

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบไม่เชิงเส้นแบบปรับตัวเองได้สำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพ

NONLINEAR ADAPTIVE SYSTEM FOR NOISE CANCELLING ON IMAGE



นายจิรวุฒิ สินธุวนิชเศรษฐ์
MR. JIRAWUT SINTHUVANICHSAID

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2540

ISBN 974-622-070-5

เลขหม.....

เลขทะเบียน...29379

วัน, เดือน, ปี 26 ส.ค. 2541

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NONLINEAR ADAPTIVE SYSTEM FOR NOISE CANCELLING ON IMAGE



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

1997

ISBN 974-622-070-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ระบบไม่เชิงเส้นแบบปรับตัวเองได้สำหรับการกำจัด
สัญญาณรบกวนในภาพ

นักศึกษา

นายจิรภูมิ สีนุวัฒน์เศรษฐ์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชม กิมปาน

ระดับการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.

2540

บทคัดย่อ

การใช้ตัวกรองเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพเป็นงานประมวลผลภาพเบื้องต้นอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ และจำเป็นมากต่อการประมวลผลภาพในขั้นต่อไปเพื่อให้ได้ผลที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เป็นที่รู้ดีว่าสัญญาณรบกวนผสมที่เกิดจากการผสมกันระหว่างสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เข้ากับสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟสามารถกำจัดได้ด้วยการใช้ตัวกรองแบบไฮบริดที่ประกอบไปด้วยตัวกรองมัชฌานที่ทำงานร่วมกับตัวกรองค่าเฉลี่ย แต่วิธีนี้จะทำลายความคมชัดของภาพไป ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมด้วยตัวกรองมัชฌานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ ที่พัฒนามาจากตัวกรองมัชฌานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบหนึ่งมิติ วิธีการนี้สามารถลดผลกระทบของสัญญาณอิมพัลส์ที่มีผลต่อการปรับปรุงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง ขนาดหน้าต่างถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาดเหมาะสมกับข้อมูลภาพและสัญญาณรบกวน จึงทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสม และรักษาความคมชัดของขอบภาพและโครงสร้างภาพได้ดีกว่าวิธีการของตัวกรองแบบไฮบริด โดยการเปรียบเทียบวัดผลของการทดลองด้วยค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดกำลังสอง ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดทางขนาด และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

Thesis Title	Nonlinear Adaptive System for Noise Cancelling on Image
Student	Mr.Jirawut Sinthuvanichsaid
Thesis Advisor	Associate Professor Dr. Chom Kimpan
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1997

Abstract

Using filter to eliminate noise of images is the preprocessing of an image processing and very necessary for the next process. The mixed noises from Gaussian noise and Impulsive noise can be eliminated by using the Hybrid filter which consist of median and average filter (M&A), however a contrast of images will be destroyed. The purpose of this thesis is the method for eliminate mixed noises by using 2-D Median Filter with Adaptive Window Length (2-D MFAWL) which developed from Robust Median Filter with Aadaptive Window Length (RMFAWL). This method can reduce the affect from adapting window size of impulse signal. It can adapt window size suitatble for image data and niose. The results of this method can eliminate mixed noises and presurve the edge and shape of image better than M&A filter. The experiment used mean square error, mean average error and signal to noise ratio, the efficiencies between two filters were compared.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบิดามารดาที่มอบทุกสิ่งทุกอย่างและให้โอกาสได้มาเรียน ให้ลูกคนนี้ได้ในสิ่งที่ฝันและตั้งใจ อย่างอดทนจนลูกได้มีวันนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ชม กิมปาน เป็นอย่างสูงที่ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในเรื่องต่างๆ ด้วยความเอ็นดูแก่ผู้เขียนด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ทั้งหลายที่เป็นกำลังใจให้การเรียนในระดับมหาวิทยาลัยนี้ อย่างมีคุณค่า มีชีวิต และมีความหมาย

ขอขอบคุณทุนสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ให้การสนับสนุนการศึกษามาตลอด

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และสุดท้ายขอขอบพระคุณ ทุกๆ สรรพสิ่งด้วยดวงจิตอันสุดซึ้ง.....

ขอขอบพระคุณ

จิรวุฒิ สิ้นธุวนิชเศรษฐ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII

บทที่

1. บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	3
2. ภาพและสัญญาณรบกวน.....	5
ภาพ (Image).....	5
สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise).....	9
สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ (Impulsive Noise).....	11
แบบจำลองการเกิดสัญญาณรบกวนในภาพ.....	12
การวัดคุณภาพของภาพ.....	14
3. การกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ.....	17
ตัวกรองแบบไฮบริดที่ใช้ตัวกรองมัธยฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ย.....	18
Robust Median Filter with Adaptive Window Length : RMFAWL.....	21
ตัวกรองมัธยฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ	
2-D Median Filter with Adaptive Window Length : 2-D MFAWL.....	27
4. การจำลองการทำงานของตัวกรองด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	41
แบบจำลองของตัวกรอง.....	41
โปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ.....	42
5. ผลการทดลอง.....	47
ประสิทธิภาพการรักษาความคมชัดของภาพ.....	48
ประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมต่อ σ^2 ที่ค่าต่าง ๆ.....	55
ประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมต่อ p ที่ค่าต่าง ๆ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
6. สรุปผลการวิจัย.....	65
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1. แสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากผลในภาพที่ 23, 24, 25, 26 และ 27.....	55
2. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $p = 0.05$ คงที่ บนภาพ CMAN ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR.....	56
3. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $p = 0.05$ คงที่ บนภาพ LENA ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR.....	58
4. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $\sigma^2 = 200$ คงที่ บนภาพ CMAN ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR.....	61
5. แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $\sigma^2 = 200$ คงที่ บนภาพ LENA ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR.....	63
6. แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวกรอง 2-D MFAWL และตัวกรอง M&A.....	66

สารบัญภาพ

หน้า

1. แสดงลักษณะข้อมูลเชิงตัวเลขของภาพดิจิทัลรูปสุนัข.....6	
(ก) เป็นภาพดิจิทัลรูปสุนัขมีขนาด 170×170 จุดภาพ	
(ข) แสดงภาพขยายใหญ่ของจุดภาพพื้นที่ A ในกรอบสี่เหลี่ยมขนาด 5×5 จุดภาพ	
(ค) แสดงการแทนความหมายของค่าระดับสีเทาในพื้นที่ A ด้วยตัวเลขในรูปของตารางเมทริกซ์	
2. แสดงองค์ประกอบของภาพทางสถิติ.....8	
(ก) แสดงภาพต้นแบบ	
(ข) แสดงภาพเฉลี่ยโลคอลมีน X^{mean}	
(ค) แสดงภาพค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉพาะที่ σ_x	
(ง) แสดงภาพโครงร่าง X^{shape} ของภาพ $X_{i,j}$	
3. แสดงรูปฟังก์ชันและสัญญาณรบกวนแบบยูนิคฟอร์ม.....9	
(ก) แสดงรูปของฟังก์ชัน pdf แบบยูนิคฟอร์ม	
(ข) แสดงรูปของสัญญาณรบกวนแบบยูนิคฟอร์มที่มีขนาดของสัญญาณอยู่ในช่วง (a, b)	
4. แสดงรูปฟังก์ชันและสัญญาณรบกวนแบบนอร์มอลฟอร์ม.....11	
(ก) แสดงรูปของฟังก์ชัน pdf แบบนอร์มอลฟอร์ม	
(ข) แสดงรูปของสัญญาณรบกวนแบบนอร์มอลฟอร์ม	
5. แสดงแบบจำลองการเกิดของสัญญาณรบกวนผสมในภาพ.....12	
6. แสดงภาพที่เกิดการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม.....14	
7. แสดงขั้นตอนของตัวกรอง M&A เพื่อใช้กำจัดสัญญาณรบกวนผสม.....18	
8. แสดงหน้าต่างขนาด $N \times N$ บนภาพ $X_{i,j}$ ที่จุด i, j19	
9. แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพด้วยตัวกรอง M&A.....21	
(ก) ภาพที่ได้จากการใช้ตัวกรองมัชฌานในขั้นตอนที่หนึ่ง	
(ข) ภาพที่ได้จากการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยในขั้นตอนที่สอง	
10. แสดงโครงสร้างตัวกรอง Robust Median Filter with Adaptive Window Length.....23	
11. แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนด้วยตัวกรอง RMFAWL.....24	
(ก) สัญญาณต้นแบบ	
(ข) สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน $\sigma^2 = 100$	
(ค) ผลของตัวกรองค่าเฉลี่ย $L_{avr} = 15$	
(ง) ผลของตัวกรองมัชฌาน $L_{med} = 5$	

สารบัญญภาพ(ต่อ)

หน้า

(จ) ผลของตัวกรองมัธยฐาน $L_{med} = 31$	
(ฉ) ผลของตัวกรอง RMFAWL $L(i) = 5...31$	
(ช) การเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง RMFAWL	
12. แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมด้วยตัวกรอง RMFAWL.....	26
(ก) สัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 100$ และ $p = 0.05$ บนสัญญาณต้นแบบจากภาพ 11(ก)	
(ข) ผลของตัวกรอง M&A $L_{med} = 5$ และ $L_{avr} = 15$	
(ค) ผลของตัวกรอง RMFAWL ขนาดหน้าต่าง $L(i) = 5...31, \Delta = 0.23$	
(ง) การเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง RMFAWL	
13. แสดงหน้าต่างหนึ่งมิติของตัวกรอง MFAWL.....	28
14. แสดงรูปแบบที่เป็นไปได้ 8 ลักษณะของ $U_L(k)$ และ $U_R(k)$	29
15. แสดงโครงสร้างของตัวกรอง Median Filter with Adaptive Window Length.....	30
16. แสดงผลการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมด้วยตัวกรอง MFAWL.....	32
(ก) ผลของตัวกรอง MFAWL ที่ $W_{min} = 5, W_{max} = 31$ และ $Th = 2.5\sigma$	
(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง MFAWL	
17. แสดงหน้าต่างสองมิติของตัวกรอง 2-D MFAWL.....	33
18. แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ของหน้าต่างขนาด 3x3.....	36
19. แสดงกราฟการหาขนาดของค่า W_{max} ของภาพ LENA.....	37
20. ภาพแสดงการอธิบายการกำหนดค่าพารามิเตอร์ Th	38
21. แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพด้วยตัวกรอง 2-D MFAWL.....	39
(ก) ภาพผลการกรองของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.5\sigma$	
(ข) แสดงขนาดหน้าต่างของตัวกรองที่ตำแหน่ง i, j	
22. แสดงแบบจำลองของตัวกรองบนคอมพิวเตอร์.....	42
23. แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ.....	44
24. แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตัวกรอง M&A.....	45
25. แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตัวกรอง 2-D MFAWL.....	46
26. แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ CMAN	
ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้.....	49
(ก) ภาพต้นแบบ	

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

(ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200, p = 0.05$

(ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3, W_{avr} = 3$

(ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

27. แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ LENA

ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้.....50

(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200, p = 0.05$

(ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3, W_{avr} = 3$

(ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

28. แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ BABOON

ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้.....51

(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200, p = 0.05$

(ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3, W_{avr} = 3$

(ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

29. แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ JET.....52

ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้

(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200, p = 0.05$

(ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3, W_{avr} = 3$

(ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

30. แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ HOUSE.....53

ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้

(ก) ภาพต้นแบบ

(ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200, p = 0.05$

(ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3, W_{avr} = 3$

(ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

31. กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 2.....57

สารบัญญภาพ(ต่อ)

	หน้า
32. กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 3.....	59
33. กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 4.....	62
34. กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 5.....	64



บทที่ 1

บทนำ

เมื่อคอมพิวเตอร์เครื่องแรกได้ถูกสร้างขึ้นมา ข้อมูลทางกายภาพเช่น อุณหภูมิ ความเร็ว ขนาด เสียงและความเข้มแสง ในรูปแบบของข้อมูลต่อเนื่องก็ได้ถูกแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในรูปแบบของข้อมูลแบ่งแยก (Discrete Data) เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลหาคำตอบหรือเพื่อการจัดบันทึกข้อมูลเหล่านั้น จวบจนปัจจุบันคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ได้มีการสร้างชิพวงจรรวม จากที่มีความจุของทรานซิสเตอร์นับร้อยตัวกลายมาเป็นหลายล้านตัวในพื้นที่ขนาดประมาณหนึ่งตารางเซ็นติเมตรของซิลิกอน ทั้งขนาดความหนาแน่นของชิพและความเร็วที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับการพัฒนาทางสถาปัตยกรรมการออกแบบไมโครโปรเซสเซอร์ให้ทำงานแบบระบบขนาน และการออกแบบของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์จำนวนหลายตัวร่วมกันประมวลผล โดยมีระบบปฏิบัติการและตัวแปลภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถสูงทำหน้าที่ในส่วนของการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในรอบหลายสิบปีที่ผ่านมา ทำให้คอมพิวเตอร์ทุกวันนี้มีประสิทธิภาพพลังการคำนวณที่สูงมากนับตั้งแต่ได้มีการสร้างคอมพิวเตอร์ขึ้น

รูปภาพก็เป็นข้อมูลอันหนึ่งในข้อมูลหลายๆ ชนิดที่พบได้โดยมากในระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ การจะให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลกับข้อมูลภาพนั้นจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงมาก ด้วยความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันแล้ว งานประมวลผลภาพจึงพบเห็นอย่างมากมาย ข้อมูลภาพจึงมีความสำคัญเพิ่มขึ้นและได้ถูกแปลงเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์มากขึ้นเรื่อยๆ นอกจากนั้นระบบการมองของมนุษย์ ตามมนุษย์จะมีความรับรู้และตีความหมายรูปภาพได้รวดเร็วและดีกว่าตัวอักษร ภาพจึงได้ถูกนำมาใช้เพื่อขยายความหรือเพื่อสื่อความหมายแทนตัวอักษร ภาพที่คตินั้นนอกจากจะสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่ายแล้ว รายละเอียดและความคมชัดของภาพก็ยังมีส่วนช่วยในการสื่อความหมายด้วย ภาพที่สูญเสียรายละเอียดและความคมชัดของภาพเนื่องจากมีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นบนภาพ ภาพนั้นย่อมมีค่าในการสื่อความหมายเนื่องจากข้อมูลภาพได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปอาจเป็นผลทำให้เกิดการตีความหมายผิดพลาดได้ และสิ่งรบกวนนั้นยังมีผลต่อความรู้สึกด้านจิตใจในการพิจารณาภาพด้วย ในทางวิศวกรรมการประมวลผลภาพ จะเรียกสิ่งรบกวนนั้นว่า สัญญาณรบกวน (Noise Signal) ซึ่งสัญญาณรบกวนสามารถเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ในทุกขั้นตอนของกระบวนการสร้างภาพ การแปลงภาพและการนำส่งข้อมูลภาพ ตัวอย่างเช่น การส่งภาพกลับมายังโลกของยานสำรวจอวกาศ ภาพถ่ายดาวเทียม การแพร่กระจายภาพของสถานีโทรทัศน์และการส่งข้อมูลภาพในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ในกระบวนการเหล่านี้สัญญาณรบกวนอาจมีสาเหตุเกิดขึ้นได้จากในหลายๆ ส่วนของระบบที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานผิดปกติไปเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้น การรบกวนจากสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์การเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศโลก สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำของฟ้าผ่าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังสูง และเมื่อดฝนทำให้เกิดกระจายและแทรกสอดของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า สัญญาณรบกวนนั้นมีอยู่หลายชนิดแต่ที่พบเห็นได้โดยมากในภาพนั้นก็คือ “สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ” และ “สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน” ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดของสัญญาณรบกวนทั้งสองชนิดนี้ในบทที่ 2

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

ภาพที่มีสัญญาณรบกวนนั้นเป็นสิ่งที่ไม่พึงต้องการ ดังนั้นการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้ภาพนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้นเหมาะสมแก่การจะนำไปใช้งานต่อไป สัญญาณรบกวนจะถูกกำจัดออกไปจากภาพได้โดยการใช้ตัวกรอง (Filter) ทำการกรองภาพ ตัวกรองนี้โดยมากแล้วจะได้รับการออกแบบให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการกำจัดสัญญาณรบกวนเฉพาะชนิดนั้นๆ เช่น ตัวกรองค่าเฉลี่ย (Average Filter) ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน และตัวกรองค่ามัธยฐาน (Median Filter) ใช้กำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ แต่ในภาพที่มีสัญญาณรบกวนมากกว่าสองแบบผสมอยู่ จะใช้ตัวกรองเฉพาะชนิดทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแต่ละแบบออกโดยกระทำทีละครั้งนั้นเป็นวิธีการที่ไม่ดีนัก ความคมชัดของภาพจะเสียไปเพราะภาพต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอนของแต่ละตัวกรอง

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้ทำการวิจัยเพื่อสร้างตัวกรองที่มีคุณสมบัติสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมระหว่างสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟได้พร้อมกันในตัวกรองเดียว ซึ่งสัญญาณรบกวนทั้งสองแบบนี้พบเห็นได้มากในภาพ และตัวกรองนี้ยังมีความสามารถในการรักษารายละเอียดความคมชัดของภาพไว้ได้ดีกว่าการใช้ตัวกรองเฉพาะชนิดที่นำมากำจัดสัญญาณรบกวนในแต่ละแบบ ซึ่งคาดว่าตัวกรองในงานวิจัยนี้จะประ โยชน์ต่อ งานวิจัยและการพัฒนาของงานในสาขาการประมวลผลภาพเบื้องต้น และงานการประมวลผลทางด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะนำเสนอถึงหลักการและโครงสร้างของตัวกรองสองมิติชนิดใหม่ที่ใช้แก้ปัญหาคำจัดสัญญาณรบกวนผสมของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เชื่อมกับสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่เกิดขึ้นบนภาพ ที่ให้ผลของคุณภาพของภาพที่ดีกว่าการใช้ตัวกรองค่ามัธยฐานร่วมกับตัวกรองค่าเฉลี่ยในด้านความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสม และความสามารถในการรักษาความคมชัดของภาพ โดยใช้ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดกำลังสอง (MSE) ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดทางขนาด (MAE) อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของภาพ รายละเอียดการวิจัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะแบ่งย่อยออกเป็น 6 บท โดยที่ในแต่ละบทมีหัวข้อและเนื้อหาดังจะกล่าวต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และองค์ประกอบทางสถิติของข้อมูลภาพดิจิทัล และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คุณสมบัติ ลักษณะการเกิดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เชื่อมและสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟบนภาพ รวมทั้งวิธีการวัดคุณภาพของภาพ

บทที่ 3 แสดงให้เห็นถึงวิธีการและขั้นตอนการทำงานของการใช้งานร่วมกันของตัวกรองพื้นฐานสองชนิดคือ ตัวกรองค่ามัธยฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ย ในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสม และอธิบายถึงหลักการ โครงสร้างของตัวกรองค่ามัธยฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดของหน้าต่างได้อย่างอัตโนมัติให้เหมาะสมตามคุณสมบัติของข้อมูลภาพและสัญญาณรบกวนทั้งในแบบหนึ่งมิติและแบบสองมิติ ซึ่งเป็นตัวกรองที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 4 อธิบายถึงการทำงานและองค์ประกอบของแบบจำลองของตัวกรองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และแสดงขั้นตอนของโปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ โปรแกรมตัวกรอง M&A และ โปรแกรมตัวกรอง 2-D MFAWL ที่จะนำมาใช้ในการทดลองของบทที่ 5.

บทที่ 5 เป็นผลการทดลองที่แสดงถึงความสามารถและคุณสมบัติของตัวกรองพื้นฐานสองชนิดคือ ตัวกรองค่ามัธยฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ยในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสม เปรียบเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองมัธยฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดของหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ทุกๆ ส่วนของการทดลองจะมีการวัดค่าคุณภาพของภาพ

ส่วนที่ 1 เป็นผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการรักษารายละเอียดความคมชัดของภาพ ที่รูปภาพแบบต่าง ๆ กันที่มีปริมาณสัญญาณรบกวนผสมคงที่เท่ากันทุกรูปภาพ

ส่วนที่ 2 เป็นผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ปริมาณสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟมีค่าคงที่แต่ปริมาณสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนเปลี่ยนแปลงที่ขนาดต่างๆ กัน

ส่วนที่ 3 เป็นผลการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ปริมาณของสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟมีค่าเปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีค่าคงที่

บทที่ 6 เป็นบทสรุป วิจารณ์ถึงข้อดีและข้อเสียและเปรียบเทียบผลการทดลองในบทที่ 4 ของตัวกรองทั้งสองชนิดพร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการวิจัยที่สามารถที่จะพัฒนาต่อไป

และในส่วนท้ายสุดซึ่งเป็นภาคผนวก ได้ใส่รายละเอียดของโปรแกรมต่างที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อเป็นความสะดวกของผู้ที่จะทำการค้นคว้าวิจัยต่อไป โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้นเป็นสคริปไฟล์ของโปรแกรม MATLAB มีความสามารถที่ดีในงานวิจัยการประมวลผลภาพทั้งในด้าน การพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย รวดเร็ว โปรแกรมสั้น มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ช่วยมาก และมีความถูกต้องสูง

บทที่ 2

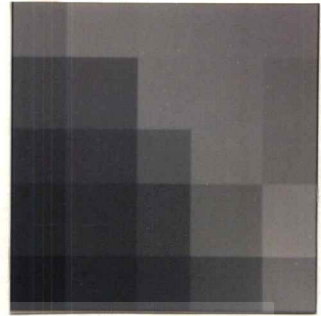
ภาพและสัญญาณรบกวน

ภาพ (Image)

ภาพนั้นเป็นข้อมูลสองมิติ (Two Dimensions) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ด้วย $f(t1, t2)$ โดยที่ $t1$ และ $t2$ แสดงตำแหน่งของฟังก์ชันตามแนวแกนนอนและแนวแกนตั้งตามลำดับ และค่าของฟังก์ชัน f นี้ที่ตำแหน่ง $t1$ และ $t2$ แสดงค่าความสว่างของแสงขาวหรือค่าระดับสีเทา (gray level) ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของฟังก์ชันอย่างต่อเนื่องทั้งค่าของ $t1$, $t2$ และค่าฟังก์ชัน f การจะให้คอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลภาพนี้ได้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องแปลงภาพ $f(t1, t2)$ ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลขที่เรียกว่าภาพดิจิทัล (Digital Image) โดยผ่านการสุ่มและจัดระดับ (sampled and quantized) เขียนแทนด้วยฟังก์ชัน $f(n, m)$ มีลักษณะเป็นฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องทั้งค่าของ n , m และค่าของฟังก์ชันความสว่างแสง f ภาพดิจิทัลนั้นสามารถอธิบายแทนได้ใหม่ในรูปของเมทริกซ์ $X_{i,j}$ ที่ประกอบไปด้วยส่วนย่อยที่สุดคืออิลีเมนต์ที่เรียงตัวตาม i ทางแนวนอน (row) และ j ทางแนวตั้ง (column) โดยในแต่ละอิลีเมนต์ถูกเรียกแทนว่าจุดภาพ (pixels) และค่าของแต่ละอิลีเมนต์หรือจุดภาพแสดงถึงระดับความสว่างของแสงขาวหรือค่าระดับสีเทา ดังตัวอย่างในภาพที่ 1 อธิบายถึงลักษณะของภาพดิจิทัลรูปสุนัขที่มีขนาดของภาพทางแนวนอนและแนวตั้ง 170×170 จุดภาพตามลำดับ และมีค่าระดับสีเทาจาก 0 ถึง 255 ค่าที่ค่า 0 แสดงถึงแสงสีดำสุดและจะสว่างขึ้นเรื่อยๆ เมื่อตัวเลขมีค่ามากขึ้นจนถึงค่า 255 เป็นค่าแสดงถึงแสงสีขาวสุด ในภาพ 1(ก) พื้นที่ A ในกรอบสี่เหลี่ยมสีดำมีขนาด 5×5 จุดภาพ เป็นภาพส่วนหนึ่งในภาพดิจิทัลรูปสุนัขที่มีพื้นที่ครึ่งมุมล่างซ้ายของกรอบสี่เหลี่ยมอยู่บนตัวสุนัขและครึ่งมุมบนขวาเป็นพื้นฉากหลัง ได้นำมาขยายให้ใหญ่ขึ้นดังแสดงในภาพ 1(ข) และในภาพ 1(ค) แสดงค่าระดับสีเทาของพื้นที่ A ในรูปแบบของเมทริกซ์ ตัวเลขในตารางแต่ละตำแหน่งบอกถึงค่าระดับสีเทาของจุดภาพตามในภาพ 1(ข) ในบริเวณมุมล่างซ้ายของตารางเป็นภาพบนตัวสุนัขมีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยประมาณ 113 และบริเวณมุมบนขวาจะเป็นภาพบนพื้นฉากหลังมีค่าระดับสีเทาเฉลี่ยประมาณ 158 จะเห็นความแตกต่างแยกเป็นพื้นที่สองส่วนตามแนวเฉียงจากมุมบนซ้ายมามุมล่างขวาอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 1



(ข)

145	163	168	163	165
122	130	166	165	160
110	118	142	168	161
108	114	124	150	173
93	109	113	125	147

(ก)

(ค)

แสดงลักษณะข้อมูลเชิงตัวเลขของภาพดิจิทัลรูปสุนัข 1(ก) เป็นภาพดิจิทัลรูปสุนัขมีขนาด 170×170 จุดภาพ 1(ข) แสดงภาพขยายใหญ่ของจุดภาพพื้นที่ A ในกรอบสี่เหลี่ยมขนาด 5×5 จุดภาพ 1(ค) แสดงการแทนความหมายของค่าระดับสีเทาในพื้นที่ A ด้วยตัวเลขในรูปแบบของตารางเมทริกซ์

ภาพเกิดจากการเรียงตัวของจุดภาพและการเปลี่ยนแปลงค่าของฟังก์ชัน (ระดับสีเทา) อย่างเป็นระเบียบ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าของฟังก์ชันนี้ สามารถที่จะอธิบายองค์ประกอบของภาพด้วยคุณสมบัติทางสถิติได้ว่าภาพ $X_{i,j}$ เกิดจากการรวมกันของค่าสถิติซึ่งเป็นภาพย่อยหลายๆ ภาพคือ

$$X_{i,j} = X^{mean} + X^{edge} + X^{sharp} \dots\dots\dots(1)$$

X^{mean} คือ ภาพค่าเฉลี่ยของภาพ $X_{i,j}$

X^{edge} คือ ภาพขอบภาพของภาพ $X_{i,j}$

X^{sharp} คือ ภาพยอดแหลมของภาพ $X_{i,j}$

i, j คือตำแหน่งของจุดภาพทางแนวนอนและทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_{k,l}^{mean} = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{i=k-m}^{k+m} \sum_{j=l-m}^{l+m} X_{i,j} \quad \dots\dots\dots(2)$$

X^{mean} เป็นภาพขององค์ประกอบทางความถี่ต่ำซึ่งสามารถประมาณได้เป็นโลคอลมีน (local mean) หาได้จากสมการที่ (2) โดยที่ $(2m+1)^2$ คือจำนวนจุดภาพในพื้นที่รอบๆ จุด i, j โดยที่ m มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม 1,2,3,... ส่วน X^{edge} เป็นภาพองค์ประกอบทางความถี่สูงและ X^{sharp} เป็นภาพองค์ประกอบทางความถี่ที่สูงกว่า X^{edge} ซึ่งเป็นภาพที่ระดับสีเทามีการเปลี่ยนแปลงทันที และเกิดในช่วงแคบๆ ทั้ง X^{edge} และ X^{sharp} สามารถอธิบายได้ใหม่โดยใช้คุณสมบัติทางสถิติดังนี้

$$X^{edge} + X^{sharp} = \sigma_x X^{shape} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\sigma_{k,l}^2 = \frac{1}{(2m+1)^2} \sum_{i=k-m}^{k+m} \sum_{j=l-m}^{l+m} (X_{i,j} - X_{k,l}^{mean})^2$$

$$\sigma_x = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ } \sqrt{\sigma_{k,l}^2} < 1 \\ \sqrt{\sigma_{k,l}^2} & \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4)$$

σ_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉพาะที่ (local standard deviations)
 X^{shape} คือ ภาพ โครงร่าง

X^{shape} เป็นภาพที่มีลักษณะเป็นโครงร่างของวัตถุหรือเป็นภาพที่แสดงความสัมพันธ์กับภาพ $X_{i,j}$ ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทามากๆ ซึ่งมีส่วนประกอบของภาพ X^{edge} และ X^{sharp} ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ใหม่โดยใช้สมการที่ (3) แทนค่าของ X^{edge} และ X^{sharp} ในสมการที่ (1) จะได้ผลเป็นสมการที่ (5)

$$X_{i,j} = X^{mean} + \sigma_x X^{shape} \quad \dots\dots\dots(5)$$

จากสมการที่ (5) แสดงให้เห็นว่า สามารถอธิบายองค์ประกอบของภาพด้วยข้อมูลทางสถิติ โดยภาพนั้นเกิดจากภาพค่าเฉลี่ยโลคอลมีน X^{mean} ซึ่งเป็นแกนองค์ประกอบหลักของภาพโดยมีข้อมูลหลักของภาพประกอบอยู่เป็นส่วนใหญ่เพียงแต่ข้อมูลภาพเท่านั้นก็เพียงพอต่อการเข้าใจภาพได้ ดังแสดงในภาพ 2(ข) เมื่อรวมกับองค์ประกอบภาพส่วนที่เป็นรายละเอียดที่เกิดจากค่าเบี่ยงเบน σ_x ดังแสดงในภาพ 2(ค) แสดงค่าระดับการเบี่ยงเบนด้วยภาพ และภาพโครงร่าง X^{shape} แสดงในภาพ

2(ง) ซึ่งเป็นข้อมูลทีอธิบายถึงองค์ประกอบ โครงร่างของวัตถุในภาพ เมื่อรวมองค์ประกอบของภาพ ทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันจึง ได้ภาพที่สมบูรณ์แสดงในภาพ 2(ก)

ภาพที่ 2



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

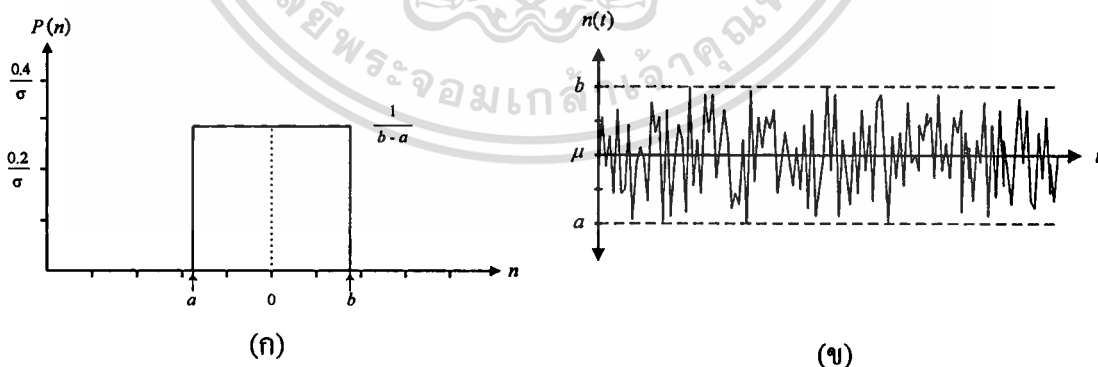
แสดงองค์ประกอบของภาพทางสถิติ 2(ก) แสดงภาพต้นแบบ 2(ข) แสดงภาพเฉลี่ย
 โลกอลมิน X^{mean} 2(ค) แสดงภาพค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉพาะที่ σ_x 2(ง) แสดงภาพโครงร่าง
 X^{shape} ของภาพ X_i สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian Noise)

สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีลักษณะการรบกวนเกิดขึ้นได้ในทุกๆ จุดของสัญญาณ ข้อมูลมีผลทำให้ระดับของสัญญาณเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณรบกวน โดยทั่วไปแล้วจะเป็น การรบกวนแบบบวกที่เรียกว่า additive noise คือขนาดของสัญญาณรบกวนจะบวกเข้ากับขนาดของ สัญญาณข้อมูล ทำให้ขนาดของสัญญาณข้อมูลนั้นมีการเปลี่ยนไปตามขนาดของสัญญาณรบกวน ขนาดของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนนั้นสามารถจำลองการเกิดได้จากการแรนดอม (random) อย่างอิสระที่ไม่ขึ้นกับฟังก์ชันของแกนเวลา แต่ขึ้นกับค่าฟังก์ชันการกระจายตัวของความน่าจะเป็น ของการเกิดสัญญาณรบกวน (probability density function : pdf) ฟังก์ชัน pdf นี้มีการกระจายตัวใน หลายลักษณะแต่ที่พบเห็น โดยมากตามธรรมชาติของการเกิดสัญญาณรบกวนชนิดนี้ ก็พอที่จะ ประมาณได้ว่ามีฟังก์ชัน pdf เป็นแบบยูนิคฟอร์ม (Uniform) และนอร์มอลฟอร์ม (Normalform) เพื่อ ให้ง่ายต่อการเข้าใจจะอธิบายในรูปของฟังก์ชันหนึ่งมิติแทนซึ่งมีผลเหมือนกับฟังก์ชันสองมิติ

ฟังก์ชันการกระจายตัวของความน่าจะเป็น pdf แบบยูนิคฟอร์มนี้ แสดงในภาพที่ 3(ก) คือ ฟังก์ชัน $p(n)$ ที่มีการกระจายตัวของฟังก์ชันเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีความสูงเท่ากับ $1/(b-a)$ ตลอด ค่าของ n ในช่วง a และ b นอกนั้นจะมีค่าเป็น 0 โดยที่นิยามของฟังก์ชันแสดงในสมการที่ (6) และสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแรนดอมของฟังก์ชัน $p(n)$ นี้ แสดงในภาพที่ 3(ข)

ภาพที่ 3



แสดงรูปฟังก์ชันและสัญญาณรบกวนแบบยูนิคฟอร์ม 3(ก) แสดงรูปของฟังก์ชัน pdf แบบยูนิคฟอร์ม 3(ข) แสดงรูปของสัญญาณรบกวนแบบยูนิคฟอร์มที่มีขนาดของสัญญาณอยู่ใน ช่วง (a, b)

$$p(n) = \begin{cases} 1/(b-a) & \text{สำหรับ } b \leq n \leq a \\ 0 & \text{อื่น ๆ} \end{cases} \dots\dots\dots(6)$$

สมมติให้สัญญาณรบกวน $n(t)$ มีค่าอยู่ในช่วง a และ b แสดงค่าตามแนวแกนตั้งของภาพที่ 3(ข) มีฟังก์ชันการกระจายตัวเป็นแบบยูนิติฟอร์มและสามารถหาค่าเฉลี่ย (mean value) ของสัญญาณรบกวน $n(t)$ ได้ดังในสมการที่ (7)

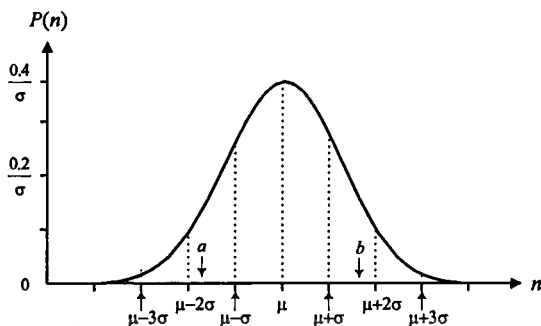
$$\begin{aligned} \mu_n &= \int_{-\infty}^{\infty} np(n) dn \\ &= \frac{1}{b-a} \int_a^b n dn \\ &= \frac{b+a}{2} \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

ค่าเฉลี่ย μ_n มีค่าเท่ากับค่าที่อยู่ตรงกลางระหว่าง a และ b และค่าความแปรปรวน (variance) ของสัญญาณรบกวน $n(t)$ หาได้จากสมการที่ (8)

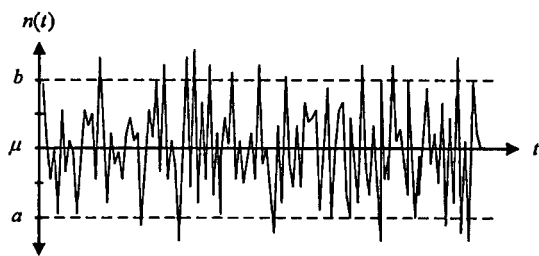
$$\begin{aligned} \sigma_n^2 &= \int_{-\infty}^{\infty} (n - \mu_n)^2 p(n) dn \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} n^2 p(n) dn - 2\mu_n \int_{-\infty}^{\infty} np(n) dn + \mu_n^2 \int_{-\infty}^{\infty} p(n) dn \\ &= \int_a^b n^2 p(n) dn - 2\mu_n \mu_n + \mu_n^2 \\ &= \frac{1}{b-a} \int_a^b n^2 dn - \frac{(b+a)^2}{4} \\ &= \frac{(b-a)^2}{12} \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

ส่วนฟังก์ชันการกระจายตัวของความน่าจะเป็น pdf แบบนอร์มอลฟอร์มนั้นแสดงในภาพที่ 4(ก) นิยามของฟังก์ชันแสดงในสมการที่ (9) ซึ่งมีการกระจายตัวของฟังก์ชันเป็นรูปเหมือนระฆัง และสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการแรนดอมของฟังก์ชันการกระจายตัวของความน่าจะเป็นชนิดนี้แสดงในภาพที่ 4(ข) จะเห็นได้ว่าขนาดของสัญญาณรบกวนจะมีการกระจายตัวออกนอกช่วงของ (a, b) ซึ่งมีค่ามากกว่าสัญญาณรบกวนแบบยูนิติฟอร์ม

ภาพที่ 4



(ก)



(ข)

แสดงรูปฟังก์ชันและสัญญาณรบกวนแบบนอร์มอลฟอร์ม 4(ก) แสดงรูปของฟังก์ชัน pdf แบบนอร์มอลฟอร์ม 4(ข)แสดงรูปของสัญญาณรบกวนแบบนอร์มอลฟอร์ม

$$N(\mu, \sigma) \equiv p(n) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(n-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots(9)$$

ค่า μ และ σ คือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเช่นเดียวกับค่า μ_n และ σ_n ของ pdf แบบยูนิคฟอร์ม

สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ (Impulsive Noise)

สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟมีลักษณะของการรบกวนเกิดขึ้นในช่วงเวลาแคบๆ แต่มีขนาดของสัญญาณที่ใหญ่มาก ขนาดของสัญญาณนี้มีทั้งเครื่องหมายบวกและเครื่องหมายลบเกิดขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่เวลาใดๆ สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่เกิดขึ้นในข้อมูลภาพดิจิตอลจะสังเกตเห็นมีลักษณะเป็นจุดเล็กๆ ที่มีทั้งสีขาวและสีดำที่แตกต่างไปจากค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่อยู่ข้างเคียงมากๆ ซึ่งในบางครั้งสัญญาณรบกวนชนิดนี้อาจถูกเรียกว่า Salt-and-Pepper Noise ซึ่ง Salt Noise มีลักษณะเป็นจุดสีขาวคล้ายเม็ดเกลือ ส่วน Pepper Noise จะมีลักษณะเป็นจุดสีดำคล้ายผงพริกไทย และสามารถจำลองสัญญาณรบกวนแบบนี้ให้อยู่ในรูปโมเดลทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_{i,j}^{imp} = \begin{cases} d & \text{เมื่อ } P^+ / 2 \\ -d & \text{เมื่อ } P^- / 2 \\ 0 & \text{เมื่อ } 1 - p \end{cases} \dots\dots\dots(10)$$

$N_{i,j}^{imp}$ คือ ค่าระดับสีเทาของภาพที่เกิดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่จุด i, j

d คือ ขนาดของสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ

p คือ ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวน

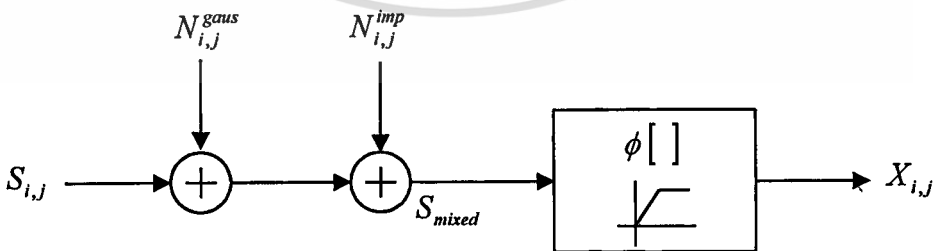
+, - แสดงสัญญาณรบกวนช่วงค่าบวก Salt Noise และช่วงค่าลบ Pepper Noise

สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟเกิดขึ้นกระจายอยู่ทั่วไปในภาพขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวน p ซึ่งมีฟังก์ชันการกระจายแบบ ยูนิฟอร์ม

แบบจำลองการเกิดสัญญาณรบกวนในภาพ

สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในภาพมีทั้งที่เกิดจากสัญญาณรบกวนชนิดเดียวหรือเกิดจากสัญญาณรบกวนหลายชนิดรวมกัน ที่เรียกว่าสัญญาณรบกวนผสม (mixed noise) ในงานวิจัยนี้จะสนใจศึกษาแต่เฉพาะสัญญาณรบกวนผสม ที่เกิดจากสัญญาณรบกวนสองชนิดคือสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟเท่านั้น

ภาพที่ (5)



แสดงแบบจำลองการเกิดของสัญญาณรบกวนผสมในภาพ

กำหนดให้

$X_{i,j}$ คือ ค่าระดับสีเทาของภาพที่มีสัญญาณรบกวนผสมที่จุด i, j

$S_{i,j}$ คือ ค่าระดับสีเทาของภาพต้นแบบที่จุด i, j

S_{mixed} คือ ค่าระดับสีเทาของภาพผสม

$N_{i,j}^{gaus}$ คือ สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน

$N_{i,j}^{imp}$ คือ สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ

$\phi []$ คือ ฟังก์ชันจำกัดค่าระดับสีเทา (gray level limit function)

$gray_{min}, gray_{max}$ คือ ค่าระดับสีเทาค่าต่ำสุดและสูงสุดในภาพ

$$S_{mixed} = S_{i,j} + N_{i,j}^{gaus} + N_{i,j}^{imp} \dots\dots\dots(11)$$

$$X_{i,j} = \phi [S_{mixed}]$$

$$\phi [S_{mixed}] = \begin{cases} gray_{min} & \text{เมื่อ } S_{mixed} < gray_{min} \\ S_{mixed} & \text{เมื่อ } gray_{min} \geq S_{mixed} \geq gray_{max} \\ gray_{max} & \text{เมื่อ } S_{mixed} > gray_{max} \end{cases}$$

$$gray_{min} = 0; \quad gray_{max} = 255$$

จากภาพที่ (5) และสมการที่ (11) แสดงแบบจำลองการเกิดสัญญาณรบกวนผสมในภาพที่มีลักษณะการรบกวนแบบบวม แผลงกำเนิดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน $N_{i,j}^{gaus}$ ส่วนมากเกิดจากการทำงานที่ผิดพลาดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นหรือการรบกวนของสัญญาณรบกวนจากภายนอกวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และในบางกรณีของการทำควอนไทซ์ในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลบางอย่างเช่น การบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression) การปรับปรุงข้อมูลภาพ (Image Enhancement) การแปลงภาพ (Image Transform) เป็นต้น ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนชนิดนี้เช่นกัน ในขณะที่สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ $N_{i,j}^{imp}$ นั้นมีสาเหตุเกิดจากการเหนี่ยวนำของการกระชากในระบบไฟฟ้ากำลังสูงหรือการผิดพลาดของบิตข้อมูลดิจิทัลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในกระบวนการสื่อสารข้อมูล สัญญาณรบกวนทั้งสองชนิดนี้เป็นข้อมูลสองมิติเช่นเดียวกับข้อมูลภาพ และมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามสมการที่ 7 และ 8 ในสองหัวข้อที่อธิบายผ่านมาแล้วตามลำดับ และสุดท้ายข้อมูลภาพทั้งหมดจะผ่านฟังก์ชันจำกัดค่าระดับสีเทา $\phi []$ ที่ค่า $gray_{min}$ และ $gray_{max}$ เป็นค่าจำกัดค่าระดับสีเทาค่าต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ แล้วจึงได้

ภาพ $X_{i,j}$ ดังแสดงในภาพที่ (6) ซึ่งเป็นภาพที่เกิดสัญญาณรบกวนแบบบวกรวมของสัญญาณรบกวนผสมระหว่างสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ย μ เท่ากับ 0 ค่าความแปรปรวน σ^2 เท่ากับ 200 และสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟด้วยค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวน p เท่ากับ 0.05 เนื่องจากภาพที่ใช้นั้น ในแต่ละจุดมีค่าระดับสีเทาอยู่ระหว่าง 0-255 โดยค่า 0 แสดงถึงค่าระดับสีเทาดำสุด และค่า 255 แสดงค่าระดับสีเทาสูงสุด ดังนั้นค่า $gray_{min}$ จึงมีค่าเท่ากับ 0 และ $gray_{max}$ มีค่าเท่ากับ 255

ภาพที่ 6



แสดงภาพที่เกิดการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม

การวัดคุณภาพของภาพ

ในการประมวลผลภาพ ภาพที่ถูกประมวลผลนั้นข้อมูลของภาพย่อมต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปผลที่ได้มีทั้งในทางที่ดีขึ้นและด้อยลง คุณภาพของภาพที่ได้รับการประมวลผลและประสิทธิภาพของวิธีการประมวลผลเป็นสิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องรู้ ตัวอย่างเช่น การกำจัดสัญญาณรบกวนในภาพตัวกรองที่ได้รับการออกแบบไว้จะมีความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีเพียงใดนั้นการวัดคุณภาพของภาพจึงเป็นเครื่องมือในการบอกให้ทราบถึงคุณภาพของภาพที่ได้รับการประมวลผล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และประสิทธิผลของตัวกรอง การวัดคุณภาพของภาพเป็นการเปรียบเทียบของภาพที่ถูกประมวลผลกับภาพอ้างอิงเพื่อหาค่าที่ใช้บอกถึงคุณภาพหรือประสิทธิภาพ ภาพอ้างอิงนั้นก็คือภาพที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับภาพอื่นๆ ที่ผ่านการประมวลผล โดยทั่วไปแล้วก็คือภาพต้นแบบหรือภาพที่ดีมีความคมชัดสูง วิธีการวัดคุณภาพของภาพมีอยู่สองวิธีหลัก คือวิธีแรกใช้การมองเปรียบเทียบด้วยสายตามนุษย์ทำการตัดสินใจ เป็นวิธีที่ง่ายวัดผลได้ทันที แต่ก็มีข้อเสียคือไม่สามารถวัดผลได้อย่างละเอียด ภาพที่ทำการวัดผลต้องมีความแตกต่างกันมากจึงจะใช้ความรู้สึกตัดสินได้ และขาดความเที่ยงตรงเพราะใช้ความรู้สึกในการพิจารณา ความรู้สึกที่ต่างเวลาและต่างบุคคลจะให้ผลที่ไม่แน่นอน ส่วนวิธีที่สองใช้การคำนวณเพื่อหาค่าดัชนีในการวัดผลของคุณภาพซึ่งได้ผลออกมาเป็นตัวเลข เป็นวิธีที่มีความละเอียดและเที่ยงตรงเปรียบเทียบผลได้ชัดเจน ข้อเสียของวิธีนี้คือใช้การคำนวณที่มาก แต่ก็ยังเป็นวิธีที่ยอมรับกันในการวัดคุณภาพของภาพเนื่องจากมีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนและแก้ไขข้อเสียของวิธีแรกได้ ดังนั้นในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกใช้วิธีที่สองเป็นดัชนีวัดผลคุณภาพและประสิทธิภาพของตัวกรองในการกำจัดสัญญาณรบกวนค่าดัชนีที่ใช้ในการคำนวณวัดคุณภาพของภาพมีหลายค่าด้วยกันแต่ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 3 ค่าจะขอกกล่าวถึงดังต่อไปนี้

กำหนดให้

$S_{i,j}$ คือ ค่าระดับสีเทาของภาพต้นแบบที่จุด i, j

$X_{i,j}$ คือ ค่าระดับสีเทาของภาพที่ผ่านการประมวลผลที่จุด i, j

M, N คือ ขนาดของภาพทางแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error) MSE

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} (X_{i,j} - S_{i,j})^2 \quad \dots\dots\dots(12)$$

ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดกำลังสอง MSE จะใช้วัดความแตกต่างของข้อมูลภาพที่มีความแตกต่างกันน้อยๆ ได้ดี เนื่องจาก MSE จะขยายความแตกต่างนี้ให้มีค่ามากขึ้น ด้วยค่าแปรผันตามกำลังสองของผลต่างของภาพต้นแบบกับภาพที่ถูกประมวลผลซึ่งเป็นฟังก์ชันพาราโบลา (parabola) ค่า MSE มีค่าน้อยยิ่งดีเพราะจะเป็นดัชนีบอกถึงคุณภาพที่ดี

ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดทางขนาด (Mean Absolute Error) MAE

$$MAE = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} |X_{i,j} - S_{i,j}| \quad \dots\dots\dots(13)$$

เป็นการหาค่าเฉลี่ยทางขนาดของค่าความแตกต่างระหว่างภาพต้นแบบกับภาพที่ถูกประมวลผลโดยตรง จะใช้วัดกับข้อมูลภาพที่มีความแตกต่างกันมากๆ MAE มีคุณสมบัติเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น ค่านี้มีค่ายิ่งน้อยยิ่งดีเช่นเดียวกับค่า MSE

อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) SNR

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{i,j} X_{i,j}^2}{\sum_{i,j} (X_{i,j} - S_{i,j})^2} \quad \dots\dots\dots(14)$$

เป็นการหาค่าอัตราส่วนพลังงานของข้อมูลภาพต้นแบบต่อพลังงานของสัญญาณรบกวนมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ค่า SNR นี้มีค่ายิ่งมากยิ่งดีเพราะนั่นก็หมายความว่าพลังงานของข้อมูลภาพมีค่ามากกว่าพลังงานของสัญญาณรบกวน

บทที่ 3

การกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ

ในงานการประมวลผลภาพ (Image Processing) หลายอย่าง เช่น การตรวจหาขอบ (Edge Detection) การทำอิมเมจเซกเมนต์ชัน (Image Segmentation) การเข้ารหัสภาพ (Image Coding) การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และอื่นๆ เกิดความผิดพลาดไม่สามารถกระทำได้ในขณะที่ภาพนั้นมีสัญญาณรบกวนอยู่ เนื่องจากการประมวลผลเหล่านี้มีความไวต่อสัญญาณรบกวน ดังนั้นการกำจัดสัญญาณรบกวนจึงเป็นปัญหาพื้นฐานที่สำคัญของงานการประมวลผลภาพ หัวใจที่สำคัญของการแก้ปัญหานี้ก็คือ ตัวกรอง (Filter) ตัวกรองได้ถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนและช่วยเพิ่มคุณภาพให้กับภาพ ตัวกรองนั้นมีมากมายหลายชนิดแต่ละชนิดก็ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับฟังก์ชันการกระจายตัว pdf ของสัญญาณรบกวนในแต่ละแบบแต่ก็พอจะแบ่งประเภทของตัวกรองออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้คือ

1. ตัวกรองแบบเป็นเชิงเส้น (Linear Filter) โดยมากแล้วตัวกรองชนิดนี้จะอยู่บนพื้นฐานค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) ซึ่งใช้ได้กับการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน
2. ตัวกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Filter) โดยมากเป็นตัวกรองที่อยู่บนพื้นฐานของอันดับทางสถิติ (Order Statistic) ใช้สำหรับกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟเป็นหลัก
3. ตัวกรองแบบไฮบริด (Hybrid Filter) ตัวกรองประเภทนี้จะประกอบไปด้วยตัวกรองตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปทั้งที่เป็นตัวกรองแบบเป็นเชิงเส้นและตัวกรองแบบไม่เป็นเชิงเส้นทำงานร่วมกันเพื่อใช้กำจัดสัญญาณรบกวนผสมเป็นส่วนมาก

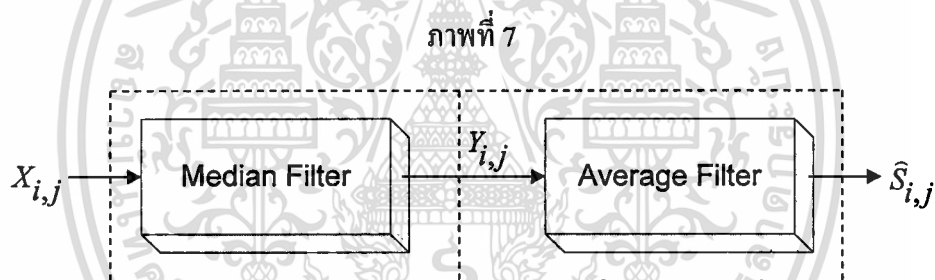
ถึงแม้ว่าจะมีตัวกรองให้เลือกมากมายหลายชนิดก็ตาม แต่ก็ไม่ใช่เรื่องที่ย่ายนักที่จะกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่เกิดขึ้นในภาพได้ ตัวกรองที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเท่านั้นที่จะใช้แก้ปัญหานี้ได้ ดังจะขอกล่าวถึงในบทนี้ โดยในหัวข้อแรกจะกล่าวถึงโครงสร้างและการทำงานของตัวกรองแบบไฮบริดที่ประกอบไปด้วยตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter) และตัวกรองค่าเฉลี่ย (Average Filter) ที่ทำงานร่วมกันส่วนในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงตัวกรองชนิดหนึ่งมีก็คือ Robust Median Filter with Adaptive Window Length : RMFAWL ซึ่งเป็นต้นแบบในการพัฒนาตัวกรองชนิดใหม่ในรุ่นต่อมาที่จะกล่าวถึงในหัวข้อสุดท้ายคือ ตัวกรองมัธยฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ (2-D Median Filter with Adaptive Window Length : 2-D MFAWL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองแบบไฮบริดที่ใช้ตัวกรองมัธยฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ย

ในทฤษฎีการประมวลผลภาพเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟนั้นสามารถกำจัดได้ง่าย โดยที่รายละเอียดโครงร่างภาพและขอบภาพยังคงสามารถรักษาไว้ได้ด้วยการใช้ตัวกรองมัธยฐาน ในขณะที่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนนั้นสามารถกำจัดได้ด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ย ทั้งตัวกรองมัธยฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ยต่างก็เป็นตัวกรองพื้นฐานที่นิยมนำมาใช้กันมาก เพราะมีวิธีการออกแบบและสร้างได้ง่าย โดยให้ผลที่ดีพอสมควรจากคุณสมบัติของตัวกรองทั้งสองสามารถนำมาประยุกต์ใช้สร้างเป็นตัวกรองแบบไฮบริดให้ทำงานร่วมกันเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ ซึ่งต่อไปจะขอเรียกสั้นๆ ว่า “ตัวกรอง M&A” มาจากคำว่า “Median Filter” และ “Average Filter” เพื่อเป็นการสื่อความหมายที่ดี ขั้นตอนกระบวนการทำงานของตัวกรอง M&A นี้ได้แสดงไว้ดังในภาพที่ 7 โดยได้แบ่งกระบวนการออกเป็นสองขั้นตอน คือ



แสดงขั้นตอนของตัวกรอง M&A เพื่อใช้กำจัดสัญญาณรบกวนผสม

ขั้นตอนที่หนึ่ง

ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟออกก่อนโดยใช้ตัวกรองมัธยฐาน กรองภาพ $X_{i,j}$ ซึ่งเป็นภาพที่มีสัญญาณรบกวนผสม จะได้ภาพผลลัพธ์ $Y_{i,j}$ ของขั้นตอนนี้ที่เหลือแต่สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนส่วนสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟจะถูกกำจัดออกไปในขณะที่ขอบภาพยังมีความคมชัดอยู่

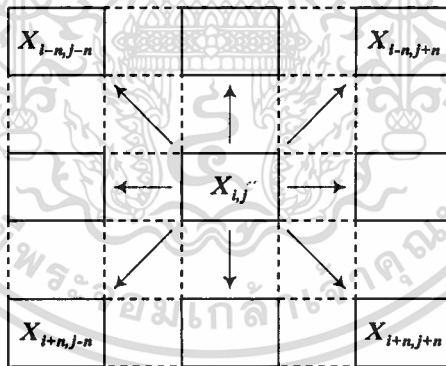
ขั้นตอนที่สอง

ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน โดยใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ย กรองภาพ $Y_{i,j}$ ที่ได้จากขั้นตอนที่หนึ่ง จะได้ภาพผลลัพธ์ $S_{i,j}$ เป็นภาพผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายที่สัญญาณรบกวนทั้งสองชนิดถูกกำจัดออกไป รายละเอียดการทำงานและโมเดลทางคณิตศาสตร์ของตัวกรองมัธยฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ยจะแสดงดังต่อไปนี้

ตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter)

ตัวกรองมัธยฐานเป็นวิธีการประมวลผลสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Signal Processing) โดยใช้ค่าทางสถิติคือค่ามัธยฐานในการแทนค่าข้อมูลภาพใหม่ ข้อมูลภาพใหม่ $Y_{i,j}$ ที่จุด i,j ได้จากตัวกระทำค่ามัธยฐาน (median operator) $med[]$ กระทำกับข้อมูลภาพในหน้าต่าง (window) ขนาด $N \times N$ บนภาพ $X_{i,j}$ ที่จุด i,j

ภาพที่ 8



แสดงหน้าต่างขนาด $N \times N$ บนภาพ $X_{i,j}$ ที่จุด i,j

ให้ $W_{i,j}$ เป็นเซตของจุดภาพในหน้าต่างขนาด $N \times N$ บนภาพ $X_{i,j}$ ที่จุด i,j โดยที่ $N = 2n + 1$ และ n เป็นเลขจำนวนเต็มมีค่า 1,2,3,... ดังแสดงในภาพที่ 8

$$W_{i,j} = \{X_{i-n,j-n}, \dots, X_{i-n,j-n+1}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{i+n,j+n}\}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถหาลำดับทางขนาดหรืออันดับทางสถิติ $W_k^{i,j}$ ของเซตข้อมูล $W_{i,j}$ ตามเงื่อนไขดังนี้

$$W_1^{i,j} \leq W_2^{i,j} \leq \dots \leq W_{N \times N}^{i,j}$$

โดยที่ k มีค่าอยู่ในช่วง $1 \leq k \leq N \times N$ ในขณะที่ $W_1^{i,j}$ คือค่าอันดับทางสถิติต่ำสุด, $W_{(N \times N + 1)/2}^{i,j}$ คือค่าอันดับทางสถิติกลาง, $W_{N \times N}^{i,j}$ คือค่าอันดับทางสถิติสูงสุด ดังนั้นค่ามัธยฐานที่จุด i, j จะหาได้โดยใช้สมการที่ (15) ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} Y_{i,j} &= \text{med}[W_{i,j}] \\ &= W_{(N \times N + 1)/2}^{i,j} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(15)$$

ตัวกรองค่าเฉลี่ย (Average Filter)

ตัวกรองค่าเฉลี่ยเป็นการประมวลผลสัญญาณแบบเป็นเชิงเส้น (Linear Signal Processing) มีคุณสมบัติเป็นตัวกรองความถี่ต่ำ (lowpass filter) ทำให้ภาพมีความราบเรียบขึ้น โดยใช้ค่าเฉลี่ยในการประมาณค่าของข้อมูลภาพใหม่ $\hat{S}_{i,j}$ จากข้อมูลจุดภาพในหน้าต่าง $N \times N$ บนภาพ $Y_{i,j}$ ที่จุด i, j ดังแสดงหน้าต่างที่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับในภาพที่ 8 และสมการของตัวกรองค่าเฉลี่ยแสดงในสมการที่ (16)

$$\hat{S}_{i,j} = \frac{1}{N \times N} \sum_{k=-n}^n \sum_{l=-n}^n Y_{i-k,j-l} \quad \dots\dots\dots(16)$$

ผลของการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมโดยใช้ตัวกรอง M&A ได้แสดงในภาพที่ 9 โดยที่ใช้ภาพต้นแบบและภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสมมาจากภาพที่ 2(ก) และภาพที่ 6 ในบทที่ 2 ตามลำดับ ในภาพที่ 9(ก) แสดงภาพผลลัพธ์ $Y_{i,j}$ ของขั้นตอนที่หนึ่งด้วยตัวกรองมัธยฐานที่ใช้หน้าต่างขนาด 3×3 จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟถูกกำจัดออกไปแต่ยังคงมีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนอยู่ และในภาพที่ 9(ข) แสดงภาพผลลัพธ์ $\hat{S}_{i,j}$ ของขั้นตอนที่สองด้วยตัวกรองค่าเฉลี่ยที่ใช้ขนาดหน้าต่าง 5×5 เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนในส่วนที่เหลืออยู่ จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนผสมถูกกำจัดออกไปแต่รายละเอียดของภาพก็ถูกลดทอนลงไปด้วยจึงทำให้ภาพมีความมัว ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ไม่ทำให้ภาพมัว ด้วยตัวกรองมัธยฐานที่สามารถปรับขนาดของหน้าต่างให้มีขนาดที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลภาพ

ภาพที่ 9



(ก)

(ข)

แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพด้วยตัวกรอง M&A 9(ก) ภาพที่ได้จากการใช้ตัวกรองมัชฐานในขั้นตอนที่หนึ่ง 9(ข) ภาพที่ได้จากการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยในขั้นตอนที่สอง

Robust Median Filter with Adaptive Window Length : RMFAWL

ได้มีงานวิจัยอันหนึ่งชื่อ Robust Median Filter with Adaptive Window Length ตามเอกสารในบรรณานุกรม ได้นำเสนอถึงตัวกรองมัชฐานในหนึ่งมิติที่สามารถปรับปรุ่ขนาดของหน้าต่างได้ เพื่อใช้สำหรับกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน โดยที่ขนาดของหน้าต่างจะถูกปรับปรุ่อย่างต่อเนื่องให้เหมาะสมกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ การตรวจสอบเพื่อปรับปรุ่ขนาดของหน้าต่างนั้นจะใช้คุณสมบัติของค่าทางสถิติสองค่า คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และค่ามัชฐานที่หาได้จากข้อมูลที่อยู่ในหน้าต่าง ค่าทางสถิติทั้งสองจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในการประมาณลักษณะของสัญญาณ ในบริเวณที่สัญญาณมีความราบเรียบต่อเนื่องกันค่าสถิติทั้งสองจะมีความสามารถในการประมาณค่าของสัญญาณได้ดีเท่าๆ กัน แต่ในบริเวณที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงระดับมากๆ เช่น ขอบสัญญาณ ค่ามัชฐานจะประมาณค่าได้เข้าใกล้สัญญาณดีกว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นเข้าเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณด้วยค่าเฉลี่ย ในการตรวจสอบค่าการประมาณที่แตกต่างกันนี้เองจะบ่งบอกถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณได้

$$y(i) = \text{med}[x(i), L(i)] \quad \text{.....(17)}$$

$$e_L(i) = |\text{med}[x(i), L(i)] - \text{mean}[x(i), L(i)]| \quad \text{.....(18)}$$

$$w_L(i) = e_L(i) - e_L(i-1) + \Delta \quad \text{.....(19)}$$

$$L(i+1) = \begin{cases} L(i)+2 & \text{ถ้า } w_L < 0 \\ L(i) & \text{ถ้า } w_L = 0 \\ L(i)-2 & \text{ถ้า } w_L > 0 \end{cases} \quad \text{.....(20)}$$

กำหนดให้

$x(i)$ คือ สัญญาณอินพุต

$y(i)$ คือ สัญญาณเอาต์พุต

$L(i)$ คือ ขนาดความยาวหน้าต่างที่ตำแหน่ง i

$e_L(i)$ คือ สัญญาณตรวจสอบ

$w_L(i)$ คือ ค่าอนุพันธ์ของ $e_L(i)$

Δ คือ ค่าชดเชยคงที่

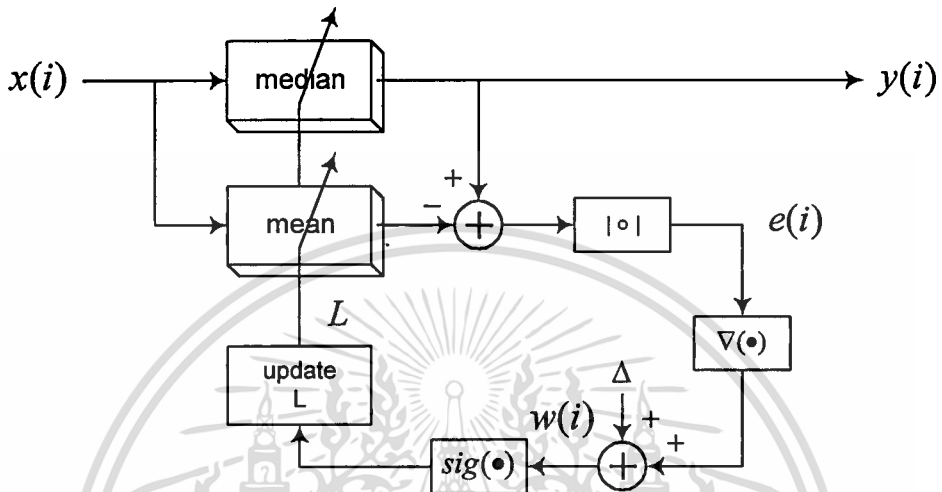
ในภาพที่ 10 ได้แสดงโครงสร้างของตัวกรองมัธยฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ สัญญาณเอาต์พุตของตัวกรองหาได้จากสมการที่ (17) สัญญาณตรวจสอบ $e_L(i)$ เกิดจากผลต่างทางขนาดของค่ามัธยฐานกับค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในหน้าต่างขนาดความยาว $L(i)$ มีค่าความยาวเป็นเลขคี่ ขนาดของ $e_L(i)$ นี้จะเปลี่ยนไปตามลักษณะของสัญญาณอินพุต $x(i)$ ในตำแหน่งต่างๆ ตามสมการที่ (18) โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายของค่าอนุพันธ์ $w_L(i)$ ของสัญญาณตรวจสอบ $e_L(i)$ ในทุกๆ ตำแหน่งที่ i ตามสมการที่ (19) เมื่อค่ามีเครื่องหมายเป็นลบ ขนาดความยาวของหน้าต่างจะถูกเพิ่มขึ้น และเมื่อมีเครื่องหมายเป็นบวกขนาดความยาวของหน้าต่างจะถูกลดลงตามสมการที่ (20) ขนาดของหน้าต่างจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงครั้งละ 2 จุดข้อมูล เป็นอย่างน้อยที่สุด ในกรณีที่สัญญาณอินพุต $x(i)$ มีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วมากเพื่อให้ขนาดของหน้าต่างทันต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ก็สามารถเพิ่มขนาดให้มากขึ้นได้เป็นครั้งละ 4, 6, 8, หรืออื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามความเหมาะสมได้ และขนาดของหน้าต่างนี้ได้ถูกกำหนดให้มีช่วงของเปลี่ยนแปลงของความยาวเอาไว้อย่างมีขอบเขตจำกัดที่ขนาดสั้นสุดและยาวสุด

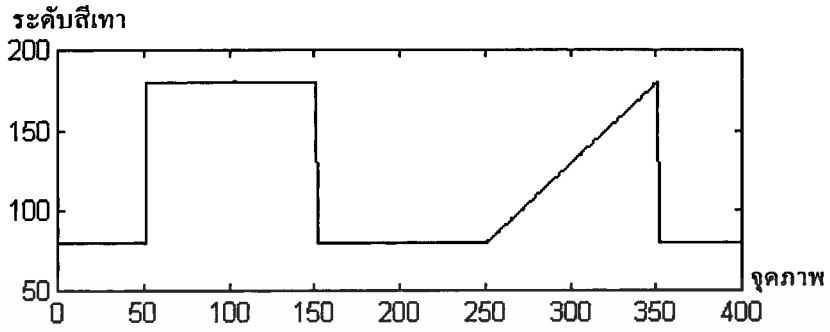
ภาพที่ 10



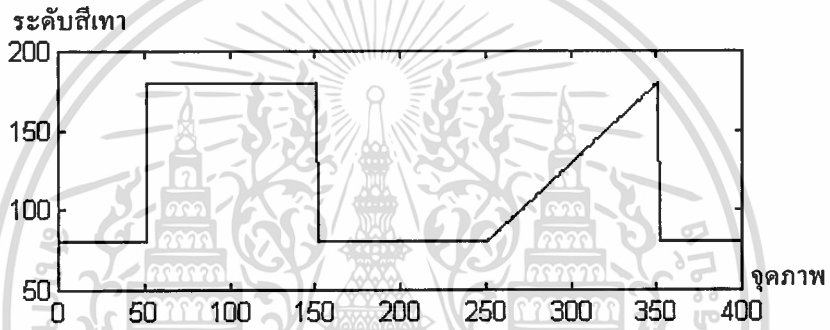
แสดงโครงสร้างตัวกรอง Robust Median Filter with Adaptive Window Length

ในภาพที่ 11 แสดงผลการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน $\sigma^2 = 100$ ที่มีการรบกวนแบบบวกรบกวนสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมและพัลส์สามเหลี่ยมความยาว 400 จุด ด้วยตัวกรอง RMFAWL ที่ขนาดหน้าต่าง $L(i)$ เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 5-31 และ $\Delta = 0.23$ เทียบกับการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยที่ขนาดหน้าต่าง $L_{avr} = 15$ ตัวกรองมัธยฐานที่ใช้ขนาดหน้าต่าง $L_{med} = 5$ และตัวกรองมัธยฐานที่ใช้ขนาดหน้าต่าง $L_{med} = 31$ ผลที่ได้จากตัวกรอง RMFAWL นั้นสามารถลดขนาดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้เช่นเดียวกับการใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ยแต่จะรักษาความชันขอบสัญญาณได้ดีกว่าด้วยการปรับปรุงขนาดหน้าต่างของตัวกรองตามลักษณะของสัญญาณจึงเป็นการรวมเอาคุณสมบัติของการรักษาขอบสัญญาณที่ดีของตัวกรองมัธยฐานขนาดหน้าต่าง $L_{med} = 5$ และการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ดีของตัวกรองมัธยฐานขนาดหน้าต่าง $L_{med} = 31$ เข้าไว้ด้วยกัน

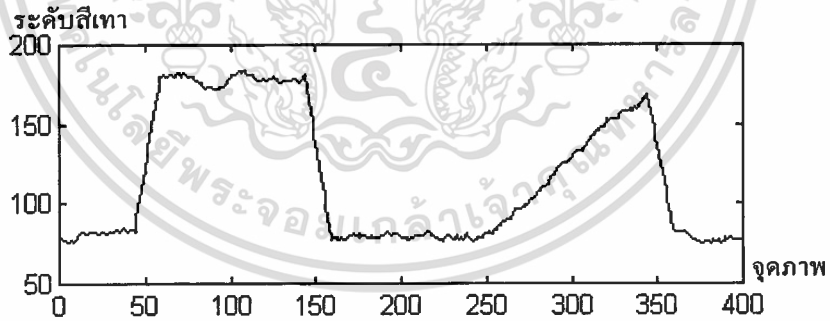
ภาพที่ 11



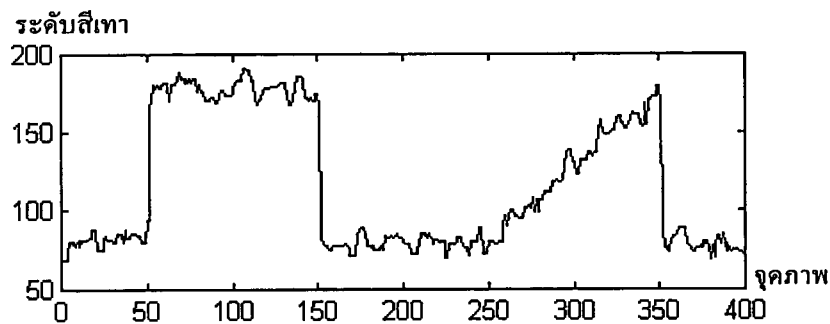
(ก)



(ข)



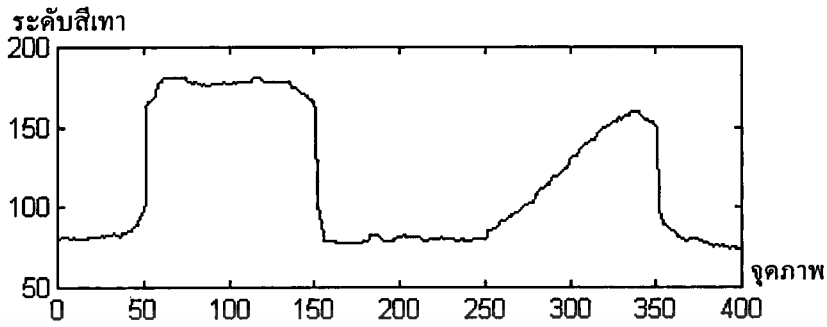
(ค)



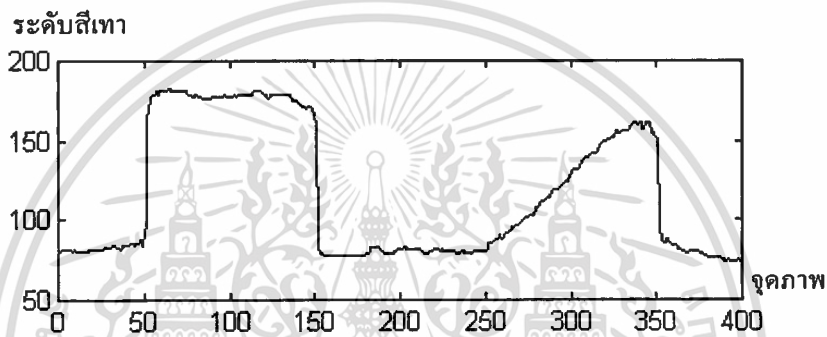
(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

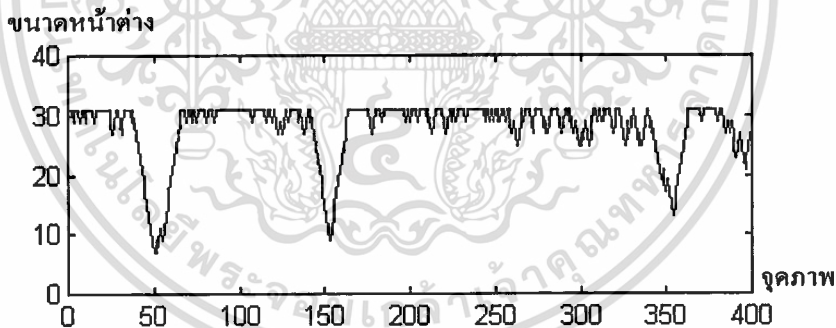
ภาพที่ 11 (ต่อ)



(จ)



(ฉ)



(ช)

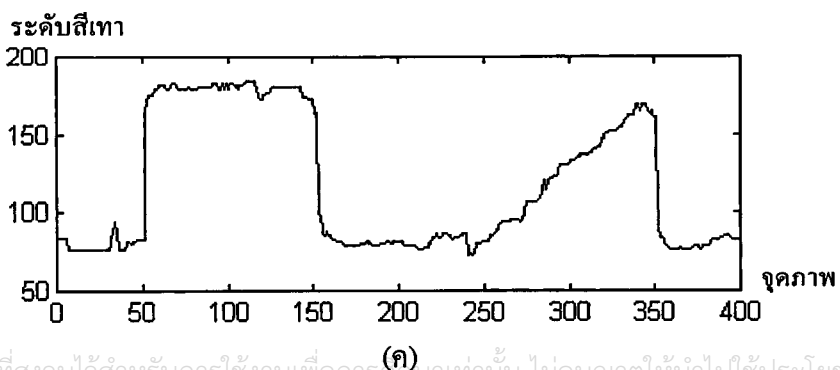
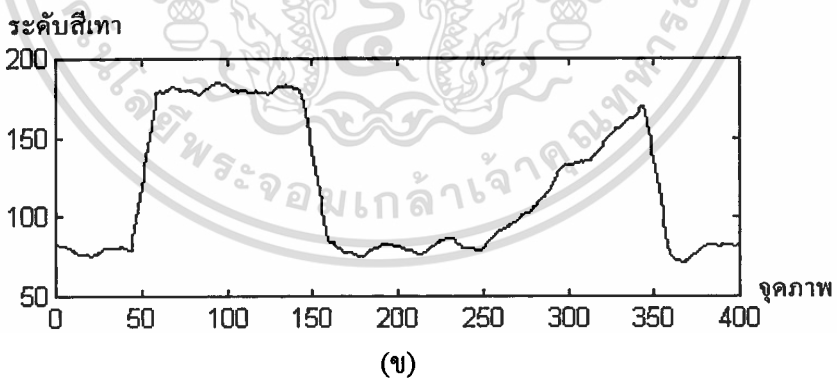
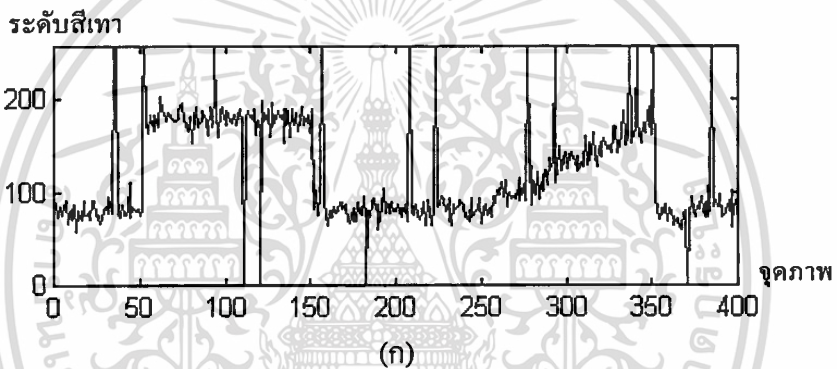
แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนด้วยตัวกรอง RMFAWL 11(ก) สัญญาณต้นแบบ 11(ข) สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน $\sigma^2 = 100$ 11(ค) ผลของตัวกรองค่าเฉลี่ย $L_{avr} = 15$ 11(ง) ผลของตัวกรองมัธยฐาน $L_{med} = 5$ 11(จ) ผลของตัวกรองมัธยฐาน $L_{med} = 31$ 11(ฉ) ผลของตัวกรอง RMFAWL $L(i) = 5 \dots 31$ 11(ช) การเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง RMFAWL

ในภาพที่ 12 แสดงให้เห็นผลการใช้ตัวกรอง RMFAWL เปรียบเทียบกับตัวกรอง M&A เพื่อใช้กำจัดสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 100$ และ $p = 0.05$ ที่เกิดการรบกวนบนสัญญาณต้นแบบ

จากภาพที่ 11(ก) โดยตัวกรอง RMFAWL มีขนาดหน้าต่าง $L(i)$ เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 5-31 และ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

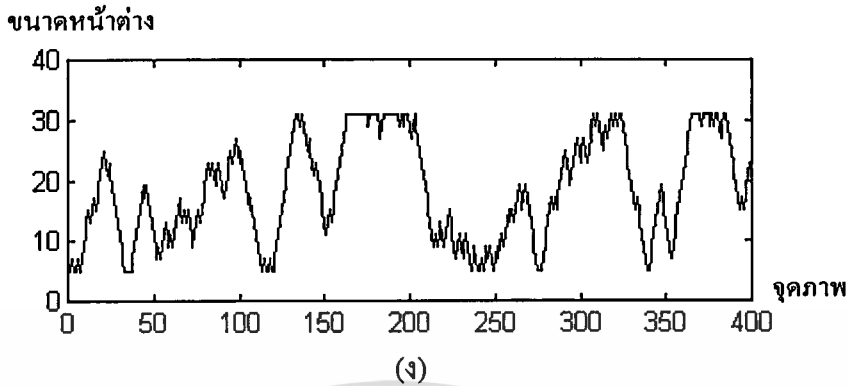
$\Delta = 0.23$ และตัวกรอง M&A ที่ใช้ขนาดหน้าต่างของตัวกรองมัธยฐาน $L_{med} = 5$ และขนาดหน้าต่างของตัวกรองค่าเฉลี่ย $L_{avr} = 15$ ผลที่ได้จากตัวกรอง RMFAWL นั้นสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ แต่ให้ผลที่ไม่ดีกว่าตัวกรอง M&A เนื่องจากว่าในบริเวณที่มีอิมพัลส์ของสัญญาณรบกวนปรากฏจะส่งผลให้สัญญาณตรวจสอบ $e_L(i)$ ตีความผิด เข้าใจเป็นขอบสัญญาณ จึงทำให้การปรับขนาดหน้าต่าง $L(i)$ ผิดพลาดไป ดังจะสังเกตได้ในภาพที่ 12(ก) บริเวณตำแหน่งของสัญญาณที่เกิดอิมพัลส์ ขนาดหน้าต่างของตัวกรองจะถูกปรับให้มีขนาดเล็กลงทุกครั้งดังแสดงในภาพที่ 12(ง) ปัญหาในการปรับปรุงขนาดหน้าต่างของตัวกรองนี้จะได้รับการแก้ไขด้วยการพัฒนาตัวกรองชนิดใหม่ที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ภาพที่ 12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 12 (ต่อ)

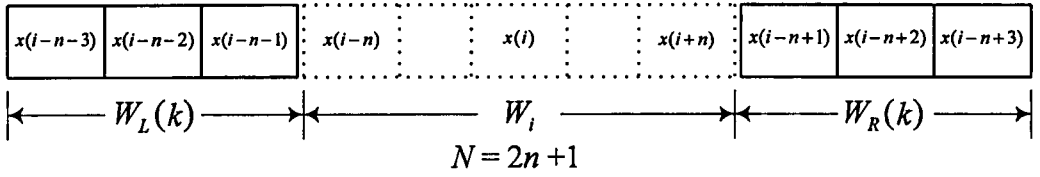


แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมด้วยตัวกรอง RMFAWL 12(ก) สัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 100$ และ $p = 0.05$ บนสัญญาณต้นแบบจากภาพ 11(ก) - 12(ข) ผลของตัวกรอง M&A $L_{med} = 5$ และ $L_{avr} = 15$ 12(ค) ผลของตัวกรอง RMFAWL ขนาดหน้าต่าง $L(i) = 5 \dots 31$, $\Delta = 0.23$ 12(ง) การเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง RMFAWL

ตัวกรองมัชฌานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ (2-D Median Filter with Adaptive Window Length : 2-D MFAWL)

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นแล้วว่าตัวกรองมัชฌานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ของตัวกรอง (RMFAWL) นั้น สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนได้ดีและยังสามารถรักษาขอบสัญญาณไว้ได้ ด้วยการปรับขนาดหน้าต่างให้เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณ ขนาดหน้าต่างของตัวกรองจะถูกปรับให้มีขนาดเล็กลงในบริเวณที่เป็นขอบสัญญาณเพื่อช่วยเพิ่มการรักษา รายละเอียดและความคมของขอบสัญญาณไว้ และจะถูกปรับให้เพิ่มขึ้นในบริเวณที่สัญญาณมีความราบเรียบเพื่อช่วยลดขนาดสัญญาณรบกวน แต่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนผสม จะให้ผลการกำจัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ดี ในบริเวณที่มีอิมพัลส์ของสัญญาณรบกวนปรากฏ อิมพัลส์นี้จะส่งผลมากต่อค่าเฉลี่ยที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการสร้างสัญญาณตรวจสอบ $e_L(i)$ ที่ใช้ปรับปรุงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง จึงเป็นเหตุให้มีการปรับขนาดหน้าต่างผิดไป ตัวกรองจึงให้ผลการกำจัดสัญญาณรบกวนได้ไม่ดี เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหานี้จึงได้ออกแบบตัวกรองมัชฌานที่มีวิธีการตรวจสอบการปรับปรุงขนาดหน้าต่างวิธีใหม่ที่อิมพัลส์ไม่ส่งผลถึง เพื่อเป็นการง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงขออธิบายโครงสร้างและกระบวนการทำงานของตัวกรองนี้ในแบบหนึ่งมิตีก่อนแล้ว จึงอธิบายในแบบสองมิติที่ใช้กับข้อมูลภาพต่อไป ดังนี้

ภาพที่ 13



แสดงหน้าต่างหนึ่งมิติของตัวกรอง MFAWL

จากภาพหน้าต่างของตัวกรอง MFAWL กำหนดให้ W_i เป็นเซตของข้อมูลที่อยู่ในหน้าต่างขนาดความยาว N บนสัญญาณ $x(i)$ ที่ตำแหน่ง i โดยที่ $N = 2n + 1$ และ n เป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่า $1, 2, 3, \dots$ ดังแสดงในภาพที่ 13 และสมการที่ (21) และเอาที่พหุของตัวกรอง MFAWL คือค่ามัธยฐานของข้อมูลในหน้าต่าง W_i หาได้จากสมการที่ (22)

$$W_i = \{ x(i-n), \dots, x(i), \dots, x(i+n) \} \dots\dots\dots(21)$$

$$y(i) = med[W_i] \dots\dots\dots(22)$$

การปรับปรุงขนาดหน้าต่าง W_i ทำได้โดยการตรวจสอบรูปแบบข้อมูลจำนวน 3 จุดที่อยู่ติดกับทางด้านซ้ายและด้านขวาของหน้าต่างเทียบกับค่ามัธยฐานของข้อมูลในหน้าต่างโดยกำหนดให้ $W_L(k)$ เป็นเซตข้อมูลบนสัญญาณ $x(i)$ จำนวน 3 จุดที่อยู่ติดทางด้านซ้ายและ $W_R(k)$ เป็นเซตข้อมูลบนสัญญาณ $x(i)$ จำนวน 3 จุดที่อยู่ติดทางด้านขวาของหน้าต่าง W_i ตามลำดับ ดังในสมการที่ (23)

$$\begin{aligned} W_L(k) &= \{ x(i-n-k) \mid k = 1, 2, 3; n = (N-1)/2 \} \\ W_R(k) &= \{ x(i+n+k) \mid k = 1, 2, 3; n = (N-1)/2 \} \end{aligned} \dots\dots\dots(23)$$

ค่ามัธยฐานมีคุณสมบัติที่ดีในการประมาณสัญญาณ จึงได้นำมาใช้เพื่อตรวจสอบสัญญาณอิมพัลส์และขอบสัญญาณที่เกิดขึ้นในข้อมูลของ $W_L(k)$ และ $W_R(k)$ ตามสมการที่ (24) ค่า $\Delta_L(k)$ และ $\Delta_R(k)$ มีขนาดที่มากในตำแหน่ง k อาจจะแสดงถึงอิมพัลส์หรือขอบสัญญาณก็ได้ซึ่งจะต้องดูที่ตำแหน่ง $k-1$ และ $k+1$ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

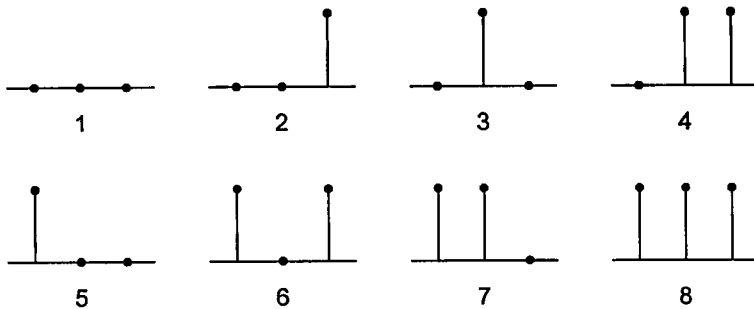
$$\begin{aligned} \Delta_L(k) &= |W_L(k) - med[W_i]| \\ \Delta_R(k) &= |W_R(k) - med[W_i]| \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$U_L(k) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_L(k) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_L(k) \geq Th \end{cases} \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$U_R(k) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_R(k) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_R(k) \geq Th \end{cases}$$

สมการที่ (25) $\Delta_L(k)$ และ $\Delta_R(k)$ ถูกแปลงให้เป็นเซตข้อมูลที่มีค่าเพียง 2 ระดับ $U_L(k)$ และ $U_R(k)$ ตามลำดับ โดยใช้ค่าระดับผ่าน Th เป็นค่าแบ่งแยก ค่านี้จะมีผลต่อการปรับขนาดหน้าต่าง W_i และส่งผลถึงการกรองสัญญาณ ถ้ากำหนดค่า Th มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้สัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีผลต่อการปรับขนาดหน้าต่าง แต่ถ้ากำหนดค่า Th นี้มีค่ามากเกินไปจะทำให้หน้าต่างถูกปรับให้มีขนาดใหญ่เกินจนรายละเอียดของภาพจะถูกกรองออกไปด้วย ดังนั้นการเลือกค่า Th จะต้องเลือกให้มีค่าน้อยที่สุดโดยที่สัญญาณรบกวนไม่ส่งผลต่อการปรับขนาดหน้าต่างสำหรับสัญญาณรบกวนที่มีฟังก์ชัน pdf เป็นชนิดนอร์มอลฟอร์ม จะใช้ค่า Th อยู่ในช่วง 2σ ถึง 3σ และสำหรับสัญญาณรบกวนที่มีฟังก์ชัน pdf เป็นชนิดยูนิทฟอร์ม จะใช้ค่า Th เท่ากับ $\sqrt{3}\sigma$ ในขณะนี้ $U_L(k)$ และ $U_R(k)$ เป็นข้อมูลเลขฐานสองมีขนาดความยาว 3 บิต มีรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงไม่ซ้ำกันได้ 8 ลักษณะจากหมายเลข 1 ถึง 8 ดังแสดงในภาพที่ 14 ในภาพหมายเลข 1 แสดงถึงข้อมูลของ $W_L(k)$ และ $W_R(k)$ ที่มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลใน W_i ในภาพหมายเลข 2-7 แสดงถึงข้อมูลใน $W_L(k)$ และ $W_R(k)$ ที่มีอิมพัลส์ในตำแหน่งบิตที่เป็น 1 และในภาพหมายเลข 8 แสดงถึงบริเวณที่เป็นขอบภาพหรือบริเวณที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงความชันมาก

ภาพที่ 14



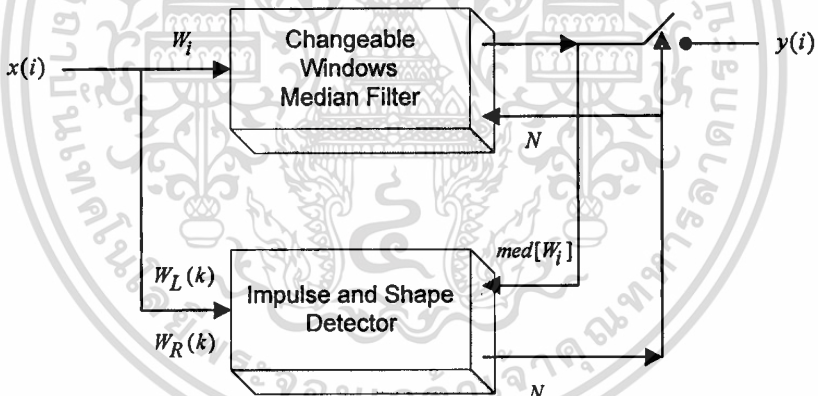
แสดงรูปแบบที่เป็นไปได้ 8 ลักษณะของ $U_L(k)$ และ $U_R(k)$

$$P = [U_L(1) \cdot U_L(2) \cdot U_L(3)] + [U_R(1) \cdot U_R(2) \cdot U_R(3)] \dots \dots \dots (26)$$

$$N = \begin{cases} N & \text{ถ้า } P = 1 \\ N + 2 & \text{ถ้า } P = 0 \text{ และ } W_{\min} \leq N < W_{\max} \end{cases} \dots \dots \dots (27)$$

ในสมการ (26) เป็นสมการตรวจสอบเงื่อนไขทางตรรกเพื่อตรวจสอบลักษณะของ $U_L(k)$ และ $U_R(k)$ แล้วทำการปรับปรุงขนาดของหน้าต่าง W_i ตามสมการ (27) จากภาพที่ 14 ถ้า $U_L(k)$ และ $U_R(k)$ มีลักษณะเป็นไปตามหมายเลข 1 ถึง 7 (เป็นบริเวณที่สัญญาณมีความราบเรียบ) และขนาดหน้าต่างมีค่าอยู่ในช่วงขนาดต่ำสุด W_{\min} และขนาดสูงสุด W_{\max} แล้วขนาดของหน้าต่างจะถูกขยายขึ้นเพื่อความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน และถ้า $U_L(k)$ หรือ $U_R(k)$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่ามีลักษณะเป็นไปตามหมายเลข 8 แล้วขนาดหน้าต่างจะคงเดิมเพื่อรักษาขอบสัญญาณเอาไว้

ภาพที่ 15



แสดง โครงสร้างของตัวกรอง Median Filter with Adaptive Window Length

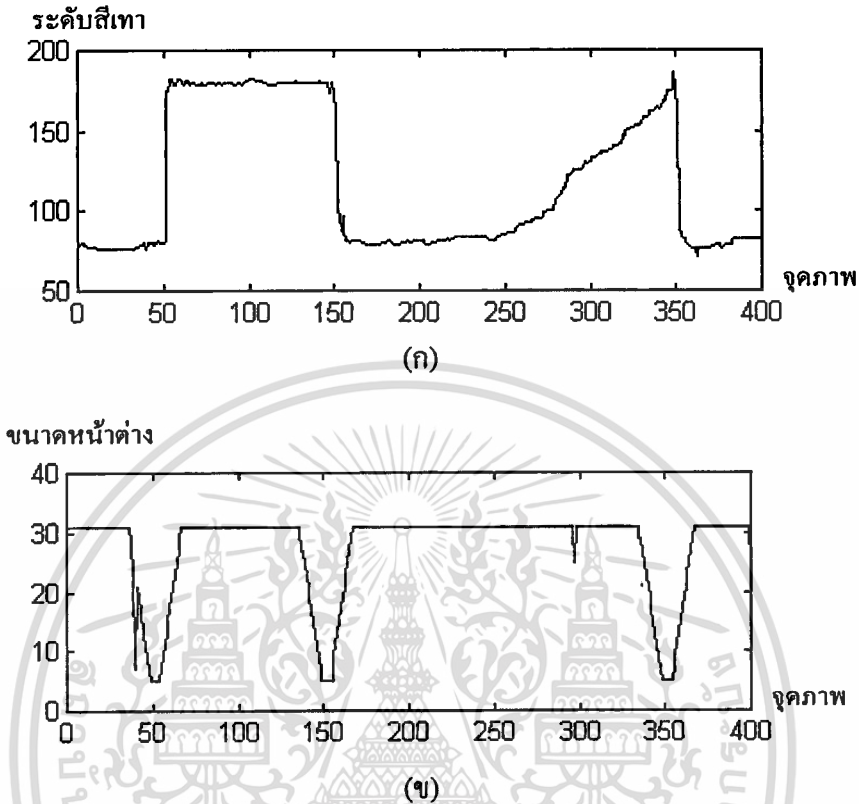
โครงสร้างของตัวกรอง MFAWL ได้แสดงไว้ในภาพที่ 15 แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่หนึ่ง Changeable Windows Median Filter ทำหน้าที่หาค่ามัธยฐานจากหน้าต่าง W_i ที่ขนาดหน้าต่างสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามค่า N ที่ส่งมาจากส่วนที่สอง โดยจะเริ่มค้นที่ขนาดเล็กที่สุดแล้วจะถูกปรับให้มีขนาดเพิ่มขึ้นหรือคงเดิมเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณและสัญญาณรบกวนและค่านี้ถูกจะควบคุมให้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงขนาดหน้าต่างที่เล็กที่สุด

W_{\min} และขนาดหน้าต่างที่ใหญ่ที่สุด W_{\max} ค่ามัธยฐานที่หาได้จากส่วนที่หนึ่งนี้จะถูกส่งกลับไปใช้ในการตรวจสอบลักษณะของสัญญาณในส่วนที่สองและจะเป็นเอาต์พุตของตัวกรองเมื่อขนาดหน้าต่าง W_i มีค่า N คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ในส่วนที่สอง Impulse and Shape Detector ทำหน้าที่ตรวจสอบลักษณะข้อมูล $W_L(k)$ และ $W_R(k)$ ที่อยู่รอบๆ หน้าต่าง W_i เพื่อหาค่าขนาดหน้าต่างแล้วส่งไปปรับปรุงขนาดหน้าต่างของตัวกรองในส่วนที่หนึ่ง ซึ่งทั้งสองส่วนมีการทำงานประสานกันเป็นวงรอบจนกระทั่งขนาดหน้าต่าง W_i ถูกปรับจนมีค่าคงที่จึงให้เอาต์พุตและสิ้นสุดการทำงานหนึ่งจุดข้อมูลโดยมีวิธีการดังนี้

1. ให้สัญญาณ $x(i)$ ที่ตำแหน่ง i เป็นอินพุตของตัวกรอง
2. กำหนดขนาดหน้าต่าง W_i ให้มีขนาดน้อยที่สุดคือเท่ากับ W_{\min}
3. ให้ $W_{old} = W_{\min}$
4. หาค่า N ขนาดหน้าต่าง W_i ตามสมการ (21), (23), (24), (25), (26) และ (27)
5. ตรวจสอบขนาดหน้าต่าง N เท่ากับ W_{old} หรือ N มากกว่าเท่ากับ W_{\max} ใช่หรือไม่
 - 5.1 ถ้าไม่ใช่ ให้ $W_{old} = N$ และกลับไปทำข้อ 4.
 - 5.2 ถ้าใช่ ไปทำข้อ 6.
6. ให้เอาต์พุตของตัวกรองมีค่าเท่ากับ $y(i)$ ที่ตำแหน่ง i ตามสมการที่ (22)
7. กลับไปทำข้อ 1. ที่สัญญาณ $x(i)$ ในตำแหน่งถัดไปคือ $i = i + 1$

ในภาพที่ 16 แสดงให้เห็นผลการใช้ตัวกรอง MFAWL มีขนาดหน้าต่างเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $W_{\min} = 5$, $W_{\max} = 31$ และใช้ $Th = 2.5\sigma$ เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนผสม จากสัญญาณต้นแบบของภาพที่ 11(ก) และสัญญาณรบกวนของภาพที่ 11(ข) ผลที่ได้จากตัวกรอง MFAWL แสดงในภาพที่ 16(ก) ซึ่งสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมและรักษาขอบสัญญาณได้ดีกว่าตัวกรอง M&A และตัวกรอง RMFAWL ในภาพที่ 16(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรองนี้ในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งให้ผลการปรับปรุงที่ถูกต้องกว่าวิธีการของตัวกรอง RMFAWL และสามารถลดผลของอิมพัลส์ของสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อการปรับปรุงขนาดหน้าต่างลงได้มาก

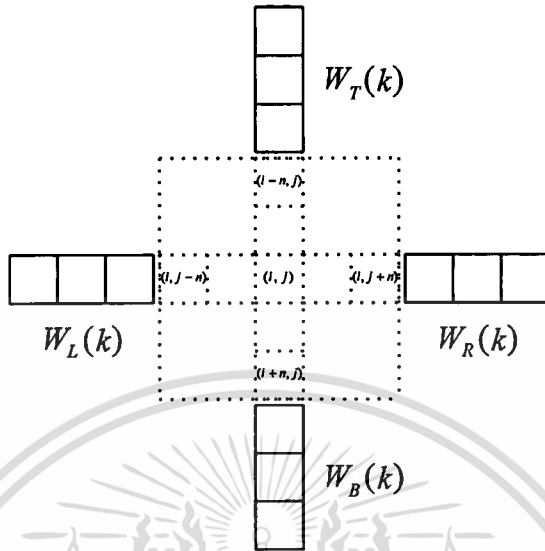
ภาพที่ 16



แสดงผลการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมด้วยตัวกรอง MFAWL 16(ก) ผลของตัวกรอง MFAWL ที่ $W_{\min} = 5$, $W_{\max} = 31$ และ $Th = 2.5\sigma$ 16(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง MFAWL

สำหรับการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่เกิดขึ้นในภาพหรือข้อมูลที่มีลักษณะเป็นสองมิติ เพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพสูงแล้ว ตัวกรอง MFAWL ในแบบสองมิติจึงมีความจำเป็นสำหรับงานนี้ ด้วยวิธีการเดียวกันกับตัวกรอง MFAWL ในแบบหนึ่งมิติสามารถขยายเพิ่มเป็นสองมิติได้โดยการใช้หน้าต่างในภาพที่ 17 โดยให้ $W_{i,j}$ เป็นเซตของจุดภาพในหน้าต่างขนาด $N \times N$ บนภาพ $X_{i,j}$ ที่ตำแหน่ง i,j โดยที่ $N = 2n + 1$ และ n เป็นเลขจำนวนเต็มมีค่า 1,2,3,... ดังในสมการที่ (28) หน้าต่าง $W_{i,j}$ นี้จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนย่อยๆ คือ $W1_{i,j}$, $W2_{i,j}$, $W3_{i,j}$, และ $W4_{i,j}$ ตามในสมการที่ (29) และมีค่ามัธยฐานของแต่ละหน้าต่างย่อย $Zs_{i,j}$ ($s=1,2,3,4$) หาได้จากสมการที่ (30) และเอาที่พหุของตัวกรอง 2-D MFAWL คือค่ามัธยฐานหลายลำดับชั้น (Multilevel Median) ได้จากการหาค่ามัธยฐานของ $Zs_{i,j}$ และ $X_{i,j}$ ดังแสดงไว้ในสมการที่ (31)

ภาพที่ 17



แสดงหน้าต่างสองมิติของตัวกรอง 2-D MFAWL

$$W_{i,j} = \{ X_{i-n,j-n}, \dots, X_{i-n,j-n+1}, \dots, X_{i,j}, \dots, X_{i+n,j+n} \} \dots\dots\dots(28)$$

$$\begin{aligned} W1_{i,j} &= \{ X_{i,j+k} \mid -n \leq k \leq n \} \\ W2_{i,j} &= \{ X_{i+k,j+k} \mid -n \leq k \leq n \} \\ W3_{i,j} &= \{ X_{i+k,j} \mid -n \leq k \leq n \} \\ W4_{i,j} &= \{ X_{i+k,j-k} \mid -n \leq k \leq n \} \end{aligned} \dots\dots\dots(29)$$

$$Zs_{i,j} = med[Ws_{i,j}] \ ; \ s=1,2,3,4 \dots\dots\dots(30)$$

$$Y_{i,j} = med[Z1_{i,j}, Z2_{i,j}, Z3_{i,j}, Z4_{i,j}, X_{i,j}] \dots\dots\dots(31)$$

และเช่นกัน ข้อมูลใช้ตรวจสอบการปรับปรุงขนาดหน้าต่างของตัวกรอง $W_L(k)$, $W_R(k)$, $W_T(k)$ และ $W_B(k)$ เป็นข้อมูลขนาด 3 จุดข้อมูลที่อยู่รอบๆ หน้าต่าง $W_{i,j}$ ทางด้านซ้าย ด้านขวา ด้านบน และด้านล่าง รวมทั้งสมการตรวจสอบเงื่อนไขทางตรรกะและสมการปรับปรุงขนาดของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่าง จากในสมการที่ (23), (24), (25), (26) และ (27) ในตัวกรองแบบหนึ่งมิติไปเป็นสมการที่ (32), (33), (34), (35) และ (36) ในตัวกรองแบบสองมิติตามลำดับดังนี้

$$\begin{aligned}
 W_L(k) &= \{ X_{i,j-n-k} \mid k = 1,2,3; n = (N-1)/2 \} \\
 W_R(k) &= \{ X_{i,j+n+k} \mid k = 1,2,3; n = (N-1)/2 \} \\
 W_T(k) &= \{ X_{i-n-k,j} \mid k = 1,2,3; n = (N-1)/2 \} \\
 W_B(k) &= \{ X_{i+n+k,j} \mid k = 1,2,3; n = (N-1)/2 \}
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_L(k) &= |W_L(k) - Y_{i,j}| \\
 \Delta_R(k) &= |W_R(k) - Y_{i,j}| \\
 \Delta_T(k) &= |W_T(k) - Y_{i,j}| \\
 \Delta_B(k) &= |W_B(k) - Y_{i,j}|
 \end{aligned}
 \tag{33}$$

$$\begin{aligned}
 U_L(k) &= \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_L(k) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_L(k) \geq Th \end{cases} \\
 U_R(k) &= \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_R(k) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_R(k) \geq Th \end{cases} \\
 U_T(k) &= \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_T(k) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_T(k) \geq Th \end{cases} \\
 U_B(k) &= \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_B(k) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_B(k) \geq Th \end{cases}
 \end{aligned}
 \tag{34}$$

$$\begin{aligned}
 P &= P1 + P2 + P3 + P4 \\
 P1 &= U_L(1) \bullet U_L(2) \bullet U_L(3) \\
 P2 &= U_R(1) \bullet U_R(2) \bullet U_R(3) \\
 P3 &= U_T(1) \bullet U_T(2) \bullet U_T(3) \\
 P4 &= U_B(1) \bullet U_B(2) \bullet U_B(3)
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

$$N = \begin{cases} N & \text{ถ้า } P = 1 \\ N + 2 & \text{ถ้า } P = 0 \text{ และ } W_{\min} \leq N < W_{\max} \end{cases}
 \tag{36}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนและวิธีการทำงานของตัวกรอง 2-D MFAWL มีขั้นตอนที่ไม่แตกต่างจากตัวกรอง 1-D MFAWL เท่าใดนัก ดังจะได้แสดงวิธีการดังนี้

1. ให้ภาพ $X_{i,j}$ ที่ตำแหน่ง i, j เป็นอินพุทของตัวกรอง
2. กำหนดขนาดหน้าต่าง $W_{i,j}$ ให้มีขนาดน้อยที่สุดคือเท่ากับ W_{\min}
3. ให้ $W_{old} = W_{\min}$
4. หาค่า N ขนาดหน้าต่าง $W_{i,j}$ ตามสมการ (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35) และ (36)
5. ตรวจสอบขนาดหน้าต่าง N เท่ากับ W_{old} หรือ N มากกว่าเท่ากับ W_{\max} ใช่หรือไม่
 - 5.1 ถ้าไม่ใช่ ให้ $W_{old} = N$ และกลับไปทำข้อ 4.
 - 5.2 ถ้าใช่ ไปทำข้อ 6.
6. ให้เอาท์พุทของตัวกรองมีค่าเท่ากับ $Y_{i,j}$ ที่ตำแหน่ง i, j ตามสมการที่ (31)
7. กลับไปทำข้อ 1. ที่ภาพ $X_{i,j}$ ในตำแหน่งถัดไปคือ $i = i + 1$ และ $j = j + 1$

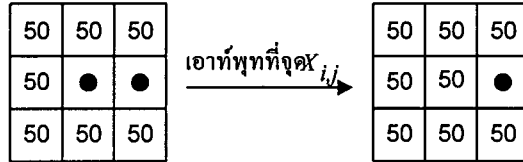
การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของตัวกรอง

พารามิเตอร์ W_{\min}

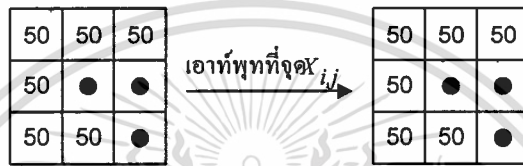
ตัวกรอง 2-D MFAWL จะใช้หน้าต่างขนาด $N \times N$ ที่สามารถปรับขนาดได้ตามภาพที่ 17 ในการหาเอาท์พุทของตัวกรอง โดยที่พารามิเตอร์ W_{\min} เป็นค่าที่ใช้จำกัดขนาดหน้าต่างที่เล็กที่สุดของตัวกรอง ในการปรับขนาดหน้าต่างของตัวกรองขนาดหน้าต่างจะถูกปรับให้มีขนาดเล็กที่สุดในบริเวณที่เป็นขอบภาพเพื่อวัตถุประสงค์รักษาขอบภาพเป็นหลัก แต่ขนาดหน้าต่างนี้ก็ต้องสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่เกิดขึ้นในบริเวณขอบภาพนี้ได้ด้วย ดังนั้นค่าของ W_{\min} จะพิจารณาจากปริมาณของสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ เนื่องจากเอาท์พุทของตัวกรองคือค่ามัธยฐานหลายลำดับชั้นของหน้าต่างแบบสองมิติ ความสามารถในการกำจัดสัญญาณอิมพัลส์จึงขึ้นอยู่กับปริมาณและตำแหน่งของสัญญาณอิมพัลส์ที่ปรากฏในหน้าต่างของตัวกรอง เพื่อให้แน่ใจว่าสามารถกำจัดสัญญาณอิมพัลส์ได้หมดจึงเลือกใช้ขนาดหน้าต่างที่สามารถกำจัดอิมพัลส์ที่ติดกันได้แน่นอนนั้นคือจำนวน $(N + 1)/2$ อิมพัลส์ ดังแสดงในภาพที่ 18 ตัวเลข 50 แสดงค่าระดับสีเทาและจุด ● แสดงสัญญาณรบกวนอิมพัลส์ ดังนั้นขนาดหน้าต่าง W_{\min} จะมีค่าตามสมการที่ (37)

$$W_{\min} = 2 \times \text{จำนวนอิมพัลส์ที่ติดกัน} - 1 \quad \dots\dots\dots(37)$$

ภาพที่ 18



สามารถกำจัดสองอิมพัลส์ที่ติดกัน



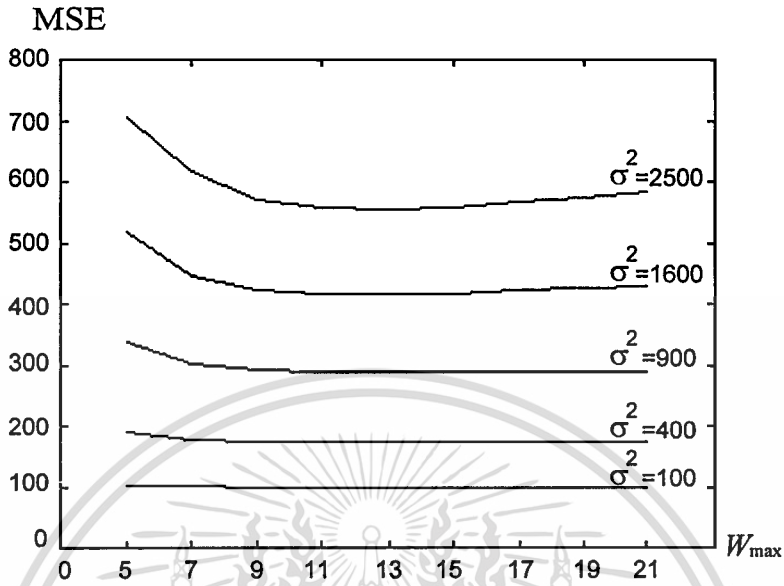
ไม่สามารถกำจัดสามอิมพัลส์ที่ติดกัน

แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ของหน้าต่างขนาด 3x3

พารามิเตอร์ W_{\max}

พารามิเตอร์ W_{\max} เป็นค่าที่ใช้จำกัดขนาดหน้าต่างที่มากที่สุดของตัวกรอง ในการปรับขนาดหน้าต่างของตัวกรองขนาดหน้าต่างจะถูกปรับให้มีขนาดมากที่สุดเท่ากับค่า W_{\max} ในบริเวณที่ข้อมูลภาพมีความราบเรียบหรือในบริเวณที่ภาพมีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันน้อยๆ เพื่อให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ดี ในภาพที่ 19 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ W_{\max} และขนาดของสัญญาณรบกวนผสมที่มี $p = 0.05$ และ σ^2 ที่ค่าต่างๆ โดยใช้ค่าเฉลี่ยค่าผิดพลาดกำลังสอง (MSE) และมีค่า $W_{\min} = 3$ $Th = 2.2\sigma$ กระทำบนภาพ LENA จากกราฟที่ $\sigma^2 = 2500$ จะสังเกตเห็นได้ว่าค่า W_{\max} เพิ่มขึ้น ค่าของ MSE จะลดลงจนกระทั่งที่ $W_{\max} = 13$ จะให้ค่า MSE ที่ต่ำที่สุดและจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเมื่อค่า W_{\max} เพิ่มขึ้น จะเป็นลักษณะนี้กับกราฟที่ค่าของ σ^2 อื่นๆ เช่นกัน สำหรับภาพ LENA นี้ค่า W_{\max} ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 9-13 ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของ σ^2 และเลือกใช้ค่า W_{\max} ค่าแรกที่ให้ค่า MSE ต่ำที่สุด

ภาพที่ 19



แสดงกราฟการหาขนาดของค่า W_{max} ของภาพ LENA

พารามิเตอร์ Th

เป็นพารามิเตอร์ค่าระดับผ่านที่ใช้ในสมการ (34) เพื่อใช้สร้างรูปแบบในการตรวจสอบสอบลักษณะของข้อมูลภาพ จากสมการที่ (33) และ (34) เพื่อเป็นการง่ายจะพิจารณาเฉพาะค่า $\Delta_L(k)$ และ $U_L(k)$ ที่ $k = 1$ ดังนั้นเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$\Delta_L(1) = |W_L(1) - Y_{i,j}|$$

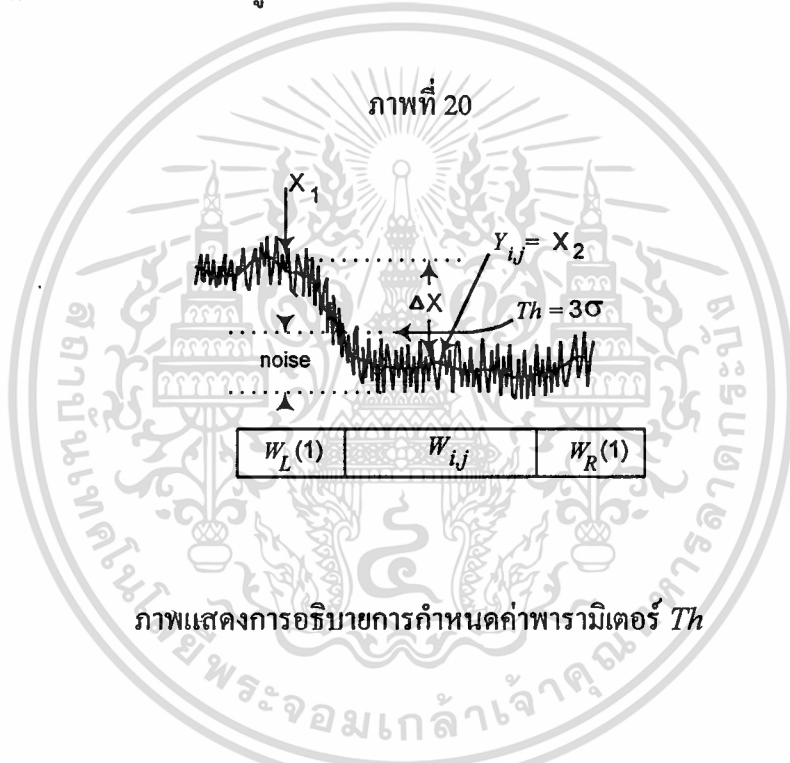
$$U_L(1) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } \Delta_L(1) < Th \\ 1 & \text{เมื่อ } \Delta_L(1) \geq Th \end{cases}$$

พิจารณาที่เงื่อนไขการขยายขนาดหน้าต่างของตัวกรอง $U_L(1) = 0$ เขียนใหม่ได้เป็น

$$\Delta_L(1) < Th$$

$$|W_L(1) - Y_{i,j}| < Th$$

จากภาพที่ 20 เป็นภาพแสดงการตรวจสอบลักษณะของข้อมูลภาพของ $W_L(1)$ ในบริเวณที่เป็นขอบภาพจะได้ว่า $W_L(1) = X_1 + noise$ คือค่าของข้อมูลภาพบวกกับสัญญาณรบกวน, $Y_{i,j} = X_2$ คือค่ามัธยฐานของหน้าต่างตัวกรอง และ $X_1 - X_2 = \Delta X$ คือค่าผลต่างของค่ามัธยฐานของหน้าต่างตัวกรองกับค่าของข้อมูลภาพ จะได้



$$|noise + X_1 - X_2| < Th$$

$$|noise + \Delta X| < Th$$

ในบริเวณที่เป็นขอบภาพค่า ΔX จะมีค่ามากกว่าค่าของ $noise$ ดังนั้นเพื่อให้สามารถตรวจสอบค่าผลต่าง ΔX ได้โดยที่สัญญาณรบกวนไม่ส่งผลถึง ดังนั้นค่า Th จึงมีค่าอยู่ในช่วง $noise \leq Th \leq \Delta X$ แต่เพื่อให้เป็นการดีที่สุดให้เลือกใช้ค่า Th เท่ากับค่าสูงสุดของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน เพื่อให้สามารถตรวจสอบข้อมูลภาพที่เป็นขอบภาพค่าน้อยๆ ได้

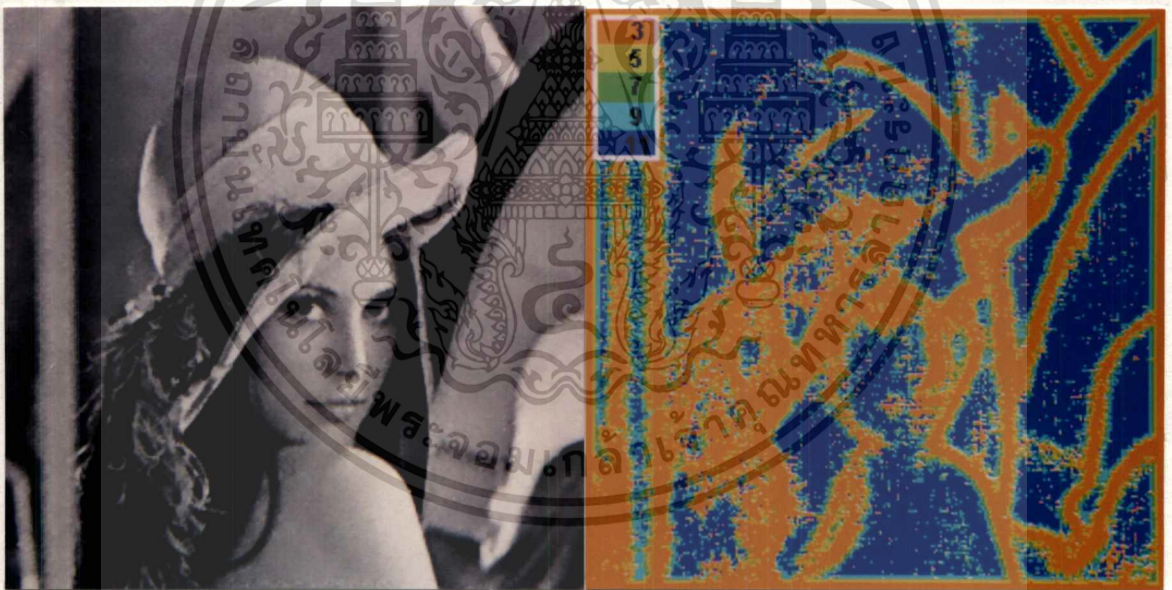
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่มีฟังก์ชันการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์มตามในภาพที่ 3 ของบทที่ 2 นั้นค่า Th จะมีค่าเท่า $\sqrt{3}\sigma$ และสำหรับฟังก์ชันที่มีการกระจายตัวแบบนอร์มอลฟอร์มตามในภาพที่ 4 ค่า Th จะมีค่าอยู่ในช่วง $2\sigma - 3\sigma$ ค่าของสัญญาณรบกวนในช่วงค่านี้มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้เพียง 2.5% จึงส่งผลกระทบต่อตรวจสอบลักษณะของข้อมูลภาพแต่จะมีผลคือสามารถลดค่า Th ลงอีก $0-1\sigma$ จึงทำให้สามารถตรวจสอบลักษณะของขอบภาพที่มีขนาดเล็กๆ ได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงค่า Th ในสมการที่ (38)

$$Th = \sqrt{3}\sigma \text{ สำหรับ } pfd = \text{Uniform} \dots\dots\dots(38)$$

$$2\sigma \leq Th \leq 3\sigma \text{ สำหรับ } pfd = \text{Normalform}$$

ภาพที่ 21



(ก)

(ข)

แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพด้วยตัวกรอง 2-D MFAWL 21(ก) ภาพผลการกรองของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.5\sigma$ 21(ข) แสดงขนาดหน้าต่างของตัวกรองที่ตำแหน่ง i, j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่เกิดขึ้นในภาพของตัวกรอง 2-D MFAWL ได้แสดงไว้ในภาพที่ 21 โดยใช้ภาพต้นแบบจากภาพที่ 2(ก) และภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสมจากภาพที่ 6 ในบทที่ 2 โดยที่ในภาพที่ 21(ก) นั้นได้แสดงภาพผลการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมด้วยตัวกรอง 2-D MFAWL จะเห็นได้ว่าทั้งสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟและสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนนั้นถูกกำจัดออกไปโดยที่ยังคงรักษาขอบภาพให้มีความคมชัดได้สูงกว่าวิธีการของตัวกรอง M&A โดยพิจารณาเปรียบเทียบได้จากภาพที่ 9 ส่วนในภาพที่ 21(ข) แสดงขนาดหน้าต่างของตัวกรองที่ทำการปรับปรุงในตำแหน่งต่างๆ ของภาพ ซึ่งมีขนาดการปรับอยู่ในช่วง 3 ถึง 11 จะสังเกตเห็นว่าบริเวณสีน้ำตาลจะเป็นบริเวณขอบภาพ ขนาดหน้าต่างของตัวกรองจะปรับไปที่ขนาด 3 และจะปรับเพิ่มขึ้นเป็น 5, 7, 9 และ 11 ซึ่งจะแสดงด้วยสีเขียวอ่อน, สีเขียวเข้ม, สีฟ้า และสีน้ำเงิน ตามลำดับ ในบริเวณที่ภาพมีความราบเรียบขึ้น

ความสามารถและประสิทธิภาพของตัวกรอง 2-D MFAWL ในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่เกิดขึ้นในภาพต่อปริมาณของสัญญาณรบกวนที่ขนาดต่างๆ กัน และความสามารถในการรักษาขอบภาพ โดยการเปรียบเทียบกับวิธีการของตัวกรอง M&A ซึ่งจะได้แสดงอย่างละเอียดด้วยวิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 4

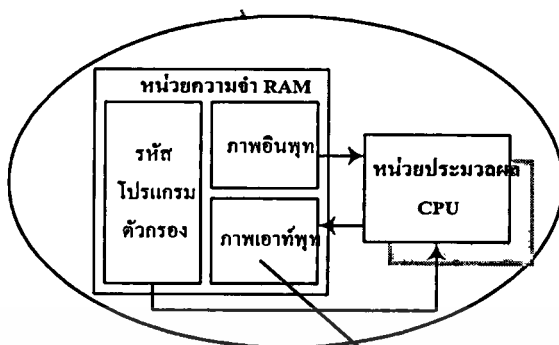
การจำลองการทำงานของตัวกรองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

แบบจำลองของตัวกรอง

ตัวกรอง M&A และ 2-D MFAWL มีกระบวนการทำงานที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนและตัวกระทำทางคณิตศาสตร์มากมายซึ่งสามารถแทนกระบวนการเหล่านี้ได้โดยการใช้โปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์จำลองการทำงาน ภาษาคอมพิวเตอร์สามารถเขียนเป็นโปรแกรมให้ทำงานเป็นขั้นตอนตามวิธีการของตัวกรองได้ง่ายเนื่องจากมีชุดคำสั่งและตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ช่วยมาก และยังสามารถแก้ไขโปรแกรมได้ง่ายมีความสะดวกต่อการทดลอง องค์ประกอบแบบจำลองของตัวกรองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้แสดงไว้ในภาพที่ 22

แบบจำลองของตัวกรองจะมีการทำงานโดยเริ่มต้นจาก โปรแกรมตัวกรองจะถูกป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยผ่านทางแป้นพิมพ์แล้วถูกแปลงไปเป็นรหัสโปรแกรมซึ่งเป็นชุดคำสั่งของหน่วยประมวลผล (CPU) และนำมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ RAM รหัสโปรแกรมจะถูก CPU อ่านและกระทำตามชุดคำสั่งทีละขั้นตอน โดยการอ่านไฟล์ภาพที่เก็บในหน่วยเก็บความจำประเภท แผ่นดิสเก็ตต์ หรือฮาร์ดดิสก์ เข้ามาเก็บไว้ใน RAM เพื่อเป็นภาพอินพุทให้กับโปรแกรมต่อไป ไฟล์ภาพนี้ก็คือภาพดิจิทัลที่ได้มาจากการแปลงภาพอนาล็อกไปเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขแล้วเก็บอยู่ในรูปของไฟล์ ต่อจากนั้นเมื่อ CPU ทำงานมาถึงส่วนที่เป็นรหัสโปรแกรมที่จำลองการทำงานของตัวกรอง CPU ก็จะอ่านภาพอินพุทเข้ามาแล้วทำการประมวลผลตามกระบวนการทำงานของตัวกรองที่ถูกต้องแทนด้วยชุดคำสั่งจนได้ภาพเอาท์พุทหรือภาพผลลัพธ์นำไปเก็บไว้ใน RAM แล้วนำไปแสดงผลออกทางจอภาพ จนกระทั่ง CPU ทำงานจนถึงชุดคำสั่งสุดท้ายจึงจะสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมตัวกรอง

ภาพที่ 22



แสดงแบบจำลองของตัวกรองบนคอมพิวเตอร์

โปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ

โปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพได้แสดงไว้ในภาพที่ 23 โดยได้แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. อ่านไฟล์ภาพต้นแบบลงสู่หน่วยความจำ เป็นการอ่านไฟล์ภาพจากหน่วยเก็บความจำสำรองมาเก็บไว้ใน RAM เพื่อเป็นข้อมูลภาพต้นแบบให้กับส่วนต่อไป
2. จำลองการเกิดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ เป็นการจำลองการสร้างภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสมบนภาพต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

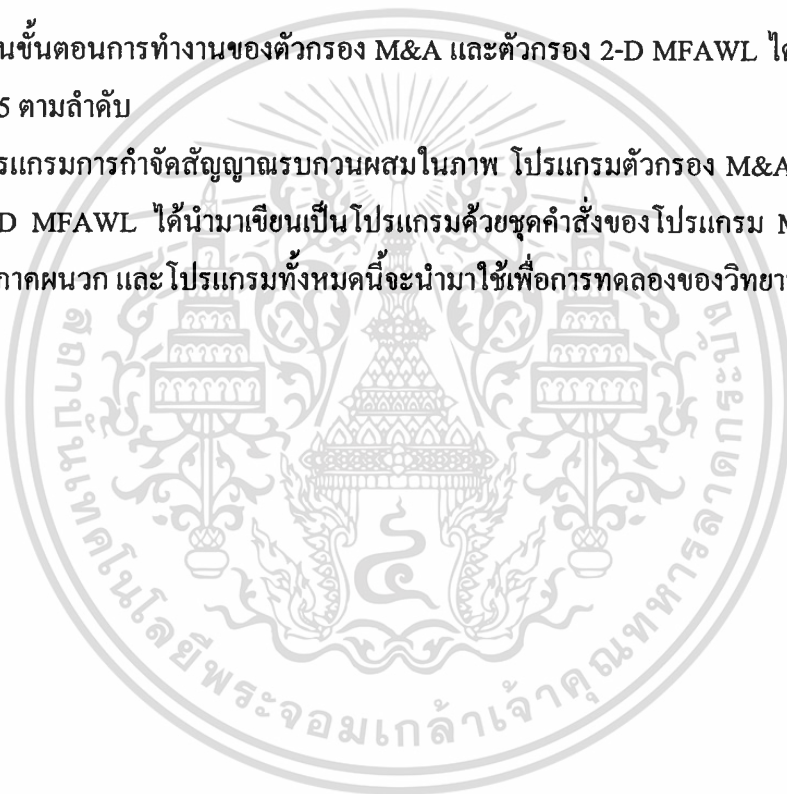
3. กรองภาพด้วยตัวกรอง M&A และ 2-D MFAWL เป็นการนำภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 2. มาทำการกรองภาพด้วยวิธีการของตัวกรอง M&A และวิธีการของตัวกรอง 2-D MFAWL

4. วัดคุณภาพของภาพ MSE MAE SNR ขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากตัวกรอง M&A และ 2-D MFAWL เทียบกับภาพต้นแบบด้วยค่า MSE MAE และ SNR

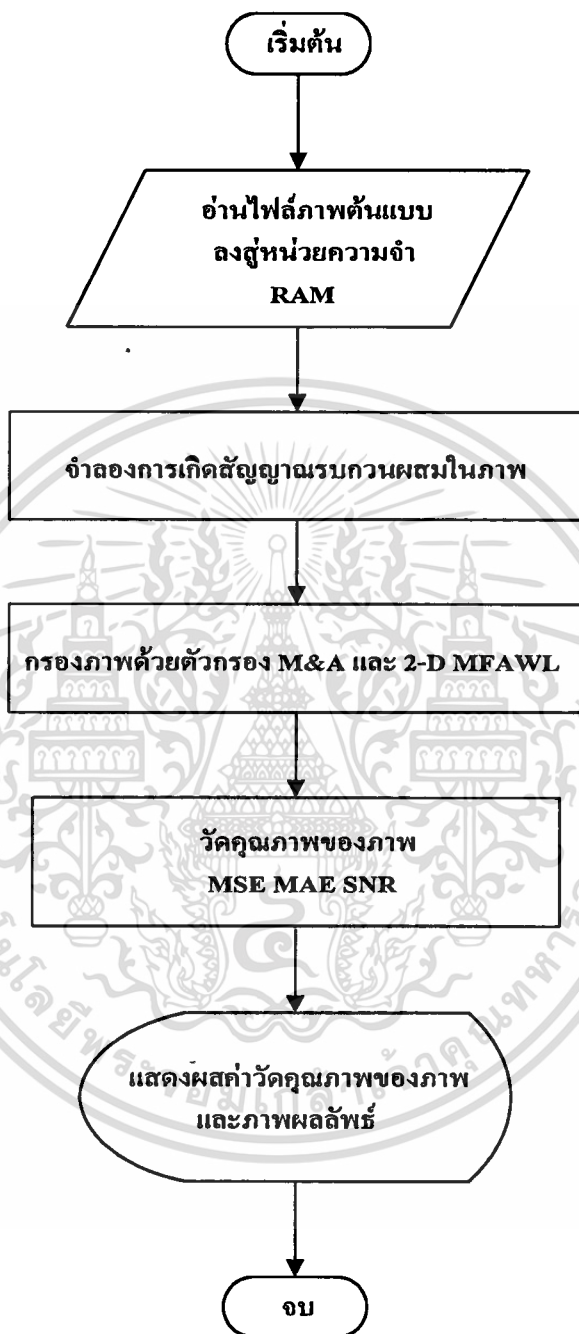
5. แสดงผลค่าวัดคุณภาพของภาพและภาพผลลัพธ์ เป็นการแสดงผลค่าวัดคุณภาพของภาพที่คำนวณได้และผลของภาพที่ผ่านตัวกรอง M&A และ 2-D MFAWL

ส่วนขั้นตอนการทำงานของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ได้แสดงไว้ในภาพที่ 24 และ 25 ตามลำดับ

โปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ โปรแกรมตัวกรอง M&A และ โปรแกรมตัวกรอง 2-D MFAWL ได้นำมาเขียนเป็นโปรแกรมด้วยชุดคำสั่งของโปรแกรม MATLAB ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก และ โปรแกรมทั้งหมดนี้จะนำมาใช้เพื่อการทดลองของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

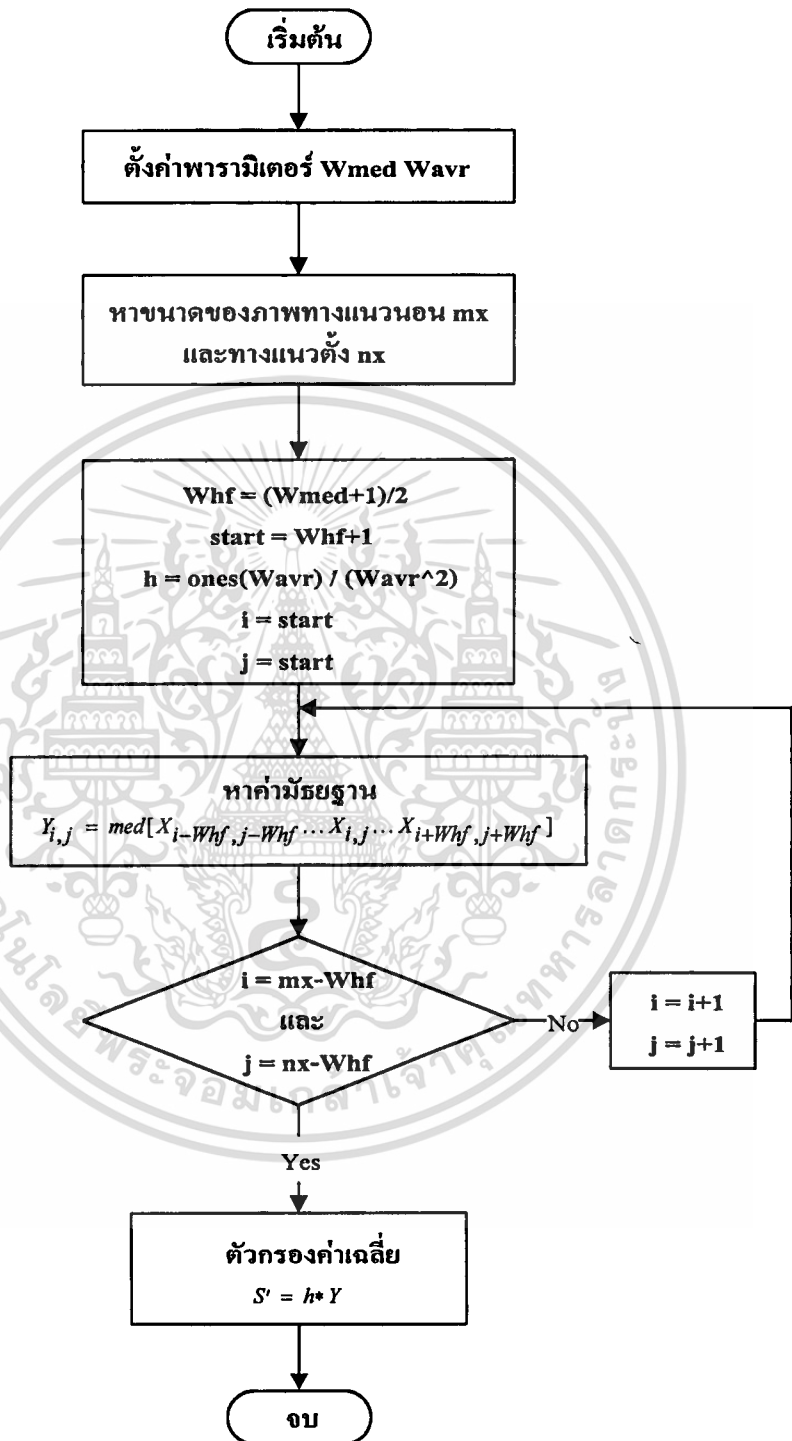


ภาพที่ 23



แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ

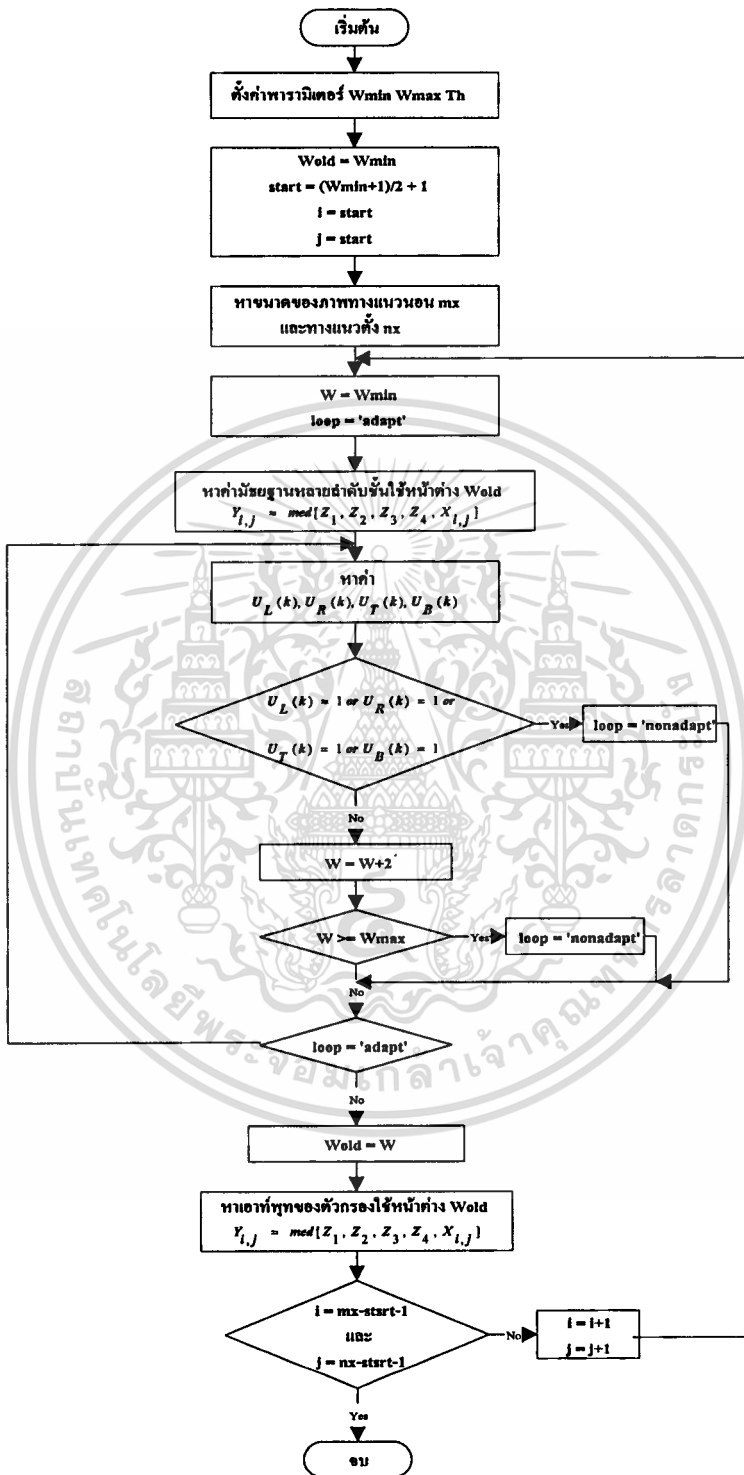
ภาพที่ 24



แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตัวกรอง M&A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 25



แสดงขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมตัวกรอง 2-D MFAWL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

การทดลองในบทนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่เกิดในภาพด้วยตัวกรองมัธยฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ (2-D MFAWL) เทียบกับตัวกรองแบบไฮบริดที่ใช้ตัวกรองมัธยฐานร่วมกับตัวกรองค่าเฉลี่ย (M&A) โดยการทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็นสามส่วนด้วยกัน ในส่วนที่หนึ่งเป็นการทดลองด้านประสิทธิภาพการรักษาความคมชัดของภาพในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ ส่วนที่สองเป็นการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่มีขนาดของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนที่ปริมาณต่างๆ กัน และในส่วนที่สามเป็นการทดลองด้านประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่มีขนาดของสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟที่ปริมาณต่างๆ กัน ภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นภาพมาตรฐานจำนวน 5 ภาพ ซึ่งเป็นภาพที่จะพบเห็นได้โดยทั่วไปในงานวิจัยทางการประมวลผลภาพ ดังมีรายละเอียดของภาพดังนี้

ภาพ CMAN	มีระดับสีเทา 0-255	ขนาดภาพ 256×256
ภาพ LENA	มีระดับสีเทา 0-255	ขนาดภาพ 256×256
ภาพ BABOON	มีระดับสีเทา 0-255	ขนาดภาพ 512×512
ภาพ JET	มีระดับสีเทา 0-255	ขนาดภาพ 512×512
ภาพ HOUSE	มีระดับสีเทา 0-255	ขนาดภาพ 475×699

แบบจำลองของการเกิดสัญญาณรบกวนผสมระหว่างสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนกับสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟในภาพ จะใช้แบบจำลองตามสมการที่ 11 ของบทที่ 2 และในการวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการประมวลผลของตัวกรองทั้งสองจะใช้ค่า MSE, MAE และ SNR เป็นดัชนีชี้วัดและผลของข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองจะนำเสนอในรูปแบบของ ภาพ ตารางข้อมูล และรูปภาพ โดยในการทดลองทั้งหมดนี้ได้จำลองการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมที่ทำงานบน MATLAB V4.0 ประมวลผลบนเครื่อง PC Pentium 166 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการรักษาความคมชัดของภาพ

ในหัวข้อนี้จะทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการรักษาความคมชัดของภาพเมื่อใช้ตัวกรอง 2-D MFAWL เทียบกับตัวกรอง M&A ทำการกรองภาพที่มีสัญญาณรบกวนผสม โดยทำการทดลองกับภาพมาตรฐาน CMAN, LENA, BABOON, JET และ HOUSE ที่ใส่สัญญาณรบกวนผสมด้วยสัญญาณรบกวนแบบเกาส์ซึ่งมีค่าความแปรปรวน (σ^2) เท่ากับ 200 และสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณรบกวน (p) เท่ากับ 0.05 มีลักษณะการรบกวนเกิดขึ้นในภาพแบบบวกและผลการทดลองได้แสดงดังในภาพที่ 26, 27, 28, 29 และ 30 โดยในแต่ละภาพจะแบ่งออกเป็นภาพย่อยๆ ดังนี้ ภาพ (ก) แสดงภาพมาตรฐานต้นแบบ ภาพ (ข) แสดงภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม ภาพ (ค) แสดงภาพผลลัพธ์ของการใช้ตัวกรอง M&A โดยการเลือกขนาดของหน้าต่าง $W_{med} = 3$, $W_{avr} = 3$ ที่สามารถกรองสัญญาณรบกวนได้หมด จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณรบกวนผสมจะถูกกำจัดออกไปหมดแต่ภาพจะมีความมัวรายละเอียดของภาพได้เสียไป ภาพ (ง) แสดงภาพผลลัพธ์ของการใช้ตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3$, $W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$ ทำการกรองภาพ สัญญาณรบกวนในภาพจะถูกกำจัดออกไปได้เช่นเดียวกัน แต่ภาพที่ได้มีความคมชัดและรายละเอียดของภาพก็ยังคงถูกรักษาไว้ได้ดีกว่าการใช้ตัวกรอง M&A ส่วนในตารางที่ 1 แสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR ของตัวกรอง M&A และ 2-D MFAWL ที่ได้จากการทดลองในภาพที่ 26, 27, 28, 29 และ 30 ซึ่งค่าวัดคุณภาพของภาพที่ได้จากการกรองด้วยตัวกรอง 2-D MFAWL จะมีคุณภาพที่ดีกว่าการใช้ตัวกรอง M&A

ภาพที่ 26



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ CMAN ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ 26 (ก) ภาพต้นแบบ 26 (ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200$, $p = 0.05$ 26 (ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3$, $W_{avr} = 3$ 26 (ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3$, $W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 27



(ก)

(ข)



(ค)

(ง)

แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ LENA ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ 27 (ก) ภาพต้นแบบ 27 (ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200$, $p = 0.05$ 27 (ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3$, $W_{avr} = 3$ 27 (ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3$, $W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

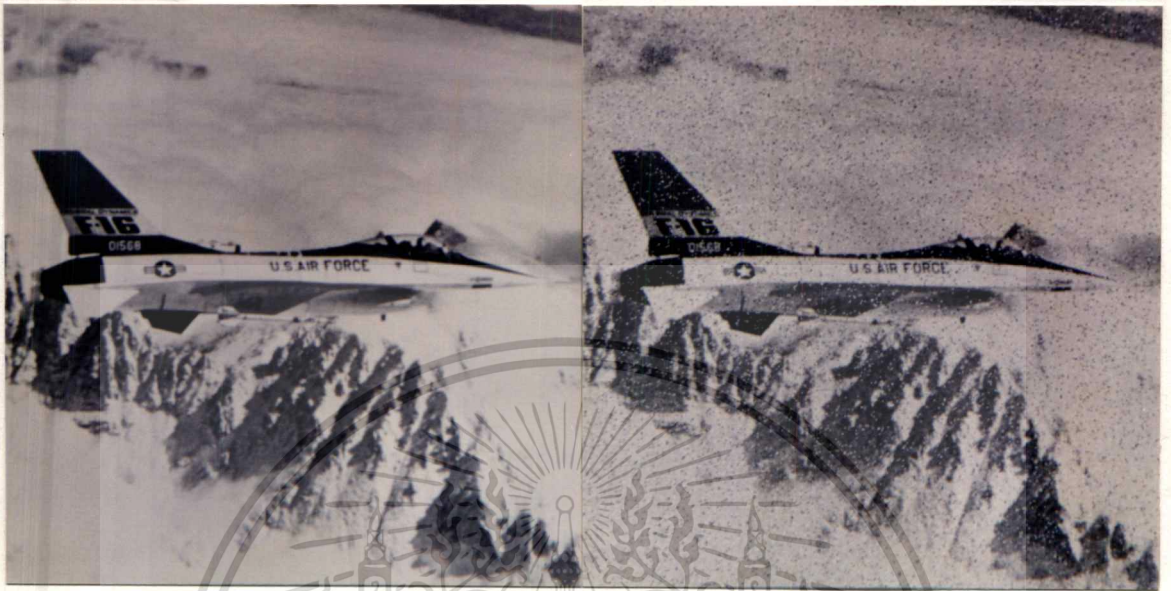
ภาพที่ 28



แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ BABOON ขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ 28 (ก) ภาพต้นแบบ 28 (ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200$, $p = 0.05$ 28 (ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3$, $W_{avr} = 3$ 28 (ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3$, $W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 29



(ก)

(ข)

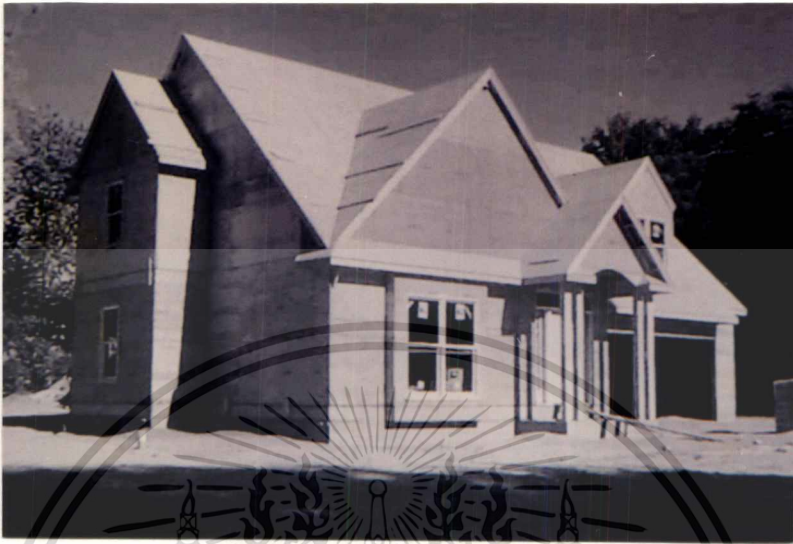


(ค)

(ง)

แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ JET ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสม
 ได้ 29 (ก) ภาพต้น 29 (ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200, p = 0.05$
 29 (ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3, W_{avr} = 3$ 29 (ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-
 D-MFAWL ที่ $W_{min} = 3, W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 30



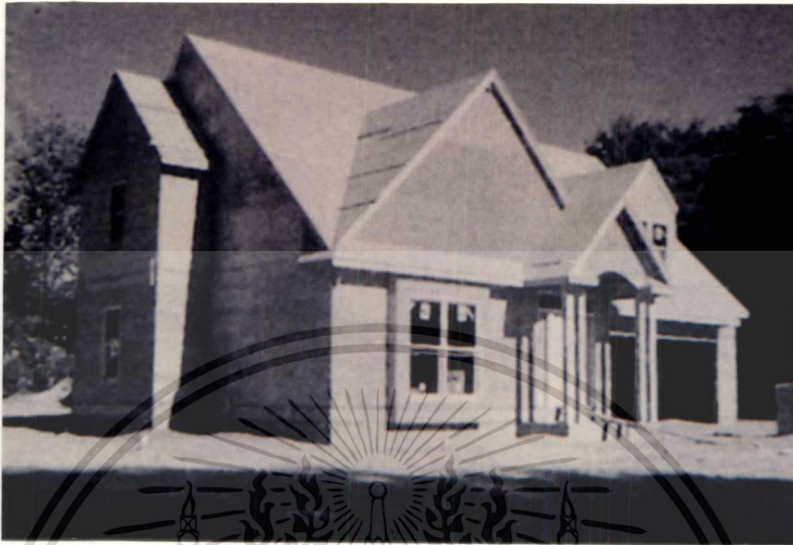
(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 30 (ต่อ)



(ค)



(ง)

แสดงการรักษาความคมชัดของภาพ HOUSE ในขณะที่ยังสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนผสมได้ 30 (ก) ภาพต้นแบบ 30 (ข) ภาพที่มีการรบกวนของสัญญาณรบกวนผสม $\sigma^2 = 200$, $p = 0.05$ 30 (ค) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง M&A ที่ $W_{med} = 3$, $W_{avr} = 3$ 30 (ง) ภาพผลลัพธ์ของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ $W_{min} = 3$, $W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

IMAGE FILES	FILTER	MSE	MAE	SNR
CMAN	INPUT	1295.92	16.96	13.92
	M&A	313.42	9.55	20.08
	2-D MFAWL	169.94	7.62	22.74
LENA	INPUT	1161.67	16.80	12.09
	M&A	157.75	7.88	20.76
	2-D MFAWL	125.01	7.62	21.77
BABOON	INPUT	1071.24	16.97	12.38
	M&A	353.47	13.22	17.19
	2-D MFAWL	230.61	10.56	19.05
JET	INPUT	1191.62	17.02	14.19
	M&A	139.73	6.88	23.51
	2-D MFAWL	81.75	6.25	25.84
HOUSE	INPUT	1207.68	16.82	12.78
	M&A	319.29	8.76	18.55
	2-D MFAWL	119.27	6.75	22.83

แสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากผลในภาพที่ 26, 27, 28, 29 และ 30

ประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมต่อ σ^2 ที่ค่าต่างๆ

ในหัวข้อนี้เป็นการทดลองความสามารถของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ปริมาณสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟมีค่าคงที่ $p = 0.05$ ในขณะที่ปริมาณสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนจะเปลี่ยนแปลง มีค่า σ^2 ต่างๆ กัน โดยได้ทำการทดลองกับภาพ CMAN และ LENA ดังแสดงผลในตารางที่ 2 และ 3 ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR และนำข้อมูลมาวาดกราฟดังแสดงในภาพที่ 31 และ 32 ตามลำดับ โดยตัวกรอง M&A ใช้หน้าต่างขนาด $W_{med} = 3$ และ W_{avr} เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ส่วนตัวกรอง 2-D MFAWL ใช้หน้าต่างขนาด $W_{min} = 3$, $W_{max} = 11$ และ $Th = 2.2\sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2

σ^2	FILTER	WINDOW SIZE	MSE	MAE	SNR (dB)
100	INPUT		1224.75	13.91	14.16
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 3$	302.97	8.94	20.23
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	140.89	6.16	23.56
400	INPUT		1446.43	21.08	13.44
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	486.79	12.17	18.17
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	202.09	8.94	21.98
700	INPUT		1749.54	25.72	12.62
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 7$	631.52	14.15	17.04
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	272.26	10.64	20.69
1000	INPUT		1923.76	28.93	12.20
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 7$	745.03	15.66	16.32
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	318.60	11.99	20.01
1300	INPUT		2075.32	31.45	11.87
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 9$	855.24	17.36	15.72
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	378.15	13.18	19.27
1600	INPUT		2358.76	34.11	11.32
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 9$	964.28	18.76	15.20
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	434.11	14.29	18.67
1900	INPUT		2547.91	36.14	10.98
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 9$	1076.42	20.39	14.73
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	473.76	15.09	18.29
2200	INPUT		2661.97	37.55	10.79
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 11$	1077.18	20.57	14.73
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	519.97	15.85	17.89
2500	INPUT		2883.46	39.53	10.45
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 11$	1077.52	20.66	14.72
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	568.64	15.91	17.49

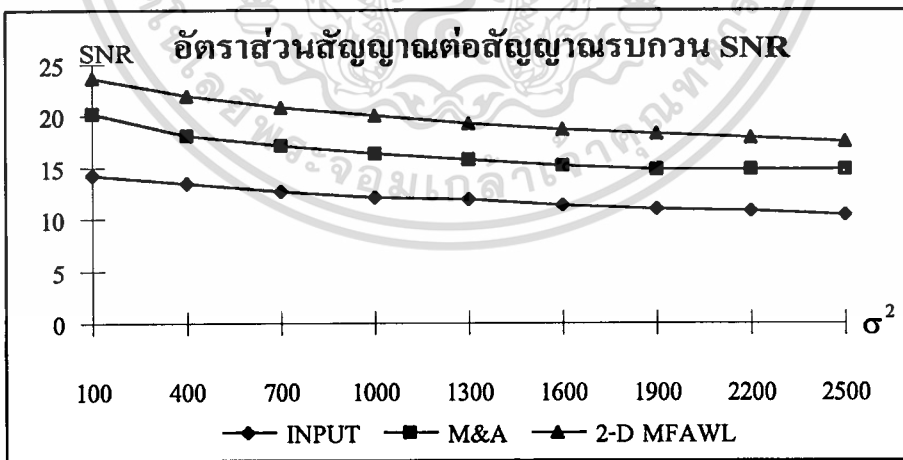
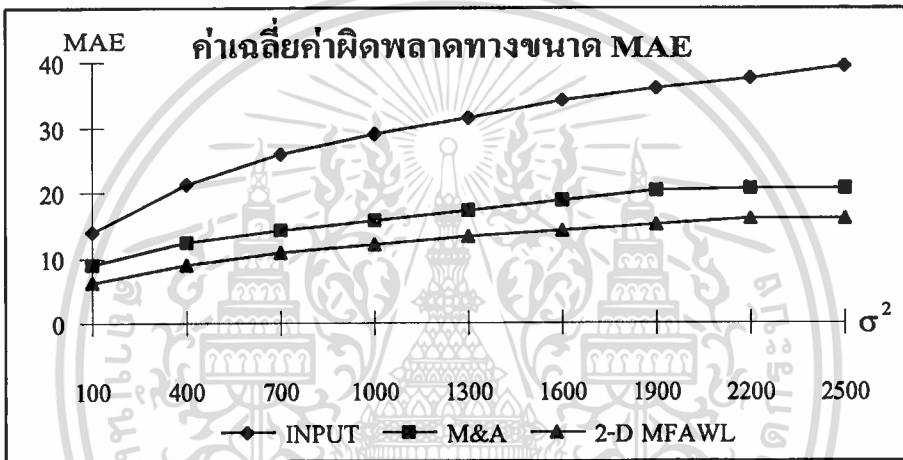
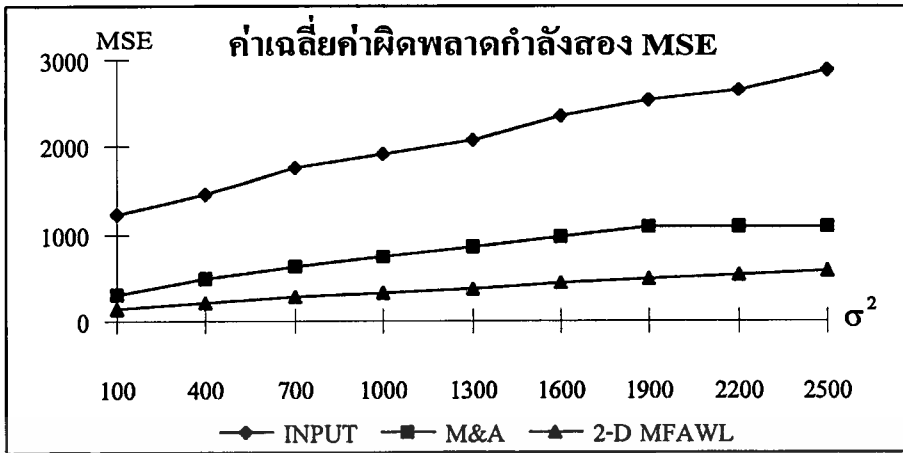
แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $p = 0.05$ คงที่ บนภาพ CMAN

ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

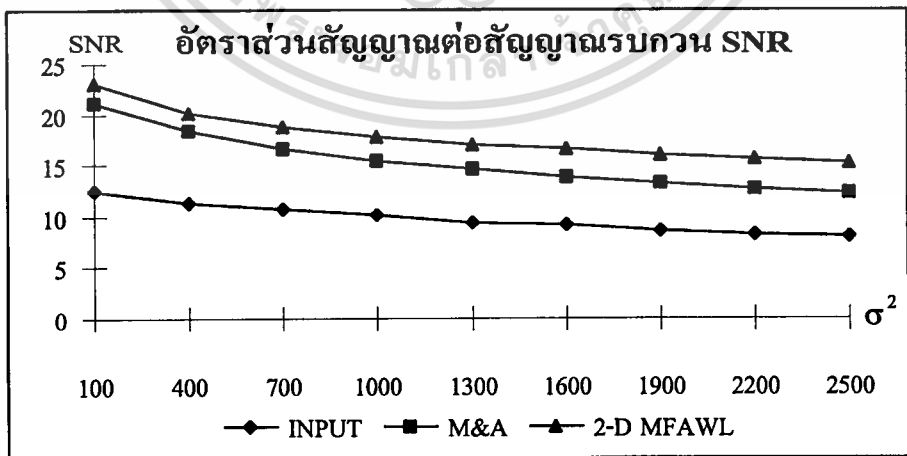
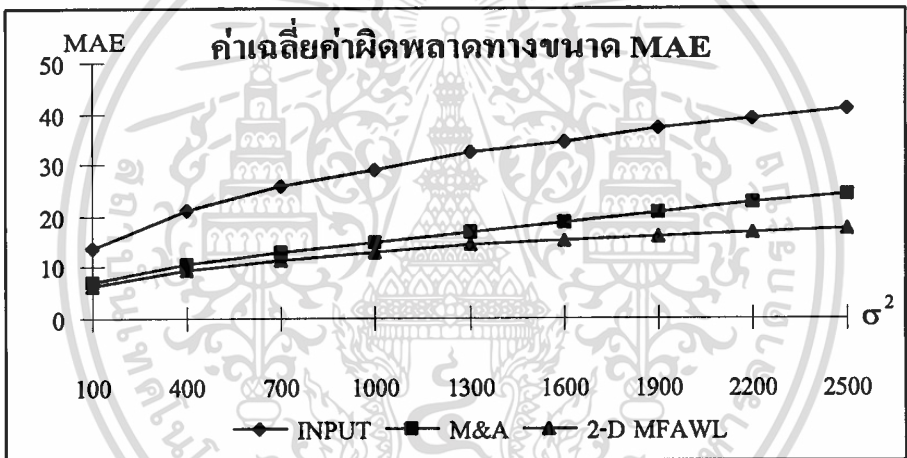
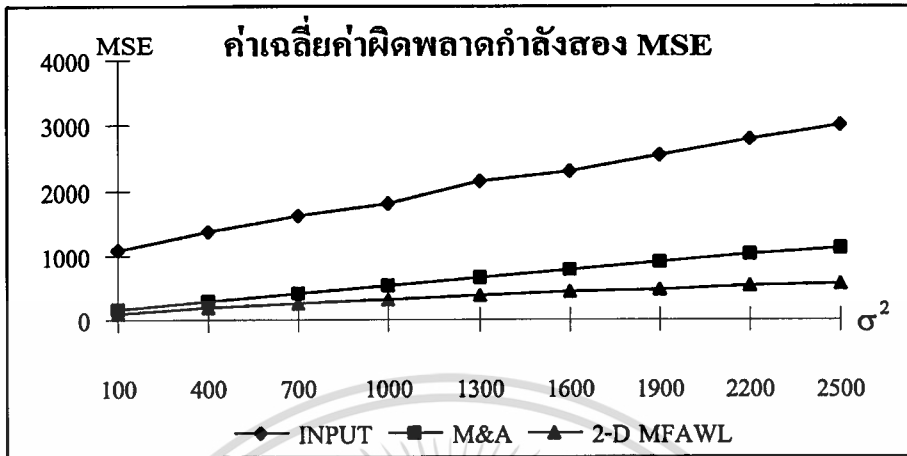
ภาพที่ 31



กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จึงขอรบกวนให้ผู้อ่านโปรดแจ้งหน่วยงานและผู้เกี่ยวข้องในหน่วยงานของท่านหากมีข้อผิดพลาดใดๆ
 ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR

ภาพที่ 32



กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมต่อ p ที่ค่าต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการทดลองความสามารถของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ในการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ปริมาณของสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนมีค่าคงที่ $\sigma^2 = 200$ ในขณะที่ปริมาณสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟจะเปลี่ยนแปลง มีค่า p ต่างๆ กัน โดยได้ทำการทดลองกับภาพ CMAN และ LENA ดังแสดงผลในตารางที่ 4 และ 5 ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR และได้นำข้อมูลจากตารางมาวาดกราฟดังแสดงในภาพที่ 33 และ 34 ตามดับ ตัวกรอง M&A ใช้ขนาดหน้าต่าง W_{med} ที่ขนาดต่างๆ ตามปริมาณสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ และ $W_{avr} = 5$ ส่วนตัวกรอง 2-D MFAWL ใช้ขนาดหน้าต่าง W_{min} เปลี่ยนแปลงตามปริมาณสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟ และ $W_{max} = 11, Th = 2.2\sigma$



ตารางที่ 4

p	FILTER	WINDOW SIZE	MSE	MAE	SNR (dB)
0.02	INPUT		650.31	13.59	16.91
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	475.39	11.56	18.27
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	129.82	7.08	24.66
0.05	INPUT		1279.35	16.86	13.98
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	479.14	11.58	18.25
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	155.78	7.48	23.12
0.08	INPUT		1908.84	20.16	12.16
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	481.25	11.64	18.18
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	201.12	7.86	22.01
0.11	INPUT		2585.53	23.59	10.92
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	486.39	11.74	18.18
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	256.29	8.45	20.96
0.14	INPUT		3168.27	26.74	10.04
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	487.82	11.81	18.16
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	297.51	9.09	20.31
0.17	INPUT		3813.49	30.18	9.23
	M&A	$W_{med} = 5, W_{avr} = 5$	525.89	11.84	17.84
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	342.07	9.51	19.70
0.20	INPUT		4300.74	32.73	8.71
	M&A	$W_{med} = 5, W_{avr} = 5$	529.54	11.96	17.81
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	379.47	9.91	19.25
0.23	INPUT		4807.41	35.49	8.23
	M&A	$W_{med} = 5, W_{avr} = 5$	531.07	12.00	17.79
	2-D MFAWL	$W_{min} = 7, W_{max} = 11$	422.28	10.53	18.79
0.26	INPUT		5486.48	38.95	7.65
	M&A	$W_{med} = 7, W_{avr} = 5$	541.08	12.15	17.71
	2-D MFAWL	$W_{min} = 7, W_{max} = 11$	473.19	10.97	18.29

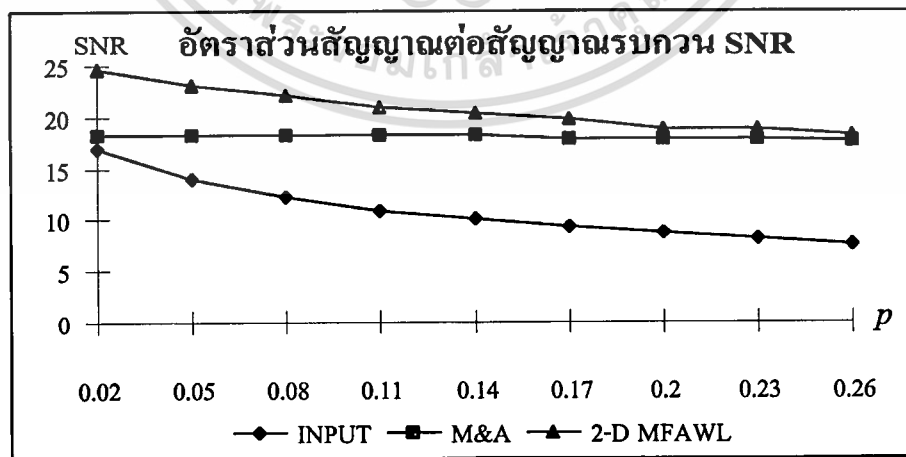
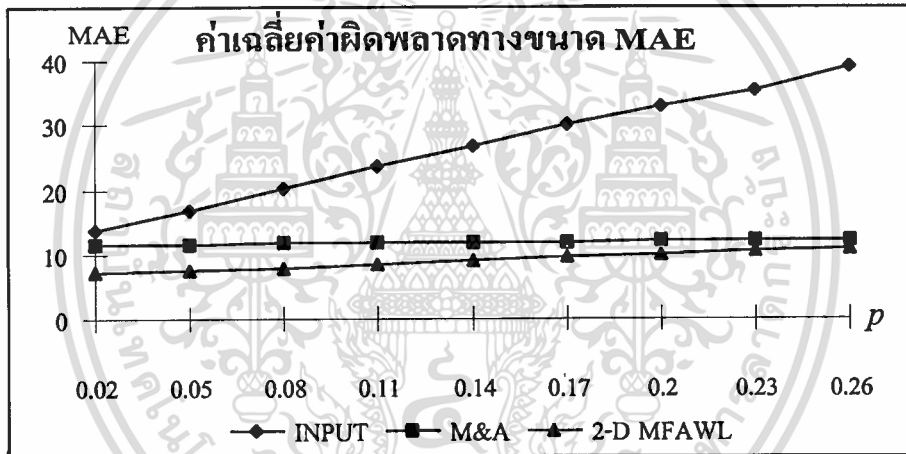
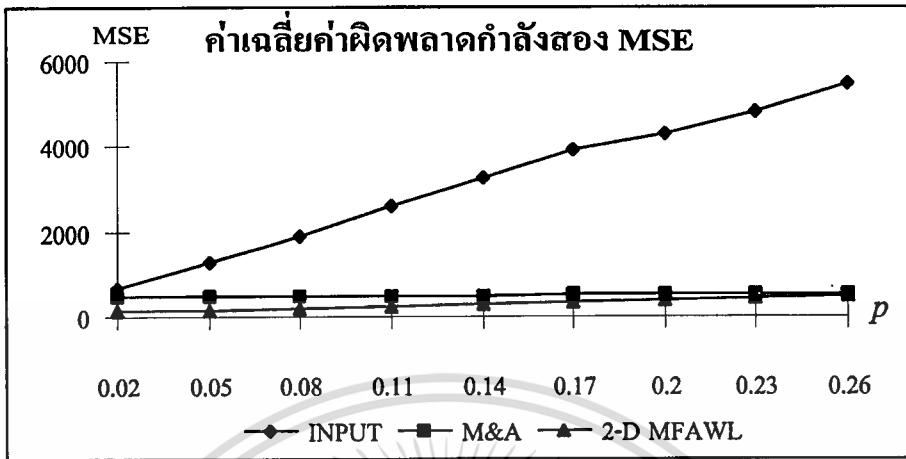
แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $\sigma^2 = 200$ คงที่บนภาพ CMAN

ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 33



กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

p	FILTER	WINDOW SIZE	MSE	MAE	SNR (dB)
0.02	INPUT		582.27	13.43	15.09
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	263.87	9.79	18.53
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	101.27	7.25	22.68
0.05	INPUT		1174.57	16.88	12.04
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	266.51	9.85	18.48
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	138.29	7.71	21.66
0.08	INPUT		1759.02	20.33	10.29
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	268.63	9.93	18.45
	2-D MFAWL	$W_{min} = 3, W_{max} = 11$	149.59	8.04	20.99
0.11	INPUT		2323.43	23.55	9.08
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	272.69	9.97	18.38
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	191.45	8.78	19.92
0.14	INPUT		2868.26	26.71	8.16
	M&A	$W_{med} = 3, W_{avr} = 5$	272.84	10.06	18.38
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	208.92	9.02	19.54
0.17	INPUT		3426.57	29.98	7.39
	M&A	$W_{med} = 5, W_{avr} = 5$	311.07	10.61	17.81
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	221.00	9.29	19.29
0.20	INPUT		3978.26	33.19	6.74
	M&A	$W_{med} = 5, W_{avr} = 5$	314.27	10.69	17.77
	2-D MFAWL	$W_{min} = 5, W_{max} = 11$	253.69	9.74	18.69
0.23	INPUT		4468.24	36.15	6.24
	M&A	$W_{med} = 5, W_{avr} = 5$	316.28	10.67	17.74
	2-D MFAWL	$W_{min} = 7, W_{max} = 11$	269.75	9.98	18.43
0.26	INPUT		5043.68	39.34	5.71
	M&A	$W_{med} = 7, W_{avr} = 5$	317.88	10.85	17.72
	2-D MFAWL	$W_{min} = 7, W_{max} = 11$	311.71	10.55	17.80

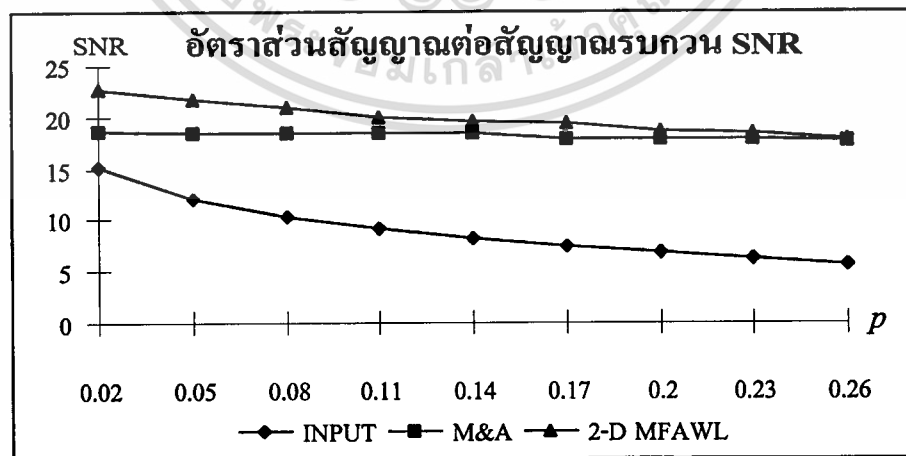
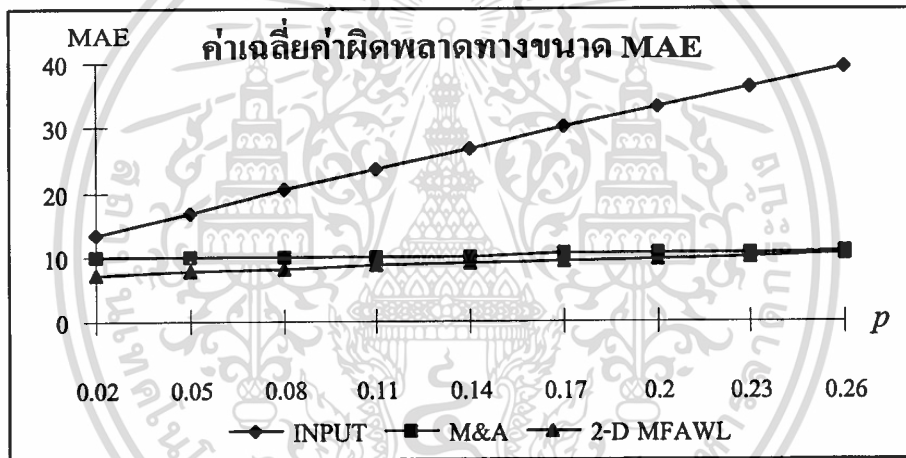
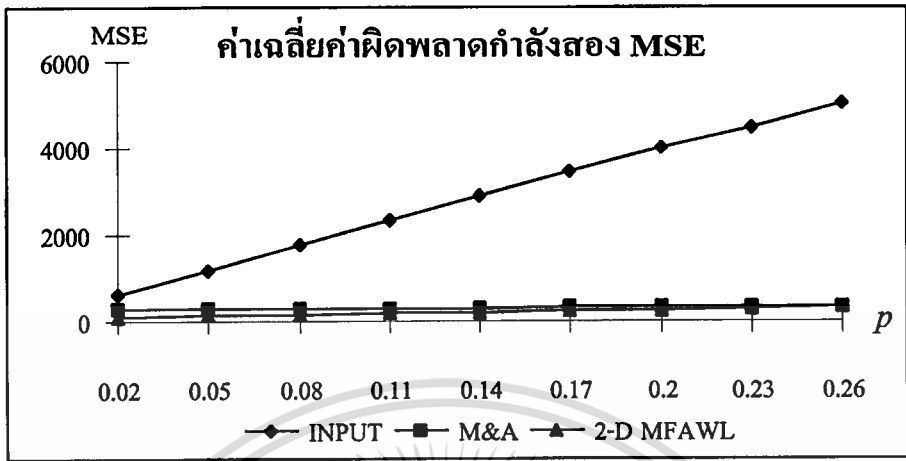
แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสัญญาณรบกวนผสมที่ $\sigma^2 = 200$ คงที่ บนภาพ LENA

ของตัวกรอง M&A และตัวกรอง 2-D MFAWL ด้วยค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 34



กราฟแสดงค่าวัดคุณภาพ MSE, MAE และ SNR จากข้อมูลในตารางที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

ตัวกรองแบบไฮบริดที่ใช้ตัวกรองมัชฌานและตัวกรองค่าเฉลี่ย (M&A) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพที่เกิดจากสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟจะใช้วิธีแยกกำจัดสัญญาณรบกวนที่ละชนิดด้วยตัวกรองเฉพาะที่เหมาะสมกับสัญญาณรบกวนแต่ละแบบ เริ่มจากกำจัดสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์ซีฟก่อน โดยใช้ตัวกรองมัชฌานตามด้วยการลดขนาดสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนและสัญญาณอิมพัลส์ในส่วนที่เหลือโดยใช้ตัวกรองค่าเฉลี่ย ซึ่งวิธีการนี้ข้อมูลภาพจะถูกคำนวณใหม่ถึงสองครั้ง ขนาดหน้าต่างของตัวกรองทั้งสองจะมีขนาดขึ้นกับปริมาณสัญญาณรบกวนแต่ละแบบ ขนาดหน้าต่างที่ใหญ่สามารถลดขนาดสัญญาณรบกวนได้มาก ผลของการกรองภาพด้วยตัวกรองชนิดนี้ สัญญาณรบกวนจะลดลงแต่ความคมชัดของภาพจะถูกทำลายไป ซึ่งถ้าต้องการลดขนาดสัญญาณรบกวนให้มากขึ้นเท่าไรความคมชัดของภาพก็ยิ่งจะถูกทำลายมากขึ้นเท่านั้น

สำหรับวิธีการของตัวกรองมัชฌานที่สามารถปรับปรุงขนาดหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ (2-D MFAWL) ข้อมูลภาพใหม่จากการกรองภาพ หาได้จากการใช้ค่ามัชฌานหลายระดับขึ้นกับข้อมูลภาพในหน้าต่างที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมตามลักษณะของข้อมูลที่ตำแหน่งต่างๆ บนภาพ โดยทำการตรวจสอบลักษณะรูปแบบข้อมูลภาพจำนวน 3 จุดภาพที่อยู่รอบๆ หน้าต่างแล้วปรับปรุงขนาดของหน้าต่าง ซึ่งมีลักษณะดังนี้ ในภาพบริเวณที่เป็นโครงร่างภาพหรือขอบภาพขนาดหน้าต่างของตัวกรองจะปรับให้มีขนาดเล็ก และในบริเวณภาพที่มีความราบเรียบของข้อมูลภาพหรือบริเวณที่มีค่าระดับสีเทาประมาณเท่าๆ กัน ขนาดหน้าต่างของตัวกรองก็จะถูกปรับให้มีขนาดใหญ่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้และยังรักษาความคมชัดของภาพไว้ได้เป็นอย่างดี ประกอบกับการใช้ค่ามัชฌานหลายระดับขึ้นในการประมวลผลข้อมูลภาพซึ่งประมวลผลเพียงหนึ่งครั้งและหาค่าได้ใกล้เคียงมีความถูกต้องมากกว่าตัวกรองค่าเฉลี่ยจึงไม่ทำให้ภาพมัว แต่เนื่องจากการประมวลผลด้วยวิธีนี้อยู่บนหลักการของค่ามัชฌาน จึงทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นพัลส์เล็กๆ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของตัวกรองประเภทตัวกรองมัชฌาน โดยที่สัญญาณรบกวนนี้สังเกตได้ชัดในบริเวณขอบภาพที่เป็นแนวเส้น จะไม่เรียบซึ่งเห็นเป็นข็กเล็กๆ ในตารางที่ 6 ได้แสดงข้อสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวกรองทั้งสองชนิดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

คุณสมบัติของตัวกรอง	ตัวกรอง 2-D MFAWL	ตัวกรอง M&A
การกำจัดสัญญาณรบกวนผสม	ดีมาก	ดี
ความคมชัดของ โครงร่างภาพและขอบภาพ	รักษาคมชัดไว้ได้	มัวไม่ชัดเจน
จำนวนครั้งที่ข้อมูลภาพถูกประมวลผล	1 ครั้ง	2 ครั้ง
ตัวกระทำทางคณิตศาสตร์	ค่ามัธยฐาน	ค่ามัธยฐานและค่าเฉลี่ย
สัญญาณรบกวนหลังการกรองภาพ	มีเล็กน้อย	มีเล็กน้อย
สร้างเป็นฮาร์ดแวร์	สร้างได้ง่าย	สร้างได้ง่าย
ความเร็วในการประมวลผล	ช้าขณะปรับ ขนาดหน้าต่าง	เร็วไม่มีการปรับ ขนาดหน้าต่าง
จำนวนครั้งในการคำนวณ	ไม่แน่นอน	แน่นอน
ขนาดหน้าต่าง	ปรับเปลี่ยนขณะ ประมวลผล	คงที่ตลอดการ ประมวลผล

แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของตัวกรอง 2-D MFAWL และตัวกรอง M&A

แนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไปนั้น จากปัญหาของตัวกรอง 2-D MFAWL ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากคุณสมบัติของค่ามัธยฐานนั้นแก้ไขได้ด้วยการหาวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพแบบใหม่ที่รวมคุณสมบัติที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นเข้าด้วยกันเช่น L-filter, α -trimmed mean filter และ Modified α -trimmed mean filter ในการตรวจสอบการปรับปรุงขนาดหน้าต่าง การสร้างลักษณะรูปแบบของข้อมูลภาพและการพิจารณาการปรับขนาดหน้าต่างตามสมการที่ 33, 34 และ 35 มีความเป็นตรรกะมากเกินไปซึ่งไม่ยึดหยุ่นกับความเป็นจริงที่มีรูปแบบมากมาย การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) หรือฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เข้ามาช่วยจะทำให้การปรับขนาดหน้าต่างมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามตัวกรอง 2-D MFAWL ก็ได้แสดงให้เห็นว่าค่ามัธยฐานหลายระดับชั้นของข้อมูลในหน้าต่างที่มีขนาดเหมาะสมกับลักษณะข้อมูลภาพสามารถใช้ประมวลผลภาพเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนผสมและยังรักษาความคมชัดของภาพไว้ได้เป็นอย่างดี

บรรณานุกรม

- Arun D. Kulkarni. Artificial Neural Networks for Image Understanding. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994
- Gonzalez Rafael C. and Paul Wintz. DIGITAL IMAGE PROCESSING. 2nd ed. Addison-Wesley Publishing Company, 1987.
- Hardie Russell C. and Charles G. Boncelet. "LUM Filters: Aclass of Rank-Order-Based Filters for Smoothing and Sharpening." IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 41, No. 3, pp. 1061-1076, March. 1993.
- Ho-Ming Lin and Alan N. Willson. "Median Filters with Adaptive Length." IEEE Trans Circuits and Systems, Vol. 35, No. 6, pp. 675-690, June. 1988.
- I. Pitas and A. N. Ventsanopoulos. "Adaptive Filters Based on Order Statistic." IEEE Trans Signal Processing, Vol. 39, No. 2, pp. 518-522, Feb. 1991.
- Jae S. Lim. Two-Dimensional Signal and Image Processing. New Jersey: Prentice-Hall, 1990.
- Kaoru Arakawa. "Median filter based on fuzzy rules and its application to image restoratiion." Fuzzy Sets and Systems, No. 77, pp. 3-13, 1996.
- Peter M. Clarkson. OPTIMAL and ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING. Boca Raton,Florida: CRC Press,1993.
- Ralph Sucher. "REMOVAL OF IMPULSE NOISE BY SELECTIVE FILTERING." IEEE, pp. 502-506, 1994
- Risto Suoranta and Kari-Pekka Estola. "Robust Median Filter with Adaptive Window Length." IEEE, pp. 108-111, 1991.
- Sophocles J. Orfanidis. OPIMUM SIGNAL PROCESSING: An Introduction. 2nd ed. New York: McGRAW-HILL, 1988.
- Stearns Samuel D. and Don R. Hush. DIGITAL SIGNAL ANALYSIS. 2nd ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1990.
- Yang Xiahua and Peng Seng Toh. "Adaptive Fuzzy Multilevel Median Filter." IEEE Trans Image Processing, Vol. 4, No. 5, pp. 680-682, May. 1995.

ภาคผนวก

โปรแกรมกำเนิดสัญญาณรบกวนในภาพ

`graynoise()` เป็นฟังก์ชันที่รันบนโปรแกรม MATLAB สำหรับกำเนิดสัญญาณรบกวนในภาพที่มีระดับสีเทา 0-255 สามารถกำหนดชนิดของสัญญาณรบกวนได้ในตัวแปร `type` ได้เป็น `gaussian`, `salt&pepper` และ `speckle` โดยที่ `P1` และ `P2` คือ พารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวนชนิดต่างๆ และ `a`, `b` คือข้อมูลภาพอินพุตและข้อมูลภาพเอาต์พุต

```
function b = graynois(a,type,P1,P2)
%   IMNOISE Image gray 256 level noise.
%   J = IMNOISE(I,'type',...) adds noise of 'type' to the intensity image I.
%   Possibilities are: 'gaussian','salt & pepper', and 'speckle'.
%
%   J = IMNOISE(I,'gaussian',M,V) adds Gaussian white noise of mean M
%   and variance V to the image I. Default is zero mean noise with 0.01 variance.
%
%   J = IMNOISE(I,'salt & pepper',D) adds salt and pepper noise to the image I.
%   D is the noise density.
%   Approximately D*PROD(SIZE(I)) pixels will be affected. Default is
%   0.05 noise density.
%
%   J = IMNOISE(I,'speckle',V) introduces multiplicative noise to the image I.
%   J = I + n*I, where n is uniformly distributed random noise with variance V.
%   V defaults to 0.04.
%
%   See also RAND, RANDN.

error(nargchk(1,4,nargin));
if nargin<2, type = 'gaussian'; end

if ~isstr(type), error('TYPE must be a string.');
```

```
end
type = [type ' ']; code = type(1:2);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if all(code=='ga'), % Gaussian white noise
    if nargin<3, P1 = 0; end % Mean
    if nargin<4, P2 = 0.01; end % Variance
    b = a + sqrt(P2)*randn(size(a)) + P1;
    b = max(0,min(b,255)); %Truncate if necessary

elseif all(code=='sa'), % Salt & pepper noise
    if nargin<3, P1 = 0.05; end % Noise density
    b = a;
    d = find(rand(size(a))<P1/2);
    b(d) = zeros(size(d));
    d = find(rand(size(a))<P1/2);
    b(d) = (ones(size(d)).*255);

elseif all(code=='sp'), % Speckle (multiplicative) noise
    if nargin<3, P1 = .04; end
    b = a + sqrt(12*P1)*a.*(rand(size(a))-0.5);
    b = max(0,min(b,255)); %Truncate if necessary

else
    error('Unknown noise type.')
end

```

โปรแกรมวัดคุณภาพของภาพ

`mesuqty()` เป็นฟังก์ชันสำหรับวัดคุณภาพของภาพที่ผ่านการประมวลผลโดยทำการวัดภาพในตัวแปร `out` เทียบกับภาพในตัวแปร `in` ด้วยค่า MSE, MAE และ SNR เป็นดัชนีชี้วัด

```

function mesuqty(in,out)

[m,n] = size(in); [mm,nn] = size(out);
if ((m ~= mm) | (n ~= nn))
    error('size of in is must equat size of out');
else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if min(m,n) == 1
    MSE = sum( (in - out).^2)/(m*n)
    MAE = sum( abs(in-out) )/(m*n)
    SNR = 10*log10( sum(in.^2)/sum( (in-out).^2 ) )
else
    MSE = sum( sum( (in - out).^2 ))/(m*n)
    MAE = sum( sum( abs(in-out) ) )/(m*n)
    SNR = 10*log10( sum( sum(in.^2) )/sum( sum( (in-out).^2 ) ) )
end;
end;

```

โปรแกรมกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในหนึ่งมิติ

เป็น โปรแกรมจำลองการทำงานของตัวกรอง RMFAWL, 1-D MFAWL M&A ในการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในสัญญาณข้อมูลหนึ่งมิติ

```

set(figure(1),'Position',[6 292 444 147]); set(figure(2),'Position',[40 267 444 147]);
set(figure(3),'Position',[80 237 444 147]); set(figure(4),'Position',[120 200 444 147]);

nx=500; a1 = 1:nx; S = zeros(1,nx); S(101:200) = ones(1,100).*255;
S = min(180,max(S,80)); a = 1:100; S(301:400) = S(301:400)+a;

X=S; X = graynois(X,'gaussian',0,100); X = graynois(X,'salt',0.05);
Y = S; Yw = zeros(1,nx); Y1 = S; Yw1 = zeros(1,nx);
Ymed5 = S; Ymed31 = S; Ymed = S; Yavrmed = S;

%----- Robust Median Filter with Adaptive Window Length (RMFAWL) -----%
Lmax =31; Lmin = 5; L = Lmax; El = 0; delta = -0.23;
for l = 2:nx-1,
    Spmin = min(l-1,nx-l)*2+1;
    while L > Spmin; L = L-2; end;
    Lhf = fix(L/2); Lhc = Lhf+1;
    Localmean = mean( X(l-Lhf:l+Lhf) );
    Yw(l) = L; Y(l) = median( X(l-Lhf:l+Lhf) );
    midP = Y(l);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

E11 = abs( midP - Localmean );
W1 = E11-E1+delta; E1 = E11;
if ( (W1 < 0) & (L < Lmax) );
    L = L + 2;
elseif ( (W1 > 0) & (L > Lmin) );
    L = L - 2;
end;
end;
%----- 1-D Median Filter with Adaptive Window Length (1-D MFAWL) -----%
wmax = 31; wmin = 5; Th = 30; wold = wmin;
for l = 5:nx-4;
    w = wmin; loop = 'adapt'; whf = fix(wold/2);
    Spmin = min(l-1,nx-l)*2+1; midP = median( X(l-whf:l+whf) );
    while strcmp( loop,'adapt');
        if w+6 <= Spmin;
            whf = fix(w/2); whc = whf+1;
            sl = abs(X(l-whc-2:l-whc) - midP) >= Th;
            sr = abs(X(l+whc:l+whc+2) - midP) >= Th;
            if sl == 1 | sr == 1;
                loop = 'nonadapt';
            else
                w = w+2;
                if w >= wmax; loop = 'nonadapt'; end;
            end;
        else
            loop = 'nonadapt';
        end
    end;
    wold = w; Yw1(l) = w; whf = fix(w/2);
    Y1(l) = median( X(l-whf:l+whf) );
end;
%----- Filtering with Median Filter and Average Filter -----%
Wmed = 5 Wavr = 15 m=15; h = ones(1,m)/m;
for l = 3:nx-2
    Ymed(l) = median( X(l-2:l+2) );
end;
Yavrmed = conv2(Ymed,h,'same');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%----- Filtering with median filter window = 5 -----%
for l = 3:nx-2
    Ymed5(l) = median( X(l-2:l+2) );
end;
%----- Filtering with median filter window = 31 -----%
for l = 16:nx-15
    L = 31; Spmin = min(l-1,nx-l)*2+1;
    while L > Spmin; L = L-2; end;
    Lhf = fix(L/2);
    Ymed31(l) = median( X(l-Lhf:l+Lhf) );
end;
figure(1); plot( Y(50:450),'k' ); axis([0 400 50 200]);
figure(2); plot( Y1(50:450),'k' ); axis([0 400 50 200]);
figure(3); plot(Yavrmcd(50:450),'k'); axis([0 400 50 200]);
figure(4); plot(Ymed5(50:450),'k'); axis([0 400 0 40]);

```

โปรแกรมตัวกรอง M&A

`m_and_a()` เป็นฟังก์ชันที่จำลองการทำงานของตัวกรอง M&A โดยฟังก์ชันจะรับค่าผ่านตัวแปร X คือภาพอินพุต $Wmed$ คือขนาดหน้าต่างของตัวกรองมาตรฐาน $Wavr$ คือขนาดหน้าต่างของตัวกรองค่าเฉลี่ย และฟังก์ชันจะผ่านค่ากลับด้วยตัวแปร S คือภาพที่ผ่านการกรอง

```

function [S] = m_and_a(X,Wmed,Wavr)

[mx,nx] = size(X); Whf = fix(Wmed/2); start = Whf+1;
h = ones(Wavr)/(Wavr^2); S = X; Y = X;
for i=start:mx-Whf;
    for j=start:nx-Whf;
        y = X(i-Whf:i+Whf,j-Whf:j+Whf);
        Y(i,j) = median(y(:));
    end;
end;
S = round( conv2(Y,h,'same') );

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมตัวกรอง 2-D MFAWL

`mfawl()` เป็นฟังก์ชันที่จำลองการทำงานของตัวกรอง 2-D MFAWL โดยฟังก์ชันจะรับค่าผ่านตัวแปร X คือภาพอินพุท W_{min} คือขนาดหน้าต่างต่ำสุดของตัวกรอง W_{max} คือขนาดหน้าต่างสูงสุดของตัวกรอง Th คือค่าระดับผ่าน และฟังก์ชันจะผ่านค่ากลับด้วยตัวแปร Y คือภาพที่ผ่านการกรอง Win คือขนาดหน้าต่างที่ตัวกรองทำการปรับที่ตำแหน่งจุดภาพต่างๆ

```
function [Y,Win] = mfawl(X,Wmin,Wmax,Th)

Wold = Wmin; start = fix(Wmin/2)+1;
[mx,nx] = size(X);
Y = X; Win = zeros(mx,nx)+3;
for i = start:mx-start-1;
    for j = start:nx-start-1;
        W = Wmin; loop = 'adapt'; Whf = fix(Wold/2);
        SpminI = min(i-1,mx-i)*2+1; SpminJ = min(j-1,nx-j)*2+1;
        Spmin = min(SpminI,SpminJ);
        Z1 = median( X(i-Whf:i+Whf,j) );
        Z2 = median( X(i,j-Whf:j+Whf) );
        Z3 = median( diag(X(i-Whf:i+Whf,j-Whf:j+Whf)) );
        Z4 = median( diag(fliplr(X(i-Whf:i+Whf,j-Whf:j+Whf))) );
        Y(i,j) = median( [Z1 Z2 Z3 Z4 X(i,j)] );
        while strcmp( loop,'adapt');
            if W+6 <= Spmin;
                Whf = fix(W/2); Whc = Whf+1;
                Ut = abs(X(i-Whc-2:i-Whc,j) - Y(i,j)) >= Th;
                Ub = abs(X(i+Whc:i+Whc+2,j) - Y(i,j)) >= Th;
                Ul = abs(X(i,j-Whc-2:j-Whc) - Y(i,j)) >= Th;
                Ur = abs(X(i,j+Whc:j+Whc+2) - Y(i,j)) >= Th;
                if Ut' == 1 | Ub' == 1 | Ul == 1 | Ur == 1;
                    loop = 'nonadapt';
                else
                    W = W+2;
                    if W >= Wmax; loop = 'nonadapt'; end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;
```

```

else
    loop = 'nonadapt';
end
end;
Wold = W; Win(i,j) = round(W); Whf = fix(Wold/2);
Z1 = median( X(i-Whf:i+Whf,j) );
Z2 = median( X(i,j-Whf:j+Whf) );
Z3 = median( diag(X(i-Whf:i+Whf,j-Whf:j+Whf)) );
Z4 = median( diag(fliplr(X(i-Whf:i+Whf,j-Whf:j+Whf))) );
Y(i,j) = median( [Z1 Z2 Z3 Z4 X(i,j)] );
end;
end;
Y(1,1:nx) = X(1,1:nx); Y(mx,1:nx) = X(mx,1:nx);
Y(1:mx,1) = X(1:mx,1); Y(1:mx,nx) = X(1:mx,nx);

```

โปรแกรมกำจัดสัญญาณรบกวนผสมในภาพ

โปรแกรมนี้เป็นสคริปไฟล์ที่รันบน MATLAB สำหรับทำการกรองภาพระดับสีเทาที่เปิดจากไฟล์ภาพสกุล BMP ด้วยฟังก์ชัน `bmpr()` และทำการกรองภาพด้วยตัวกรองมัชฐานที่สามารถปรับปรุงขนาดของหน้าต่างได้ในแบบสองมิติ (2-D MFAWL) และตัวกรองที่ทำงานร่วมกันของตัวกรองมัชฐานและตัวกรองค่าเฉลี่ย (M&A)

```

%----- Median Fliter & Average Filter -----%
%                                     AND                                     %
%----- 2-D Median Filter with Adaptive Window Length -----%

```

```
[X,map] = bmpr('d:\users\pok\picture\cman.bmp');
```

```
figure(1); set(1,'Position',[19,231,200,182]); colormap(map);
```

```
figure(2); set(2,'Position',[226,231,200,182]); colormap(map);
```

```
figure(3); set(3,'Position',[433,231,200,182]); colormap(map);
```

```
figure(4); set(4,'Position',[19,2,200,182]); colormap(map);
```

```
figure(5); set(5,'Position',[266,2,200,182]); colormap(pink);
```

```
[mx,nx] = size(X);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Y = X; Y = graynois(Y,'gaussian',0,200); Y = graynois(Y,'salt',0.05);
YMandA = Y; YMFAWL = Y; Win = zeros(mx,nx);
```

```
YMandA = m_and_a(X,3,5); % Median Fliter & Average Filter %
[YMFAWL,Win]= mfawl(X,3,11,31); % 2-D MFAWL %
```

```
figure(1); image(X);
```

```
figure(2); image(Y);
```

```
figure(3); image(YMandA);
```

```
figure(4); image(YMFAWL);
```

```
figure(5); image(Win.*10-5);
```

```
mesuqty(X(5:mx-4,5:nx-4),Y(5:mx-4,5:nx-4))
```

```
mesuqty(X(5:mx-4,5:nx-4),YMandA(5:mx-4,5:nx-4))
```

```
mesuqty(X(5:mx-4,5:nx-4),YMFAWL(5:mx-4,5:nx-4))
```



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายจิรวุฒิ สิ้นธุวนิชเสรษฐ์
เกิดวันที่	16 ธันวาคม 2511 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
การศึกษา	ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (อส.บ.) สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2534
การทำงาน	บริษัทรีด-ไรท์ ประเทศไทยจำกัด ในตำแหน่งวิศวกร ปี พ.ศ. 2534 สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในตำแหน่งเจ้าหน้าที่ระบบและโปรแกรม ปี พ.ศ. 2537
รับทุนศึกษา	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ หรือ สวทช. ระยะเวลา 1 ปี

ผลงานวิจัย

- จิรวุฒิ สิ้นธุวนิชเสรษฐ์ และ รศ.ดร.ชม กิมปาน. “การจดจำใบหน้ามนุษย์ของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยอาศัยเส้นโครงสร้างของใบหน้า (Human Face Recognition Using Isodensity Maps On Microcomputer).” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 16, พ.ศ. 2536.
- จิรวุฒิ สิ้นธุวนิชเสรษฐ์ และ รศ.ดร.ชม กิมปาน. “ตัวกรองสัญญาณรบกวนช่วงแถบกลางแบบปรับตัวเองได้ (Adaptive Median Band Filter).” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 18, พ.ศ. 2538.
- จิรวุฒิ สิ้นธุวนิชเสรษฐ์, รศ.ดร.ชม กิมปาน และ ดร.เอื้อน ปิ่นเงิน. “ระบบผู้เชี่ยวชาญกฎหมายประกันสังคม (Expert System in Social Insurance Law).” โครงการทุนวิจัยของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, พ.ศ. 2535.
- จิรวุฒิ สิ้นธุวนิชเสรษฐ์ และ รศ.ดร.ชม กิมปาน. “โปรแกรมสร้างแบบฟอร์มสำหรับงานธุรการ (Program form generator and Administration).” โครงการทุนวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, พ.ศ. 2538.