)………………………..28
3.5 สัญญาณรบกวน……………………………………………………………..29
3.6 การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม………………………………………………..34
3.6.1 หลักการของการค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม…………………………………34
3.7 การค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีจีนเนติกอัลกอริทึม…………….38
3.7.1 การหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยจีนเนติกอัลกอริทึม ในช่วงที่ 1……38
3.7.2 การหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยจีนเนติกอัลกอริทึม ในช่วงที่ 2……43
4 การลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ……………………………………………45
4.1 บทนำ……………………………………………………………………45
4.2 การสร้างสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ…………………………………………45
4.3 ขั้นตอนการลดสัญญารรบกวน………………………………………………….46
4.4 ขั้นตอนการวัดคุณภาพของภาพเอาท์พุต…………………………………………47
5 ผลการทดสอบ……………………………………………………………49
5.1 ผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิทยานิพนธ์นี้…………………….49
5.1.1 ผลการทดสอบการเลือกจำนวนจุดภาพหาค่าเฉลี่ยในการแบ่งภาพ……………49
5.1.2 ผลการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยน………………………………………51
5.2 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับอัลกอริทึมอื่น ๆ…………………………55
5.2.1 ผลการเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับอัลกอริทึมอื่น ๆ………………..56
5.2.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM
กับเวฟเล็ตชนิดอื่น……………………………………………………63
5.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ……………………………………………………64
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……………………………………………..70
6.1 สรุปผลการวิจัย…………………………………………………………70
6.2 ข้อเสนอแนะ……………………………………………………………71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง……………………………………………..…...……………………...72
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ภาพจากผลการทดสอบอัลกอริทึมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์……....……..….74
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา………..……..….95
ประวัติผู้เขียน………………………………………………………..…...………97

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

5.1 ผลการทดสอบค่า PSNR จากการเลือกจำนวนจุดภาพหาค่าเฉลี่ยในการแบ่งภาพ…..…..51
5.2 ค่า PSNR จากการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ.…………………………52
5.3 ค่าความแปรปรวนจากผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของภาพเอาท์พุต
โดยใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ……………………………………………..54
5.4 ค่าไบอัสจากผลการทดสอบค่าไบอัสของภาพเอาท์พุต
โดยใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ……..……………………………….………55
5.5 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการแปลง DGHM ร่วมกับวิธีที่นำเสนอ
และการแปลง Db4ร่วมกับการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนวิธอื่น ๆ…………..……………57
5.6 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการแปลง DGHM ร่วมกับวิธีที่นำเสนอ
และการแปลง Bior6/8ร่วมกับการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่น ๆ…………….………58
5.7 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่นำเสนอกับอัลกอริทึมอื่น ๆ
โดยใช้การแปลง DGHM…………..………………..…………………………59
5.8 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการแปลง DGHM กับการแปลงชนิดอื่น ๆ
ร่วมกับวิธีที่นำเสนอ……………………………………..…………………...64
5.9 ตัวอย่างค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมของวิธีที่
นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จากการใช้ Translation invariant โดยใช้ภาพ Lena…………..67
5.10 ตัวอย่างค่า Q ที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมของวิธีที่นำเสนอ
ในวิทยานิพนธ์นี้จากการใช้ Translation invariant โดยใช้ภาพ Lena………..………..69

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า

3.1 DGHM ฟังก์ชันสเกลลิง..12
3.2 DGHM ฟังก์ชันเวฟเล็ต..12
3.3 มัลติเวฟเล็ตฟิลเตอร์แบงค์..13
3.4 การจัดเรียงภาพแบนด์ย่อยจากการแยกองค์ประกอบย่อยของ
การแปลงมัลติเวฟเล็ต 1 ระดับ โดยใช้วิธีการรวมกลับสัญญาณ 15
3.5 ภาพแบนด์ย่อยจากการแปลงมัลติเวฟเล็ต 1 ระดับ
โดยใช้วิธีการรวมกลับแต่ละวิธี...16
3.6 ตัวอย่างการเพิ่มจุดภาพเพื่อการคำนวณแบ่งเป็น 2 ภาพ...................................19
3.7 ตัวอย่างการขยายจุดภาพเอาท์พุตที่เกิดปรากฏการณ์กิบส์ในบริเวณขอบภาพ............26
3.8 ตัวอย่างภาพเอาท์พุตที่ได้จากการทำ Translation invariant
เพื่อลดปรากฏการณ์กิบส์...27
3.9 การทำจุดเริ่มเปลี่ยนโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต...28
3.10 กระบวนการทำ Cycle spinning..29
3.11 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนชนิด Gaussian ปะปน....................................30
3.12 สัญญาณรบกวนแบบ Pink noise...30
3.13 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนชนิดเกลือพริกไทยปะปน..................................31
3.14 Probability density function ของ Uniform noise......................................32
3.15 Probability density function ของ Rayleigh noise.....................................32
3.16 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนชนิด Shot noise ที่ความเข้มแสงต่าง ๆ.................33
3.17 วัฏจักรของจีนเนติกอัลกอริทึม..35
3.18 ขั้นตอนการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึม...36
3.19 การทำมิวเทชัน..37
3.20 รายละเอียดค่าความยาวของ 1 โครโมโซม...39
3.21 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์...41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.22 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์..44
4.1 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการลดสัญญาณรบกวนทั้งหมด..............................48
5.1 รูปที่ใช้ในการทดสอบเมื่อไม่มีสัญญาณรบกวนปะปน......................................50
5.2 ตัวอย่างภาพเอาท์พุต Lena ที่ได้จากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ.........................53
5.3 ตัวอย่างผลการทดสอบภาพ Lena โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ...60
5.4 ตัวอย่างผลการทดสอบภาพ Goldhill โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ...62
5.5 การแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1...65
5.6 การแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 2...66
5.7 การแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 3...66
ก.1 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Boat
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..75
ก.2 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Barbara
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..77
ก.3 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Bridge
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..79
ก.4 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Pepper
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..81
ก.5 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Couple
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..83
ก.6 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Mandrill
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..85
ก.7 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Flinstone
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ก.8 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Elaine
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..89
ก.9 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Airplane
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..91
ก.10 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Woman
โดยใช้การแปลง DGHMและจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ..93

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\o_1(t)$	=	ฟังก์ชันสเกลลิงตัวที่ 1
$\psi_1(t)$	=	ฟังก์ชันเวฟเล็ตตัวที่ 1
$\mathbf{\Phi}$	=	เซตของฟังก์ชันสเกลลิง
r	=	จำนวนฟังก์ชันสเกลลิงของการแปลงมัลติเวฟเล็ต
V_0	=	ปริภูมิย่อย
W_j	=	ส่วนเติมเต็มแบบตั้งฉาก
$\mathbf{\Psi}$	=	เซตของมัลติเวฟเล็ตในแบบเชิงตั้งฉาก
$h(m)$	=	สัมประสิทธิ์ตัวกรองความถี่ต่ำเป็นเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ขนาด $r \times r$ ตัวที่ m
$g(m)$	=	สัมประสิทธิ์ตัวกรองความถี่สูงเป็นเมทริกซ์สัมประสิทธิ์ขนาด $r \times r$ ตัวที่ m
f	=	ผลรวมเชิงเส้น
$\boldsymbol{c}$	=	ลำดับสเกลลาร์
$\boldsymbol{c}_l$	=	ส่วนประกอบสัมประสิทธิ์ความถี่ต่ำของการแปลงมัลติเวฟเล็ต
$\boldsymbol{d}_l$	=	ส่วนประกอบสัมประสิทธิ์ความถี่สูงของการแปลงมัลติเวฟเล็ต
DGHM	=	Donovan Geronimo Herdin และ Massopust
$Q(z)$	=	ตัวกรอง Prefiltering
$P(z)$	=	ตัวกรอง Postfiltering
$H(z)$	=	การแปลง Z ของ $h(m)$
$G(z)$	=	การแปลง Z ของ $g(m)$
D_r	=	การแบ่งลำดับที่เป็นแบบสเกลลาร์ให้เป็นลำดับที่จะถูกจัดกลุ่มแบบเวกเตอร์มีขนาดเท่ากับ r
LL_1	=	แบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำทั้ง 2 ตัว
HL_1	=	แบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำ
ε	=	สัญญาณรบกวนประเภทเกาซ์เซียน

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

LH_1	=	แบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง
HH_1	=	แบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงทั้ง 2 ตัว
MSE	=	ค่าเฉลี่ยรากที่สอง
$f(x)$	=	ฟังก์ชันจริงเริ่มต้น
$\hat{f}(x)$	=	ฟังก์ชันที่ได้จากการประมาณ
$M(.)$	=	ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้
$T(d_{j,k}^{even};\lambda)$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตตำแหน่งคู่ที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว
$T(d_{j,k}^{odd};\lambda)$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตตำแหน่งคี่ที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว
λ	=	ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน
j	=	ระดับการแปลง
k	=	ตำแหน่งจุดสัญญาณ
$d_{j,k}^{even}$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตตำแหน่งคู่
$d_{j,k}^{odd}$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตตำแหน่งคี่
λ^*	=	จุดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้ฟังก์ชัน $M(.)$ มีค่าน้อยที่สุด
$y_{m,n}^{odd}$	=	ตำแหน่งจุดภาพ (m,n) ที่เป็นตำแหน่งคี่
$y_{m,n}^{even}$	=	ตำแหน่งจุดภาพ (m,n) ที่เป็นตำแหน่งคู่
P	=	จุดภาพจริงของสัญญาณภาพ
$\underline{P}$	=	จุดภาพที่เพิ่มในแนวคอลัมน์
P	=	จุดภาพที่เพิ่มแถวของสัญญาณภาพ
$p_{m,n}$	=	จุดภาพที่ทำการเพิ่มคอลัมน์และแถวของภาพที่ต้องการแล้ว
N	=	ขนาดภาพก่อนทำการเพิ่มคอลัมน์และแถวของภาพ
$d_{m,n}^{odd}$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตแต่ละแบนด์ย่อย k ของภาพคี่ที่ตำแหน่ง (m,n)
$d_{m,n}^{even}$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตขแต่ละแบนด์ย่อย k ของภาพคู่ที่ตำแหน่ง (m,n)
$T(d,\lambda)$	=	การทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ต d ที่ใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน λ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$M_j(\lambda_k)$	=	ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสุ่มค่า λ ในแต่ละแบนด์ย่อย k ของแต่ละระดับการแปลง j
k	=	ลำดับแบนด์ย่อยที่แปลงมัลติเวฟเล็ต (ความถี่สูง)
σ_N	=	ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนภายในสัญญาณภาพที่มีขนาดภาพเท่ากับ N
δ_k	=	ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้จริงในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนของแต่ละแบนด์ย่อย k
$E((\hat{f})-f)^2$	=	ค่าไบอัสของภาพ
$Var(\hat{f})$	=	ค่าความแปรปรวนของภาพ
$d^*_{k;m,n}$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว
δ_k	=	ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน
$d_{k;m,n}$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตเริ่มต้น
δ_1	=	ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงแรก
δ_2	=	ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่สอง
$Y(t)$	=	สัญญาณภาพเริ่มต้นในโดเมนเวลา
$DMWT$	=	การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีต
$IDMWT$	=	การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีตย้อนกลับ
η	=	การทำจุดเริ่มเปลี่ยน
$\eta(C_k)$	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว
PSNR	=	Peak Signal to Noise Ratio
λ_k	=	ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละแบนด์ย่อย k ที่ได้จากจีนเนติกอัลกอริทึม
C_k	=	สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ต

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการส่งสัญญาณภาพผ่านตัวกลาง กระบวนการสร้างและจัดเก็บสัญญาณภาพส่วนใหญ่จะเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นภายในสัญญาณภาพทำให้ข้อมูลสัญญาณภาพที่ได้มีการผิดเพี้ยนไป ซึ่งถ้านำสัญญาณภาพนั้น ๆ ผ่านกระบวนการอื่นอาจทำให้การประมวลผลหรือการคำนวณกับสัญญาณภาพมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นมาก ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการในการนำภาพนั้นกลับคืนมา โดยการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาปะปนในข้อมูลของสัญญาณภาพออกไปหรือเป็นการสร้างค่าระดับเทาของจุดภาพขึ้นมาใหม่และให้ข้อมูลที่เป็นส่วนสำคัญของสัญญาณภาพนั้นยังคงอยู่เพื่อที่จะนำข้อมูลของสัญญาณภาพที่ต้องการไปผ่านกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป

การนำภาพกลับคืน คือ การปรับปรุงสัญญาณภาพ โดยจะมีวัตถุประสงค์และมีการใช้กฎเกณฑ์ซึ่งความรู้ที่นำมาใช้ต้องทำให้สัญญาณภาพมีคุณภาพที่ดีขึ้นและกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณ ภาพให้ได้มากที่สุดหรือการแก้ไขจากภาพที่เสียหายหรือการถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนภายนอก เพื่อลดระดับของสัญญาณรบกวนลงให้ภาพมีความชัดเจนและมีคุณภาพที่ดีขึ้น

การนำภาพกลับคืนในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพและสิ่งที่จะเข้ามารบกวนในสัญญาณภาพ คือ สัญญาณรบกวน (Noise) ชนิด Gaussian ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่สามารถพบได้ในสัญญาณภาพโดยทั่วไป

สำหรับแนวทางในการแก้ปัญหานั้นที่ผ่านมาส่วนใหญ่ได้มีผู้เสนอการใช้การแปลงฟูริเยร์กับสัญญาณภาพที่ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนร่วมกับใช้ตัวกรองผกผันและตัวกรองคาลมาลหรือใช้ตัวกรองเวนเนอร์ แต่ในวิธีเหล่านี้จะมีข้อจำกัด คือ จะต้องรู้ข้อมูลบางชนิดของสัญญาณรบกวนก่อน เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าแปรปรวนจึงจะทำการคำนวณได้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วส่วนใหญ่จะไม่ทราบข้อมูลในส่วนนี้ของสัญญาณรบกวนที่เข้ามารบกวนในสัญญาภาพ นอกจากนี้ยังได้มีการใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตร่วมกับวิธีการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนโดยการใช้สมการต่าง ๆ แต่ผลที่ได้ยังไม่ดีมากนัก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีตกับสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ภายในร่วมกับการประยุกต์ใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ คือ การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ร่วมกับการลด

สัญญาณรบกวนภายในสัญญาณภาพเพื่อทำการปรับภาพเอาท์พุต โดยเป็นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพให้ได้มากที่สุดและคุณภาพของสัญญาณภาพดีที่สุด โดยการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนอยู่ภายใน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- เพื่อนำภาพกลับคืนมาโดยการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพ
- เพื่อให้สัญญาณภาพที่กำจัดสัญญาณรบกวนออกแล้วให้มีคุณภาพสูง
- ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้กำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตในการแปลงสัญญาณภาพก่อนที่จะนำภาพนั้นไปผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวน
- สัญญาณภาพที่ใช้เป็นภาพระดับเทา ขนาด 512×512 จุดภาพ และมีระดับเทา 256 ระดับ
- ตัวบ่งชี้คุณภาพของสัญญาณภาพจะใช้ค่า PSNR เป็นตัวบ่งชี้
- สัญญาณรบกวนที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ได้จากฟังก์ชันใน Matlab (randn(.)) โดยการบวกเพิ่มเข้าไปในสัญญาณภาพ ซึ่งในที่นี้จะเป็นสัญญาณรบกวนชนิด Gaussian

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- ทดสอบโปรแกรมในการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพพร้อมทั้งเก็บข้อมูล
- ทดสอบโปรแกรมและเปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณภาพที่ได้ระหว่างสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนกับสัญญาณภาพที่ผ่านกระบวนการแล้ว
- เปรียบเทียบคุณภาพของสัญญาณภาพที่ผ่านกระบวนการแล้วกับคุณภาพของสัญญาณภาพจากวิธีที่ได้มีผู้ที่เสนอมาแล้ว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ได้อัลกอริทึมการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพที่ให้ผลดี
- ทำให้สัญญาณภาพที่ผ่านกระบวนการกำจัดสัญญาณรบกวนออกไปแล้วมีคุณภาพที่ดีขึ้น
- ทำให้สามารถกู้คืนสัญญาณภาพที่ได้รับความเสียหายจากสัญญาณรบกวนให้กลับคืนมาอยู่ในสภาพที่ดีขึ้น
- ทำให้ผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อกระบวนการอื่น ๆ เมื่อนำสัญญาณภาพนั้น ๆ ไปดำเนินการต่อด้วยวิธีการอื่นต่อไปมีความคลาดเคลื่อนลดลง

1.6 รูปเล่มวิทยานิพนธ์

รูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 6 บทและภาคผนวก โดยมีรายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์งานวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัยและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ เช่น การแปลงมัลติเวฟเล็ต การคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Cross validation การทำจุดเริ่มเปลี่ยน การทำ Translation invariant เพื่อลดผลกระทบจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยน การค้นหาจีนเนติกอัลกอริทึม

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวนของวิธีที่นำเสนอ เช่น การสร้างสัญญาณรบกวน ขั้นตอนและกระบวนการของวิธีที่นำเสนอ การคำนวณวัดคุณภาพของภาพเอาต์พุต

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดสอบวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ผ่านมาในอดีตที่พิจารณาด้วยค่า PSNR การเปรียบเทียบระหว่างการแปลงมัลติเวฟเล็ตที่นำเสนอในงานวิจัยกับการแปลงเวฟเล็ตโดยทั่วไปและผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นรวมทั้งวิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบ

บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบของงานวิจัยทั้งหมดและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

ภาคผนวกประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ภาคผนวก ก. เป็นบทความที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่และในส่วนภาคผนวก ข. เป็นโปรแกรม MABLAB ที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

จากบทที่ 1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพให้ได้มากที่สุดเพื่อให้คุณภาพของสัญญาณภาพดีขึ้น โดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีตร่วมกับการค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม ดังนั้นจึงต้องมีการค้นหาแนวทางในการแก้ปัญหาและแนวทางในการประยุกต์ใช้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา เพื่อนำมาปรับใช้เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ โดยใช้ฐานข้อมูลจาก IEEE และ Scientific literature digital library เป็นต้น ผลการสำรวจงานวิจัยดังกล่าวได้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนางานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพที่ผ่านมาสามารถสรุปโดยย่อและสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การกำจัดสัญญาณรบกวนในโดเมนเวลาและการกำจัดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่ ซึ่งการกำจัดสัญญาณรบกวนในโดเมนความถี่จะให้ผลที่ดีกว่าการกำจัดสัญญาณรบกวนในโดเมนเวลา

Fabrizio Russo (2003) ได้ใช้การคำนวณครั้งละ 1 window ขนาด 3×3 จุดภาพ ซึ่งภายในจุดกึ่งกลางของ window จะใช้การคำนวณ zed filter และใช้การประเมินจุดภาพที่ผ่านการคำนวณแล้วด้วยค่า MSE (Mean Square Error) ซึ่งจากการศึกษารายละเอียดของค่า MSE ไม่สามารถใช้ประเมินค่าจุดภาพได้ทุกกรณีไป เนื่องค่า MSE ที่มีค่าน้อยยังไม่อาจได้จุดภาพที่เหมาะสมได้เพราะค่า MSE สามารถแยกได้เป็นค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าไบอัส ซึ่งจากการศึกษาผลกระทบของทั้ง 2 ค่า ถ้าไม่สมดุลกันจุดภาพที่ได้จากกระบวนการจะยังเหมาะสมทำให้มีผลต่อคุณภาพของภาพเอาท์พุตได้

Andrew G. Bruce and Hong-Ye Gao (1996) ได้อธิบายผลของค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดและแบบซอฟท์ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของภาพเอาท์พุตที่ได้จากการแยกสมการ MSE ซึ่งเป็นการแยกคำนวณของแต่ละค่า โดยการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดจะได้ค่าแปรปรวนที่สูงแต่แบบซอฟท์จะให้ค่าไบอัสที่สูงกว่า ซึ่งคุณสมบัติของทั้ง 2 ค่า ที่ต้องการ คือ ต้องได้ค่าความแปรปรวนและไบอัสที่มีค่าน้อยเพื่อให้คุณภาพของสัญญาณภาพเอาท์พุตดีที่สุด แต่ทั้ง 2 ค่าจะผกผันกันทำให้เป็นผลกระทบที่ไม่อาจทำให้ได้ทั้ง 2 ค่า ให้มีค่าน้อยได้

Andrew G. Bruce and Hong-Ye Gao (1997) ได้ใช้การแปลงเวฟเล็ตร่วมกับการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบ Semi-soft เป็นการทำจุดเริ่มเปลี่ยนที่รวมการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบทั้งซอฟท์และฮาร์ดไว้ภายในฟังก์ชันเดียวกันทำให้สามารถใช้คุณสมบัติของทั้งซอฟท์และฮาร์ดได้พร้อมกันส่งผลให้สามารถสร้างสมดุลของค่าความแปรปรวนและไบอัสได้ดีขึ้นทำให้คุณภาพของภาพเอาท์พุตดีขึ้น แต่ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนภายในฟังก์ชันจะต้องมีการคำนวณ 2 ค่า เพื่อเป็นขอบเขตในการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทำให้มีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งส่งผลต่อการทำจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ขอบเขตไม่เหมาะสมได้

S. Grace Chang, Bin Yu and Martin Vetterli (2000) ได้ทำการแปลงเวฟเล็ตและใช้การคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนแบบ Bayes shrink โดยใช้การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ซึ่งผลที่ได้ยังไม่ดีนัก เนื่องจากอาจเกิดความคลาดเคลื่อนมาจากการประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ยังไม่เหมาะสม เนื่องจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากวิธีนี้จะได้จากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้เมื่อนำไปทำจุดเริ่มเปลี่ยนจะทำให้ภาพที่มีความละเอียดสูงถูกลดทอนข้อมูลออกไปมากทำให้ภาพเอาท์พุตที่ได้มีคุณภาพไม่ดีนัก

David L. Donoho (1995) ได้ทำการแปลงเวฟเล็ตและใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์กับจุดภาพและใช้การคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนแบบสากล (Universal) ซึ่งผลที่ได้ยังไม่ดีนัก เนื่องจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์มีผลทำให้ค่าไบอัสของภาพเอาท์พุตมีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลทำให้ภาพเอาท์พุตมีคุณภาพลดลงและการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนแบบสากลจะเป็นการประมาณค่าความแปรปรวน ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้

Erdem Bala and Aysin Ertuzan (2002) ได้มีการใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตร่วมกับการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนหลายวิธีตัวอย่างเช่น วิธี SURE shrinkage ผลที่ได้ยังไม่ดีนัก เนื่องจากมีการประมาณค่าความแปรปรวนในการคำนวณจึงอาจได้ค่าความแปรปรวนที่คลาดเคลื่อนได้

Tai-Chiu Hsung and Daniel Pak-Kong Lun (2004) ได้ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตและใช้การคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนวิธี GCV (Gerneralized Cross Validation) ซึ่งวิธีนี้จะคำนวณความคลาดเคลื่อนโดยใช้การแบ่งเป็น 2 ภาพย่อย และการนับจำนวนจุดภาพที่เท่ากับศูนย์ในแบนด์ย่อยของการแปลงมัลติเวฟเล็ตร่วมกับการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบ Multivariate ผลที่ได้ยังไม่ดี เนื่องจากในการคำนวณค่า Covariance ของสัญญาณรบกวนจึงอาจประมาณค่า Covariance คลาดเคลื่อนได้

Vasily Strela, Peter Niels Heller, Gilbert Strang, Pankaj Topiwala, Christopher Heil (1999) and Mariantonia Cotronei, Laura B. Montefusco, Luigia Puccio (1998) ได้นำเสนอผลกระทบจากการใช้ Prefilter ของมัลติเวฟเล็ตชนิดไม่สมดุล (Unbalanced multiwavelet) ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับจุดภาพและคุณภาพของภาพเอาท์พุตจึงต้องมีการเลือกใช้ Prefilter ให้เหมาะสมกับกระบวนการด้วย

G.P. Nason (1996) ได้ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดิสครีตร่วมกับการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Cross validation แสดงการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนด้วยการเปรียบเทียบแบนด์ย่อยที่ทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้วกับแบนด์ย่อยที่ยังไม่ได้จุดเริ่มเปลี่ยนแทนการคำนวณค่า MSE จากการแบ่งเป็น 2 ภาพย่อย โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยจุดภาพเพื่อให้ทั้ง 2 ภาพย่อย มีข้อมูลของสัญญาณรบกวนครบถ้วน จากผลในการทดสอบซึ่งสามารถคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละระดับการแปลงให้มีความเหมาะสมมากขึ้นได้คุณภาพของภาพเอาท์พุตที่ดีขึ้น โดยได้เปรียบเทียบกับการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยการคำนวณค่าความแปรวนและได้ทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งวิธีซอฟท์และฮาร์ด

G.P. Nason (2001) ได้กล่าวถึงผลกระทบของการคำนวณค่าเฉลี่ยในการแบ่งภาพย่อยของวิธี Cross validation เพื่อใช้ในการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีผลกับค่า PSNR ของภาพเอาท์พุตและได้ทดสอบเพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างในการคำนวณค่าเฉลี่ย

Maarten Jensen and Adhemar bultheel (1999) ได้ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตและใช้การคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Generalized cross calidation (GCV) ร่วมกับวิธี SURE shrinkage เนื่องจากวิธี SURE shrinkage จะมีการคำนวณค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพซึ่งจะทำให้การคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนมีค่าใกล้เคียงกับค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนส่งผลให้กำจัดสัญญาณออกจากสัญญาณภาพได้ดียิ่งขึ้นแต่ผลที่ได้ยังไม่ดีนักจะใช้ได้ผลดีเมื่อมีสัญญาณรบกวนปริมาณมากเท่านั้น ในกรณีสัญญาณรบกวนปริมาณน้อยการคำนวณค่าความแปรปรวนจะคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงได้นำวิธี GCV คำนวณร่วมกับวิธี SURE shrinkage เพื่อลดความคลาดเคลื่อน โดยการคำนวณผลรวมค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 2 วิธี เพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน

Leming Qu, Partha S. Routh and Kyungduk Ko (2006) ได้มีการใช้การแปลงเวฟเล็ตร่วมกับวิธี Cross validation และการคำนวณค่า Covariance ของจุดสัญญาณ โดยใช้กับสัญญาณ 1 มิติ

Tien D. Bui and Guangyi Chen (1998) ได้มีการใช้วิธี TI (Translation Invariant) ร่วมกับใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตเพื่อลดผลกระทบจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยน เนื่องจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนจะมีผลกระทบที่เกิดขึ้น คือ ปรากฏการณ์กิบส์ (Gibbs phenomenon) ในบริเวณกลุ่มของจุดภาพที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีสาเหตุจากความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชันที่ทำจุดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งผลที่ได้สามารถทำให้คุณภาพของภาพเอาท์พุตดีขึ้น

Ling Wang, Jianming Lu, Yeqiu and Takashi Yahagi (2005) ได้มีการใช้การทำ TI ร่วมกับการแปลงมัลติเวฟเล็ตและทำจุดเริ่มเปลี่ยน โดยการคำนวณค่า Covariance ของจุดภาพแต่ผลที่ได้ยังไม่ดี เนื่องจากค่า Covariance และค่าความแปรปรวนที่คำนวณได้อาจมีความคลาดเคลื่อน

จากการนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพที่ผ่านมา สามารถทำให้ศึกษาแนวทางในการทำงานวิจัยได้ชัดเจนขึ้นในแนวทางการกำจัดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพด้วยการทำจุดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งจากการศึกษาจากงาน

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบถึงปัญหาและข้อบกพร่องของการกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการทำจุดเริ่มเปลี่ยน ตัวอย่างเช่น การคำนวณค่าของจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม ผลกระทบของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้ภาพเอาท์พุตมีคุณภาพลดลงและการทำจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่ทำให้คุณภาพของภาพเอาท์พุตสูงขึ้นเป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวจึงได้เป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ ต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพเพื่อให้คุณภาพของภาพเอาท์พุตสูงขึ้น โดยพิจารณาที่ค่า PSNR เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของภาพเอาท์พุต

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของทั้งค่า Variance และค่า Bias ที่มีผลกับภาพเอาท์พุตนั้นทั้ง 2 ค่า จะแปรผกผันซึ่งกันและกันรวมทั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ในการทำจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนจะส่งผลต่อทั้ง 2 ค่า ดังนั้นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเพื่อสร้างความสมดุลของทั้ง 2 ค่า จึงเป็นส่วนที่สำคัญมาก

ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาการสร้างสมดุลของทั้ง 2 ค่า และได้เลือกการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และฮาร์ดพร้อมกันในการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนและสร้างความสมดุลของทั้งค่า Variance และค่า Bias ของภาพเอาท์พุต จากคุณสมบัติของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอท์จะทำให้ภาพเอาท์พุตมีค่า Bias สูงและจากคุณสมบัติของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดจะทำให้ภาพเอาท์พุตมีค่า Variance สูง ดังนั้นจึงเลือกการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้ง 2 วิธี ให้ทำงานพร้อมกันเพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมและสร้างสมดุลของทั้ง 2 ค่า

ในการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนได้เลือกใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมและใช้การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนของวิธี Cross validation ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจีนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเมื่อใช้งานร่วมกับจีนเนติกอัลกอริทึมและเป็นวิธีที่มีการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกันกับการคำนวณค่า MSE โดยสิ่งที่แตกต่างคือ วิธี Cross validation ไม่ต้องการภาพเริ่มต้น (Original image) ในการคำนวณค่าคลาดเคลื่อน โดยจะเป็นการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนจากการแบ่งภาพย่อยเป็น 2 ภาพย่อย จากภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปน (Noisy image) ซึ่งจะทำการแบ่งเป็นภาพตำแหน่งคู่และภาพตำแหน่งคี่เพื่อใช้ในการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจีนเนติกอัลกอริทึมได้ประยุกต์ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้ง 2 วิธี และได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1) การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์กับภาพย่อยตำแหน่งคี่และการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดกับภาพย่อยตำแหน่งคู่ที่ได้จากการแบ่งภาพของวิธี Cross validation 2) การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์กับภาพย่อยตำแหน่งคู่และการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดกับภาพย่อยตำแหน่งคี่ โดยจะทำการคัดเลือกค่าจุดเริ่มเปลี่ยนจากค่าความคลาดเคลื่อนจากกรณีที่น้อยที่สุดที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึม ในส่วนของการทำจุดเริ่มเปลี่ยน เนื่องจากจากการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ประยุกต์ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และแบบฮาร์ดร่วมกันทำให้ได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีคุณสมบัติของทั้งซอฟท์และฮาร์ดร่วมกันด้วย ดังนั้น

การทำจุดเริ่มเปลี่ยนจึงต้องมีการใช้คุณสมบัติทั้ง 2 วิธี ภายในการทำจุดเริ่มเปลี่ยนฟังก์ชันเดียวเช่นกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ ซึ่งจะเป็นการทำจุดเริ่มเปลี่ยนที่รวมการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และแบบฮาร์ดไว้ภายในฟังก์ชันเดียวทำให้สามารถใช้คุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี ได้พร้อมกัน ในส่วนของผลกระทบจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยน เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชันการทำจุดเริ่มเปลี่ยนและเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่ากิบส์ (Gibbs phenomenon) ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้คุณภาพของภาพเอาท์พุตลดลง ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการแก้ปัญหาด้วยการใช้การทำ Translation invariant เพื่อลดผลกระทบจากปรากฏการณ์กิบส์

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 บทนำ

ในการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีความสำคัญมากในการดำเนินงานเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ ความเข้าใจและเป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย โดยวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาออกแบบโปรแกรมเพื่อลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ต ดังนั้นในบทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 ข้อหลัก คือ การแปลงมัลติเวฟเล็ตที่ได้นำมาใช้ในการแปลงสัญญาณภาพแบบ 2 มิติ การคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Cross validation การทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ และใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม โดยจะมีการอ้างอิงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้เนื้อหามีความชัดเจน

3.2 การแปลงมัลติเวฟเล็ต

การแปลงมัลติเวฟเล็ตเป็นวิธีการแปลงสัญญาณค่อนข้างใหม่กว่าการแปลงเวฟเล็ต ในทฤษฎีของมัลติเวฟเล็ตจะมีหลักวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution analysis) เช่นเดียวกับ เวฟเล็ตแต่สิ่งที่แตกต่างจากเวฟเล็ตคือ ในการวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียดของมัลติเวฟเล็ตจะมีฟังก์ชันสเกลลิง (Φ(t)) และฟังก์ชันเวฟเล็ต (Ψ(t)) หลายฟังก์ชันแต่ในการแปลงเวฟเล็ตจะมีฟังก์ชันทั้งสองเพียงอย่างละหนึ่งฟังก์ชันเท่านั้น

สำหรับมัลติเวฟเล็ตที่มีจำนวนของฟังก์ชันสเกลลิงเท่ากับ r จะสามารถเขียนเซตของฟังก์ชันสเกลลิงได้ดังนี้ $\mathbf{\Phi} = (\o^1, \o^2, ..., \o^r)^T$ โดยที่ r คือ จำนวนฟังก์ชันสเกลลิงของการแปลงมัลติเวฟเล็ต ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการวิเคราะห์แบบหลายระดับความละเอียด โดยการเลื่อนตำแหน่งแบบจำนวนเต็มของ $\mathbf{\Phi} = (t-k)$ จะเป็นแบบอิสระเชิงเส้นและทำให้เกิดเป็นมูลฐานเชิงตั้งฉาก (Orthogonal basis) ของปริภูมิย่อย V_0 และการขยายออกของ $2^{-j/2}$ $\mathbf{\Phi} = (2^{-j}t - m)$ ทำให้เกิดปริภูมิย่อยหรือ $V_j, j \in Z$ $\{V_j\}_{j \in Z}$ ของ $L_2(\mathbb{R})$ (ได้เลือก $V_j \supset V_{j+1}$)

กำหนด W_j แทนส่วนเติมเต็มแบบตั้งฉากของ V_j ใน V_{j+1} โดยที่ W_j จะสอดคล้องกับเซตของมัลติเวฟเล็ตในแบบเชิงตั้งฉาก $\mathbf{\Psi} = (\psi^1, \psi^2, ..., \psi^r)^T$ ในกรณีที่ $r = 1$ จะเรียกว่า Scalar wavelet หรือ

เรียกว่า Wavelet โดยการเลื่อนตำแหน่งของ $\mathbf{\Psi}(t)$ จะทำให้เกิดเป็นมูลฐานของปริภูมิย่อย W_j และจาก $W_0 \in V_{-1}$ จะได้ว่า $V_{-1} = V_0 \oplus W_0$ สามารถเขียนในรูปสมการของการขยายออกและการเลื่อนตำแหน่ง ดังสมการ

$$\mathbf{\Phi}(t) = \sqrt{2}\sum_m h(m)\mathbf{\Phi}(2t-m) \tag{3.1}$$

$$\mathbf{\Psi}(t) = \sqrt{2}\sum_m g(m)\mathbf{\Phi}(2t-m) \tag{3.2}$$

เมื่อ $h(m)$ และ $g(m)$ คือ เมทริกซ์สัมประสิทธิ์ขนาด $r \times r$

กำหนด $f \in V_0$ ดังนั้น f สามารถเขียนผลรวมเชิงเส้นของมูลฐานใน V_0 ได้ ดังสมการ

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_m \boldsymbol{c}_0(k)^T\mathbf{\Phi}(t-k) \tag{3.3}$$

เมื่อ $\boldsymbol{c}_0 \in l_2(Z)^r$ และ $V_0 = V_1 \oplus W_1$ ดังนั้นเขียน f ในรูปของสมการ

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{k=z} \boldsymbol{c}_1(k)^T\mathbf{\Phi}(t-k) + \frac{1}{\sqrt{2}}\sum_{k=z} \boldsymbol{d}_1(k)^T\mathbf{\Psi}(t-k) \tag{3.4}$$

ดังนั้น $\boldsymbol{c}_1$ และ $\boldsymbol{d}_1$ จะสอดคล้องกับ $\boldsymbol{c}_0$ ในการแยกองค์ประกอบและการสร้างกลับ ดังสมการ

$$\boldsymbol{c}_1(k) = \sum_m h(m)\boldsymbol{c}_0(2k+m) \tag{3.5}$$

$$\boldsymbol{d}_1(k) = \sum_m g(m)\boldsymbol{c}_0(2k+m) \tag{3.6}$$

$$\boldsymbol{c}_0(k) = \sum_m h(k-2m)^T\boldsymbol{c}_1(m) + \sum_m g(k-2m)^T d_1(m) \tag{3.7}$$

การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีตที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้ชนิดที่ถูกสร้างขึ้น โดย Donovan, Geronimo, Hardin และ Massopust (DGHM) ซึ่งประกอบไปด้วยฟังก์ชันสเกลลิง 2 ฟังก์ชัน คือ $\o_1(t)$ และ $\o_2(t)$ และจะมีฟังก์ชันเวฟเล็ต 2 ฟังก์ชัน คือ $\psi_1(t)$ และ $\psi_2(t)$ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โดยมูลฐานของมัลติเวฟเล็ตดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเชิงตั้งฉาก สมมาตรและ Short support ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมกันในมูลฐานของมัลติเวฟเล็ตแต่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมกันในมูลฐานของเวฟเล็ต

สมการของการขยายออกและการเลื่อนตำแหน่งของ DGHM มัลติเวฟเล็ตแสดงได้ดังนี้

$$\mathbf{\Phi}(t) = \begin{pmatrix} \o_1(t) \\ \o_2(t) \end{pmatrix} = \sum_{n=-2}^{1} h(n) \begin{pmatrix} \o_1(2t-n) \\ \o_2(2t-n) \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

เมื่อสัมประสิทธิ์

$$h(-2) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad h(-1) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} -3\sqrt{2} & 9 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

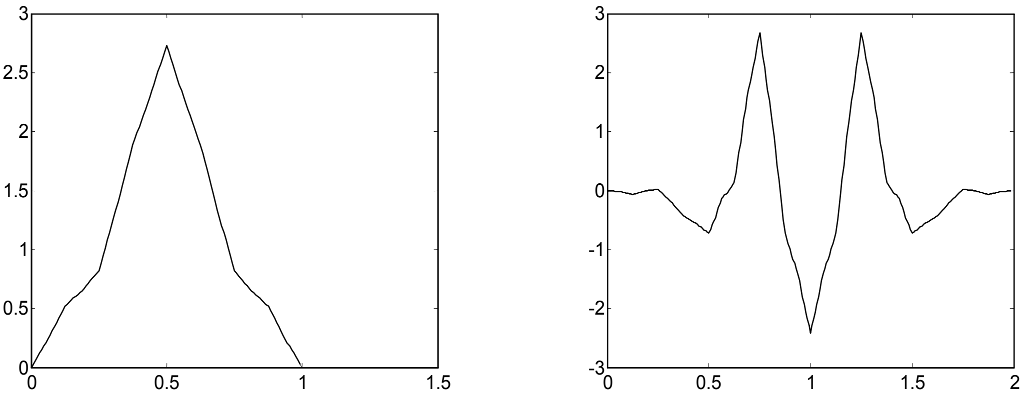
$$h(0) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} 10\sqrt{2} & 9 \\ 0 & 6\sqrt{2} \end{pmatrix} \qquad h(1) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} -3\sqrt{2} & -1 \\ 16 & 6\sqrt{2} \end{pmatrix}$$

$$\boldsymbol{\psi}(t) = \begin{pmatrix} \psi_1(t) \\ \psi_2(t) \end{pmatrix} = \sum_{n=-2}^{1} g(n) \begin{pmatrix} \o_1(2t-n) \\ \o_2(2t-n) \end{pmatrix} \tag{3.9}$$

เมื่อสัมประสิทธิ์

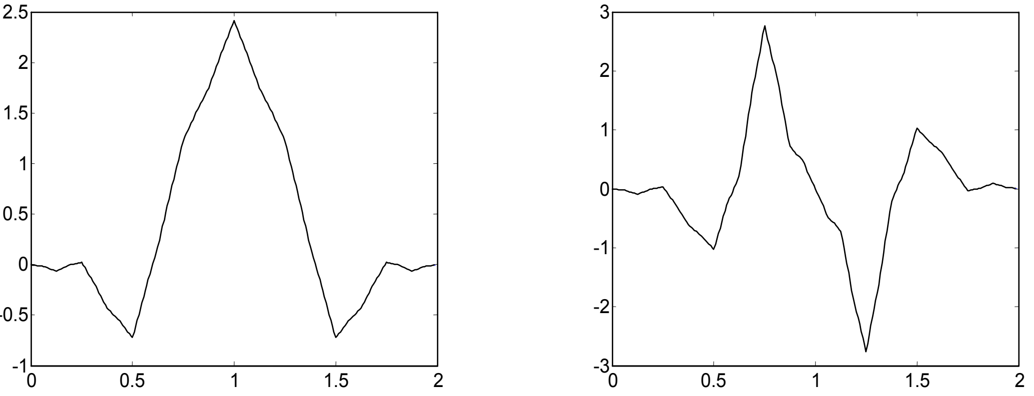
$$g(-2) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} 0 & -\sqrt{2} \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \qquad g(-1) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} -6 & 9\sqrt{2} \\ -3\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix}$$

$$g(0) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} 0 & -9\sqrt{2} \\ -10\sqrt{2} & 9 \end{pmatrix} \qquad g(1) = \frac{1}{20}\begin{pmatrix} 6 & \sqrt{2} \\ -3\sqrt{2} & -1 \end{pmatrix}$$



(a) $\varnothing_1(t)$ (b) $\varnothing_2(t)$

รูปที่ 3.1 DGHM ฟังก์ชันสเกลลิง

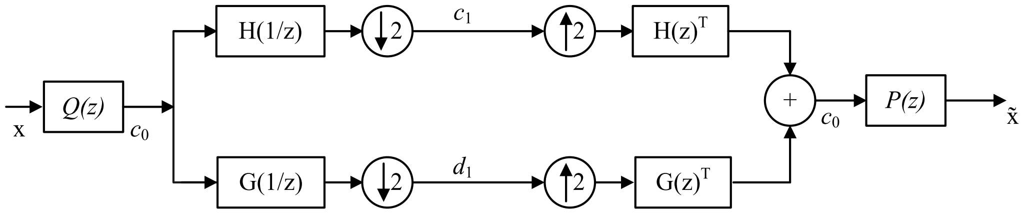


(a) $\psi_1(t)$ (b) $\psi_2(t)$

รูปที่ 3.2 DGHM ฟังก์ชันเวฟเล็ต

นอกจากนี้เนื่องจากมัลติเวฟเล็ตมีจำนวนของฟังก์ชันสเกลลิงมากกว่า 1 ฟังก์ชัน ดังนั้นในการใช้งานจริงจำเป็นจะต้องจัดรูปแบบของสัญญาณอินพุตแบบดิสครีตให้เป็นลำดับแบบเวกเตอร์ก่อนที่จะป้อนสัญญาณอินพุตผ่านมัลติเวฟเล็ตฟิลเตอร์แบงค์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า Prefiltering หรือ Multiwavelet initialization

แผนภาพของการแปลงสัญญาณด้วยมัลติเวฟเล็ตฟิลเตอร์แบงค์แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยจะมี $Q(z)$ และ $P(z)$ เป็นตัวกรอง Prefiltering และ Postfiltering ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 มัลติเวฟเล็ตฟิลเตอร์แบงค์

จากรูปที่ 3.3 ลำดับ x ซึ่งเป็นลำดับแบบเวกเตอร์ได้จากการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดตัวดำเนินการดังนี้

กำหนดตัวดำเนินการ $D_r : R^z \to (R^r)^z$ ซึ่งทำการจัดรูปแบบสัญญาณอินพุต โดยทำการแบ่งลำดับที่เป็นแบบสเกลลาร์ให้เป็นลำดับที่จะถูกจัดกลุ่มแบบเวกเตอร์ เมื่อกำหนด $x(n), n \in Z$ จะได้ว่า $x = D_r(x)$ ซึ่งได้จาก

$$x = D_r(x) = (\downarrow r)\begin{pmatrix} x(n) \\ x(n+1) \\ \vdots \\ x(n+r-1) \end{pmatrix}_{n\in Z} = \begin{pmatrix} x(rn) \\ x(rn+1) \\ \vdots \\ x(rn+r-1) \end{pmatrix}_{n\in Z} \qquad (3.10)$$

การแปลงมัลติเวฟเล็ตใน 2 มิติ จะสามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกันกับการแปลงเวฟเล็ตใน 2 มิติทั่วไป โดยทำการแปลงสัญญาณใน 1 มิติกับแถวของสัญญาณภาพก่อน จากนั้นจึงทำการแปลงสัญญาณภาพในแต่ละคอลัมน์ ดังนั้นในการใช้งานมัลติเวฟเล็ตจะต้องทำ Prefiltering กับแต่ละแถวและในแต่ละคอลัมน์เพื่อสร้างลำดับแบบเวกเตอร์ c_0 ให้กับฟิลเตอร์แบงค์

นอกจากนี้จะมีขั้นตอนที่เพิ่มเติมที่เรียกว่า วิธีการรวมกลับ (Recombining method) ซึ่งจะเป็นการรวมกลับลำดับที่ได้จากการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์เพื่อทำการเปลี่ยนลำดับที่เป็นแบบเวกเตอร์ไปเป็นลำดับแบบสเกลลาร์

สมมุติให้ c เป็นลำดับแบบเวกเตอร์ที่จะได้จากเอาท์พุตของการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์ลำดับดังกล่าวมีรูปแบบดังนี้

$$\boldsymbol{c} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1\mathrm{n}} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2\mathrm{n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{\mathrm{r}1} & c_{\mathrm{r}2} & \cdots & c_{\mathrm{rn}} \end{pmatrix} \qquad (3.11)$$

กำหนดให้ c เป็นลำดับสเกลลาร์ ซึ่งได้จากลำดับเวกเตอร์ $\boldsymbol{c}$ ในรูปของสมการที่ (3.12) และ (3.13) ดังนี้

$$\boldsymbol{c} = (c_{11}c_{21}\ldots c_{\mathrm{r}1}c_{12}c_{22}\ldots c_{\mathrm{r}2}\ldots c_{1\mathrm{n}}c_{2\mathrm{n}}\ldots c_{\mathrm{rn}}) \qquad (3.12)$$

หรือ

$$\boldsymbol{c} = (c_{11}c_{21}\ldots c_{1\mathrm{n}}c_{21}c_{22}\ldots c_{2\mathrm{n}}\ldots c_{\mathrm{r}1}c_{\mathrm{r}2}\ldots c_{\mathrm{rn}}) \qquad (3.13)$$

โดยกำหนดให้การรวมกลับในสมการ (3.12) เป็นวิธีที่ 1 และสมการ (3.13) เป็นวิธีที่ 2

เมื่อเลือกใช้วิธีการรวมกลับวิธีที่ 1 ในสมการ (3.12) จะได้ภาพแบนด์ย่อยจำนวน 4 ภาพ ในการแยกองค์ประกอบด้วยมัลติเวฟเล็ตแต่ละระดับ โดยจะประกอบด้วยภาพแบนด์ย่อยที่เป็นรายระเอียดจำนวน 3 ภาพ และภาพแบนด์ย่อยส่วนที่เป็นการประมาณจำนวน 1 ภาพ สำหรับการแยกองค์ประกอบย่อยด้วยมัลติเวฟเล็ตในระดับต่อไปจะนำภาพแบนด์ย่อยส่วนที่เป็นการประมาณไปทำการแยกองค์ประกอบต่อไป ซึ่งจะได้ภาพแบนด์ย่อยจำนวน 4 ภาพ ดังนั้นในการแยกองค์ประกอบย่อยด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ตจำนวน n ระดับ จะได้ภาพแบนด์ย่อยจากการวิเคราะห์จำนวน 3n+1 ภาพ

รูปที่ 3.4(a) แสดงการจัดเรียงภาพแบนด์ย่อยที่ได้จากการแปลง 1 ระดับ จากการใช้วิธีรวมกลับวิธี 1 โดยภาพแบนด์ย่อยส่วนที่เป็นรายละเอียดจะแทนด้วย LH_1 HL_1 และ HH_1 และภาพแบนด์ย่อยส่วนที่เป็นการประมาณแทนด้วย LL_1 ผลที่ได้จากการแยกองค์ประกอบย่อยด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ต 1 ระดับ โดยใช้ภาพ "Lena" แสดงได้ดังรูปที่ 3.5(a) เมื่อใช้วิธีการรวมกลับวิธีที่ 2 ในสมการ (3.13)จะได้ภาพแบนด์ย่อยที่มีการจัดเรียงใน 4 ทิศทาง เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่การจัดเรียงในแต่ละทิศทางของการแยกองค์ประกอบย่อยแต่ละระดับจะได้ภาพแบนด์ย่อยจำนวน $r \times r$ (r คือ จำนวนฟังก์ชันสเกลลิง) ดังนั้น ในการแยกองค์ประกอบย่อยด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ตจำนวน n ระดับจะได้ภาพแบนด์ย่อยจากการวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงค์ จำนวน $r^2(3\mathrm{n}+1)$ ภาพ ในรูปที่ 3.4(b) แสดงการจัดเรียงภาพแบนด์ย่อยที่

ได้จากการแปลง 1 ระดับ เมื่อเลือกใช้วิธีการรวมกลับวิธีที่ 2 และ $r = 2$ ผลที่ได้จากการแยกองค์ประกอบย่อยดังกล่าวด้วยการแปลงมัลติเวฟเล็ต 1 ระดับ โดยใช้ภาพ “Lena” แสดงได้ดังรูปที่ 3.5(b)

LL_1	LH_1
HL_1	HH_1

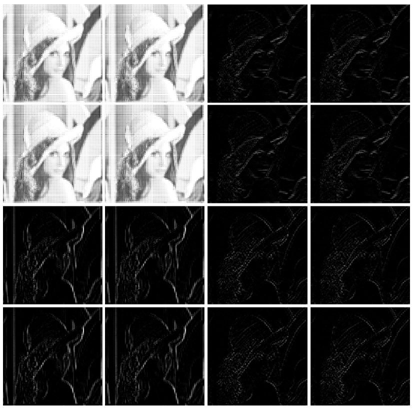
(a) วิธีที่ 1

L_1L_1	L_1L_2	L_1H_1	L_1H_2
L_2L_1	L_2L_2	L_2H_1	L_2H_2
H_1L_1	H_1L_2	H_1H_1	H_1H_2
H_2L_1	H_2L_2	H_2H_1	H_2H_2

(b) วิธีที่ 2

รูปที่ 3.4 การจัดเรียงภาพแบนด์ย่อยจากการแยกองค์ประกอบย่อยของการแปลงมัลติเวฟเล็ต 1 ระดับ โดยใช้วิธีการรวมกลับสัญญาณแต่ละวิธี

(a) วิธีที่ 1



(b) วิธีที่ 2

รูปที่ 3.5 ภาพแบนด์ย่อยจากการแปลงมัลติเวฟเล็ต 1 ระดับ
โดยใช้การรวมกลับแต่ละวิธี

3.3 การคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Cross validation

การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ต้องการโดยการแปลงมัลติเวฟเล็ตสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณที่ต้องการและรักษารายละเอียดของสัญญาณได้ดีในระหว่างที่ผ่านกระบวนการลดสัญญาณรบกวน โดยวิธีที่นิยม คือ การทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่ผ่านการแปลงจากสัญญาณที่ต้องการลดสัญญาณรบกวน นอกจากนี้ในการแปลงมัลติเวฟเล็ตสามารถคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนได้หลายวิธีเพื่อใช้ในการลดสัญญาณรบกวนและทำให้สัญญาณเอาท์พุตของกระบวนการมีคุณภาพดีที่สุด โดยในงานวิจัยได้เลือกการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธี Cross validation เนื่องจากวิธีนี้มีการคำนวณแบบวนรอบอัตโนมัติและจะหยุดการคำนวณเมื่อได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดส่งผลให้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนมีความเหมาะสมมากขึ้นเมื่อใช้ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวน นอกจากนี้วิธีนี้สามารถพัฒนาใช้งานร่วมกับการค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนให้มีความเหมาะสมมากขึ้นส่งผลให้ภาพเอาท์พุตของกระบวนการมีคุณภาพดีขึ้น วัตถุประสงค์ของการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพที่ต้องการโดยทั่วไปจะเป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยรากที่สอง (Mean Square Error (MSE)) มีค่าน้อยที่สุด โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชันที่ได้ประมาณแล้วกับฟังก์ชันจริงเริ่มต้นเพื่อให้มีค่าน้อยที่สุดและได้ฟังก์ชันจากการประมาณที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับฟังก์ชันจริงเริ่มต้นมากที่สุด โดยตัวอย่างการประมาณค่าได้แสดงสมการ MSE เพื่อให้เป็นตัวอย่างในการพิจารณา เมื่อ $\hat{f}(x)$ คือ ฟังก์ชันที่ได้จากการประมาณ ซึ่งในที่นี้จะเป็นการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัญญาณที่ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวนและ $f(x)$ คือ ฟังก์ชันจริงเริ่มต้น ดังสมการ (3.14)

$$M(t) = E\int \left\{ \hat{f}_t(x) - f_t(x) \right\}^2 dx \tag{3.14}$$

โดยในทางปฏิบัติฟังก์ชัน f ไม่สามารถรู้ค่าได้ทำให้การหาค่า M ไม่สามารถคำนวณค่าได้ ดังนั้นต้องใช้ฟังก์ชันการคำนวณอื่นแทนการใช้ค่า MSE เพื่อหาค่า M ดังนั้นได้มีการใช้วิธี Cross validation เพื่อคำนวณค่า M ซึ่งจะเป็นการ แบ่งสัญญาณที่ต้องการประมาณเป็น 2 ส่วน และขนาดลดลงครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่ต้องการประมาณแล้วนำทั้ง 2 ส่วน มาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อให้ค่า M น้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณสามารถให้คำตอบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

3.3.1 การคำนวณแบ่งจุดสัญญาณออกเป็น 2 ส่วน

ในกรณีของสัญญาณ 1 มิติ (Nason, 1996) ข้อมูลมีการเรียงจาก $y_1, y_2 ..., y_n$ โดยในการแบ่งจุดสัญญาณสามารถแสดงได้ดังสมการ (3.15) และสมการ (3.16)

$$y_i^{odd} = \frac{y_{2i-1} + y_{2i+1}}{2} \tag{3.15}$$

และ $y_{N+1} = y_{N-1}$

$$y_i^{even} = \frac{y_{2i} + y_{2i+2}}{2} \qquad i = 1, 2, ..., \frac{N}{2} \tag{3.16}$$

เมื่อ $y_{N+2} = y_N$ และ N คือ ความยาวของจุดสัญญาณ

ดังนั้นสามารถเขียนฟังก์ชัน $M(.)$ เพื่อคำนวณค่าคลาดเคลื่อนได้ดังสมการ (3.17)

$$M(\lambda) = \sum_{j,k} (T(d_{j.k}^{even}; \lambda) - d_{j,k}^{odd})^2 + \sum_{j,k} (T(d_{j.k}^{odd}; \lambda) - d_{j,k}^{even})^2 \tag{3.17}$$

เมื่อ $T(d_{j,k}^{even}; \lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตของภาพย่อยตำแหน่งคู่ที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว

$T(d_{j,k}^{odd}; \lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตของภาพย่อยตำแหน่งคี่ที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว

λ คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้ฟังก์ชัน $M(.)$ มีค่าน้อยที่สุด

j คือ ลำดับการแปลง

k คือ ตำแหน่งจุดสัญญาณ

$d_{j,k}^{even}$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตภาพย่อยตำแหน่งคู่

$d_{j,k}^{odd}$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตภาพย่อยตำแหน่งคี่

จากการคำนวณสมการ (3.17) เมื่อได้ค่าฟังก์ชัน $M(.)$ น้อยที่สุดแล้วจะต้องมีการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ต้องใช้จริงในกระบวนการกำจัดสัญญาณ (Nason, 1996) ดังสมการ (3.18)

$$\delta = \lambda^{*}(1-\frac{\log 2}{\log N})^{-\frac{1}{2}} \tag{3.18}$$

เมื่อ λ^{*} คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้ฟังก์ชัน $M(.)$ ในสมการ (3.17) มีค่าน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงจากการใช้กับสัญญาณ 1 มิติ เพื่อมาใช้กับสัญญาณภาพที่เป็นสัญญาณ 2 มิติ เนื่องจากการคำนวณผลรวมฟังก์ชันฟังก์ชัน $M(.)$ ในสมการ (3.17) จะทำให้ได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพียงค่าเดียว ซึ่งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้อาจยังไม่เหมาะสมสำหรับทุกแบนด์ย่อยจึงได้ทำการสุ่มหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนใหม่ของแต่ละแบนด์ย่อยและของแต่ละระดับการแปลงเพื่อให้ได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดโดยเริ่มจากแบ่งภาพออก 2 ภาพ จะทำการเพิ่มจุดภาพที่ต้องการลดสัญญาณรบกวนบริเวณขอบภาพอีก 2 คอลัมน์ และ 2 แถว เพื่อให้สามารถคำนวณจุดภาพบริเวณขอบภาพได้ด้วย ซึ่งจากการคำนวณจุดภาพเพื่อที่จะทำการแบ่งภาพนั้นมีผลต่อการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนและคุณภาพของสัญญาณภาพที่ได้ การแบ่งภาพย่อยเป็น 2 ภาพ นั้นเพื่อลดขนาดของภาพลงทำให้เวลาในการคำนวณลดลงและใช้แทนการคำนวณค่าคลาดเคลื่อน MSE เนื่องจากในสมการคำนวณไม่สามารถหาฟังก์ชันเริ่มต้นเพื่อใช้คำนวณได้ ดังนั้นในการคำนวณจุดภาพใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยจากจุดที่ใกล้เคียงกันเพื่อให้ได้ข้อมูลของสัญญาณรบกวน เมื่อได้ลดขนาดภาพลงแล้วเพื่อใช้ในการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งจากการทดสอบการใช้จุดภาพ 2 จุดภาพ 3 จุดภาพ 4 จุดภาพ 5 จุดภาพ และ 8 จุดภาพ ผลจากการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบ 5 จุดภาพ ให้ผลของภาพเอาท์พุตที่ดีที่สุด โดยการคำนวณจะทำการเพิ่มคอลัมน์ก่อนจากนั้นจึงจะทำการเพิ่มแถวของภาพได้ดังตัวอย่างรูปที่ 3.6 ต่อไปนี้

P11	P12	P9	P10	P11	P12	P9	P10
P15	P16	P13	P14	P15	P16	P13	P14
P3	*P4*	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	*P1*	*P2*
P7	*P8*	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	*P5*	*P6*
P11	*P12*	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**	*P9*	*P10*
P15	*P16*	**P13**	**P14**	**P15**	**P16**	*P13*	*P14*
P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2
P7	P8	P5	P6	P7	P8	P5	P6

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการเพิ่มจุดภาพเพื่อการคำนวณแบ่งเป็น 2 ภาพ

เมื่อ **P** คือ จุดภาพจริงของสัญญาณภาพ

P คือ จุดภาพที่เพิ่มในแนวคอลัมน์

P คือ จุดภาพที่เพิ่มแถวของสัญญาณภาพ

การคำนวณจุดภาพเพื่อแบ่งเป็น 2 ภาพ คือ ภาพตำแหน่งคี่และภาพตำแหน่งคู่ ดังสมการ

$$y_{mn}^{odd} = \frac{p_{(2m+1,2n+1)} + p_{(2m+1,2n-1)} + p_{(2m+1,2n+3)} + p_{(2m-1,2n+1)} + p_{(2m+3,2n+1)}}{5} \quad (3.19)$$

$$y_{mn}^{even} = \frac{p_{(2m+2,2n+2)} + p_{(2m+2,2n)} + p_{(2m+2,2n+4)} + p_{(2m,2n+2)} + p_{(2m+4,2n+2)}}{5} \quad (3.20)$$

เมื่อ $p_{m,n}$ คือ จุดภาพที่ทำการเพิ่มคอลัมน์และแถวของภาพที่ต้องการแล้ว

N คือ ขนาดภาพก่อนทำการเพิ่มคอลัมน์และแถวของภาพ

m และ $n = 1, 2, 3, ..., \frac{N}{2}$

สามารถเขียนสมการฟังก์ชัน $M(.)$ ดังสมการ (3.21)

$$M_j(\lambda_k) = \sum_{k:m,n} (T(d_{k:m,n}^{even}; \lambda_k) - d_{k:m,n}^{odd})^2 + \sum_{k:m,n} (T(d_{k:m,n}^{odd}; \lambda_k) - d_{k:m,n}^{even})^2 \quad (3.21)$$

เมื่อ $d_{m,n}^{odd}$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตของในแต่ละแบนด์ย่อย k ของภาพที่ตำแหน่ง (m,n)

$d_{m,n}^{even}$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตของในแต่ละแบนด์ย่อย k ของภาพคู่ที่ตำแหน่ง (m,n)

$T(d,\lambda)$ คือ การทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ต d โดยใช้คู่จุดเริ่มเปลี่ยน λ

λ_k คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละแบนด์ย่อย k ที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึม

$M_j(\lambda_k)$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสุ่มค่า λ ในแต่ละแบนด์ย่อย k ของแต่ละระดับการแปลง j

k คือ ลำดับแบนด์ย่อยที่แปลง มัลติเวฟเล็ต (ความถี่สูง)

j คือ ระดับการแปลง (Level)

ดังนั้นค่าของจุดเริ่มเปลี่ยนที่จะใช้ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนจริงของในแต่ละแบนด์ย่อย k คำนวณได้จากสมการ (3.18) ซึ่งได้จากวิธีการคำนวณของ Donoho และ Johnstone (1994) โดยพิจารณาจากค่าความแปรปรวน (Varaince) ของสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ เมื่อขนาดของภาพมีค่าเท่ากับ N ดังนั้นถ้าขนาดของภาพมีค่าเท่ากับ $\frac{N}{2}$ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพจะมีค่าเท่ากัน $\sigma_N = \sigma_{\frac{N}{2}}$ จะได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนจากสมการ (3.22) และสมการ (3.23)

$$\lambda_N = \sigma_N \sqrt{2\log N} \qquad (3.22)$$

เมื่อ λ_N คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีขนาดภาพเท่ากับ N

σ_N คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนภายในสัญญาณภาพที่มีขนาดภาพเท่ากับ N

$$\lambda_{\frac{N}{2}} = \sigma_{\frac{N}{2}} \sqrt{2\log \frac{N}{2}} \qquad (3.23)$$

เมื่อ $\lambda_{\frac{N}{2}}$ คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีขนาดภาพเท่ากับ $\frac{N}{2}$

$\sigma_{\frac{N}{2}}$ คือ ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนภายในสัญญาณภาพที่มีขนาดภาพเท่ากับ $\frac{N}{2}$

ดังนั้นจาก $\sigma_N = \sigma_{\frac{N}{2}}$ จะได้สมการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้จริงดังสมการ (3.24)

$$\delta_k = \lambda_k^*(1-\frac{\log 2}{\log N})^{-\frac{1}{2}} \tag{3.24}$$

เมื่อ δ_k คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้จริงในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนของแต่ละแบนด์ย่อย k

λ_k^* คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมของแต่ละแบนด์ย่อย k

3.4 การทำจุดเริ่มเปลี่ยน (Thresholding)

การลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพนั้นวิธีที่ได้รับความนิยม คือ การทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปน โดยได้ทำการแปลงมัลติเวฟเล็ตหรือเวฟเล็ตกับสัญญาณภาพที่ต้องการลดสัญญาณรบกวนก่อน จากนั้นทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัมประสิทธิ์ของการแปลงและทำการแปลงย้อนกลับเพื่อให้ได้สัญญาณภาพที่ลดสัญญาณรบกวนแล้วกลับคืนมา ซึ่งการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแต่ละวิธีจะให้ผลที่แตกต่างกัน เนื่องจากแต่ละวิธีมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป หลักการการทำจุดเริ่มเปลี่ยน คือ การปรับค่าสัมประสิทธิ์ด้วยค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้ตามสมการของวิธีการทำจุดเริ่มเปลี่ยนนั้นซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกัน เนื่องจากทั้ง 2 วิธีมีคุณสมบัติที่เป็นข้อดีสำหรับการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพของแต่ละวิธี คือ คุณสมบัติของค่าแปรปรวนและค่าไบอัส ซึ่งทั้ง 2 ค่า มีผลต่อคุณภาพของภาพเอาท์พุต โดยจะเริ่มต้นจากการพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรากที่สอง (Mean Square Error (MSE)) ระหว่างภาพเริ่มต้นกับภาพที่ได้จากการประมาณ โดยค่า MSE ต้องน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ภาพจากการประมาณใกล้เคียงกับภาพเริ่มต้นมากที่สุด ดังสมการ

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E(\hat{f}_i - f_i)^2 \tag{3.25}$$

เมื่อ	f	คือ ภาพเริ่มต้น
	$\hat{f}$	คือ ภาพจากการประมาณ
	n	คือ ขนาดของสัญญาณภาพ

จากสมการ (3.25) สามารถกระจายได้ ดังสมการ

$$
\begin{aligned}
E(\hat{f}-f)^2 &= (\hat{f}^2) - 2E(\hat{f}f) + E(f^2) \\
&= E(\hat{f}^2) - E(\hat{f})^2 - 2fE(\hat{f}) + f^2 \\
&= Var(\hat{f}) + (E(\hat{f}) - f)^2
\end{aligned}
\tag{3.26}
$$

เมื่อ	$E((\hat{f})-f)^2$	คือ ค่าไบอัสของภาพ
	$Var(\hat{f})$	คือ ค่าความแปรปรวนของภาพ

จากสมการ (3.26) ค่าไบอัสและค่าความแปรปรวนของภาพสามารถคำนวณได้จากภาพที่ทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว จากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนของทั้งซอฟท์และฮาร์ดจะได้คุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี ที่แตกต่างกันและการปรับขนาดจะขึ้นอยู่กับค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้ โดยการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และแบบฮาร์ด แสดงได้ดังสมการ (3.27) และสมการ (3.28) ตามลำดับ ดังนี้

$$
d^*_{k;m,n} = \begin{cases} d_{k;m,n} - \delta_k ; & d_{k;m,n} > \delta_k \quad "Shrink" \\ d_{k;m,n} = 0 ; & \left|d_{k;m,n}\right| < -\delta_k \quad "Kill" \\ d_{k;m,n} + \delta_k ; & d_{k;m,n} < -\delta_k \quad "Shrink" \end{cases}
\tag{3.27}
$$

$$
d^*_{k;m,n} = \begin{cases} d_{k;m,n} = 0 ; & \left|d_{k;m,n}\right| \le \delta_k \quad "Kill" \\ d_{k;m,n} ; & \left|d_{k;m,n}\right| > \delta_k \quad "Keep" \end{cases}
\tag{3.28}
$$

เมื่อ	$d^*_{k;m,n}$	คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว
	δ_k	คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน
	$d_{k;m,n}$	คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตเริ่มต้น

จากคุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี จะมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณภาพที่ได้และจากกระบวนการลดสัญญาณรบกวนจะได้คุณสมบัติการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์ที่มีค่าไบอัสสูง เนื่องจากสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงจะถูกลดทอนด้วยค่าจุดเริ่มเปลี่ยนและการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดจะได้ค่าความแปรปรวนที่สูง เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำคุณสมบัติในส่วนนี้ของทั้ง 2 วิธี มาพิจารณาในการทำจุดเริ่มเปลี่ยนและทั้ง 2 วิธี ยังมีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติที่ต้องการต้องได้ค่าแปรปรวนและค่าไบอัสที่มีความเหมาะสม เนื่องจากค่า MSE ที่เป็นผลรวมของค่าแปรปรวนและค่าไบอัสที่ได้จากวิธีการคำนวณอื่น ๆ อาจยังไม่แน่นอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการสร้างความสมดุลระหว่างค่าความแปรปรวนกับค่าไบอัสโดยตรง จากการใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกันทำให้คุณภาพของสัญญาณภาพเอาท์พุตดีขึ้น ซึ่งจากค่าความแปรปรวนแสดงความหมายได้ว่าสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ในสัญญาณภาพมากน้อยเพียงใดและค่าไบอัสแสดงความหมายได้ว่าสัญญาณภาพที่ได้จากการประมาณใกล้เคียงกับภาพเป้าหมายเพียงใด ดังนั้นจึงได้นำการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้ง 2 วิธี มาใช้ร่วมกับวิธี Cross validation ซึ่งพิจารณาจากสมการ (3.21) ที่ให้ค่าน้อยที่สุด

โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการของทั้ง 2 วิธี โดยจะเป็นการแบ่งการทำงานเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ได้ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์กับภาพตำแหน่งคี่และใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดกับภาพตำแหน่งคู่ ในกรณีที่ 2 ได้ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์กับภาพตำแหน่งคู่และใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดกับภาพตำแหน่งคี่ ซึ่งทั้งหมดนี้จะอยู่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจีนเนติกอัลกอริทึมและการประเมินค่าความเหมาะสมของแต่ละกรณีจะใช้การคำนวณจากสมการ (3.21) ที่มีค่าน้อยที่สุด โดยการคัดเลือกความเหมาะสมและค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนจริงจะคัดเลือกจากกรณีที่ให้ค่าการคำนวณจากสมการ (3.21) ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งแสดงความหมายได้ว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้มีความเหมาะสมมากที่สุด

ในขั้นตอนกระบวนการลดสัญญาณรบกวนของการทำจุดเริ่มเปลี่ยน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ เนื่องจากวิธีนี้จะมีคุณสมบัติของทั้งแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกันและสามารถใช้คุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี ได้พร้อมกันภายในฟังก์ชันเดียว พิจารณาได้ดังสมการ (3.29)

$$d^*_{k;m,n} = \begin{cases} d_{k;m,n} = 0; & d_{k;m,n} \le \delta_1 \\ \operatorname{sgn}(d)\dfrac{\delta_2(|d_{k;m,n}| - \delta_1)}{\delta_2 - \delta_1}; & \delta_1 < |d_{k;m,n}| \le \delta_2 \\ d_{k;m,n}; & |d_{k;m,n}| > \delta_2 \end{cases} \tag{3.29}$$

เมื่อ δ_1 คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงแรก

δ_2 คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่สอง

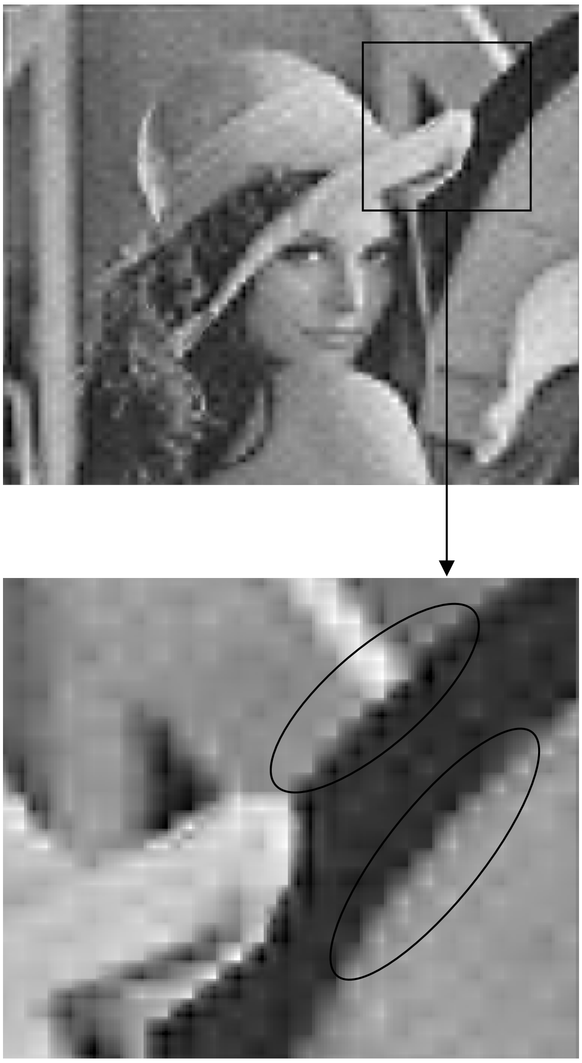
โดยที่ δ_2 คือ $Q \times \delta_1$ ซึ่ง Q จะได้จากการใช้จีนเนติกอัลกอริทึมค้นหาร่วมกับการใช้วิธี Cross validation ภายในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่สอง

การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์จากสมการ (3.29) จะมีการใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน 2 ค่า คือ δ_1 และ δ_2 โดยที่ δ_1 จะได้จากการใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธี Cross validation ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกันในช่วงที่ 1 ส่วนในช่วงที่ 2 คือ ใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธี Cross validation ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ในสมการ (3.29) เพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน δ_2 เนื่องจากค่าจุดเริ่มเปลี่ยน δ_2 จะเป็นค่าที่กำหนดขอบเขตของการใช้คุณสมบัติของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกัน นั่นคือ ถ้า $\delta_1 = \delta_2$ จะทำให้สมการ (3.29) เป็นการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดและถ้า $\delta_2 = \infty$ จะส่งผลให้สมการ (3.29) เป็นการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์ ดังนั้นจึงจะต้องมีการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน δ_2 เพื่อให้สมการ (3.29) สามารถใช้คุณสมบัติของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และฮาร์ดได้พร้อมกันในฟังก์ชันเดียว

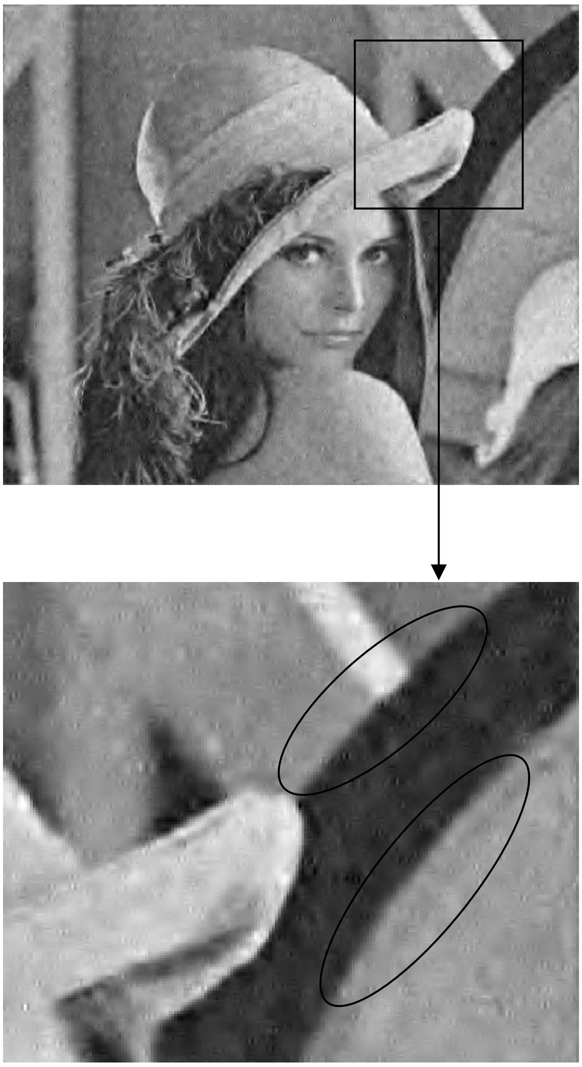
3.4.1 ผลกระทบของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัญญาณภาพ

การทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัญญาณภาพมีผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในสัญญาณภาพเอาท์พุต ซึ่งเป็นผลกระทบที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชันการทำจุดเริ่มเปลี่ยนในบริเวณของสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่มีการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้วทำให้เกิดสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตใหม่มีค่าสูง (Overshoot) หรือต่ำ (Undershoot) มากเกินไปทำให้บริเวณนั้นเกิดการแกว่ง (Oscillation) ของสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่ทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้วในบริเวณนั้นทำให้คุณภาพของสัญญาณภาพเอาท์พุตลดลง โดยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเรียกว่าปรากฏการณ์กิบส์ (Gibbs phenomenon) จะเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นและพบได้ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนทั้งการใช้เวฟเล็ตและมัลติเวฟเล็ตในการแปลงสัญญาณภาพ พิจารณาตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์กิบส์ของสัญญาณภาพ ดังรูปที่ 3.7 ดังนั้นจึงต้องทำการค้นหาวิธีในการลดผลกระทบของปรากฏการณ์กิบส์ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทำ Cycle spinning หรือ Translation Invariant (TI) ร่วมกับการแปลงมัลติเวฟเล็ต ซึ่งการใช้วิธีนี้จะสามารถลดผลกระทบของปรากฏการณ์กิบส์ได้ดี โดยจะเป็นการเลื่อน (Shift) ตำแหน่งของจุดภาพทั้งตำแหน่งแถวและคอลัมน์ของจุดภาพเพื่อทำจุดเริ่มเปลี่ยนในทุก ๆ การเลื่อนตำแหน่งของภาพในแต่ละครั้ง ซึ่งสามารถช่วยลดปรากฏการณ์กิบส์ได้ โดยได้ใช้การคำนวณค่าเฉลี่ยจากการ

เลื่อนตำแหน่งจุดภาพทั้งหมด (Averaging shift) ของการทำ Translation invariant เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อให้ปรากฏการกิบส์เกิดน้อยที่สุด กำจัดสัญญาณรบกวนให้ได้มากที่สุดและข้อมูลของสัญญาณภาพถูกลดทอนน้อยที่สุด ซึ่งในการเลื่อนตำแหน่งในแต่ละรอบจะทำการคำนวณหรือค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนใหม่ทุกรอบเพื่อทำจุดเริ่มเปลี่ยนใหม่ของแต่ละรอบ เนื่องจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแต่ละรอบจะมีปรากฏการณ์กิบส์เกิดขึ้นเสมออาจจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ค้นหาได้ของแต่ละรอบและค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ค้นหาได้ในแต่ละรอบจะมีอิทธิพลมาจากทั้งสัญญาณรบกวนและปรากฏการณ์กิบส์ร่วมกันทำให้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ในรอบใหม่จะทำการลดทอนทั้ง 2 ส่วนนี้ส่งผลให้สัญญาณรบกวนและปรากฏการณ์กิบส์ลดลง เมื่อทำการเลื่อนตำแหน่งจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนดแล้วจะได้จำนวนภาพทั้งหมดเท่ากับจำนวนรอบที่ทำการเลื่อนตำแหน่ง โดยแต่ละภาพจะมีคุณภาพ ข้อมูลของสัญญาณภาพและปริมาณกิบส์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้นำทุกภาพที่ได้มารวมกันแล้วคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อให้คุณภาพของภาพเอาท์พุต ข้อมูลของสัญญาณภาพและปริมาณกิบส์อยู่ในเกณฑ์ที่ดีจากการพิจารณาค่า PSNR ดังตัวอย่างภาพเอาท์พุตที่ได้จากการทำ Translation invariant เพื่อลดปรากฏการณ์กิบส์ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการขยายจุดภาพเอาท์พุตที่เกิดปรากฏการณ์กิบส์ในบริเวณขอบภาพ



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างภาพเอาท์พุตที่ได้จากการทำ Translation invariant
เพื่อลดปรากฏการณ์กิบส์

3.4.2 การทำ Cycle spinning หรือ Translation invariant (TI)

กระบวนการลดสัญญาณรบกวนด้วยการทำจุดเริ่มเปลี่ยนและใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9

Time Domain		*Multiwavelet domain*	
$Y(t)$	$\rightarrow DMWT$	(C_k)	
		$\downarrow \eta$	*Thresholding*
$\tilde{f}(t)$	$\leftarrow IDMWT$	$\eta(C_k)$	

รูปที่ 3.9 การทำจุดเริ่มเปลี่ยนโดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต

เมื่อ $Y(t)$ คือ สัญญาณภาพเริ่มต้นในโดเมนเวลา

$DMWT$ คือ การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีต

$IDMWT$ คือ การแปลงมัลติเวฟเล็ตแบบดิสครีตย้อนกลับ

C_k คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ต

η คือ การทำจุดเริ่มเปลี่ยน

$\eta(C_k)$ คือ สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตที่ผ่านการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแล้ว

ในการทำ Translation invariant (TI) เป็นการเลื่อนตำแหน่งจุดภาพในตำแหน่งแถวและคอลัมน์ของภาพก่อนการแปลงมัลติเวฟเล็ตและหลังจากเลื่อนตำแหน่งจนครบจำนวนรอบแล้วจะต้องทำการเลื่อนตำแหน่งย้อนกลับหลังจากทำการแปลงมัลติเวฟเล็ตย้อนกลับแล้วด้วยเพื่อให้ได้สัญญาณภาพที่ผ่านกระบวนการมาแล้วกลับคืนมา เมื่อ h คือ ลำดับของการเลื่อนตำแหน่งและ $T_h f(x) = f(x+h)$ คือ เป็นการเลื่อนตำแหน่งของการทำ Translation invariant (TI) ซึ่งการเลื่อนตำแหน่งจะทำการเลื่อนตำแหน่งในโดเมนเวลาก่อนการแปลงเป็นโดเมนความถี่เพื่อนำไปทำการลดสัญญาณรบกวนต่อไปและในส่วนการเลื่อนตำแหน่งจุดภาพจะทำการเลื่อนเป็นจำนวน 3×3 ครั้ง ซึ่งจะทำการเลื่อนคอลัมน์ของภาพก่อน จากนั้นจะทำการเลื่อนแถวของภาพตามจำนวนรอบจนครบ 9 ครั้ง เนื่องจากถ้าใช้การเลื่อนมากกว่า 3×3 ครั้ง จะทำให้เกิดความไม่เสถียรขึ้นหรือผลของภาพเอาท์พุตที่ได้เริ่มคงที่ ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3.10

$$
\begin{array}{llllll}
 & \textit{Time domain} & & \textit{Multiwavelet domain} & \\
 & Y(t) & & & \\
\textit{Shift} & \downarrow & & & \\
 & T_h Y(t) & \rightarrow DMWT & (C_k^h) & \\
 & & & \downarrow \eta & \textit{Thesholding} \\
 & \tilde{f}_h(t) & \leftarrow IDMWT & \eta(C_k^h) & \\
\textit{Unshift} & \downarrow & & & \\
 & T_{-h}(f_h)(t) & & &
\end{array}
$$

รูปที่ 3.10 กระบวนการทำ Cycle spinning หรือ Translation Invariant (TI)

3.5 สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวน คือ สัญญาณที่ไม่ต้องการให้เข้ามารบกวนในกระบวนการหรือระบบที่ดำเนินการและมีความจำเป็นต้องกำจัดออกไป ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงชนิดของสัญญาณรบกวนแบ่งตามคุณสมบัติทางเวลาหรือความถี่ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพที่ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ตที่ใช้คุณสมบัติทางเวลาและความถี่เป็นหลัก โดยสามารถแบ่งเป็น 6 ประเภท ดังนี้

1). Adaptive Gaussian white noise เป็นสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในสัญญาณภาพ โดยที่ไม่ขึ้นกับความสัมพันธ์ใด ๆ กับจุดภาพของสัญญาณภาพและมีค่าแอมพลิจูดเกิดขึ้นในทุก ๆ ความถี่ของสัญญาณภาพ สามารถจำกัดขนาดของสัญญาณรบกวนได้และเข้ามาปะปนในสัญญาณภาพได้ทุกส่วน ซึ่งไม่สามารถกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนของการปะปนได้และมีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับศูนย์ โดยสามารถเขียนเป็นการสุ่มแบบ Gaussian ที่อธิบายโดยสมการของProbability density function ในสมการที่ (3.30) และตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวน Gaussian ปะปนในรูปที่ 3.11

$$p_z(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_z^{\,2}}} \exp\left[-\frac{(z-\mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \right] \tag{3.30}$$

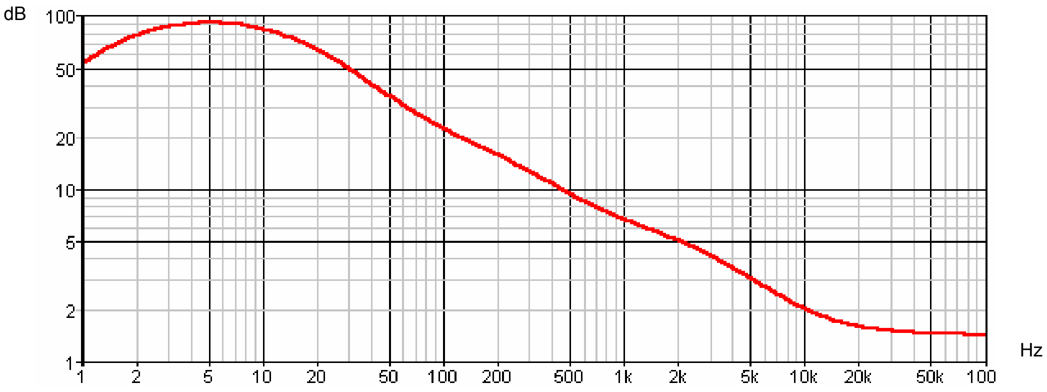
เมื่อ	z	คือ ตำแหน่งจุดที่ทำการสุ่ม
	σ_z^2	คือ ค่าความแปรปรวน (Variance) ของจุดที่ทำการสุ่ม
	μ_z	คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของจุดที่ทำการสุ่ม

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปน

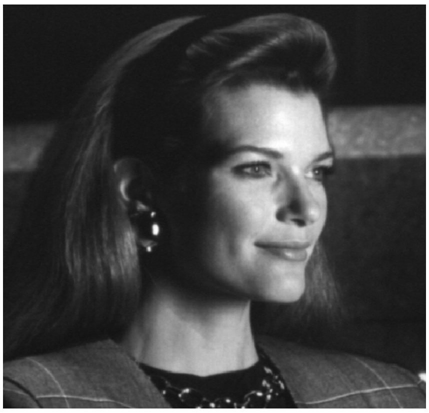
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนชนิด Gaussian ปะปน

2). Colured noise จะเป็นสัญญาณรบกวนที่มีแอมพลิจูดในช่วงความถี่ต่าง ๆ เข้ามาปะปนในข้อมูลของสัญญาณ โดยในแต่ละช่วงความถี่จะมีแอมพลิจูดเกิดขึ้นแตกต่างกันและจะเกิดขึ้นได้ทั้งช่วงความถี่ต่ำและความถี่สูง ตัวอย่างเช่น Brown noise เป็นสัญญาณรบกวนที่มีแอมพลิจูดในช่วงความถี่ต่ำสูงและจะมีอัตราลดลงของแอมพลิจูดจนเป็นศูนย์เมื่อความถี่สูงขึ้น ซึ่งสัญญาณรบกวนชนิดนี้จะใช้ประโยชน์ในด้านสัญญาณเสียง Pink noise จะเป็นสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติระหว่างสัญญาณรบกวนแบบ White noise กับ Brown noise ซึ่งจะมีแอมพลิจูดในทุกช่วงความถี่แต่จะมีอัตราลดลงในช่วงความถี่สูงขึ้น ซึ่งสัญญาณรบกวนประเภทนี้จะใช้ประโยชน์ในด้านการทดสอบวงจรไฟฟ้าและงานทางด้านสัญญาณเสียง เช่นกัน พิจารณาได้ในรูปที่ 3.12

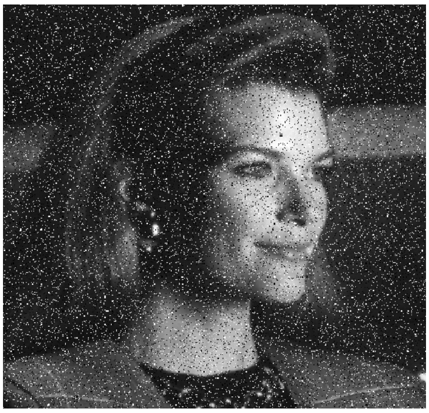


รูปที่ 3.12 สัญญาณรบกวนแบบ Pink noise

3). Impulsive noise จะเป็นสัญญาณรบกวนที่มีขนาดเล็กแต่แอมพลิจูดสูง (Short-duration) เป็นสัญญาณรบกวนแบบ “เปิด/ปิด” หรืออาจจะเรียกว่า สัญญาณรบกวนเกลือพริกไทย (Salt-paper noise) แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



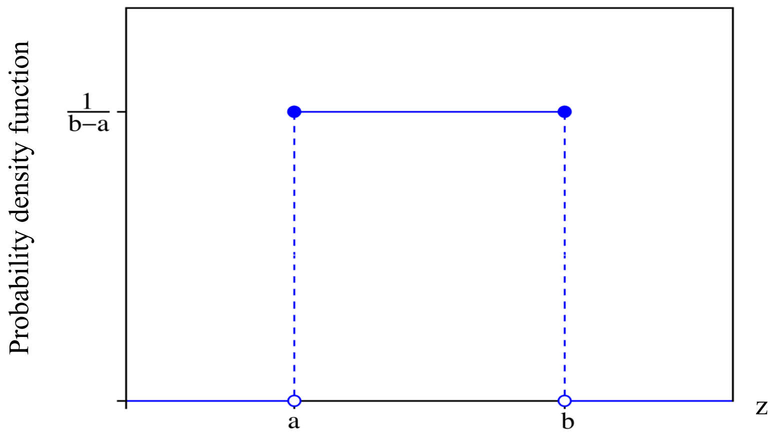
(b) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปน

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนชนิดเกลือพริกไทยปะปน

4). Uniform noise เป็นสัญญาณรบกวนที่มีแอมพลิจูดเท่ากันในทุก ๆ ความถี่ของสัญญาณภาพ สามารถจำกัดขอบเขตหรือขนาดของสัญญาณรบกวนได้และค่าเฉลี่ย (Mean) ของสัญญาณรบกวนไม่เท่ากับศูนย์ โดยสมการของ Probability density function สมการที่ (3.31) และในรูปที่ 3.14

$$p_z(z) = \begin{cases} \dfrac{1}{b-a} & a \le z \le b \\ o & z < a \, or \, z > b \end{cases} \tag{3.31}$$

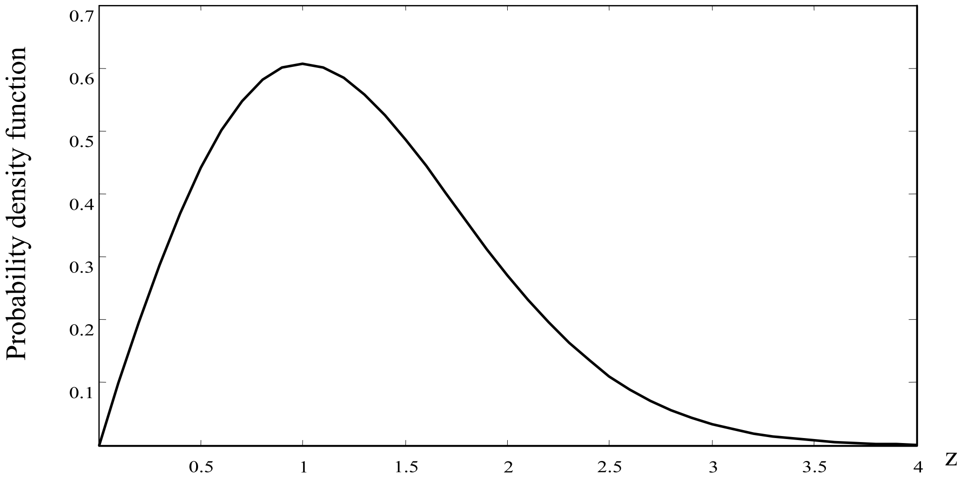
$$Mean = \frac{a+b}{2} \quad \text{และ} \quad \sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12} = \text{Variance}$$



รูปที่ 3.14 Probability density function ของ Uniform noise

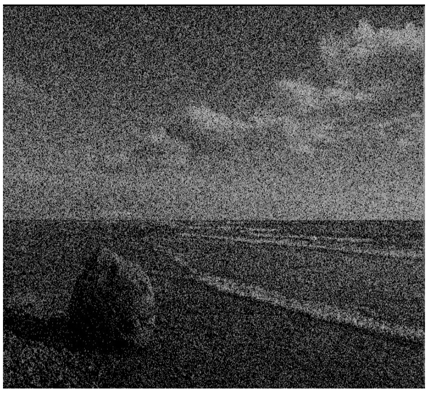
5). Rayleigh noise เป็นสัญญาณรบกวนที่สามารถเกิดขึ้นในสัญญาณภาพได้ โดยมีค่าเฉลี่ย (Mean) ไม่เท่ากับศูนย์และสามารถกำหนดขอบเขตและขนาดของสัญญาณได้ ซึ่งจะพบได้ส่วนใหญ่ในภาพสี เช่น การเกิดแถบสีในภาพทิวทัศน์ เป็นต้น สามารถแสดงสมการ Probability density function ได้ดังสมการที่ (3.32) และในรูปที่ 3.15

$$p(z/\sigma) = \frac{z}{\sigma^2}\exp\left[-\frac{z^2}{2\sigma^2}\right] \tag{3.32}$$



รูปที่ 3.15 Probability density function ของ Rayleigh noise

6). Short noise เป็นสัญญาณรบกวนที่สามารถพบได้จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในกล้องถ่ายภาพและสามารถจำกัดขอบเขตหรือขนาดของสัญญาณรบกวนได้มีลักษณะเป็นจุดแสงเล็ก ๆ ภายในภาพ ซึ่งความเข้มของจุดแสงนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสง (Light intensities) ของภาพในรูปที่ 3.16(a) จะมีความเข้มแสงน้อยจึงสามารถสังเกตจุดแสงเล็ก ๆ ที่เป็นสัญญาณรบกวนได้ชัดเจนและในรูปที่ 3.16(b) และในรูปที่ 3.16(c) ความเข้มแสงของภาพเพิ่มขึ้นทำให้ผลกระทบของจุดแสงที่มีผลกระทบต่อการมองเห็นของภาพลดลง



(a) ความเข้มแสงของภาพน้อย

(b) ความเข้มแสงของภาพเพิ่มข้น

(c) ความเข้มแสงของภาพมากที่สุด

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนชนิด Shot noise ที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้สัญญาณรบกวนชนิด Gaussian เนื่องจากเป็นสัญญาณรบกวนที่มีค่าแอมพลิจูดในทุกความถี่ ซึ่งการแปลงมัลติเวฟเล็ตสามารถพบสัญญาณรบกวนชนิดนี้ได้ในแบนด์ย่อยต่าง ๆ ในโดเมนความถี่ของการแปลงเมื่อผ่านตัวกรองความถี่ต่ำและตัวกรองความถี่สูง โดยสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกได้จากแบนด์ย่อยต่าง ๆ ที่เป็นโดเมนความถี่นี้ และสัญญาณรบกวนชนิดนี้ไม่สามารถระบุตำแหน่งในการปะปนได้ทำให้เป็นการยากที่จะกำจัดสัญญาณรบกวนชนิดนี้ออกไปจากสัญญาณภาพ

3.6 การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม

งานวิจัยนี้เป็นการลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพเพื่อให้ได้ภาพเอาท์พุตที่ดีที่สุด ดังนั้นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดและลดสัญญาณรบกวนออกจากภาพให้ได้มากที่สุดจึงมีความสำคัญมาก ด้วยเหตุนี้ในงานวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่เรียกว่าการค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) หรือ GA โดยได้เป็นการประยุกต์ใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมกับการประมวลผลภาพเพื่อใช้ค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตที่พบว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จะเป็นการใช้สูตรคำนวณการประมาณค่าความแปรปรวนจากสูตรต่าง ๆ เพื่อใช้คำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนต่อไป แต่ในงานวิจัยนี้เป็นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนโดยใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธี Cross validation ซึ่งการค้นหาด้วยวิธีนี้จะไม่ต้องการค่าความแปรปรวนเพื่อคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยน เนื่องจากในการประมาณค่าความแปรปรวนอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้การวัดความคลาดเคลื่อนของภาพเอาท์พุตด้วยการคำนวณความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรากที่สองอาจให้ผลที่ไม่แน่นอน ดังนั้นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนด้วยวิธีนี้จะไม่คำนึงถึงปัญหาดังที่ยกตัวอย่างดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีความเหมาะสมมากขึ้น จึงได้นำเสนอหลักการและวิธีการในการนำจีนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้สำหรับการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในงานวิจัยนี้

3.6.1 หลักการของการค้นหาแบบจีนเนติกอัลกอริทึม

หลักการของจีนเนติกอัลกอริทึมได้แบ่งออกเป็น 3 หัวข้อที่สำคัญ ๆ ดังต่อไปนี้

1) กระบวนการของจีนเนติกอัลกอริทึม

กระบวนการที่สำคัญของจีนเนติกอัลกอริทึมประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ

- การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) คือ ขั้นตอนสำหรับการคัดเลือกประชากรที่ดีเพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นถัดไป

• ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operation) คือ กรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกลายเป็นโครโมโซมลูกหลานที่ได้รับส่วนดีจากต้นกำเนิดสายพันธุ์

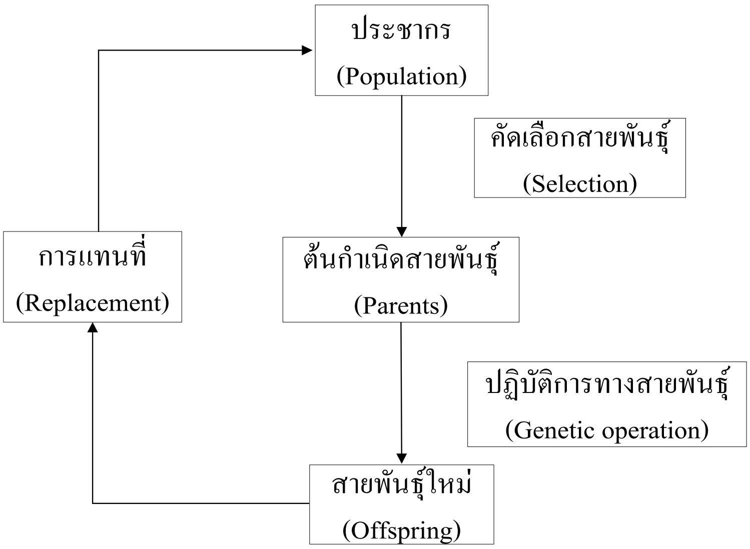
• การแทนที่ (Replacement) คือ ขั้นตอนการนำเอาลูกหลานที่กำเนิดใหม่จากต้นกำเนิดสายพันธุ์ไปแทนที่บางส่วนของโครโมโซมประชากรรุ่นก่อน

หลักการทำงานได้แสดงเป็นวัฏจักรการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึมและรายละเอียดขององค์ประกอบในวัฏจักรของจีนเนติกอัลกอริทึมที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.17 มีดังนี้

• ประชากร (Population) คือ กลุ่มของโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งเป็นตัวแทนของระบบที่ต้องการหา

• ต้นกำเนิดสายพันธุ์ (Parents) คือ กลุ่มประชากรที่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการให้กำเนิดสายพันธุ์ใหม่ในรุ่นถัดไป

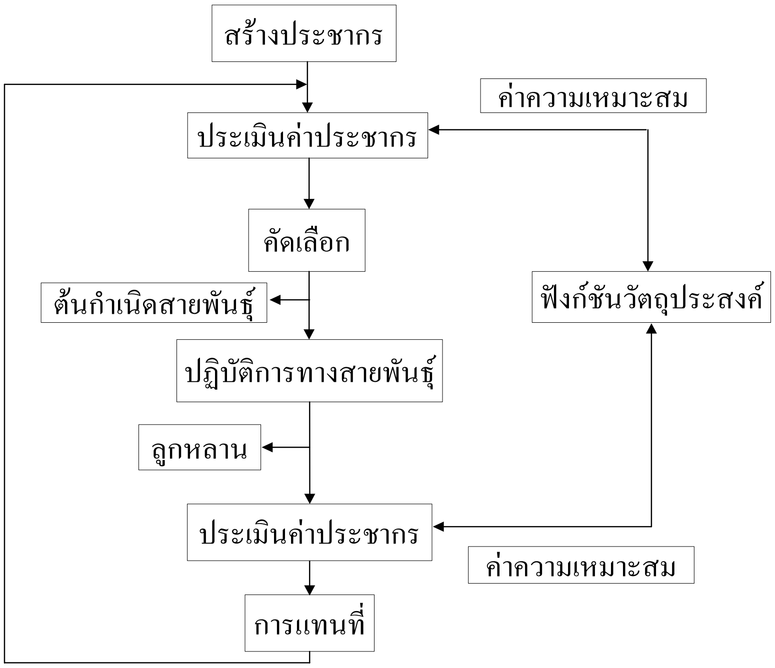
• สายพันธุ์ใหม่ (Offspring) คือ กลุ่มประชากรใหม่ที่ถ่ายทอดสายพันธุ์มาจากพ่อแม่



รูปที่ 3.17 วัฏจักรของจีนเนติกอัลกอริทึม

2) ขั้นตอนการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึมจะเป็นดังรูปที่ 3.18 และมีการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรโดยใช้วิธีการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 2 ทำการประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากรที่สร้างขึ้นด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งก่อนที่จะประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากรนั้นจะต้องถอดรหัสโครโมโซมก่อนเพื่อให้ระบบเข้าใจค่าของโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจากนั้นส่งกลับไปยังจีนเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่ 4 ทำการคัดเลือกโครโมโซมบางกลุ่มจากค่าความเหมาะสมที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 เพื่อนำมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 5 นำต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ได้มาทำปฏิบัติการทางสายพันธุ์เพื่อสร้างโครโมโซมประชากรลูกหลาน

ขั้นตอนที่ 6 ทำการคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูกหลาน โดยใช้วิธีเดียวกับขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 7 ทำการแทนที่โครโมโซมประชากรเดิมด้วยโครโมโซมของลูกหลานจากขั้นตอนที่ 5 ซึ่งจะมีประชากรเพียงบางส่วนที่จะถูกแทนที่ด้วยกลวิธีเฉพาะสำหรับขั้นตอนของการแทนที่โดยใช้ค่าความเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 8 เริ่มต้นทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 2 ไปจนได้คำตอบที่ดีที่สุดตามต้องการ

3) ปฏิบัติการทางสายพันธุ์ (Genetic operation)

ปฏิบัติการทางสายพันธุ์เป็นการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์ให้เป็นโครโมโซมลูกหลานที่ได้รับส่วนดีจากโครโมโซมต้นกำเนิด โดยปฏิบัติการทางสายพันธุ์จะมีอยู่ 2 วิธี กล่าวคือ

- การทำครอสโอเวอร์ (Crossover) เป็นวิธีการรวมตัวใหม่ของโครโมโซมระหว่างโครโมโซมต้นกำเนิดสายพันธุ์ตั้งแต่สองโครโมโซมขึ้นไปเพื่อให้ได้เป็นโครโมโซมลูกหลาน ซึ่งมีพันธุกรรมจากต้นกำเนิดสายพันธุ์อยู่ภายในและการกำหนดอัตราการทำครอสโอเวอร์จะกำหนดโดยใช้ความน่าจะเป็นในการทำครอสโอเวอร์ของจีนเนติกอัลกอริทึมมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ การทำครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (Single-point crossover) การทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุด (Multiple-point crossover) การทำครอสโอเวอร์แบบสองจุด (Double-point crossover) และการทำครอสโอเวอร์แบบสลับที่(Shuffle crossover)
- การทำมิวเทชัน (Mutation) เป็นวิธีการแปรผันยีนหรือเปลี่ยนแปลงส่วนย่อยของโครโมโซมเดิมทำให้กลายเป็นโครโมโซมใหม่ โดยในทางปฏิบัติแล้วยีน คือ บิตในระบบตัวเลขของคอมพิวเตอร์ การทำมิวเทชันเป็นกระบวนการที่สำคัญ เนื่องจากถ้าไม่มีการทำมิวเทชันจะทำให้พลาดโอกาสที่จะค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดในวงกว้างของระบบ ซึ่งควรจะมีทั้งกระบวนการทำครอสโอเวอร์และการทำมิวเทชันควบคู่กันไปทั้งสองกระบวนการ โดยการทำมิวเทชันแสดงได้ดังรูปที่ 3.19

โครโมโซมเดิม

0	0	1	1	1	0

โครโมโซมใหม่

0	0	1	1	0	0

รูปที่ 3.19 การทำมิวเทชัน

3.7 การค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีจีนเนติกอัลกอริทึม

การค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนโดยการใช้จีนเนติกอัลกอริทึมในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน โดยแบ่งเป็นการค้นหา 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 จะทำการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน 3 ค่า ซึ่งจะเป็นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนแบบทีละระดับการแปลง ใน 1 ระดับการแปลงจะมีแบนด์ย่อยความถี่สูง 3 แบนด์ย่อย และจุดเริ่มเปลี่ยนที่ค้นหาได้จะนำมาทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับแบนด์ย่อยทั้ง 3 แบนด์ย่อยนี้ เนื่องจากสัญญาณรบกวนจะมีปะปนอยู่ในแบนด์ย่อยความถี่สูงทั้ง 3 แบนด์ย่อยโดยจะเข้าไปรวมอยู่กับข้อมูลของสัญญาณภาพที่มีความถี่สูง ดังนั้นถ้าจุดเริ่มเปลี่ยนมีค่าไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนมีค่าสูงเกินไป เมื่อทำจุดเริ่มเปลี่ยนอาจทำให้ข้อมูลของสัญญาณภาพสูญเสียไปและถ้าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนมีค่าน้อยเกินไป เมื่อทำจุดเริ่มเปลี่ยนอาจทำให้มีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่มากเกินไป ดังนั้นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดจึงมีความสำคัญมากเพื่อให้ข้อมูลของสัญญาณภาพยังคงอยู่มากที่สุดแต่ต้องลดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพให้ได้มากที่สุดและช่วงที่ 2 จะเป็นการค้นหาค่า Q เพื่อคำนวณค่า δ_2 ตามสมการ (3.29) เพื่อให้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์มีคุณสมบัติของทั้งซอฟท์และฮาร์ดภายในฟังก์ชันเดียวกัน

3.7.1 การหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยจีนเนติกอัลกอริทึม ในช่วงที่ 1

การค้นหาระดับค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยจีนเนติกอัลกอริทึมในงานวิจัยนี้โดยการใช้ Genetic toolbox (Chipperfield, Fleming and Pohlheim, 1994) ของโปรแกรม MATLAB โดยโปรแกรมในการหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดมี 8 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเป็นขั้นตอนการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึมที่แสดงไว้ในข้อย่อยที่ 2) ของข้อ 3.6.1 ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

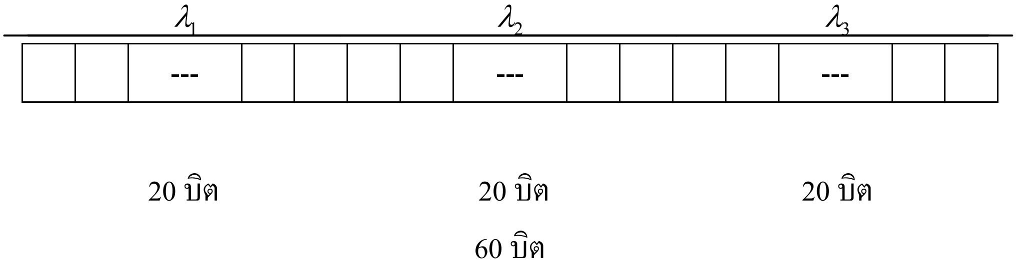
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้นของจีนเนติกอัลกอริทึมได้แก่

NIND	คือ จำนวนประชากรเริ่มต้น
MAXGEN	คือ จำนวนรอบการทำงานของจีนเนติกอัลกอริทึม
NVAR	คือ จำนวนพารามิเตอร์ที่จะให้จีนเนติกอัลกอริทึมค้นหา
GGAP	คือ ร้อยละของการคัดเลือกสายพันธุ์
P_c	คือ ความน่าจะเป็นหรืออัตราในการทำครอสโอเวอร์
P_m	คือ ความน่าจะเป็นหรืออัตราในการทำมิวเทชัน

การออกแบบโปรแกรมที่ใช้จีนเนติกอัลกอริทึมควรจะทำการเลือก NIND MAXGEN GGAP P_c P_m ให้เหมาะสมกับการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้หาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างประชากรเริ่มต้นให้กับจีนเนติกอัลกอริทึม โดยใช้คำสั่ง Chrom และเมื่อ Chrom คือ กลุ่มของโครโมโซมเริ่มต้นซึ่งมีลักษณะเป็นไบนารี ดังนั้นส่วนย่อยของโครโมโซมหรือยีนที่ได้จากคำสั่งนี้จะมีลักษณะเป็นบิตและจำนวนโครโมโซมที่ได้จะมีจำนวนเท่ากับ NIND โครโมโซมและ NVAR*PRECI จะเป็นความยาวของโครโมโซมหรือเป็นจำนวนบิตของยีนนั่นเอง โดยในแต่ละโครโมโซมของประชากรเริ่มต้นจะมีความยาวของโครโมโซมเท่ากัน

ความยาวของโครโมโซมขึ้นอยู่กับจำนวนและความละเอียดของพารามิเตอร์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของพารามิเตอร์ที่ต้องการความละเอียดมากน้อยเพียงใด สิ่งที่ต้องการให้จีนเนติกอัลกอริทึมค้นหาในงานวิจัยนี้ คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อนำไปลดสัญญาณรบกวนในกระบวนการต่อไป สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดความละเอียดของพารามิเตอร์แต่ละตัวให้เป็น 20 บิต เนื่องจากต้องการความละเอียดในการค้นหาพารามิเตอร์ดังกล่าว ซึ่งจากการอธิบายข้างต้นได้นำเสนอดังรูปที่ 3.20 แสดงการกำหนดค่าความละเอียดให้กับพารามิเตอร์ โดยพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า จะประกอบรวมกันเป็น 1 โครโมโซมดังนั้นใน 1 โครโมโซม มีความยาวเป็น 60 บิต ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.20 โดยค่าความยาวของโคโมโซมขึ้นอยู่กับจำนวนพารามิเตอร์และค่าความละเอียดของพารามิเตอร์แต่ละตัวเป็นสำคัญและตามหลักการของจีนเนติกอัลกอริทึมค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการค้นหาของระบบไม่จำเป็นต้องมีความละเอียดเท่ากันก็ได้ แต่ในงานวิจัยนี้ได้ให้ค่าความละเอียดของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมีค่าเท่ากันเพื่อง่ายต่อการค้นหา นอกจากนี้ลำดับในการจัดเรียงค่าพารามิเตอร์เป็น 1 โครโมโซม มีความสำคัญมากในการพิจารณาเนื่องจากหลักการของจีนเนติกอัลกอริทึมต้องมีการเข้ารหัสและถอดรหัสจากเลขไบนารีเป็นเลขฐานสิบที่เรียกว่า ฟีโนไทป์ เพื่อส่งค่าเข้าไปในส่วนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความเหมาะสมเนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่เข้าใจระบบตัวเลขที่เป็นไบนารี ดังนั้นลำดับการจัดเรียงค่าพารามิเตอร์จึงมีความสำคัญมาก ซึ่งจะมีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมได้



รูปที่ 3.20 รายระเอียดค่าความยาวของ 1 โครโมโซม

เมื่อ λ_1 λ_2 λ_3 คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของลำดับแบนด์ย่อยความถี่สูงแต่ละระดับการแปลง

ขั้นตอนที่ 3 ทำการประเมินค่าโครโมโซมของกลุ่มประชากรทั้งหมดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเนื่องจากระบบไม่สามารถเข้าใจค่าของโครโมโซมที่เป็นแบบไบนารี ดังนั้น โครโมโซมจะต้องทำการถูกถอดรหัสให้เป็นรูปแบบฟีโนไทป์ก่อนที่จะถูกประเมินด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งในงานวิจัยนี้รูปแบบของฟีโนไทป์ คือ เลขฐานสิบ โดยการถอดรหัสจะใช้คำสั่ง Phen เมื่อ Phen คือ รูปแบบของฟีโนไทป์ที่จะถูกทำการประเมินด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และ FieldD คือ รูปแบบของการกำหนดค่าในการถอดรหัสจากโครโมโซมที่เป็นไบนารีรูปแบบฟีโนไทป์ฐานสิบ

ความสัมพันธ์แสดงกำหนดโครงสร้างของ FieldD แบบเมตริกซ์แต่ละองค์ประกอบมีความหมายและมีกรอบการใช้งานดังต่อไปนี้

length คือ โครงสร้างสำหรับกำหนดความยาวในแต่ละโครโมโซม ซึ่งได้กำหนดจากจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการค้นหาและความละเอียดของพารามิเตอร์แต่ละตัว

จากการกำหนดโครสร้างข้างต้น หมายถึง พารามิเตอร์ที่ต้องการทำการค้นหาทั้งหมด 3 ตัว ซึ่งแต่ละตัวมีค่าความละเอียดเท่ากับ 20 บิต โดยคอลัมน์แรกเป็นพารามิเตอร์ตัวที่หนึ่งที่ต้องการค้นหา คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อยลำดับที่หนึ่งในระดับการแปลงนั้น คอลัมน์ที่สอง คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อยลำดับที่สองในระดับการแปลงนั้น คอลัมน์ที่สาม คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อยลำดับที่สามของระดับการแปลงนั้นตามลำดับ

lower limit คือ ขอบเขตของค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการค้นหา จากการกำหนดโครงสร้างในข้างต้น หมายถึง ขอบเขตของค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ของค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการค้นหามีค่าเท่ากับ 1 ทั้งสามค่า

upper limit คือ ขอบเขตค่าสูงสุดของแต่ละพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการค้นหา

จากการกำหนดโครงสร้างข้างต้น หมายถึง ขอบเขตของค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 1000 ซึ่งโดยทั่วไปค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีค่าเท่ากับ 1000 เมื่อทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับสัมประสิทธิ์ของจุดภาพจะทำให้จุดภาพมีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดและข้อมูลของจุดภาพจะเป็นศูนย์ทั้งหมดด้วย จากการกำหนดขอบเขตสูงสุดครอบคลุมของค่าดังกล่าวที่ได้จากการทดสอบทำให้มั่นใจได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการค้นหาด้วยจีนเนติกอัลกอริทึมจะไม่เกินขอบเขตสูงสุดที่กำหนด

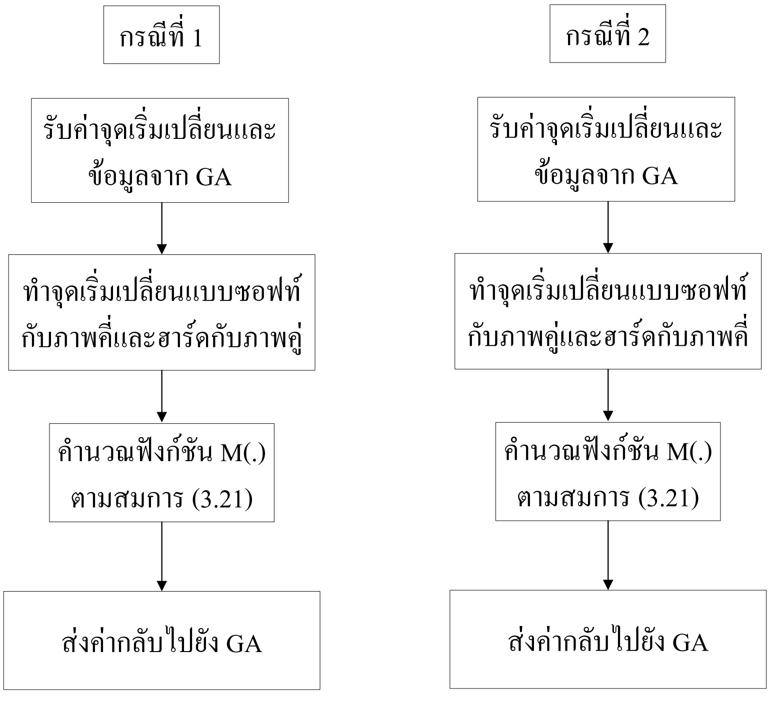
code คือ โครงสร้างสำหรับเลือกรหัสที่ใช้ โดยมีการเข้ารหัสอยู่ 2 แบบ คือ code มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง การเข้ารหัสแบบไบนารีมาตรฐานและถ้า code มีค่าเท่ากับหนึ่ง หมายถึง การเข้ารหัสแบบรหัสเกรย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกการเข้ารหัสแบบรหัสเกรย์

scale คือ โครงสร้างสำหรับเลือกเทคนิคการสเกลค่าในช่วงระหว่างขอบเขตของค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้และขอบเขตค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ตามที่อธิบายแล้วข้างต้น ซึ่งมีเทคนิคการสเกล 2 แบบคือ การสเกลเชิงเลขคณิต โดยกำหนดค่าสเกลเป็นศูนย์และการสเกลเชิงลอการิทึมจะกำหนดสเกลเท่ากับหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกเทคนิคการสเกลเชิงลอการิทึม

lower bound คือ การกำหนดรูปแบบว่าจะนำค่าขอบเขตต่ำสุดไปร่วมพิจารณาด้วยหรือไม่ เช่น ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ค่าขอบเขตต่ำสุดของพารามิเตอร์ทั้งสามค่า คือ 1 ซึ่งถ้าต้องการพิจารณาคำตอบที่ค่าดังกล่าวด้วยจะกำหนดค่าเท่ากับหนึ่ง แต่ถ้าไม่พิจารณาคำตอบที่ค่าขอบเขตต่ำสุดจะกำหนดค่าเป็นศูนย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะพิจารณาคำตอบที่ค่าขอบเขตต่ำสุดด้วยจึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับหนึ่ง

upper bound คือ ความหมายเช่นเดียวกันกับ lower bound แต่จะเป็นค่าขอบเขตสูงสุด

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินคำตอบของระบบด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์และคำนวณค่าความเหมาะสมส่งกลับไปเพื่อใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีสำหรับการขยายพันธุ์ ซึ่งงานวิจัยนี้ในช่วงที่ 1 จะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และฮาร์ดกับภาพตำแหน่งคู่และภาพตำแหน่งคี่ ตามลำดับ กรณีที่ 2 ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดและซอฟท์กับภาพตำแหน่งคู่และภาพตำแหน่งคี่ตามลำดับ แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

จากแผนภูมิการทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้างต้น สามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนระหว่างแบนด์ย่อยที่ทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับแบนด์ย่อยที่ไม่ได้ทำจุดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งเป็นการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนที่นำมาใช้แทนการคำนวณค่า MSE ซึ่งจะส่งกลับไปยังจีนเนติกอัลกอริทึมเพื่อคำนวณค่าความเหมาะสม โดยการคำนวณค่าความเหมาะสมในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการจัดอันดับ

ขั้นตอนที่ 5 คัดเลือกโครโมโซมประชากรบางกลุ่มมาเป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์ โดยจะคัดเลือกจากค่าความเหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 สำหรับการคัดเลือกในโปรแกรมนั้นมีอยู่ 2 วิธี คือการชักตัวอย่างของวงล้อรูเล็ท (roulette wheel sampling (rws)) และวิธีการชักตัวอย่างของกระบวนเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล (stochastic universal sampling (sus))

ขั้นตอนที่ 6 สร้างลูกหลานจากต้นกำเนิดสายพันธุ์ด้วยวิธีปฏิบัติการทางสายพันธุ์ได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ การทำครอสโอเวอร์และการทำมิวเทชัน ในงานวิจัยนี้ได้เลือกการทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุด ซึ่งกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการทำครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.9 โดยการทำครอสโอเวอร์และค่าความน่าจะเป็นในการทำครอสโอเวอร์ดังกล่าวจะให้ผลดีที่สุดและหลังจากครอสโอเวอร์จะมีการทำมิวเทชัน ซึ่งความน่าจะเป็นในการทำมิวเทชันที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 0.01 ได้จากผลงานวิจัยของ K.F. Man และคณะในปี ค.ศ. 1996

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมลูกหลาน โดยใช้วิธีการเดียวกับขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 8 เป็นขั้นตอนการแทนที่โครโมโซมในประชากรเดิมด้วยลูกหลานที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 ซึ่งจะมีประชากรเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ถูกแทนที่ด้วยกลวิธีเฉพาะสำหรับขั้นตอนของการแทนที่ โดยใช้ค่าความเหมาะสมในการตัดสิน

เมื่อดำเนินการตามขั้นตอน 1-8 แล้วจะเริ่มต้นทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 2-8 ไปจนกระทั่งได้คำตอบและคำตอบนั้นจะเป็นค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดที่มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ภาพเอาท์พุตมีคุณภาพดีที่สุด

กำหนดค่าเริ่มต้นของจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่ 1 ของกรณีที่ 1 คือ จำนวนโครโมโซมเท่ากับ 80 โครโมโซม ร้อยละของการคัดเลือกสายพันธ์ (GGAP) เท่ากับ 0.8 การคัดเลือกโครโมโซมที่เหมาะสมใช้การชักตัวอย่างของวงล้อรูเล็ท (roulette wheel sampling (rws)) การทำครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมใช้การทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุด (Multiple-point crossover) และความน่าจะเป็นในการทำครอสโอเวอร์ที่เหมาะสม (Recopt) เท่ากับ 0.9 จากการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ได้ใช้ทดสอบให้ผลดีที่สุด

กำหนดค่าเริ่มต้นของจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่ 1 ของกรณีที่ 2 คือ จำนวนโครโมโซมเท่ากับ 60 โครโมโซม ร้อยละของการคัดเลือกสายพันธ์ (GGAP) เท่ากับ 0.8 การคัดเลือกโครโมโซมที่เหมาะสมใช้การชักตัวอย่างของวงล้อรูเล็ท (roulette wheel sampling (rws)) การทำครอสโอเวอร์ที่

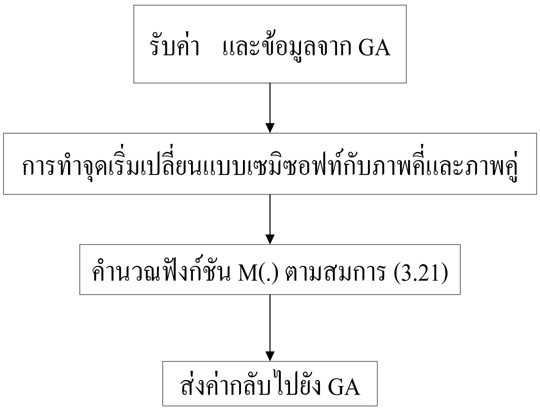
เหมาะสมใช้การทำครอสโอเวอร์แบบหลายจุด (Multiple-point crossover) และความน่าจะเป็นในการทำครอสโอเวอร์ที่เหมาะสม (Recopt) เท่ากับ 0.9 จากการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ได้เลือกใช้ทดสอบให้ผลดีที่สุด

3.7.2 การหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดด้วยจีนเนติกอัลกอริทึม ในช่วงที่ 2

การค้นหาด้วยจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่ 2 เป็นการค้นหาค่า Q เพื่อคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยน δ_2 ตามสมการ (3.29) โดยให้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์มีคุณสมบัติการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และแบบฮาร์ด ซึ่งเป็นการสร้างสมดุลระหว่างค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสของภาพที่มีผลต่อคุณภาพของภาพเอาท์พุตภายในการทำจุดเริ่มเปลี่ยนฟังก์ชันเดียว ในขั้นตอนของกระบวนการลดสัญญาณรบกวน โดยการค้นหาในส่วนที่ 2 นี้จะทำการค้นหาพารามิเตอร์ 3 ตัวต่อ 1ระดับการแปลง ซึ่งเป็นการค้นหาค่า Q ของแต่ละระดับแบนด์ย่อย โดยในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ร่วมกับวิธี Cross validation และการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนตามสมการ (3.21) เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์มีคุณสมบัติของทั้งซอฟท์และฮาร์ดภายในฟังก์ชันเดียวร่วมกับการใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากช่วงที่ 1 (δ_1)

กำหนดค่าเริ่มต้นของจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่ 2 คือ จำนวนโครโมโซมเท่ากับ 80 โครโมโซม ร้อยละของการคัดเลือกสายพันธ์ (GGAP) เท่ากับ 0.7 การคัดเลือกโครโมโซมที่เหมาะสมใช้วิธีการชักตัวอย่างของกระบวนเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล (stochastic universal sampling (sus)) การทำครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมใช้การทำครอสโอเวอร์แบบสองจุด (Double-point crossover) และความน่าจะเป็นในการทำครอสโอเวอร์ที่เหมาะสม (Recopt) เท่ากับ 0.9 จากการกำหนดค่าเริ่มต้นที่ได้เลือกใช้ทดสอบให้ผลดีที่สุด

สิ่งที่แตกต่างจากการค้นหาของจีนเนติกในช่วงที่ 1 คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจะเป็นการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์กับภาพตำแหน่งคู่และภาพตำแหน่งคี่ร่วมกับการคำนวณตามสมการ (3.21) เพื่อให้ได้ค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและค่า Q ที่เหมาะสมที่สุดและในส่วนขั้นตอนอื่น ๆ จะยังคงเป็นดังเช่นในการค้นหาในช่วงที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

บทที่ 4
การลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงระเบียบวิธีทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการสร้างสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ ขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวนและขั้นตอนการวัดคุณภาพของภาพเอาท์พุต

4.2 การสร้างสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ

สัญญาณรบกวนที่เข้ามาปะปนในสัญญาณภาพ โดยทั่วไปจะมีแนวคิดเช่นเดียวกับสัญญาณใน 1 มิติ ทั่วไปและเป้าหมายที่ต้องการจะเป็นในทำนองเดียวกันที่ต้องการลดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาปะปนออกไปและยังคงรักษาส่วนสำคัญของข้อมูลของสัญญาณภาพให้ได้มากที่สุด สัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพจะเป็นสัญญาณแบบ 2 มิติ เช่นเดียวกัน โดยจะมีรูปแบบของการจำลองสมการดังนี้

$$g_{i,j} = y_{i,j} + \varepsilon_{i,j} \tag{4.1}$$

เมื่อ $\varepsilon_{i,j}$ คือ สัญญาณรบกวนประเภท Gaussian

$y_{i,j}$ คือ สัญญาณภาพเริ่มต้น

$g_{i,j}$ คือ สัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนปะปน

i, j คือ ตำแหน่งจุดภาพแถวและคอลัมน์ตามลำดับ

ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนสิ่งที่ต้องการกลับคืนมาจากการลดสัญญาณรบกวน คือ $y_{i,j}$ โดยทั่วไปจะได้มาในรูปของฟังก์ชันที่ได้จากการประมาณค่าจากการคำนวณค่าเฉลี่ยรากที่สองจากสมการดังนี้

$$MSE = \frac{1}{mn}\sum_{i,j=1}^{m,n} E(\hat{y}_{i,j} - y_{i,j})^2 \tag{4.2}$$

เมื่อ MSE คือ ค่าเฉลี่ยรากที่สอง

$y_{i,j}$ คือ สัญญาณภาพเริ่มต้น

$\hat{y}_{i,j}$ คือ สัญญาณภาพที่ได้จากการประมาณค่า

m,n คือ ตำแหน่งแถวและตำแหน่งคอลัมน์ของสัญญาณภาพตามลำดับ

โดยทั่วไป $y_{i,j}$ ไม่สามารถรู้ได้จึงมีความจำเป็นต้องการคำนวณชนิดอื่นแทนการใช้ $y_{i,j}$ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ใช้การคำนวณ Cross validation เพื่อคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสม ซึ่งได้กล่าวรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 ดังกล่าวมาแล้ว

4.3 ขั้นตอนการลดสัญญาณรบกวน

1. สร้างสัญญาณรบกวนและทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพดังสมการ (3.30) โดยต้องมีขนาดเท่ากับสัญญาณภาพเริ่มต้นเพื่อเป็นการจำลองในสภาวะมีสัญญาณรบกวน ซึ่งในงานวิจัยนี้สัญญาณภาพมีขนาด 512×512 จุดภาพ

2. ทำการ Shift สัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนตามวิธีการของหัวข้อที่ 3.4.2

3. ทำการแบ่งภาพออกเป็น 2 ภาพย่อย คือ ภาพตำแหน่งคู่และภาพตำแหน่งคี่ ในหัวข้อ 3.3

4. ทำการแปลงมัลติเวฟเล็ตดิสครีต 2 มิติ 3 ระดับ ให้กับทั้ง 2 ภาพย่อย เพื่อนำไปใช้ค้นหาค่าจุดเริ่มปลี่ยนและทำการแปลงมัลติเวฟเล็ตให้กับภาพที่มีสัญญาณรบกวนเริ่มต้นเพื่อนำไปทำการลดสัญญาณรบกวนเพื่อให้ได้ภาพเอาท์พุตต่อไป

5. นำทั้ง 2 ภาพย่อยที่ทำการแปลงมัลติเวฟเล็ตแล้วนำไปค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการค้นหาของจีนเนติกในช่วงที่ 1 ร่วมกับใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และฮาร์ดเพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดค้นหาจะคำนวณค่าคลาดเคลื่อนฟังก์ชัน $M(.)$ ในสมการ (3.21) ซึ่งคำนวณเป็นผลรวมจากค่าคลาดเคลื่อนที่ได้น้อยที่สุดในแต่ละรอบการค้นหาจำนวน 10 ค่า และจะให้หยุดการค้นหาเมื่อผลรวมค่าคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยกว่า 1 เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณฟังก์ชัน $M(.)$ ในสมการ (3.21) มีค่ามากระดับ 10^4 จึงใช้ค่าน้อยกว่า 1 โดยจะทำการค้นหาของแต่ละระดับการแปลงและมีตัวแปรในการค้นหา 3 ตัวแปร ที่จะใช้ลดสัญญาณรบกวนของแต่ละแบนด์ย่อยที่แต่ละระดับการแปลงจะมี 3 แบนด์ย่อย แสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3.21

6. นำทั้ง 2 ภาพย่อย ดังเช่นในข้อที่ 5 ไปค้นหาค่า Q ในการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่ 2 โดยใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์เพื่อคำนวณค่า δ_2 คือ $Q \times \delta_1$ เนื่องจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ต้องมีการใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน 2 ค่า เพื่อให้สามารถใช้คุณสมบัติของการทำจุดเริ่ม

เปลี่ยนทั้งแบบซอฟท์และฮาร์ดได้พร้อมกันและ δ_1 เป็นค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมในช่วงที่ 1 ซึ่งต้องใช้การค้นหาตามลำดับ แสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 4.1 โดยที่ X คือ ภาพเริ่มต้น Z คือ สัญญาณรบกวนและ Y คือ ภาพเอาท์พุตที่ผ่านกระบวนการแล้ว

7. นำภาพในข้อที่ 4 ไปทำการลดสัญญาณรบกวน โดยใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์และใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยน δ_1 และ δ_2 ที่ได้จากข้อที่ 5 และ 6

8. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2-7 จนครบจำนวนการ Shift เท่ากับ 9 ครั้ง แบบ 3×3

4.4 ขั้นตอนการวัดคุณภาพของภาพเอาท์พุต

วัตถุประสงค์ของการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณภาพให้มากที่สุดและต้องให้ข้อมูลของสัญญาณภาพคงอยู่มากที่สุดเพื่อให้สัญญาณภาพที่ได้จากกระบวนการมีความสมบูรณ์มากที่สุด ซึ่งจากความสำคัญดังกล่าวในงานวิจัยนี้ได้เลือกการคำนวณค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการวัด ดังสมการที่ (4.3)

$$PSNR = \log_{10}\left(\frac{255}{\sqrt{MSE}}\right) \tag{4.3}$$

$$MSE = \frac{1}{NM}\sum_i\sum_j\left(x(i,j)-\bar{x}(i,j)\right)^2 \tag{4.4}$$

เมื่อ M คือ จำนวนคอลัมน์

N คือ จำนวนแถว

$x(i,j)$ คือ จุดภาพของภาพที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

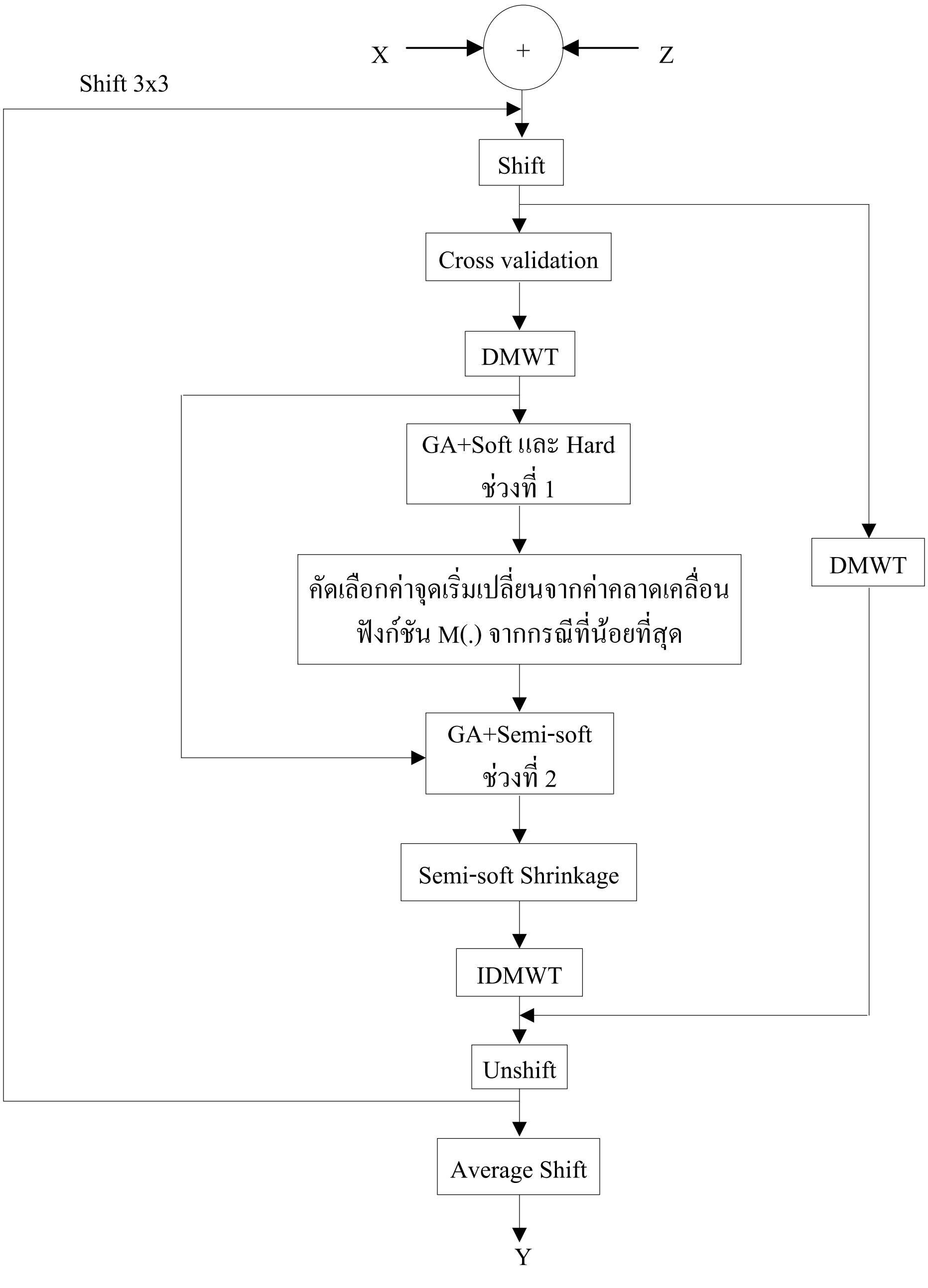
$\bar{x}(i,j)$ คือ จุดภาพของภาพที่ผ่านการกำจัดสัญญาณรบกวน

i คือ ตำแหน่งคอลัมน์

j คือ ตำแหน่งแถว

จากสมการ (4.3) สังเกตได้ว่าการวัดคุณภาพของภาพเอาท์พุตจะไม่ใช้ค่า MSE วัดคุณภาพโดยตรง แต่จากสมการคำนวณค่า PSNR ได้ใช้ค่า MSE ในการคำนวณร่วมกัน ซึ่งจากสมการถ้าค่า MSE มีค่าน้อยค่า PSNR จะมีค่ามากและถ้าค่า MSE มีค่ามากค่า PSNR จะมีค่าน้อย ดังนั้นจากเหตุผลของค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสของภาพเอาท์พุตดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.4 จะเป็นผลรวม

ของทั้งสองค่าทำให้มีผลต่อค่า PSNR โดยตรง ในงานวิจัยนี้จึงเลือกพิจารณาที่ค่า MSE เพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยและความหมายของการคำนวณค่า PSNR ถ้าค่า PSNR มีค่ามากแสดงว่าคุณภาพของสัญญาณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยสัญญาณรบกวนถูกกำจัดออกไปและข้อมูลของสัญญาณภาพยังคงอยู่ในปริมาณมากและถ้าค่า PSNR มีค่าน้อย แสดงว่าคุณภาพของภาพเอาท์พุตต่ำมีสัญญาณรบกวนปะปนและข้อมูลของสัญญาณภาพเสียหายมาก



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการลดสัญญาณรบกวนทั้งหมด

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกทดสอบกับภาพเริ่มต้นที่เป็นภาพมาตรฐานนิยมใช้ทดสอบจำนวน 12 ภาพ และได้เลือกระดับของสัญญาณรบกวน โดยจะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard deviation) เท่ากับ 35 ซึ่งผลการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะเป็นผลของอัลกอริทึมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นและส่วนที่ 2 จะเป็นผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับอัลกอริทึมที่มีผู้ได้ทำการศึกษาไว้ในอดีตที่ผ่านมา

อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นอัลกอริทึมที่มีการใช้อย่างแพร่หลายและเป็นที่นิยม ซึ่งแต่ละวิธีจะมีปรับปรุงและพัฒนามานับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยแต่ละวิธีที่ใช้เปรียบเทียบจะเป็นการคำนวณหรือค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเช่นเดียวกับในงานวิทยานิพนธ์นี้และแต่ละวิธีจะให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับในแต่ละวิธีที่ทำการคำนวณหรือค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเพียงใดเพื่อให้ได้ภาพเอาท์พุตที่มีค่า PSNR สูงสุด

5.1 ผลการทดสอบอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิทยานิพนธ์นี้

ในผลการทดสอบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบการเลือกจำนวนจุดหาค่าเฉลี่ยในการแบ่งภาพและส่วนที่ 2 จะเป็นผลการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบฮาร์ด แบบซอฟท์ และแบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

5.1.1 ผลการทดสอบการเลือกจำนวนจุดภาพหาค่าเฉลี่ยในการแบ่งภาพ

ผลการทดสอบได้ทำการเลือกการหาค่าเฉลี่ยแบบอย่างง่าย โดยใช้การคำนวณจากค่าจุดภาพที่อยู่โดยรอบตำแหน่งจุดภาพที่ต้องการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ซึ่งได้ทำการทดสอบ 2, 4, 5 และ 8 จุดภาพ เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากมีผลต่อค่า PSNR ของภาพเอาท์พุต โดยสัญญาณรบกวนที่เลือกใช้มีระดับ PSNR ของภาพที่มีสัญญาณรบกวนเริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB มีค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35 ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งภาพที่ได้นำมาทดสอบจะเป็นภาพมาตรฐานที่ใช้ในงานประมวลผลภาพและนิยมใช้ทดสอบอย่างแพร่หลาย ในที่นี้ได้เลือกภาพที่จะนำมาทดสอบทั้งหมด 12 ภาพ ดังตัวอย่างรูปที่ 5.1 จะเป็นภาพเริ่มต้นที่ไม่มีสัญญาณรบกวนปะปน

(a) Lena

(b) Boat

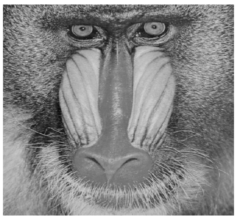
(c) Barbara

(d) Bridge

(e) Goldhill

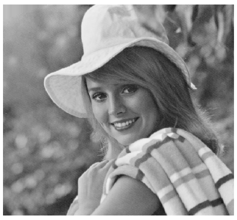
(f) Pepper

(g) Couple



(h) Mandrill

(i) Flinstone



(j) Elaine

(k) Airplane

(l) Woman

รูปที่ 5.1 รูปที่ใช้ในการทดสอบเมื่อไม่มีสัญญาณรบกวนปะปน

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบค่า PSNR จากการเลือกจำนวนจุดภาพหาค่าเฉลี่ยในการแบ่งภาพ

จำนวนจุดภาพ / ภาพ	PSNR (dB)			
	2 จุด	4 จุด	5 จุด	8 จุด
Lena	33.21	33.47	33.34	28.42
Boat	31.52	31.81	31.63	27.30
Barbara	29.39	29.48	29.71	27.63
Bridge	29.22	29.27	29.34	26.01
Goldhill	32.14	32.07	31.78	27.45
Pepper	32.87	32.88	32.90	28.14
Couple	31.32	31.28	31.45	27.67
Mandrill	26.79	26.83	27.22	25.75
Flinstone	29.28	29.40	28.54	27.37
Elaine	33.22	33.14	33.34	28.70
Airplane	32.25	32.13	31.74	29.90
Woman	31.93	31.69	32.12	28.30
ค่าเฉลี่ย	31.09	31.12	31.09	27.72

จากผลการทดสอบการหาค่าเฉลี่ยโดยใช้จำนวนจุดภาพ 5 จุดภาพ จะให้จำนวนภาพที่มีค่า PSNR สูงสุดจำนวน 6 ภาพ และในกรณีของจำนวนจุดภาพ 5 จุดภาพ จะให้ค่า PSNR สูงในภาพที่มีความถี่สูง คือ ภาพ Barbara และ Mandrill จึงทำการเลือกใช้การหาค่าเฉลี่ยจำนวนจุดภาพ 5 จุดภาพในงานวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งจากผลการทดสอบการเลือกจำนวนจุดภาพในการแบ่งภาพมีผลต่อค่า PSNR ของภาพเอาต์พุต เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยจากจำนวนจุดภาพ 5 จุดภาพ จะได้ข้อมูลของสัญญาณรบกวนครบถ้วนมากกว่าจำนวนจุดภาพอื่น ๆ แต่ในกรณีของจำนวนจุดภาพ 8 จุดภาพ จะมีจำนวนจุดภาพมากเกินไปทำให้ในการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลของสัญญาณรบกวนและข้อมูลของภาพถูกลดทอนลงไปมาก

5.1.2 ผลการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยน

ผลการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบฮาร์ด แบบซอฟท์และแบบที่ได้นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ โดยได้ทำการทดสอบเพื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสของภาพเอาท์พุต เนื่องจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแต่ละวิธีจะให้ค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสที่มีค่าแตกต่างกันทำให้มีผลต่อค่า PSNR ของภาพเอาท์พุต ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พิจารณาถึงความเหมาะสมของทั้งค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสของภาพเอาท์พุต โดยทำการสร้างความสมดุลของค่าความแปรปรวน

และค่าไบอัสที่เหมาะสมเพื่อให้ค่า PSNR ของภาพเอาท์พุตมีค่าสูงขึ้น ซึ่งได้ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบฮาร์ดและแบบซอฟท์ร่วมกันเพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน ในการทดสอบใช้ภาพที่มีสัญญาณรบกวนค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB ค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35 ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ส่วนในตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 จะเป็นผลการทดสอบของค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าไบอัสของวิธีที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้กับการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดหรือแบบซอฟท์เพียงชนิดเดียวตามลำดับ ส่วนตัวอย่างภาพที่ได้จากการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่า PSNR จากผลการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

การทำจุดเริ่มเปลี่ยน / ภาพ	PSNR (dB)		
	ฮาร์ด	ซอฟท์	วิธีที่นำเสนอ
Lena	32.28	30.34	33.34
Boat	29.41	29.39	31.62
Barbara	29.14	29.02	29.71
Bridge	27.68	28.26	29.34
Goldhill	29.19	29.61	31.78
Pepper	32.21	30.29	32.89
Couple	30.46	29.34	31.45
Mandrill	26.70	27.50	27.22
Flinstone	25.55	27.48	28.54
Elaine	31.60	30.61	33.34
Airplane	29.11	29.69	31.74
Woman	31.15	30.82	32.12
ค่าเฉลี่ย	29.54	29.36	31.09

จากผลการทดสอบการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ด แบบซอฟท์และแบบที่ได้นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์จะได้ค่า PSNR ของภาพเอาท์พุตที่แตกต่างกัน โดยวิธีที่ได้นำเสนอจะได้ค่า PSNR สูงมากกว่าการใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนเพียงชนิดเดียว เนื่องจากคุณสมบัติของจุดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้สามารถสร้างความสมดุลของค่าความแปรปรวน (Variance) และค่าไบอัสของภาพเอาท์พุตได้ดีกว่า และจากการใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ทำให้สามารถใช้คุณสมบัติของการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้ง 2 ชนิด ได้พร้อมกันในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของจีนเนติกอัลกอริทึม

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 33.34 dB)

(d) Soft thresholding (PSNR = 30.34 dB)

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างภาพเอาท์พุต Lena ที่ได้จากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) Hard thresholding (PSNR = 32.28 dB)

รูปที่ 5.2 ตัวอย่างภาพเอาท์พุต Lena ที่ได้จากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

ตารางที่ 5.3 ค่าความแปรปรวนจากผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของภาพเอาท์พุต โดยใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

การทำจุดเริ่มเปลี่ยน / ภาพ	ฮาร์ด	ซอฟท์	วิธีที่นำเสนอ
Lena	99.46	91.14	87.80
Boat	115.76	102.02	90.92
Barbara	99.01	84.24	78.47
Bridge	146.73	125.30	121.85
Goldhill	106.10	88.37	78.53
Pepper	103.52	91.43	91.38
Couple	117.04	101.04	87.90
Mandrill	103.77	93.52	82.32
Flinstone	251.21	227.04	229.97
Elaine	91.43	78.26	70.90
Airplane	129.41	110.21	104.84
Woman	96.78	87.01	80.61
ค่าเฉลี่ย	131.45	106.63	100.45

จากผลการทดสอบค่าความแปรปรวนของภาพเอาท์พุต การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดจะให้ค่าความแปรปรวนสูงกว่าการทำจุดเริ่มเปลี่ยนชนิดอื่น เนื่องจากมีความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชันมากกว่าการทำจุดเริ่มเปลี่ยนชนิดอื่น

ตารางที่ 5.4 ค่าไบอัสจากผลการทดสอบค่าไบอัสของภาพเอาท์พุต โดยใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

การทำจุดเริ่มเปลี่ยน / ภาพ	ฮาร์ด	ซอฟท์	วิธีที่นำเสนอ
Lena	91.78	123.65	81.72
Boat	466.19	513.33	459.84
Barbara	138.59	228.74	160.88
Bridge	51.97	121.13	57.94
Goldhill	279.40	453.40	471.60
Pepper	187.86	198.94	147.83
Couple	262.49	326.04	311.66
Mandrill	247.69	255.75	201.55
Flinstone	471.11	555.51	450.11
Elaine	159.05	678.67	71.00
Airplane	103.47	105.79	217.18
Woman	268.70	293.79	246.00
ค่าเฉลี่ย	227.35	321.22	239.77

จากผลการทดสอบค่าไบอัสของภาพเอาท์พุต การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์จะได้ค่าไบอัสสูง เนื่องจากสัมประสิทธิ์ที่มีค่าสูงถูกลดทอนลงไปเป็นจำนวนมากกว่าการทำจุดเริ่มเปลี่ยนชนิดอื่น ๆ และจากผลการทดสอบวิธีที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ สามารถสร้างความสมดุลของค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสได้เหมาะสมกว่า ซึ่งพิจารณาได้จากค่า PSNR ที่มีค่าสูงกว่าวิธีอื่น ๆ

5.2 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ผลการเปรียบเทียบอัลกอริทึมแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะเป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับอัลกอริทึมอื่น ๆ โดยจะเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการคำนวณจุดเริ่ม

เปลี่ยน SURE (Stein's Unbiased Risk Estimator) GCV (Generalized Cross validation) และ Bayeshrink ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ยังได้รับความนิยมจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ในส่วนที่ 2 เป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบการแปลง DGHM มัลติเวฟเล็ตกับเวฟเล็ตชนิดอื่น ๆ เช่น Daubechies wavelet (Db) และ Biorthoganal wavelet (Bior) เป็นเวฟเล็ตชนิดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อเปรียบเทียบผลของการแปลง โดยพิจารณาจากค่า PSNR ของภาพเอาต์พุท

5.2.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ผลการทดสอบการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนแบบ SURE (Stein's Unbiased Risk Estimator) GCV (Generalized Cross validation) และ Bayeshrink ร่วมกับการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบฮาร์ดและแบบซอฟท์ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตชนิดอื่น ๆ เปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ โดยในตารางที่ 5.5 จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM ร่วมกับวิธีที่นำเสนอและการแปลงเวฟเล็ต Daubechies ตัวกรอง 4 ตัว ร่วมกับวิธีการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่น ๆ ในการทดสอบได้ใช้ภาพที่มีสัญญาณรบกวนค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35 ในตารางที่ 5.6 จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM ร่วมกับวิธีที่นำเสนอและการแปลงเวฟเล็ต Biorthogonal 6/8 ร่วมกับการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่น ๆ ในการทดสอบใช้ภาพที่มีสัญญาณรบกวนค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB ค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35 ในตารางที่ 5.7 จะเป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับอัลกอริทึมอื่น ๆ โดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM

จากผลการทดสอบเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้กับวิธีการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่น ๆ ซึ่งวิธีที่นำเสนอจะให้ค่า PSNR ที่สูงกว่า เนื่องจากค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้มีความเหมาะสมและสามารถสร้างความสมดุลของค่าความแปรปรวนและไบอัสของภาพเอาต์พุทได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากปรากฏการณ์กิบส์ทำให้ค่า PSNR ของมีค่าน้อย ดังตัวอย่างเช่น การคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนแบบ SURE จะใช้งานได้ดี เมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามาปะปนมาก ๆ เท่านั้น แต่เมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามาปะปนมีค่าน้อยลงวิธีนี้ไม่สามารถลดสัญญาณรบกวนได้ดีนัก เนื่องจากค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่คำนวณได้และการทำจุดเริ่มเปลี่ยนทำให้มีผลกระทบจากปรากฏการณ์กิบส์เกิดขึ้นมากทำให้ได้ค่า PSNR น้อย ซึ่งวิธีที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้การทำ Translation invariant เพื่อให้ลดผลกระทบของปรากฏการณ์กิบส์ ทำให้ได้ค่า PSNR ที่สูงขึ้นและส่วนในตารางที่ 5.7 จะเป็นการเปรียบเทียบ ซึ่งวิธีที่นำเสนอจะให้ค่า PSNR สูงที่สุดและในการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM จะให้ผลที่ดีที่สุด แสดงได้ว่าวิธีที่นำเสนอของงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่น ๆ โดยภาพตัวอย่างผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ส่วนผลการทดสอบพิจารณาได้จากตารางผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM ร่วมกับวิธีที่นำเสนอ และการแปลงเวฟเล็ต Daubechies ตัวกรอง 4 ตัว (Db4) ร่วมกับการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยน วิธีอื่น ๆ โดยมีสัญญาณรบกวนปะปนที่ค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB ค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35

วิธี / ภาพ	SURE with hard	Baye with hard	SURE with soft	GCV with soft	Baye with soft	วิธีที่นำเสนอ
Lena	30.95	28.69	31.04	33.01	32.49	34.31
Boat	29.35	28.13	29.61	31.30	30.69	32.24
Barbara	28.46	27.54	28.64	29.78	29.41	30.06
Bridge	27.81	26.85	28.14	28.26	27.99	30.20
Goldhill	30.88	28.26	31.14	31.80	31.44	32.93
Pepper	30.72	28.67	31.12	33.07	32.55	34.02
Couple	29.38	27.98	29.77	30.67	30.29	32.17
Mandrill	26.10	26.18	26.54	26.95	26.90	27.83
Flinstone	24.89	26.18	24.91	27.40	25.53	29.38
Elaine	32.37	28.71	32.55	32.72	33.29	34.05
Airplane	29.67	28.47	30.24	31.54	31.31	32.79
Woman	30.20	28.33	30.25	31.02	31.75	32.84
ค่าเฉลี่ย	29.32	27.83	29.49	30.62	30.30	31.90

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM ร่วมกับวิธีที่นำเสนอและการแปลงเวฟเล็ต Biorthogonal 6/8 ร่วมกับการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีอื่น ๆ โดยมีสัญญาณรบกวนปะปนที่ค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB ค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35

วิธี / ภาพ	SURE with hard	Baye with hard	SURE with soft	GCV with soft	Baye with soft	วิธีที่นำเสนอ
Lena	31.23	32.18	31.38	33.34	32.79	34.31
Boat	29.60	30.54	29.70	31.76	30.84	32.24
Barbara	28.62	27.63	28.76	30.18	29.70	30.06
Bridge	27.95	26.83	28.27	29.05	28.09	30.20
Goldhill	31.26	28.19	31.61	32.01	31.65	32.93
Pepper	31.41	28.55	31.55	32.96	32.73	34.02
Couple	29.53	27.94	29.76	31.36	30.41	32.17
Mandrill	26.22	26.22	26.74	26.75	27.01	27.83
Flinstone	25.48	26.41	25.56	28.85	25.85	29.38
Elaine	32.87	28.67	33.04	33.93	33.66	34.05
Airplane	30.09	28.36	30.40	31.71	31.56	32.79
Woman	30.29	28.25	30.42	32.05	31.89	32.84
ค่าเฉลี่ย	29.54	28.31	29.76	31.16	30.51	31.90

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้กับอัลกอริทึมอื่น ๆ ที่ผ่านมาในอดีต โดยได้ใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM และมีสัญญาณรบกวนปะปนที่ค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB ค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35

วิธี / ภาพ	SURE with hard	Baye with hard	SURE with soft	GCV with soft	Baye with soft	วิธีที่นำเสนอ
Lena	30.93	28.67	31.10	33.34	32.61	34.31
Boat	29.39	28.15	29.53	31.59	30.70	32.24
Barbara	28.47	27.75	28.59	30.37	29.71	30.06
Bridge	27.82	26.82	28.25	28.30	28.01	30.20
Goldhill	30.98	28.28	31.37	31.97	31.50	32.93
Pepper	30.89	28.62	31.15	33.30	32.54	34.02
Couple	29.45	27.96	29.73	31.23	30.29	32.17
Mandrill	26.19	26.25	26.66	27.43	26.98	27.83
Flinstone	25.10	26.25	25.07	29.20	25.64	29.38
Elaine	32.38	28.75	32.58	33.79	33.40	34.05
Airplane	29.87	28.42	30.24	30.34	31.46	32.79
Woman	30.05	28.33	30.18	31.97	31.81	32.84
ค่าเฉลี่ย	29.29	27.85	29.53	31.06	30.38	31.90

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 32.61 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 28.67 dB)

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Lena โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 31.10 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 30.93 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 33.34 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 34.31 dB)

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Lena โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) GCV with soft (PSNR = 30.30 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 28.28 dB)

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Goldhill โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) Baye with soft (PSNR = 31.50 dB)

(f) SURE with soft (PSNR = 31.37 dB)

(g) SURE with hard (PSNR = 30.98 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 32.93 dB)

รูปที่ 5.4 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Goldhill โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

5.2.2 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM กับเวฟเล็ตชนิดอื่น ๆ

การแปลงเวฟเล็ตชนิด Daubechies wavelet (Db) และ Biorthoganal wavelet (Bior) เป็นเวฟเล็ตที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อเปรียบเทียบผลของการแปลงกับการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM กับวิธีที่นำเสนอ โดยพิจารณาจากค่า PSNR ของภาพเอาต์พุท แสดงได้ดังตารางที่ 5.8

จากผลการทดสอบการแปลงในตารางที่ 5.8 การแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM จะให้ผลของค่าPSNRส่วนใหญ่ดีกว่ากรณีที่ใช้การแปลง Daubechies wavelet ตัวกรอง 4 ตัว ส่วนกรณีของการ

แปลง Biorthoganal wavelet ทั้ง 2 ชนิด Bior6/8 จะมีจำนวนสัมประสิทธิ์ของตัวกรองความถี่สูงมากกว่า Bior4/4 จึงทำให้ค่า PSNR ที่ได้ส่วนใหญ่มีค่ามากกว่า เนื่องจากการกรองสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณความถี่สูงทำได้ดีกว่าจึงสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM ที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ส่วนใหญ่จะได้ค่า PSNR ที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM และการแปลงเวฟเล็ตชนิดอื่น ๆ กับวิธีที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ โดยมีสัญญาณรบกวนปะปนที่ค่า PSNR เริ่มต้นเท่ากับ 23.30 dB และค่าระดับเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35

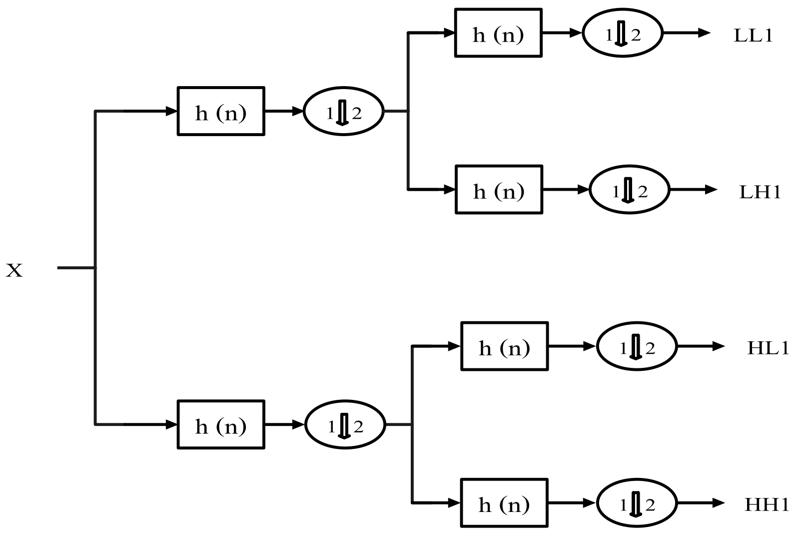
วิธี / ภาพ	Bior4/4	Bior6/8	Db4	DGHM
Lena	33.52	33.63	32.39	33.34
Boat	31.73	31.22	31.11	31.62
Barbara	28.96	28.79	28.59	29.71
Bridge	29.23	29.47	29.22	29.34
Goldhill	31.17	29.51	31.10	31.78
Pepper	32.75	33.16	32.20	32.89
Couple	31.13	31.09	31.26	31.45
Mandrill	26.69	26.78	27.06	27.22
Flinstone	27.31	27.29	26.12	28.54
Elaine	32.28	32.67	31.68	33.34
Airplane	31.37	31.73	31.03	31.74
Woman	31.71	32.11	31.62	32.12
ค่าเฉลี่ย	30.65	30.62	30.28	31.90

5.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

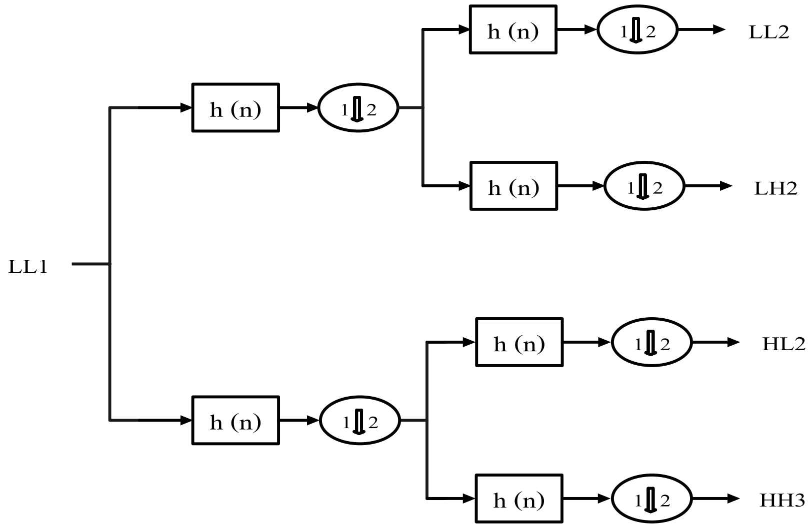
พิจารณาจากผลการทดสอบค่า PSNR จากภาพเอาต์พุทของวิธีต่าง ๆ ที่นำมาเปรียบเทียบจะได้ค่า PSNR ส่วนใหญ่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากการคำนวณจุดเริ่มเปลี่ยนของวิธีอื่น ๆ ยังได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ไม่เหมาะสมและการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแต่ละวิธียังให้ค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสที่ไม่

สมดุลและเหมาะสม ซึ่งมีผลต่อค่า PSNR ของภาพเอาต์พุต นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากปรากฏการณ์กิบส์ที่เกิดจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนและค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ไม่เหมาะสม ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อค่า PSNR ของภาพเอาต์พุตได้เช่นกัน งานที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถสร้างความสมดุลของค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสได้ดีกว่าและลดผลกระทบจากปรากฏการณ์กิบส์ได้จากการทำ Translation invariant ทำให้ค่า PSNR มีค่าสูงขึ้นและในส่วนของการเปรียบเทียบการแปลงการแปลงมัลติเวฟเล็ต DGHM จะให้ผลดีที่สุดและให้ค่า PSNR มากกว่าใช้การแปลงเวฟเล็ตที่ใช้เวฟเล็ตชนิด Db4 Bior4/4 และ Bior6/8

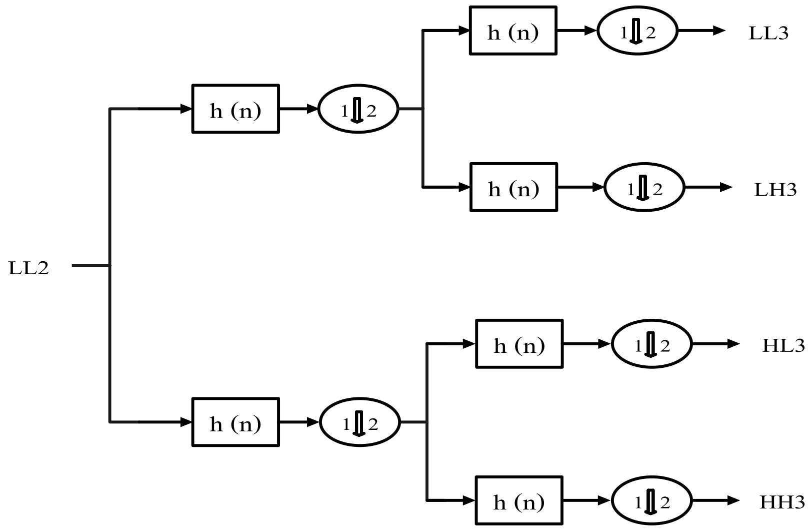
จากการใช้การค้นหาแบบจีนเนติกอัลริทึมเพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ จากผลการทดสอบต่าง ๆ ที่ได้จะให้ผลการทดสอบของค่า PSNR อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแบนด์ย่อยได้ดีกว่า จากค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ในของแต่ละระดับการแปลง (Level) จะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งจากการแปลงแต่ละระดับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.5 รูปที่ 5.6 รูปที่ 5.7 ตารางที่ 5.9 และตารางที่ 5.10



รูปที่ 5.5 การแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1



รูปที่ 5.6 การแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 2



รูปที่ 5.7 การแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 3

เมื่อ	$h_1(n)$	คือ สัมประสิทธิ์ตัวกรองความถี่ต่ำ
	$h_0(n)$	คือ สัมประสิทธิ์ตัวกรองความถี่สูง
	X	คือ ภาพเริ่มต้นที่มีสัญญาณรบกวน (Noisy image)
	LL1	คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำทั้ง 2 ตัว
	LL2	คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 2 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำทั้ง 2 ตัว

LL3 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 3 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำทั้ง 2 ตัว

LH1 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง

LH2 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 2 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง

LH3 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 3 ที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำและความถี่สูง

HL1 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำ

HL2 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 2 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำ

HL3 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 3 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำ

HH1 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 1 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงทั้ง 2 ตัว

HH2 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 2 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงทั้ง 2 ตัว

HH3 คือ แบนด์ย่อยที่ผ่านการแปลงระดับที่ 3 ที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงทั้ง 2 ตัว

ตารางที่ 5.9 ตัวอย่างค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมของวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จากการใช้ Translation invariant โดยใช้ภาพ Lena

แบนด์ย่อย	การเลื่อนรอบที่ / จุดเริ่มเปลี่ยน								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LH1	336.43	57.54	38.21	890.24	123.70	61.48	177.59	97.90	61.59
HL1	48.49	51.93	385.29	60.46	102.15	74.62	90.03	87.15	126.08
HH1	783.68	516.34	675.91	232.12	857.64	100.91	442.51	393.74	567.96
LH2	84.22	85.42	75.69	75.37	70.06	81.23	74.61	75.08	67.94
HL2	54.06	62.62	50.86	57.53	62.22	50.88	50.57	51.33	44.93
HH2	159.25	75.99	100.85	101.44	98.43	83.94	120.60	77.11	90.21
LH3	45.20	40.45	61.58	43.01	47.92	36.65	42.86	54.13	41.37
HL3	14.546	15.68	21.40	15.80	29.66	24.01	18.81	20.73	20.73
HH3	41.49	52.59	39.94	54.08	39.79	45.46	42.28	49.42	42.89

จากรูปจะได้ว่าการแปลงมัลติเวฟเล็ตระดับที่ 1 จะเริ่มจากภาพเริ่มต้นที่มีสัญญาณรบกวนผ่านตัวกรองตามแผนภาพ โดยที่แบนด์ย่อย HH1 จะผ่านตัวกรองความถี่สูงทั้ง 2 ตัว ส่งผลให้ที่แบนด์ย่อยนี้จะมีสัมประสิทธิ์ที่มีความถี่สูงหรือมีข้อมูลที่มีความถี่สูงอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลของสัญญาณรบกวนที่ปะปนในสัญญาณภาพและสัญญาณรบกวนที่ได้เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสัญญาณรบกวนประเภท Gaussian ซึ่งจากคุณสมบัติของสัญญาณรบกวนชนิดนี้จะมีแอมพลิจูดเกิดขึ้นในทุกความถี่และไม่สามารถระบุตำแหน่งที่ชัดเจนได้แต่โดยส่วนใหญ่สัญญาณรบกวนประเภทนี้จะมีความถี่สูงจึงส่งผลทำให้ได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของแบนด์ย่อยนี้จะมีค่าสูง ในส่วนของแบนด์ย่อย LH1 และ HL1 จะได้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ลดลงตามลำดับ แต่จะยังมีค่ามากกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนจากการแปลงของระดับที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบแบนด์ย่อยที่ผ่านตัวกรองลักษณะเดียวกัน เนื่องจากรูปที่ 2 จะเป็นการแปลงโดยใช้แบนด์ย่อย LL2 ซึ่งได้ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำทั้ง 2 ตัว ทำให้สัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตความถี่สูงถูกลดทอนลงไปทำให้ข้อมูลของสัญญาณรบกวนถูกลดทอนลงไปด้วย ดังนั้นค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จะมีค่าน้อยกว่าการแปลงระดับที่ 1 และค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการแปลงระดับที่ 3 จะมีค่าน้อยที่สุดเนื่องจากภาพที่นำมาแปลงในระดับนี้ได้ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำมาแล้ว 2 ระดับการแปลง ทำให้สัญญาณรบกวนถูกลดทอนออกไปมากเช่นกันแต่ในแบนด์ย่อย HH3 จะยังมีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนสูงกว่าแบนด์ย่อย LH3 และ HL3 เนื่องจากผ่านตัวกรองความถี่สูง 2 ครั้ง ทำให้ยังมีส่วนที่เป็นความถี่สูงอยู่มากกว่าพิจารณาได้จากตัวอย่างค่าจุดเริ่มปลี่ยนที่ค้นหาได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมของวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ในตารางที่ 5.9

จากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนโดยการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบซอฟท์และฮาร์ดร่วมกันและในขั้นตอนการทำจุดเริ่มเปลี่ยนได้เลือกใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ ซึ่งเป็นการรวมฟังก์ชันการทำจุดเริ่มเปลี่ยนของซอฟท์และฮาร์ดภายในฟังก์ชันเดียวเพื่อให้สามารถใช้คุณสมบัติของซอฟท์และฮาร์ดได้พร้อมกัน เนื่องจากค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จะมีคุณสมบัติของทั้ง 2 วิธีอยู่ภายในจึงต้องใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนที่มีคุณสมบัติของทั้ง 2 วิธี พร้อมกันด้วย โดยจะมีการใช้ค่าของจุดเริ่มเปลี่ยน 2 ค่า ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 คือ δ_1 และ δ_2 ซึ่ง $\delta_2 = Q \times \delta_1$ ดังนั้นการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากช่วงที่ 1 จะเป็นค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแบนด์ย่อย ในส่วนของการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในช่วงที่ 2 จะเป็นการค้นหาค่า Q เพื่อคำนวณค่า δ_2 โดยจะเป็นช่วงของการใช้งานตามสมการการทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์ในหัวข้อ 3.4 ค่า Q ที่ได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมจะเป็นการค้นหาช่วงของฟังก์ชันเซมิซอฟท์ที่ต้องการทำจุดเริ่มเปลี่ยนจากค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้ โดยเป็นการแสดงความต้องการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับแบนด์ย่อยนั้นด้วยคุณสมบัติของซอฟท์และฮาร์ดมากน้อยเพียงใด ซึ่งถ้าค่า Q ที่ได้มีค่าต่ำ จะแสดงได้ว่าการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับแบนด์ย่อยนั้นต้องการคุณสมบัติของทั้งซอฟท์และฮาร์ด ถ้าในกรณีที่ค่า Q มีค่าสูง แสดงได้ว่าการทำจุดเริ่มเปลี่ยนกับแบนด์ย่อยนั้นต้องการคุณสมบัติของซอฟท์มากกว่าหรือการทำจุดเริ่ม

เปลี่ยนกับสัมประสิทธิ์มัลติเวฟเล็ตในแบนด์ย่อยนั้นมีจำนวนมากกว่าแบนด์ย่อยอื่น ๆ เนื่องจากจะมีการกำหนดช่วงระหว่าง δ_1 และ δ_2 ไว้กว้างกว่าช่วงของแบนด์ย่อยอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากช่วงที่ 1 พิจารณาค่า Q ที่ค้นหาได้จากจีนเนติกอัลกอริทึมของวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างค่า Q ที่ได้จากการค้นหาของจีนเนติกอัลกอริทึมของวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จากการใช้ Translation invariant โดยใช้ภาพ Lena

แบนด์ย่อย	การเลื่อนรอบที่ / ค่า Q								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LH1	∞	2.31	∞	67.17	62.27	2.96	∞	352.56	1.35
HL1	1.93	2.64	∞	2.00	∞	1.30	∞	∞	16.36
HH1	∞	350.7	∞	∞	∞	∞	∞	∞	256.96
LH2	1.38	1.68	1.27	1.811	1.89	1.54	1.55	2.00	2.38
HL2	3.47	2.28	4.16	3.38	2.51	4.34	∞	3.54	5.64
HH2	83.25	1.99	4.41	1.40	∞	∞	303.40	14.06	1.65
LH3	6.09	8.87	2.35	5.82	4.28	13.55	104.48	3.75	13.18
LH3	∞	∞	127.01	∞	15.23	35.54	154.52	70.26	∞
HH3	∞	5.74	64.52	4.69	17.46	8.31	27.31	6.06	9.13

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ โดยใช้การแปลงมัลติเวฟเล็ต ซึ่งข้อสรุปของงานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้คือ

1. การเลือกชนิดของการแปลงทั้งในการแปลงเวฟเล็ตและมัลติเวฟเล็ตจะมีผลต่อค่า PSNR ของภาพเอาต์พุตได้ ดังนั้นจะต้องเลือกการแปลงให้เหมาะสมกับกระบวนการลดสัญญาณรบกวนที่ใช้ด้วย ซึ่งในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกการแปลงมัลติเวฟเล็ต เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ครบถ้วนสำหรับใช้ในการแปลงและได้ค่า PSNR สูงที่สุด

2. การใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนทั้งแบบฮาร์ดและซอฟท์ร่วมกันในการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนโดยคำนึงถึงค่าความแปรปรวนและค่าไบอัสของภาพเอาต์พุตให้ค่า PSNR อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ซึ่งการทำจุดเริ่มเปลี่ยนได้ใช้การทำจุดเริ่มเปลี่ยนแบบเซมิซอฟท์เพื่อให้สามารถใช้คุณสมบัติของทั้งฮาร์ดและซอฟท์ได้พร้อมกัน

3. ในการทดสอบได้เลือกสัญญาณรบกวนปะปนที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 35 ซึ่งมีปริมาณของสัญญาณรบกวนอยู่ในปริมาณสูง เมื่อทำการลดปริมาณสัญญาณรบกวนลงมาในระดับ 15 หรือ 25 ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบจะอยู่ในลักษณะเดียวกันกับสัญญาณรบกวนระดับ 35 ซึ่งวิธีที่นำเสนอจะให้ค่า PSNR สูงสุดเช่นเดียวกัน

4. ผลกระทบจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนเรียกว่าปรากฏการณ์กิบส์ ทำให้ค่า PSNR ที่ได้จากภาพเอาต์พุตลดลงและทำให้ข้อมูลของภาพมีความเสียหาย ซึ่งสามารถลดผลกระทบนี้ได้ โดยได้ใช้การทำ Translation invariance จากผลการทดสอบสามารถลดผลกระทบนี้ได้ทำให้ค่า PSNR ที่ได้มีค่าสูงขึ้นและข้อมูลของภาพเอาต์พุตเสียหายลดลง

5. จากการนำจีนเนติกอัลกอริทึมมาใช้งานร่วมกับวิธี Cross validation เพื่อค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุด ในการทดสอบสามารถให้ค่า PSNR ดังเช่นวิธีที่นำเสนอสูงกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากสามารถค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมสำหรับแต่ละแบนด์ย่อยความถี่สูงได้เหมาะสมมากกว่าวิธีอื่น ๆ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมเกี่ยวกับการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพ

2. ควรศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการค้นหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมเพื่อนำมาทำการลดสัญญาณรบกวนในสัญญาณภาพเพื่อให้ค่า PSNR มีค่าสูงขึ้นและข้อมูลของภาพเอาต์พุตถูกลดทอนน้อยที่สุด

3. ควรศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมในการลดผลกระทบจากการทำจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อให้ข้อมูลของภาพเอาต์พุตเสียหายน้อยที่สุด

4. ควรศึกษาเทคนิคเพิ่มเติมในการหาค่าเฉลี่ยจุดภาพเพื่อแบ่งเป็น 2 ภาพย่อย เพื่อให้ได้ค่า PSNR สูงสุด

รายการอ้างอิง

อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2546). ปัญญาประดิษฐ์สำหรับวิศวกร. **สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**.

Attakitmongcol, K., Hardin, D.P. and Wilkes D.M. (2001). Multiwavelet prefilters II: Optimal orthogonal prefilters. **IEEE Transactions on Image Processing**: Vol. 10

Bui, D.T. and Chen, G. (1998). Translation invariant denoising using multiwavelets. **IEEE Transactions on Signal Processing**: Vol. 46, No. 12

Chang , S.G., Yu, B. and Vetterli M. (2000). Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression. **IEEE Transactions on Image Processing**: Vol. 9

Cotronei, M., Montefusco, C.B. and Puccio, L. (1998). Multiwavelet analysis and signal processing. **IEEE Transactions on Circuit and Systems-II**: **Analog and Digital Signal Processing**: Vol. 45, No. 8: 970-987.

Donoho, D.L. (1995). Denoising by soft thresholding. **IEEE Transactions on Information Theory**: Vol. 41, No. 3: 613-627.

Donoho, D.L. and Johnstone, I.M. (1994). Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. **Biometrika**85: 425-455.

Donoho, D.L. and Johnstone, I.M. (1994). Threshold selection for wavelet shrinkage of noisy data. **Proceedings of the 16 th Annual International Conference of the IEEE**: Vol. 1

Downie, T.R. and Silverman, B.W. (1998). The diacrete multiple wavelet transform and thresholding methods. **IEEE Transactions on Signal Processing**: Vol. 46, No. 9

Gao H.Y. and Bruce A.G. (1996). Understanding waveshrinkage: Variance and bias estimation. **Biometrika**, vol. 83

Gao H.Y. and Bruce A.G. (1997). WaveShrink with firm shrinkage. **Statistica Sinica**: Vol. 7

Gunawan D. (1999). Denoising image using wavelet transform. **IEEE Pacific Rim Conference**: 83-85.

Friedman J.H. (1997). On bias, variance, 0/1-loss, and the curse of dimensionality. **Data Mining and Knowledge Discovery**: Vol. 1, No. 1: 55-77.

Hardin, D.P. and Roch, D.W. (1998). Multiwavlet prefilters-I; Orthogonal prefilters preserving approximation order p□2. **IEEE Transactions on Circuits and System-II**: Vol. 45, No. 8

Hsung, T-C., Lun, D.P-K. and Ho, K.C. (2004). On optimal multiwavelet shrinkage. **ICSP'04 Prpceeding**: 725-728.

Lu, W-S. (1997). Wavelet approaches to still image denoising. **Signal,System&Computer Conference Record of the Thirty-first Asilomar Conference**: Vol. 2

Nason, G.P. (2001). Choice of wavelet smoothness, primary resolution and threshold in wavelet shrinkage. **Department of Mathematics**, **University of Bristol**, **UK**.

Nason, G.P. (1996). Wavelet shrinkage using cross validation. **Journal of the Royal Statistical Society Series B**: Vol. 58

Qu, L., Routh, S.P. and Ko, K. (2006). Wavelet deconvolution in a periodic setting using cross validation. **IEEE Signal Processing Letter**: Vol. 13, No. 4

Rioul, O. and Vetterli, M. (1991). Wavelet and signal processing. **IEEE SP Magazine**: 14-38

Russo, F. (2003). A method for estimation and filtering of gaussian noise in images. **IEEE Transactions Instrumenttation and Measurement**: Vol. 52, No. 4

Strela, V. et al. (1999). The application of multiwavelet filterbanks to image processing. **IEEE Transactions on Image Processing**: Vol. 8, No. 4: 548-563.

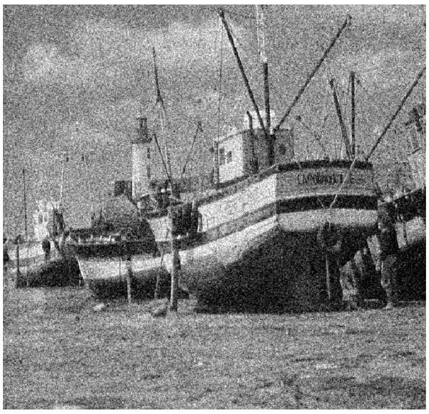
Wang, L. et al. (2005). Multiwavelet domain filtering for degraded images with Gaussian noise. **Industrial Technology ICIT 2005**: 28-32.

Weyrich, N. and Warhola, G.T. (1998). Wavelet shrinkage and generalized cross validation for image denoising. **IEEE Transactions on Image Processing**: Vol. 7, No. 1

ภาคผนวก ก

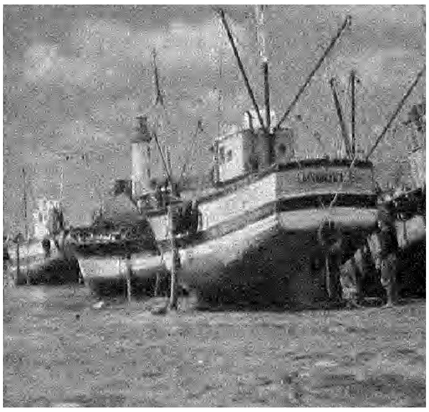
ภาพจากผลการทดสอบอัลกอริทึมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 30.70 dB)



(d) Baye with hard (PSNR = 28.15 dB)

รูปที่ ก.1 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Boat โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 29.53 dB)

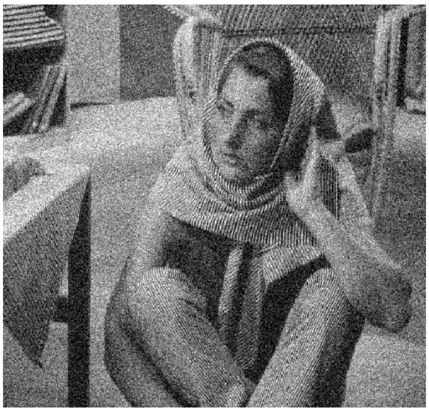
(f) SURE with hard (PSNR = 29.39 dB)

(g) GCV with soft (PSNR =31.59 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 32.24 dB)

รูปที่ ก.1 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Boat โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 29.71 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 27.75 dB)

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Barbara โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 28.59 dB)

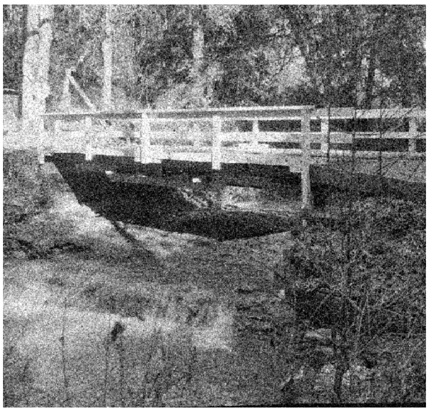
(f) SURE with Hard (PSNR = 28.47 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 30.37 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 30.06 dB)

รูปที่ ก.2 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Barbara โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 28.01 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 26.82 dB)

รูปที่ ก.3 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Bridge โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 28.25 dB)

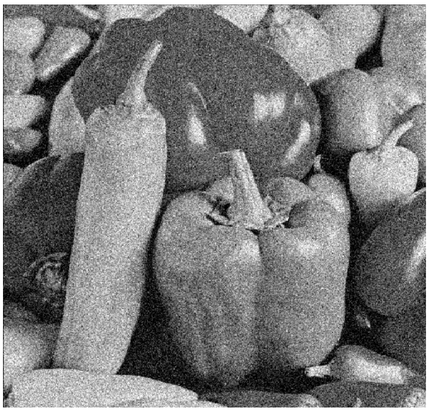
(f) SURE with hard (PSNR = 27.82 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 28.30 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 30.20 dB)

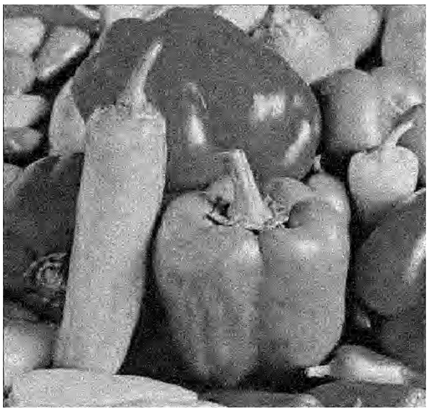
รูปที่ ก.3 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Bridge โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 32.54 dB)

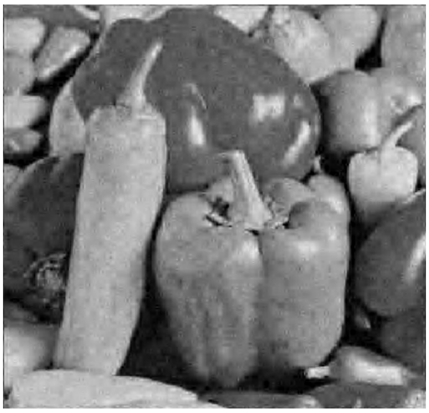


(d) Baye with hard (PSNR = 28.62 dB)

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Pepper โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 31.15 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 30.89 dB)

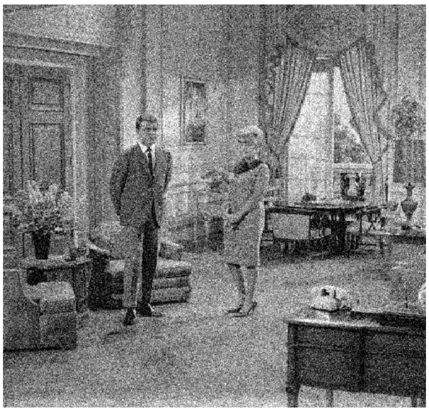


(g) GCV with soft (PSNR = 33.30 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 34.02 dB)

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Pepper โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 30.29 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 27.96 dB)

รูปที่ ก.5 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Couple โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

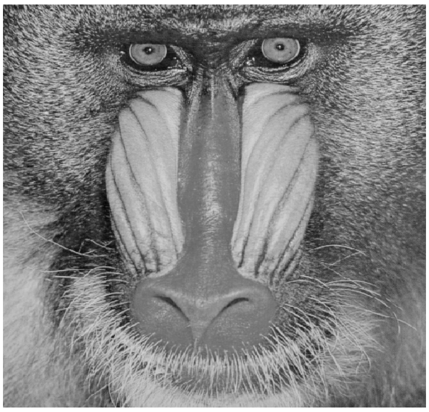
(e) SURE with soft (PSNR = 29.73 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 29.45 dB)

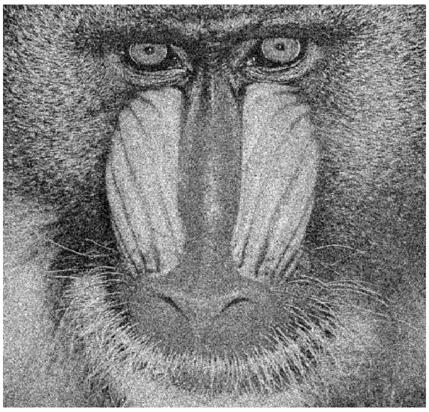
(g) GCV with soft (PSNR = 31.23 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 32.17 dB)

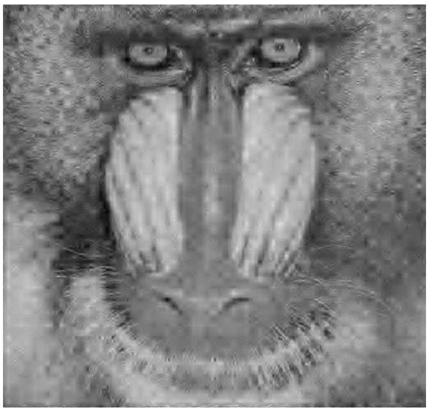
รูปที่ ก.5 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Couple โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)



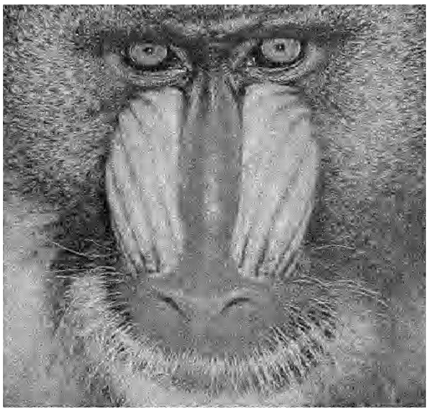
(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน



(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

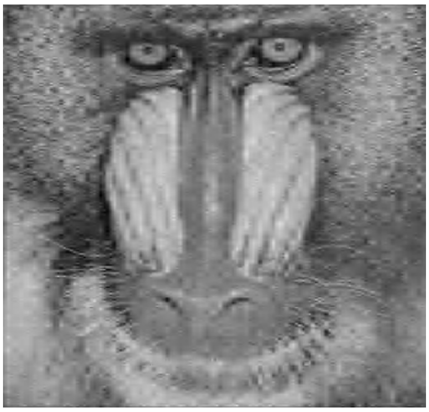


(c) Baye with soft (PSNR = 26.98 dB)



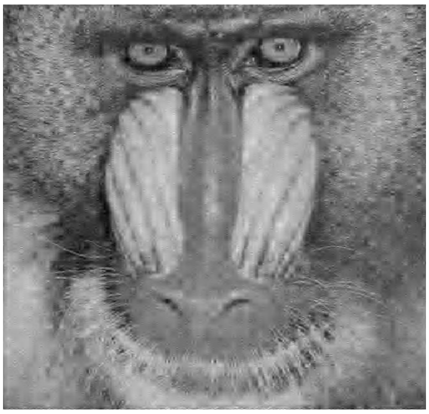
(d) Baye with hard (PSNR = 26.25 dB)

รูปที่ ก.6 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Mandrill โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

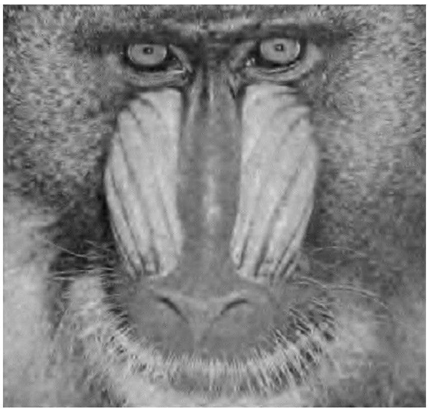


(e) SURE with soft (PSNR = 26.66 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 26.19 dB)



(g) GCV with soft (PSNR = 27.43 dB)



(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 27.83 dB)

รูปที่ ก.6 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Mandrill โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 25.64 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 26.25 dB)

รูปที่ ก.7 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Flinstone โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 25.07 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 25.10 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 29.20 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 29.38 dB)

รูปที่ ก.7 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Flinstone โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 33.40 dB)

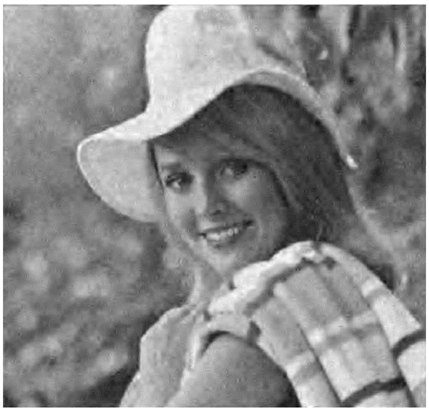
(d) Baye with hard (PSNR = 28.75 dB)

รูปที่ ก.8 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Elaine โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 32.58 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 32.38 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 33.79 dB)



(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 34.05 dB)

รูปที่ ก.8 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Elaine โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 31.46 dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 28.42 dB)

รูปที่ ก.9 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Airplane โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(e) SURE with soft (PSNR = 30.24 dB)

(f) SURE with hard (PSNR = 29.87 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 30.34 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 32.79 dB)

รูปที่ ก.9 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Airplane โดยใช้การแปลง DGHM และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

(a) ภาพเริ่มต้นไม่มีสัญญาณรบกวน

(b) Noisy image (PSNR = 23.30 dB)

(c) Baye with soft (PSNR = 31.81dB)

(d) Baye with hard (PSNR = 30.05 dB)

รูปที่ ก.10 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Woman โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ

(d) SURE with soft (PSNR = 30.18 dB)

(e) SURE with hard (PSNR = 30.05 dB)

(g) GCV with soft (PSNR = 31.97 dB)

(h) วิธีที่นำเสนอ (PSNR = 32.84 dB)

รูปที่ ก.10 ตัวอย่างภาพผลการทดสอบภาพ Woman โดยใช้การแปลง DGHM
และจุดเริ่มเปลี่ยนวิธีต่าง ๆ (ต่อ)

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

ทนงศักดิ์ เสงี่ยมรัตน์ (2550). **การลดสัญญาณรบกวนสำหรับสัญญาณภาพในมัลติเวฟเล็ตโดเมนโดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึม**. การประชุมวิชาการทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและหุ่นยนต์., หน้า 20.

ประวัติผู้เขียน

นายทนงศักดิ์ เสงี่ยมรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษา ที่โรงเรียนวัดหนองกระบอก จังหวัดระยอง ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนบ้านค่าย จังหวัดระยอง และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2545 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในสาขาวิชาเดิม

ขณะศึกษาได้เป็นผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 4 รายวิชา เป็นระยะเวลา 5 ปี ได้แก่ (1) ปฏิบัติการวงจรและอุปกรณ์วงจรไฟฟ้า (2) ปฏิบัติการวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (3) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า 1 และ (4) ปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้ามูลฐาน มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังรายชื่อที่ปรากฏในภาคผนวก ข. โดยผู้เขียนมีความสนใจในงานทางด้านการประมวลผลสัญญาณภาพ การแปลงเวฟเล็ต และการแปลงมัลติเวฟเล็ต