

การประยุกต์ใช้การแปลงเอชวีดีเพื่อการลดสัญญาณรบกวน
บนสัญญาณภาพ

ADAPTIVE SINGULAR VALUE DECOMPOSITION
FOR IMAGE NOISE SUPPRESSION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารตีพิมพ์ในวารสารปริภูมิวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-080-081

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดีเพื่อการลดสัญญาณรบกวน
บนสัญญาณภาพ**

**ADAPTIVE SINGULAR VALUE DECOMPOSITION
FOR IMAGE NOISE SUPPRESSION**



**นภา แซ่เบ๊
NAPA SAE-BAE**

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**79835**
วัน,เดือน,ปี.....**18** ส.ย. 2551

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

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน พ.ศ.2551 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัด **KMITL-2008-EN-M-030-031** ง่ายของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ADAPTIVE SINGULAR VALUE DECOMPOSITION
FOR IMAGE NOISE SUPPRESSION**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-EN-M-030-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

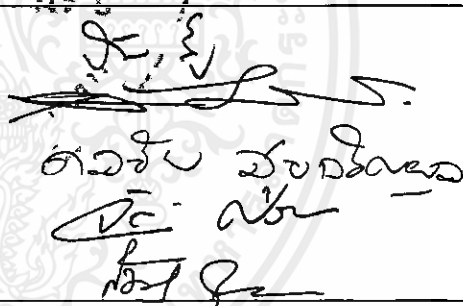
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันฯ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดีเพื่อการลดสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพ
Adaptive Singular Value Decomposition for Image Noise Suppression
นักศึกษา นางสาวนภา แซ่เปี๊ยะ
รหัสประจำตัว 49061020
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมทรยากุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา	
ผศ.อุทัย ศรีธีระวีโรจน์	
ผศ.คณชัย สุขเจริญผล	
ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	
ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมทรยากุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 กุมภาพันธ์ 2551 เวลา 15.30-17.30 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 2 ชั้น 3 อาคาร A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ วันที่...18...เดือน...พฤษภาคม...พ.ศ.๒๕๕๑...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้การแปลงเฮสวีดีเพื่อการลดสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพ
นักศึกษา	นางสาวนภา แซ่เบ๊
รหัสนักศึกษา	49061020
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมพรธรรมากุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนออัลกอริทึมใหม่ในการลดสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพโดยการประยุกต์ใช้การแปลงเฮสวีดีบนบล็อกย่อย โดยเราจะทำการแปลงเฮสวีดีบนบล็อกย่อยของขอบภาพซึ่งหาได้จากความแตกต่างระหว่างภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนและภาพพรั้มัวซึ่งได้จากการนำภาพต้นฉบับมาผ่านตัวกรองแบบเกาส์เซียนแทนการแปลงเฮสวีดีบนบล็อกย่อยบนภาพโดยตรง หลังจากนั้นจะนำขอบภาพที่ถูกลดสัญญาณรบกวนแล้วมารวมกับภาพพรั้มัวในตอนแรกเพื่อให้ได้ภาพต้นฉบับที่ลดสัญญาณรบกวนแล้วกลับคืนมา ค่าที่จะนำมาใช้ในการประเมินถึงประสิทธิภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนดังกล่าวคือ ค่าพีเอสเอ็นอาร์หรือค่าพิกซิกเนลทูนอยส์ร โซและค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการในการลดสัญญาณรบกวนดังกล่าวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบันทั้งในด้านการลดทอนสัญญาณรบกวนได้มากและสามารถรักษารายละเอียดของภาพได้ดี อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนที่ดีขึ้นคือ การเทรตโซลด์บนค่าซิงกูลาร์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียน ค่าขนาดบล็อกย่อยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีดังกล่าว และได้มีการนำตัววัดแบบซบเจกทีฟมาใช้เพิ่มเติมเพื่อทดสอบถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของวิธีการต่างๆ นอกจากนี้ได้มีการนำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับกรณีของภาพถ่ายอัลตราซาวด์ซึ่งเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบผลคูณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Adaptive Singular Value Decomposition for image noise suppression
Student	Napa Sae-Bae
Student ID.	49061020
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Somkait Udomhunsakul

ABSTRACT

This thesis presents a novel image noise suppression algorithm, based-on an adaptive block-based singular value decomposition filtering (BSVD). Instead of applying BSVD directly to ultrasonic image, we propose to apply BSVD on the noisy edge image version obtained from the difference between the original image and its blur image version. The recovered image is performed by the combination of the removal noise image and its blur image versions. The efficiency of this method compared with other well-know algorithms was evaluated by two image quality measurements, which are PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) and Edge measurement. From the results, it clearly shows that the proposed algorithm outperforms other methods in terms of smoothing and edge preservation. However, the optimum of the thresholding on singular value, sigma of Gaussian filter and block size will be considered in order to get the better performance. Moreover, the other subjective image quality measurement is used to further evaluated the performance of this algorithm. In addition, this proposed approach could be developed for multiplicative noise case.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีอาจสำเร็จได้หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและกำลังใจจากบุคคลหลายฝ่าย ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ศส.ดร.สมเกียรติ อุดมพรยากุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมถึงให้ความช่วยเหลือในการตรวจทานวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันจนทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้เพียงพอในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ สถานศึกษาทั้งหลาย อาทิ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โรงเรียนเบญจมราชาลัย โรงเรียนบัณฑิตวิทยา ที่เป็นสถานที่ที่ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทั้งหลายที่เป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าทั้งในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณสิ่งดีๆทั้งหลายที่เกิดขึ้นในชีวิตข้าพเจ้า ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณอุปสรรคทั้งหลายที่เกิดขึ้นในชีวิตข้าพเจ้า ที่ทำให้ข้าพเจ้าเข้มแข็งขึ้นและสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้โดยปราศจากความหวั่นเกรงใดๆ

และสุดท้ายหากไม่มีสองท่านนี้ ข้าพเจ้าคงไม่ได้มีโอกาสเขียนวิทยานิพนธ์รวมทั้งกิตติกรรมประกาศฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ต่อ บิดา-มารดาของข้าพเจ้า ที่ได้ให้กำเนิดตลอดจนการเลี้ยงดูเป็นอย่างดีจนข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

เนื่องจากเนื้อที่ในหน้ากระดาษนี้คงไม่เพียงพอที่จะเอ่ยนามท่านผู้มีพระคุณต่อข้าพเจ้าได้ครบทุกท่าน ซึ่งหากไม่ได้เอ่ยนามท่านใด ผู้เขียนต้องกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย และแม้จะไม่ปรากฏนามท่านในหน้ากระดาษแห่งนี้ แต่พระคุณเหล่านั้นจะไม่จางหายไปจากใจข้าพเจ้าอย่างแน่นอน

สุดท้ายนี้หากมีคุณความดีใดๆอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณความดีเหล่านั้นให้แก่ผู้มีพระคุณทั้งที่เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนามทั้งหลายทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ

นภา แซ่เบ๊

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 สัญญาณรบกวน	6
2.1.1 สัญญาณรบกวนแบบผลบวก (Additive Noise)	6
2.1.2 สัญญาณรบกวนแบบผลคูณ (Multiplicative Noise)	8
2.2 การลดสัญญาณรบกวนแบบพื้นฐาน	10
2.2.1 ตัวกรองค่าเฉลี่ย (Moving Average Filter).....	10
2.2.2 ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter).....	11
2.2.3 การลดสัญญาณรบกวน โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet denoising)	12
2.3 การเทรสโฮลด์	14
2.3.1 ฮาร์ดเทรสโฮลด์ (Hard thresholding).....	14
2.3.2 ซอฟท์เทรสโฮลด์ (Soft thresholding).....	15
2.4 การแปลงเอสวีดี(Singular Value Decomposition).....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นจากงานที่อาจารย์ท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

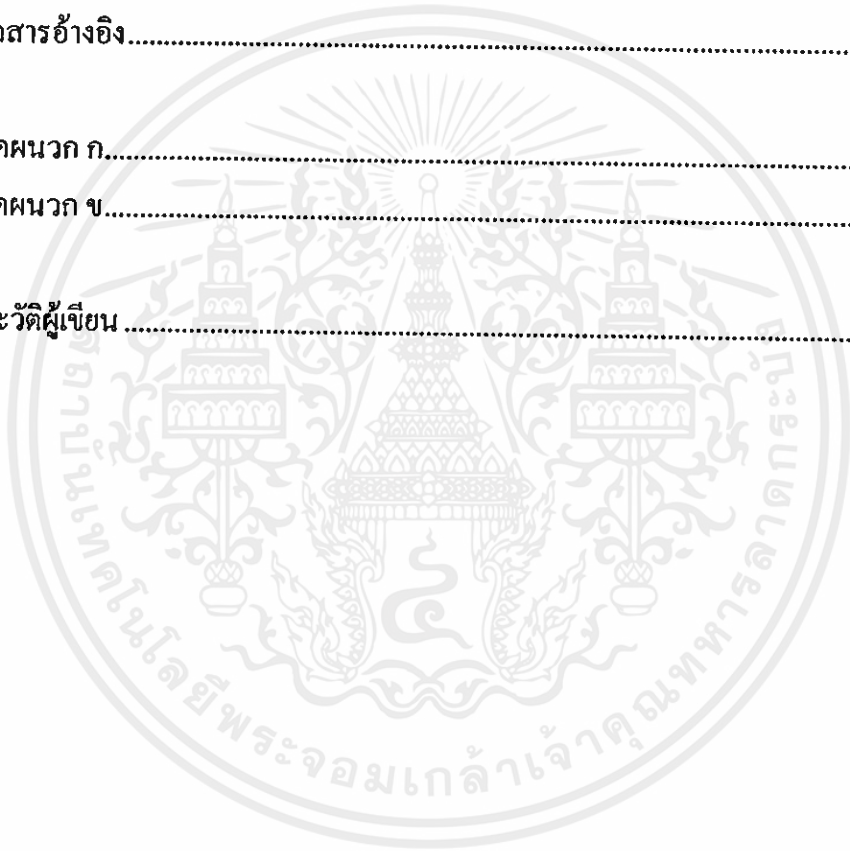
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.1 การแปลงเอสวีตีบนบล็อคย่อยเพื่อการลดสัญญาณรบกวน.....	19
บทที่ 3 การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีตี เพื่อการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน.....	23
3.1 วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน โดยอาศัยการประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีตี.....	23
3.2 การวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน	27
3.2.1 การวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพแบบจับเจกทีฟ (Subjective Measurement)	27
3.2.2 การวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพแบบอบเจกทีฟ (Objective Measurement).....	27
บทที่ 4 การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีตี เพื่อการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล.....	30
4.1 วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล โดยใช้การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีตี..	31
4.2 การวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน	34
4.2.1 ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูล (S/mse)	34
4.2.2 ค่าการวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β).....	34
4.2.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพ (ρ).....	35
บทที่ 5 ผลการทดลอง	36
5.1 การลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน	36
5.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบการแปลงเอสวีตีบนบล็อคย่อย.....	41
5.1.2 การกำหนดค่าเทรสโฮลด์อย่างอัตโนมัติและประสิทธิภาพของการเทรสโฮลด์	48
5.2 การลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองและแนวทางในการพัฒนา.....	86
6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	86
6.2 ข้อเสนอแนะ	87
6.3 แนวทางในการพัฒนา	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก ก.....	91
ภาคผนวก ข.....	119
ประวัติผู้เขียน.....	143



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ระยะเวลาในการแปลงเอสวีดีทีแต่ละขนาดบล็อกย่อย โดยใช้ภาพต้นฉบับรูปที่ 5.2..... ขนาด 256×256 พิกเซล.....40	
5.2 ระยะเวลาในการแปลงเอสวีดีทีแต่ละขนาดบล็อกย่อย โดยใช้ภาพต้นฉบับรูปที่ 5.2..... ขนาด 512×512 พิกเซล.....40	
5.3 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการ..... กำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 3644	
5.4 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการ..... กำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 14444	
5.5 ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน..... แบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 36.....45	
5.6 ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน..... แบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 144.....45	
5.7 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการ..... กำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 3647	
5.8 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการ..... กำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 14447	
5.9 อิทธิพลของขนาดบล็อกย่อยที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณและคุณภาพของ..... ภาพที่ได้โดยวัดจากค่าเอสเอสไอเอ็ม โดยอาศัยรูปที่ 5.10(ง) ในการทดสอบ.....57	
5.10 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ..... วิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 2562	
5.11 ค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ..... เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 25.....63	
5.12 ค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ..... วิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 2564	
5.13 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ..... วิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 10065	

เอกสารนี้เป็นเอกสารของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยบุคลากรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.14 ค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ.....	
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100.....66	
5.15 ค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ.....	
วิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100.....67	
5.16 ค่ามีนสแควร์เออเรอร์(mse) ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาด.....	
ของข้อมูล (S/mse) การวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β) และ ค่าความสัมพันธ์.....	
ระหว่างภาพ (ρ) ที่วัดได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเทิล บนภาพสังเคราะห์.....	
ขนาด 150x150 พิกเซล (รูปที่ 5.27) ด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ.....78	
5.17 ค่ามีนสแควร์เออเรอร์(mse) ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาด.....	
ของข้อมูล (S/mse) การวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β) และ ค่าความสัมพันธ์.....	
ระหว่างภาพ (ρ) ที่วัดได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเทิล บนภาพสังเคราะห์.....	
ขนาด 150x150 พิกเซล (รูปที่ 5.27) ด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ.....80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่มีสัญญาณรบกวน.....	2
1.2 ภาพถ่ายอัลตราซาวด์บริเวณตับ.....	2
2.1 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่ระดับต่างๆ	7
2.2 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่ระดับต่างๆ (ก) ภาพต้นฉบับ.....	9
2.3 ขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ทสองมิติแบบไม่ต่อเนื่อง	12
2.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ทสองมิติ	13
2.5 ขั้นตอนการแปลงกลับเวฟเล็ทสองมิติแบบไม่ต่อเนื่อง	14
2.6 รูปแบบฟังก์ชันที่ใช้ในการเทรสโฮลด์.....	15
2.7 บล็อกโคอะแกรมการทำงานของการลดสัญญาณรบกวน โดยการแปลงเอสวีดีบน..... บล็อกย่อย.....	20
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทรสโฮลด์และประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนที่..... ค่าเทรสโฮลด์ดังกล่าวเมื่อวัดผ่านค่าพีเอสเอ็นอาร์	21
2.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีบนบล็อกย่อย.....	22
2.10 การขยายภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีบนบล็อกย่อย	22
3.1 บล็อกโคอะแกรมในการลดสัญญาณรบกวน	23
3.2 ภาพพรมัวและขอบภาพที่ได้จากภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพพรมัวและ..... ขอบภาพที่ได้จากภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน	26
3.3 บล็อกโคอะแกรมแสดงการทำงานของระบบในการวัดค่าเอสเอสไอเอ็ม	29
4.1 การแปลงสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเป็นสัญญาณรบกวนแบบผลบวก	32
4.2 บล็อกโคอะแกรมของการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล	33
4.3 บล็อกโคอะแกรมของการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลในขั้นตอนการประยุกต์..... ใช้การแปลงเอสวีดี	33
5.1 บล็อกโคอะแกรมในการลดสัญญาณรบกวน	36
5.2 ภาพ Barbara ขนาด 512×512 พิกเซล ที่ปราศจากสัญญาณรบกวน.....	37
5.3 ภาพ Barbara ขนาด 512×512 พิกเซล ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนที่มีความ..... แปรปรวนเท่ากับ 100 ที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการนำภาพมาผ่านตัวกรองแบบเกาส์เซียน	39
5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเทรส โฮลด์ที่รูปที่ 5.2 ที่มี สัญญาณรรบกวณที่ความแปรปรวน 100	41
5.6 ภาพที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 5.1.1	42
5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเทรส โฮลด์ที่รูปที่ 5.2 ที่มี สัญญาณรรบกวณที่ความแปรปรวน 36	43
5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเทรส โฮลด์ที่รูปที่ 5.2 ที่มี สัญญาณรรบกวณที่ความแปรปรวน 144	43
5.9 ภาพขยายของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรรบกวณแบบต่างๆ	46
5.10 รูป (ก) - (ง) ขนาด 256x256 พิกเซลที่ใช้ในการทดลอง.....	52
5.11 รูป (ง) - (ค) ขนาด 512x512 พิกเซลที่ใช้ในการทดลอง	53
5.12 รูป (ค) - (บ) ขนาด 512x512 พิกเซลที่ใช้ในการทดลอง	54
5.13 รูปที่ 5.11 (ก) ที่มีสัญญาณรรบกวณที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ	55
5.14 รูปที่ 5.11(ก) ที่มีสัญญาณรรบกวณที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ	56
5.15 ค่าเอสเอสไอเอ็มที่ได้จากการลดสัญญาณรรบกวณด้วยวิธีที่นำเสนอโดยอาศัยค่า..... ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่แตกต่างกัน โดยอาศัยรูปที่..... 5.10(ง) ในการทดสอบ	58
5.16 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรรบกวณภาพรูปที่ 5.10(ง)..... ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรรบกวณที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196.....	59
5.17 ค่าการวัดคุณภาพขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรรบกวณภาพ..... รูปที่ 5.10 (ง) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรรบกวณที่มีความแปรปรวน..... ตั้งแต่ 25 - 196	59
5.18 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรรบกวณภาพรูปที่ 5.10(ง)..... ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรรบกวณที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196	60
5.19 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรรบกวณภาพรูปที่ 5.11(ง)..... ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรรบกวณที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196.....	60

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20 ค่าการวัดคุณภาพของภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพ.....	
รูปที่ 5.11 (ฐ) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่.....	
25 - 196.....	61
5.21 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.11(ฐ).....	
ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 – 196.....	61
5.22 ภาพขยายของรูปที่ 5.10(ก) ที่ ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ	69
5.23 ภาพขยายของรูปที่ 5.10(ง) ที่ ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ	70
5.24 ภาพขยายของรูปที่ 5.11(ฐ) ที่ ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ	71
5.25 ภาพขยายของรูปที่ 5.11(ฑ) ที่ ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ.....	72
5.26 ภาพขยายของรูปที่ 5.11(ฒ) ที่ ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ.....	73
5.27 ภาพจำลองที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น.....	75
5.28 ภาพสังเคราะห์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่ระดับความแปรปรวนต่าง ๆ	77
5.29 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวน.....	
แบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.02$	79
5.30 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวน.....	
แบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.04$	79
5.31 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวน.....	
แบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.06$	81
5.32 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวน.....	
แบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.07$	81
5.33 ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่มีความแปรปรวน 0.03.....	
ด้วยวิธีการต่างๆ	83
5.34 ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนบนภาพอัตราซาวด์ (ไทรอยด์) ด้วยวิธีการต่างๆ	84
5.35 ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนบนภาพอัตราซาวด์ (ตับ) ด้วยวิธีการต่างๆ.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำสัญญาณภาพมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในทางการแพทย์ กระบวนการในการรู้จำต่างๆ เช่น การแยกแยะลายนิ้วมือ การพิสูจน์ตัวตนโดยใช้ลายเซ็นต์ รวมทั้งเพื่อความบันเทิง ซึ่งสัญญาณภาพดังกล่าวมักจะถูกประมวลผลพร้อมกับสัญญาณรบกวนอันอาจเกิดจากอุปกรณ์ในการรับภาพหรือเกิดในขั้นตอนการส่งสัญญาณ ซึ่งสัญญาณรบกวนดังกล่าวจะมีผลทำให้ได้สัญญาณภาพที่มีคุณภาพต่ำกว่าที่ควรจะเป็นดังจะเห็นได้ในรูปที่ 1.1 และ รูปที่ 1.2 กล่าวคือ จะทำให้ภาพเกิดการสูญเสียรายละเอียดบางส่วนไปและทำให้บริเวณที่ภาพไม่เรียบในบริเวณที่ควรจะเรียบ ซึ่งวิธีการในการแก้ปัญหาดังกล่าวมีอยู่ 2 วิธี วิธีแรก คือ การใช้อุปกรณ์ที่ดีขึ้นที่จะทำให้ได้ภาพที่มีสัญญาณรบกวนน้อยลงซึ่งอุปกรณ์ก็จะมีราคาแพงตามคุณภาพของภาพที่ได้ หรือวิธีที่สอง คือ ใช้การประมวลผลสัญญาณเข้ามาช่วยในการลดสัญญาณรบกวน

ดังนั้นการประมวลผลสัญญาณเบื้องต้นเพื่อการลดสัญญาณรบกวนจึงเป็นกระบวนการที่เป็นทางเลือกที่ดีในการที่จะทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม แต่ในบางครั้งวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่เรานำมาใช้ อาจทำให้เกิดผลข้างเคียงอื่นๆซึ่งทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควร เช่น อาจจะทำให้ภาพเกิดการพร่ามัวและสูญเสียรายละเอียดบางส่วนไป หรืออาจไม่สามารถได้ภาพที่ราบเรียบ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาเพื่อให้ได้วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีกลับคืนมา



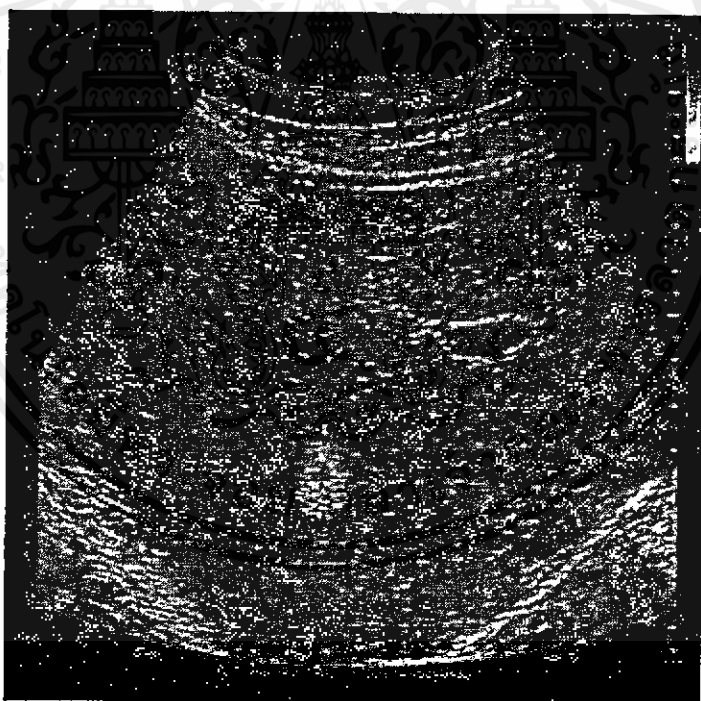
(ก)



(ข)

รูปที่ 1.1 เปรียบเทียบระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่มีสัญญาณรบกวน

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 81



รูปที่ 1.2 ภาพถ่ายอัลตราซาวด์บริเวณตับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งที่จะศึกษาวิธีการในการลดสัญญาณรบกวนที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งจุดมุ่งหมายของการลดสัญญาณรบกวนที่มีประสิทธิภาพคือ จะต้องทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยมีปัจจัยสำคัญ 2 ประการที่จะต้องนำมาพิจารณาก็คือ จะต้องสามารถเก็บรักษารายละเอียดของภาพไว้ได้ และในขณะที่เดียวกันจะต้องสามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากเช่นกัน และสามารถนำวิธีการที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล (Speckle Noise) บนภาพอัลตราซาวด์ (Ultrasound Image) ดังแสดงตัวอย่างของภาพอัลตราซาวด์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลในรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นภาพถ่ายอัลตราซาวด์บริเวณตับ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter) เพื่อการลดสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพเป็นวิธีการที่ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อเสียของวิธีการดังกล่าวคือไม่สามารถเก็บรายละเอียดของภาพไว้ได้ ดังนั้นถ้าเราสามารถดึงส่วนที่เป็นรายละเอียดของภาพออกมาได้มากขึ้น เราก็จะสามารถกู้คืนสัญญาณภาพที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น กล่าวคือมีความคมชัดมากขึ้น ซึ่งตัวกรองแบบเอสวีดีแบบบล็อกย่อย (Block-Based Singular Value Decomposition : BSVD) เป็นตัวกรองที่น่าจะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการเก็บรายละเอียดส่วนที่ไม่ครบถ้วนได้ดี และนอกจากนี้วิธีการดังกล่าวน่าจะสามารถนำประยุกต์ใช้กับภาพอัลตราซาวด์ได้ดีเนื่องจากประสิทธิภาพของวิธีการที่กล่าวมานั้น ไม่ขึ้นกับลักษณะการกระจายตัวของสัญญาณรบกวน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

กระบวนการลดสัญญาณรบกวนที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อาศัยคุณสมบัติที่ดีของตัวกรอง(Filter) 2 แบบ คือ ตัวกรองแบบเกาส์เซียนซึ่งเป็นตัวกรองที่ดีในการลดสัญญาณรบกวนและได้ภาพที่เรียบ แต่ข้อเสียคือจะทำให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดไม่ครบถ้วน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวโดยอาศัยคุณสมบัติของตัวกรองเอสวีดีแบบบล็อกย่อย ซึ่งเป็นตัวกรองที่สามารถเก็บรักษารายละเอียดของภาพได้ดี แต่การนำตัวกรองทั้งสองแบบมาใช้ร่วมกันจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบระบบที่ดีและกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสม เช่น ค่าของขนาดบล็อกย่อยที่

เหมาะสม ค่าซิกมาของตัวกรองแบบเกาส์เซียน รวมทั้งออกแบบวิธีการเทรสโฮลด์ และพารามิเตอร์ในการเทรสโฮลด์ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีตามที่ต้องการ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและออกแบบวิธีการและพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการลดสัญญาณรบกวนอย่างมีประสิทธิภาพกล่าวคือ มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆรวมถึงกระบวนการในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางตัวให้เหมาะสม โดยอัตโนมัติ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้จะได้จากการพิจารณาภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน โดยจะพิจารณาถึงระดับของสัญญาณรบกวนที่ปรากฏบนภาพซึ่งสามารถประมาณค่าได้โดยไม่ต้องอาศัยภาพต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวน รวมทั้งนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายอัลตราซาวด์เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพสูงขึ้นเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ต่อไป

โดยในการทดลองจะทำการจำลองภาพที่มีสัญญาณรบกวนโดยอาศัยภาพต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวน หลังจากนั้นจะทำการจำลองสัญญาณรบกวนที่ระดับต่างๆ และนำสัญญาณรบกวนดังกล่าวไปรวมกับภาพต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวน ก็จะเกิดเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่ระดับต่างๆ และนำภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่ระดับต่างๆนี้ไปใช้ในการทดลองเพื่อออกแบบระบบ รวมถึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมเพื่อให้ภาพที่ได้หลังการลดสัญญาณรบกวนเป็นภาพที่มีคุณภาพที่ดีตามต้องการ และ นำภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนโดยวิธีที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการที่เป็นที่นิยม เช่น เวฟเล็ตเทรสโฮลด์ คตัวกรองแบบเกาส์เซียน หรือ ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย (Moving Average Filter) ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพของภาพแบบต่างๆ เช่น ค่าพีเอสเอ็นอาร์ (Peak Signal to Noise Ratio: PSNR) ค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพ (Edge Measurement) และค่าเอสเอสไอเอ็ม (Structural Similarity Index Measurement : SSIM) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ หลังจากนั้นจะนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายอัลตราซาวด์ซึ่งเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล (Speckle Noise) และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่เป็นที่นิยมเช่น ตัวกรองแบบลี (Lee filter) ตัวกรองแบบกวน (Kuan Filter) ตัวกรองแบบค่ามัธยฐาน (Median Filter) การลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ตแบบวิซวลซริง (Visushrink) และ ตัวกรองแบบโฮโมมอร์ฟิกเวเนอร์ (homomorphic Weiner Filter) โดยอาศัยค่าเอ็มเอสอี (Mean Square Error : mse) ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูล (S/mse) ค่าการวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β) และ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพ (ρ) ตามลำดับ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1) ทำการค้นคว้าและรวบรวมเอกสารและข้อมูลต่างๆที่คาดว่าจะประโยชน์และเกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมาอย่างละเอียดและศึกษาทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้
- 3) ทำการออกแบบวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่คาดว่าจะให้ผลดี
- 4) ทำการทดลองวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่ได้ออกแบบมากับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน
- 5) ทำการออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติของตัวลดสัญญาณรบกวนที่ดีตามต้องการ และทำการศึกษาถึงค่าสัญญาณรบกวนที่ปรากฏบนภาพเพื่อนำค่าดังกล่าวไปปรับค่าเทรชโฮลด์(Threshold value)อย่างอัตโนมัติ
- 6) ทำการทดลองตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ออกแบบมา
- 7) นำวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล
- 8) ปรับค่าพารามิเตอร์และวิธีการเทรชโฮลด์ให้เหมาะสมกับสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล
- 9) ทำการทดลองตามค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ออกแบบมา
- 10) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง
- 11) เรียบเรียงวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานซึ่งจะนำไปใช้ในบทต่อไป โดยได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้ คือ สัญญาณรบกวน การลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ การเทรสโฮลด์ และการแปลงเอสวีดีและการประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดีเพื่อการลดสัญญาณรบกวน

2.1 สัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนคือสัญญาณที่แทรกเข้ามาในภาพแล้วทำให้คุณภาพของภาพลดลง โดยทั่วไป สัญญาณรบกวนของภาพจะแบ่งลักษณะการกระทำบนสัญญาณภาพได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1 สัญญาณรบกวนแบบผลบวก (Additive Noise)

สัญญาณรบกวนแบบนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในขั้นตอนการรับภาพของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือเกิดจากการรบกวนในช่องสัญญาณการสื่อสาร รูปแบบทั่วไปของสัญญาณรบกวนแบบนี้เป็นไปตามสมการที่ (2.1)[2]

$$J = I + N \quad (2.1)$$

โดยที่ I คือสัญญาณภาพต้นฉบับ

N คือสัญญาณรบกวน

J คือสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวน

จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนจะเกิดจากการรวมกันของสัญญาณภาพต้นฉบับและสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการสุ่มข้อมูล ซึ่งรูปแบบของสัญญาณรบกวนดังกล่าวก็สามารถจำลองรูปแบบได้ตามลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล(Probability Density Function :PDF) เช่น สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน(Gaussian Noise) สัญญาณรบกวนแบบที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ (Uniform Noise) และสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ (Impulse Noise) แต่สัญญาณที่นิยมนำมาใช้เพื่อทำการจำลองสัญญาณรบกวนแบบผลบวกโดยทั่วไป คือสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise) ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชันการกระจายตัวได้ตามสมการที่ (2.2) ดังนี้[2]

$$p(z) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

โดยที่ z แทนค่าระดับความเข้มเทา (Gray Level)

μ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด (Mean)

σ แทนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (Standard deviation)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่ระดับต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข), (ค) และ (ง) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่ความแปรปรวน (σ^2) 25, 100 และ 225 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนสูงจะปรากฏสัญญาณรบกวนอยู่มากทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งการประมาณค่าสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพแบบผลบวก สามารถทำได้โดยอาศัยสมการที่(2.3) [19]

$$\sigma_{noise} = \frac{MAD(x)}{0,6745} \quad (2.3)$$

โดยที่ σ_{noise} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวน
 x คือ สัญญาณภาพ
 และ $MAD(x)$ คือ ค่ามัธยฐานของค่าสัมบูรณ์ที่เบี่ยงเบนจากค่ามัธยฐาน (Median Absolute Deviation) นิยามดังนี้

$$MAD(x) = Median(|x - Median(x)|) \quad (2.4)$$

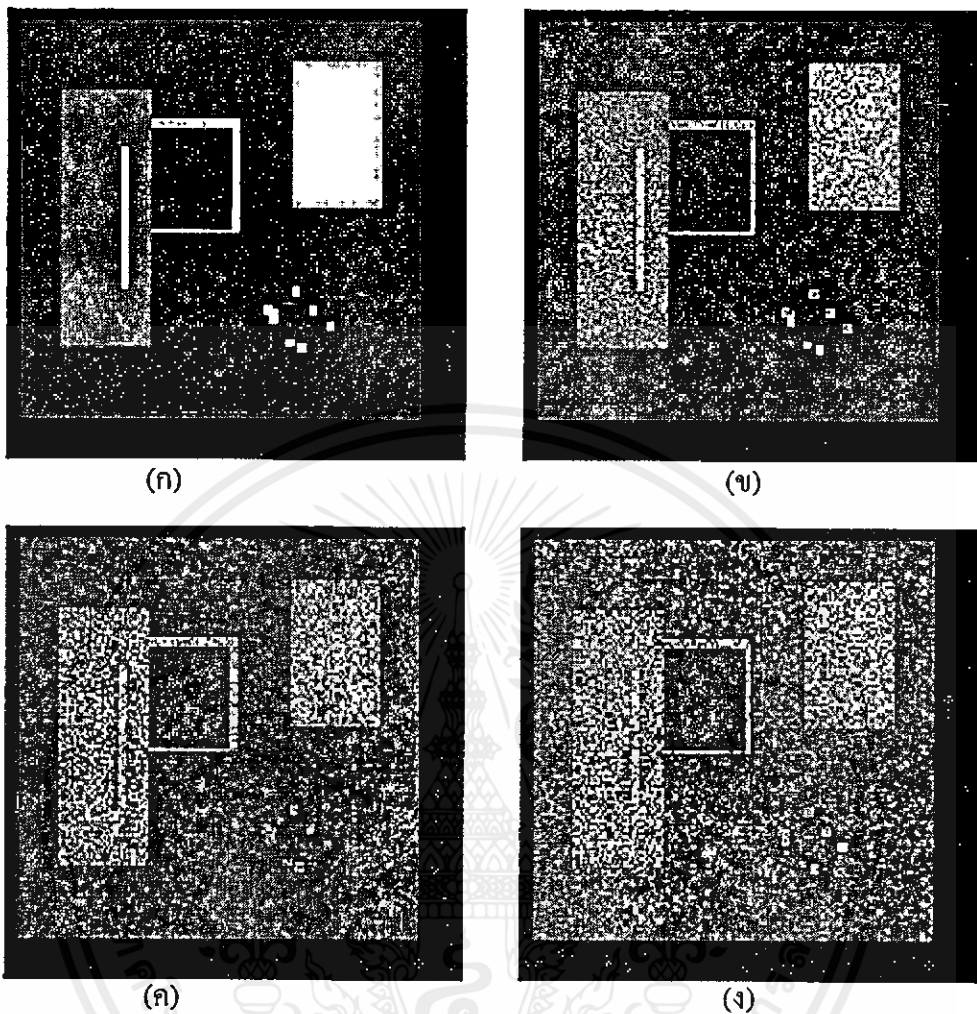
2.1.2 สัญญาณรบกวนแบบผลคูณ (Multiplicative Noise)

หรือที่นิยมเรียกว่าสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล (Speckle Noise) เป็นสัญญาณรบกวนที่มักจะใช้เป็นโมเดลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบนภาพอัลตราซาวด์ หรือ ภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากผลคูณระหว่างสัญญาณภาพต้นฉบับและสัญญาณรบกวนแสดงได้ดังสมการที่ (2.5)[13]

$$J = I + (N \cdot I) \quad (2.5)$$

โดยที่ I คือ สัญญาณภาพต้นฉบับ
 N คือ สัญญาณรบกวน
 J คือ สัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวน

ซึ่งสัญญาณรบกวนดังกล่าวมักจะแทนด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยของสัญญาณเป็นศูนย์ ซึ่งภาพที่เกิดจากสัญญาณรบกวนชนิดดังกล่าวได้แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่ระดับต่างๆ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข), (ค) และ (ง) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนที่ความแปรปรวน 0.2, 0.5 และ 0.8 ตามลำดับ

2.2 การลดสัญญาณรบกวนแบบพื้นฐาน

2.2.1 ตัวกรองค่าเฉลี่ย (Moving Average Filter)

ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเป็นตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านพื้นฐานที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวน เนื่องจากเป็นตัวกรองที่ง่ายในการคำนวณ โดยการลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยตัวกรองชนิดนี้สามารถทำได้โดยการทำการคอนโวลูชัน(Convolution)ระหว่างสัญญาณภาพต้นฉบับที่เต็มไปด้วยสัญญาณรบกวนกับมาสก์ของตัวกรอง ซึ่งมีผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ภายในมาสก์เป็นหนึ่ง และนอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ภายในมาสก์จะเท่ากันทุกตัว ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้คือ[1]

$$A = [a]_{n \times n} \quad (2.6)$$

โดยที่ $a = \frac{1}{n^2}$

และ n คือ ขนาดของมาสก์

ซึ่งขนาดของมาสก์มีได้หลายขนาดเช่น 3×3 , 5×5 และ 7×7 เป็นต้น

ตัวอย่างของมาสก์ค่าเฉลี่ยขนาด 3×3

$$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างของมาสก์ค่าเฉลี่ยขนาด 5×5

$$\frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

การลดขนาดสัญญาณของสัญญาณรบกวนด้วยวิธีนี้มีทั้งข้อดีและข้อเสียกล่าวคือ การเพิ่มขนาดของมาสก์จะช่วยลดสัญญาณรบกวนลงได้มากขึ้น แต่ก็จะทำให้ภาพที่ได้พร่ามัว (Blur image) มากขึ้นเช่นกัน [3]

2.2.2 ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian Filter)

โดยทั่วไปมาส์คแบบเกาส์เซียนจะเป็นที่นิยมใช้มากกว่าแบบค่าเฉลี่ย เนื่องจากว่าจะมีผลกระทบต่อภาพร่ามัว (Blur) ของภาพต้นฉบับน้อยกว่า และสามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองได้หลายรูปแบบโดยการกำหนดที่ค่าความแปรปรวน (σ^2) ของเกาส์เซียน ซึ่งสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแบบเกาส์เซียนสองมิติ $G(x,y)$ จะมีค่าตามสมการที่ (2.7)[1]

$$G(x,y) = \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}}{C} \quad (2.7)$$

โดยค่าความแปรปรวนของเกาส์เซียนจะมีผลต่อภาพที่ได้กล่าวคือ ถ้ามีการกำหนดค่าความแปรปรวนมากก็จะสามารถลดสัญญาณรบกวนได้มากแต่ความร่ามัวของภาพก็จะมากขึ้นเช่นกัน ในขณะที่เดียวกัน ถ้ามีการกำหนดค่าความแปรปรวนน้อย ภาพที่ได้ก็จะคมชัดกว่าแต่ก็จะมีสัญญาณรบกวนอยู่มากกว่า

ตัวอย่างมาส์คขนาด 3×3 ของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่มีค่า $\sigma^2 = 1$

$$mask = \begin{bmatrix} 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \\ 0.1238 & 0.2042 & 0.1238 \\ 0.0751 & 0.1238 & 0.0751 \end{bmatrix}$$

ตัวอย่างมาส์คขนาด 5×5 ของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่มีค่า $\sigma^2 = 1$

$$mask = \begin{bmatrix} 0.0030 & 0.0133 & 0.0219 & 0.0133 & 0.0030 \\ 0.0133 & 0.0596 & 0.0983 & 0.0596 & 0.0133 \\ 0.0219 & 0.0983 & 0.1621 & 0.0983 & 0.0219 \\ 0.0133 & 0.0596 & 0.0983 & 0.0596 & 0.0133 \\ 0.0030 & 0.0133 & 0.0219 & 0.0133 & 0.0030 \end{bmatrix}$$

มาส์คแบบเกาส์เซียนเหมาะสำหรับการลดสัญญาณรบกวนที่มีการกระจายแบบเกาส์เซียน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ตัวกรองแบบนี้จะทำให้ได้ภาพที่ได้กลับคืนมาที่มีการสูญเสียรายละเอียดไปน้อยกว่าการใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย [3]

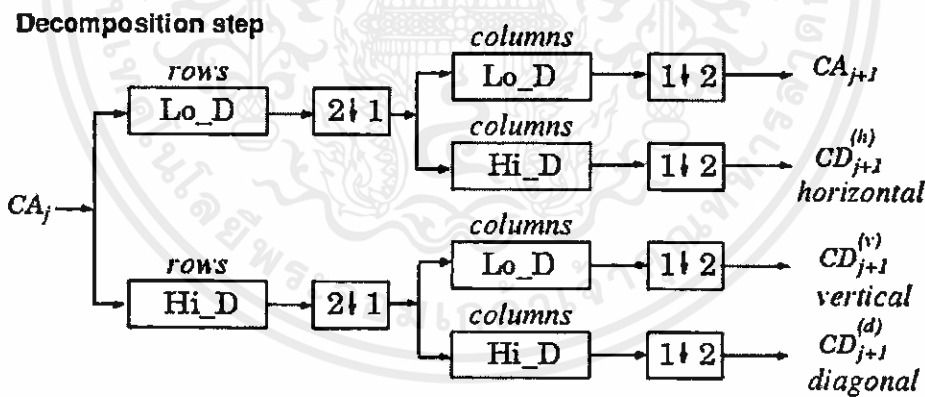
2.2.3 การลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยการแปลงเวฟเลต (Wavelet denoising)

การแปลงเวฟเลตเป็นการแบ่งแยกสัญญาณอินพุตออกเป็นย่านความถี่ที่แตกต่างกันและทำการวิเคราะห์สัญญาณในย่านความถี่ที่ต้องการ ซึ่งการอาศัยการแปลงเวฟเลตเพื่อการลดสัญญาณรบกวนสามารถทำได้โดยการเลือกเวฟเลตแม่ (Mother wavelet) ที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำการแปลงเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete wavelet transform) ของสัญญาณภาพ หลังจากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตมาทำการเทรสโฮลด์ด้วยค่าที่เหมาะสม และนำค่าที่ได้หลังจากการเทรสโฮลด์มาทำการแปลงกลับเวฟเลตแบบไม่ต่อเนื่อง (Inverse discrete wavelet transform) เพื่อให้ได้ภาพต้นฉบับกลับคืนมา สำหรับการเทรสโฮลด์บนค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลตนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้การเทรสโฮลด์แบบซอฟต์แวร์สโกลด์คิงมากกว่า ฮาร์ดแวร์สโกลด์คิง (ซึ่งเรื่องของฮาร์ดแวร์สโกลด์คิงจะกล่าวต่อไป) เนื่องจากจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า [4] ซึ่งค่าเทรสโฮลด์ (Threshold value) ที่เลือกมาทำการทดสอบนั้นเป็นค่าเทรสโฮลด์ที่เรียกว่า ยูนิเวอร์ซัลซอฟต์แวร์สโกลด์คิง (Universal thresholding) ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้ทั่วไป สามารถกำหนดได้โดยสมการที่(2.8) [4]

$$T = \hat{\sigma} \sqrt{2 \log_{10} N} \tag{2.8}$$

โดยที่ N คือ จำนวนข้อมูลอินพุต

Two-Dimensional DWT



Where $2 \downarrow 1$ Downsample columns: keep the even indexed columns

$1 \downarrow 2$ Downsample rows: keep the even indexed rows

$\begin{matrix} rows \\ \boxed{X} \end{matrix}$ Convolve with filter X the rows of the entry

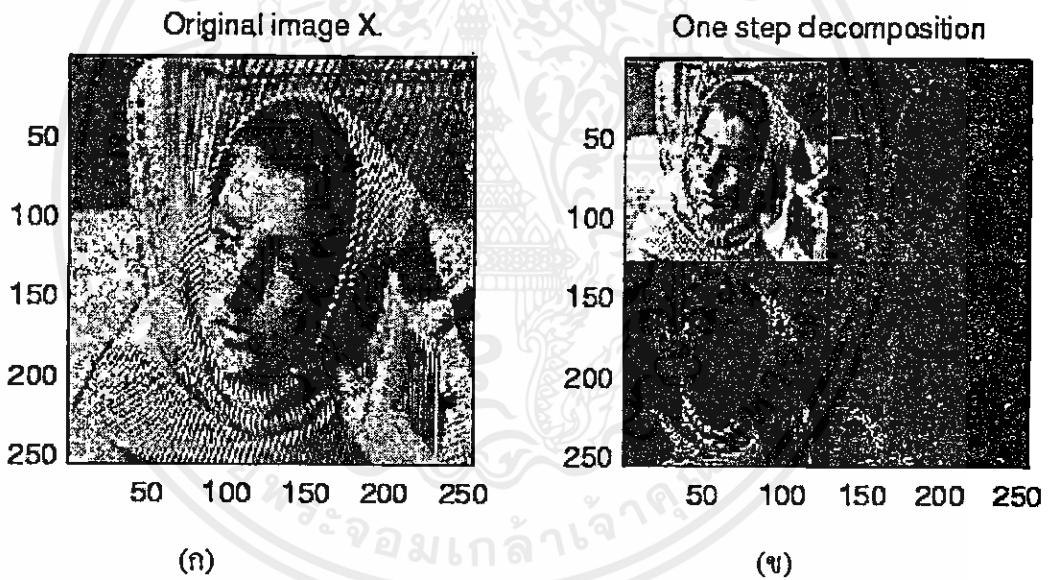
$\begin{matrix} columns \\ \boxed{X} \end{matrix}$ Convolve with filter X the columns of the entry

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการแปลงเวฟเลตสองมิติแบบไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยหากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสัญญาณภาพเป็นสัญญาณสองมิติแบบไม่ต่อเนื่องจึงต้องอาศัยการแปลงเวฟเล็ดสองมิติแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ดแบบไม่ต่อเนื่องได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.3 กล่าวคือ นำสัญญาณภาพต้นฉบับมาทำการคอนโวลูชันในแนวแถวกับตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านและแถบความถี่สูงผ่านที่ได้จากเวฟเล็ดแม่ ตามลำดับ หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองมาทำการลดการสุ่ม(Down sampling)ลงครึ่งหนึ่ง หลังจากนั้นนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองมาทำการคอนโวลูชันกับตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านและแถบความถี่สูงผ่านอีกครั้งหนึ่งในแนวหลักและทำการลดการสุ่มลงครึ่งหนึ่งอีกครั้งก็จะได้สัญญาณทั้งหมด 4 สัญญาณที่มีย่านความถี่ที่แตกต่างกันและนำสัมประสิทธิ์ของสัญญาณที่ได้ไปทำการเทรสโฮลด์ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.4 กล่าวคือ ภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ภาพย่อยที่มีรายละเอียดแตกต่างกัน[23]

สำหรับการแปลงกลับเวฟเล็ดสองมิติแบบไม่ต่อเนื่องนั้นอาศัยขั้นตอนกลับกับการแปลงเวฟเล็ดสองมิติแบบไม่ต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 2.5 [22]



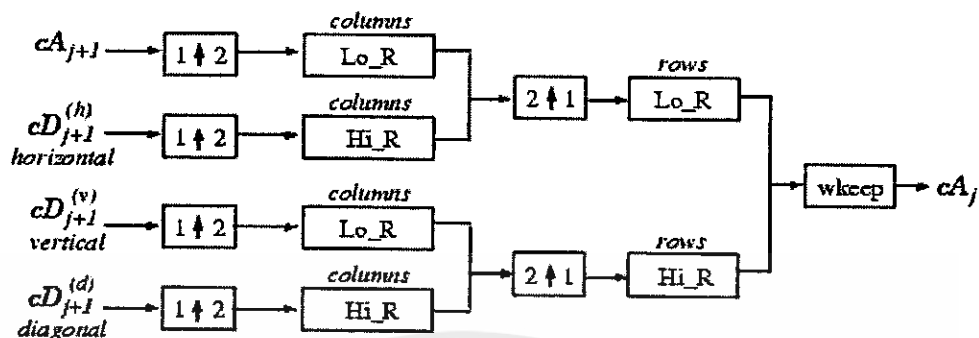
รูปที่ 2.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดสองมิติ

(ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพที่ผ่านการแปลงเวฟเล็ดสองมิติ

Two-Dimensional IDWT

Reconstruction step



Where

$\begin{matrix} 2 \uparrow 1 \\ \text{rows} \end{matrix}$	Upsample columns: insert zeros at odd-indexed columns.
$\begin{matrix} 1 \uparrow 2 \\ \text{columns} \end{matrix}$	Upsample rows: insert zeros at odd-indexed rows.
$\begin{matrix} \text{rows} \\ X \end{matrix}$	Convolve with filter X the rows of the entry.
$\begin{matrix} \text{columns} \\ X \end{matrix}$	Convolve with filter X the columns of the entry.

รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการแปลงกลับเวฟเลตสองมิติแบบไม่ต่อเนื่อง

2.3 การเทรสโฮลด์

โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะตามฟังก์ชันของการเทรสโฮลด์ดังนี้

2.3.1 ฮาร์ดเทรสโฮลด์ (Hard thresholding)

คือ การรักษาสัมประสิทธิ์ภายในแบนด์ย่อยที่มีค่ามากกว่าค่าเทรสโฮลด์ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรสโฮลด์จะถูกกำหนดให้เท่ากับศูนย์ ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชันการเทรสโฮลด์ได้ดังนี้

[4]

$$y_{hard}(t) = \begin{cases} x(t) & , |x(t)| \geq T \\ 0 & , |x(t)| < T \end{cases} \quad (2.9)$$

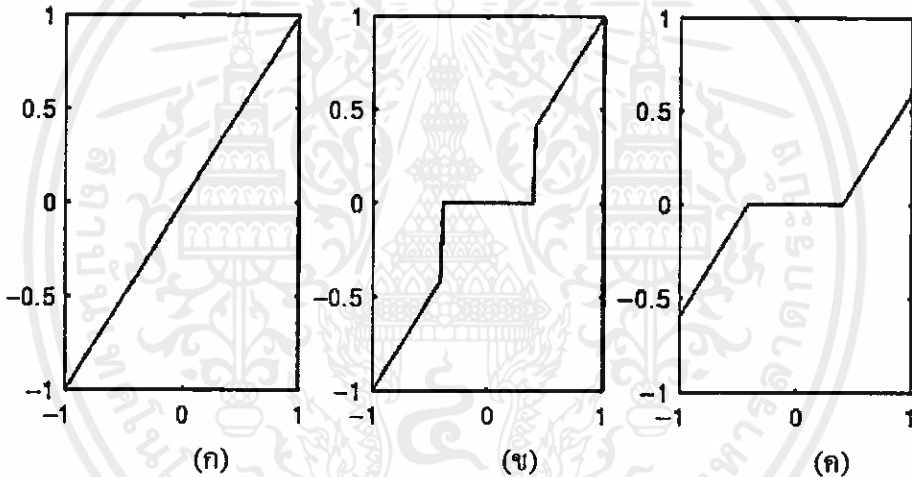
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ขอฟท์เทรสดิง (Soft thresholding)

คือ การกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าน้อยกว่าค่าเทรสดิงเป็นศูนย์ แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ใดมีค่ามากกว่าค่าเทรสดิงจะถูกกำหนดเป็น $\text{sgn}(x(t))(|x(t)| - T)$ เพื่อให้เกิดค่าผลลัพธ์ที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถเขียนฟังก์ชันการเทรสดิงได้ตามสมการที่ (2.10) ดังนี้ [4]

$$y_{\text{soft}}(t) = \begin{cases} \text{sgn}(x(t))(|x(t)| - T) & , |x(t)| \geq T \\ 0 & , |x(t)| < T \end{cases} \quad (2.10)$$

ซึ่งกราฟของฟังก์ชันทั้งสองได้แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปแบบฟังก์ชันที่ใช้ในการเทรสดิง

- (ก) สัญญาณอินพุต
- (ข) สัญญาณเอาต์พุตสำหรับการเทรสดิงแบบฮาร์ดเทรสดิง
- (ค) สัญญาณเอาต์พุตสำหรับการเทรสดิงแบบขอฟท์เทรสดิง

2.4 การแปลงเอสวีดี (Singular Value Decomposition)

เราสามารถเขียนเมตริกซ์ A ขนาด $m \times n$ ใดๆ ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ $U_{(m \times m)}$, $S_{(m \times n)}$ และ $V_{(n \times n)}$

ได้ดังสมการที่(2.11) ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = U \cdot S \cdot V^T \quad (2.11)$$

โดยที่ เมตริกซ์ U และ V เป็น เมตริกซ์ของเวกเตอร์ตั้งฉาก (Orthogonal Matrix)
เมตริกซ์ S คือเมตริกซ์แนวทแยง (Diagonal Matrix) ของค่าซิงกูลาร์ของเมตริกซ์ A

ซึ่งเราสามารถหา เมตริกซ์ U, V และ S ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A &= USV^T \\ A^T A &= (USV^T)^T USV^T \\ A^T A &= VSU^T USV^T \\ &(U^T U = I) \end{aligned}$$

$$A^T A = VS^2 V^T \quad (2.12)$$

จากสมการจะเห็นว่า เมตริกซ์ V ก็คือเวกเตอร์ไอเกนของเมตริกซ์ $A^T A$ และ เมตริกซ์ S คือค่า
รากที่ 2 ของค่าไอเกนของ เมตริกซ์ AA^T โดยที่

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_r \geq \lambda_{r+1} \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0 \quad (2.13)$$

และ

$$\sigma_i = \sqrt{\lambda_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2.14)$$

และสามารถหาเมตริกซ์ U ได้โดยวิธีข้างต้น จะได้ว่าเมตริกซ์ U ก็คือเวกเตอร์ไอเกนของ
เมตริกซ์ AA^T

ตัวอย่างการแปลงเอสวีดี

กำหนดให้

$$A = \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น

$$A^T A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2 & -2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & -3 \\ -3 & 5 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนสำหรับงานวิจัยที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการหาค่า λ โดยการกำหนด $A - \lambda I = 0$ จะได้ .

$$\begin{bmatrix} 5 & -3 \\ -3 & 5 \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{vmatrix} 5-\lambda & -3 \\ -3 & 5-\lambda \end{vmatrix} = 0$$

ค่า λ สามารถหาได้จากสมการ

$$(5-\lambda)(5-\lambda) - 9 = 0$$

$$25 - 10\lambda + \lambda^2 - 9 = 0$$

$$\lambda^2 - 10\lambda + 16 = 0$$

$$(\lambda - 8)(\lambda - 2) = 0$$

$$\lambda = 8, 2$$

ดังนั้น จะสามารถหาเมตริก S ได้ดังนี้

$$S^2 = \begin{bmatrix} 8 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 2\sqrt{2} & 0 \\ 0 & \sqrt{2} \end{bmatrix}$$

จากนั้นเราจะทำการหา เมตริก V โดยหา \bar{v}_i ซึ่งเป็นเวกเตอร์เจาะจง(Eigen vector) ของเมตริก $A^T \cdot A$ ซึ่งสอดคล้องกับ λ_i ทีละตัว ดังนี้

ที่ $\lambda_1 = 8$ ทำการหา \bar{v}_1

$$[A^T A - \lambda I] \bar{v}_1 = 0$$

$$\begin{bmatrix} 5-8 & -3 \\ -3 & 5-8 \end{bmatrix} \bar{v}_1 = 0$$

$$\begin{bmatrix} -3 & -3 \\ -3 & -3 \end{bmatrix} \bar{v}_1 = 0$$

ดังนั้น จะได้ $\bar{v}_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก เมตริก V เป็น เมตริกเชิงตั้งฉากปรกติ (Orthonormal matrix) ดังนั้นจึงต้องผ่านการ
ทำค่าดังกล่าวให้เป็นค่าปรกติ (Normalization) ดังนั้น เราจึงต้องทำการหารเวกเตอร์ดังกล่าวด้วยค่า
ขนาดของมัน (Magnitude) ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$\bar{v}_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

และเมื่อแทน $\lambda_2 = 2$ เราจะสามารถหาค่า \bar{v}_2 ด้วยวิธีการเดียวกัน โดยจะได้ค่า \bar{v}_2 ตามสมการ
ดังนี้

$$\bar{v}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

และสามารถเขียนเมตริก V ได้ดังนี้

$$V = \begin{bmatrix} \bar{v}_1 & \bar{v}_2 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

สำหรับค่า \bar{u}_i ซึ่งก็คือค่าเวกเตอร์เงาของเมตริก $A \cdot A^T$ ก็ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการหา \bar{v}_i
และได้ค่าดังนี้ คือ

$$\bar{u}_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

และ

$$\bar{u}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

และจะได้เมตริก U คือ

$$U = [\bar{u}_1 \quad \bar{u}_2]$$

$$U = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น สามารถเขียนเมตริก A ได้ดังนี้

$$A = U \cdot S \cdot V^T$$

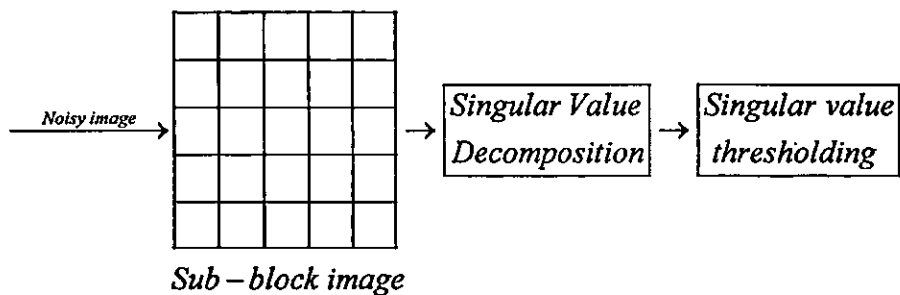
$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 2\sqrt{2} & 0 \\ 0 & \sqrt{2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$$

2.4.1 การแปลงเฮสวิตซ์บนบล็อคล้อยเพื่อการลดสัญญาณรบกวน

สำหรับการแปลงเฮสวิตซ์นั้น ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆด้านของการประมวลผลสัญญาณภาพรวมถึงด้านอื่นๆ อาทิเช่น การประยุกต์ใช้การแปลงเฮสวิตซ์เพื่อการบีบอัดสัญญาณภาพ

การประยุกต์ใช้การแปลงเฮสวิตซ์เพื่อการประเมินคุณภาพของสัญญาณภาพ[19] และที่น่าสนใจมากก็คือ การแปลงเฮสวิตซ์บนบล็อคล้อยเพื่อการลดสัญญาณรบกวน ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมา[5] ซึ่งให้เห็นว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนกล่าวคือ สามารถที่จะลดสัญญาณรบกวนลงได้โดยไม่เกิดการสูญเสียรายละเอียดของภาพมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ได้นำเสนอ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการดังกล่าวยังมีข้อเสียอยู่เช่นกัน คือ ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีนี้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน(Smoothness)ค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาวิธีการดังกล่าวเพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพที่ดีตามต้องการ สำหรับรายละเอียดในการออกแบบวิธีการในการลดสัญญาณรบกวนที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอในบทต่อไป

ในเนื้อหานี้จะกล่าวถึงวิธีการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเฮสวิตซ์บนบล็อคล้อยที่ได้มีการนำเสนอมาก่อนหน้านี้[5] เพื่อให้เกิดความเข้าใจพอสังเขปกับวิธีการดังกล่าว และสามารถทำความเข้าใจในวิธีการที่จะนำเสนอในบทต่อไปได้ดียิ่งขึ้น

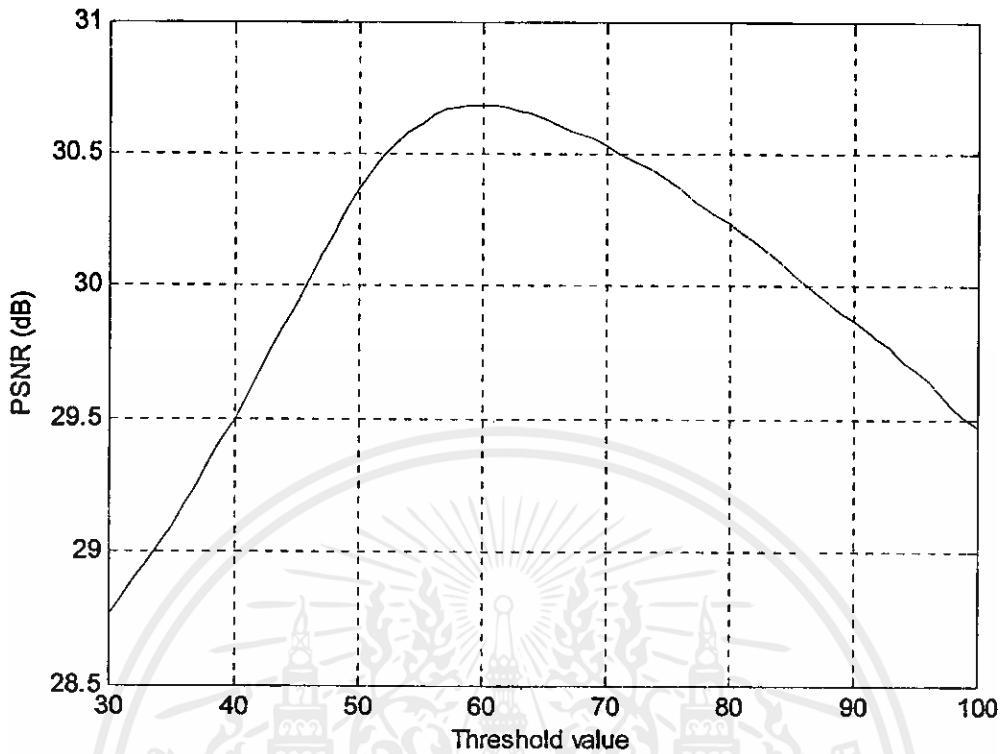


รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการลดสัญญาณรบกวนโดยการแปลงเอสวีดีบนบล็อกย่อย

วิธีการในการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีบนบล็อกย่อยได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ [5]

- 1) เมื่อทำการรับสัญญาณภาพเข้ามา ให้ทำการแบ่งสัญญาณภาพดังกล่าวออกเป็นบล็อกย่อยขนาด $n \times n$ พิกเซล เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณ
- 2) ทำการแปลงเอสวีดีบนบล็อกย่อยแต่ละบล็อก
- 3) ทำการกำหนดค่าซิงกูลาร์ (Singular value) ที่น้อยกว่าค่าเทรสโฮลด์ให้เป็นศูนย์
- 4) ทำการแปลงกลับเอสวีดีเพื่อให้ได้ภาพเดิมที่ถูกลดสัญญาณรบกวนกลับคืนมา

จากขั้นตอนดังกล่าวจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการกำหนดค่าเทรสโฮลด์ โดยในกรณีที่เราเลือกค่าเทรสโฮลด์ที่ต่ำเกินไปจะทำให้สัญญาณรบกวนถูกลดทอนลงน้อย และมีสัญญาณรบกวนอยู่มากที่ไม่ถูกกำจัด ในทางกลับกัน ถ้าค่าเทรสโฮลด์ที่เลือกมีค่ามากเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียข้อมูลของสัญญาณภาพไปมากดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทรชโฮลด์และประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนที่ค่าเทรชโฮลด์ดังกล่าวเมื่อวัดผ่านค่าพีเอสเอ็นอาร์

จากรูปที่ 2.8 ซึ่งเป็นรูปที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนที่มีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 100 บนภาพในรูปที่ 1.1(ก) ขนาด 512×512 พิกเซล ด้วยค่าเทรชโฮลด์ตั้งแต่ 30 ถึง 100 จะเห็นได้ว่า ค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสม คือ ค่าเทรชโฮลด์ประมาณ 60 ซึ่งค่าเทรชโฮลด์ดังกล่าวก็จะเปลี่ยนไปตามสัญญาณภาพแต่ละภาพและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าดังกล่าวจะแปรผันตามขนาดของสัญญาณรบกวนที่ปรากฏบนภาพ

แต่อย่างไรก็ดี วิธีการดังกล่าวก็ยังให้ผลลัพธ์ที่ไม่เป็นที่น่าพอใจนัก กล่าวคือ แม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะสามารถลดทอนสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ทว่าสัญญาณภาพที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าวค่อนข้างที่ไม่เรียบ หรืออาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 และ รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีบนบลิคย่อย



รูปที่ 2.10 การขยายภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีบนบลิคย่อย

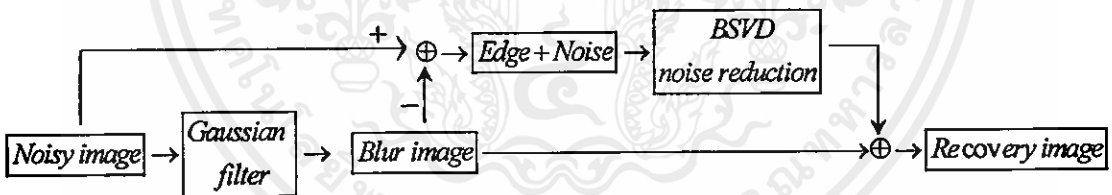
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ เช่นบนด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดี เพื่อการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

เนื่องจากการลดสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพด้วยตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านแบบเกาส์เซียนและการลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีแบบบล็อกย่อยมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ตัวกรองแบบเกาส์เซียนจะให้ภาพผลลัพธ์ที่มีความราบเรียบสูง คือสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้มาก แต่ภาพที่ได้ก็มีความพร่ามัวสูงเช่นกันทำให้ไม่สามารถเก็บรายละเอียดที่สำคัญของภาพไว้ได้อย่างครบถ้วน ในขณะที่การลดสัญญาณรบกวนด้วยการแปลงเอสวีดีแบบบล็อกย่อยจะทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดสูง แต่ข้อเสียคือ ภาพที่ได้มีความเป็นเนื้อเดียวกันอยู่น้อย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งที่จะพัฒนาวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่มีคุณสมบัติที่สำคัญทั้งสองประการคือ ประการแรก จะต้องสามารถลดสัญญาณรบกวนลงได้มาก และประการที่สอง คือ จะต้องเก็บรายละเอียดของภาพไว้ได้มาก โดยอาศัยคุณสมบัติที่มีอยู่ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่กล่าวข้างต้น

3.1 วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนโดยอาศัยการประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดี



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมในการลดสัญญาณรบกวน

วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนโดยอาศัยการประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดีที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.1 กล่าวคือ เมื่อสัญญาณภาพต้นฉบับเมื่อนำมาผ่านตัวกรองแบบเกาส์เซียนจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

$$I = I_1 + I_2 \quad (3.1)$$

โดยที่ I คือ ภาพต้นฉบับ

I_1 และ I_2 คือ ภาพพรำมัว และขอบภาพ ตามลำดับ

และในกรณีของภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนแบบผลบวกจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$N = I + E \quad (3.2)$$

โดยที่ N คือ ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนแบบผลบวก

I และ E คือ ภาพต้นฉบับ และสัญญาณรบกวน ตามลำดับ

ซึ่งเมื่อเรานำภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนแบบผลบวกดังกล่าวมาผ่านตัวกรองแบบเกาส์เขียน N ก็จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

$$N \approx (I_1) + (I_2 + E) \quad (3.3)$$

จากสมการที่(3.3) จะเห็นได้ว่า ในขณะที่สัญญาณภาพที่เต็มไปด้วยสัญญาณรบกวนจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นสัญญาณภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองเกาส์เขียนซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนอยู่น้อยเนื่องจากถูกขจัดออกไปด้วยตัวกรองค่อนข้างมาก แต่ปัญหาคือ ในขณะที่ตัวกรองแบบเกาส์เขียนซึ่งเป็นตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านนั้นสามารถขจัดสัญญาณรบกวนซึ่งกระจายตัวอยู่ทุกแถบความถี่ลงได้มากแต่สิ่งที่ถูกขจัดไปพร้อมกันด้วยก็คือ ข้อมูลของสัญญาณภาพที่อยู่บนแถบความถี่สูง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่สำคัญเนื่องจากเป็นข้อมูลที่จะทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัด ในรูปที่ 3.2 ได้แสดงตัวอย่างของภาพต้นฉบับ ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบเกาส์เขียน และความแตกต่างของภาพทั้งสอง ทั้งในกรณีของภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวนและภาพต้นฉบับที่ไม่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าสิ่งที่ถูกกำจัดด้วยตัวกรองแบบเกาส์เขียนมีทั้งสัญญาณรบกวนและขอบภาพ ด้วยเหตุนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมุ่งศึกษาถึงวิธีการที่จะกู้ข้อมูลส่วนนั้นกลับคืนมา ซึ่งจากสมการจะเห็นได้ว่าข้อมูลแถบความถี่สูงของสัญญาณภาพดังกล่าว จะสามารถกู้คืนได้จากความแตกต่างระหว่างสัญญาณภาพต้นฉบับที่เต็มไปด้วยสัญญาณรบกวน แต่สิ่งที่รวมอยู่กับข้อมูลดังกล่าวก็คือ สัญญาณรบกวนจำนวนมาก ดังนั้น จึงต้องหาวิธีการที่จะแยกข้อมูลดังกล่าวออกจากสัญญาณรบกวน

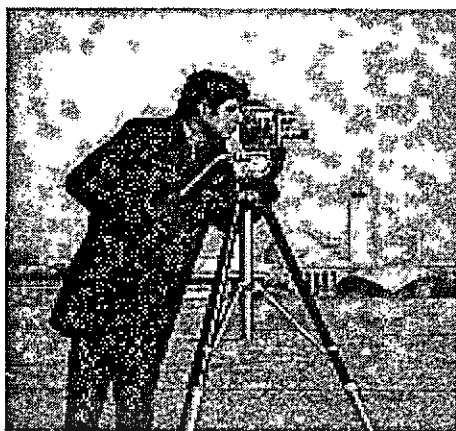
กัน ซึ่งไม่สามารถที่จะแยกข้อมูลดังกล่าวออก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกันด้วยตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านใดๆ ได้เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวอยู่ในย่านความถี่สูงทั้งสิ้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการแยกข้อมูลทั้งสองออกจากกันด้วยการแปลงเอสดีแบบบล็อกย่อยซึ่งได้กล่าวถึงแล้วในบทที่ 2 ซึ่งการประยุกต์การแปลงเอสดีบนบล็อกย่อยดังกล่าวจะต้องคำนึงถึงค่าความแปรปรวนของตัวกรองแบบเกาส์เซียน ขนาดของบล็อกย่อยที่เหมาะสม และวิธีการในการเทรสโฮลด์ และค่าเทรสโฮลด์

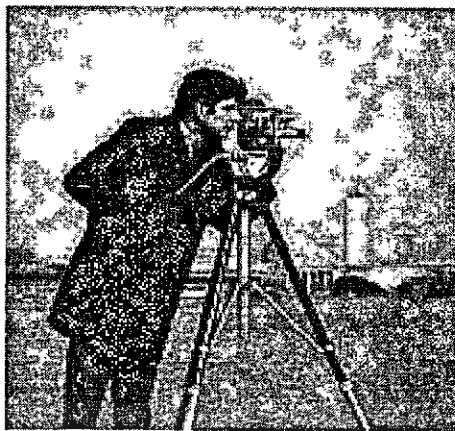
ซึ่งก่อนที่จะพิจารณาดังขั้นตอนและวิธีการที่จะทำการทดลองต่อไปนั้น จำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับการวัดและการประเมินคุณภาพของภาพเสียก่อน เพื่อที่จะนำตัวชี้วัดดังกล่าวมาเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่ได้นำเสนอ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ



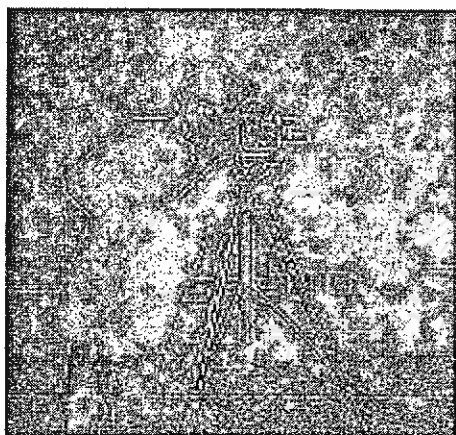
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



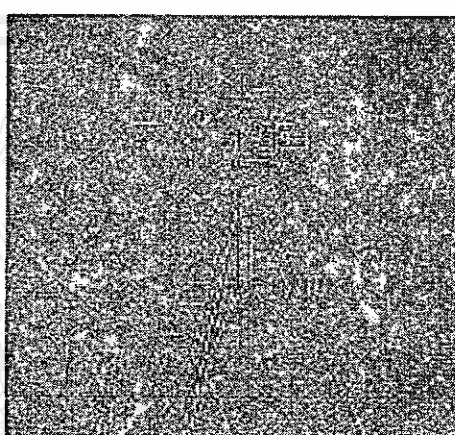
(ก)



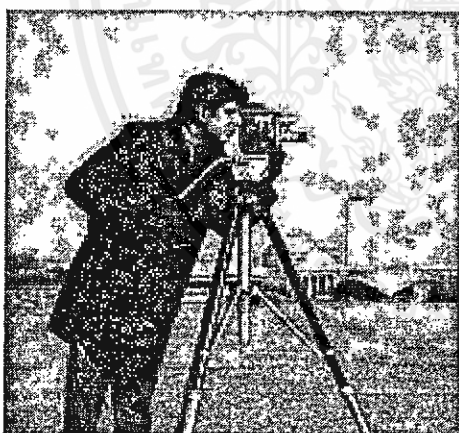
(ข)



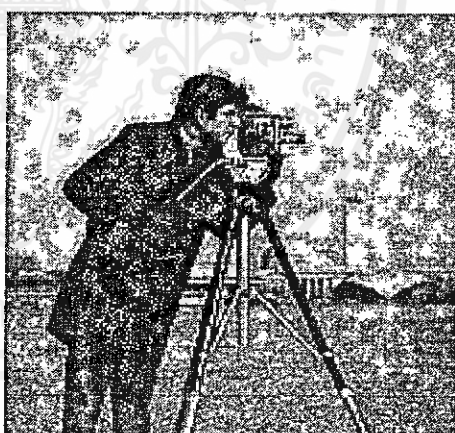
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 3.2 ภาพพร้อมและขอบภาพที่ได้จากภาพต้นฉบับเปรียบเทียบกับภาพพร้อมและขอบภาพที่ได้จากภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน (ค) ขอบภาพของภาพต้นฉบับ

(ง) ขอบภาพของภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน (จ) ภาพพร้อมของภาพต้นฉบับ และ

(ฉ) ภาพพร้อมของภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน

3.2 การวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

โดยปกติการวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

3.2.1 การวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพแบบซัพเจกทีฟ (Subjective Measurement)

คือ การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยการรับรู้ของมนุษย์ซึ่งเป็นการวัดที่ถูกต้องตามนิยามของตัววัดคุณภาพของภาพ แต่วิธีการดังกล่าวมีความยุ่งยากคือ จะต้องอาศัยมนุษย์ในการประเมิน ทำให้ไม่สามารถทำได้อย่างอัตโนมัติโดยการคำนวณ และนอกจากนี้ยังอาจมีความไม่เที่ยงเนื่องจากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของผู้ประเมิน ทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเป็นไปได้ยาก

3.2.2 การวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพแบบอบเจกทีฟ (Objective Measurement)

คือ การวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยการสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการวัดที่สามารถทำได้ง่ายกว่าการวัดและการประเมินผลคุณภาพของภาพแบบซัพเจกทีฟ โดยความแม่นยำของการวัดแบบนี้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ โดยปัจจุบันได้มีการพัฒนาการวัดคุณภาพแบบดังกล่าวขึ้นมาหลายโมเดล ซึ่งแต่ละโมเดลก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอโมเดลที่เป็นที่นิยม 3 โมเดลดังนี้

3.2.2.1 พีคซิกแนลทูนอยส์เรโซ (Peak Signal to Noise Ratio) หรือ พีเอสเอ็นอาร์ (PSNR)

พีเอสเอ็นอาร์เป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังสูงสุดที่เป็นไปได้ของสัญญาณอินพุตต่อกำลังของสัญญาณรบกวน และเนื่องจากค่าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าขอบเขตที่กว้างมากจึงมักจะเขียนอัตราส่วนดังกล่าวในรูปของลอการิทึม (Logarithm) โดยมีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel, dB)

ค่าพีเอสเอ็นอาร์สามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{mse} \right) \quad dB \quad (3.4)$$

(ในกรณีที่ภาพดังกล่าวมีการเก็บข้อมูลของภาพโดยใช้ความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล) โดยที่

$$mse = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N e^2(m,n) \quad (3.5)$$

โดยที่ $e(m, n)$ คือผลต่างของภาพต้นแบบ $x(m, n)$ และภาพที่มีสัญญาณรบกวน $\hat{x}(m, n)$ หรือเขียนอีกอย่างหนึ่งได้ว่า

$$e(m, n) = x(m, n) - \hat{x}(m, n) \quad (3.6)$$

ค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่มากจะบ่งบอกถึงคุณภาพของภาพที่ดี

ซึ่งจากการพิจารณาสมการที่ (3.6) จะเห็นว่า ค่าพีเอสเอ็นอาร์เป็นค่าที่เหมาะสมในการวัดสัญญาณรบกวนที่หลงเหลืออยู่ในภาพหลังทำการลดสัญญาณรบกวน

3.2.2.2 ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพ (Edge Measurement)

ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพเป็นการบอกถึงประสิทธิภาพในการรักษารายละเอียดของภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนบนสัญญาณภาพ โดยค่าการวัดวัดชนิดนี้สามารถหาได้จากสมการที่ (3.7) [20]

$$Edge = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (Q(i, j) - \hat{Q}(i, j))^2 \quad (3.7)$$

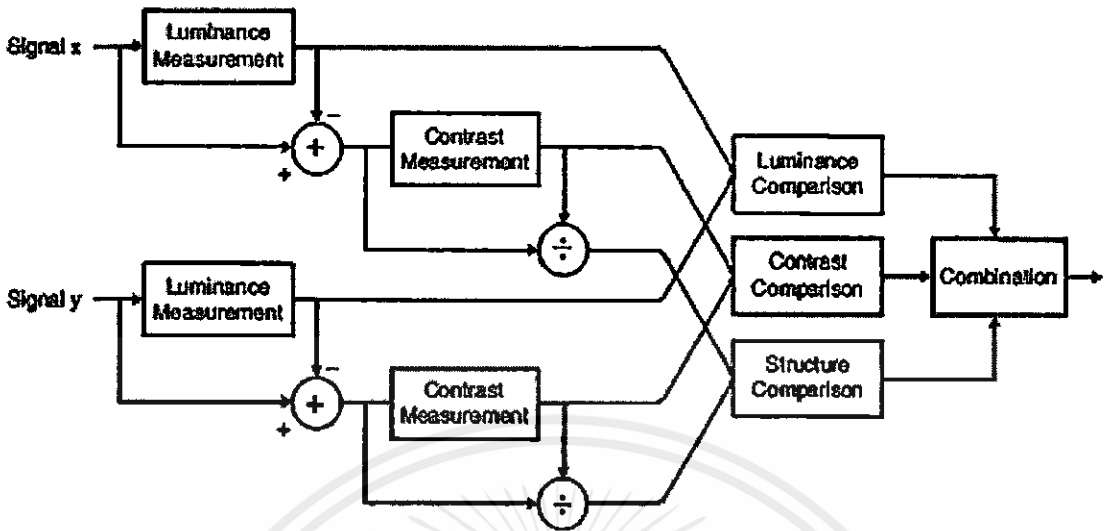
เมื่อ $Q(i, j)$ และ $\hat{Q}(i, j)$ คือ เอ็ดจ์เกรเดียนทส์ (Edge Gradients) ซึ่งสามารถหาได้โดยการนำภาพต้นฉบับและภาพที่มีสัญญาณรบกวนมาผ่านตัวกระทำการหาขอบภาพแบบโซเบล (Sobel edge operator) ตามลำดับ

ค่าการวัดชนิดนี้จะมีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนที่สามารถเก็บรายละเอียดของภาพไว้ได้ดีจะมีค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพต่ำ

ซึ่งจากการพิจารณาสมการที่ (3.7) ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพเป็นค่าที่เหมาะสมในการวัดคุณสมบัติในการรักษารายละเอียดของภาพหลังจากที่ได้ทำการลดสัญญาณรบกวน

3.2.2.3 ค่าเอสเอสไอเอ็ม (SSIM: Structural Similarity Index Measurement)

เนื่องจากตัววัดคุณภาพของภาพในอดีตเช่นค่าพีเอสเอ็นอาร์ หรือค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพมักเป็นตัวชี้วัดที่ตอบสนองต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณไม่ครบทุกด้าน และนอกจากนั้นเมื่อนำตัวชี้วัดดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณภาพที่แตกต่างกันก็จะพบว่าค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกับสิ่งที่สังเกตเห็น กล่าวคือภาพที่ได้ค่าการวัดคุณภาพที่เท่ากันกลับมีคุณภาพที่แตกต่างกัน[11] ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนได้แม่นยำมากขึ้น จึงได้นำเสนอตัวชี้วัดคุณภาพของภาพซึ่งน่าเชื่อถือมากขึ้น คือค่าเอสเอสไอเอ็มซึ่งมีค่าความสัมพันธ์ (Correlation coefficient) กับค่าการวัดแบบจับเจดทีปมากกว่าค่าการวัดแบบอื่น ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้โดยอาศัยบล็อกโคอะแกรมในรูปแบบที่ 3.3



รูปที่ 3.3 บล็อกโคแอดแกรมแสดงการทำงานของระบบในการวัดค่าเอสเอสไอเอ็ม

จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าการวัดคุณภาพของภาพดังกล่าวจะมีค่าการชี้วัดย่อยที่จะทำการเปรียบเทียบอยู่ 3 ค่า คือ ค่าความสว่างของภาพ (Luminance) ค่าความคมชัดของภาพ (Contrast) และ ค่าทางโครงสร้างของภาพ (Structure) ทำให้ได้ค่าการชี้วัดที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ และชนิดของความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้มากขึ้น

และในทางปฏิบัติ เราต้องการค่าเพียงค่าเดียวเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของภาพ ดังนั้นเราจึงทำการค่าค่าเฉลี่ยของค่าเอสเอสไอเอ็มซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (3.8) เพื่อเป็นตัวบอกลถึงคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน[11]

$$MSSIM(x, \hat{x}) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M SSIM(x, \hat{x}) \quad (3.8)$$

โดยที่ x คือ ภาพต้นฉบับ

\hat{x} คือ ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน

โดยค่าเอสเอสไอเอ็มจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และสัญญาณได้ค่าการวัดที่ใกล้เคียง 1 ถือเป็นสัญญาณที่ดี กล่าวคือมีความใกล้เคียงกับสัญญาณภาพต้นฉบับมาก

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดี เพื่อการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล

ภาพถ่ายอัลตราซาวด์ คือ ภาพถ่ายที่เกิดจากการใช้คลื่นอัลตราซาวด์ (Ultrasound) ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูง ที่เกินกว่าหูมนุษย์จะรับได้ ซึ่งคลื่นความถี่สูงที่มนุษย์ผลิตขึ้นมานั้น อาศัยหลักการไพโซอิเล็กทริกเอฟเฟกซ์ (Piezoelectric effect) ที่เกิดขึ้นในผลึกและให้ออกมาเป็นคลื่นอัลตราซาวด์ ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในการแพทย์ คุณสมบัติของไพโซอิเล็กทริกเอฟเฟกซ์ของผลึก คือ เมื่อให้การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้า (Conversion of electricity) ผ่านเข้าสู่ผลึก ทำให้โมเลกุลภายในผลึก เกิดการสั่นสะเทือน (Mechanical vibrations) แล้วปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูง ออกมาสู่ภายนอก และในทางกลับกัน เมื่อคลื่นเสียงกระทบผลึกนี้ ทำให้โมเลกุลภายในเกิดการสั่นสะเทือน แล้วเปลี่ยน ออกมา เป็นการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าได้

หลักการของอัลตราซาวด์ก็คือ เมื่อให้ประจุไฟฟ้าเป็นระยะ ติดๆกัน ไปยังผลึกที่มีคุณสมบัติไพโซอิเล็กทริกเอฟเฟกซ์จะ ทำให้ได้อัลตราซาวด์ออกมา เป็นช่วงๆ (ultrasonic pulses) เข้าสู่ส่วนที่เรานำมาสัมผัส เมื่อพบรอยต่อของตัวกลาง (Interface) 2 ชนิด ทำให้เกิดการสะท้อน (Reflection) และการหักเหตลอดแนวทางที่เสียงเดินทาง ในตัวกลางต่างชนิดกัน การเกิด การสะท้อนกลับมาสู่หัวตรวจ จะเกิดในเปอร์เซ็นต์และองศาที่แตกต่างกัน ดังนั้นภาพที่ได้จึงปรากฏบนจอภาพให้เห็น ความแตกต่างของเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นตัวกลางที่เสียงเดินทาง จึงทำให้บอกความผิดปกติ เพื่อตรวจวินิจฉัยโรคได้

ปัจจุบันการตรวจวินิจฉัยโรคด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง หรือ อัลตราซาวด์ เป็นการตรวจ อีกวิธีหนึ่งจากหลายๆ วิธี เพื่อให้การวินิจฉัยโรคเป็นไปได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งการตรวจด้วยเอ็กซเรย์ก็เป็นวิธีหนึ่ง เช่นกัน การตรวจเริ่มจาก การปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูง (ในทางวินิจฉัยโรคใช้ ความถี่ 2-7.5 MHz) จากหัวตรวจ (Probe) ผ่านลงสู่ผิวหนัง เข้าไปยังอวัยวะภายใน เมื่อเสียงกระทบรอยต่อ (Interface) ของเนื้อเยื่อ 2 ชนิด จะให้การสะท้อน (Reflection) และการหักเห (Refraction) ควบคู่กันไป เช่นนี้ทุกครั้ง เสียงที่สะท้อน กลับมายังหัวตรวจทุกครั้ง จะถูกแปรผล ให้ปรากฏเป็นภาพ แสดงบนจอซีอาร์ที (CRT: Cathode Ray Tube) ตามเวลาที่กลับมา จึงเห็นเป็นความถี่ต่างๆ กันในทันที [24]

เนื่องจากภาพถ่ายอัลตราซาวด์อาศัยหลักการที่ได้กล่าวมานี้ทำให้ภาพที่ได้มีสัญญาณรบกวนอยู่

เป็นจำนวนมาก ซึ่งสัญญาณรบกวนดังกล่าวอยู่ในรูปแบบของสัญญาณรบกวนแบบผลคูณ หรือ ไม่ว่าการบีบอัดทั้งสี่ อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแบบเปกเกิลนั่นเอง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำวิธีวิธีการที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 มาประยุกต์ใช้กับสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลซึ่งพบได้ในภาพถ่ายอัลตราซาวด์โดยทั่วไป

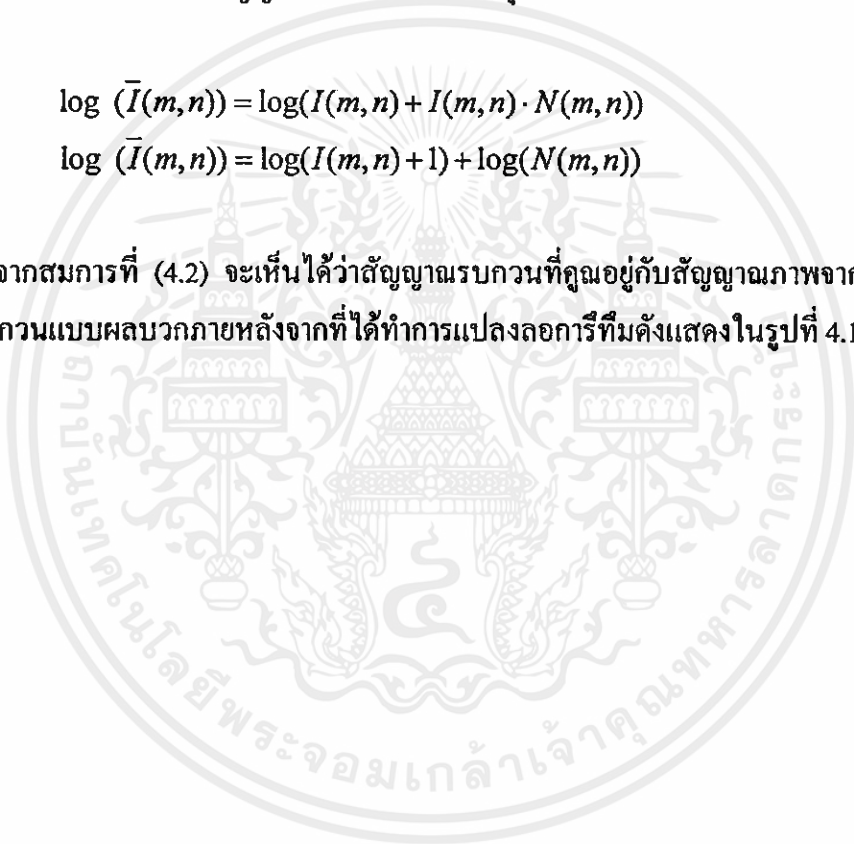
4.1 วิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลโดยใช้การประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีดี

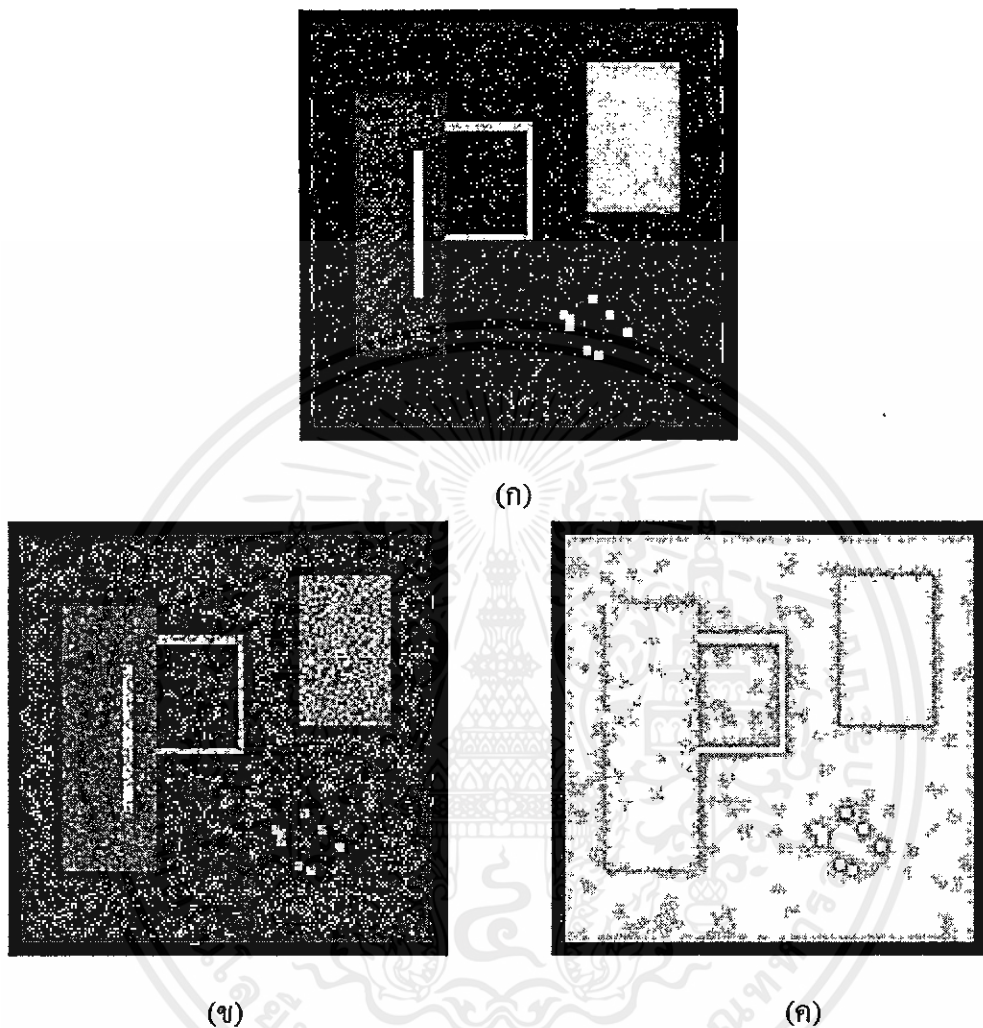
เนื่องจากสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเป็นสัญญาณรบกวนแบบผลคูณซึ่งยากในการลดสัญญาณรบกวน ดังนั้นวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลส่วนใหญ่จึงนิยมทำการแปลงสัญญาณรบกวนแบบผลคูณในรูปสมการ $\bar{I} = I + I \cdot N$ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นในบทที่ 2 ให้เป็นสัญญาณรบกวนแบบผลบวกก่อนที่จะนำไปลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยคุณสมบัติของการแปลงลอการิทึม ดังนี้

$$\log(\bar{I}(m, n)) = \log(I(m, n) + I(m, n) \cdot N(m, n)) \quad (4.1)$$

$$\log(\bar{I}(m, n)) = \log(I(m, n) + 1) + \log(N(m, n)) \quad (4.2)$$

ซึ่งจากสมการที่ (4.2) จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนที่คูณอยู่กับสัญญาณภาพจากถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณรบกวนแบบผลบวกภายหลังจากที่ได้ทำการแปลงลอการิทึมดังแสดงในรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.1 การแปลงสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเป็นสัญญาณรบกวนแบบผลบวก
 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล และ
 (ค) ภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบผลบวก

ซึ่งหลังจากทำการขจัดสัญญาณรบกวนแบบผลบวกซึ่งอยู่ในเทอมของ $\log(N(m, n))$ ออกไป
 แล้วจะเห็นว่าสัญญาณที่หลงเหลืออยู่คือ

$$\log(\hat{I}(m, n)) = \log(I(m, n) + 1) \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

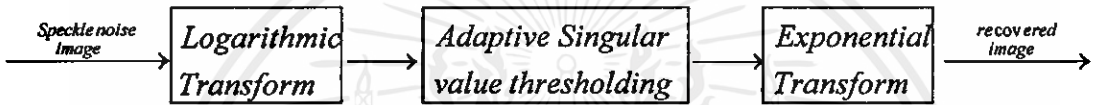
ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูปสัญญาณดั้งเดิมได้โดยอาศัยการแปลงเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Transformation) ดังนี้

$$10^{\log(\hat{I}(m,n))} = 10^{\log(I(m,n)+1)} \quad (4.4)$$

$$\hat{I}(m,n) = I(m,n)+1 \quad (4.5)$$

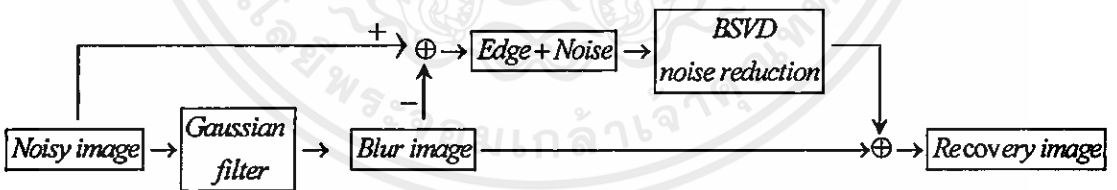
จากสมการดังกล่าวจะเห็นว่าหลังจากทำการแปลงเอกซ์โพเนนเชียลแล้วเราจะได้รับสัญญาณต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวนกลับคืนมา ซึ่งบล็อกไดอะแกรมของการทำงานได้แสดงไว้ดังรูปที่

4.2



รูปที่ 4.2 บล็อกไดอะแกรมของการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล

สำหรับขั้นตอนการขจัดสัญญาณรบกวนแบบผลบวกที่เกิดจากการแปลงสัญญาณรบกวนแบบผลคูณนั้นจะอาศัยหลักการในการลดสัญญาณรบกวนแบบผลบวกที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 (รูปที่ 4.3) ดังนี้



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมของการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลในขั้นตอนการประยุกต์ใช้การแปลงเอสวีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน

การวัดประสิทธิภาพของการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลก็เช่นเดียวกับการการวัดประสิทธิภาพของการลดสัญญาณรบกวนแบบอื่น กล่าวคือ จะพิจารณาถึงความสามารถในการขจัดสัญญาณรบกวนและความสามารถในการรักษารายละเอียดของภาพเป็นสำคัญ ซึ่งการหาคุณสมบัติทั้งสองประการนี้ได้มีการพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อรองรับการทำงานดังกล่าวขึ้นมามากมาย โดยในการทดลองนี้จะอาศัยสมการที่เป็นที่นิยม 3 ค่า คือ

4.2.1 ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูล (S/mse)

เนื่องจากสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเป็นสัญญาณรบกวนแบบผลคูณ ทำให้ไม่สามารถหาค่าของสัญญาณรบกวนที่แฝงอยู่ได้ ดังนั้นค่าเอสเอ็นอาร์ (SNR: Signal to Noise Ratio) ซึ่งต้องอาศัยค่าสัญญาณรบกวนในการคำนวณจึงไม่สามารถหาได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูลมาใช้ในการประเมินคุณภาพซึ่งเทียบได้กับค่าเอสเอ็นอาร์ในกรณีของการประเมินคุณภาพของภาพที่มีสัญญาณรบกวนแบบผลบวก [9] ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$S / mse = 10 \cdot \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(i, j)^2}{mse} \right) \text{ dB} \quad (4.6)$$

โดยที่

$$mse = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (s(i, j) - \hat{s}(i, j))^2$$

s : ภาพต้นฉบับ

\hat{s} : ภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน

4.2.2 ค่าการวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β)

ในการขจัดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการแบบต่างๆ อาจทำให้รายละเอียดของภาพบางส่วนสูญหายไป เช่น ขอบภาพและลายเส้น ดังนั้นจึงได้มีวิธีเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ (Correlation) หรือความเหมือนกันระหว่างขอบของภาพของภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้จากสมการที่ (4.7) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = \frac{\Gamma(\Delta s - \overline{\Delta s}, \Delta \hat{s} - \overline{\Delta \hat{s}})}{\sqrt{\Gamma(\Delta s - \overline{\Delta s}, \Delta s - \overline{\Delta s}) \cdot \Gamma(\Delta \hat{s} - \overline{\Delta \hat{s}}, \Delta \hat{s} - \overline{\Delta \hat{s}})}} \quad (4.7)$$

โดยที่

Δs คือขอบภาพของภาพต้นฉบับที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองลาปลาเซียน (Laplacian filter) ที่มีมาสก์ขนาด 3×3 พิกเซล

$\Delta \hat{s}$ คือขอบภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนที่ผ่านการกรองด้วยตัวกรองลาปลาเซียน (Laplacian filter) ที่มีมาสก์ขนาด 3×3 พิกเซล

และ

$$\Gamma(s_1, s_2) = \sum_{i=1}^k s_{1i} \cdot s_{2i}$$

4.2.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพ (ρ)

เป็นการวัดค่าความสัมพันธ์หรือความเหมือนกันระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน ซึ่งค่าความสัมพันธ์สามารถหาได้จากสมการที่ (4.8)[9]

$$\rho = \frac{\Gamma(s - \bar{s}, \hat{s} - \bar{\hat{s}})}{\sqrt{\Gamma(s - \bar{s}, s - \bar{s}) \cdot \Gamma(\hat{s} - \bar{\hat{s}}, \hat{s} - \bar{\hat{s}})}} \quad (4.8)$$

โดยที่

s : ภาพต้นฉบับ

\hat{s} : ภาพที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน

และ

$$\Gamma(s_1, s_2) = \sum_{i=1}^k s_{1i} \cdot s_{2i}$$

บทที่ 5

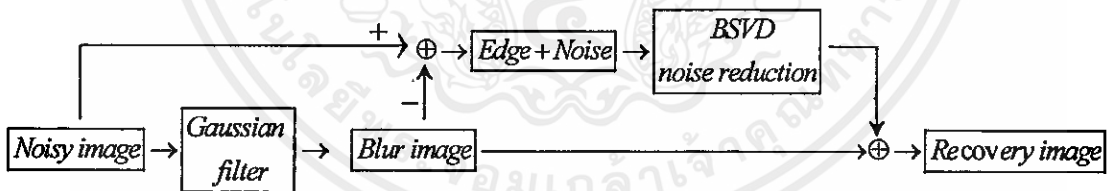
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะมีการแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ การทดลองในส่วนของการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ซึ่งจะอาศัยโมเดลและวิธีการวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 และการทดลองในส่วนของการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล ซึ่งจะอาศัยโมเดลและวิธีการวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนที่ได้นำเสนอในบทที่ 4

โดยการคำนวณทั้งหมดที่ได้แสดงในการทดลองนี้ ปฏิบัติการโดยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพารุ่น HP Pavillion DV6108TX หน่วยประมวลผล (CPU) รุ่น T2050 ความเร็วในการประมวลผล 1.66 MHz หน่วยความจำภายใน (RAM) 1024 เมกะไบต์

5.1 การลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

ในการทดลองนี้ จะนำวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่ได้ออกแบบขึ้นมาทำการทดสอบประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวน ทั้งในส่วนของการลดสัญญาณรบกวนและการรักษารายละเอียดของภาพโดยอาศัยค่าการวัดคุณภาพของภาพที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 3 ขั้นตอนในการลดสัญญาณรบกวนเป็นไปตามรูปที่ 5.1 ดังนี้



รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรมในการลดสัญญาณรบกวน

- 1) นำภาพที่มีสัญญาณรบกวนดังรูปที่ 5.3 ซึ่งได้จากการนำภาพต้นฉบับดังรูปที่ 5.2 มารวมกับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ผ่านตัวกรองแบบเกาส์เซียนเพื่อทำการแยกสัญญาณภาพที่มีสัญญาณรบกวนดังกล่าวออกเป็น 2 ส่วน ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรกคือ ภาพพรมัวที่มีสัญญาณรบกวนอยู่น้อยดังรูปที่ 5.4(ง) และ ส่วนที่สองคือ ภาพขอบที่มีสัญญาณรบกวนอยู่มากดังรูปที่ 5.4(ฉ)
- 2) นำภาพขอบที่ได้มาไปด้วยสัญญาณรบกวนมาทำการแบ่งออกเป็นบล็อกย่อย ขนาด $m \times n$ เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณ
 - 3) ทำการแปลงเอสดีบีบนแต่ละบล็อกย่อย
 - 4) ทำการเทรสโฮลด์บนค่าซิงกูลาร์ของแต่ละบล็อกย่อย
 - 5) นำภาพพรมัวที่ได้จากข้อ 1 ไปรวมกับภาพขอบที่ได้จากการเทรสโฮลด์บนค่าซิงกูลาร์ของแต่ละบล็อกย่อยเพื่อให้ภาพที่ปราศจากสัญญาณรบกวน

ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนของวิธีการดังกล่าวทั้งในด้านความซับซ้อนในการคำนวณและภาพผลลัพธ์ที่จะได้หลังผ่านการลดสัญญาณรบกวน เช่น ค่าความแปรปรวนของตัวกรองแบบเกาส์เซียน ขนาดของบล็อกย่อยที่เหมาะสม และวิธีการในการเทรสโฮลด์ และค่าเทรสโฮลด์ ซึ่งจะนำมาพิจารณาเป็นลำดับถัดไป



รูปที่ 5.2 ภาพ Barbara ขนาด 512×512 พิกเซล ที่ปราศจากสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ภาพ Barbara ขนาด 512×512 พิกเซล ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนเท่ากับ 100 ที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



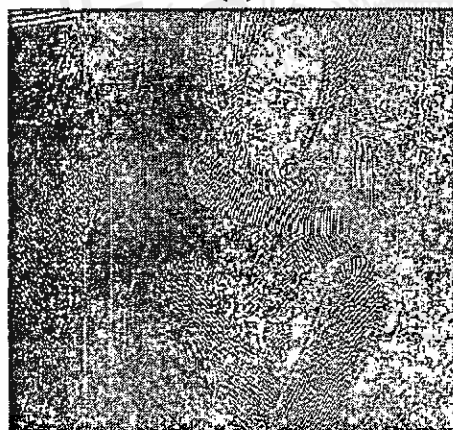
(ข)



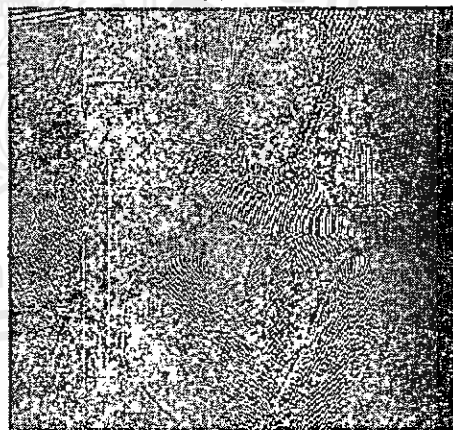
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการนำภาพมาผ่านตัวกรองแบบเกาส์เซียน

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน

(ค) ภาพพรมัวของภาพ (ก) (ง)ขอบภาพของภาพ (ข)

(จ) ภาพพรมัวของภาพ (ก) และ (ฉ) ภาพพรมัวของภาพ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ระยะเวลาในการแปลงเอสวีดีทีที่แต่ละขนาดบล็อกย่อยโดยใช้ภาพต้นฉบับรูปที่ 5.2

ขนาด 256×256 พิกเซล

ขนาดบล็อกย่อย	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ ทั้งหมด(วินาที)
4×4	0.21875
8×8	0.14063
16×16	0.09375
32×32	0.10938
64×64	0.17188
256×256	0.45313

ตารางที่ 5.2 ระยะเวลาในการแปลงเอสวีดีทีที่แต่ละขนาดบล็อกย่อยโดยใช้ภาพต้นฉบับรูปที่ 5.2

ขนาด 512×512 พิกเซล

ขนาดบล็อกย่อย	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ ทั้งหมด(วินาที)
4×4	0.96875
8×8	0.54688
16×16	0.45313
32×32	0.40625
64×64	0.57813
512×512	22.828

ตารางที่ 5.1 – ตารางที่ 5.2 ซึ่งแสดงระยะเวลาในการแปลงเอสวีดีทีที่แต่ละขนาดบล็อกย่อยจะเห็นว่าขนาดบล็อกย่อยที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถลดระยะเวลาในการคำนวณลงได้มาก และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าภาพต้นฉบับยังมีขนาดใหญ่ การแปลงเอสวีดีทีแบบบล็อกย่อยก็จะยิ่งช่วยลดเวลาและความซับซ้อนในการคำนวณ

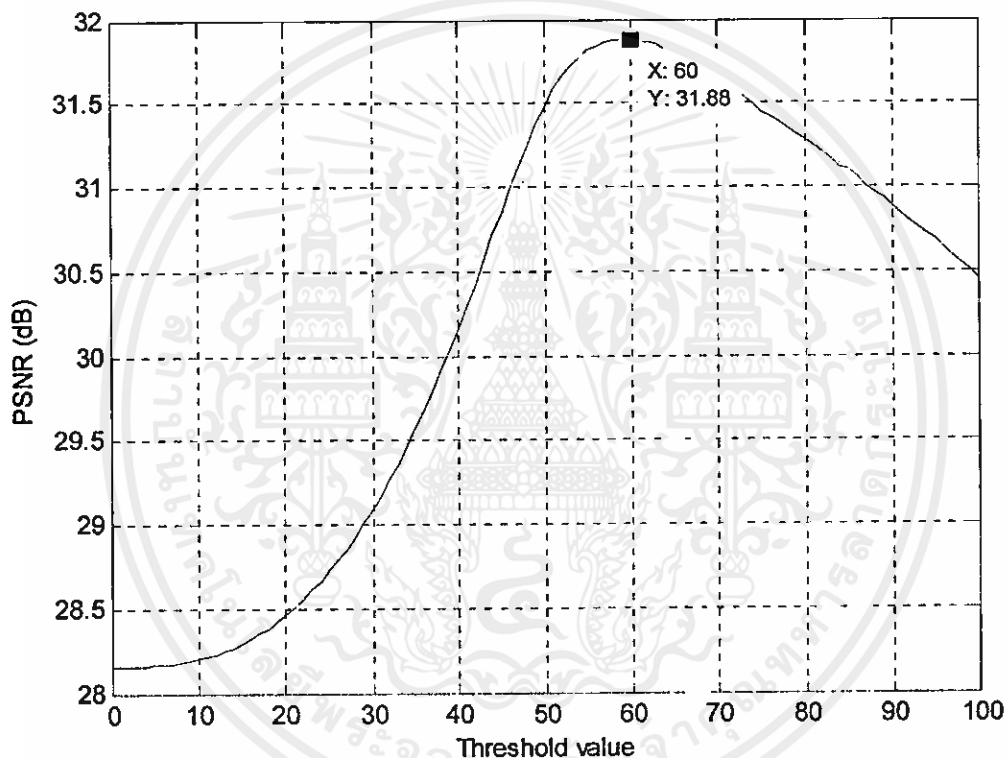
ในการทดลองขั้นต้นนี้จะใช้การเทสโวลต์ลงบนค่าซิงกูลาร์แบบฮาร์ดเทสโวลต์ดังกล่าวคือ ถ้าค่าซิงกูลาร์ใดมีค่าน้อยกว่าค่าเทสโวลต์ (T) ที่กำหนดไว้ จะกำหนดให้ค่าซิงกูลาร์ดังกล่าวมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแบบการแปลงเฮสทีดีบนบด้อย

ขั้นแรก จะเริ่มทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่ได้นำเสนอ โดยทำการลดสัญญาณรบกวนบนภาพในรูปที่ 5.2 ขนาด 512x512 พิกเซล ที่ทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบสุ่มที่ค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100 โดยมีการกำหนดให้ค่าความแปรปรวนของตัวกรองแบบเกาส์เซียนเท่ากับ 1 และค่าขนาดบล็อกย่อยคือ 8x8 พิกเซล และ กำหนดให้ค่าเทรสโลดส์มีเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0 – 80 ซึ่งเมื่อนำค่าพีเอสเอ็นอาร์มาพล็อตร่วมกับ ค่าเทรสโลดส์จะได้กราฟดังรูป



รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเทรสโลดส์ที่รูปที่ 5.2 ที่มีสัญญาณรบกวนที่ความแปรปรวน 100

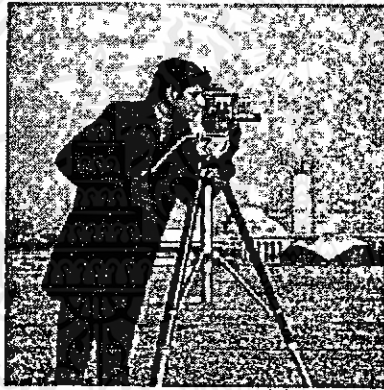
จากกราฟดังกล่าวจะเห็นว่า ค่าเทรสโลดส์ที่ทำให้ได้ตัวกรองที่ดีที่สุดสำหรับค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100 คือ ที่ $T = 60$ โดยค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่ดีที่สุดคือ 31.88 เดซิเบล ซึ่งดีกว่าภาพที่ไม่มีการลดสัญญาณรบกวนอยู่ 3.75 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

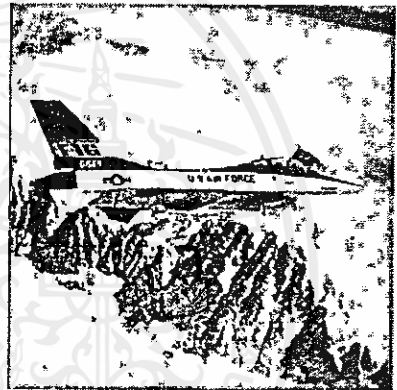
จากนั้นเราจะทำการทดลองโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากรูปที่ 5.2 ทำการทดสอบกับภาพอื่นๆ โดยในการทดลองนี้เราจะใช้ภาพต้นฉบับ 7 ภาพ ดังแสดงในรูปที่ 5.6 โดยแบ่งเป็นภาพขนาด 256x256 พิกเซล 3 ภาพ คือภาพ (ก),(ข) และ (ค) และภาพขนาด 512x512 พิกเซล 4 ภาพ คือภาพ (ง),(จ),(ฉ) และ (ช) แต่ละภาพมีความละเอียด 8 บิตต่อพิกเซล หลังจากนั้นจะมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเพื่อนำไปสร้างสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเพื่อนำไปรวมกับสัญญาณภาพแต่ละภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของวิธีการในการลดสัญญาณรบกวนแบบที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ โดยในการทดลองนี้จะกำหนดให้มีค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน 2 ระดับคือ 36 และ 144 สำหรับค่าเทรสโฮลด์ที่ใช้ในการทดลอง คือค่า 35 และ 70 ตามลำดับ ซึ่งได้จากการทดลองด้วยภาพในรูปที่ 5.2



(ก)



(ง)



(จ)



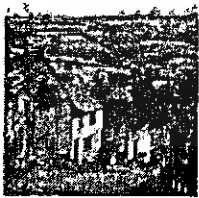
(ข)



(ฉ)



(ช)

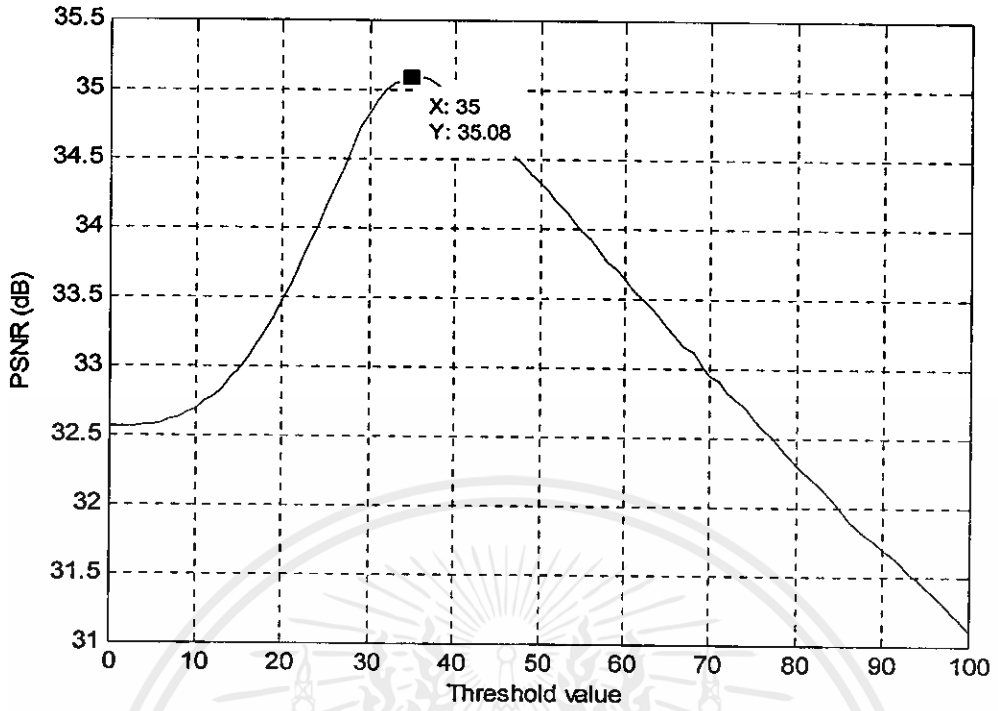


(ค)

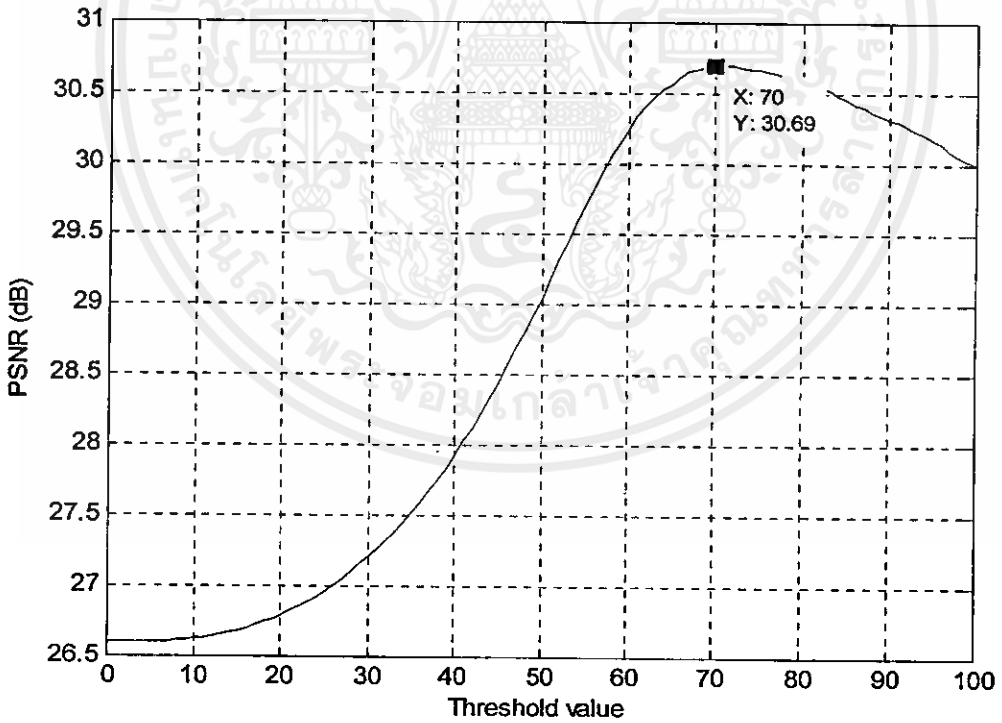
รูปที่ 5.6 ภาพที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 5.1.1

ภาพ (ก) – (ค) มีขนาด 256×256 พิกเซล และ ภาพ (ง) – (ช) มีขนาด 512×512 พิกเซล ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเทรชโฮลด์ที่รูปที่ 5.2 ที่มีสัญญาณรบกวนที่ความแปรปรวน 36



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเทรชโฮลด์ที่รูปที่ 5.2 ที่มีสัญญาณรบกวนที่ความแปรปรวน 144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ เช่นบนสื่อการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 36

ภาพ	ตัวกรองแบบเกาส์เซียน	ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์ฟเทรสโฮลดิ้ง	การแปลงเอสวีดีแบบบล็อกย่อย	วิธีที่นำเสนอ
(ก)	29.837	32.438	34.379	35.187
(ข)	32.15	35.214	35.756	37.222
(ค)	29.013	31.069	33.464	33.901
(ง)	31.234	34.203	35.3	36.438
(จ)	33.996	35.423	36.099	37.776
(ฉ)	25.127	30.003	34.324	35.064
(ช)	33.312	34.738	34.727	36.36

ตารางที่ 5.4 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 144

ภาพ	ตัวกรองแบบเกาส์เซียน	ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์ฟเทรสโฮลดิ้ง	การแปลงเอสวีดีแบบบล็อกย่อย	วิธีที่นำเสนอ
(ก)	29.132	29.41	29.492	30.909
(ข)	30.968	31.11	30.709	32.92
(ค)	28.41	28.72	28.996	30.326
(ง)	30.254	30.509	30.429	32.489
(จ)	29.935	30.161	30.123	31.95
(ฉ)	24.839	26.932	29.33	30.578
(ช)	31.831	31.066	29.739	32.497

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

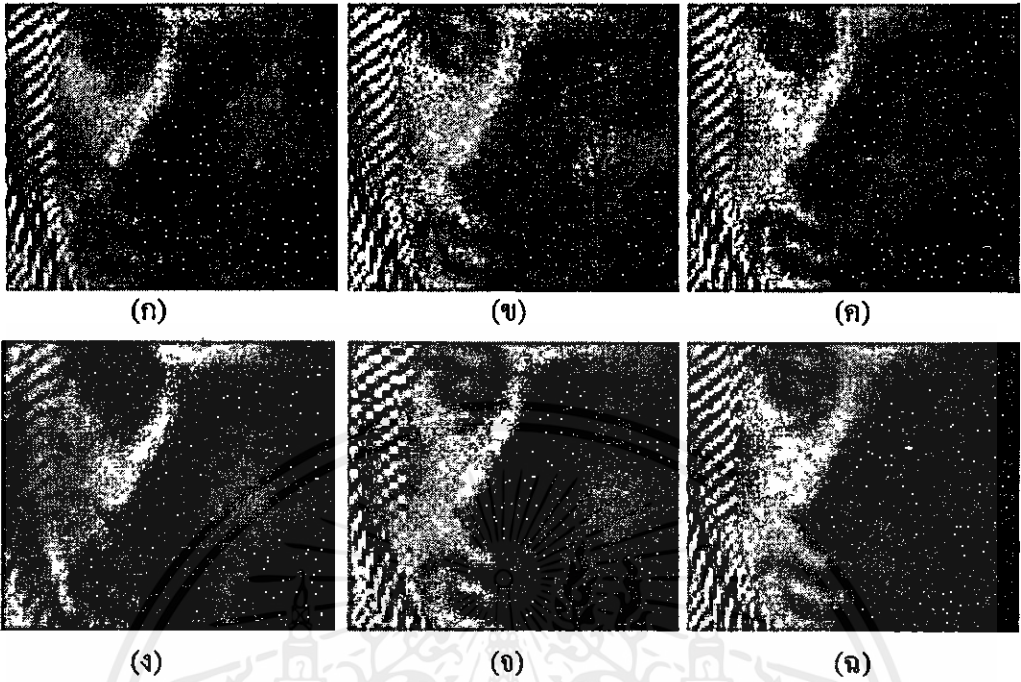
ตารางที่ 5.5 ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 36

ภาพ	ตัวกรองแบบ เกาส์เซียน	ยูนิเวอร์ซอล แบบซอล์ฟเทรส โซลดิ้ง	การแปลงเอสวีดี แบบบล็อกย่อย	วิธีที่นำเสนอ
(ก)	0.02949	0.012124	0.004855	0.00478
(ข)	0.01525	0.006634	0.004317	0.003333
(ค)	0.034228	0.017359	0.006243	0.006604
(ง)	0.022143	0.009184	0.00427	0.003809
(จ)	0.012982	0.007432	0.003904	0.00334
(ฉ)	0.083835	0.021225	0.004997	0.004667
(ช)	0.014802	0.008148	0.005312	0.00477

ตารางที่ 5.6 ค่าการวัดคุณภาพของภาพจากขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 144

ภาพ	ตัวกรองแบบ เกาส์เซียน	ยูนิเวอร์ซอล แบบซอล์ฟเทรส โซลดิ้ง	การแปลงเอสวีดี แบบบล็อกย่อย	วิธีที่นำเสนอ
(ก)	0.031728	0.025601	0.01721	0.015416
(ข)	0.018218	0.018531	0.014939	0.010062
(ค)	0.035794	0.028774	0.018315	0.016653
(ง)	0.024952	0.023107	0.015233	0.011523
(จ)	0.015867	0.019685	0.014913	0.010306
(ฉ)	0.084002	0.043287	0.01729	0.014871
(ช)	0.017403	0.019023	0.017633	0.012728

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 ภาพขยายของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน (ค) การแปลงเฮสวิตีแบบบล็อกละเอียด
(ง) ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (จ) ยูนิเวอร์ซอลแบบซอลฟ์เทรต โฮลคิง (ฉ) วิธีการที่นำเสนอ

จากข้อมูลในตารางที่ 5.3 - ตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าทั้งค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการที่นำเสนอมีค่าที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ กล่าวคือ ค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีที่นำเสนอมีค่าที่มากกว่าค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่ได้จากวิธีอื่น ขณะที่ค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอจะมีค่าที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธีอื่น และเมื่อนำภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆมาพิจารณาจะเห็นว่า ภาพที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอนั้นเป็นภาพที่มีคุณภาพที่ดีกว่าวิธีการอื่น กล่าวคือ เป็นภาพที่มีความคมชัดมากกว่าวิธีอื่นและปรากฏสัญญาณรบกวนน้อยกว่าวิธีอื่นเช่นกัน

แต่อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาโดยละเอียดตามตารางที่ 5.3 - ตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าการวัดคุณภาพของของภาพในรูปที่ 5.6(ค) ที่มีระดับของความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 36 เป็นค่าที่ไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของวิธีการลดสัญญาณรบกวนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอตัววัดคุณภาพของสัญญาณภาพแบบใหม่ที่ได้รับการพิสูจน์ว่ามีความน่าเชื่อถือสูงคือ ค่าเอสเอสไอเอ็ม [11] ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3

ตารางที่ 5.7 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 36

ภาพ	ตัวกรองแบบเกาส์เซียน	ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์ฟเทรสไฮโดคิง	การแปลงเอสวีดีแบบบล็อกย่อย	วิธีที่นำเสนอ
(ก)	0.94274	0.91287	0.89939	0.95382
(ข)	0.89729	0.90363	0.90353	0.94009
(ค)	0.84597	0.87469	0.90393	0.91413
(ง)	0.9391	0.90836	0.89751	0.95083
(จ)	0.92023	0.89649	0.88663	0.93694
(ฉ)	0.93928	0.92659	0.90632	0.94639
(ช)	0.75203	0.86728	0.90831	0.93964

ตารางที่ 5.8 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบต่างๆ โดยมีการกำหนดค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเป็น 144

ภาพ	ตัวกรองแบบเกาส์เซียน	ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์ฟเทรสไฮโดคิง	การแปลงเอสวีดีแบบบล็อกย่อย	วิธีที่นำเสนอ
(ก)	0.84529	0.79403	0.77054	0.87606
(ข)	0.87203	0.77825	0.74837	0.89591
(ค)	0.80794	0.78947	0.78061	0.8405
(ง)	0.85968	0.7641	0.7297	0.88329
(จ)	0.88627	0.82246	0.76871	0.89415
(ฉ)	0.84706	0.75493	0.73019	0.8727
(ช)	0.70264	0.73468	0.78452	0.87256

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.7 – ตารางที่ 5.8 ซึ่งระบุค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาณรบกวนแต่ละวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่า ค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการที่นำเสนอเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ ซึ่งค่านี้ได้รับการพิสูจน์ในเบื้องต้นแล้วว่า เป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือสูงในการวัดคุณภาพของภาพ ดังนั้นจึงเป็นเครื่องยืนยันได้เป็นอย่างดีถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ

แต่ปัญหาสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาต่อไปคือ ค่าเทรสโฮลด์ยังไม่สามารถกำหนดได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งหมายถึงการที่ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นเราจะพิจารณาถึงค่าเทรสโฮลด์และวิธีการเทรสโฮลด์เป็นลำดับถัดไป

5.1.2 การกำหนดค่าเทรสโฮลด์อย่างอัตโนมัติและประสิทธิภาพของการเทรสโฮลด์

เมื่อพิจารณาถึงการแปลงเวกเตอร์ของเมตริก A ที่ได้กล่าวเบื้องต้นในบทที่ 2 นั้นจะสามารถเขียนเมตริก A ในรูปผลบวกของค่าซิงกูลาร์ได้ดังสมการที่ (5.1)

$$A = s_1 \vec{u}_1 \vec{v}_1' + s_2 \vec{u}_2 \vec{v}_2' + \dots + s_l \vec{u}_l \vec{v}_l' \quad (5.1)$$

โดยที่ l เป็นเรงก์ (Rank) ของเมตริก A

และสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของผลรวมของค่าในเมตริก A ยกกำลังสองและขนาดของผลรวมของค่าซิงกูลาร์ยกกำลังสอง ได้ดังนี้

$$A = [a_{ij}]_{m \times n} \quad (5.2)$$

$$|A|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 = |s_1 \vec{u}_1 \vec{v}_1' + s_2 \vec{u}_2 \vec{v}_2' + \dots + s_l \vec{u}_l \vec{v}_l'|^2 \quad (5.3)$$

$$|A|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 = |s_1 \vec{u}_1 \vec{v}_1'|_1 + |s_2 \vec{u}_2 \vec{v}_2'| + \dots + |s_l \vec{u}_l \vec{v}_l'|^2 \quad (5.4)$$

$$|A|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 = s_1^2 + s_2^2 + \dots + s_l^2 \quad (5.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|A|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (5.6)$$

$$(\bar{u}_1 \perp \bar{u}_2 \perp \dots \perp \bar{u}_m, \bar{v}_1 \perp \bar{v}_2 \perp \dots \perp \bar{v}_n, |\bar{u}_i| = |\bar{v}_i| = 1)$$

ดังนั้น เมื่อพิจารณาเมตริก A เป็นเมตริกของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนเป็น σ_n และมีค่าเฉลี่ยของสัญญาณเป็นศูนย์ เราสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวน (σ_n) และค่าซิงกูลาร์ได้ดังนี้

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \mu_A)^2}{m \times n} \quad (5.7)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{m \times n} \quad (5.8)$$

(เนื่องจาก $\mu_A = 0$)

$$m \times n \times \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (5.9)$$

จากสมการที่ (5.9) เราสามารถสรุปเกี่ยวกับค่าซิงกูลาร์ได้ดังนี้

$$s_1 \leq \sigma_n \sqrt{mn} \quad (5.10)$$

กล่าวคือ ค่าซิงกูลาร์ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ของสัญญาณรบกวนที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณรบกวนเท่ากับ σ_n คือ $\sqrt{mn}\sigma_n$ ดังนั้นค่าซิงกูลาร์ของสัญญาณภาพค่าใดที่มีค่าน้อยกว่าสัญญาณรบกวน เราจะทำการกำหนดให้ค่าซิงกูลาร์ดังกล่าวเป็นศูนย์ และค่าซิงกูลาร์ของสัญญาณภาพค่าใดที่มีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวน เราจะทำการคงค่าซิงกูลาร์ดังกล่าวไว้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเรียกว่าวิธีการเทอร์สโฮลด์แบบ ฮาร์ดเทอร์สโฮลด์ (ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (5.11)

$$HBSVD(s) = \begin{cases} 0 & , |s| \leq T \\ s & , |s| > T \end{cases} \quad (5.11)$$

โดยที่

$$T = \sqrt{mn}\sigma_n \quad (5.12)$$

และเพื่อเป็นการประมาณค่า σ_n จึงอาศัยสมการที่ (5.13) ดังนี้

$$\hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6745} = \frac{Median(|x - Median(x)|)}{0.6745} \quad (5.13)$$

ซึ่งในการทดลองนี้เราจะทำการลดสัญญาณรบกวนบนขอบภาพ ซึ่งค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนบนขอบภาพนั้นสามารถเขียนในรูปสมการของสัญญาณรบกวนบนขอบภาพได้ดังนี้

$$Edge = F^{-1}(F(noisy\ image) * (1 - F(mask))) \quad (5.14)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{ij} e_{ij}^2}{mn} = \frac{\sum_{ij} E_{ij}^2}{(mn)^2} \quad (5.15)$$

$$\frac{\sum_{ij} E_{ij}^2}{(mn)^2} = \frac{\sum_{ij} (N^2 * (1 - M)^2)}{(mn)^2} \quad (5.16)$$

และเนื่องจากสัญญาณรบกวนเป็นสัญญาณที่มีการกระจายตัวในแถบความถี่อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นเราจึงสามารถเขียนสมการที่ (5.16) ในรูปสมการที่ (5.17) ได้ดังนี้

$$\frac{\sum_{ij} E_{ij}^2}{(mn)^2} = \frac{\sum_{ij} (N)^2 \sum_{ij} (1 - M)^2}{(mn)^2} \quad (5.17)$$

$$\frac{\sum_{ij} E_{ij}^2}{(mn)^2} = \frac{\sum_{ij} (N)^2}{(mn)^2} \sum_{ij} (1 - M)^2 \quad (5.18)$$

ซึ่งจะสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_n = k \times \sigma_N \quad (5.19)$$

โดยที่

$$k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q |1 - \text{Mask}(i, j)|^2}{p \times q}} \quad (5.20)$$

โดยที่ $\text{Mask}(i, j)$ คือค่าสัมประสิทธิ์การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ที่แถวที่ i^{th} หลักที่ j^{th} ของตัวกรองแบบเกาส์เขียนตามสมการที่ (1.7)

ในกรณีนี้ เราทำการประมาณค่า σ_N ด้วยค่า $\hat{\sigma}$ ซึ่งเราจะหาค่า σ_n โดยประมาณได้ดังนี้

$$\sigma_n = k\hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6745} \times k \quad (5.21)$$

จากนั้นเราจะสามารถหาค่าเทรสโวลด์ที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ (5.22)

$$T = \left(\frac{k \times MAD}{0.6745} \right) \sqrt{mn} \quad (5.22)$$

ในขั้นตอนนี้ต่อไปเราจะทำการทดลองเพื่อทำการหาขนาดของบล็อกย่อยที่เหมาะสมทั้งเรื่องของประสิทธิภาพและความซับซ้อนในการคำนวณโดยทำการทดลองบนภาพในรูปที่ 5.6(ง) โดยใช้ค่าเทรสโวลด์ที่หาได้จากสมการที่ (5.22) และใช้ฟังก์ชันการเทรสโวลด์ตามสมการที่ (5.11) เพื่อให้ได้วิธีการลดสัญญาณรบกวนที่ดีตามต้องการ

รูปที่ 5.10 - รูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่างรูปที่ใช้ในการทดลองขั้นต่อไปและรูปที่ 5.13 - รูปที่ 5.14 แสดงตัวอย่างรูปที่มีสัญญาณรบกวนที่มีระดับความแปรปรวนแตกต่างกัน



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)



(ณ)



(ด)



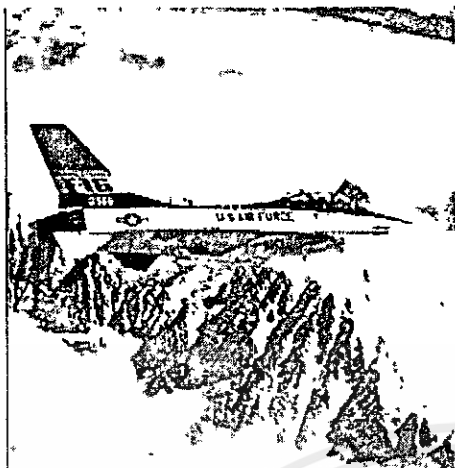
(ถ)



(ฏ)

รูปที่ 5.10 รูป (ก) - (ฎ) ขนาด 256x256 พิกเซลที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



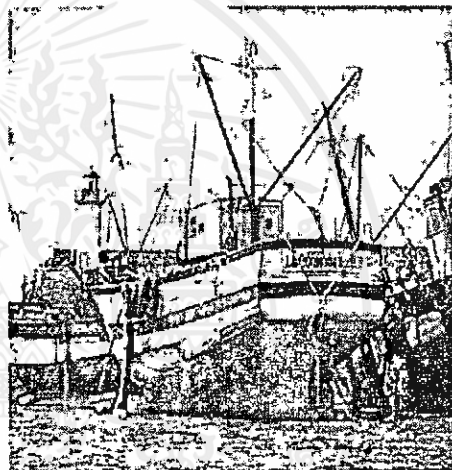
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่ง รูปที่ 5.11 รูป (ก) - (จ) ขนาด 512x512 พิกเซลที่ใช้ในการทดลอง วัตถุประสงค์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



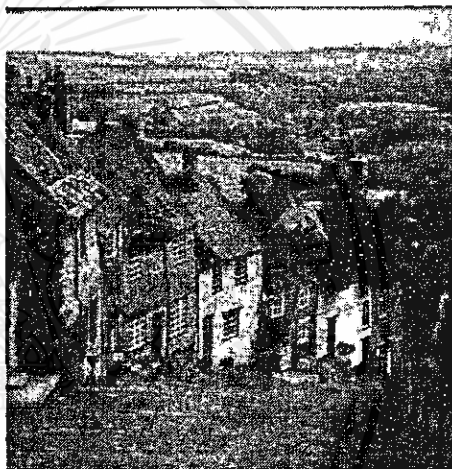
(ถ)



(ท)

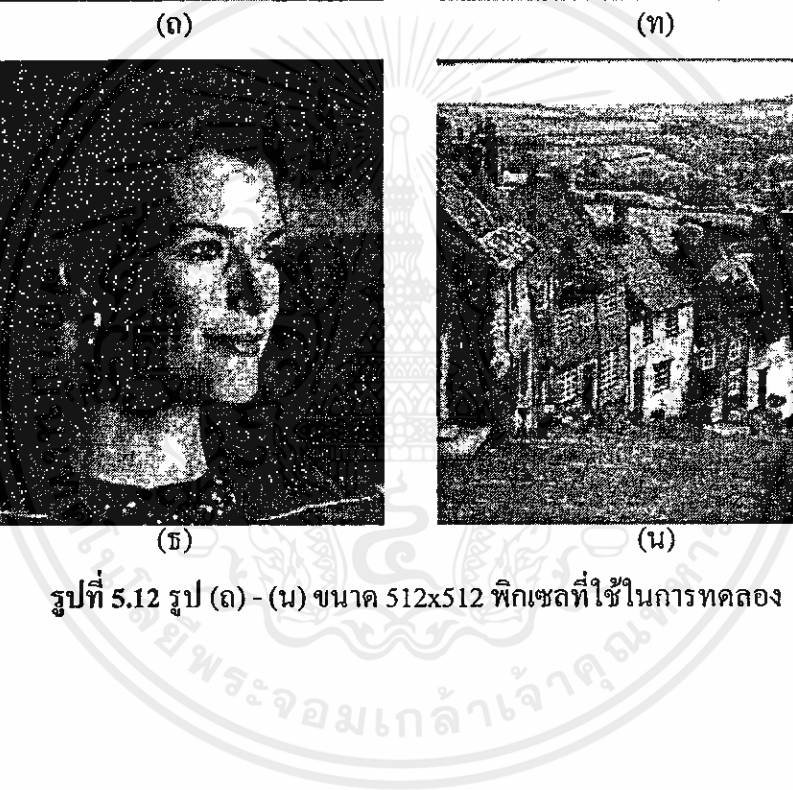


(ธ)



(น)

รูปที่ 5.12 รูป (ถ) - (น) ขนาด 512x512 พิกเซลที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.13 รูปที่ 5.11 (ฉ) ที่มีสัญญาณรบกวนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ความแปรปรวน 25 (ค) ความแปรปรวน 36

(ง) ความแปรปรวน 49 (จ) ความแปรปรวน 64 และ (ฉ) ความแปรปรวน 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีที่ผิดแบบสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.14 รูปที่ 5.11(ฉ) ที่มีสัญญาณรบกวนที่ระดับความแปรปรวนต่างๆ

(ก) ความแปรปรวน 100 (ข) ความแปรปรวน 121 (ค) ความแปรปรวน 144

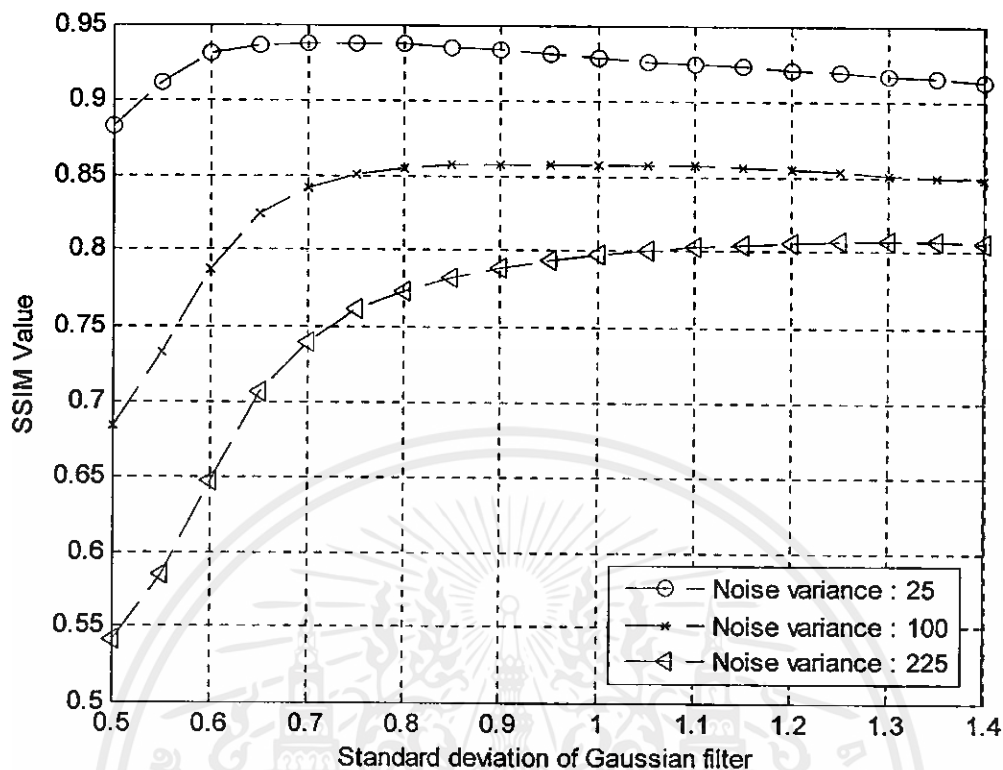
(ง) ความแปรปรวน 169 (จ) ความแปรปรวน 196 และ (ฉ) ความแปรปรวน 225

ตารางที่ 5.9 อิทธิพลของขนาดบล็อกย่อยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณและคุณภาพของภาพที่ได้ โดยวัดจากค่าเอสเอสไอเอ็ม โดยอาศัยรูปที่ 5.10(ง) ในการทดสอบ

ความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน	ขนาดบล็อกย่อย	ขนาดภาพ 256x256 พิกเซล		ขนาดภาพ 512x512 พิกเซล	
		ค่าเอสเอสไอเอ็ม	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (วินาที)	ค่าเอสเอสไอเอ็ม	เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (วินาที)
25	4x4	0.94284	0.43750	0.94720	1.9219
	8x8	0.92785	0.35938	0.96017	1.3750
	16x16	0.90002	0.28125	0.95270	1.1875
100	4x4	0.86375	0.43750	0.82861	2.0000
	8x8	0.85900	0.35938	0.90980	1.5313
	16x16	0.83751	0.28125	0.90771	1.2188

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นว่าขนาดบล็อกย่อยที่ 4x4 พิกเซล จะให้ค่าเอสเอสไอเอ็มที่ดีในกรณีที่มีระดับของการรบกวนจากสัญญาณรบกวนต่ำ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องอาศัยเวลาในการคำนวณมาก และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่าภาพขนาด 512x512 พิกเซล ที่มีระดับของการรบกวนของสัญญาณรบกวนสูงการใช้บล็อกย่อยขนาดดังกล่าวจะให้ภาพที่มีค่าเอสเอสไอเอ็มที่ต่ำกว่าและขนาดบล็อกย่อยที่ 8x8 พิกเซล และ 16x16 พิกเซล และในทางกลับกันถ้าเลือกใช้นาขนาดบล็อกย่อยที่ 16x16 พิกเซล ก็จะทำให้ผลในทางตรงกันข้าม ดังนั้นขนาดบล็อกย่อยที่เหมาะสมทั้งเรื่องของคุณภาพของภาพที่ได้ตลอดทุกระดับสัญญาณรบกวนและในสภาพพื้นผิวที่แตกต่างกันจึงควรเลือกใช้ขนาดบล็อกย่อยที่ 8x8

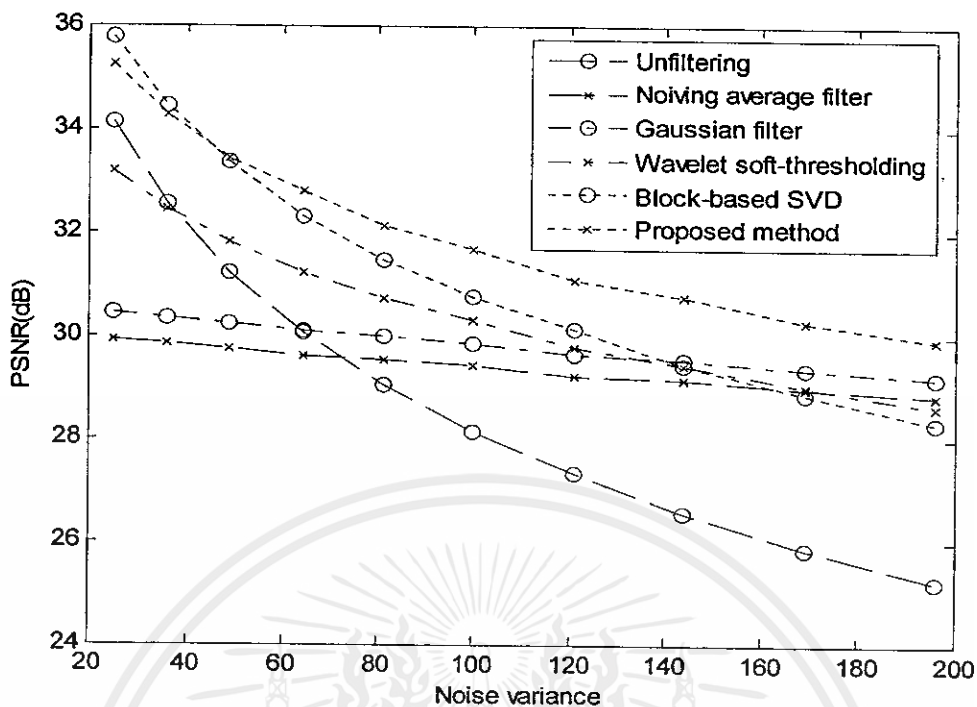
ต่อไปเราจะพิจารณาถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่เหมาะสมในการลดสัญญาณรบกวน โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าเอสเอสไอเอ็มและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่มีความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนที่ 25, 100 และ 225 ตามลำดับ



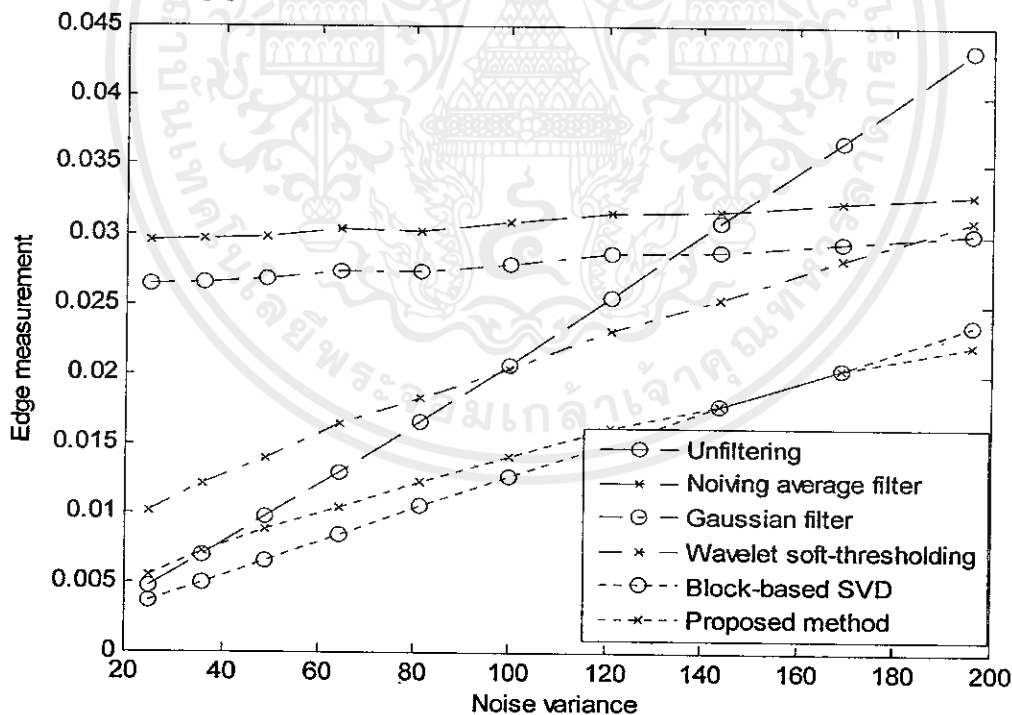
รูปที่ 5.15 ค่าเอสเอสไอเอ็มที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยอาศัยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่แตกต่างกัน โดยอาศัยรูปที่ 5.10(ง) ในการทดสอบ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่เหมาะสมกับค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนทุกระดับมีค่าประมาณ 1 กล่าวคือเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่ให้ค่าเอสเอสไอเอ็มที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดในทุกระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวน

ดังนั้นในการทดลองขั้นตอนต่อไป เราจะทำการทดลองโดยอาศัยขนาดบล็อกย่อยที่ 8×8 พิกเซล และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวกรองแบบเกาส์เซียนเป็น 1 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมและอาศัยสมการในการเทรซโฮลด์ดังสมการที่ (5.22) โดยอาศัยภาพที่ใช้ในการทดลองจำนวน 22 ภาพ แบ่งเป็นภาพขนาด 256×256 พิกเซลจำนวน 12 ภาพ และภาพขนาด 512×512 พิกเซลจำนวน 10 ภาพ ดังแสดงในรูปที่ 5.10 - รูปที่ 5.12

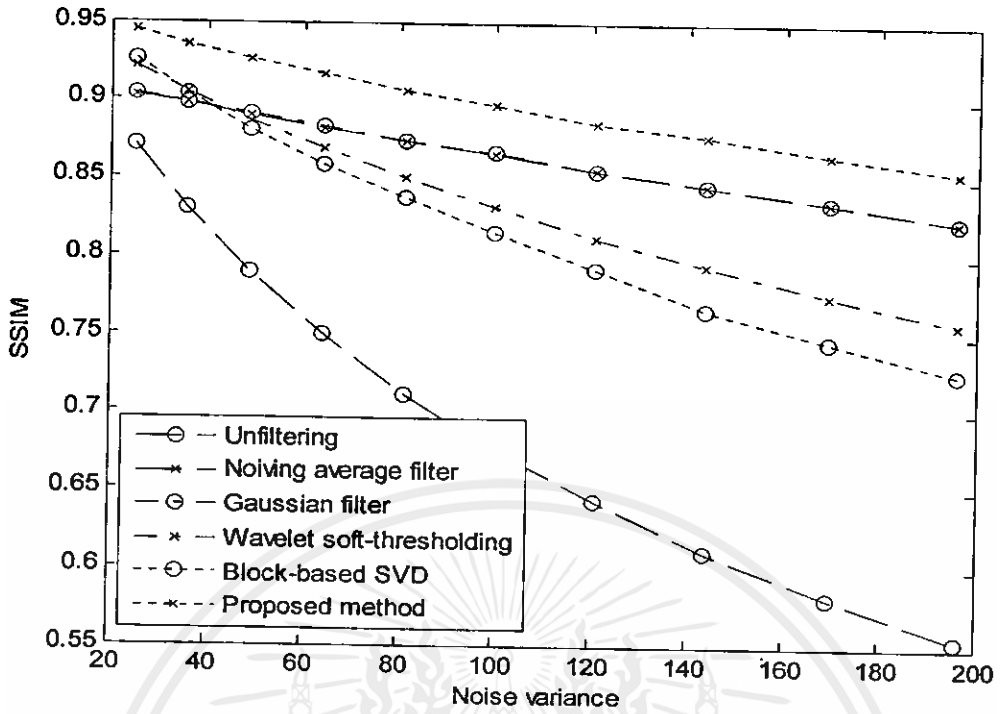


รูปที่ 5.16 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.10(จ) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196

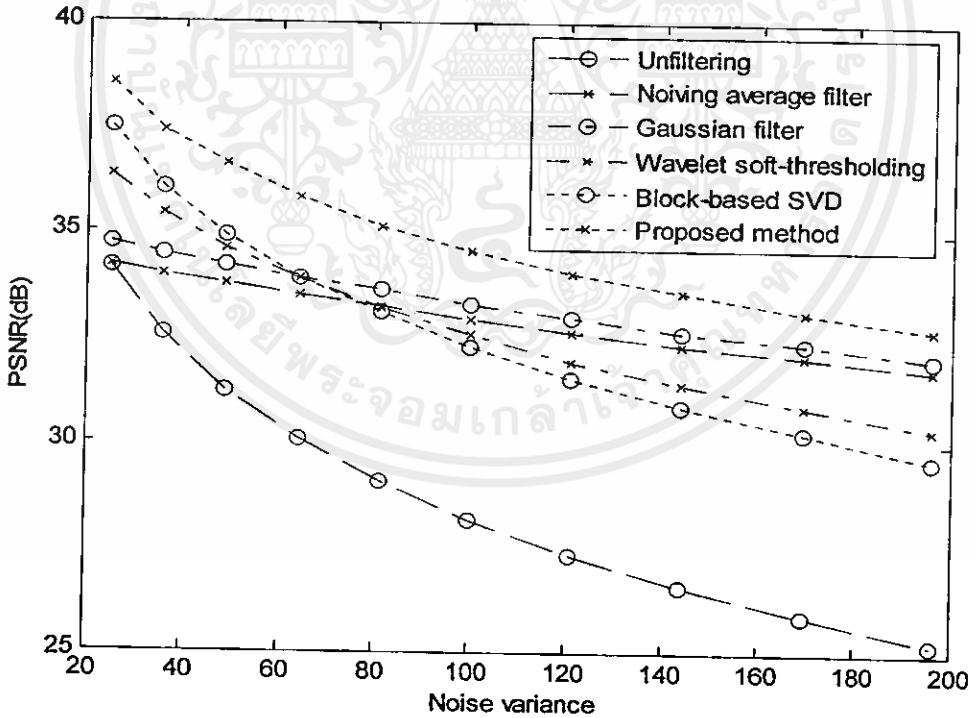


รูปที่ 5.17 ค่าการวัดคุณภาพขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.10 (จ) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



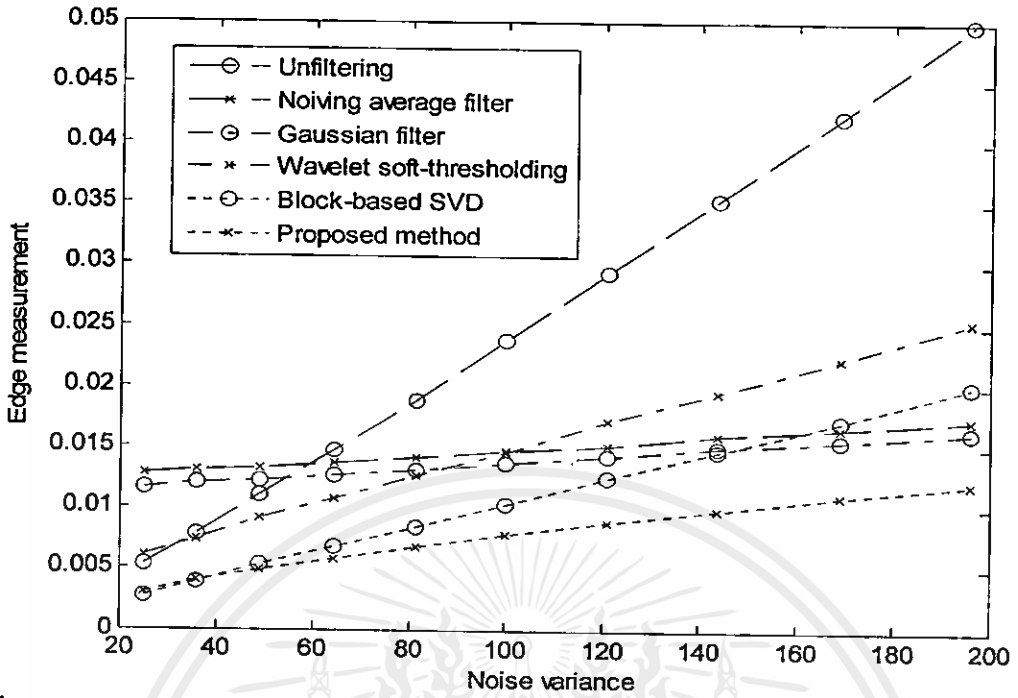
รูปที่ 5.18 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.10(จ) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196



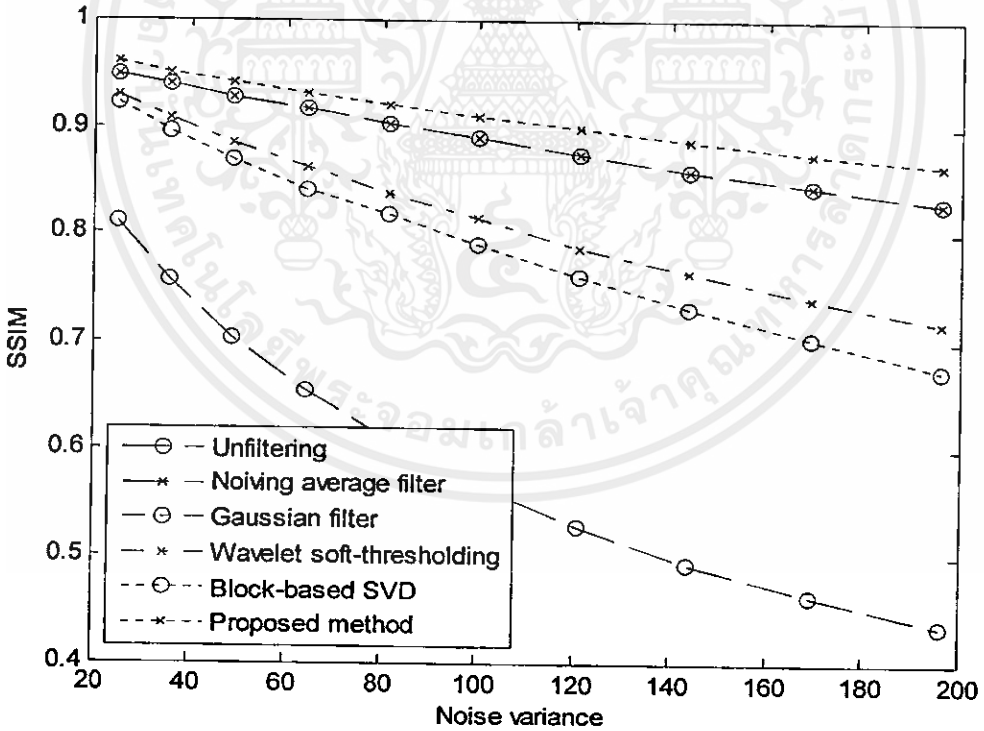
รูปที่ 5.19 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.11(ข) ด้วยวิธีการต่างๆ

ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.20 ค่าการวัดคุณภาพขอบภาพของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.11 (ก) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196



รูปที่ 5.21 ค่าเอสเอสไอเอ็มของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนภาพรูปที่ 5.11(ก) ด้วยวิธีการต่างๆ ที่ระดับสัญญาณรบกวนที่มีความแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 196

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาครบวงวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบวงเท่ากับ 25

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบวง					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	34.137	28.188	28.285	33.284	36.65	36.726
(ข)	34.137	25.617	25.935	31.343	35.875	34.957
(ค)	34.14	35.287	36.072	37.085	37.214	38.935
(ง)	34.135	25.808	25.986	31.154	35.751	34.333
(จ)	34.132	29.901	30.433	33.159	35.748	35.209
(ฉ)	34.134	32.254	35.4	36.125	37.114	37.95
(ช)	34.137	32.807	34.037	35.372	36.386	37.101
(ฌ)	34.137	28.029	28.369	30.799	35.07	32.962
(ฉ)	34.138	25.247	26.054	30.503	35.624	33.573
(ญ)	34.132	29.627	30.426	33.589	35.874	35.444
(ฎ)	34.136	28.933	29.363	32.446	35.907	35.031
(ฏ)	34.137	31.686	33.279	35.12	35.988	36.555
(ฐ)	34.137	31.32	32.792	35.024	36.557	37.524
(ฑ)	34.137	34.177	34.696	36.337	37.437	38.888
(ฒ)	34.136	25.121	25.233	30.738	35.58	36.201
(ณ)	34.136	30.442	30.726	33.064	35.776	36.186
(ด)	34.139	33.472	33.681	35.549	36.053	37.001
(ต)	34.137	30.897	32.204	33.912	35.007	35.722
(ถ)	34.138	33.049	33.592	34.832	35.864	36.776
(ท)	34.137	35.792	35.985	36.781	37.31	39.119
(ธ)	34.137	38.32	39.067	38.016	37.48	39.805
(น)	34.138	32.901	33.125	34.124	35.404	35.901

(1)^{*}, (2)^{*}, (3)^{*}, (4)^{*}, (5)^{*}, และ (6)^{*} ได้อธิบายไว้ในหน้าที่ 68

ตารางที่ 5.11 ค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 25

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.004685	0.054125	0.053134	0.010989	0.002986	0.003545
(ข)	0.004605	0.08969	0.084881	0.016688	0.003472	0.005271
(ค)	0.005202	0.008824	0.007607	0.004491	0.002886	0.002437
(ง)	0.005077	0.06938	0.066844	0.013986	0.003265	0.005326
(จ)	0.00474	0.029553	0.026382	0.010086	0.003598	0.005456
(ฉ)	0.00514	0.015096	0.00691	0.005175	0.003087	0.003143
(ช)	0.004528	0.014084	0.010797	0.006298	0.003384	0.003713
(ซ)	0.00472	0.044368	0.041446	0.017632	0.004039	0.009147
(ฌ)	0.004894	0.083525	0.06623	0.020254	0.003195	0.007285
(ญ)	0.004625	0.031417	0.02698	0.010142	0.00356	0.005399
(ฎ)	0.00502	0.038577	0.035154	0.012975	0.003515	0.005604
(ฏ)	0.004811	0.016864	0.011623	0.006294	0.003508	0.004326
(ฐ)	0.00515	0.022107	0.015635	0.007466	0.003114	0.003739
(ฑ)	0.005242	0.012855	0.011727	0.006004	0.00281	0.003053
(ฒ)	0.004695	0.084418	0.082691	0.017808	0.003664	0.007019
(ณ)	0.005006	0.026617	0.025103	0.011228	0.003585	0.006588
(ด)	0.004856	0.014633	0.014081	0.006805	0.003877	0.005616
(ต)	0.004626	0.0197	0.013566	0.006824	0.003351	0.003993
(ถ)	0.004756	0.013077	0.011475	0.006183	0.003282	0.004076
(ท)	0.004947	0.007111	0.006816	0.004214	0.002265	0.001928
(ธ)	0.005023	0.002483	0.001896	0.002686	0.002284	0.001404
(ณ)	0.004586	0.013395	0.01279	0.008294	0.004031	0.007144

(1)^{*}, (2)^{*}, (3)^{*}, (4)^{*}, (5)^{*}, และ (6)^{*} ได้อธิบายไว้ในหน้าที่ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาณรรบกวณวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ
ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรรบกวณเท่ากับ 25

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรรบกวณ					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.85187	0.9361	0.93658	0.93835	0.93799	0.96906
(ข)	0.88987	0.89293	0.89394	0.9312	0.94313	0.95935
(ค)	0.8176	0.94722	0.94744	0.92798	0.91613	0.95866
(ง)	0.84398	0.83386	0.83529	0.88227	0.92052	0.92818
(จ)	0.87075	0.9031	0.90387	0.92044	0.92565	0.9448
(ฉ)	0.82387	0.95131	0.9517	0.93318	0.92285	0.9632
(ช)	0.87394	0.9421	0.94253	0.93951	0.93381	0.96054
(ซ)	0.8905	0.88248	0.88345	0.9076	0.93318	0.93354
(ฌ)	0.88242	0.82976	0.83151	0.89116	0.93205	0.93593
(ญ)	0.87382	0.92696	0.92754	0.93092	0.92755	0.95245
(ฎ)	0.84819	0.90399	0.90488	0.91413	0.92454	0.94789
(ฏ)	0.83432	0.91027	0.91098	0.91109	0.9034	0.93377
(ฐ)	0.82045	0.92852	0.92906	0.91593	0.91113	0.94729
(ฑ)	0.81211	0.94815	0.94843	0.92929	0.92141	0.96001
(ฒ)	0.88164	0.75577	0.75794	0.88732	0.92739	0.93642
(ณ)	0.85626	0.87811	0.87912	0.89574	0.91691	0.92758
(ด)	0.8726	0.94583	0.94617	0.94172	0.92905	0.95341
(ต)	0.8462	0.86874	0.86925	0.86531	0.86863	0.88948
(ถ)	0.84118	0.89857	0.8991	0.8985	0.89688	0.92408
(ท)	0.78159	0.91409	0.91436	0.89246	0.88275	0.93147
(ธ)	0.78939	0.93109	0.93122	0.90652	0.89338	0.94326
(น)	0.87412	0.88566	0.88651	0.89827	0.90802	0.9111

(1)^{*}, (2)^{*}, (3)^{*}, (4)^{*}, (5)^{*}, และ (6)^{*} ได้อธิบายไว้ในหน้าที่ 68

ตารางที่ 5.13 ค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	28.127	27.854	27.902	29.967	31.457	32.102
(ข)	28.128	25.42	25.689	28.301	30.753	30.645
(ค)	28.126	33.712	34.209	32.855	32.431	35.362
(ง)	28.125	25.606	25.735	28.397	30.62	30.416
(จ)	28.129	29.385	29.812	30.256	30.739	31.548
(ฉ)	28.128	31.399	33.768	32.28	32.078	34.561
(ช)	28.126	31.836	32.728	31.82	31.562	33.796
(ซ)	28.128	27.687	27.958	28.678	29.944	29.604
(ฌ)	28.127	25.083	25.813	27.876	30.775	29.811
(ญ)	28.127	29.156	29.828	30.412	31.016	31.917
(ฎ)	28.128	28.548	28.889	29.553	30.917	31.199
(ฏ)	28.127	30.93	32.218	31.66	31.391	33.599
(ตุ)	28.127	30.625	31.808	31.591	31.796	33.484
(ฑ)	28.127	32.918	33.27	32.541	32.231	34.552
(ฒ)	28.127	24.945	25.016	27.776	30.695	31.133
(ณ)	28.128	29.851	30.059	30.359	31.065	31.799
(ด)	28.128	32.39	32.512	32.184	31.032	32.996
(ค)	28.127	30.278	31.354	31.125	31.281	33.069
(ด)	28.128	32.047	32.444	31.766	31.46	33.347
(ท)	28.128	34.1	34.198	32.759	32.987	35.768
(ธ)	28.128	35.596	35.959	33.479	33.068	36.84
(น)	28.126	31.958	32.095	31.407	31.07	32.877

(1), (2), (3), (4), (5), และ (6) ใช้อธิบายไว้ในหน้าที่ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 ค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 100

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.021139	0.055748	0.055298	0.024775	0.01105	0.012005
(ข)	0.019781	0.090895	0.086814	0.035537	0.012338	0.01642
(ค)	0.022899	0.010805	0.009665	0.012783	0.009722	0.005997
(ง)	0.023217	0.070517	0.068584	0.029173	0.012435	0.015648
(จ)	0.020621	0.03089	0.027948	0.020604	0.012488	0.014514
(ฉ)	0.023251	0.017148	0.008909	0.013882	0.010773	0.007156
(ช)	0.019266	0.015718	0.012553	0.014097	0.010804	0.008491
(ซ)	0.020537	0.045715	0.043216	0.029168	0.014973	0.023629
(ด)	0.021967	0.084553	0.067858	0.038423	0.01201	0.022616
(ต)	0.020296	0.032899	0.028751	0.021401	0.012236	0.013378
(ถ)	0.022398	0.039784	0.036795	0.026434	0.012877	0.015612
(ฏ)	0.021689	0.0184	0.013164	0.01497	0.011352	0.009303
(ฐ)	0.023224	0.023868	0.017556	0.017619	0.010905	0.009774
(ฑ)	0.023852	0.014663	0.013649	0.014804	0.010409	0.007819
(ฒ)	0.020369	0.083999	0.082765	0.03572	0.012439	0.015583
(ณ)	0.022169	0.028022	0.02677	0.021661	0.012382	0.015107
(ด)	0.020839	0.016242	0.015852	0.014613	0.013011	0.012159
(ค)	0.02097	0.020925	0.014929	0.01533	0.009792	0.007793
(ด)	0.021273	0.014385	0.012878	0.013742	0.010415	0.008819
(ท)	0.023558	0.008399	0.008178	0.012347	0.007532	0.004133
(ธ)	0.023453	0.004238	0.00367	0.009936	0.007808	0.00297
(น)	0.01963	0.014311	0.013861	0.015042	0.011558	0.011601

(1)^{*}, (2)^{*}, (3)^{*}, (4)^{*}, (5)^{*}, และ (6)^{*} ได้อธิบายไว้ในหน้าที่ 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.15 ค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ
ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 100

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.64194	0.89203	0.89209	0.84137	0.83523	0.92711
(ข)	0.71689	0.85864	0.85883	0.84918	0.85857	0.91722
(ค)	0.56518	0.89262	0.89264	0.81499	0.79193	0.91563
(ง)	0.63157	0.78642	0.78658	0.77055	0.79528	0.85818
(จ)	0.67443	0.86402	0.8641	0.83001	0.81249	0.89548
(ฉ)	0.58441	0.8975	0.89766	0.8233	0.80057	0.91995
(ช)	0.66581	0.90326	0.90333	0.85462	0.82984	0.92216
(ซ)	0.71927	0.84921	0.84931	0.83116	0.82903	0.881
(ฌ)	0.70814	0.79644	0.79673	0.8001	0.84454	0.86829
(ญ)	0.68116	0.89024	0.89031	0.84863	0.82767	0.91222
(ฎ)	0.63937	0.85969	0.85981	0.81511	0.80948	0.89569
(ฏ)	0.58984	0.86076	0.86093	0.80272	0.76959	0.88561
(ฐ)	0.5779	0.87442	0.87457	0.8046	0.78424	0.8985
(ฑ)	0.56527	0.8896	0.88963	0.81313	0.78766	0.90949
(ฒ)	0.69891	0.72127	0.72152	0.7797	0.82799	0.88391
(ณ)	0.64713	0.83485	0.83491	0.79827	0.80191	0.874
(ด)	0.67421	0.90653	0.90654	0.86036	0.81494	0.9151
(ต)	0.60975	0.82462	0.82473	0.76926	0.75362	0.85025
(ถ)	0.60765	0.85238	0.85242	0.79874	0.7775	0.88006
(ท)	0.49323	0.84854	0.84855	0.75781	0.74911	0.88143
(ธ)	0.50625	0.86802	0.86803	0.77804	0.7612	0.8984
(น)	0.66393	0.84888	0.8489	0.81603	0.79168	0.87041

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับตารางใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติก่อนผูกให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(1)^{*}, (2)^{*}, (3)^{*}, (4)^{*}, (5)^{*}, และ (6)^{*} ได้อธิบายไว้ในหน้าที่ 68

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

- (1) คือ ภาพต้นฉบับที่ยังไม่ได้ทำการลดสัญญาณรบกวน
- (2) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย
- (3) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน
- (4) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณ โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ตแบบ

ซอฟต์แวร์สโตนดิ้ง

- (5) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน โดยอาศัยการแปลงเอสวีดีแบบบล็อคย่อย

- (6) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวน โดยวิธีการที่นำเสนอ

จากรูปที่ 5.16 - รูปที่ 5.21 และตารางที่ 5.10 - ตารางที่ 5.15 ซึ่งทำการทดลองบนภาพที่มีขนาดและรายละเอียดที่แตกต่างกัน กล่าวคือ รูปที่ 5.10(ง) เป็นภาพที่มีรายละเอียดค่อนข้างมากโดยทำการทดลองด้วยภาพที่มีขนาดเล็กกว่า (256x256 พิกเซล) เพื่อเป็นการเน้นให้ภาพมีรายละเอียดมากขึ้น และรูปที่ 5.11(จ) เป็นภาพที่มีรายละเอียดน้อยโดยทำการทดลองด้วยภาพที่มีขนาดใหญ่ (512x512 พิกเซล) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการที่นำเสนอซึ่งสามารถลดสัญญาณรบกวนได้ดีทั้งภาพที่มีรายละเอียดมากและภาพที่มีรายละเอียดน้อยตลอดจนภาพที่มีระดับของสัญญาณรบกวนที่แตกต่างกัน ซึ่งจะสามารถเห็นได้ว่า ในบางกรณีค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพจะให้ค่าที่ไม่สอดคล้องกันกล่าวคือ ในบางภาพที่มีค่าพีเอสเอ็นอาร์สูงซึ่งแสดงถึงคุณภาพของการลดสัญญาณรบกวนบนภาพที่ดี แต่ค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพกลับให้ค่าที่สูงกว่าวิธีการอื่นซึ่งแสดงถึงคุณภาพที่ด้อยกว่าในเรื่องของการเก็บรักษารายละเอียดของภาพ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ค่าใดค่าหนึ่งมาตัดสินได้ว่าการลดสัญญาณรบกวนแบบใดมีคุณภาพที่ดีกว่า ดังนั้นในการทดลองนี้จึงอาศัยค่าเอสเอสไอเอ็มซึ่งเป็นค่าที่คำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่ค่อนข้างครอบคลุมมาทำการประเมินประสิทธิภาพของการลดสัญญาณรบกวน ซึ่งจากค่าเอสเอสไอเอ็มในตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.15 ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่นำมาเปรียบเทียบกัน

ในการทดลองต่อไปเราจะทำการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพโดยอาศัยการสังเกต ดังแสดงในรูปที่ 5.22 - รูปที่ 5.26 จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอจะให้ภาพที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆ ทั้งในแง่ของสัญญาณรบกวนที่ลดลงได้มาก และรายละเอียดภาพที่คมชัดสมบูรณ์มากกว่าวิธีการอื่นๆ



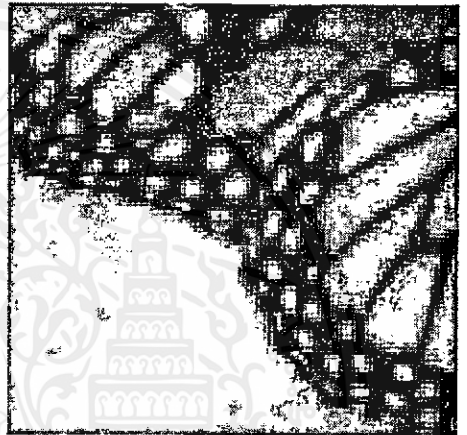
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.22 ภาพขยายของรูปที่ 5.10(ก) ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน(ความแปรปรวน 25)

(ค) ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (ง) ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์เฟเรส โฮลดิ้ง

(จ) การแปลงเฮสส์ดีแบบบล็อกล้อย และ (ฉ) วิธีการที่นำเสนออื่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.23 ภาพขยายของรูปที่ 5.10(จ) ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน(ความแปรปรวน 25)

(ค) ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (ง) ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์เฟรตสโฮลดิ้ง

(จ) การแปลงเฮสติดีแบบบล็อกย่อย และ (ฉ) วิธีการที่นำเสนออื่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.24 ภาพขยายของรูปที่ 5.11(๓) ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน(ความแปรปรวน 25)

(ค) ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (ง) ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์เฟเทส โอลคิง

(จ) การแปลงเฮสติเบบแบบล็อกข้อย และ (ฉ) วิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านาน ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอัปเดตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

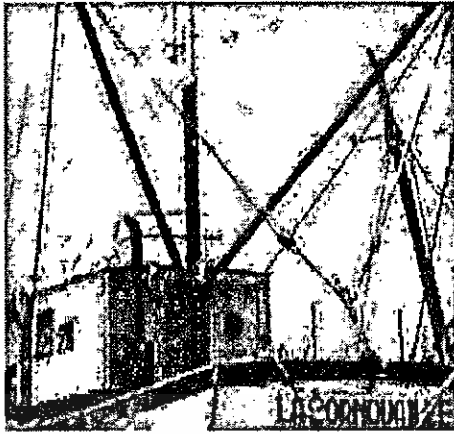
รูปที่ 5.25 ภาพขยายของรูปที่ 5.11(ค) ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน(ความแปรปรวน 25)

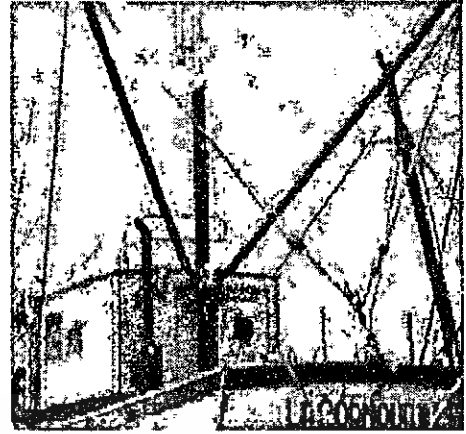
(ค) ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (ง) ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์ฟเทรสโสดิง

(จ) การแปลงเฮลวิคแบบบล็อกละเอียด และ (ฉ) วิธีการที่นำเสนอ

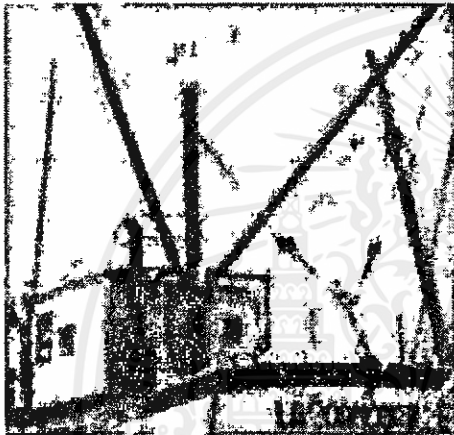
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



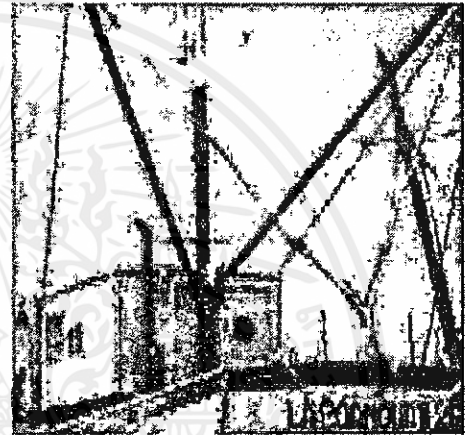
(ก)



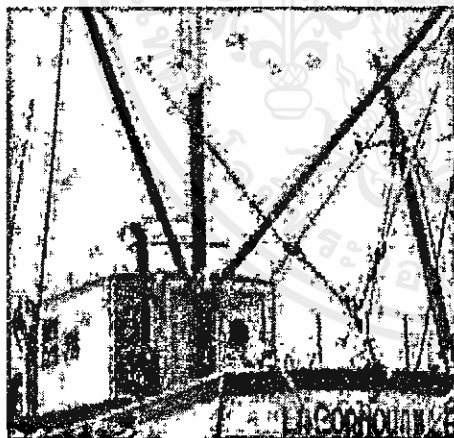
(ข)



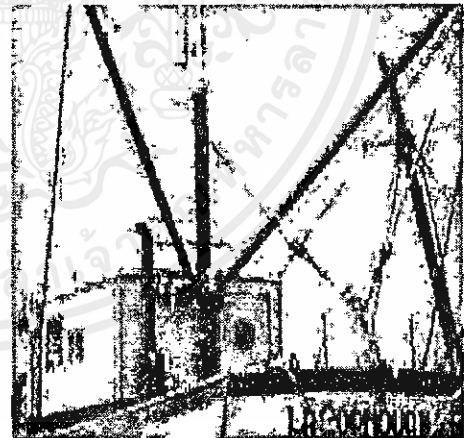
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 5.26 ภาพขยายของรูปที่ 5.11(ณ) ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพต้นฉบับที่มีสัญญาณรบกวน(ความแปรปรวน 25)

(ค) ตัวกรองแบบเกาส์เซียน (ง) ยูนิเวอร์ซอลแบบซอล์ฟเทรตไฮโดลดิ้ง

(จ) การแปลงเฮสวิติแบบบล็อกย่อย และ (ฉ) วิธีการที่นำเสนอ

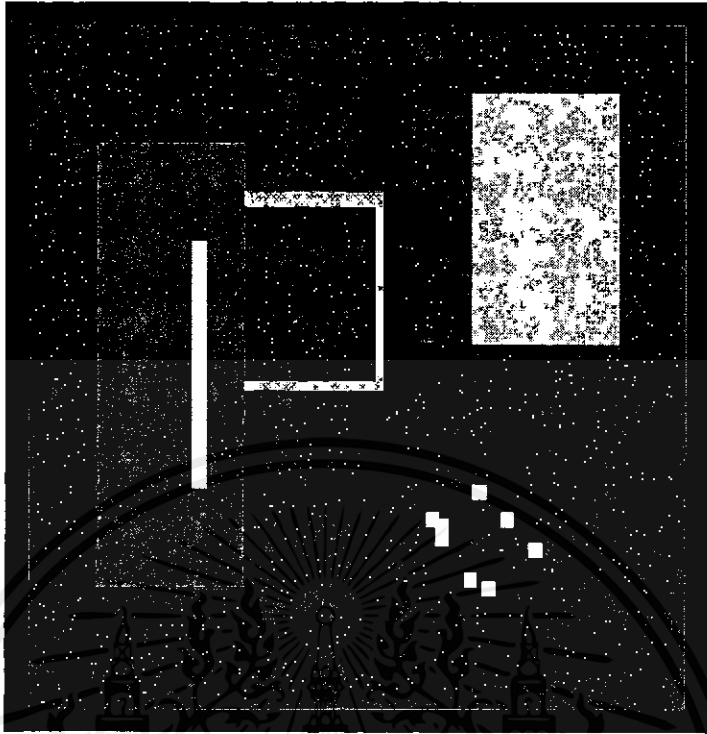
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล

ในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่พบมากในภาพอัลตราซาวด์ นั้น จะอาศัยโมเดลที่ได้ออกแบบและอธิบายไว้เบื้องต้นในบทที่ 4 มาทำการทดลอง โดยอาศัยตัววัดคุณภาพจากขอบภาพที่ได้กล่าวถึงทั้ง 4 ชนิด มาทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่นำไปประยุกต์ใช้กับสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล

เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพของสัญญาณรบกวนโดยอาศัยตัววัดที่มีการนำเสนอในปัจจุบัน นั้นจำเป็นต้องมีภาพต้นฉบับเพื่อทำการเปรียบเทียบหาระดับของการรบกวน ดังนั้นการอาศัยภาพอัลตราซาวด์ที่เกิดจากการสะท้อนของคลื่นอัลตราโซนิกจากอวัยวะต่างๆมาทำการทดลองนั้นจะทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่นำเสนอกับวิธีการลดสัญญาณรบกวนที่มีอยู่เดิมได้ เนื่องจากไม่มีภาพต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวนมาเป็นตัวเปรียบเทียบ ด้วยเหตุนี้ การทดลองเบื้องต้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการจำลองภาพอัลตราซาวด์ที่ปราศจากสัญญาณรบกวนมาทำการเปรียบเทียบในขั้นต้น โดยแสดงดังรูปที่ 5.27 ซึ่งภาพจำลองนั้นเป็นภาพที่มีรายละเอียดคล้ายคลึงกับภาพอัลตราโซนิกจริง กล่าวคือ เป็นภาพที่ประกอบไปด้วย บริเวณที่ค่อนข้างมีรายละเอียดน้อย บริเวณที่ค่อนข้างมีรายละเอียดอยู่บ้าง และบริเวณที่ค่อนข้างมีรายละเอียดอยู่มาก ซึ่งเป็นภาพที่เป็นที่นิยมใช้เพื่อทำการเปรียบเทียบโดยทั่วไป [13]





รูปที่ 5.27 ภาพจำลองที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

ในขั้นต้นเราจะทำการหาฟังก์ชันการเทรสโวลต์ที่เหมาะสมกับสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนที่มีการกระจายตัวค่อนข้างมาก โดยพิจารณาสมการดังนี้ จากสมการที่ (5.23)

$$m \times n \times \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (5.23)$$

เราจะทำการประมาณค่าความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนดังนี้

$$\hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6745} = \frac{\text{Median}(|x - \text{Median}(x)|)}{0.6745} \quad (5.24)$$

จากการแทนที่สมการที่ (5.24) ในสมการที่ (5.23) เราจะได้สมการที่ (5.25) ดังนี้

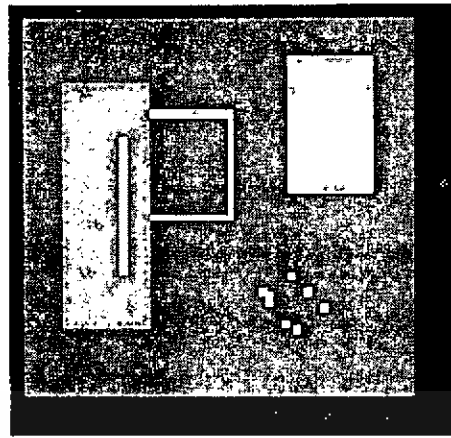
$$m \times n \times \left(\frac{MAD}{0.6745} \right)^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (5.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

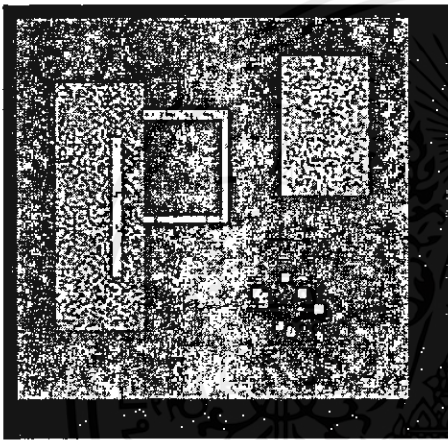
ดังนั้น ถ้าเราสามารถกำจัดค่าซิงกูลาร์ของสัญญาณรบกวนได้หมดตามสมการที่ (5.25) เราก็จะสามารถสรุปได้ว่าค่าซิงกูลาร์ส่วนที่เหลืออยู่นั้นเป็นค่าซิงกูลาร์ที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณภาพที่ปราศจากการรบกวนของสัญญาณรบกวน ซึ่งฟังก์ชันการเทรสโฮลด์ตามนิยามนี้จะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5.26)

$$HBSVD(s_i) = \begin{cases} 0 & , m \times n \times \left(\frac{MAD}{0.6745} \right)^2 - \sum_{j=i+1}^n s_j^2 > \frac{s_i^2}{2} \\ s_i & , otherwise \end{cases} \quad (5.26)$$

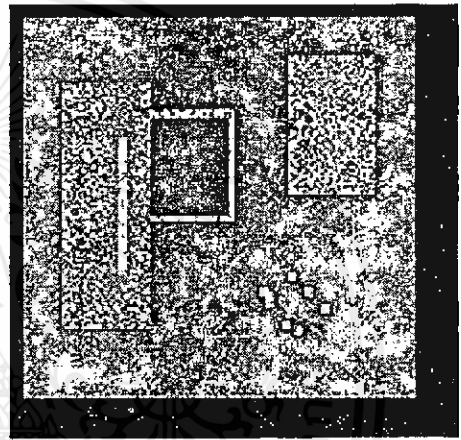
สำหรับการทดลองในส่วนนี้จะเริ่ม โดยการทำการจำลองสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล โดยอาศัยสมการที่ (1.5) ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 5.28 และทำการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยอาศัยสมการการเทรสโฮลด์ข้างต้น และทำการประเมินผลภาพที่ได้โดยอาศัยตัววัดคุณภาพของภาพทั้ง 4 แบบ ที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 4 โดยทำการวัดค่าเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่นิยมใช้โดยทั่วไป ดังนี้ ตัวกรองแบบลี (Lee Filter) ตัวกรองแบบกวน (Kuan Filter) การลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ทแบบซอฟต์แวร์โฮลด์คิง โดยอาศัยการเทรสโฮลด์แบบวิซวาลซริง (Visushrink) การลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ทแบบซอฟต์แวร์โฮลด์คิงโดยอาศัยการเทรสโฮลด์แบบเบย์ซริง (Bayesshrink) ตัวกรองแบบค่ามัธยฐาน (Median Filter) โดยอาศัยหน้าต่างขนาด 5x5 พิกเซล และตัวกรองแบบโฮโมมอร์ฟิกเวเนียร์ (Homomorphic Wiener) โดยอาศัยหน้าต่างขนาด 5x5 พิกเซล



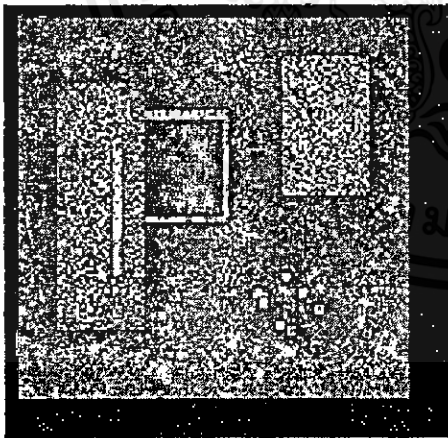
(ก)



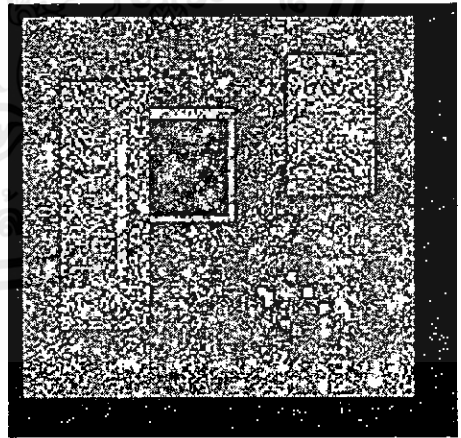
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

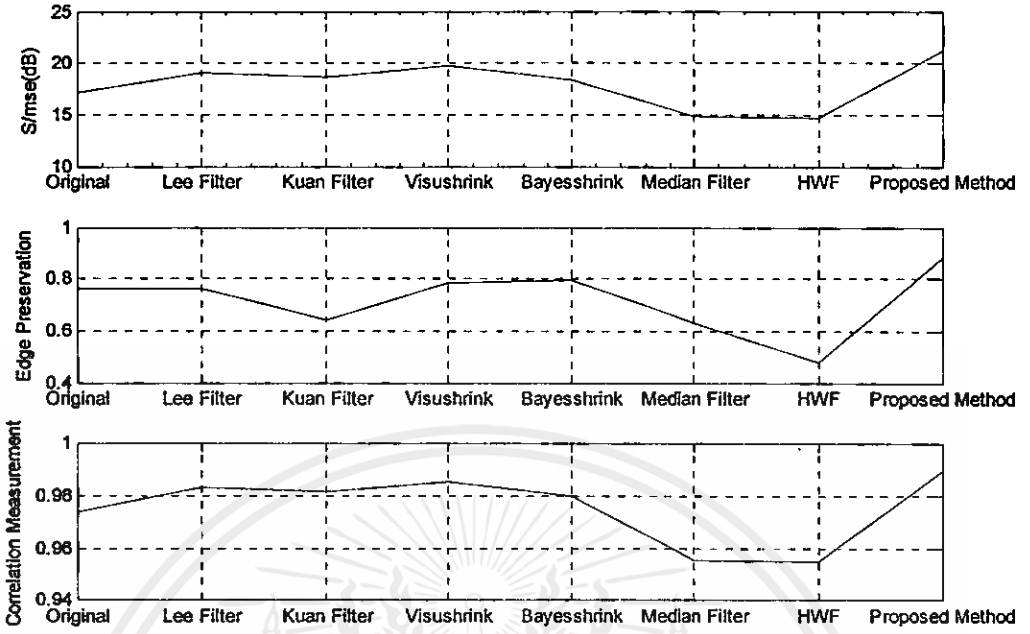
รูปที่ 5.28 ภาพสังเคราะห์ที่มีสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่ระดับความแปรปรวนต่าง ๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ความแปรปรวน 0.02 (ค) ความแปรปรวน 0.04

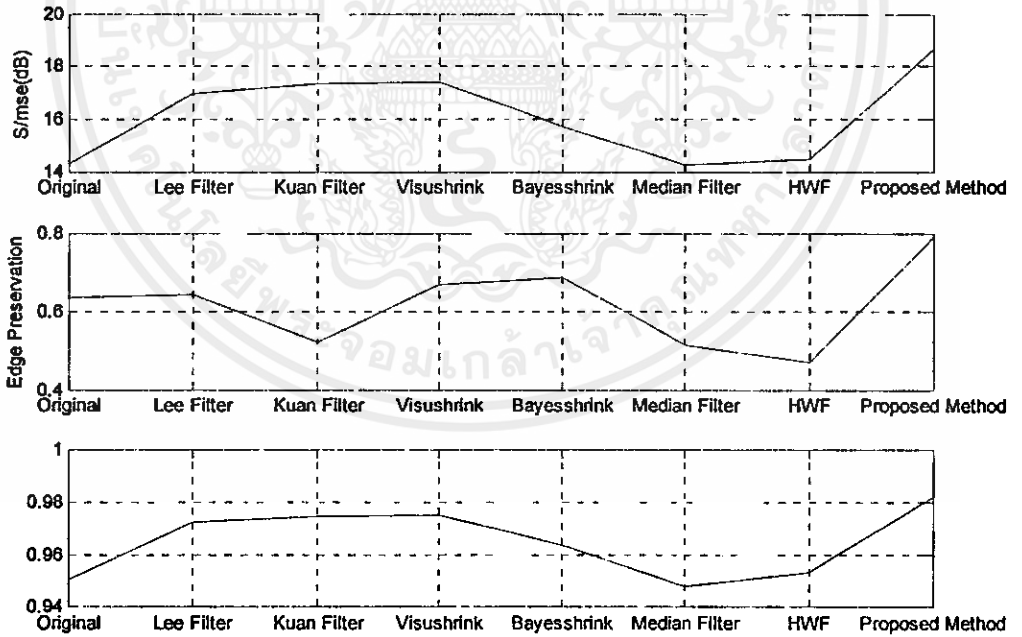
(ง) ความแปรปรวน 0.06 และ (จ) ความแปรปรวน 0.08

ตารางที่ 5.16 ค่ามีนสแควร์เออเรอร์(mse) ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูล (S/mse) การวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β) และ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพ (ρ) ที่วัดได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล บนภาพสังเคราะห์ขนาด 150x150 พิกเซล (รูปที่ 5.27) ด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ

วิธีการลดสัญญาณรบกวน	mse	S/mse	β	ρ
ภาพต้นฉบับ($\sigma^2 = 0.02$)	148.33	17.191	0.76404	0.97419
ตัวกรองแบบลี	94.696	19.102	0.76487	0.98317
ตัวกรองแบบกวน	104.5	18.675	0.6404	0.98163
วิซวลซริง	82.208	19.716	0.78539	0.9855
เบย์ซริง	113.02	18.334	0.79803	0.98006
ตัวกรองแบบ ค่ามัธยฐาน	250.66	14.875	0.63236	0.95535
ตัวกรองแบบ ไฮโมเมอร์ฟิเคชันเนอร์	259.67	14.721	0.47667	0.95503
วิธีการที่นำเสนอ	57.235	21.289	0.88282	0.99004
ภาพต้นฉบับ($\sigma^2 = 0.04$)	290.47	14.305	0.63615	0.95056
ตัวกรองแบบลี	154.51	16.976	0.64193	0.97239
ตัวกรองแบบกวน	142.13	17.339	0.52029	0.97475
วิซวลซริง	140.49	17.389	0.66823	0.97535
เบย์ซริง	205.42	15.739	0.68585	0.964
ตัวกรองแบบ ค่ามัธยฐาน	291.34	14.222	0.51585	0.94817
ตัวกรองแบบ ไฮโมเมอร์ฟิเคชันเนอร์	276.59	14.447	0.4703	0.95327
วิธีการที่นำเสนอ	104.73	18.665	0.79214	0.98244



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.02$

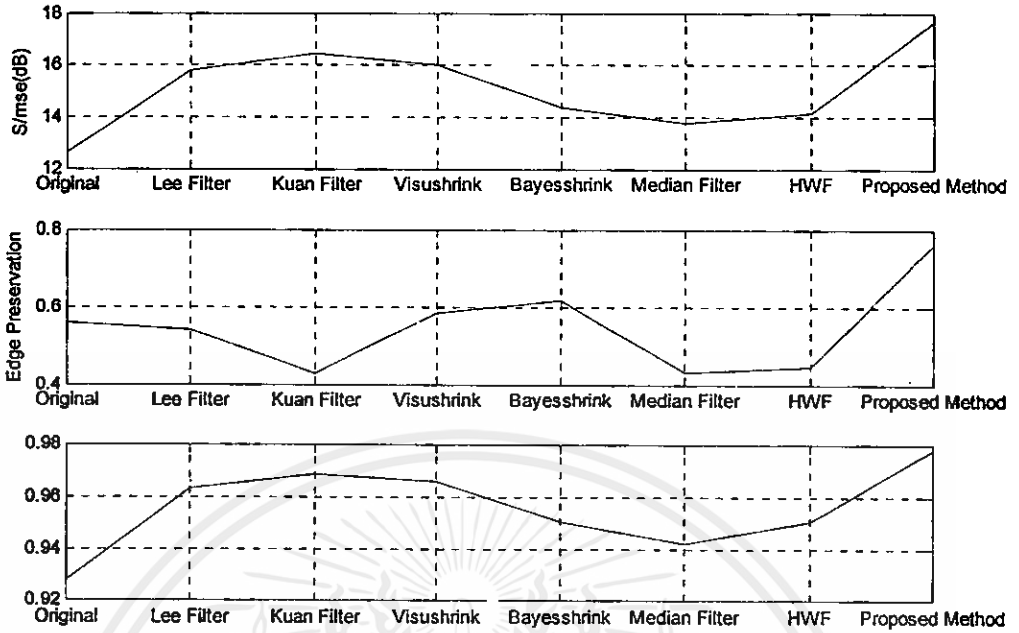


รูปที่ 5.30 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.04$

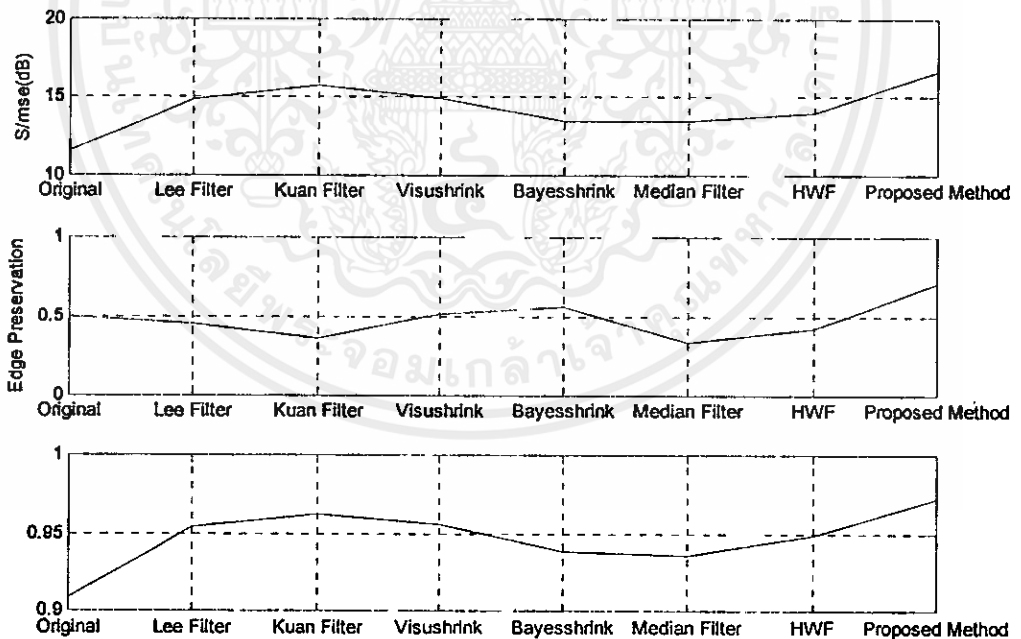
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.17 ค่ามีนสมควร์เออเรอร์(mse) ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูล (S/mse) การวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ (β) และ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพ (ρ) ที่วัดได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล บนภาพสังเคราะห์ขนาด 150x150 พิกเซล (รูปที่ 5.27) ด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ

วิธีการลดสัญญาณรบกวน	mse	S/mse	β	ρ
ภาพต้นฉบับ($\sigma^2 = 0.06$)	435.2	12.622	0.55751	0.92784
ตัวกรองแบบลี	203.24	15.785	0.53964	0.96351
ตัวกรองแบบกวน	173.95	16.461	0.42664	0.96888
วิซวลซริง	193.85	15.991	0.58377	0.96595
เบย์ซริง	280.62	14.385	0.61645	0.95095
ตัวกรองแบบ ค่ามัธยฐาน	322.26	13.784	0.43064	0.94233
ตัวกรองแบบ ไฮโมมอร์ฟิกเวเนียร์	295.65	14.158	0.44407	0.95091
วิธีการที่นำเสนอ	131.64	17.672	0.76012	0.97815
ภาพต้นฉบับ($\sigma^2 = 0.07$)	571.51	11.521	0.49968	0.90844
ตัวกรองแบบลี	256.63	14.773	0.45338	0.9541
ตัวกรองแบบกวน	208.1	15.683	0.35564	0.96246
วิซวลซริง	251.76	14.856	0.51092	0.95586
เบย์ซริง	353	13.388	0.55866	0.93904
ตัวกรองแบบ ค่ามัธยฐาน	354.24	13.373	0.3282	0.93606
ตัวกรองแบบ ไฮโมมอร์ฟิกเวเนียร์	312.67	13.915	0.42024	0.94858
วิธีการที่นำเสนอ	170.21	16.556	0.70779	0.97183



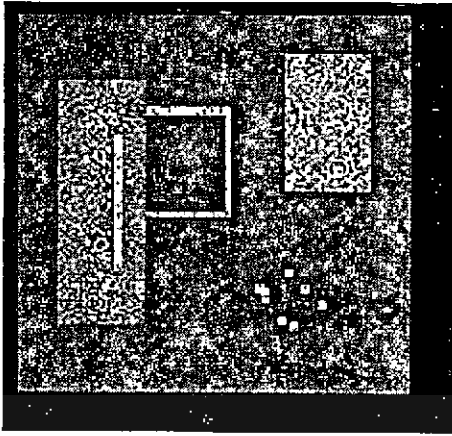
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.06$



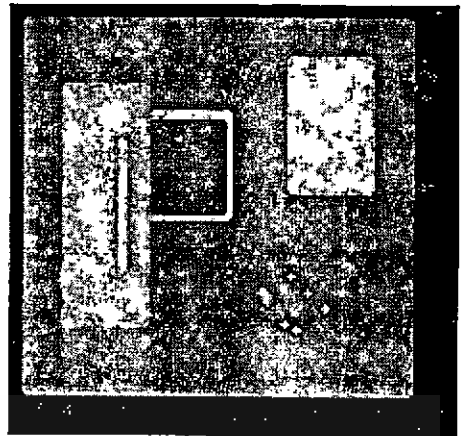
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่ $\sigma^2 = 0.07$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

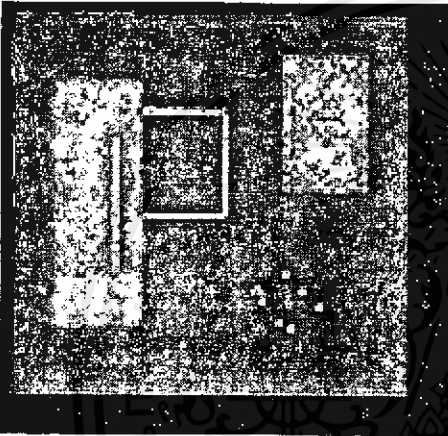
จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.16 - ตารางที่ 5.17 และกราฟรูปที่ 5.29 - รูปที่ 5.32 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ด้วยตัววัดคุณภาพของภาพทั้งสี่ชนิดที่กล่าวแล้วข้างต้น ได้แก่ ค่ามินสแควร์เออเรอร์ ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูล การวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพ และ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพ ซึ่งตัววัดแต่ละชนิดจะแสดงถึงคุณสมบัติของภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่แตกต่างกันคือ ค่ามินสแควร์เออเรอร์ที่มากจะแสดงถึงสัญญาณรบกวนที่ยังคงเหลืออยู่มากในภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน ค่าอัตราส่วนของสัญญาณภาพต่อความผิดพลาดของข้อมูลที่มากจะแสดงถึงสัญญาณรบกวนที่เหลืออยู่น้อยในภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน การวัดความสัมพันธ์ระหว่างขอบภาพที่มาก จะแสดงถึงขอบภาพที่เหลืออยู่มากในภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน และค่าความสัมพันธ์ระหว่างภาพที่มากจะแสดงถึงความเหมือนกันมากระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวน ซึ่งจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าค่าการวัดคุณภาพของภาพทั้งสี่ชนิดที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีที่นำเสนอได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเราจะทำการวัดคุณภาพของภาพโดยอาศัยการสังเกตรูปที่ 5.33 ซึ่งเป็นภาพสังเคราะห์ และรูปที่ 5.34-รูปที่ 5.35 ซึ่งเป็นภาพถ่ายอัลตราซาวด์ซึ่งได้จากการใช้เครื่องอัลตราโซนิก[22] จะเห็นได้ว่าภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ จะได้ภาพที่มีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าทำให้ได้ภาพที่ราบเรียบมากกว่า ขณะเดียวกันในบริเวณขอบภาพก็จะมีคมชัดมากกว่า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวิธีการที่นำเสนอเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล



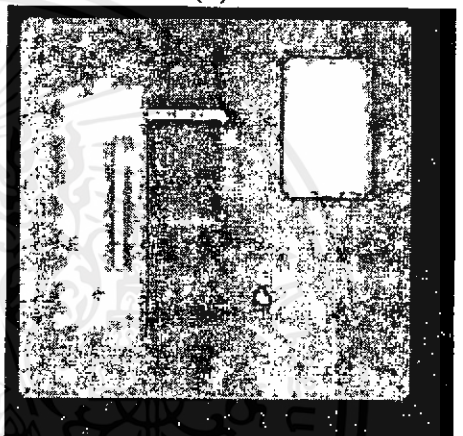
(ก)



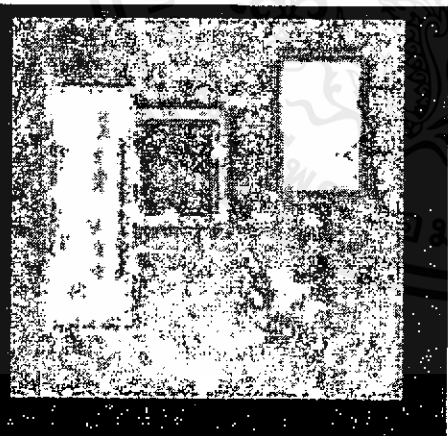
(ข)



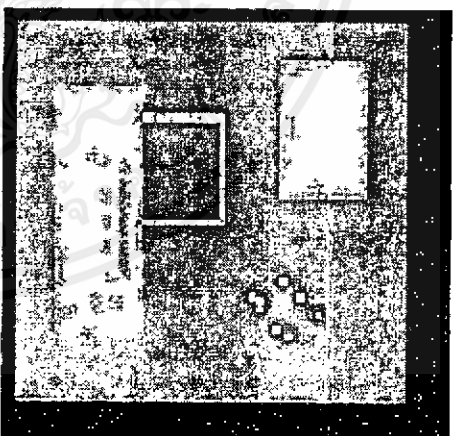
(ค)



(ง)



(จ)

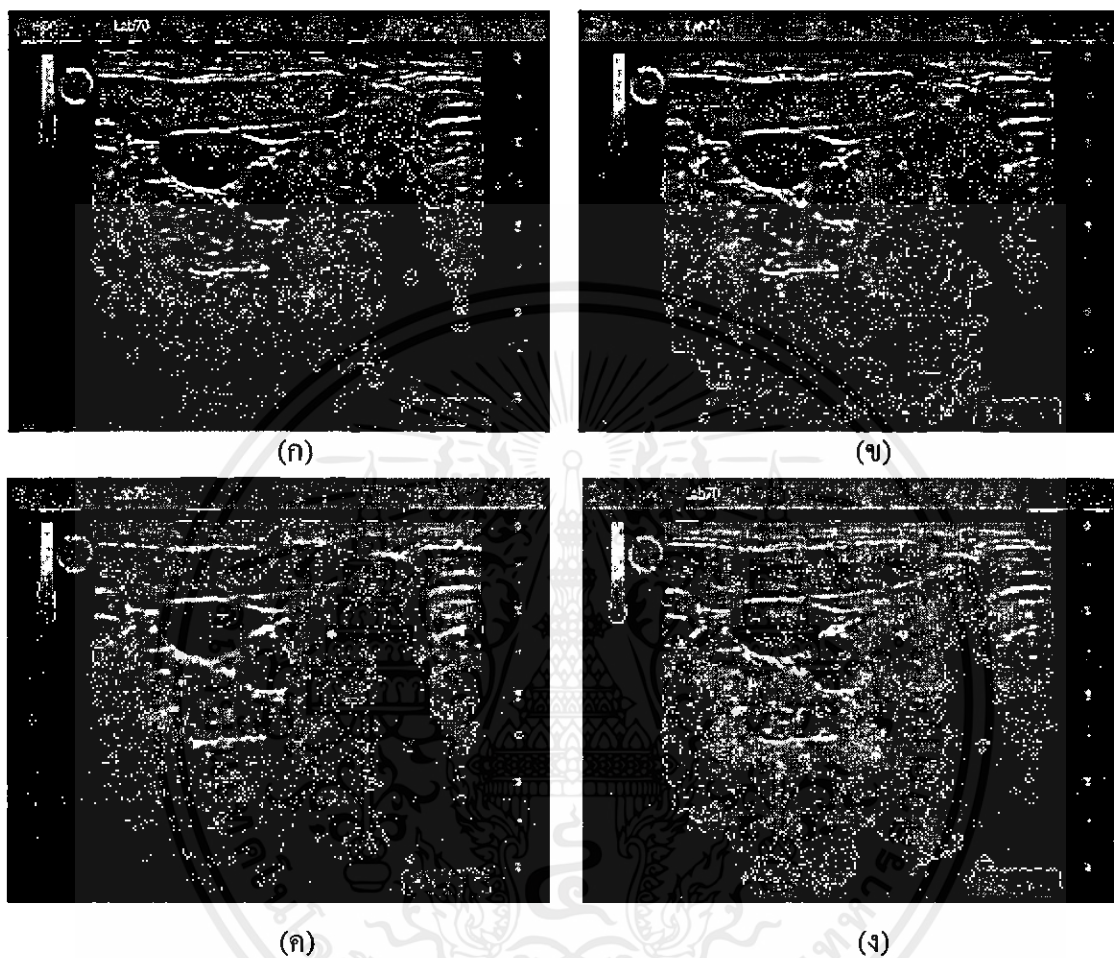


(ฉ)

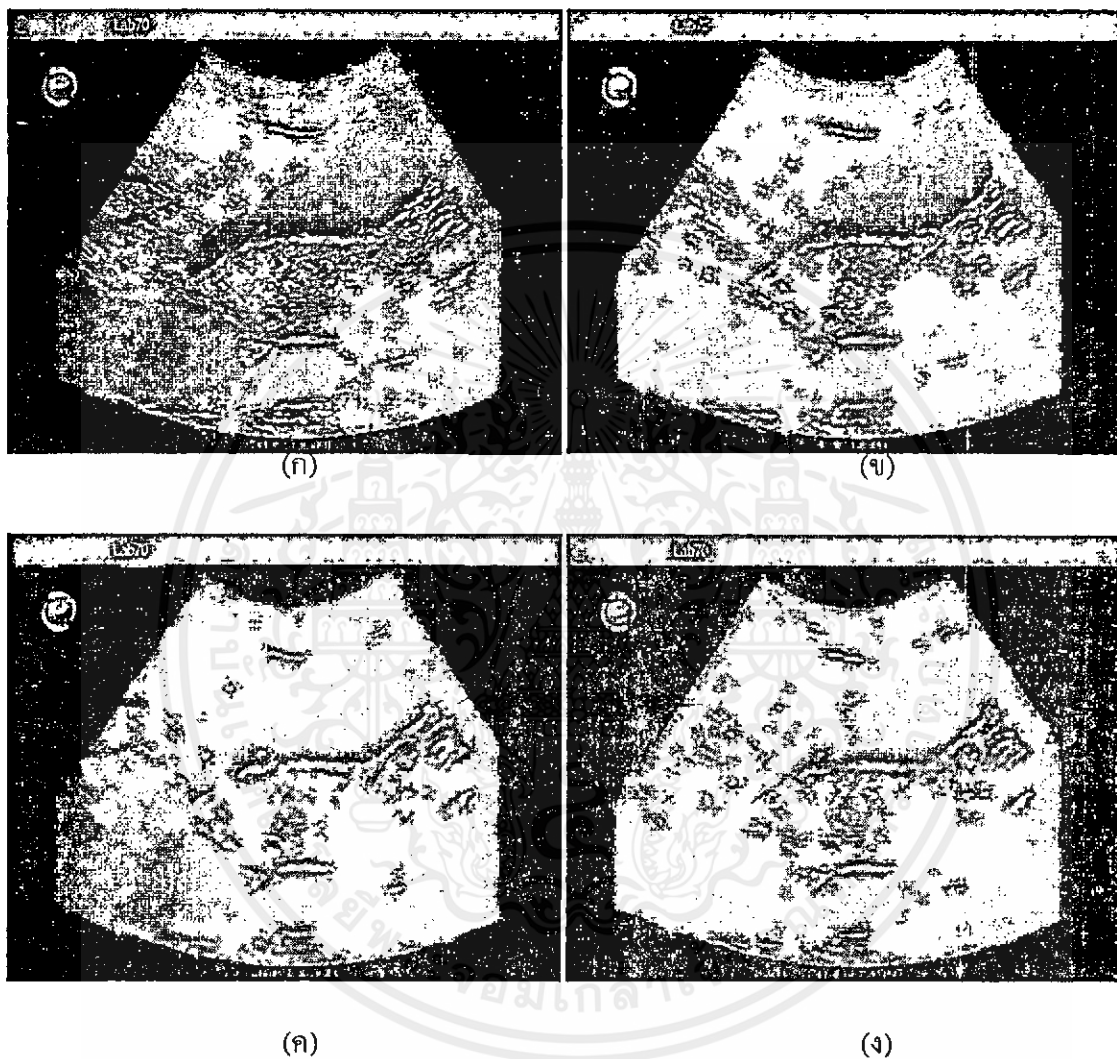
รูปที่ 5.33 ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเทิลที่มีความแปรปรวน 0.03 ด้วยวิธีการต่างๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ตัวกรองแบบลี (ค) วิชาลขริง (ง) ตัวกรองมัชชฐาน

(จ) ตัวกรองแบบไฮ โมมอร์ฟิกเวนท์เนอร์ และ (ฉ) วิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.34 ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนบนภาพอัตราขาวดำ (ไทรอยด์) ด้วยวิธีการต่างๆ
 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ตัวกรองแบบที
 (ค) ตัวกรองแบบไฮโมมอร์ฟิกเวเนียร์ และ (ง) วิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 5.35 ภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนบนภาพอัตราชาวด์ (ดับ) ด้วยวิธีการต่างๆ
 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ตัวกรองแบบลิ
 (ค) ตัวกรองแบบไฮโมมอร์ฟิกเวเนียร์ และ (ง) วิธีการที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองและแนวทางในการพัฒนา

การการลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยการประยุกต์ใช้การแปลงเฮสวิตช์ที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการอาศัยคุณสมบัติที่ดีที่แตกต่างกันของตัวกรองแบบเฮสวิตช์และตัวกรองแบบเกาส์เซียนนำมาสร้างเป็นตัวกรองที่มีคุณสมบัติตามต้องการกล่าวคือสามารถรักษารายละเอียดของภาพได้โดยไม่ทำให้ภาพสูญเสียความเป็นเนื้อเดียวกัน

6.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการนำวิธีการที่นำเสนอมาทำการทดลองในการลดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน จะเห็นได้ว่าทั้งค่าพีเอสเอ็นอาร์ ค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพ และโดยเฉพาะค่าเอสเอสไอเอ็ม ที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีการที่นำเสนอมีค่าที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่เป็นที่ยอมรับ เช่น การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย การลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ตัวกรองแบบเกาส์เซียน การลดสัญญาณรบกวนแบบซอฟต์แวร์โอลดิง และการลดสัญญาณรบกวนแบบการแปลงเฮสวิตช์แบบบล็อกย่อย กล่าวคือ ค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเอสเอสไอเอ็มที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีที่นำเสนอนั้นมีค่าที่มากกว่าค่าพีเอสเอ็นอาร์และค่าเอสเอสไอเอ็มที่ได้จากวิธีอื่น ขณะที่ค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอมีค่าที่น้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธีอื่น ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวกรองแบบเกาส์เซียนให้ค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่ดีแต่ให้ค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพที่ไม่ดี และการลดสัญญาณรบกวนแบบการแปลงเฮสวิตช์แบบบล็อกย่อยจะให้ผลในทางกลับกันคือให้ค่าพีเอสเอ็นอาร์ที่ไม่ดีแต่ให้ค่าการวัดคุณภาพจากขอบภาพที่ดี และเมื่อนำภาพที่ได้จากการลดสัญญาณรบกวนด้วยวิธีต่าง ๆ มาพิจารณาโดยอาศัยการรับรู้ของมนุษย์ซึ่งเป็นการวัดคุณภาพแบบซับเจกทีฟจะเห็นได้ว่า ภาพที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอนั้นเป็นภาพที่มีคุณภาพที่ดีกว่าวิธีการอื่น กล่าวคือ เป็นภาพที่มีความคมชัดมากกว่าวิธีอื่นและปรากฏสัญญาณรบกวนน้อยกว่าวิธีอื่นเช่นกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้มีการนำเสนอการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งในแบบอัตโนมัติ และแบบปรับตามความต้องการของผู้ใช้งานซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานมากยิ่งขึ้น และยังได้นำเสนอการประยุกต์ใช้กับภาพถ่ายอัลตราซาวด์ซึ่งเครื่องมือที่มีประโยชน์อย่างมากต่อวงการแพทย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจากผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นว่าภาพที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอนั้นเป็นภาพที่มีคุณภาพสูงกว่าภาพที่ได้จาก

ไม่ว่าการมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการอื่นๆทั้งในเรื่องของความเป็นเนื้อเดียวกันของภาพและการรักษารายละเอียดของภาพเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการพื้นฐานอื่นๆที่ใช้ในการลดสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิล เช่น ตัวกรองแบบลี ตัวกรองแบบกวน ตัวกรองแบบค่านีชชาน ตัวกรองแบบไฮโมมอฟิกเวนเนอร์ การลดสัญญาณรบกวนโดยการแปลงเวฟเล็ตโดยอาศัยการเทรสโฮลด์แบบวิซวลซริง และเบย์ซริง เช่นกัน

6.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับสัญญาณรบกวนแบบสเปกเกิลนั้น เนื่องจากภาพต้นฉบับที่ได้จากภาพถ่ายอัลตราซาวด์นั้นโดยปกติแล้วจะมีสัญญาณรบกวนปรากฏอยู่ ซึ่งตัววัดคุณภาพของภาพส่วนใหญ่ที่มีการพัฒนาในปัจจุบันนั้นเป็นตัววัดคุณภาพที่ต้องอาศัยภาพต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวนมาทำการเปรียบเทียบซึ่งภาพดังกล่าวไม่สามารถหาได้ในทางปฏิบัติ ในการทดลองนี้จึงได้แก้ปัญหาโดยการใช้ภาพที่ทำการสังเคราะห์ขึ้นให้มีลักษณะใกล้เคียงกับภาพอัลตราซาวด์มาทำการทดลอง และเปรียบเทียบผลการทดลอง ดังนั้น หากมีการพัฒนาตัววัดคุณภาพของภาพที่ไม่ต้องอาศัยภาพต้นฉบับที่ปราศจากสัญญาณรบกวนมาทำการเปรียบเทียบแล้ว ควรจะมีการศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติของการลดสัญญาณรบกวนที่ดียิ่งขึ้น

6.3 แนวทางในการพัฒนา

ในการพัฒนาต่อไปนั้นผู้พัฒนาสามารถพัฒนาตัวกรองดังกล่าวให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น โดยทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามลักษณะการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถนำแนวคิดดังกล่าวเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาตัวกรองเพื่อการลดสัญญาณรบกวนประเภทอื่นๆเช่นสัญญาณรบกวนแบบซอล แอนด์เปปเปอร์(Salt and Pepper) และยังสามารถนำแนวคิดดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับการกระบวนการรู้จำจากสัญญาณภาพ (Image Pattern Recognition) โดยนำไปเป็นเครื่องมือช่วยในการดึงลักษณะเด่นของข้อมูล (Feature Extraction) ซึ่งจะทำได้ค่าความแม่นยำในการรู้จำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mcandrew, An Introduction to Digital Image Processing with Matlab, Thomson. 2004.
- [2] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall, 2001
- [3] ศศ.ดร.สมเกียรติ อุดมพระยากุล, การประมวลผลภาพเบื้องต้น, สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550
- [4] D. L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding," IEEE Transaction on Information Theory, Vol.41(3), pp. 613-627. May 1995.
- [5] K. Konstantinides, B. Natarajan, and G. S. Yovanof, "Noise estimation and filtering using block-based singular value decomposition," IEEE Transactions on Image Processing Vol. 6(3), pp. 479-483, Mar 1997.
- [6] K. Konstantinides and K. Yao, "Statistical analysis of effective singular values in matrix rank determination," IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing Vol. 36(5), pp. 757-763, May 1988.
- [7] Z. Hou, "Adaptive singular value decomposition in wavelet domain for image denoising," Pattern Recognition, Vol. (36), pp. 1747-1763, 2003.
- [8] S. G. Chang and Y. Bin, and M. Vetterli, "Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression," IEEE Transactions on Image Processing Vol. (9), pp. 1532-1546. Sep 2000.
- [9] A. Achim, "Novel Bayesian Multiscale Method for Speckle Removal in Medical Ultrasound Images", IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol.20(8), pp.772-783. Aug 2002
- [10] J. Scharcanski, C. R. Jung and R. T. Clarke, "Adaptive image denoising using scale and space consistency," IEEE Transactions on Image Processing Vol. 6(9), pp.1092-1101, Sep 2002.
- [11] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, and E. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity" IEEE Transactions on Image processing, Vol.13 (4) pp. 600-612, April 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] X. Hao, S. Gao, "A Novel Multiscale Nonlinear Thresholding Method for Ultrasonic Speckle Suppression", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.18(9),pp.787-794. Sep 1999
- [13] S. Gupta, L. Kaur, R.C. Chauhan, S.C. Saxena, "A versatile technique for visual enhancement of medical ultrasound images", *Digital Signal Processing*, Vol.17,pp.542-560. Jan 2007
- [14] A. Pizurica, W. Philips, "A Versatile Wavelet Domain Noise Filtration Technique for Medical Imaging", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.22(3),pp.323-331. Mar 2003
- [15] A. Lopes, R. Touzi, E. Nezry, "Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity", *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*, Vol.28(6),pp.992-1000. Nov 1990
- [16] Chang, S.G.; Bin Yu; Vetterli, M.; Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression, *IEEE Transactions on Image Processing* Volume 9, Issue 9, 1532-1546. Sep 2000.
- [17] Scharcanski, J.; Jung, C.R.; Clarke, R.T.; Adaptive image denoising using scale and space consistency, *IEEE Transactions on Image Processing* Volume 6, Issue 9, 1092-1101. Sep 2002.
- [18] I. Avcibas, B. Sankur and K. Sayood, "Statistical Evaluation of Image Quality Measure", *Journal of Electronic Image*, vol. 11(2), 206-223, Apr. 2002.
- [19] Y. Xu, J.B. Weaver, D.M. Healy, and J. Lu, "Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration techniques," *IEEE Transactions on Image Processing*, Volume 3, pp. 747-758, 1994
- [20] N. Yamsang, S. Udomhunsakul, "Influence of SFM to objective assessment of compressed image", *Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 2007, pp.704 – 709, 2007
- [21] <http://www.inf.uni-konstanz.de/cgip/fractal2/software/other/?C=S;O=A>
- [22] <http://www.esaote.com/PRODUCTS/ultrasound/clinicalAppl/Products1.htm>
- [23] <http://www.mathworks.com>
- [24] <http://www.angelfire.com/ok/xrayweb/ultrasound.html>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

หมายเหตุ

- (1) คือ ภาพต้นฉบับที่ยังไม่ได้ทำการลดสัญญาณรบกวน
- (2) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย
- (3) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน
- (4) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณโดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ตแบบซอฟต์แวร์สโกลดิ้ง
- (5) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนโดยอาศัยการแปลงเอสวีดีแบบบล็อคอ้อย
- (6) คือ ภาพต้นฉบับที่ผ่านการลดสัญญาณรบกวนโดยวิธีการที่นำเสนอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 36

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	32.562	28.127	28.206	32.432	35.307	35.476
(ข)	32.556	25.587	25.887	30.541	34.515	33.823
(ค)	32.556	35.031	35.756	36.067	35.959	38.019
(ง)	32.558	25.77	25.93	30.431	34.357	33.384
(จ)	32.559	29.834	30.348	32.429	34.452	34.275
(ฉ)	32.556	32.087	35.048	35.175	35.739	37.036
(ช)	32.559	32.629	33.77	34.559	35.144	36.181
(ฌ)	32.559	27.981	28.305	30.26	33.747	32.076
(ฉ)	32.561	25.216	26.004	29.846	34.43	32.636
(ญ)	32.558	29.583	30.351	32.809	34.623	34.594
(ฎ)	32.56	28.883	29.293	31.723	34.569	34.055
(ฏ)	32.557	31.574	33.097	34.284	34.776	35.78
(ฐ)	32.559	31.208	32.622	34.213	35.321	36.02
(ฑ)	32.56	33.979	34.457	35.411	36.081	37.407
(ฒ)	32.557	25.096	25.193	29.997	34.352	33.631
(ณ)	32.556	30.346	30.608	32.434	34.571	34.088
(ด)	32.558	33.297	33.479	34.752	34.735	35.388
(ต)	32.558	30.798	32.064	33.316	34.031	34.793
(ถ)	32.558	32.883	33.393	34.137	34.72	35.556
(ท)	32.556	35.496	35.663	35.871	36.207	38.353
(ธ)	32.557	37.81	38.463	36.963	36.322	39.26
(น)	32.558	32.748	32.941	33.518	34.245	34.504

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 36

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.006866	0.054486	0.053704	0.013574	0.004099	0.004879
(ข)	0.00667	0.089834	0.085333	0.020543	0.004772	0.007061
(ค)	0.007544	0.009044	0.00785	0.00575	0.003943	0.003064
(ง)	0.007652	0.06963	0.067348	0.016892	0.004715	0.006862
(จ)	0.007011	0.02969	0.026565	0.012105	0.004933	0.006969
(ฉ)	0.007651	0.015482	0.007303	0.006624	0.004322	0.003927
(ช)	0.006564	0.014485	0.011254	0.00766	0.00446	0.004782
(ซ)	0.006981	0.044513	0.041689	0.020089	0.005666	0.011747
(ฌ)	0.007323	0.083842	0.066674	0.023782	0.004495	0.009743
(ญ)	0.006807	0.031448	0.027142	0.012142	0.004897	0.006642
(ฎ)	0.007346	0.038593	0.035271	0.015391	0.004838	0.007198
(ฏ)	0.007133	0.017034	0.011792	0.007656	0.004786	0.005197
(ฐ)	0.007623	0.022329	0.015931	0.009199	0.00429	0.004825
(ฑ)	0.007824	0.013049	0.011968	0.007442	0.003916	0.003946
(ฒ)	0.006842	0.084262	0.082709	0.021265	0.004946	0.008639
(ณ)	0.007382	0.026845	0.025426	0.013116	0.004902	0.008295
(ด)	0.007151	0.014847	0.014355	0.00815	0.005354	0.006871
(ต)	0.00685	0.019849	0.013747	0.008135	0.004404	0.004692
(ถ)	0.006996	0.013246	0.01167	0.0074	0.004376	0.004853
(ท)	0.007378	0.007225	0.006954	0.005314	0.003	0.002272
(ธ)	0.007513	0.002692	0.002106	0.003661	0.003124	0.001641
(น)	0.006722	0.01354	0.013003	0.009461	0.005386	0.00821

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 36

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.80705	0.92951	0.92982	0.92203	0.91987	0.96188
(ข)	0.8543	0.88761	0.8883	0.91543	0.92569	0.95195
(ค)	0.76166	0.93822	0.93834	0.90773	0.89159	0.95096
(ง)	0.79789	0.82556	0.82647	0.85986	0.89787	0.91537
(จ)	0.82986	0.89735	0.89787	0.90426	0.9039	0.93554
(ฉ)	0.77181	0.9424	0.94269	0.91278	0.8993	0.9557
(ช)	0.83123	0.93535	0.93565	0.92511	0.91377	0.95271
(ฌ)	0.85546	0.87774	0.87836	0.89359	0.91412	0.92313
(ฉ)	0.84589	0.82406	0.82529	0.87434	0.91694	0.92369
(ญ)	0.83377	0.92157	0.92189	0.9162	0.91011	0.94524
(ฎ)	0.80232	0.89644	0.89702	0.89595	0.90164	0.93833
(ฏ)	0.78252	0.90205	0.90242	0.89036	0.87689	0.92388
(ฐ)	0.76714	0.92029	0.92062	0.8968	0.88727	0.93861
(ฑ)	0.75655	0.93864	0.9388	0.90791	0.89644	0.95055
(ฒ)	0.84367	0.75024	0.75166	0.86692	0.90891	0.9265
(ณ)	0.81095	0.87121	0.87179	0.87774	0.89501	0.9166
(ด)	0.8314	0.93936	0.93952	0.92681	0.90692	0.94611
(ต)	0.79652	0.8619	0.86219	0.84877	0.84324	0.88226
(ถ)	0.79147	0.89116	0.89143	0.88122	0.87341	0.91636
(ท)	0.71602	0.90335	0.90346	0.86926	0.85646	0.92301
(ธ)	0.72591	0.92119	0.92123	0.884	0.86661	0.93604
(น)	0.83148	0.87967	0.88006	0.88339	0.8846	0.90236

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 49

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	31.221	28.085	28.154	31.698	34.161	34.651
(ข)	31.222	25.533	25.82	29.851	33.385	32.873
(ค)	31.22	34.735	35.382	35.174	34.81	37.272
(ง)	31.221	25.735	25.885	29.84	33.24	32.408
(จ)	31.22	29.735	30.223	31.806	33.325	33.465
(ฉ)	31.222	31.945	34.75	34.414	34.593	36.254
(ช)	31.22	32.463	33.556	33.821	34.013	35.512
(ฌ)	31.22	27.891	28.197	29.798	32.543	31.272
(ฉ)	31.221	25.187	25.958	29.24	33.245	31.763
(ญ)	31.221	29.459	30.203	32.139	33.556	33.75
(ฎ)	31.222	28.797	29.185	31.158	33.481	33.222
(ฏ)	31.221	31.412	32.871	33.578	33.713	35.113
(ฐ)	31.222	31.086	32.442	33.471	34.24	35.262
(ฑ)	31.223	33.733	34.176	34.608	34.888	36.533
(ฒ)	31.222	25.065	25.152	29.345	33.239	32.891
(ณ)	31.222	30.235	30.478	31.851	33.484	33.423
(ด)	31.221	33.099	33.261	34.054	33.572	34.672
(ต)	31.221	30.697	31.913	32.735	33.169	34.308
(ถ)	31.221	32.697	33.175	33.504	33.729	34.877
(ท)	31.222	35.187	35.33	34.981	35.25	37.643
(ธ)	31.221	37.249	37.805	35.989	35.294	38.63
(น)	31.222	32.587	32.761	32.969	33.232	34.037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 49

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.009748	0.05443	0.053767	0.016192	0.005525	0.006052
(ข)	0.009321	0.090525	0.086218	0.024312	0.006379	0.009101
(ค)	0.01059	0.009403	0.008258	0.007229	0.005217	0.003741
(ง)	0.010627	0.06991	0.067757	0.019783	0.006258	0.008918
(จ)	0.009653	0.029843	0.026781	0.014031	0.006459	0.008624
(ฉ)	0.010533	0.015732	0.00756	0.007988	0.005605	0.004595
(ช)	0.008961	0.014641	0.01143	0.009017	0.005902	0.005668
(ซ)	0.009586	0.04502	0.042319	0.022453	0.007685	0.01461
(ฌ)	0.010281	0.084008	0.066947	0.027793	0.00613	0.012761
(ญ)	0.009482	0.031854	0.027593	0.014298	0.006366	0.008263
(ฎ)	0.010179	0.039026	0.035821	0.01776	0.00649	0.009071
(ฏ)	0.009899	0.01737	0.012184	0.009206	0.006137	0.006309
(ฐ)	0.010642	0.022628	0.016251	0.011051	0.005713	0.005923
(ฑ)	0.010954	0.013358	0.012305	0.009023	0.005279	0.004976
(ฒ)	0.009493	0.08422	0.082788	0.024821	0.006522	0.010347
(ณ)	0.01027	0.027052	0.025702	0.015058	0.006498	0.009788
(ด)	0.009776	0.015112	0.014662	0.009547	0.006971	0.008147
(ต)	0.009557	0.020002	0.013952	0.009663	0.005589	0.00545
(ถ)	0.009744	0.013442	0.011898	0.008686	0.005656	0.005867
(ท)	0.01047	0.007408	0.007158	0.006777	0.003902	0.002637
(ธ)	0.010566	0.002975	0.002397	0.00484	0.004126	0.001901
(น)	0.009202	0.013611	0.013111	0.010626	0.006753	0.00907

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาฉบับรวมนำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาฉบับรวมเท่ากับ 49

ภาพ	วิธีการลดสัญญาฉบับรวม					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.76141	0.92075	0.92096	0.9016	0.89726	0.9537
(ข)	0.81864	0.88011	0.88061	0.89816	0.90784	0.94312
(ค)	0.70852	0.92938	0.92944	0.88649	0.86536	0.94371
(ง)	0.75164	0.81757	0.81818	0.83879	0.87143	0.89917
(จ)	0.78899	0.88977	0.89008	0.88714	0.8816	0.92611
(ฉ)	0.72066	0.934	0.93421	0.89535	0.87376	0.94814
(ช)	0.78848	0.92838	0.92857	0.90949	0.89268	0.94541
(ฌ)	0.8194	0.87074	0.87118	0.87818	0.89142	0.91143
(ฉ)	0.80913	0.8178	0.81865	0.85377	0.89764	0.90981
(ญ)	0.79384	0.91419	0.91444	0.89973	0.88939	0.93703
(ฎ)	0.75624	0.88768	0.88804	0.87707	0.87616	0.92779
(ฏ)	0.73065	0.89268	0.89298	0.87022	0.8485	0.91452
(ฐ)	0.71431	0.91021	0.91045	0.87492	0.86023	0.92911
(ฑ)	0.70331	0.92812	0.9282	0.88611	0.86939	0.94076
(ฒ)	0.80541	0.74414	0.74508	0.84561	0.88839	0.91631
(ณ)	0.76715	0.8632	0.86352	0.85862	0.87113	0.90652
(ด)	0.78979	0.93237	0.93245	0.91184	0.88266	0.9385
(ต)	0.74684	0.85403	0.85423	0.83021	0.81828	0.87511
(ถ)	0.74193	0.88308	0.88322	0.86204	0.84877	0.90755
(ท)	0.65296	0.89176	0.89181	0.84275	0.82905	0.91386
(ธ)	0.66487	0.90974	0.90976	0.85991	0.83853	0.92841
(น)	0.78865	0.87356	0.87374	0.86846	0.85987	0.89484

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 64

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	30.061	28.002	28.064	31.025	33.115	33.617
(ข)	30.063	25.504	25.784	29.21	32.342	31.96
(ค)	30.063	34.422	35.013	34.35	33.88	36.598
(ง)	30.064	25.708	25.848	29.325	32.31	31.715
(จ)	30.063	29.627	30.092	31.204	32.367	32.752
(ฉ)	30.064	31.745	34.374	33.64	33.551	35.582
(ช)	30.063	32.278	33.301	33.077	33.104	34.863
(ซ)	30.063	27.859	28.149	29.4	31.717	30.656
(ฌ)	30.064	25.149	25.913	28.76	32.23	30.988
(ฎ)	30.062	29.4	30.107	31.49	32.535	32.985
(ฏ)	30.063	28.71	29.085	30.53	32.482	32.447
(ถ)	30.063	31.263	32.662	32.866	32.779	34.526
(ฑ)	30.064	30.946	32.242	32.782	33.251	34.59
(ฒ)	30.064	33.476	33.88	33.871	33.817	35.767
(ณ)	30.064	25.027	25.107	28.766	32.277	32.266
(ด)	30.062	30.137	30.366	31.323	32.526	32.828
(ค)	30.063	32.873	33.023	33.419	32.612	34.019
(ต)	30.063	30.557	31.725	32.161	32.41	33.86
(ถ)	30.064	32.507	32.952	32.89	32.826	34.293
(ท)	30.063	34.815	34.941	34.168	34.289	36.959
(ธ)	30.063	36.701	37.184	35.09	34.399	38.026
(น)	30.064	32.368	32.536	32.421	32.373	33.575

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ และอาจมีข้อมูลที่เป็นความลับ กรุณาอย่าเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ
วิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 64

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.01301	0.055119	0.05451	0.019246	0.00719	0.008103
(ข)	0.01228	0.090521	0.08629	0.028402	0.00818	0.011547
(ค)	0.014159	0.009761	0.00862	0.008839	0.006647	0.004332
(ง)	0.0142	0.069866	0.067846	0.022665	0.007993	0.010669
(จ)	0.012748	0.030288	0.027295	0.016296	0.008095	0.0103
(ฉ)	0.014051	0.01627	0.008165	0.009717	0.007128	0.005536
(ช)	0.012051	0.015016	0.011812	0.010701	0.007451	0.006701
(ซ)	0.012892	0.044952	0.042323	0.024711	0.009468	0.017726
(ฌ)	0.013671	0.084081	0.06711	0.031044	0.008163	0.016052
(ญ)	0.012572	0.03201	0.027879	0.016601	0.008149	0.010208
(ฎ)	0.013634	0.039328	0.036163	0.020664	0.008208	0.010961
(ฏ)	0.013298	0.017637	0.012453	0.010995	0.007902	0.007291
(ฐ)	0.014341	0.022926	0.016603	0.013101	0.007287	0.007134
(ฑ)	0.01463	0.013761	0.012734	0.01074	0.006865	0.005876
(ฒ)	0.012658	0.084157	0.082824	0.02841	0.008284	0.011973
(ณ)	0.013761	0.027233	0.025927	0.017198	0.008348	0.011535
(ด)	0.013052	0.015445	0.015009	0.011014	0.008751	0.009613
(ต)	0.012787	0.020293	0.014276	0.011416	0.006954	0.006198
(ถ)	0.01311	0.013696	0.012194	0.010275	0.007205	0.006882
(ท)	0.014251	0.007685	0.007446	0.008438	0.005174	0.003083
(ธ)	0.014274	0.003312	0.002741	0.006302	0.005332	0.002178
(ณ)	0.012193	0.013907	0.013403	0.011984	0.008282	0.010115

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 64

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.71845	0.9114	0.91156	0.88138	0.87454	0.94454
(ข)	0.78371	0.875	0.87536	0.8829	0.88909	0.93539
(ค)	0.65614	0.91753	0.91757	0.86317	0.83881	0.93434
(ง)	0.70911	0.80799	0.80834	0.81686	0.84564	0.88749
(จ)	0.74974	0.88226	0.88246	0.8684	0.86003	0.91656
(ฉ)	0.67213	0.92225	0.92243	0.87218	0.84565	0.93945
(ช)	0.74652	0.92155	0.92167	0.89238	0.87129	0.93869
(ช)	0.78363	0.86518	0.86543	0.86181	0.87244	0.90152
(ฉ)	0.77406	0.81038	0.81101	0.83619	0.87606	0.89474
(ญ)	0.75378	0.9074	0.90757	0.88323	0.86565	0.92867
(ฎ)	0.71528	0.87935	0.87962	0.85577	0.85426	0.91721
(ฎ)	0.67975	0.8832	0.88342	0.84788	0.81942	0.90476
(ฏ)	0.6654	0.89914	0.89934	0.85133	0.8316	0.91969
(ฑ)	0.65305	0.9166	0.91664	0.86271	0.83914	0.93098
(ฒ)	0.76842	0.73713	0.73777	0.82346	0.86747	0.90627
(ณ)	0.72508	0.85521	0.85538	0.83948	0.84628	0.89639
(ด)	0.75006	0.92514	0.92518	0.89682	0.86115	0.93132
(ด)	0.69826	0.84491	0.84505	0.81096	0.79469	0.86702
(ถ)	0.69403	0.87331	0.87339	0.84129	0.82127	0.89807
(ท)	0.59583	0.87838	0.87842	0.81545	0.79822	0.90425
(ธ)	0.60704	0.89666	0.89668	0.83297	0.81041	0.91913
(น)	0.7456	0.86551	0.86559	0.85114	0.83548	0.88558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และอาจมีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 81

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	29.041	27.926	27.981	30.448	32.267	32.777
(ข)	29.041	25.462	25.735	28.718	31.546	31.348
(ค)	29.042	34.101	34.643	33.586	33.203	36.026
(ง)	29.041	25.651	25.786	28.854	31.359	31.016
(จ)	29.041	29.522	29.968	30.76	31.49	32.112
(ฉ)	29.042	31.586	34.111	32.969	32.812	35.101
(ช)	29.042	32.064	33.045	32.466	32.335	34.194
(ซ)	29.04	27.75	28.035	28.991	30.768	30.175
(ฌ)	29.041	25.109	25.851	28.266	31.491	30.294
(ญ)	29.042	29.29	29.981	30.939	31.819	32.407
(ฎ)	29.041	28.631	28.992	30.019	31.638	31.723
(ฏ)	29.041	31.137	32.459	32.248	32.095	34.059
(ฐ)	29.042	30.787	32.029	32.171	32.526	33.988
(ฑ)	29.041	33.215	33.591	33.171	33.033	35.11
(ฒ)	29.041	24.989	25.063	28.261	31.496	31.649
(ณ)	29.042	30.001	30.219	30.824	31.79	32.324
(ด)	29.04	32.639	32.773	32.754	31.774	33.463
(ต)	29.042	30.413	31.541	31.629	31.922	33.438
(ถ)	29.041	32.28	32.702	32.309	32.162	33.772
(ท)	29.04	34.45	34.565	33.46	33.738	36.356
(ธ)	29.042	36.159	36.585	34.254	33.822	37.416
(น)	29.042	32.161	32.309	31.893	31.729	33.192

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 81

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.016798	0.055447	0.054922	0.022145	0.008983	0.009816
(ข)	0.015987	0.090965	0.086802	0.03215	0.01005	0.01336
(ค)	0.018257	0.010147	0.009015	0.010659	0.007934	0.004947
(ง)	0.018316	0.070302	0.068333	0.02582	0.010188	0.012903
(จ)	0.016473	0.030451	0.027538	0.018272	0.010494	0.012393
(ฉ)	0.018148	0.016596	0.008403	0.011706	0.008797	0.006211
(ช)	0.015439	0.015323	0.012131	0.012237	0.009101	0.007843
(ซ)	0.016304	0.045701	0.043086	0.027416	0.012124	0.020041
(ฌ)	0.017624	0.08474	0.067938	0.03506	0.009978	0.01975
(ญ)	0.016359	0.032412	0.028267	0.019003	0.009886	0.01204
(ฎ)	0.017623	0.039435	0.036388	0.023462	0.010656	0.013605
(ฏ)	0.017172	0.017887	0.012735	0.012799	0.009459	0.008179
(ฐ)	0.018471	0.023345	0.017043	0.015317	0.008956	0.008465
(ฑ)	0.018991	0.014137	0.013125	0.012687	0.008506	0.006884
(ฒ)	0.016213	0.083999	0.082713	0.031989	0.010139	0.013891
(ณ)	0.017696	0.027661	0.026385	0.019421	0.010273	0.013159
(ด)	0.016856	0.015817	0.015408	0.012821	0.011041	0.010869
(ต)	0.016625	0.02061	0.01458	0.013243	0.008221	0.006985
(ถ)	0.016916	0.014036	0.012518	0.011954	0.008644	0.007943
(ท)	0.018494	0.007982	0.007749	0.010134	0.006073	0.003502
(ธ)	0.018542	0.003739	0.003162	0.008016	0.006312	0.002538
(น)	0.015757	0.014169	0.013699	0.013505	0.009959	0.010992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 81

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.67922	0.90289	0.90298	0.86266	0.85721	0.93639
(ข)	0.75034	0.86841	0.86867	0.86744	0.87682	0.92809
(ค)	0.60869	0.90519	0.90523	0.83941	0.81732	0.92525
(ง)	0.67122	0.79971	0.79994	0.79637	0.82425	0.87428
(จ)	0.71177	0.87355	0.87369	0.85056	0.83683	0.90561
(ฉ)	0.62563	0.91143	0.9116	0.84895	0.82592	0.93112
(ช)	0.7048	0.91322	0.9133	0.8749	0.85469	0.92964
(ซ)	0.74961	0.857	0.85715	0.84559	0.85247	0.89211
(ฌ)	0.73944	0.80328	0.80368	0.8176	0.86277	0.88097
(ญ)	0.71573	0.89873	0.89884	0.86575	0.85025	0.92109
(ฎ)	0.67464	0.86815	0.86833	0.83299	0.83244	0.90406
(ฏ)	0.63372	0.87281	0.87301	0.82717	0.79888	0.89527
(ฐ)	0.62033	0.88781	0.88797	0.82927	0.81133	0.9097
(ฑ)	0.60682	0.90319	0.90323	0.83683	0.81644	0.92017
(ฒ)	0.73292	0.7292	0.72961	0.80201	0.85044	0.89433
(ณ)	0.68435	0.84533	0.84543	0.81876	0.82616	0.88604
(ด)	0.71133	0.91583	0.91585	0.8774	0.83873	0.92318
(ต)	0.65269	0.83499	0.83511	0.79079	0.77757	0.85852
(ถ)	0.64949	0.86286	0.86291	0.82061	0.80146	0.8889
(ท)	0.5419	0.86345	0.86347	0.78762	0.77852	0.89289
(ธ)	0.55399	0.88284	0.88286	0.80545	0.78975	0.9086
(น)	0.70322	0.85683	0.85687	0.83285	0.81433	0.87734

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาฉบับรวมวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาฉบับรวมเท่ากับ 121

ภาพ	วิธีการลดสัญญาฉบับรวม					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	27.299	27.768	27.811	29.484	30.72	31.525
(ข)	27.301	25.357	25.612	27.832	29.999	30.063
(ค)	27.298	33.41	33.868	32.286	31.713	34.878
(ง)	27.298	25.554	25.678	28.01	29.955	29.906
(จ)	27.3	29.261	29.663	29.806	29.965	31.056
(ฉ)	27.301	31.203	33.397	31.634	31.363	34.045
(ช)	27.3	31.638	32.497	31.286	30.939	33.317
(ฌ)	27.299	27.606	27.875	28.338	29.311	29.212
(ฉ)	27.3	25.003	25.722	27.473	30.005	29.309
(ญ)	27.3	29.032	29.665	29.94	30.399	31.331
(ฎ)	27.3	28.399	28.729	29.124	30.214	30.545
(ฏ)	27.299	30.728	31.908	31.066	30.698	33.201
(ฐ)	27.301	30.47	31.593	31.04	31.067	33.032
(ฑ)	27.3	32.617	32.939	31.922	31.539	33.982
(ฒ)	27.299	24.895	24.961	27.337	29.975	30.605
(ณ)	27.3	29.713	29.911	29.904	30.428	31.423
(ด)	27.3	32.138	32.252	31.593	30.332	32.567
(ต)	27.299	30.099	31.137	30.641	30.69	32.695
(ถ)	27.3	31.805	32.174	31.23	30.783	32.869
(ท)	27.3	33.684	33.768	32.103	32.224	35.197
(ธ)	27.3	35.062	35.384	32.741	32.345	36.312
(น)	27.3	31.671	31.803	30.907	30.434	32.505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ในการดำเนินงานในลักษณะที่ระบุไว้ในเอกสารการกำกับดูแล
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 121

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.026086	0.056029	0.05562	0.027915	0.013323	0.013216
(ข)	0.024579	0.091525	0.087573	0.039768	0.014903	0.019316
(ค)	0.028216	0.011217	0.010099	0.01483	0.011642	0.006744
(ง)	0.028263	0.070844	0.068999	0.032368	0.014678	0.017823
(จ)	0.025294	0.031432	0.028539	0.023073	0.015093	0.016401
(ฉ)	0.028172	0.017678	0.009627	0.016498	0.012834	0.0081
(ช)	0.023841	0.016022	0.012872	0.016201	0.012523	0.00989
(ซ)	0.025139	0.045733	0.043226	0.031552	0.01758	0.026232
(ฌ)	0.027674	0.085629	0.068789	0.04257	0.015016	0.025627
(ญ)	0.025236	0.033433	0.029394	0.024142	0.014379	0.015962
(ฎ)	0.027229	0.040706	0.037703	0.029306	0.01504	0.018846
(ฏ)	0.026521	0.018822	0.01375	0.017248	0.013289	0.009845
(ฐ)	0.028647	0.024302	0.018071	0.020241	0.013204	0.010938
(ฑ)	0.029257	0.015279	0.014289	0.017194	0.012368	0.008924
(ฒ)	0.025206	0.083892	0.082711	0.039331	0.014931	0.017754
(ณ)	0.027411	0.028447	0.0272	0.02431	0.014596	0.016738
(ด)	0.025838	0.016668	0.016279	0.016744	0.015454	0.013334
(ต)	0.026009	0.021398	0.015382	0.017566	0.011648	0.00871
(ถ)	0.026195	0.01481	0.013312	0.015911	0.012459	0.010218
(ท)	0.029239	0.008952	0.008742	0.014694	0.009374	0.004801
(ธ)	0.029001	0.0048	0.004226	0.012226	0.009542	0.003379
(น)	0.024189	0.014869	0.0144	0.01686	0.01347	0.012499

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 121

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.60901	0.88023	0.88026	0.82062	0.81105	0.9166
(ข)	0.68698	0.85058	0.85072	0.82876	0.83675	0.90759
(ค)	0.52461	0.87914	0.87916	0.79201	0.76109	0.90493
(ง)	0.59992	0.77536	0.77548	0.7503	0.77234	0.84506
(จ)	0.64023	0.85466	0.85473	0.81296	0.78577	0.88523
(ฉ)	0.54752	0.88497	0.88511	0.79776	0.77389	0.91068
(ช)	0.62907	0.8951	0.89517	0.83675	0.80946	0.91471
(ซ)	0.69039	0.8433	0.84335	0.81653	0.80909	0.8733
(ฌ)	0.67911	0.7862	0.78644	0.77853	0.82144	0.8565
(ญ)	0.64637	0.87865	0.87872	0.82626	0.80669	0.90123
(ฎ)	0.60414	0.84667	0.84676	0.79274	0.78233	0.88282
(ฏ)	0.55063	0.84661	0.84676	0.77742	0.73996	0.87383
(ฐ)	0.54025	0.8616	0.86175	0.78024	0.75484	0.88805
(ฑ)	0.52698	0.87483	0.87485	0.78662	0.76062	0.89849
(ฒ)	0.66767	0.7127	0.71284	0.75799	0.80525	0.87152
(ณ)	0.61206	0.82382	0.82386	0.77659	0.77796	0.86356
(ด)	0.64003	0.89665	0.89666	0.84064	0.79266	0.90711
(ต)	0.56955	0.81262	0.81272	0.74845	0.73024	0.84068
(ถ)	0.56907	0.84029	0.84033	0.77651	0.75052	0.86919
(ท)	0.45132	0.83167	0.83167	0.72927	0.71613	0.86876
(ธ)	0.46272	0.85216	0.85217	0.74888	0.73158	0.88682
(น)	0.62528	0.83761	0.83762	0.79579	0.76643	0.86081

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 144

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	26.543	27.675	27.716	29.043	30.066	30.797
(ข)	26.545	25.294	25.547	27.416	29.394	29.572
(ค)	26.546	33.043	33.444	31.554	31.001	34.411
(ง)	26.545	25.494	25.616	27.677	29.317	29.452
(จ)	26.545	29.131	29.528	29.397	29.42	30.665
(ฉ)	26.544	30.972	33.015	31.068	30.667	33.587
(ช)	26.546	31.361	32.156	30.714	30.298	32.93
(ช)	26.543	27.508	27.764	27.999	28.766	28.79
(ฉ)	26.545	24.943	25.651	27.144	29.371	28.818
(ญ)	26.547	28.889	29.513	29.521	29.755	30.883
(ฎ)	26.545	28.27	28.588	28.689	29.565	30.075
(ฎ)	26.544	30.526	31.64	30.521	30.102	32.812
(ฐ)	26.545	30.264	31.332	30.482	30.439	32.602
(ฑ)	26.545	32.334	32.632	31.377	30.855	33.558
(ฒ)	26.544	24.839	24.903	26.934	29.319	30.154
(ณ)	26.545	29.558	29.748	29.488	29.774	31.067
(ด)	26.544	31.876	31.983	31.089	29.775	32.165
(ด)	26.544	29.918	30.906	30.159	30.116	32.342
(ถ)	26.545	31.568	31.922	30.733	30.194	32.535
(ท)	26.545	33.329	33.406	31.511	31.573	34.685
(ธ)	26.545	34.566	34.843	32.08	31.676	35.771
(น)	26.545	31.451	31.572	30.453	29.908	32.215

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 144

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.03174	0.056309	0.055923	0.030842	0.01568	0.016356
(ข)	0.029715	0.092271	0.08836	0.044399	0.017255	0.021842
(ค)	0.034659	0.01195	0.010883	0.017853	0.01419	0.007499
(ง)	0.034143	0.071026	0.069152	0.035152	0.017327	0.020093
(จ)	0.030736	0.031706	0.028831	0.02545	0.017438	0.018132
(ฉ)	0.034323	0.018508	0.010477	0.019215	0.015264	0.009084
(ช)	0.028808	0.016859	0.013686	0.018616	0.014657	0.010846
(ฌ)	0.030425	0.046469	0.043996	0.034391	0.020413	0.030269
(ฉ)	0.032979	0.086233	0.069523	0.04589	0.017559	0.029477
(ญ)	0.030533	0.033852	0.029737	0.026312	0.016766	0.017873
(ฎ)	0.033326	0.041556	0.038569	0.032829	0.018139	0.021831
(ฏ)	0.032316	0.019398	0.014367	0.019854	0.015456	0.011164
(ฐ)	0.034882	0.024978	0.018729	0.023238	0.015584	0.012262
(ฑ)	0.035237	0.015803	0.014827	0.019589	0.01464	0.009793
(ฒ)	0.030243	0.084061	0.08288	0.043196	0.017402	0.019404
(ณ)	0.03312	0.028941	0.027714	0.02686	0.017197	0.018163
(ด)	0.030831	0.017277	0.016893	0.018849	0.017485	0.014855
(ต)	0.031399	0.021912	0.015878	0.020077	0.013643	0.009523
(ถ)	0.031853	0.015277	0.013758	0.018134	0.014509	0.011022
(ท)	0.035591	0.009495	0.009286	0.017354	0.011266	0.005501
(ธ)	0.035205	0.00547	0.004902	0.014757	0.011441	0.00398
(น)	0.029023	0.015136	0.014675	0.018789	0.015171	0.01322

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 144

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.5778	0.86852	0.86854	0.79787	0.78946	0.906
(ข)	0.66	0.84324	0.84335	0.81278	0.81996	0.90005
(ค)	0.48819	0.86308	0.8631	0.76182	0.73367	0.8932
(ง)	0.56963	0.76377	0.76384	0.72974	0.74543	0.83364
(จ)	0.61112	0.84605	0.84611	0.79547	0.76907	0.87675
(ฉ)	0.51382	0.87044	0.87058	0.77496	0.74669	0.89942
(ช)	0.5933	0.88335	0.88341	0.81593	0.7858	0.90491
(ซ)	0.66174	0.83436	0.83439	0.79842	0.79331	0.86256
(ด)	0.64933	0.77446	0.77464	0.75904	0.79776	0.8395
(ต)	0.61527	0.86841	0.86846	0.80884	0.78599	0.89185
(ถ)	0.57407	0.83521	0.83528	0.77119	0.76088	0.87215
(ฏ)	0.51251	0.83369	0.83384	0.75399	0.7116	0.86459
(ฎ)	0.5063	0.8462	0.84634	0.75479	0.7291	0.87542
(ฬ)	0.49262	0.85982	0.85984	0.76276	0.73144	0.88669
(อ)	0.63839	0.70287	0.70295	0.73694	0.78369	0.86044
(ฮ)	0.58065	0.81285	0.81288	0.75639	0.75331	0.85358
(ท)	0.60726	0.88642	0.88643	0.823	0.771	0.89843
(ธ)	0.53291	0.80098	0.80108	0.72689	0.70663	0.83172
(ด)	0.53424	0.82809	0.82812	0.75481	0.72677	0.85962
(ท)	0.41326	0.81541	0.81541	0.70066	0.68848	0.85628
(ธ)	0.42375	0.83588	0.83589	0.7209	0.70214	0.87425
(น)	0.58929	0.82754	0.82754	0.7769	0.74492	0.8521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาครบวงวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบวงเท่ากับ 169

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบวง					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	25.849	27.511	27.546	28.615	29.383	30.312
(ข)	25.851	25.24	25.485	27.09	28.799	29.119
(ค)	25.849	32.774	33.16	31.032	30.485	34.034
(ง)	25.85	25.417	25.534	27.29	28.768	29.06
(จ)	25.85	28.926	29.301	28.986	28.831	30.212
(ฉ)	25.85	30.721	32.656	30.621	30.053	33.192
(ช)	25.848	31.188	31.956	30.374	29.709	32.581
(ซ)	25.851	27.408	27.655	27.716	28.18	28.423
(ฌ)	25.851	24.896	25.592	26.798	28.742	28.521
(ญ)	25.85	28.772	29.361	29.053	29.127	30.404
(ฎ)	25.851	28.158	28.479	28.379	29.031	29.712
(ฏ)	25.851	30.37	31.456	30.054	29.573	32.555
(ฐ)	25.85	30.087	31.104	30.019	29.888	32.264
(ฑ)	25.849	32.022	32.294	30.833	30.177	33.093
(ฒ)	25.849	24.79	24.852	26.549	28.745	29.677
(ณ)	25.85	29.408	29.587	29.083	29.248	30.713
(ด)	25.85	31.593	31.692	30.557	29.147	31.802
(ต)	25.849	29.753	30.681	29.688	29.574	32.008
(ถ)	25.85	31.298	31.623	30.239	29.617	32.159
(ท)	25.851	32.924	32.992	30.951	30.971	34.167
(ธ)	25.85	34.051	34.305	31.443	31.022	35.282
(น)	25.85	31.2	31.312	29.997	29.4	31.91

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 169

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.03785	0.057848	0.057491	0.034501	0.018814	0.018897
(ข)	0.034984	0.092726	0.088878	0.047646	0.019903	0.024359
(ค)	0.04098	0.01249	0.011372	0.020575	0.01614	0.008157
(ง)	0.040621	0.072045	0.070262	0.039424	0.020345	0.022829
(จ)	0.036471	0.032662	0.029745	0.028342	0.020564	0.020346
(ฉ)	0.04066	0.019318	0.011098	0.02155	0.017797	0.010131
(ช)	0.033748	0.017049	0.013858	0.020001	0.016921	0.011753
(ซ)	0.035988	0.046963	0.044536	0.036712	0.023498	0.033356
(ฌ)	0.039067	0.086338	0.069757	0.049669	0.02063	0.031427
(ญ)	0.036219	0.034411	0.030407	0.029834	0.019843	0.020839
(ฎ)	0.038944	0.041778	0.038762	0.03503	0.020553	0.024049
(ฏ)	0.038847	0.019696	0.014641	0.022435	0.018029	0.011501
(ฐ)	0.041098	0.025585	0.019365	0.026123	0.01791	0.013273
(ฑ)	0.042287	0.016684	0.01571	0.022468	0.017518	0.011095
(ฒ)	0.03623	0.083827	0.082664	0.047025	0.020207	0.02177
(ณ)	0.039226	0.029471	0.028266	0.02986	0.019795	0.019951
(ด)	0.036927	0.017862	0.017477	0.021365	0.020414	0.016123
(ต)	0.037703	0.02239	0.016475	0.022932	0.015893	0.010406
(ถ)	0.037946	0.015812	0.014316	0.020607	0.01681	0.012113
(ท)	0.042648	0.010299	0.010098	0.020221	0.013534	0.006289
(ธ)	0.04245	0.006257	0.005677	0.017711	0.013788	0.004535
(น)	0.034539	0.01568	0.015228	0.02098	0.017276	0.014044

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 169

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.55046	0.85539	0.8554	0.77813	0.76014	0.8946
(ข)	0.63391	0.83447	0.83454	0.79805	0.80037	0.89014
(ค)	0.45605	0.84868	0.8487	0.73649	0.70864	0.88196
(ง)	0.54127	0.75183	0.75188	0.70921	0.72073	0.82214
(จ)	0.58073	0.8322	0.83226	0.7738	0.7452	0.86324
(ฉ)	0.48114	0.85589	0.85603	0.75305	0.71828	0.88859
(ช)	0.55978	0.87392	0.87398	0.80076	0.76471	0.89682
(ซ)	0.63377	0.82278	0.82281	0.78031	0.76891	0.84948
(ฌ)	0.62642	0.76716	0.76731	0.74585	0.78162	0.83117
(ญ)	0.58829	0.86067	0.86072	0.7937	0.76506	0.88583
(ฎ)	0.54645	0.82174	0.82182	0.75063	0.73561	0.85913
(ฏ)	0.47998	0.82191	0.82205	0.73097	0.68681	0.85515
(ฐ)	0.47504	0.83299	0.83313	0.73333	0.70575	0.86544
(ฑ)	0.4615	0.844	0.84402	0.73792	0.70049	0.87448
(ฒ)	0.61018	0.69391	0.69396	0.71442	0.76189	0.84638
(ณ)	0.55121	0.80184	0.80186	0.73734	0.73089	0.84261
(ด)	0.5771	0.87535	0.87536	0.80385	0.74659	0.88993
(ต)	0.50034	0.78872	0.78882	0.70562	0.68304	0.82226
(ถ)	0.50156	0.81487	0.8149	0.73174	0.70134	0.84865
(ท)	0.38004	0.79749	0.7975	0.67253	0.65992	0.84215
(ธ)	0.38896	0.81851	0.81852	0.69205	0.67065	0.86161
(น)	0.55502	0.81678	0.81679	0.75733	0.72381	0.843

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 196

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	25.207	27.391	27.424	28.2	28.807	29.787
(ข)	25.205	25.186	25.423	26.686	28.188	28.591
(ค)	25.206	32.339	32.678	30.471	29.815	33.507
(ง)	25.207	25.352	25.464	26.944	28.163	28.681
(จ)	25.207	28.809	29.179	28.627	28.282	29.931
(ฉ)	25.206	30.527	32.351	30.105	29.464	32.94
(ช)	25.207	30.878	31.568	29.76	29.219	32.168
(ฌ)	25.206	27.302	27.543	27.406	27.628	28.171
(ฉ)	25.205	24.837	25.524	26.462	28.26	28.146
(ญ)	25.206	28.635	29.226	28.708	28.645	30.153
(ฎ)	25.206	28.041	28.337	28.004	28.367	29.426
(ฏ)	25.209	30.147	31.15	29.565	29.08	32.181
(ฐ)	25.207	29.864	30.83	29.524	29.289	31.877
(ฑ)	25.206	31.742	32.002	30.331	29.637	32.698
(ฒ)	25.206	24.729	24.789	26.193	28.159	29.266
(ณ)	25.206	29.215	29.388	28.711	28.681	30.376
(ด)	25.206	31.306	31.396	30.066	28.629	31.452
(ต)	25.206	29.574	30.469	29.261	29.054	31.728
(ถ)	25.206	31.034	31.336	29.782	29.082	31.805
(ท)	25.206	32.57	32.637	30.427	30.368	33.753
(ธ)	25.206	33.559	33.774	30.845	30.341	34.784
(น)	25.207	30.926	31.031	29.564	28.864	31.606

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 196

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.045085	0.059013	0.058661	0.038485	0.022007	0.022269
(ข)	0.041334	0.09282	0.089035	0.052631	0.023125	0.02812
(ค)	0.04751	0.013567	0.012473	0.023126	0.018701	0.009552
(ง)	0.047653	0.072711	0.070992	0.043054	0.023545	0.024952
(จ)	0.043247	0.032984	0.030097	0.030943	0.023327	0.022207
(ฉ)	0.047565	0.019988	0.011781	0.024655	0.020566	0.010833
(ช)	0.040274	0.017802	0.014722	0.023221	0.018988	0.012778
(ช)	0.042158	0.047529	0.045059	0.039922	0.02704	0.035969
(ฉ)	0.046286	0.087235	0.070534	0.054198	0.023757	0.034659
(ญ)	0.042565	0.034883	0.030767	0.032029	0.022032	0.022105
(ฎ)	0.045926	0.042542	0.039635	0.038912	0.024193	0.025926
(ฎ)	0.045549	0.020512	0.015388	0.025307	0.020195	0.012264
(ฐ)	0.0488	0.026543	0.020294	0.029758	0.020882	0.014525
(ฑ)	0.049248	0.017295	0.016291	0.02532	0.01993	0.011985
(ฒ)	0.042174	0.084148	0.083013	0.050966	0.023061	0.023519
(ณ)	0.045927	0.030265	0.029036	0.032573	0.022792	0.02184
(ด)	0.043164	0.018606	0.01823	0.024045	0.023148	0.017335
(ด)	0.044538	0.023112	0.01716	0.025952	0.018533	0.011261
(ถ)	0.044828	0.016564	0.015076	0.023444	0.019453	0.013384
(ท)	0.050343	0.01094	0.010721	0.023318	0.01603	0.007145
(ธ)	0.049927	0.007062	0.006511	0.020779	0.016443	0.005097
(น)	0.041003	0.016282	0.015818	0.023384	0.019716	0.014814

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบถ้วนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบถ้วนเท่ากับ 196

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบถ้วน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.52527	0.8436	0.84361	0.75584	0.74029	0.88403
(ข)	0.61116	0.82568	0.82574	0.78217	0.77999	0.88117
(ค)	0.42543	0.83444	0.83446	0.71699	0.68128	0.87125
(ง)	0.51533	0.73923	0.73927	0.6872	0.69254	0.80848
(จ)	0.55367	0.8223	0.82235	0.756	0.72246	0.85488
(ฉ)	0.45455	0.84297	0.84311	0.73051	0.69644	0.87823
(ช)	0.53047	0.86201	0.86207	0.77701	0.74458	0.88827
(ซ)	0.61009	0.81425	0.81428	0.7656	0.74828	0.84081
(ฌ)	0.6005	0.75615	0.75629	0.72389	0.76066	0.81798
(ญ)	0.56088	0.84879	0.84884	0.77554	0.74575	0.87516
(ฎ)	0.51906	0.80989	0.80996	0.72994	0.7093	0.84966
(ฏ)	0.44706	0.80575	0.80589	0.70519	0.66159	0.84162
(ฐ)	0.44672	0.8167	0.81683	0.70646	0.67612	0.85199
(ฑ)	0.43408	0.82895	0.82897	0.71489	0.67488	0.86271
(ฒ)	0.58508	0.68376	0.6838	0.69357	0.73926	0.83432
(ณ)	0.52244	0.78939	0.78941	0.7182	0.7065	0.83103
(ด)	0.54849	0.8631	0.86311	0.78448	0.72465	0.87976
(ต)	0.46907	0.77646	0.77656	0.68525	0.65906	0.81272
(ถ)	0.47111	0.80143	0.80146	0.70988	0.67698	0.83745
(ท)	0.34947	0.78001	0.78002	0.64606	0.62961	0.8295
(ธ)	0.35781	0.80021	0.80022	0.66469	0.63853	0.84759
(น)	0.5249	0.80589	0.8059	0.73984	0.69983	0.8344

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าพีเอสเอ็นอาร์ของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 225

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	24.607	27.269	27.301	27.833	28.322	29.338
(ข)	24.607	25.113	25.343	26.427	27.649	28.267
(ค)	24.607	31.991	32.301	29.994	29.257	33.146
(ง)	24.608	25.264	25.371	26.629	27.74	28.339
(จ)	24.608	28.676	29.038	28.269	27.75	29.643
(ฉ)	24.608	30.313	31.978	29.639	28.917	32.571
(ช)	24.607	30.628	31.302	29.362	28.605	31.847
(ซ)	24.608	27.163	27.396	27.147	27.171	27.909
(ฌ)	24.607	24.79	25.459	26.203	27.712	27.883
(ญ)	24.607	28.451	29.011	28.285	28.103	29.748
(ฎ)	24.607	27.87	28.16	27.662	27.913	29.084
(ฏ)	24.607	29.889	30.84	29.138	28.604	31.877
(ฐ)	24.608	29.682	30.594	29.077	28.795	31.59
(ฑ)	24.607	31.386	31.624	29.862	29.041	32.278
(ฒ)	24.607	24.659	24.716	25.862	27.629	28.875
(ณ)	24.608	29.055	29.218	28.341	28.173	30.109
(ด)	24.608	31.006	31.087	29.599	28.095	31.1
(ต)	24.607	29.381	30.224	28.845	28.571	31.373
(ถ)	24.608	30.771	31.049	29.34	28.579	31.511
(ท)	24.608	32.226	32.282	29.937	29.795	33.346
(ธ)	24.607	33.104	33.297	30.335	29.824	34.292
(น)	24.607	30.668	30.765	29.118	28.377	31.363

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ภายใต้กฎหมายคุ้มครองสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและเป็นการนำเอกสารไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าการวัดคุณภาพของขอบภาพของวิธีการลดสัญญาณรบกวนวิธีที่นำเสนอ
เปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเท่ากับ 225

ภาพ	วิธีการลดสัญญาณรบกวน					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(ก)	0.051692	0.05952	0.059186	0.041831	0.024652	0.024802
(ข)	0.047983	0.093999	0.090131	0.056053	0.026585	0.03153
(ค)	0.055969	0.014424	0.013341	0.026554	0.02172	0.010368
(ง)	0.055194	0.073826	0.072105	0.047026	0.026614	0.027627
(จ)	0.049697	0.033422	0.030522	0.034017	0.026628	0.024128
(ฉ)	0.055143	0.020762	0.012769	0.027572	0.023353	0.011641
(ช)	0.046946	0.018663	0.015435	0.025764	0.022033	0.013869
(ซ)	0.048403	0.048247	0.045825	0.042578	0.030257	0.038473
(ฌ)	0.052599	0.087588	0.071115	0.057309	0.027234	0.036982
(ญ)	0.048768	0.035868	0.031834	0.035941	0.02512	0.025015
(ฎ)	0.053199	0.043283	0.04035	0.042066	0.026847	0.0286
(ฏ)	0.053243	0.0215	0.016436	0.028388	0.023015	0.013169
(ฐ)	0.056096	0.027271	0.021057	0.033242	0.023696	0.015655
(ฑ)	0.057631	0.018448	0.017449	0.02834	0.023167	0.013256
(ฒ)	0.049033	0.084079	0.082977	0.054927	0.026553	0.02586
(ณ)	0.053171	0.030792	0.029592	0.035628	0.025786	0.022915
(ด)	0.050157	0.019504	0.019129	0.026975	0.026253	0.019148
(ต)	0.051924	0.023668	0.017767	0.028848	0.021006	0.012317
(ถ)	0.051892	0.01721	0.015733	0.026363	0.022002	0.014282
(ท)	0.058464	0.011637	0.01143	0.026516	0.018728	0.007869
(ธ)	0.057935	0.008037	0.007477	0.023866	0.018905	0.00587
(น)	0.047701	0.016767	0.016303	0.026092	0.022075	0.015457

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงค่าเอสเอสไอเอ็มของวิธีการลดสัญญาครบวงวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการ
อื่นๆ ที่ระดับความแปรปรวนของสัญญาครบวงเท่ากับ 225

ภาพ	วิธีการลดสัญญาครบวง					
	(1) [*]	(2) [*]	(3) [*]	(4) [*]	(5) [*]	(6) [*]
(ก)	0.50083	0.83016	0.83017	0.73561	0.72117	0.87235
(ข)	0.58728	0.81379	0.81385	0.76306	0.75864	0.8695
(ค)	0.39993	0.8188	0.81881	0.69246	0.65471	0.86
(ง)	0.49293	0.72363	0.72367	0.66476	0.67195	0.79397
(จ)	0.5295	0.81153	0.81158	0.7387	0.70157	0.84443
(ฉ)	0.42776	0.82841	0.82854	0.70814	0.66958	0.86774
(ช)	0.50227	0.85215	0.85221	0.76074	0.72024	0.88044
(ซ)	0.58636	0.8043	0.80433	0.75054	0.72707	0.831
(ฌ)	0.57764	0.74898	0.74911	0.71287	0.73874	0.81041
(ญ)	0.53499	0.83797	0.83801	0.75701	0.72247	0.86542
(ฎ)	0.49663	0.79636	0.79643	0.70947	0.68777	0.8376
(ฏ)	0.42194	0.79151	0.79165	0.6866	0.63942	0.83078
(ฐ)	0.42122	0.80312	0.80326	0.6853	0.65089	0.84173
(ฑ)	0.40801	0.81155	0.81157	0.69241	0.64649	0.84909
(ฒ)	0.56018	0.67364	0.67366	0.67338	0.71642	0.82173
(ณ)	0.49772	0.77749	0.7775	0.69921	0.68348	0.82094
(ด)	0.52241	0.85099	0.85099	0.76682	0.70182	0.87045
(ต)	0.44156	0.76325	0.76334	0.66365	0.63691	0.80161
(ถ)	0.44447	0.78851	0.78853	0.68971	0.65388	0.82717
(ท)	0.32233	0.76239	0.7624	0.62014	0.60232	0.81553
(ธ)	0.33019	0.78287	0.78287	0.64028	0.61352	0.83401
(น)	0.49557	0.79386	0.79386	0.71876	0.67786	0.82508

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

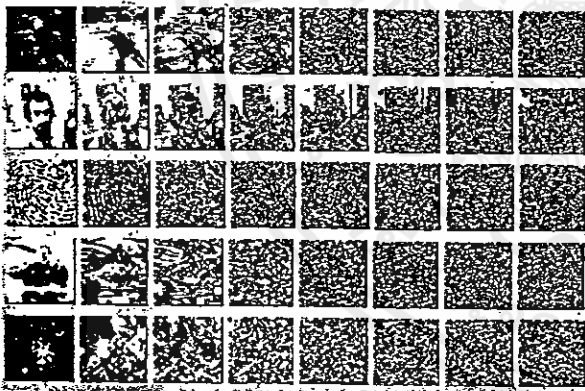
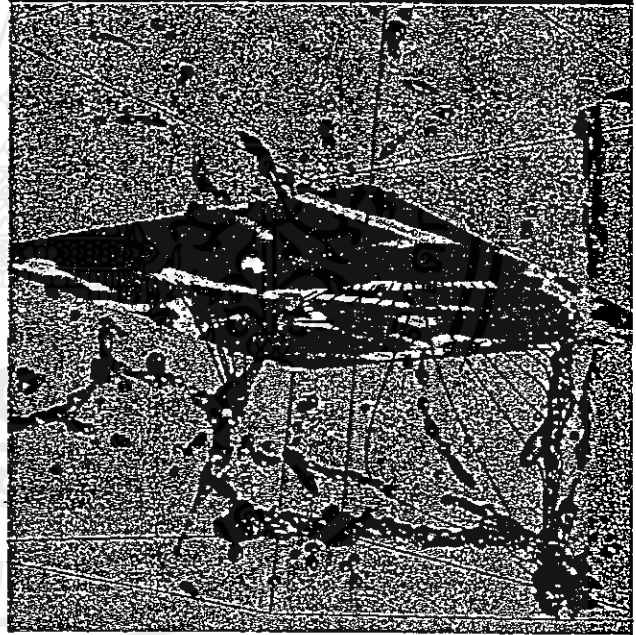
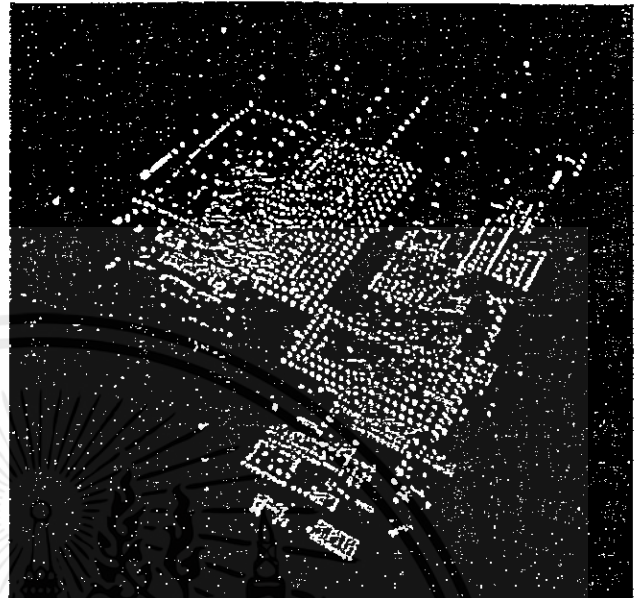
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] N. Sae-Bae, S. Udomhunsakul, "Adaptive Block-Based Singular Value Decomposition Filtering", Computer Graphics, Imaging and Visualisation, 2007, pp.298-303
- [2] N. Sae-Bae, S. Udomhunsakul, "Noise Suppression Using Block-Based Singular Value Decomposition Filtering", International Workshop on Smart Info-Media Systems in Bangkok (SIS in Bangkok), pp. 149-154. Nov,2007
- [3] N. Sae-Bae, S. Udomhunsakul, "Despeckling Algorithm on Ultrasonic Image Using Adaptive Block-Based Singular value Decomposition (Invited Paper)", Proc. of SPIE on Electronic Imaging and Multimedia Technology V, Vol. 6833,68330J,(2007), pp. 1-9

Computer Graphics, Imaging and Visualisation

New Advances

Ebad Banissi, Muhammad Sarfraz, and Natasha Dejdumrong (Eds.)



Bangkok, Thailand

13-16 August 2007



IEEE

COMPUTER
SOCIETY



IEEE

Adaptive Block-Based Singular Value Decomposition Filtering

Napa Sae-Bae and Somkait Udomhunsakul
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Faculty of Engineering, Information Engineering Department
 Bangkok, Thailand
 Email: benapa@gmail.com, kusomkai@kmitl.ac.th

Abstract

Noise reduction is one of the most important processes to enhance the quality of reconstructed image. In this paper, we present an adaptive block-based singular value decomposition method for noise reduction. Instead of applying block-based singular value decomposition (BSVD) directly to noisy images, we propose to apply BSVD on the noisy edge image version obtained from the difference between the original noisy image and its blur image version. From the experimental results, we demonstrate that our proposed approach compared with traditionally methods can remove noise, preserve edges as well as effectively smooth in the homogenous region. Therefore, our method leads to a practical method to be used for noise reduction.

1. Introduction

Noise reduction is an essential issue in the field of digital image processing. When filtering random noise from a noisy image, there are two main issues need to be considered, which are how much noise had been removed, and how well edges are preserved without blurring. Traditionally, there are several simple techniques for noise suppression such as moving average filtering and Gaussian filtering. However, they can effectively suppress noise but it fail to preserve many useful detail, being merely a lowpass filter [1]. In the past decades, there had been considerably interest in using the wavelet transform as a powerful tool for recovering signal from noisy data. This method is generally referred to as wavelet shrinkage techniques. In 1995, Donoho presented a soft thresholding method for denoising in 1-D signal [2]. Chang, Yu and Vetterli introduced an adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression [3]. They proposed a new shrinkage method, BaeyShrink, which also outperformed Donoho and Johnstone's

Sureshrink. However, wavelet denoising method has two main drawbacks, which are the choice of the threshold and the specific distributions of the signal and noise may not be well matched at different scales [4]. In 1997, Konstantinides, Natarajan and Yovanof introduced noise estimation and SVD filtering using block-based singular value decomposition (BSVD) [5,6]. They divided the whole image matrix into each 8X8 block size, which are much less in computation time demanding. They demonstrated that BSVD outperformed soft thresholding method that even with Donoho's optimal threshold, the filtered image are quite blurry. In addition, an approach for image denoising by performing SVD filtering in detail subbands of wavelet domain was proposed [7].

In this research study, we concentrate on noise reduction filtering based on BSVD algorithm, which is suitable for image noise reduction. However, this method can perform well to preserve image detail (edge) but fail to smooth in the homogeneous region pointed out by Hou [7]. Therefore, our goal is to present an adaptive BSVD filtering for noise reduction method. In contrast to apply BSVD on the noisy image directly [5], we propose to apply BSVD on the noisy edge image version obtained from the difference between the original noisy image and its blur image version. Gaussian filter is used to apply to original noising image to get a blur image version. From the experiments, we demonstrate that our proposed approach can suppress noise, preserve edge as well as effectively smooth in the homogenous region.

This paper is organized as follows. Section 2 provides a brief introduction of SVD. Section 3 contains SVD based noise reduction. In Section 4, the proposed method is introduced and explained. Section 5 gives some experimental results to demonstrate the effectiveness of the proposed method. Finally, concluding remarks are given in section 6.

2. Singular Value Decomposition

Every matrix A of $m \times n$ size ($m \geq n$) can be decomposed into a product of three matrices,

$$A = USV^T = \sum_{i=1}^n s_i \bar{u}_i \bar{v}_i^t \quad (1)$$

Where U and V are orthogonal matrices with column vectors \bar{u}_i and \bar{v}_i , and $S = \text{diag}(s_1, s_2, \dots, s_n)$, which is a diagonal matrix. The diagonal elements of S can be arranged in a descending order called the singular values of A and [5],

$$s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_n \quad (2)$$

3. SVD filtering for noise reduction

For SVD filtering, it decomposes the column space of observation matrix into a dominant and subordinate part, which can be attributed to the noise-free signal and-noise [7]. To suppress noise, we need to keep the energy in the signal subspace and get rid of the energy in noisy subspace. In this paper, we used SVD to decompose image by size $n \times n$ into n subbands

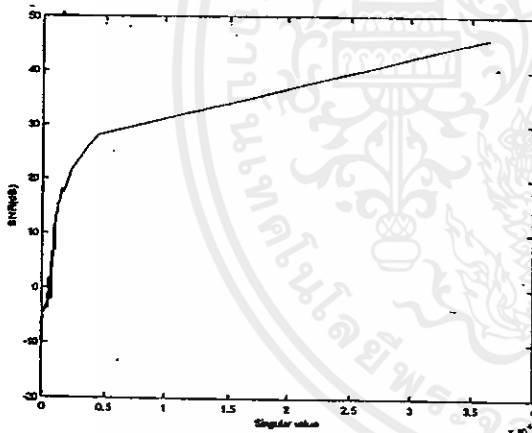


Figure 1. SNR versus Singular value of each subband

Each subband has only one singular value. The singular value will effect to the Signal to Noise Ratio (SNR) of each image subband.

Figure 1 shows SNR versus singular value between original image and noisy image subband. As can be seen, the larger singular values mean the more SNR. If singular value less than zero, the information is less than noise of its subband.

4. Proposed method

BSVD is a good method for noise suppression while preserving information detail of image data. However, it is not a good method when applying to the homogenous region because this method can cause unsmooth result on the smooth region [7]. Therefore, we introduce an adaptive BSVD method to suppress noise as well as smooth in homogenous area. The flow chart of our proposed method is shown in figure 2. In contrast to apply BSVD on the noisy image directly [5], we propose to apply BSVD on the noisy edge image version obtained from the difference between the original noisy image and its blur version. Finally, the reconstructed image is performed by the combination of the BSVD noise reduction image result with its blur image version.

4.1. Gaussian filter

Gaussian filter is a class of low-pass filter based on the Gaussian probability distribution function [1],

$$f(x, y) = \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^2} \quad (3)$$

In general, we can decompose image by Gaussian filter into two parts,

$$I = I_1 + I_2 \quad (4)$$

where I_1 and I_2 are the blur image and edge image version, respectively.

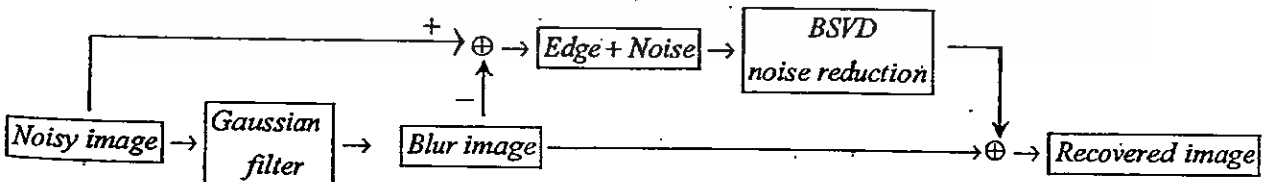


Figure 2. The model of proposed approach for noise suppression

The model of noisy image with additive noise can be written as,

$$N = I + E \quad (5)$$

where N is a noisy image, I is an original image and E is Gaussian noise with zero mean and standard deviation σ . When we apply Gaussian filter to the noisy image, the noisy image can be approximately equivalent to,

$$N \approx (I_1) + (I_2 + E) \quad (6)$$

Figure 3 shows the original image compared with original noisy image and their blur and edge image versions. In this process, the Barbara image was blurred by Gaussian filter. Next, edge of image (I_2) is found by minus the original image (N) by its blur image version (I_1). To compare between edge image and blur image of original image and noisy image, noise is dominant on an edge map more than blur version. Therefore, we proposed to reduce noise on the noisy edge image version ($I_2 + E$) using BSVD filtering.

Next, we focus on to find the optimal σ of the Gaussian filter and the best possible block size of BSVD in order to get the best performance for noise reduction. To evaluate the performance of noise reduction, Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) and Edge measurement (Edge) are used [8],

$$PSNR = 10 \cdot \log \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad dB \quad (7)$$

where MAX_I is the maximum pixel value of the image. When the pixels are represented using 8 bits per sample, MAX_I is equivalent to 255 and the Mean Square Error (MSE) is given by,

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (I(i, j) - R(i, j))^2 \quad (8)$$

where I is the original image, R is the reconstructed image and $m \times n$ is the image size. The higher of PSNR means the better of image quality.

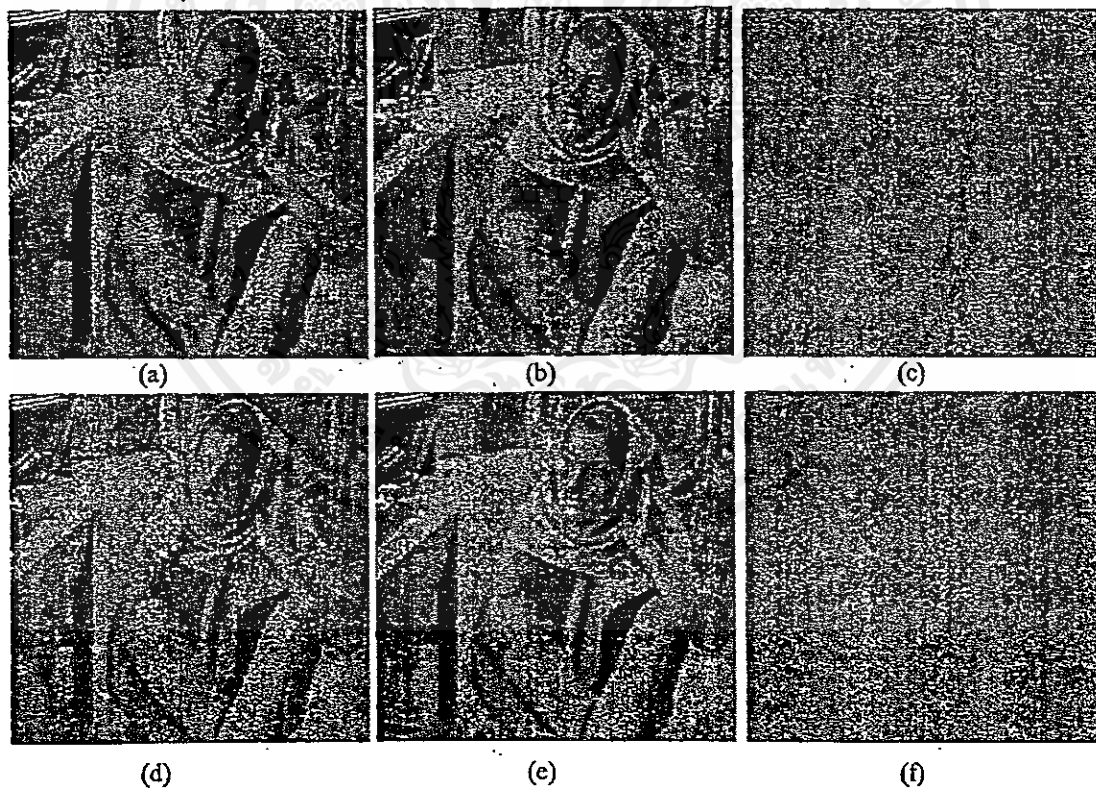


Figure 3. (a) Original image (b) Original image blur (c) Original image edge (d) Noisy image (e) Noisy image blur and (f) Noisy image edge

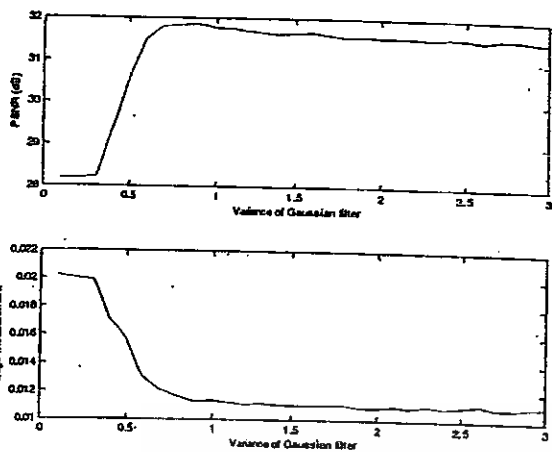


Figure 4. The performance at various noise variances of Gaussian filter evaluated by PSNR and Edge measurements of Barbara image at $\sigma = 10$

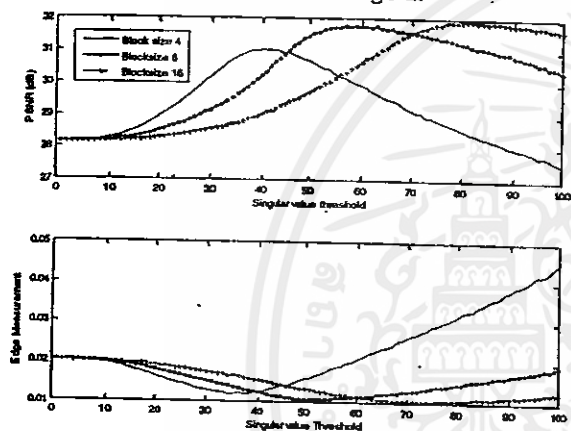


Figure 5. The performance of each block size evaluated by PSNR and Edge measurements of Barbara image at $\sigma = 10$

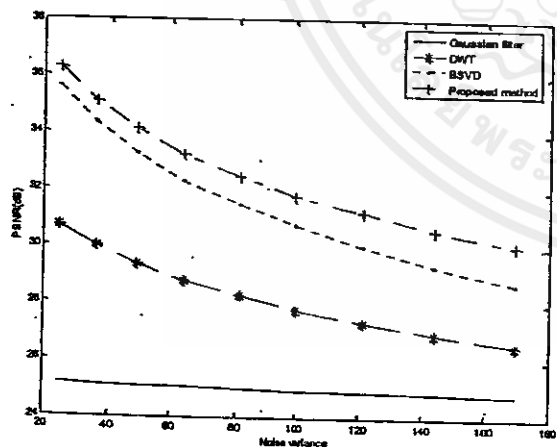


Figure 6. PSNR values of reconstructed image at various noise variances

$$Edge = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (Q(i,j) - \hat{Q}(i,j))^2 \quad (9)$$

where $Q(i,j)$ and $\hat{Q}(i,j)$ are the edge gradients of the original and reconstruction images using Sobel edge operator. The higher of Edge measurement means the lower of image quality.

In this experiments, Barbara image size 512x512, at 8-bpp resolution is used. The Gaussian noise zero mean, noise variance 100 is added to original Barbara image. As the results, figure 4 show that the optimal value σ of Gaussian filter approximately equal to 1 that provides the best performance both in PSNR and Edge measurements. While the optimal block size of BSVD, as can be seen in figure 5, block size 16 is slightly better than block size 8 but computation cost is demanding. Then, block size 8 is the best suitable.

In addition, we compare our proposed approach with other conventional approaches such as Gaussian filter, BSVD, DWT denoising (soft thresholding). The noise variances are varied from 25 to 169. The result is shown in figure 6. We can see that our proposed approach out performs all traditional methods.

5. Experimental results

To test our proposed method, we demonstrate some simulation results using three images of size 256X256, (Lenna Face and Goldhill) and four images of size 512X512 (Airplane Cameraman Barbara and Flower) at 8-bpp resolution. The original images are shown in figure 7. Each of images was corrupted with additive Gaussian noise of zero mean and $\sigma = 6$ and 12. Further, Gaussian filter, Wavelet denoising level 1 (db4 Soft thresholding function $\hat{\sigma} = \frac{MAD(HH_1)}{0.6745}$, $T = \hat{\sigma} \sqrt{2 \log_{10}(m \times n)}$), BSVD algorithm (block size 8X8) are used to compared with our proposed approach.

Table 1. PSNR values of reconstruction image by difference algorithms at $\sigma = 6$

Image	Gaussian filter	DWT	BSVD	Proposed method
Lenna	29.837	32.438	34.379	35.187
Face	32.15	35.214	35.756	37.222
Goldhill	29.013	31.069	33.464	33.901
Airplane	31.234	34.203	35.3	36.438
Cameraman	33.996	35.423	36.099	37.776
Barbara	25.127	30.003	34.324	35.064
Flower	33.312	34.738	34.727	36.36

The threshold was determined from a know image (Barbara of size 512X512) beforehand, which generates the threshold as a function of PSNR. In our experiments, the threshold was found to be 35 and 70 for $\sigma = 6$ and 12, respectively. The results are tabulated in table 1 to 4.

Table 2. PSNR values of reconstruction image by difference algorithms at $\sigma = 12$

Image	Gaussian filter	DWT	BSVD	Proposed method
Lenna	29.132	29.41	29.492	30.909
Face	30.968	31.11	30.709	32.92
Goldhill	28.41	28.72	28.996	30.326
Airplane	30.254	30.509	30.429	32.489
Cameraman	29.935	30.161	30.123	31.95
Barbara	24.839	26.932	29.33	30.578
Flower	31.831	31.066	29.739	32.497

Table 3. Edge measurement of reconstruction image by difference algorithms at $\sigma = 6$

Image	Gaussian filter	DWT	BSVD	Proposed method
Lenna	0.02949	0.012124	0.004855	0.00478
Face	0.01525	0.006634	0.004317	0.003333
Goldhill	0.034228	0.017359	0.006243	0.006604
Airplane	0.022143	0.009184	0.00427	0.003809
Cameraman	0.012982	0.007432	0.003904	0.00334
Barbara	0.083835	0.021225	0.004997	0.004667
Flower	0.014802	0.008148	0.005312	0.00477

Table 4. Edge measurement of reconstruction image by difference algorithms at $\sigma = 12$

Image	Gaussian filter	DWT	BSVD	Proposed method
Lenna	0.031728	0.025601	0.01721	0.015416
Face	0.018218	0.018531	0.014939	0.010062
Goldhill	0.035794	0.028774	0.018315	0.016653
Airplane	0.024952	0.023107	0.015233	0.011523
Cameraman	0.015867	0.019685	0.014913	0.010306
Barbara	0.084002	0.043287	0.01729	0.014871
Flower	0.017403	0.019023	0.017633	0.012728

In table 1-4, the proposed method performs the best in PSNR and edge measurements even high textures image (Goldhill) or smooth image (Face). In figure 8, we also zoom the image results in the area of texture and smooth region (Barbara face). As can be seen, our proposed approach can suppress noise, preserve edge and smooth in the homogenous region, especially noticeable on the Barbara face area. Furthermore, our proposed approach can improve PSNR and Edge measurement either image perturbed by quite or small noise. The average computing time for our approach were 0.17 second and 1.078 second to run on 256X256 and 512X512 (8-bpp), respectively using Matlab 7.0 on a Laptop, HP Pavilion DV6108TX, with Intel Core

duo processor T2050 1.6 GHz , 1024 MB primary memory.

6. Conclusion

This paper presents an effective noise reduction method, an adaptive block based Singular value decomposition (BSVD) filtering, which can reduce noise, preserve edge (detail information) as well as effectively smooth in the homogenous image area. We also compared our proposed approach with other methods. The comparison suggests that the proposed method results are competitive and outperforming with other methods. However, the problem for this scheme is the optimal threshold value for various noise variances of BSVD filtering, which should be carefully chosen. Future work, a method to find an optimal threshold for various noise variances will be considered in order to get the better performance.

References

- [1] A. McAndrew, *An Introduction to Digital Image Processing with Matlab*, Thomson, 2004.
- [2] D.L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding", *IEEE Transaction on Information Theory* Vol.41(3), pp. 613-627. May 1995.
- [3] S.G. Chang, Yu. Bin, M. Vetterli, "Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression", *IEEE Transactions on Image Processing* Vol.9(9), pp. 1532-1546. September 2000.
- [4] J. Scharcanski, C.R. Jung, R.T. Clarke, "Adaptive image denoising using scale and space consistency", *IEEE Transactions on Image Processing* Vol.6(9), pp. 1092-1101. September 2002.
- [5] K. Konstantinides, B. Natarajan, G.S. Yovanof, "Noise estimation and filtering using block-based singular value decomposition", *IEEE Transactions on Image Processing* Vol.6(3), pp. 479-483. March 1997.
- [6] K. Konstantinides, K. Yao, "Statistical analysis of effective singular values in matrix rank determination", *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing* Vol.36(5), pp. 757-763. May 1988.
- [7] Z. Hou, "Adaptive singular value decomposition in wavelet domain for image denoising", *Pattern Recognition*, Vol.36(8), pp. 1747-1763. August 2003.
- [8] I. Avcibas, B. Sankur and K. Sayood, "Statistical Evaluation of Image Quality Measure", *Journal of Electronic Image*, vol. 11(2), 206-223, April. 2002.

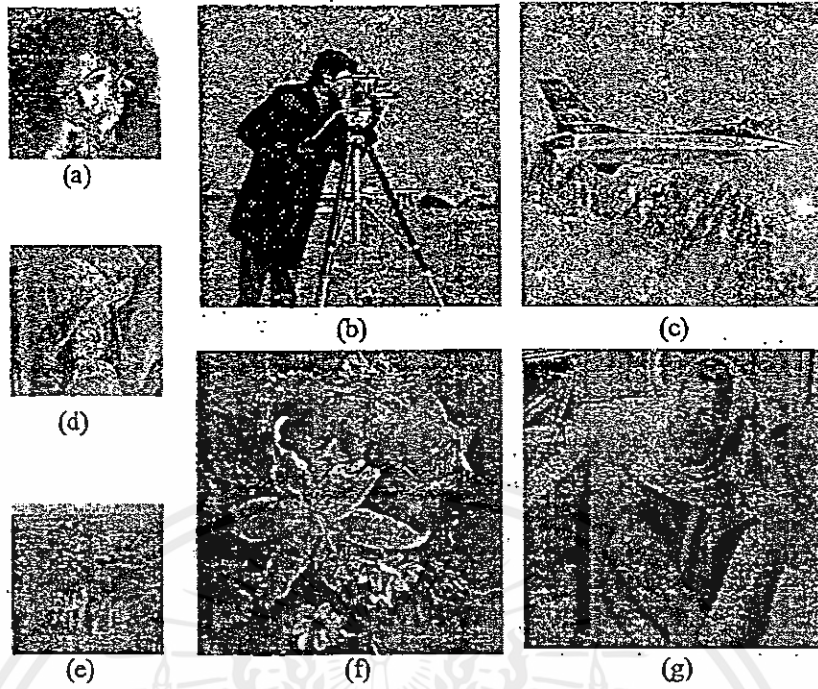


Figure 7. (a), (d) and (e) are Face, Lenna and Goldhill images with size 256X256 and (b), (c), (f) and (g) are Cameraman, Airplane, Flower and Barbara images with size 512X512

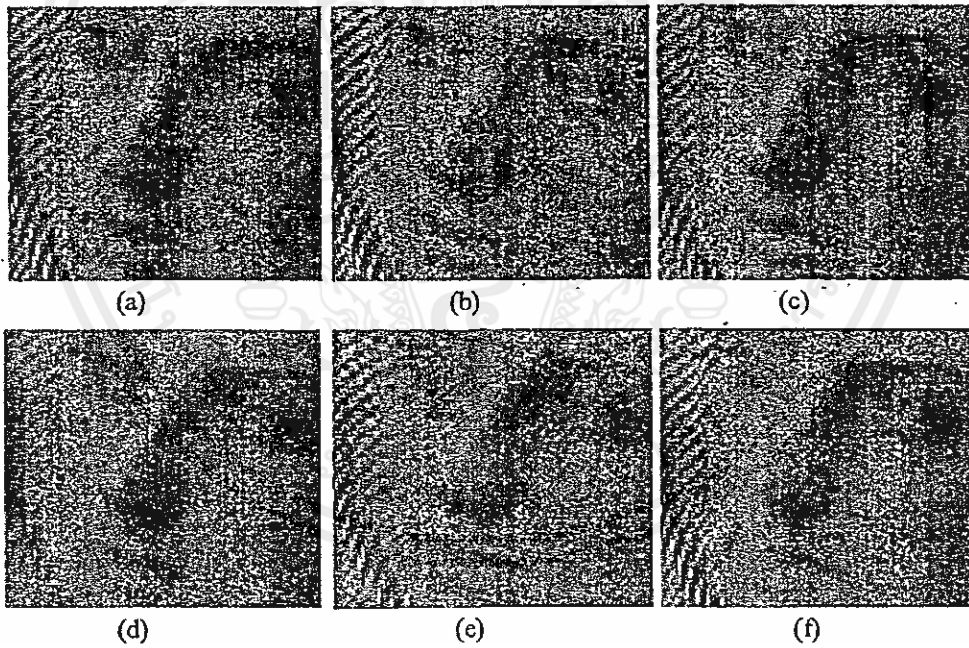


Figure 8. (a) Zoomed original image (b) Zoomed noisy image with $\sigma = 6$ (c) BSVD denoising (d) Gaussian filter denoising (e) Wavelet denoising and (f) Proposed method

Noise Suppression Using Block-Based Singular Value Decomposition Filtering

Napa Sae-Bae and Somkai Udomhunsakul
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Faculty of Engineering, Information Engineering Department
 Bangkok, Thailand
 Email: benapa@gmail.com, kusomkai@kmitl.ac.th

Abstract— Noise suppression is one of the most essential processes to enhance the quality of reconstructed image. The goal of noise suppression is to remove the noise while keeping the important image features as much as possible. In this paper, we present an adaptive block-based singular value decomposition method for noise suppression. Instead of applying block-based singular value decomposition (BSVD) directly to noisy images, we propose to apply BSVD on the noisy edge image obtained from the difference of the original noisy image and its blur image. The reconstructed result is obtained from the combination between noisy edge image filtered by an adaptive BSVD filtering and its original blur image. From the experiments, the objective and subjective evaluations show that our proposed approach compared with conventional methods can effectively suppress noise, preserve the important image features and also smooth in the homogeneous area.

I. INTRODUCTION

The image is often corrupted by noise during its acquisition and transmission. Noise suppression is the main process for this issue. The goal of noise suppression is to remove the noise while keeping the important image features as much as possible. Traditionally, linear filtering techniques, such as Moving Average filtering and Gaussian filtering are the simplest methods to suppress image noise [1]. But linear filters will result in some problems, such as blurring sharp edges, destroying lines and other fine image details. This leads to search for nonlinear filtering alternates.

Since the past decades, wavelet transform has been considerably interested as the powerful de-noising tool. This method is commonly referred to wavelet shrinkage techniques. In 1995, a soft thresholding method for denoising in 1-D signal was proposed [2]. Chang *et al.* [3] introduced an adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression. They proposed a new shrinkage method, BaeyShrink, which outperforms Donoho and Johnstone's SureShrink. However, the key problem in this scheme is how to determine a proper optimal threshold well matched the specific distributions of signal and noise at different scales [4]. In addition, Singular Value Decomposition (SVD) is a technique that can be used for noise suppression. In 1997, noise estimation and filtering technique using block-based singular value decomposition filtering (BSVD) was introduced [5,6]. For BSVD filtering, the image matrix is divided into each 8x8 block size in order to consume quite

less computation time. This method is proven that it outperforms soft thresholding method. However, this method can perform well to preserve image detail (edge) but fail to smooth in the smooth region [7].

In this paper, we focus on a noise suppression technique based on BSVD filtering algorithm. The purpose of this research study is to propose an adaptive BSVD filtering for noise suppression. In our proposed approach, instead of applying BSVD filter on the noisy image directly [5], we propose to apply BSVD filtering on the noisy edge image obtained from the difference of the original noisy image and its blur image. The Gaussian filter is used to apply to original noisy image to get its blur image version. Finally, the reconstructed image is obtained from the combination between noisy edge image filtered by an adaptive BSVD filtering and its original blur image version.

The rest of this paper is organized as follows. In section II, our proposed method for noise suppression using an adaptive of BSVD is introduced. We describe the implementation issues of our proposed approach in section III. In section IV, we demonstrate some experimental results to express the effectiveness of our proposed method for noise suppression compared with other conventionally methods. Finally, the conclusion is given in section V.

II. PROPOSED METHOD

BSVD filtering is a good method for noise suppression that can preserve information of image (edge). However, unsmooth result on the homogeneous region of the original image is the weakness point of this method. To overcome of this problem, we present an adaptive BSVD filtering method to suppress noise. The proposed technique produces the reconstructed image result, which can preserve the important features (edge) as well as smooth in homogeneous area. The flow chart of our proposed approach is shown in Fig. 1. Firstly, the noisy image is filtered by Gaussian filter in order to get its blur image version. Next, the edge, which is fully of noise, is generated by subtracting blur image version from the original noisy image. Consequently, we apply BSVD on noisy edge image to recover noise-free edge image. Finally, the restored image is reconstructed by adding noise-free edge image with its blur image version.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

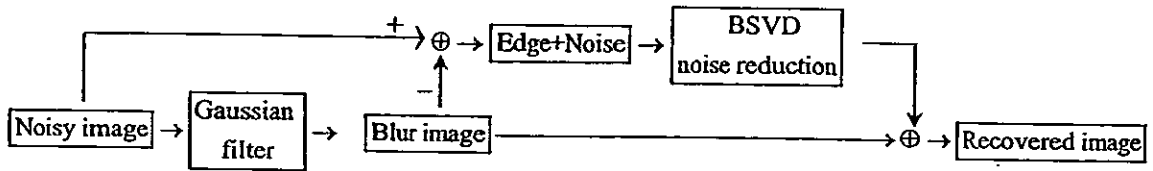


Fig. 1. Flow chart of proposed approach for noise suppression

III. IMPLEMENTATION STRATEGIES

A. Gaussian filtering

Gaussian filter is a class of low-pass filter based on the Gaussian probability distribution function [1],

$$f(x, y) = \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}}{2\pi\sigma^2} \quad (1)$$

In general, we can decompose an original image (I) by Gaussian filter into two parts,

$$I = I_1 + I_2 \quad (2)$$

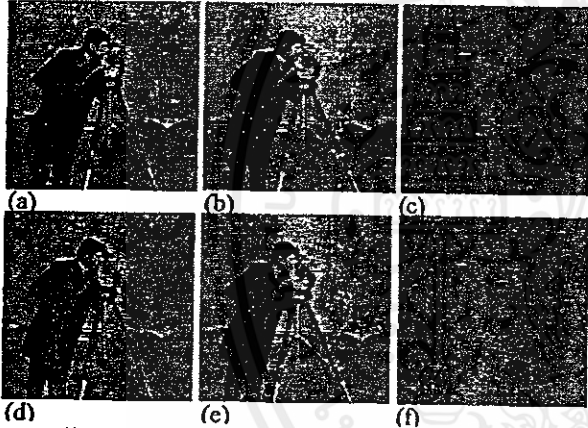


Fig. 2. Images and the results after filtering by Gaussian filter
(a) Original image (b) Original image blur version (c) Original edge image version (d) Noisy image (e) Noisy image blur version and (f) Noisy image edge version

Where I_1 and I_2 are the blur and edge image versions, respectively.

The model of noisy image with additive noise can be written as,

$$N = I + E \quad (3)$$

Where N is a noisy image, I is an original image and E is Gaussian noise with zero mean and standard deviation σ . When we apply Gaussian filter to the noisy image, it can be written approximately equivalent to,

$$N \approx (I_1) + (I_2 + E) \quad (4)$$

The blur and edge image versions of the original image and noisy image are shown in Fig. 2. Figure 2(a) is an original Cameraman image. Figure 2(d) is an original image, which is contaminated by additive Gaussian noise. Figure 2(b) and 2(e), are the blurred images of the original and noisy images obtained from applying Gaussian filtering with $\sigma=1$, respectively. Figure 2(c) and 2(f) are the edge images of original and noisy image obtained from the difference between figure 2(a) and 2(d) and figure 2(b) and 2(e), severally. As can be seen, figure 2(f) is the edge image version of noisy image, which is fully contaminated with noise. While figure 2(e) is the blur image version of noisy image, the image is slightly corrupted by noise. Therefore we propose to suppress noise on the noisy edge image.

B. Singular Value Decomposition

Every matrix A of $m \times n$ size ($m \geq n$) can be decomposed into the product of three matrices,

$$A = USV^T = \sum_{i=1}^n s_i \bar{u}_i \bar{v}_i^T \quad (5)$$

Where U and V are orthogonal matrices with column vectors \bar{u}_i and \bar{v}_i , respectively, and $S = \text{diag}(s_1, s_2, \dots, s_n)$, which is a diagonal matrix. The diagonal elements of S can be arranged in a descending order called the singular values of A and [5],

$$s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_n \quad (6)$$

C. Adaptive BSVD Thresholding

BSVD filtering was proposed and proved that it can effectively suppress noise while preserving edge details [5]. However, the selection of the threshold value is directly influenced to how much of noise is to be removed. Therefore, we propose to solve and define the optimum threshold value for our scheme.

From equation (5), we can spread into

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = s_1 \bar{u}_1 \bar{v}_1^t + s_2 \bar{u}_2 \bar{v}_2^t + \dots + s_l \bar{u}_l \bar{v}_l^t \quad (7)$$

Where l is the rank of matrix A .

$$|A|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (8)$$

So, if A is the additive zeros mean Gaussian noise of image with σ_n , we can derive this equation into

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \mu_A)^2}{m \times n} \quad (9)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{m \times n} \quad \text{at } \mu_A = 0 \quad (10)$$

$$m \times n \times \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (11)$$

From equation (11), we can conclude that

$$s_1 \leq \sqrt{mn} \sigma_n \quad (12)$$

In equation (11) and (12) show that for every s_i of noise is less than $\sqrt{mn} \sigma_n$. So, we propose to remain all of s_i that higher than $\sqrt{mn} \sigma_n$ and cut off all of s_i that lower than $\sqrt{mn} \sigma_n$. We use the hard-thresholding function (HBSVD), which is shown in equation (13), to cut off s_i of noise.

$$HBSVD(s) = \begin{cases} 0, & |s| \leq T \\ s, & |s| > T \end{cases} \quad (13)$$

Where

$$T = \sqrt{mn} \sigma_n \quad (14)$$

To estimate σ_n , the median of absolute difference (MAD) is used, [3].

$$\hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6745} = \frac{\text{Median}(|x - \text{Median}(x)|)}{0.6745} \quad (15)$$

In our method, we propose to suppress noise on the noisy edge image. The noise variance on the noisy edge image can be expressed as,

$$\sigma_n = k \times \sigma_N \quad (16)$$

Where

$$k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q |1 - \text{Mask}(i, j)|^2}{p \times q}} \quad (17)$$

Where $\text{Mask}(i, j)$ is the coefficient of Fourier Transform of Gaussian mask obtained from equation (1) at i^{th} column and j^{th} row.

In this case, we use $\hat{\sigma}$ in terms of σ_N . We can estimate σ_n as,

$$\sigma_n = k \hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6745} \times k \quad (18)$$

Finally, the optimal threshold value can be defined as,

$$T = \left(\frac{k \times MAD}{0.6745} \right) \sqrt{mn} \quad (19)$$

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

To evaluate the performance of our proposed method Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) is adopted.

$$PSNR = 10 \cdot \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \text{ dB} \quad (20)$$

Where the Mean Square Error (MSE) is given by

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (I(i, j) - R(i, j))^2 \quad (21)$$

Where I and R are the original image and the reconstructed image at 8-bpp resolution, respectively and $m \times n$ is the image size. The higher of PSNR means the better of image quality.

However, PSNR can not correlate well with the human perception. Therefore, we also use Structural Similarity Index (SSIM), proven to be more correlated well with MOS (Mean Opinion Score), to further evaluate the performance of our proposed approach [8].

In Fig. 3, we evaluate the performance of various standard deviations of Gaussian filtering (σ_g) on Cameraman image with size 256x256, 8-bpp, contaminated with a few noise variances at 25,100 and 255. As can be seen, the suitable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

σ_g in terms of SSIM for all noise variances is approximately equivalent to 1 to provide the best performance.

Next, we move to consider the optimal block size of BSVD. In this experiment, we focus on only a few block sizes, which are 4x4, 8x8 and 16x16. Since the block size may take effect to the complicated calculation and the quality of the reconstructed image. We evaluate the performance of each block size on computation time in term of the complicated calculation and SSIM value in term of the quality of reconstructed image. The result is tabulated in table I.

We can see that the optimal block size among the computation time and SSIM is 8x8.

To test the effectiveness of our proposed approach, Barbara image with size 512x512, 8-bpp is used to early evaluate our scheme. The noisy image was formed by adding the zeroes-mean Gaussian noise. We also compare our proposed approach with other conventional approaches, which are Gaussian filter, BSVD, DWT denoising (soft thresholding).

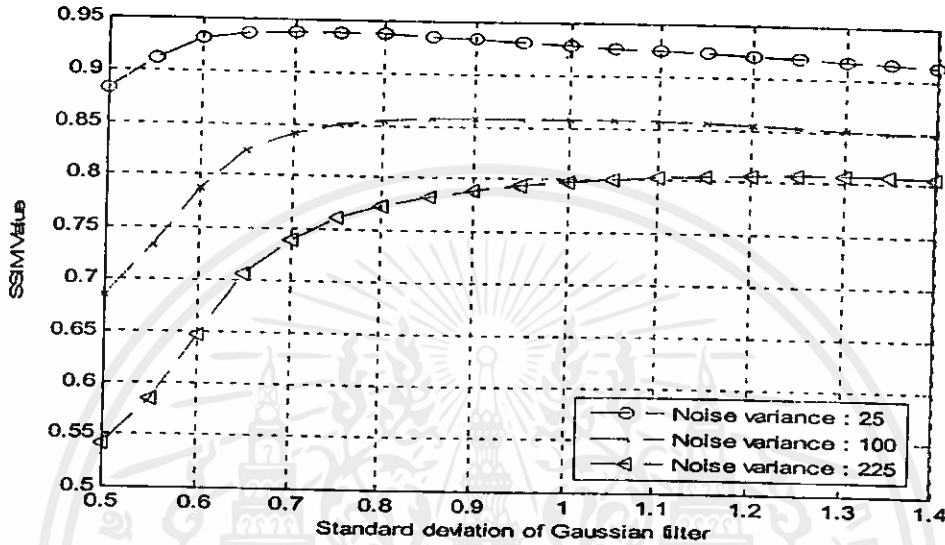


Fig. 3. Performance of the proposed method for each σ_g at several noise variances via SSIM value

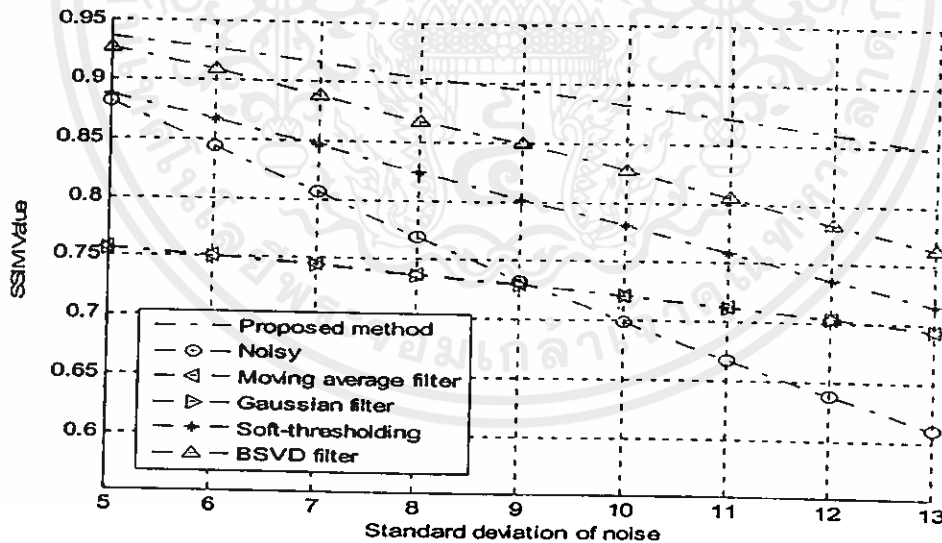


Fig. 4. SSIMs of reconstructed images (Barbara image) at different noise levels of diverse methods

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The noise variances are varied from 25 to 169. The experimental result is shown in Fig. 4. We can see that our proposed approach outperform all traditional methods.

Furthermore, we show the simulation results obtained from three images of size 256x256, 8-bpp (Woman, Cameraman and Peppers) and four images of size 512x512, 8-bpp (Lenna, Barbara, Flower and Plane). The original images are shown in Fig. 5. Each image is corrupted with additive Gaussian noise of zero mean at $\sigma = 5$ and 10.

In addition, Gaussian filter, Wavelet denoising level 1 (db4 Soft thresholding function $\hat{\sigma} = \frac{MAD(HH_1)}{0.6745}$, $T = \hat{\sigma} \sqrt{2 \log_{10}(m \times n)}$),

BSVD algorithm (block size 8x8) are used to compared with our proposed approach. The threshold of BSVD was determined by using equation 19. In our experiments, we use Gaussian filter with $\sigma_g = 1$ size 7x7, so

k for this experiment is equal to 0.8725. The block size of BSVD is 8x8. The results are tabulated in table II, III, IV, and V.

From the experimental results, the proposed method performs the best in terms of both PSNR and SSIM. In Fig. 6, we also zoom-up the Barbara image result in the region containing texture and smooth background. As can be seen, our proposed approach can effectively suppress noise, preserve edge and smooth in the smooth region, especially noticeable on the textile pattern and the background area.

TABLE I
SSIM VALUES AND COMPUTATION TIME AT SEVERAL BLOCK SIZES

Noise variance	Block size	Cameraman (256x256)		Cameraman (512x512)	
		SSIM	Computation Time (Sec)	SSIM	Computation Time (Sec)
25	4x4	0.94284	0.43750	0.94720	1.9219
	8x8	0.92785	0.35938	0.96017	1.3750
	16x16	0.90002	0.28125	0.95270	1.1875
100	4x4	0.86375	0.43750	0.82861	2.0000
	8x8	0.85900	0.35938	0.90980	1.5313
	16x16	0.83751	0.28125	0.90771	1.2188

TABLE II
PSNR VALUES OF RECONSTRUCTION IMAGES AT $\sigma = 5$

Image	Un-filtering	Moving Average	Gaussian Filter	BSVD Filtering	Soft-Thresholding	Proposed method
Cameraman	34.137	25.81	25.984	35.799	31.133	34.772
Peppers	34.136	29.615	30.412	35.875	33.567	36.065
Girl	34.135	32.527	33.107	36.176	34.976	36.966
Airplane	34.138	31.316	32.786	36.55	35.037	37.237
Barbara	34.137	25.124	25.236	35.604	30.728	35.606
Flowers	34.137	33.471	33.679	36.063	35.544	37.138
Lenna	34.136	33.053	33.6	35.843	34.809	36.551

TABLE III
PSNR VALUES OF RECONSTRUCTION IMAGES AT $\sigma = 10$

Image	Un-filtering	Moving Average	Gaussian Filter	BSVD Filtering	Soft-Thresholding	Proposed method
Cameraman	28.128	25.59	25.719	30.68	28.389	30.491
Peppers	28.127	29.172	29.833	31.039	30.429	32.173
Girl	28.128	31.656	32.094	31.594	31.696	33.686
Airplane	28.126	30.62	31.801	31.784	31.572	33.682
Barbara	28.128	24.943	25.013	30.708	27.776	31.357
Flowers	28.127	32.385	32.512	31.014	32.185	33.678
Lenna	28.127	32.047	32.446	31.442	31.769	33.433

TABLE IV
SSIM VALUES OF RECONSTRUCTION IMAGES AT $\sigma = 5$

Image	Un-filtering	Moving Average	Gaussian Filter	BSVD Filtering	Soft-Thresholding	Proposed method
Cameraman	0.84491	0.83339	0.83475	0.92111	0.88296	0.92880
Peppers	0.87462	0.92665	0.92719	0.92803	0.93098	0.95186
Girl	0.88912	0.9183	0.91884	0.92463	0.92492	0.94816
Airplane	0.82045	0.92852	0.92906	0.91077	0.91593	0.94729
Barbara	0.88164	0.75577	0.75794	0.92752	0.85732	0.93641
Flowers	0.87222	0.94548	0.94583	0.92872	0.94084	0.95315
Lenna	0.84157	0.89889	0.89945	0.8968	0.89837	0.92478

TABLE V
SSIM VALUES OF RECONSTRUCTION IMAGES AT $\sigma = 10$

Image	Un-filtering	Moving Average	Gaussian Filter	BSVD Filtering	Soft-Thresholding	Proposed method
Cameraman	0.63165	0.78619	0.78633	0.7933	0.77033	0.85892
Peppers	0.68107	0.8889	0.88898	0.83101	0.84643	0.91832
Girl	0.65572	0.87974	0.87978	0.82186	0.83833	0.90849
Airplane	0.5779	0.8743	0.87436	0.78412	0.80372	0.87805
Barbara	0.69932	0.72143	0.7217	0.82844	0.78038	0.88356
Flowers	0.67463	0.90739	0.9074	0.81441	0.86208	0.91586
Lenna	0.60808	0.85218	0.85222	0.77703	0.7997	0.87967

V. CONCLUSIONS

This paper presents an effective method for noise suppression using an adaptive block based Singular value decomposition (BSVD), which can preserve edge (detail information) as well as effectively smooth in the homogeneous region. The effectiveness of our proposed approach depends on the accuracy of the threshold value, which need to be carefully chosen. If a small threshold value is used, the sharp edge is retained but the image is still noisy. On the other hand, if the threshold is too large, the image information of the reconstructed image will be lost. Therefore, the optimal threshold value of our proposed approach is derived and defined. In addition, we also compared our proposed approach with other traditional methods. The comparison suggests that the proposed method is competitive and outperform with other methods in terms of both quantitative and visual quality measurement. Therefore, our method leads to an effective method that can be used for noise suppression.

REFERENCES

- [1] A. McAndrew, An Introduction to Digital Image Processing with Matlab, Thomson, 2004.
- [2] D. L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding," IEEE Transaction on Information Theory, Vol. 41(3), pp. 613-627, May 1995.
- [3] S. G. Chang and Y. Bin, and M. Vetterli, "Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression," IEEE Transactions on Image Processing Vol. (9), pp. 1532-1546. Sep 2000.
- [4] J. Scharcanski, C. R. Jung and R. T. Clarke, "Adaptive image denoising denoising using scale and space consistency," IEEE Transactions on Image Processing Vol. 6(9), pp.1092-1101, Sep 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [5] K. Konstantinides, B. Natarajan, and G. S. Yovanof, "Noise estimation and filtering using block-based singular value decomposition," *IEEE Transactions on Image Processing* Vol. 6(3), pp. 479-483, Mar 1997.
- [6] K. Konstantinides and K. Yao, "Statistical analysis of effective singular values in matrix rank determination," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing* Vol. 36(5), pp. 757-763, May 1988.
- [7] Z. Hou, "Adaptive singular value decomposition in wavelet domain for image denoising," *Pattern Recognition*, Vol. (36), pp. 1747-1763, 2003.
- [8] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, and E. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity" *IEEE Transactions on Image processing*, Vol.13 (4) pp. 600-612, April 2004.

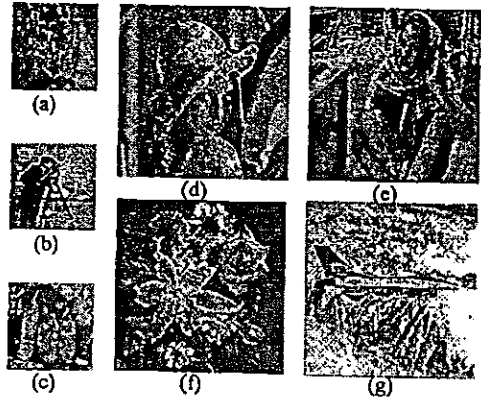


Fig. 5. Original image using in this experiment (a), (b), and (c) are Woman, Cameraman, and Peppers images, size 256X256, respectively and (d), (e), (f), and (g) are Lenna, Barbara, Flowers, and Airplane images, size 512X512

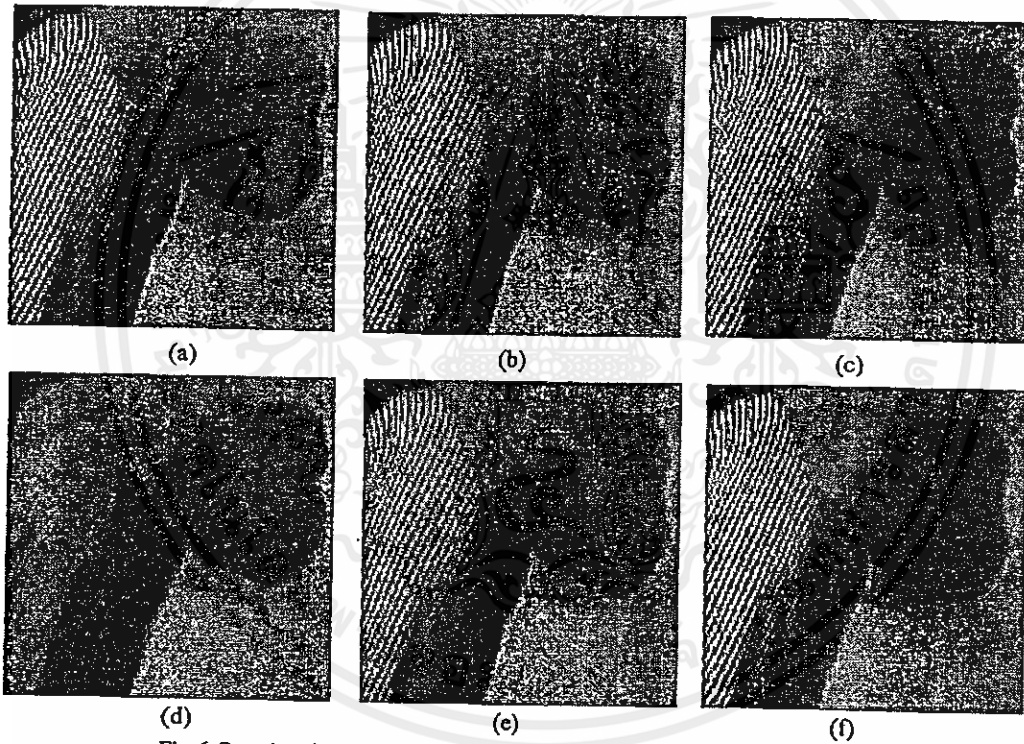


Fig. 6. Zoom-in noise suppression results for Barbara image at various methods (a) Original of Barbara image (b) Noisy image with $\sigma = 5$ (c) BSVD denoising (d)Gaussian filter denoising (e) Wavelet denoising and (f) Proposed method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical
Program

SPIE/COS Photonics Asia

Showcasing Photonics and Optical Technologies and Applications
Conferences · Exhibition

11–15 November 2007 · Jiuha Grand Convention and Exhibition Center · Beijing, China

High Power Lasers

Semiconductor Lasers and Applications

Materials, Devices and Sensors for Sensing
and Imaging

Optics in Health Care and Biomedical Optics

Solar Energy Technology and Solid State
Lighting

MEMS and Nano Technologies and
Applications

Optical Data Storage

Information Optics and Nonlinear Optics

Advanced Microlithography

Infrared Technologies

Electronic Imaging

Holography

Optical Design and Testing

Sponsored by:

SPIE

Chinese Optical Society (COS)

ถ้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หรือทำกำไร กรุณาแจ้งให้เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Despeckling Algorithm on Ultrasonic Image Using Adaptive Block-Based Singular Value Decomposition

Napa Sae-Bae and Somkait Udomhunsakul
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Faculty of Engineering, Information Engineering Department
Bangkok, Thailand

Email: benapa@gmail.com, kusomkai@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Speckle noise reduction is an important technique to enhance the quality of ultrasonic image. In this paper, a despeckling algorithm based on an adaptive block-based singular value decomposition filtering (BSVD) applied on ultrasonic images is presented. Instead of applying BSVD directly to ultrasonic image, we propose to apply BSVD on the noisy edge image version obtained from the difference between the logarithmic transformations of the original image and blur image version of its. The recovered image is performed by combining the speckle noise-free edge image with blur image version of its. Finally, exponential transformation is applied in order to get the reconstructed image. To evaluate our algorithm compared with well-know algorithms such as Lee filter, Kuan filter, Homomorphic Wiener filter, median filter and wavelet soft thresholding, four image quality measurements, which are Mean Square Error (MSE), Signal to MSE (S/MSE), Edge preservation (β), and Correlation measurement (ρ), are used. From the results, it clearly shows that the proposed algorithm outperforms other methods in terms of quantitative and subjective assessments.

Keywords: Ultrasonic image, SVD, Despeckling, singular value thresholding, speckle noise, speckle denoising

1. INTRODUCTION

Ultrasonic image was considered as the most powerful technique for imaging organ and soft tissue structures in human body for more than two decades because of its noninvasive nature, non-ionizing radiations, low-cost, and portability. However, the poor quality of ultrasonic image caused by the kind of noise called "Speckle" is the main weakness of its [1]. Since the corrupting speckle noise is the multiplicative noise, most beginning process for de-speckle filtering is converting a multiplicative noise into an additive noise using logarithmic transformation and then thresholding on pixel value of lower scales in wavelet domain. Soft-thresholding method for noise reduction was presented in 1995 by Donoho [2]. However, wavelet denoising method has two main drawbacks, which are the choice of the threshold and the specific distributions of the signal and noise may not be well matched at different scales [10]. Moreover, the unbalancing between the speckle suppression and detail preservation is occurred. [3] While the others used non-linear filtering to suppress its, such as Median filter, Wiener filter etc. But these methods often fail to preserve both weak and diffuse edge of the image [3]. Chronologically, Singular Value Decomposition (SVD) is a technique that can be used for noise suppression. In 1997, noise estimation and filtering technique using block-based singular value decomposition filtering (BSVD) was introduced [9,10].

In this work, the novel de-speckle filtering which is well to reconstruct image with lower noise and higher detail is introduced. First, the logarithmic transformation is applied on ultrasonic image. Next, we split noisy edge of image obtained from the difference between noisy image and its blur version into sub-block. After that, thresholding on singular value of sub-block noisy edge image is used for speckle noise suppression on edge map. Then, log-compress noise-free image is produced by adding its blur version with recovered edge image. Finally, the inverse logarithmic transformation is processed to reconstruct the speckle noise-free image.

In this paper, we organize as following. Our paradigm for de-speckle method is explained by using block diagram in section 2. More information of each step from block diagram is detailed in section 3. In section 4, experimental results are illustrated on both synthetic and realistic ultrasound image to study the performance of our purposed method compared with traditional existing methods. Finally, the conclusion remarks are provided in section 5.

2. DESPECKLING SCHEME

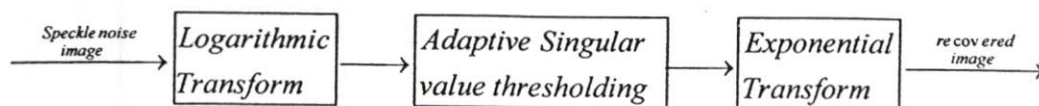


Fig 1. Block diagram of the proposed scheme to suppressed speckle noise.

The model of our proposed method is described by Fig 1. Firstly, we use logarithmic transformation to convert speckle noise into additive noise. Since speckle noise is a kind of multiplicative noise which is defined as,

$$\bar{I} = I + I \cdot N, \quad (1)$$

where I : Original ultrasonic image

N : Zeros-mean uniformly distributed random noise

\bar{I} : Ultrasonic image corrupted by speckle noise

From (1), we can see that if we applied logarithmic transform on ultrasonic image, we can change speckle noise into additive noise following by

$$\log(\bar{I}) = \log(I + 1) + \log(N). \quad (2)$$

Then, we introduce an additive noise reduction on ultrasonic image by using adaptive singular value thresholding. Finally, invert logarithmic or exponential transformation is applied to produce noise-free ultrasonic image.

Adaptive singular value thresholding is described by Fig 2. In the beginning process, Gaussian filter is used to separate noisy image into two parts which are blur and noisy edge image versions. Then, noisy edge image is splitted into sub-block images in order to reduce computation time in singular value decomposition process. Accordingly, noise is eliminated by thresholding on singular value of sub-block images, so noise-free edge image is recovered. Finally, blur version is combined with noise-free edge image to retrieve noise-free log-compress ultrasonic image.

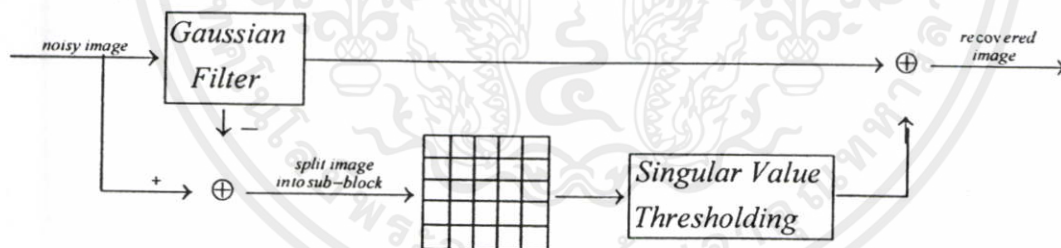


Fig 2. Block diagram of the method of Adaptive Singular value thresholding.

3. IMPLEMENTAL STRATEGIES

3.1 Gaussian filter

Gaussian filter is a class of low-pass filter based on the Gaussian probability distribution function [8],

$$f(x, y) = \frac{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_g^2}}}{2\pi\sigma_g^2}. \quad (3)$$

In general, we can decompose an original image (I) by Gaussian filter into two parts,

$$I = I_1 + I_2, \quad (4)$$

where I_1 and I_2 are the blur image and edge image versions, respectively.

The model of noisy image with additive noise can be written as,

$$N = I + E, \quad (5)$$

where N is a noisy image, I is an original image and E is Gaussian noise with zero mean and standard deviation σ .

When we apply Gaussian filter to the noisy image, it can be written approximately equivalent to,

$$N \approx (I_1) + (I_2 + E). \quad (6)$$

3.2 Singular Value Decomposition

Every matrix A of $m \times n$ size ($m \geq n$) can be decomposed into the product of three matrices,

$$A = USV^T = \sum_{i=1}^n s_i \bar{u}_i \bar{v}_i', \quad (7)$$

where U and V are orthogonal matrices with column vectors \bar{u}_i and \bar{v}_i' , and $S = \text{diag}(s_1, s_2, \dots, s_n)$, which is a diagonal matrix.

The diagonal elements of S can be arranged in a descending order called the singular values of A and [9],

$$s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_n. \quad (8)$$

3.3 Singular value Thresholding

BSVD filtering is proposed and proved that it can effectively suppress noise while preserving edge details [4,9]. However, the selection of the threshold value is directly influenced to how much of noise is to be removed. Therefore, we propose to solve and define the optimum threshold value for our scheme.

From equation (7), we can spread into

$$A = s_1 \bar{u}_1 \bar{v}_1' + s_2 \bar{u}_2 \bar{v}_2' + \dots + s_l \bar{u}_l \bar{v}_l' \quad (9)$$

Where l is the rank of matrix A

$$|A|^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (10)$$

So, if A is the additive zeros mean uniformly distributed noise of image with σ_n , we can derive this equation into

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (a_{ij} - \mu_A)^2}{m \times n} \quad (11)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}^2}{m \times n} \quad \text{at } \mu_A = 0 \quad (12)$$

$$m \times n \times \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (13)$$

To estimate σ_n of noisy image, the median of absolute difference (MAD) is used, [3].

$$\hat{\sigma} = \frac{MAD}{0.6745} = \frac{\text{Median}(|x - \text{Median}(x)|)}{0.6745} \quad (14)$$

And after substituting equation (14) in equation (13), we can express as,

$$m \times n \times \left(\frac{MAD}{0.6745} \right)^2 = \sum_{i=1}^l s_i^2 \quad (18)$$

Thus, if we can accumulate all of singular value of noise which is equal to equation (18), we can conclude that the rest of singular value is signal or particular of noise-free image. The thresholding function for this scheme can be written as

$$HBSVD(s_i) = \begin{cases} 0, & m \times n \times \left(\frac{MAD}{0.6745} \right)^2 - \sum_{j=i+1}^n s_j^2 > \frac{s_i^2}{2} \\ s_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

4. EXPERIMENTAL RESULTS

To evaluate the performance of our proposed approach to eliminate speckle noise, several aspects, such as noise remaining and sharpen edge of image, must be considered. Many image quality assessments have been developed for ultrasonic image evaluation. In our experiments, we choose following four traditional measurements to compare our method with other algorithms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a) Mean square error (MSE):

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (s(i, j) - \hat{s}(i, j))^2, \quad (20)$$

where s and \hat{s} are original image and noisy image, respectively.

The larger the MSE, the better the performance in reducing noise of despeckling algorithm.

b) Signal to MSE (S/MSE) [1]:

$$S / MSE = 10 \cdot \log \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s(i, j)^2}{mse} \right) \text{ dB}. \quad (21)$$

The larger the S/SME, the less the contained noise.

c) Edge preservation (β) [5]:

$$\beta = \frac{\Gamma(\Delta s - \bar{\Delta s}, \Delta \hat{s} - \bar{\Delta \hat{s}})}{\sqrt{\Gamma(\Delta s - \bar{\Delta s}, \Delta s - \bar{\Delta s}) \cdot \Gamma(\Delta \hat{s} - \bar{\Delta \hat{s}}, \Delta \hat{s} - \bar{\Delta \hat{s}})}}, \quad (22)$$

where Δs and $\Delta \hat{s}$ are high pass filtered version of s and \hat{s} respectively, obtained from 3×3 pixel standard approximation of Laplacian operator.

The larger the β , the better the performance of edge preservation of despeckling algorithm.

d) Correlation measurement (ρ) [5]:

$$\rho = \frac{\Gamma(s - \bar{s}, \hat{s} - \bar{\hat{s}})}{\sqrt{\Gamma(s - \bar{s}, s - \bar{s}) \cdot \Gamma(\hat{s} - \bar{\hat{s}}, \hat{s} - \bar{\hat{s}})}}, \quad (23)$$

where \bar{s} and $\bar{\hat{s}}$ are mean value of original and denoised image, consequently, and

$$\Gamma(s_1, s_2) = \sum_{i=1}^k s_{1i} \cdot s_{2i}. \quad (24)$$

The larger the ρ , the better the correlation between an input and an output of despeckling algorithm.

To compare the performance of our proposed method, at $\sigma_g = 1.2$ and block size is 8×8 , with other traditional methods which are Lee filter, Kuan filter, Visushrink (soft thresholding), Bayesshrink (soft thresholding), Median filter (5×5), and Homomorphic Wiener (5×5), the synthetic ultrasonic image (Fig 3.(a)) corrupted with noise at variance 0.02 and 0.07 was filtered and evaluated by using four measurements. The results are tabulated in table I, As can be seen from the experimental results, our proposed outperforms in terms of MSE, S/MSE, β , and ρ . We also further evaluate the subjective performance of each algorithm by using the realistic ultrasonic image, Thyroid (Fig 4.). To visual compare with all other methods on the realistic ultrasonic image, it efficiently de-speckle noise with smooth and preserve image features well.

5. CONCLUSION

In this paper, we present an outperforming algorithm to suppress speckle noise corrupted on ultrasonic image using an adaptive block based Singular Value Decomposition. Since the realistic ultrasonic images are naturally corrupted by speckle noise and most measurements require original noise free image to test, we choose the synthetic ultrasonic image to empirical test by four measurements above. The results present an effectiveness of our scheme compared with others. Then we test all algorithm on realistic ultrasonic image. By inspection, our proposed approach is also given best reconstruction image in terms of smoothness and sharpness. We can conclude that our method is competitive with other de-speckle algorithms. In addition, we can adjust some parameters, such as σ_g or block size, of our algorithm to receive the desirable output of each user.

REFERENCES

- [1] A. Achim, "Novel Bayesian Multiscale Method for Speckle Removal in Medical Ultrasound Images", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.20(8),pp.772-783. Aug 2002
- [2] D.L. Donoho, "De-noising by soft-thresholding", *IEEE Transaction on Information Theory*, Vol.41(3), pp. 613-627. May 1995.
- [3] X. Hao, S. Gao, "A Novel Multiscale Nonlinear Thresholding Method for Ultrasonic Speckle Suppression", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.18(9),pp.787-794. Sep 1999
- [4] K. Konstantinides, B. Natarajan, G.S. Yovanof, "Noise estimation and filtering using block-based singular value decomposition", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol.6(3), pp. 479-483. March 1997.
- [5] S. Gupta, L. Kaur, R.C. Chauhan, S.C. Saxena, "A versatile technique for visual enhancement of medical ultrasound images", *Digital Signal Processing*, Vol.17,pp.542-560. Jan 2007
- [6] A. Pizurica, W. Philips, "A Versatile Wavelet Domain Noise Filtration Technique for Medical Imaging", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.22(3),pp.323-331. Mar 2003
- [7] A. Lopes, R. Touzi, E. Nezry, "Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity", *IEEE Transactions on Geosciences and remote sensing*, Vol.28(6),pp.992-1000. Nov 1990
- [8] A. Mcandrew, *An Introduction to Digital Image Processing with Matlab*, Thomson, 2004.
- [9] K. Konstantinides and K. Yao, "Statistical analysis of effective singular values in matrix rank determination," *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 36(5), pp. 757-763, May 1988.
- [10] Scharcanski, J.; Jung, C.R.; Clarke, R.T.; Adaptive image denoising denoising using scale and space consistency, *IEEE Transactions on Image Processing*, Volume 6, Issue 9, 1092-1101. Sep 2002.

Table 1. MSE, S/MSE (dB), β and ρ obtain from various de-speckle techniques tested on 150x150 artificial at two different noise levels (0.02 and 0.07) image (img (a) on figure 3). The results of the proposed approach is taken at windows size at 8x8

Method	MSE	S/MSE	β	ρ
Without filtering ($\sigma^2 = 0.02$)	143.79	17.329	0.77501	0.975
Lee filter	92.675	19.196	0.76591	0.98355
Kuan filter	101.99	18.78	0.64019	0.98209
Visushrink (soft thresholding)	80.828	19.79	0.78497	0.98574
Bayesshrink (soft thresholding)	109.16	18.485	0.80874	0.98076
Median filter (5x5)	253.56	14.825	0.63233	0.95495
Homomorphic Wiener (5x5)	257.44	14.759	0.48692	0.95547
Proposed approach	42.921	22.539	0.91332	0.99252
Without filtering ($\sigma^2 = 0.07$)	506.73	12.022	0.52382	0.91785
Lee filter	233.93	15.175	0.48158	0.95806
Kuan filter	194.39	15.979	0.37969	0.96498
Visushrink (soft thresholding)	227.35	15.299	0.52193	0.95996
Bayesshrink (soft thresholding)	319.57	13.82	0.57979	0.94464
Median filter (5x5)	343.47	13.507	0.36382	0.93802
Homomorphic Wiener (5x5)	308.96	13.967	0.43363	0.94935
Proposed approach	146.76	17.2	0.74209	0.97562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

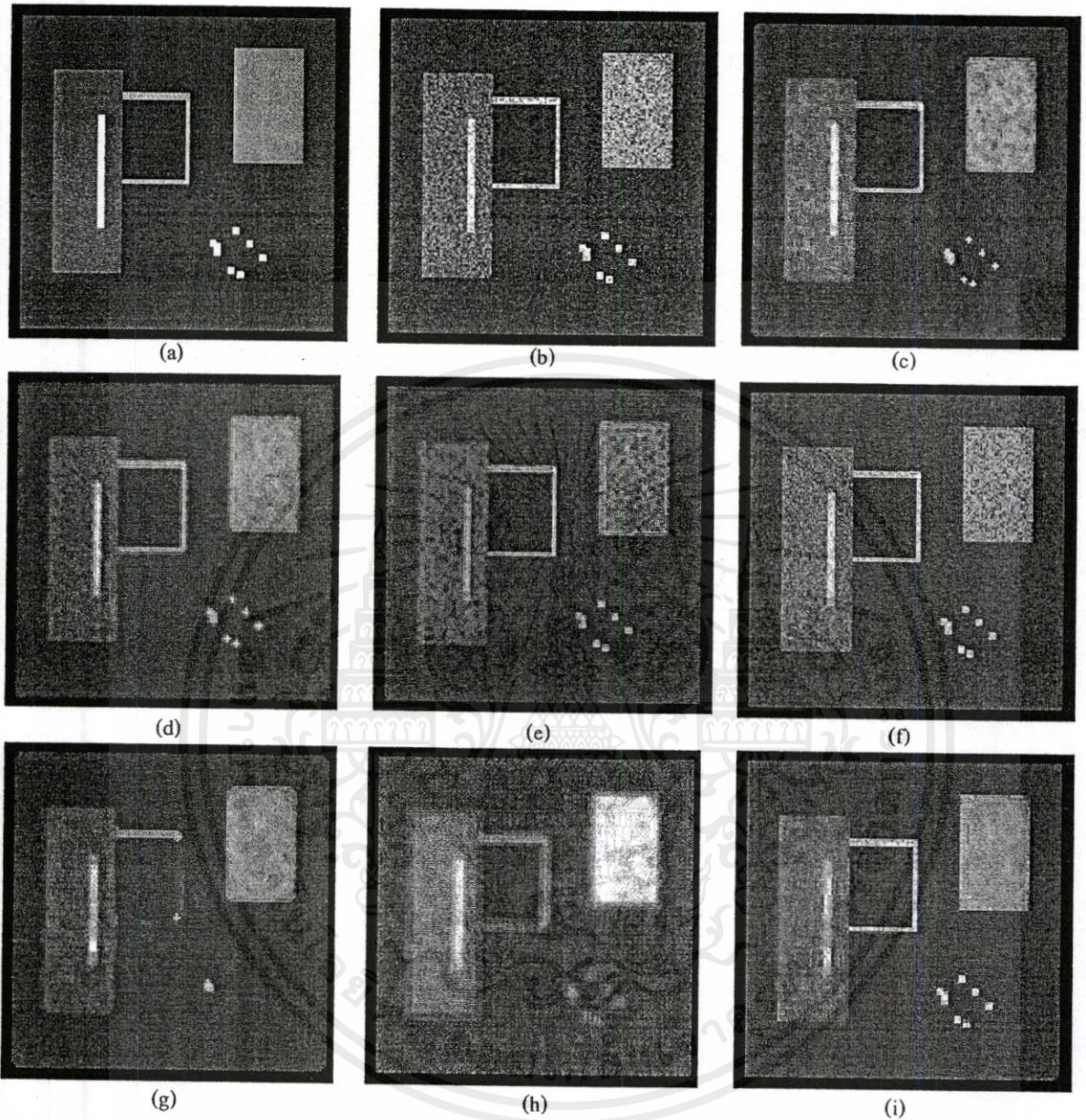


Fig 3.Reconstructed synthetic image of diverse methods

(a) artificial image (b) noisy image with noise variance 0.03

(c) Lee filter (d) Kuan filter (e) Visushrink (f) Bayesshrink

(g) Median filter (h) Homomorphic Wiener filter and (i) Proposed approach

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

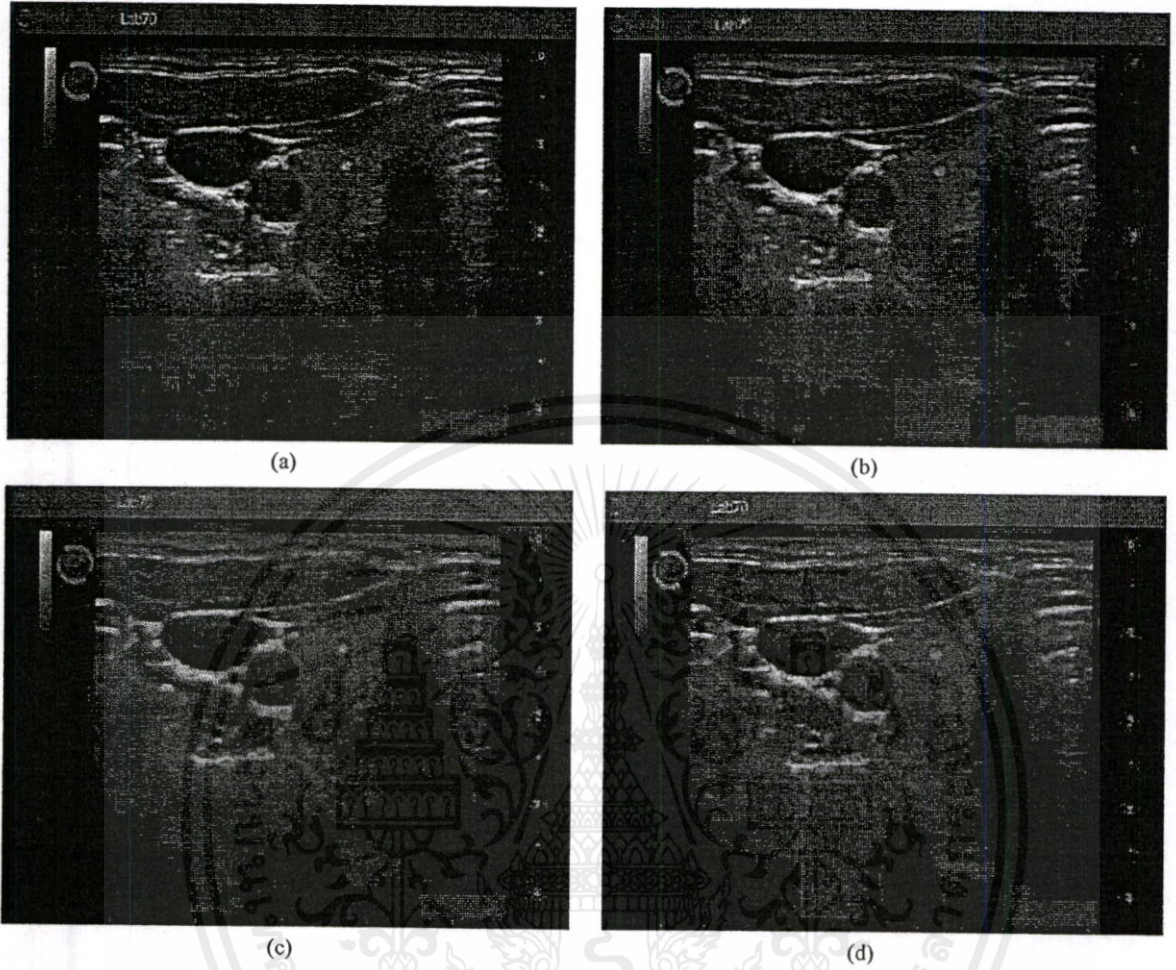


Figure 4. Reconstructed realistic ultrasound image of diverse methods

(a) Realistic US image (Thyroid) (b) Lee filter

(c) Homomorphic Wiener filter and (d) Proposed approach

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวนภา แซ่เบ๊
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 6 เดือนมกราคม พ.ศ. 2526
 ที่อยู่ 501/8 ถนนบำรุงเมือง แขวงคลองมหานาค
 เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย จังหวัดกรุงเทพมหานครฯ

ประวัติการศึกษา

2538 ประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบัณฑิตวิทยา
 2544 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ
 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

ประสบการณ์

พฤศจิกายน 2549 – ปัจจุบัน ผู้ช่วยอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง