

การปรับปรุงภาพดิจิทัล และเครื่องมือในการปรับปรุงภาพดิจิทัลขั้นพื้นฐาน



นาง ศรีสุดา จาริก

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-248-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

114140286

BASIC DIGITAL IMAGE ENHANCEMENT AND TOOLS

Mrs. Srisuda Jaruke

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Computer Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1994


ISBN 974-584-248-6



หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงสภาพดิจิทัล และเครื่องมือในการปรับปรุงสภาพดิจิทัลขั้นพื้นฐาน  
โดย นาง ศรีสุดา จารีก  
ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

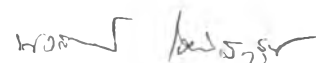
  
-----  
( ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรไภย์ )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

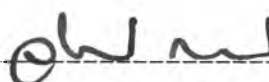
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
-----  
( อาจารย์ ดร.จิต สิริบูรณ์ )

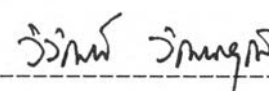
ประธานกรรมการ

  
-----  
( อาจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช )

อาจารย์ที่ปรึกษา

  
-----  
( อาจารย์ ดร.วิเทศ เตชางาม )

กรรมการ

  
-----  
( อาจารย์ วิวัฒน์ วัฒนาวุฒิ )

กรรมการ



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ฉบับไปครรถยเสียยิวานี้เป็นมณต์นตย

ศรีสุตา จารึก : การปรับปรุงภาพดิจิทัล และเครื่องมือในการปรับปรุงภาพดิจิทัลขั้นพื้นฐาน (BASIC DIGITAL IMAGE ENHANCEMENT AND TOOLS) อ.ที่ปรึกษา : อ.นงลักษณ์ โควาวีสารัช, 114 หน้า. ISBN 974-584-248-6

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์คือเพื่อทำการศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงภาพดิจิทัล แล้วนำมาจัดสร้างเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงภาพดิจิทัลขั้นพื้นฐาน เพื่อให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการเลือกใช้ และใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงภาพดิจิทัลที่มีค่าระดับความเทา 256 ระดับ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เครื่องมือนี้ถูกจัดแบ่งลักษณะของการปรับปรุงภาพออกเป็น 3 กลุ่ม คือ การตัดแปลงแก้ไขระดับความเทาของจุดภาพ การทำให้ภาพคมและการหาขอบของวัตถุในภาพ และการทำให้ภาพดูเนียนและการกำจัดสัญญาณรบกวน ซึ่งผู้ใช้เครื่องมือนี้สามารถทำการปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถยกเลิกการทำงานครั้งหลังสุดย้อนหลังได้ 2 ครั้ง นอกจากนี้ ยังมีส่วนของการบวกและลบรูปภาพ อีกทั้งยังสามารถเก็บภาพผลลัพธ์ที่ได้ไว้ในแฟ้มข้อมูลภาพได้ 2 รูปแบบคือแฟ้มข้อมูลแบบบีเอ็มพี และแฟ้มข้อมูลแบบพีซีเอ็กซ์

จากผลการวิจัยพบว่า เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงภาพดิจิทัลมีอยู่หลากหลายวิธีแตกต่างกันไป ซึ่งการจะเลือกใช้เทคนิคใดนั้น ก็ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ซึ่งหลายๆครั้งจะพบว่า ในการทำงานจริง เทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงภาพที่ดีและเหมาะสมกับงานนั้นๆ อาจได้มาจากการทดลองใช้การปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคต่างๆ ซึ่งอาจเป็นเทคนิคเดียว หรือการใช้เทคนิคต่างๆต่อเนื่องกันไปได้ ดังนั้น เครื่องมือในการปรับปรุงภาพดิจิทัลนี้ ก็จะ สามารถช่วยให้ผู้ใช้เครื่องมือสามารถทดลองปรับปรุงภาพและเห็นผลก่อนที่จะนำไปใช้กับงานจริงได้ นอกจากนี้ เครื่องมือนี้จะช่วยให้ผู้ที่สนใจและศึกษาในวิทยาการด้านนี้ ได้มองเห็นภาพที่เกิดจากการปรับปรุงภาพโดยใช้เทคนิคต่างๆ ได้ อย่างชัดเจนเพื่อให้เกิดความเข้าใจเทคนิคนั้น ๆ ได้ดีขึ้นโดยไม่จำเป็นต้องเขียนซอฟต์แวร์เองเหมือนที่เคยเป็นมาในอดีต

ภาควิชา ..... วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
สาขาวิชา ..... วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์  
ปีการศึกษา ..... 2536

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## C216804 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEY WORD: DIGITAL IMAGE ENHANCEMENT / DIGITAL IMAGE ENHANCEMENT TOOLS /  
FILTERING

SRISUDA JARUKE : BASIC DIGITAL IMAGE ENHANCEMENT AND TOOLS.

THESIS ADVISOR : NONGLUK COVAVISARUCH. 114 pp. ISBN 974-584-248-6

The purposes of this thesis are to study and gather techniques that are used in digital image enhancement and to develop software tools. These image enhancement tools must be user friendly. The results from using these tools could be applied for further software development.

The digital image enhancement tools were designed and developed to use with 256-gray level images on micro-computers. The designed tools are categorized mainly in 3 groups: grayscale modification, image sharpening and edge detection, and image smoothing and noise removing. Users are allowed to freely select any provided operations continuously. Up to two operations from the last can be cancelled. In addition, image addition and subtraction are also provided. The users can save the result images within 2 image file formats which are BMP and PCX formats.

From this research, it was found that there are several digital image enhancement techniques, and which techniques should be chosen and used depend on the objective of such work. It was also found that, many times, the best results of enhancement came from trial and error of either one or more usages of enhancement techniques. Therefore, these image enhancement tools will provide users in testing and seeing results from any chosen image enhancement techniques before real work is implemented. In addition, these tools are helpful to anyone who is interested in and studies image enhancement techniques in that he or she can see the results of applying enhancement techniques without having to program it by him- or herself as it usually was in the past.

ภาควิชา.....วิศวกรรมศาสตร์.....

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์.....

ปีการศึกษา.....2536.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*Srisuda Jaruke*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*Nonluk Covavisaruch*.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำอย่างดียิ่งของ อาจารย์ นงลักษณ์ โควาวิสารัช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย รวมถึงการสนับสนุนทางด้านเอกสารที่ใช้ประกอบการค้นคว้าต่างๆ นอกจากนี้ยังมีท่านคณะกรรมการที่ได้ช่วยตรวจสอบ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ศุภย์ มณีวัฒนา ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องพิมพ์เลเซอร์ พร้อมทั้ง คุณธานี ชวศิริกุลทล และคุณศรัณย์ อินทโกสม ที่ให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัย และ คุณพัชราภรณ์ คนแรง เจ้าหน้าที่ห้องสมุดภาควิชาคอมพิวเตอร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการค้นหาเอกสาร

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ คุณวัชระ จารึก ซึ่งช่วยสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านอื่นๆ รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เทคนิคในการปรับปรุงภาพดิจิทัล.....	5
- ภาพดิจิทัล.....	5
- การปรับปรุงภาพดิจิทัล.....	8
- การตัดแปลงแก้ไขเกรย์สเกล.....	12
- การแก้ระดับความเทา.....	12
- การแปลงค่าเกรย์สเกล.....	13
- การปรับความแตกต่างของค่าระดับความเทา.....	13
- การตัดแปลงแก้ไขฮิสโตแกรม.....	18
- การกำหนดฮิสโตแกรมโดยตรงแบบต่างๆไป.....	20
- การกำหนดฮิสโตแกรมเท่ากัน.....	22
- การทำให้ภาพคม และการหาขอบของวัตถุในภาพ.....	26
- วิธีที่ใช้หลักการของเกรเดียนท์.....	28
- วิธีที่ใช้หลักการของลาปลาเซียน.....	33
- การกรองสัญญาณที่ปล่อยให้ส่วนประกอบที่มีความถี่สูงผ่านไป.....	37
- การทำให้ภาพดูเนียน และการกำจัดสัญญาณรบกวน.....	42
- การเฉลี่ยค่าหรือการกรองสัญญาณ โดยใช้ค่าเฉลี่ย.....	43

## หน้า

- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่ามัธยฐาน.....	44
- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่าต่ำสุด/สูงสุด.....	48
- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่าฐานนิยม.....	49
- การปรับค่าระดับความเทาของพิกเซลที่มีความแตกต่าง เกินกว่าค่าขีดจำกัด.....	50
- การกำจัดสัญญาณรบกวนที่แตกต่างจากพิกเซลใกล้เคียงกัน k พิกเซล.....	51
- การกรองสัญญาณที่ปล่อยให้ส่วนประกอบที่มีความถี่ต่ำผ่านได้.....	52
3. ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือ.....	57
- ตารางสีและการแสดงผลบนจอภาพแบบวีจีเอ.....	57
- หน่วยความจำในการแสดงผลภาพดิจิทัล.....	61
4. การออกแบบและพัฒนาระบบ.....	63
- เครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงภาพขั้นพื้นฐาน.....	63
- เทคนิคที่ใช้ในการตัดแปลงแก้ไขเกรย์สเกล.....	63
- การแก้ไขระดับความเทา.....	63
- การแปลงค่าเกรย์สเกล.....	64
- การปรับความแตกต่างของค่าระดับความเทา.....	64
- การกำหนดค่าขีดจำกัด.....	65
- การสเกลแบบพื้นเลื่อน.....	67
- การกลับค่าระดับความเทาของภาพ.....	69
- การตัดแปลงแก้ไขฮิสโตแกรม.....	71
- เทคนิคที่ใช้ในการทำให้ภาพคม และการหาขอบของวัตถุในภาพ.....	71
- วิธีที่ใช้หลักการของแกรเดียนท์.....	73
- วิธีที่ใช้หลักการของลาปลาเซียน.....	83
- การกรองสัญญาณที่ปล่อยให้ส่วนประกอบที่มีความถี่สูงผ่านได้.....	85
- เทคนิคที่ใช้ในการทำให้ภาพดูเนียน และการกำจัดสัญญาณรบกวน.....	86
- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่าเฉลี่ย.....	86
- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่ามัธยฐาน.....	87



- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่าต่ำสุด/สูงสุด.....	88
- การกรองสัญญาณ โดยใช้ค่าฐานนิยม.....	90
- การกำจัดสัญญาณรบกวนที่แตกต่างจากพิกเซลใกล้เคียงกัน k พิกเซล.....	91
- การกรองสัญญาณที่ปล่อยให้ส่วนประกอบที่มีความถี่ต่ำผ่านได้.....	92
- การปรับค่าระดับความเทาของพิกเซลที่มีความแตกต่าง เกินกว่าค่าขีดจำกัด.....	93
- การจัดการเกี่ยวกับเพิ่มข้อมูล.....	95
- การเปิดเพิ่มข้อมูลภาพ.....	95
- การจัดเก็บเพิ่มข้อมูลภาพ.....	95
- การบวกรูปภาพ.....	95
- การลบรูปภาพ.....	97
5. สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	99
เอกสารอ้างอิง.....	102
ภาคผนวก.....	103
- เพิ่มข้อมูลภาพ.....	104
- เพิ่มข้อมูลภาพแบบบีเอ็มพี.....	104
- ส่วนหัวของเพิ่มข้อมูลแบบบีเอ็มพี.....	104
- ส่วนหัวของข้อมูลภาพ.....	104
- บิตแมพอินโฟเฮดเดอร์.....	105
- บิตแมพคอร์ดอินโฟ.....	106
- ข้อมูลภาพ.....	107
- เพิ่มข้อมูลภาพแบบพีซีเอ็กซ์.....	108
- ส่วนหัวของเพิ่มข้อมูลแบบพีซีเอ็กซ์.....	108
- ข้อมูลภาพ.....	110
- ตารางสี.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	114

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	แสดงรายละเอียดของโหมคแสดงผลภาพแบบกราฟิก ของแผงวงจรภาพแบบวีจีเอ.....58
ตารางที่ 2	แสดงส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลภาพแบบบีเอ็มพี..... 104
ตารางที่ 3	แสดงส่วนหัวของข้อมูลภาพสำหรับแฟ้มข้อมูลภาพ แบบบีเอ็มพีจาก ไมโครซอฟต์วินโดว์ 3.0..... 105
ตารางที่ 4	แสดงตารางสีสำหรับแฟ้มข้อมูลภาพแบบบีเอ็มพี จากไมโครซอฟต์วินโดว์ 3.0..... 106
ตารางที่ 5	แสดงส่วนหัวของข้อมูลภาพสำหรับแฟ้มข้อมูลภาพ แบบบีเอ็มพีจาก โอเอสทูพีเซนเดชันแมนเนเจอร์ 1.0..... 107
ตารางที่ 6	แสดงตารางสีสำหรับแฟ้มข้อมูลภาพแบบบีเอ็มพี จากโอเอสทูพีเซนเดชันแมนเนเจอร์ 1.0..... 107
ตารางที่ 7	แสดงส่วนหัวของแฟ้มข้อมูลภาพแบบพีซีเอ็กซ์..... 108
ตารางที่ 8	แสดงลักษณะการเก็บข้อมูลภาพของแฟ้มข้อมูลภาพ แบบพีซีเอ็กซ์สำหรับภาพแบบต่างๆ..... 110

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1	แสดงลักษณะของการเกิดตารางหมากรุกเนื่องจาก การลดความละเอียดในการส่มตัวอย่างข้อมูลภาพ.....	6
ภาพที่ 2	แสดงลักษณะของการเกิดเส้นเงาที่ไม่ถูกต้องเนื่องจาก การลดจำนวนของช่วงระดับความเทาของข้อมูลภาพ.....	7
ภาพที่ 3	แสดงลักษณะของตัวกรองสัญญาณทั้งใน โดเมนของความถี่ และใน โดเมนของเวลา.....	11
ภาพที่ 4	แสดงการปรับความแตกต่างของค่าระดับความเทา และการกำหนดค่าขีดจำกัด.....	15
ภาพที่ 5	แสดงการกลับค่าระดับความเทา.....	17
ภาพที่ 6	แสดงลักษณะฮิสโตแกรมของภาพแบบต่างๆ.....	19
ภาพที่ 7	แสดงการตัดแปลงแก้ไขฮิสโตแกรมโดยการกำหนดฮิสโตแกรม.....	21
ภาพที่ 8	แสดงทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ใช้ในการตัดแปลงแก้ไขฮิสโตแกรม.....	23
ภาพที่ 9	แสดงการตัดแปลงแก้ไขฮิสโตแกรมโดยการกำหนดฮิสโตแกรมเท่ากัน.....	25
ภาพที่ 10	แสดงการหาขอบโดยใช้อนุพันธ์.....	27
ภาพที่ 11	แสดงค่าระดับความเทาของพิกเซลในบริเวณใกล้เคียง.....	30
ภาพที่ 12	แสดงอิมพัลส์เรสพอนส์ของตัวกรองสัญญาณ ซึ่งเป็น โซเบลโอเปอเรเตอร์.....	31
ภาพที่ 13	แสดงการหาขอบโดยใช้หลักการของเกรเดียนท์.....	32
ภาพที่ 14	แสดงการหาขอบของวัตถุโดยใช้หลักการของลาปลาเซียน.....	36
ภาพที่ 15	แสดงตัวกรองสัญญาณแบบ ไฮพาสที่เป็นอุดมคติ.....	39
ภาพที่ 16	แสดงตัวกรองสัญญาณไฮพาสแบบบัตเตอร์เวิร์ทโดยกำหนดค่า $n$ เป็น 1.....	40
ภาพที่ 17	แสดงลักษณะของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของตัวกรองสัญญาณ แบบบัตเตอร์เวิร์ทซึ่งกำหนดค่า $n$ เป็นค่าต่างๆ.....	40
ภาพที่ 18	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบไฮพาส.....	41

ภาพที่ 19	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่าเฉลี่ย.....	44
ภาพที่ 20	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่ามัธยฐานซึ่งช่วยลดสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นอิมพัลส์หรือซอลท์แอนด์เพเพอร์.....	45
ภาพที่ 21	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่ามัธยฐานแบบ 1-D ซึ่งช่วยรักษาขอบของภาพไว้.....	46
ภาพที่ 22	แสดงการกรองสัญญาณซึ่งทำให้มุมที่คมชัดของภาพหายไป.....	47
ภาพที่ 23	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่ามัธยฐาน.....	47
ภาพที่ 24	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด.....	49
ภาพที่ 25	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่าฐานนิยม.....	50
ภาพที่ 26	แสดงการปรับค่าระดับความเทาของพิกเซลที่มีความแตกต่างกันกว่าค่าขีดจำกัด.....	51
ภาพที่ 27	แสดงตัวกรองสัญญาณแบบโลว์พาสที่เป็นอุดมคติ.....	54
ภาพที่ 28	แสดงตัวกรองสัญญาณโลว์พาสแบบบัตเตอร์เวิร์ทโดยกำหนดค่า $n$ เป็น 1.....	54
ภาพที่ 29	แสดงลักษณะของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของตัวกรองสัญญาณแบบบัตเตอร์เวิร์ทซึ่งกำหนดค่า $n$ เป็นค่าต่างๆ.....	55
ภาพที่ 30	แสดงการกรองสัญญาณที่ปล่อยให้ส่วนประกอบที่มีความถี่ต่ำผ่านไปได้.....	56
ภาพที่ 31	แสดงการปรับความแตกต่างของค่าระดับความเทาโดยใช้ CUDIET.....	65
ภาพที่ 32	แสดงการกำหนดค่าขีดจำกัดโดยใช้ CUDIET.....	67
ภาพที่ 33	แสดงการสเกลแบบพินเลี้ยงโดยใช้ CUDIET.....	69
ภาพที่ 34	แสดงการกลับค่าระดับความเทาของภาพโดยใช้ CUDIET.....	70
ภาพที่ 35	แสดงการตัดแปลงแก้ไขฮิสโตแกรมโดยใช้ CUDIET.....	72
ภาพที่ 36	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศเหนือโดยใช้ CUDIET.....	73
ภาพที่ 37	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศใต้โดยใช้ CUDIET.....	74
ภาพที่ 38	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศตะวันออกโดยใช้ CUDIET.....	75
ภาพที่ 39	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศตะวันตกโดยใช้ CUDIET.....	75
ภาพที่ 40	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้ CUDIET.....	76
ภาพที่ 41	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือโดยใช้ CUDIET.....	77
ภาพที่ 42	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศตะวันออกเฉียงใต้โดยใช้ CUDIET.....	77

ภาพที่ 43	แสดงการกรองสัญญาณตามแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้โดยใช้ CUDIET.....	78
ภาพที่ 44	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบพรีวิทท์ตามแนวนอนใน CUDIET.....	79
ภาพที่ 45	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบพรีวิทท์ตามแนวตั้งใน CUDIET.....	80
ภาพที่ 46	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบพรีวิทท์ทั้งตามแนวนอนและแนวตั้งใน CUDIET.....	80
ภาพที่ 47	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบโซเบลตามแนวนอนใน CUDIET.....	81
ภาพที่ 48	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบโซเบลตามแนวตั้งใน CUDIET.....	82
ภาพที่ 49	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบโซเบลทั้งตามแนวนอนและแนวตั้งใน CUDIET.....	82
ภาพที่ 50	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณใน CUDIET ที่ได้จากสมการ (32).....	83
ภาพที่ 51	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณใน CUDIET ที่ได้จากสมการ (38).....	84
ภาพที่ 52	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบไฮพาสใน CUDIET.....	85
ภาพที่ 53	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่าเฉลี่ยใน CUDIET.....	87
ภาพที่ 54	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่ามัธยฐานใน CUDIET.....	88
ภาพที่ 55	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่าต่ำสุดใน CUDIET.....	89
ภาพที่ 56	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ค่าสูงสุดใน CUDIET.....	89
ภาพที่ 57	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ฐานนิยมใน CUDIET.....	90
ภาพที่ 58	แสดงการกำจัดสัญญาณรบกวนใน CUDIET.....	92
ภาพที่ 59	แสดงการกรองสัญญาณโดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบโลว์พาสใน CUDIET.....	93
ภาพที่ 60	แสดงการปรับค่าระดับความเทาของพิกเซลโดยใช้ CUDIET.....	94

## หน้า

ภาพที่ 61	แสดงการบวกรูปภาพโดยใช้ CUDIET.....	96
ภาพที่ 62	แสดงการลบรูปภาพโดยใช้ CUDIET.....	98
ภาพที่ 63	แสดงผังงานการถอดรหัสข้อมูลภาพ 1 บรรทัดของการเกรดตรวจ ของแฟ้มข้อมูลภาพแบบพีซีเอ็กซ์.....	112