



โครงการสิ่งประดิษฐ์

รายงาน

โปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพ
สัญญาณภาพดิจิตอล

โดย

สมชาย จิตะพันธ์กุล

พห
วศ 15
010582

สิงหาคม 2541

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช



รายงาน

โปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพดิจิตอล

โดย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

สิงหาคม พ.ศ. 2541

28 พ.ย. 2544

I196843X

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสิ่งประดิษฐ์นี้สำเร็จลงได้ ก็ด้วยความสนับสนุนจากโครงการสิ่งประดิษฐ์ กองทุนรัชดาภิเษก สมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยต้องขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอบคุณกลุ่มนิสิตระดับปริญญาโทจำนวนมากที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาการมวีสัญญาภาพดิจิทัล และนิสิตระดับปริญญาตรีปีที่ 4 อีกจำนวนหนึ่งที่ทำโครงการและอยู่ในความดูแลของผู้วิจัย ซึ่งมีส่วนร่วมอย่างมากตลอดโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้ ในการพัฒนาโปรแกรมบางส่วน ตรวจสอบข้อบกพร่องของโปรแกรม และทดสอบการใช้งานของโปรแกรม ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถสนองตอบต่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ได้เป็นอย่างดี

สมชาย จิตะพันธ์กุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ ๑๓
 ๐๙ 15
เลขทะเบียน ๐1๐ 5๒2
วัน.เดือน.ปี 18 มิ.ย. ๕4

ชื่อโครงการ โปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล
ชื่อผู้ดำเนินการ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล
เดือนและปีที่ทำสำเร็จ สิงหาคม พ.ศ. 2541

บทคัดย่อ

โครงการสิ่งประดิษฐ์นี้เป็นโปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล ที่ฟังก์ชันและหรือเทคนิคในการประมวลผลอยู่ในรูปมอดูลย่อย ๆ ประกอบด้วย 3 หัวข้อหลัก คือ การวิเคราะห์ภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ และการบีบอัดภาพ

เฉพาะหัวข้อการวิเคราะห์ภาพยังแบ่งออกเป็นส่วน ๆ เป็น ส่วนการปรับแต่งภาพ ส่วนการแบ่งส่วนภาพ และส่วนการกรองภาพ ในแต่ละส่วนของหัวข้อการวิเคราะห์ และในหัวข้อการปรับปรุงคุณภาพ และหัวข้อการบีบอัด จะประกอบด้วยเทคนิคต่าง ๆ จำนวนมาก สำหรับหัวข้อการบีบอัด มีขั้นตอนในการทำงานแต่ละเทคนิคเรียงลำดับกันไป ตั้งแต่ การแบ่งซอยภาพออกเป็นภาพย่อย การทรานส์ฟอร์มภาพ การทำ bit allocation การทรานส์ฟอร์มภาพกลับ การเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการประมวลผล และการคำนวณหาค่าผิดพลาดในการประมวลผล

โปรแกรมได้รับการพัฒนาโดยใช้ภาษา C ให้ทำงานบน Microsoft Windows รุ่น 3.XX มีความสามารถในการประมวลผลภาพสีเดียว ระดับสีเทาจำนวน 256 ระดับ และมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของภาพที่ต้องเป็น $2^k \times 2^k$ จุดภาพ , $k = 1, 2, \dots, 8$ เฉพาะในเรื่องการบีบอัดภาพ เนื่องจากอัลกอริทึมในการทรานส์ฟอร์มที่เป็นแบบ radix-2 ส่วนผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรมไม่มีปัญหาในการใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title	Image Compression, Analysis, and Enhancement Program
Name of the Investigator	Associated Professor Dr. Somchai Jitapunkul
Year	August, 1998

Abstract

The project "Image Compression, Analysis, and Enhancement Program" which its image processing techniques are developed in module object are classified into 3 principal groups, image analysis, image enhancement, and image compression.

The group of image analysis is also divided into several subgroups : image adjustment, image segmentation, and image filtering. Several techniques are classified and set into each principal group.

This program was developed using C language and capable to run on Microsoft Windows version 3.XX. It needed a monochrome or gray scale image of 256 gray-levels to process. For most of techniques in this program, there is no criteria about the size of an image to process except for the image compression group that each image must be a square shape of the size $2^k \times 2^k$ pixel ; $k = 1, 2, \dots, 8$, because of its transformation algorithm based on radix-2. The experimental results showed that there is no any technical problem or operating bug in this program.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อภาษาไทย	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
สารบัญ	iv
รายการภาพประกอบ	v
รายการตารางประกอบ	vii
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 แนวความคิดของการประดิษฐ์	4
บทที่ 3 ผลการทดสอบ	34
บทที่ 4 สรุป วิวิจารณ์ และข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	62
ก) คู่มือการใช้งาน	63
ข) ผลงานที่ตีพิมพ์	71

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบประมวลผลภาพดิจิทัล	4
รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการทำภาพเนกาทีฟ	5
รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งคอนทราสต์	6
รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการลดช่วงความลึกของภาพ	7
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างระนาบตามลำดับบิตของภาพดิจิทัลแบบ 8 บิต	8
รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามระดับสีเทา	9
รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา	9
รูปที่ 2.8 หน้ากากที่ใช้ในการตรวจรู้แนวเส้น	10
รูปที่ 2.9 ตัวดำเนินการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเกรเดียนต์	13
รูปที่ 2.10 หน้ากากที่ใช้ในตัวดำเนินการลาปลาเซียน	14
รูปที่ 2.11 ระบบประมวลผลภาพดิจิทัลในโดเมนของความถี่	16
รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของตัวกรองแบบอุดมคติ	16
รูปที่ 2.13 หน้ากากสำหรับตัวกรองผ่านความถี่ต่ำใน spatial domain ที่ขนาดต่าง ๆ	17
รูปที่ 2.14 หน้ากากสำหรับตัวกรองผ่านความถี่สูงใน spatial domain	18
รูปที่ 2.15 จุดภาพที่ใช้ในตัวกรองมัชฌิมาเทียม	19
รูปที่ 2.16 ระบบในการกรองแบบไฮโมเมอร์ฟิก	23
รูปที่ 2.17 อัลกอริธึม FFT แบบ Radix-2 ในการคำนวณ DFT	28
รูปที่ 2.18 อัลกอริธึมในการคำนวณ DCT อย่างเร็ว	29
รูปที่ 2.19 หน้ากากที่ใช้ในการทำ bit allocation แบบ zonal coding	31
รูปที่ 3.1 ผังงาน (flowchart) ของโปรแกรมที่พัฒนา	35
รูปที่ 3.2 หน้าต่างของโปรแกรมที่พัฒนา	36
รูปที่ 3.3 ภาพต้นฉบับสีเดียว ขนาด 256x256 จุดภาพ 256 ระดับสีเทา	38
รูปที่ 3.4 ภาพผ่านการทำภาพเนกาทีฟ	38
รูปที่ 3.5 ภาพผ่านการปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป	39
รูปที่ 3.6 ภาพผ่านการปรับแต่งคอนทราสต์แบบค่าร้อยละ	39
รูปที่ 3.7 ภาพผ่านการลดช่วงความลึกของภาพ	39
รูปที่ 3.8 ภาพผ่านการเลื่อนระนาบตามลำดับบิต	40
รูปที่ 3.9 ภาพผ่านการเลื่อนตามระดับสีเทา	40
รูปที่ 3.10 ภาพผ่านการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา	41

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.11 ภาพผ่านการตรวจรู้แนวเส้น	41
รูปที่ 3.12 ภาพผ่านการตรวจรู้ขอบด้วยวิธีเกรเดียนต์	41-42
รูปที่ 3.13 ภาพผ่านการตรวจรู้ขอบด้วยวิธีลาปลาเซียน	42
รูปที่ 3.14 ภาพผ่านการตรวจรู้ขอบแบบแคนนี่	43
รูปที่ 3.15 ภาพผ่านตัวกรองความถี่ต่ำใน spatial domain	43
รูปที่ 3.16 ภาพผ่านตัวกรองความถี่ต่ำในโดเมนของความถี่	43
รูปที่ 3.17 ภาพผ่านตัวกรองความถี่สูงใน spatial domain	44
รูปที่ 3.18 ภาพผ่านตัวกรองความถี่สูงในโดเมนของความถี่	44
รูปที่ 3.19 ภาพผ่านตัวกรองมัลติฐาน	44
รูปที่ 3.20 ภาพผ่านตัวกรองมัลติฐานเทียม	45
รูปที่ 3.21 ภาพผ่านตัวกรองยกค่าความถี่สูง	45
รูปที่ 3.22 ภาพผ่านการกระจายค่าฮิสโตแกรม	45
รูปที่ 3.23 ภาพผ่านการแจกแจงค่าฮิสโตแกรม	46
รูปที่ 3.24 ภาพผ่านการกรองแบบไฮโมมอร์ฟิก	47
รูปที่ 3.25 ภาพผ่านกระบวนการคำนวณฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม	47-49
รูปที่ 3.26 ภาพผ่านกระบวนการคำนวณโคไซน์ทรานส์ฟอร์ม	50-52
รูปที่ 3.27 ภาพผ่านกระบวนการคำนวณฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์ม	52-54
รูปที่ ก1 หน้าต่างของโปรแกรม DIPWIN.EXE	64
รูปที่ ก2 แสดงกระบวนการเปิดเพิ่มข้อมูลภาพ	65
รูปที่ ก3 แสดงภาพที่เปิดขึ้นในหน้าต่างลูก	65
รูปที่ ก4 แสดงการเลือกเทคนิคการประมวลผลจากรายการเลือก Process	66
รูปที่ ก5 แสดงการเลือกเทคนิคการประมวลผลใน drop-down menu ลำดับชั้นถัดไป	66
รูปที่ ก6 แสดงตัวอย่างของเทคนิคที่ต้องการให้ใส่ค่าพารามิเตอร์	67
รูปที่ ก7 แสดงการเปิดใช้ความช่วยเหลือที่จัดเตรียมไว้	68
รูปที่ ก8 แสดงการเปิดดูข้อมูลของภาพที่เปิดใช้งานอยู่	68
รูปที่ ก9 แสดงกระบวนการเลือกรายการเก็บบันทึกภาพจากรายการเลือก File	69
รูปที่ ก10 แสดงรายการเลือกเพื่อทำการเก็บบันทึกภาพ	69
รูปที่ ก11 แสดงการตัดและแปะภาพภายในหน้าต่างของโปรแกรม DIPWIN.EXE	70

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 2.1 สรุปคุณลักษณะของการทราดส์ฟอรัม

หน้า

26



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1 บทนำ



1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในปี พ.ศ. 2535 ห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำวิจัยเรื่อง การเข้ารหัสข้อมูลภาพด้วยวิธีการทรานส์ฟอร์ม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สำเร็จเรียบร้อย และทางห้องปฏิบัติการวิจัยฯ ได้ใช้ประโยชน์จากโปรแกรมเข้ารหัสข้อมูลภาพด้วยวิธีการทรานส์ฟอร์มที่เป็นผลผลิตจากงานวิจัยดังกล่าวในการศึกษาและการวิจัยทางด้าน การสื่อสารข้อมูลภาพดิจิทัล อีกทั้งใช้สถิติในการเรียนการสอนรายวิชากรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัลอีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโปรแกรมดังกล่าวได้รับการพัฒนาบนระบบปฏิบัติการของ Microsoft DOS รุ่น 3.30 ที่มีข้อจำกัดในการใช้งานมาก และผูกพันกับฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ มากเกินไป ทำให้เกิดปัญหาในการใช้งานในปัจจุบัน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ไปอย่างมาก ประกอบกับทางห้องปฏิบัติการวิจัยฯ มีงานวิจัยทางกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัลอื่น ๆ ที่มีการพัฒนาหรือดัดแปรเทคนิคและวิธีการประมวลผลต่าง ๆ ซึ่งเทคนิคและวิธีการเหล่านั้นส่วนใหญ่เป็นเทคนิคและวิธีการสามัญที่งานวิจัยต่าง ๆ ทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัลมีความต้องการใช้อยู่เสมอในขั้นตอนการทำ preprocessing หรือ การวิเคราะห์หา Feature ต่าง ๆ ผู้เสนอโครงการสิ่งประดิษฐ์มีความเห็นว่า ถ้ามีการรวบรวมผลงานของห้องปฏิบัติการวิจัยฯ เหล่านั้นเข้าด้วยกัน และเพิ่มความสามารถอื่น ๆ ที่เหมาะสม จัดทำเป็นโปรแกรมที่มีฟังก์ชัน ทางด้านบีบอัด ทางด้านการวิเคราะห์ และทางด้านการปรับปรุงคุณภาพ ของสัญญาณภาพดิจิทัลได้แล้ว ทางห้องปฏิบัติการวิจัยฯ จะได้โปรแกรมที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอื่น ๆ อีกทั้งโปรแกรมดังกล่าวควรจะเป็นประโยชน์ต่อนิสิตนักศึกษาที่ศึกษาทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัลได้ทดลองปฏิบัติการจริง และควรจะเป็นประโยชน์ต่อคณาจารย์ที่จะใช้ในการสาธิตกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ด้วย

สรุปปัญหาต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล และในการเรียนการสอนทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล ดังต่อไปนี้

1.1.1 ในงานวิจัยเพื่อหาเทคนิคหรือกรรมวิธีใหม่ ๆ สำหรับงานวิจัย ผู้ที่ทำงานวิจัยต้องพัฒนากรรมวิธีสำหรับการทำ preprocessing ด้วยตนเองทุกครั้ง ทั้ง ๆ ที่ส่วนใหญ่เป็นกรรมวิธีหรือเทคนิคพื้นฐาน เป็นเหตุให้เสียเวลาและแรงงานไปในส่วนที่ไม่จำเป็น

1.1.2 ในงานวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ บนภาพ ทั้งในโดเมนความถี่และ spatial domain ก็เช่นกันที่มีเทคนิคหรือกรรมวิธีพื้นฐาน ที่ถ้ามีโปรแกรมที่มีความสามารถทางด้านนี้ อยู่ ย่อมเป็นการประหยัดเวลาในการศึกษาวิจัยค้นคว้าเรื่องอื่น ๆ ลงได้ เช่น ทางด้านการแพทย์ ที่มีการตรวจวินิจฉัยสมุฏฐานของโรคจากภาพเอ็กซเรย์ หรือภาพตัดขวางด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

1.1.3 ในการทำงานเกี่ยวกับภาพดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง เช่น งานทางด้าน การแพทย์ งานทางด้าน การบีบอัดสัญญาณภาพดิจิทัลเพื่องานด้านการสื่อสาร ซึ่งโปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นนี้ได้กำหนดให้

สามารถรองรับภาพดิจิทัลขนาด 512x512 จุดภาพ สีเดียวมีระดับสีเทา 256 ระดับ และจะขยายให้รองรับภาพขนาด 1024x1024 จุดภาพ

1.1.4 ข้อจำกัดทางด้านหน่วยความจำ ที่ระบบปฏิบัติการ MS DOS มีข้อจำกัด เป็นเหตุให้เวลาใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาไว้เดิม มีข้อยุ่งยากและสร้างความล่าช้าในการใช้งานมาก

1.1.5 ข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ในส่วนแสดงผล ที่โปรแกรมที่พัฒนาแต่เดิมผูกพันกับการ์ดแสดงผลต่าง ๆ ตามไดรเวอร์ที่มีอยู่ เป็นเหตุให้ไม่มีความอิสระในการใช้งาน และการทำ hard copy ก็ไม่สามารถจัดการได้โดยตรง ต้องใช้วิธีการ capture หน้าจอ ที่ไปผูกพันกับการ์ดแสดงผลเช่นกัน

ผู้เสนอโครงการสิ่งประดิษฐ์จึงวางแผนที่จะโยกย้ายโปรแกรมที่พัฒนาอยู่เดิมให้ไปวิ่งบนระบบปฏิบัติการของ Microsoft Windows 3.xx หรือสูงกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาทางด้านหน่วยความจำและข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ และจะเพิ่มความสามารถของโปรแกรมให้หลากหลายยิ่งขึ้น ซึ่งรวมถึงส่วนให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้คือ

1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพดิจิทัลที่มีความสามารถในด้านการวิเคราะห์ภาพ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ การเข้ารหัสภาพโดยวิธีการทรานส์ฟอร์ม

1.2.2 เพื่อให้โปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นนี้ ไม่ผูกติดกับฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์

1.2.3 เพื่อนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ไปใช้ในด้านการเรียนการสอน ทั้งให้หนังสือได้ฝึกฝน ทดสอบ และสอบทานความรู้ทางทฤษฎี และให้ผู้สอนใช้ในการสาธิตประกอบการบรรยายในเรื่องการประมวลผลภาพ

1.2.4 เพื่อให้สามารถนำเทคนิคที่ปรากฏในโปรแกรมไปใช้ในงานวิจัยและพัฒนาทางการประมวลผลภาพได้

1.3 วิธีดำเนินการประดิษฐ์

โปรแกรมจะถูกพัฒนาด้วยภาษา C ให้วิ่งบน Microsoft Windows รุ่น 3.xx ในรูปแบบรายการเลือกดิ่งลง (Pull-down menu) เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน และเป็นรูปแบบปกติของระบบปฏิบัติการ ทั้งนี้แต่ละรายการเลือกจะประกอบด้วย รายการการเลือกเพิ่ม สำหรับการเปิดเพิ่มข้อมูลภาพใช้งาน การเก็บข้อมูลลงเพิ่ม รายการเลือกกระบวนกรในการประมวลผลภาพดิจิทัลต่าง ๆ รายการเลือกสำหรับเรียกดูความช่วยเหลือ

แต่ละส่วนของโปรแกรมจะประกอบด้วยมอดูลต่าง ๆ ตั้งแต่มอดูลหลักที่ทำหน้าที่ในส่วนควบคุมส่วนจัดการงานต่าง ๆ ตลอดจนส่วนการเรียกใช้กระบวนกรประมวลผลภาพ และมีมอดูลของเทคนิคการประมวลผลต่าง ๆ เป็นมอดูลย่อย ๆ ที่จะถูกเรียกใช้งานโดยมอดูลหลัก

เทคนิคการประมวลผลภาพที่บรรจุไว้ในโปรแกรม จะรวบรวมจากทฤษฎีที่ปรากฏในหนังสือการประมวลผลภาพดิจิทัลต่าง ๆ และให้สอดคล้องกับเนื้อหารายวิชา 2102676 กรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัลของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ มีดังนี้

1.4.1 ใช้ในขั้นตอน preprocessing ของงานวิจัยอื่น ๆ เช่น ทางด้านการรู้จำรูปแบบ ทางด้านการเพิ่มคุณภาพของสัญญาณภาพ ทางด้านการประยุกต์กรรมวิธีสัญญาณภาพกับงานอื่นๆ ทางด้านการเข้ารหัสภาพสำหรับงานวิจัยทางด้านสื่อสาร

1.4.2 ใช้ในงานวิเคราะห์ภาพ เพื่อหารายละเอียดและโครงสร้างต่างๆ

1.4.3 ช่วยให้ผู้สอนในรายวิชาทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล สามารถสาธิตให้นิสิตเห็นภาพได้ชัดเจนในระหว่างชั่วโมงเรียน สร้างความเข้าใจของนิสิตในทฤษฎีได้ดีขึ้น

1.4.4 ช่วยให้นิสิตมีเครื่องมือช่วยฝึกหัด ในการประมวลสัญญาณภาพดิจิทัล ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณภาพดิจิทัล เพื่อเพิ่มพูนความรู้ความชำนาญ

1.4.5 ช่วยให้ผู้สอนในรายวิชาการกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล สามารถผลิตและเตรียมสื่อการสอนที่เป็นภาพดิจิทัลต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นวัสดุติดในการทำการทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล

1.4.6 ถ้ามีการเผยแพร่เป็นวิทยาทานให้หน่วยงานและหรือสถาบันการศึกษาอื่น ๆ ได้ จะช่วยขยายวิทยาการทางด้านกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล ออกไปอย่างกว้างขวางได้ไม่มากนักน้อย และสามารถผลิตบุคลากรทางด้านนี้ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการพัฒนาของประเทศ เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านดิจิทัลมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ๆ และการประยุกต์ใช้งานในส่วนที่เกี่ยวกับกรรมวิธีสัญญาณภาพดิจิทัล ได้แก่ โทรทัศน์ความละเอียดสูง (High Definition Television : HDTV) โทรศัพท์ภาพ (Videophone) การประชุมทางไกล (Teleconference) การถ่ายภาพตัดขวางในทางการแพทย์ (CT Scan) ฯลฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 แนวความคิดของการประดิษฐ์

2.1 คำนำ

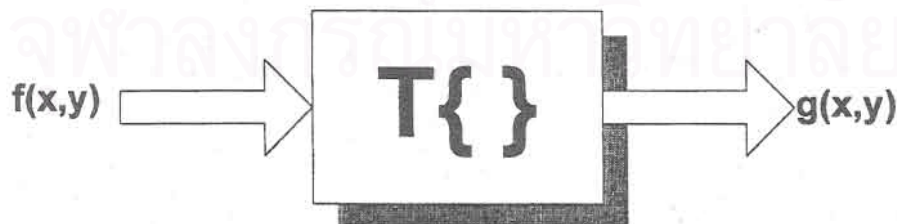
เนื่องจากความต้องการที่จะนำสิ่งประดิษฐ์ของโครงการนี้ไปใช้งานหลายด้าน ได้แก่ ในด้านการเรียนรู้ของนิสิตนักศึกษา ในการสาธิตประกอบการเรียนการสอน ในการวิจัยและพัฒนา ดังนั้นเทคนิคที่สำคัญและมีประโยชน์จะได้รับการศึกษาและรวบรวม โดยพิจารณาจากความแพร่หลายของเทคนิคเหล่านั้นในเอกสารอ้างอิงประเภทหนังสือเป็นหลัก ประกอบเข้ากับการวิเคราะห์ถึงคุณประโยชน์ในด้านต่าง ๆ และเทคนิคที่รวบรวมมาจะต้องครอบคลุมเนื้อหาหลัก ๆ ที่จำเป็นในการประมวลผล จากนั้นนำมาจัดกลุ่มเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มวิเคราะห์ภาพ กลุ่มปรับปรุงคุณภาพของภาพ และกลุ่มการเข้ารหัสภาพโดยการทรานส์ฟอร์ม

กลุ่มวิเคราะห์ภาพ เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญสูงสุด เนื่องจากเทคนิคในกลุ่มนี้ใช้ในการวิเคราะห์และแยกแยะองค์ประกอบและโครงสร้างต่าง ๆ ของภาพ เพื่อนำไปใช้งานใน 2 กลุ่มที่เหลือและงานด้านอื่นต่อไป เช่น การรู้จำรูปแบบ เป็นต้น กลุ่มปรับปรุงคุณภาพของภาพ เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากเช่นกัน เพราะถ้าคุณภาพของภาพไม่ดีพอ การวิเคราะห์ที่อาจจะให้ผลลัพธ์ที่ต้อยเกินกว่าจะนำไปใช้งานได้ ปกติเทคนิคใน 2 กลุ่มนี้ จะมีความซ้ำซ้อนกันขึ้นกับการจำแนกของแต่ละเอกสารอ้างอิง ส่วนกลุ่มการเข้ารหัสภาพโดยการทรานส์ฟอร์มที่สิ่งประดิษฐ์นี้นำเสนอไว้เป็นส่วนหนึ่งของงานประดิษฐ์ เนื่องจากว่าเป็นกลุ่มที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการเสริมสร้างความเข้าใจในการเรียนการสอน และการพัฒนาเทคนิคการเข้ารหัสภาพในงานวิจัยและพัฒนาทางด้าน การส่งผ่านสัญญาณภาพทั้งในแบบภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวผ่านช่องการสื่อสารต่าง ๆ

รูปที่ 2.1 เป็นระบบประมวลผลภาพดิจิทัล ที่อาจพิจารณาให้เป็นการแปลงค่าระดับสีเทาต้นฉบับ $f(x,y)$ ของจุดภาพ ณ ตำแหน่ง (x,y) ไปเป็นค่าระดับสีเทา $g(x,y)$ ของจุดภาพที่ตำแหน่งเดิม ผ่านระบบที่มีตัวประมวลผลทำการแปลงเป็น $T\{ \}$ ดังสมการที่ (2.1)

$$g(x,y) = T\{f(x,y)\} \quad (2.1)$$

โดยที่ (x,y) เป็นตำแหน่งของจุดภาพ



รูปที่ 2.1 ระบบประมวลผลภาพดิจิทัล

2.2 การวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis)

การวิเคราะห์ภาพ เป็นการวิเคราะห์สำหรับดำเนินการจำแนกและหรือแยกแยะองค์ประกอบหรือโครงสร้างหลักต่าง ๆ ของภาพ เพื่อหาข้อมูล (data) หรือข้อสนเทศ (information) ที่จำเป็นในการใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ต่อไป ปกติงานวิเคราะห์จะเป็นงานขั้นแรกของการประมวลผลภาพดิจิทัล และมีกระบวนการแบบลองผิดลองถูก (trial and error) เนื่องจากการวัดผลโดยใช้เงื่อนไขตามทฤษฎีหรือที่เรียกกันว่า objective measurement ส่วนใหญ่ไม่ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจในสายตาของมนุษย์ เพราะเงื่อนไขเหล่านั้นใช้กับตัวแปรที่มีรูปแบบแน่นอน หรือแม้แต่ตัวแปรสุ่ม (random variable) ก็ยังถูกสมมติให้มีรูปแบบการกระจายของความน่าจะเป็น (probability) ที่แน่นอน เช่นกัน ดังนั้นการวัดผลที่ยังคงได้รับความเชื่อถือมากกว่าคือการวัดผลที่เรียกว่า subjective measurement ที่อาศัยความรู้สึกของมนุษย์เป็นเกณฑ์ เทคนิคการวิเคราะห์ที่ผ่านการคัดเลือกและรวบรวมไว้ในสิ่งประดิษฐ์ชิ้นนี้ มีเป็นจำนวนมาก และสามารถจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ หลายกลุ่ม ดังนี้

2.2.1 การปรับแต่งภาพ (Image Adjustment)

เทคนิคการปรับแต่งภาพเกือบทั้งหมดเป็นเทคนิคที่ไม่ยุ่งยาก สามารถดำเนินการได้รวดเร็ว และเป็นการประมวลผลกับข้อมูลภาพที่อยู่ในรูปแบบปกติ หรือเรียกว่าใน spatial domain แบ่งเป็น

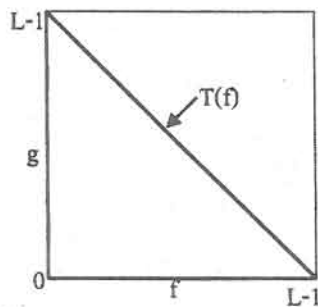
2.2.1.1 การทำภาพเนกาทีฟ (image negative)

เทคนิคการทำภาพเนกาทีฟใช้หลักการสลับค่าความเข้ม (intensity) หรือค่าระดับสีเทา (gray level) ของจุดภาพ (pixel หรือ picture element) จากสูงเป็นต่ำและโดยนัยกลับกัน รูปที่ 2.2 แสดงฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มในการปรับแต่งภาพเนกาทีฟ ที่มีความสัมพันธ์ตามสมการที่ (2.2)

$$g(x,y) = - f(x,y) + (L-1) \tag{2.2}$$

โดยที่ L เป็นจำนวนของระดับสีเทา

ประโยชน์ของเทคนิคที่มีใช้กันแพร่หลายมากคือการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ เช่น ภาพเอ็กซเรย์ เนื่องจากข้อมูลบางอย่างอาจถูกซ่อนด้วยข้อมูลข้างเคียงได้ ถ้าพิจารณาภาพในแบบโพสิทีฟ (positive)



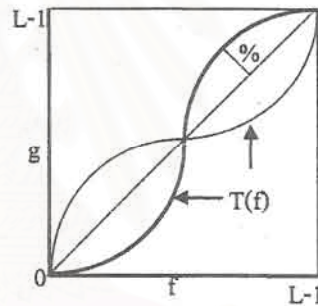
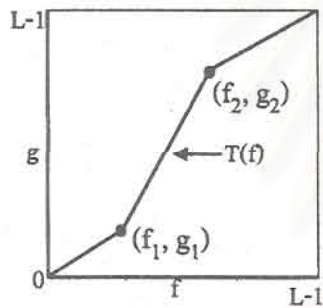
รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการทำภาพเนกาทีฟ

2.2.1.2 การปรับแต่งคอนทราสต์ (contrast stretching)

กรณีที่รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบบนภาพมีค่าระดับสีเทาแตกต่างกันไม่มาก เป็นเหตุให้สังเกตเห็นความแตกต่างได้ลำบาก จึงมีความจำเป็นในการปรับแต่งคอนทราสต์หรือการปรับแต่งการกระจายตัวของระดับสีเทาต่าง ๆ บางครั้งอาจเรียกว่าเป็นการปรับแต่งช่วงความลึก (dynamic range) ของภาพได้เช่นกัน เทคนิคทางด้านนี้มีฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มได้หลายแบบ ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งานว่าจะปรับแต่งคอนทราสต์ของภาพในย่านใด ด้วยลักษณะสมบัติของฟังก์ชันแบบใด

2.2.1.2.1 การปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป (generalized)

รูปที่ 2.3ก แสดงฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป โดยกำหนดจุด (f_1, g_1) และจุด (f_2, g_2) ให้เป็นจุดที่ใช้ในการควบคุมรูปร่างของฟังก์ชันทรานส์ฟอร์ม ปกติแต่ละช่วงของฟังก์ชันจะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง $f(x,y)$ และ $g(x,y)$ เป็นเชิงเส้นที่มีค่าความชันแตกต่างกัน ทำให้เกิดข้อด้อยกับภาพที่มีค่าระดับสีเทาในบริเวณดังกล่าว ที่อาจจะเกิดความแตกต่างกันจนสังเกตเห็นได้ชัดเจน



- ก) การปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป ข) การปรับแต่งคอนทราสต์แบบค่าร้อยละ

รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งคอนทราสต์

2.2.1.2.2 การปรับแต่งคอนทราสต์แบบค่าร้อยละ (percentage)

รูปที่ 2.3ข แสดงฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการปรับแต่งคอนทราสต์ที่แก้ปัญหาของการปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป โดยกำหนดให้รูปร่างของฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มเป็นแบบไซน์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงที่ราบรื่นตลอดช่วง และไม่มีความต้องการจุดควบคุม แต่จะใช้กำหนดให้การเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปของค่าร้อยละ

นอกจากการใช้ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มเป็นแบบทั่วไปและแบบไซน์แล้ว อาจมีรูปแบบอื่น ๆ ได้หลากหลาย เช่น ฟังก์ชันผิดพลาดเกาส์เซียน (Gaussian error function) ฟังก์ชันรับเบอร์แบนด์ (Rubber band function) ฟังก์ชันรากที่สอง (Square root function) ฟังก์ชันรากที่สาม (Cube root function) เป็นต้น

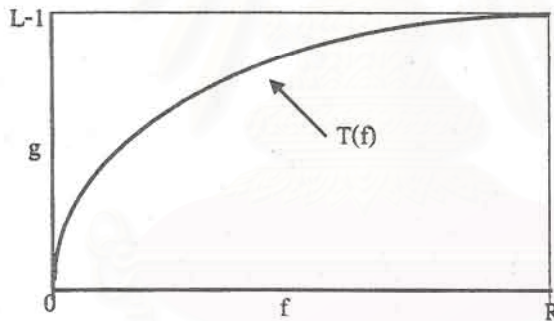
2.2.1.3 การลดช่วงความลึกของภาพ (dynamic range compression)

กรณีที่ภาพมีค่าระดับสีเทากระจายอยู่ในช่วงที่กว้างมากเกินไปเกินกว่าความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์แสดงผลที่มีอยู่ รายละเอียดขององค์ประกอบที่มีค่าระดับสีเทาลำบาก ๆ หรือสูงมาก ๆ จะแสดงความแตกต่างที่สังเกตเห็นได้ยาก และบางครั้งเกินกว่าความสามารถในการแสดงผลของอุปกรณ์แสดงผล ทำให้เห็นเฉพาะส่วนที่มีความเข้มหรือค่าระดับสีเทาสูง ๆ เท่านั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดการกระจายของค่าระดับสีเทา ซึ่งเรียกว่าการลดช่วงความลึกของภาพ ทั้งนี้เทคนิคในการปรับแต่งอย่างง่ายของการลดช่วงความลึกของภาพ คือการแปลงข้อมูลภาพต้นฉบับด้วยฟังก์ชันลอการิทึม เนื่องมาจากการทำงานแบบไม่เชิงเส้นของตามนุษย์ ดังนี้

$$g(x,y) = C \log(1 + |f(x,y)|) \quad (2.3)$$

โดยที่ C เป็นค่าคงตัวที่เลือกใช้ในการปรับขนาด

รูปที่ 2.4 แสดงถึงฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มในการลดช่วงความลึกของภาพ โดยที่ R คือช่วงความลึกของภาพที่สูงสุดก่อนจะทำการลด ทำให้ได้ค่า $C = (L-1)/\log(1+|R|)$



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการลดช่วงความลึกของภาพ

2.2.2 การเฉือนภาพ (image slicing)

มีการตั้งสมมติฐานว่าองค์ประกอบบางอย่างของภาพมีค่าระดับสีเทาส่วนใหญ่อยู่ระดับหนึ่งหรือช่วงหนึ่ง เทคนิคในการวิเคราะห์องค์ประกอบภาพที่พัฒนาให้เหมาะสมกับสมมติฐานนี้ ถูกเรียกว่าการเฉือนภาพ ที่ไม่ได้มีความหมายเช่นเดียวกับการเฉือนวัตถุหรือสิ่งของต่าง ๆ ที่รู้จักกันทั่วไป แต่ควรจะตรงกับการผ่านมากกว่า ทั้งนี้แบ่งได้เป็น

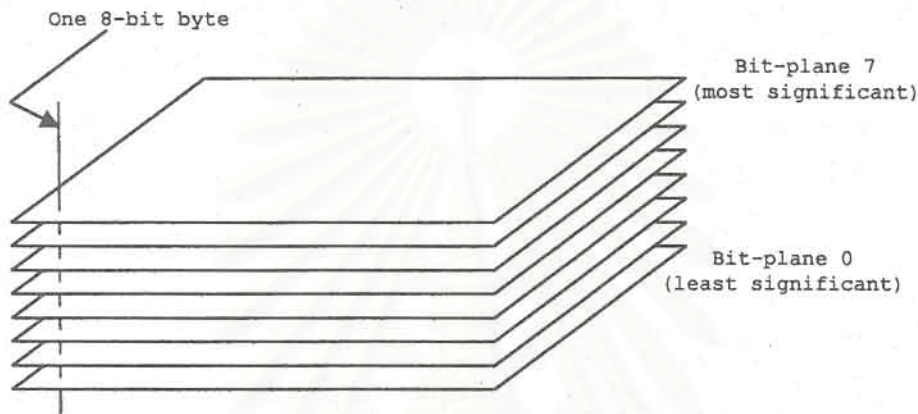
2.2.2.1 การเฉือนระนาบตามลำดับบิต (bit-plane slicing)

เทคนิคการเฉือนแบบนี้เป็นการแยกแยะจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาในแบบไบนารี (binary format) ที่เป็น "1" และ "0" ในบิตที่ต้องการออกมาแสดงเป็นภาพสีขาวและดำตามลำดับ ซึ่งเรียกว่าการเฉือนระนาบตามลำดับบิตนั้น ๆ เช่น การเฉือนระนาบตามลำดับบิตที่ 2 (2th bit-plane slicing) ทั้งนี้ ใน

กรณีที่ข้อมูลของค่าระดับสีเทาต้องใช้หน่วยความจำขนาด 8 บิต บิตขวาสุดจะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (least significant bit) คือบิตที่ 0 และบิตซ้ายสุดจะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (most significant bit) คือบิตที่ 7 ดังรูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างระนาบตามลำดับบิตของภาพดิจิทัลแบบ 8 บิต และฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนระนาบตามลำดับบิตเป็น ดังนี้

$$g(x,y) = (L-1)b_n^{f(x,y)}, \quad n = 0, 1, \dots, 7 \quad (2.4)$$

โดยที่ $b_n^{(.)}$ เป็นค่าของบิตที่ n ของจุดภาพ $f(x,y)$ ที่เป็น 0 หรือ 1



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างระนาบตามลำดับบิตของภาพดิจิทัลแบบ 8 บิต

2.2.2.2 การเลื่อนตามระดับสีเทา (gray level slicing)

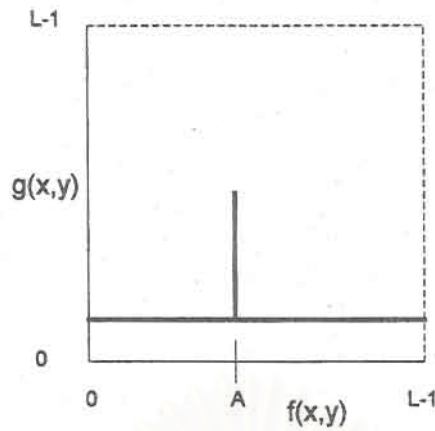
กรณีที่ต้องการวิเคราะห์หาว่าองค์ประกอบที่มีค่าระดับสีเทาเฉพาะค่าหนึ่งเป็นอย่างใด เราจะใช้เทคนิคการเลื่อนตามระดับสีเทาเพื่อดึงข้อมูลที่มีค่าระดับสีเทาที่ต้องการมาแสดงผล โดยลดหรือกุดค่าระดับสีเทาอื่น ๆ ลงไปทั้งหมด ทั้งนี้ ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามระดับสีเทา คือ

$$g(x,y) = \begin{cases} C_1 f(x,y) & , f(x,y) = A \\ C_2 f(x,y) & , f(x,y) \neq A \end{cases} \quad (2.5)$$

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

A เป็นค่าระดับสีเทาที่ต้องการ

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามระดับสีเทา ทั้งนี้ บางกรณีไม่มีความจำเป็นจะต้องลดหรือกุดค่าระดับสีเทาอื่น ๆ ลง ยังคงปล่อยให้ในสภาพเดิมได้ กรณีดังกล่าว ค่า $C_2 = 1$ โดยที่ค่า $C_1 \gg 1$



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามระดับสีเทา

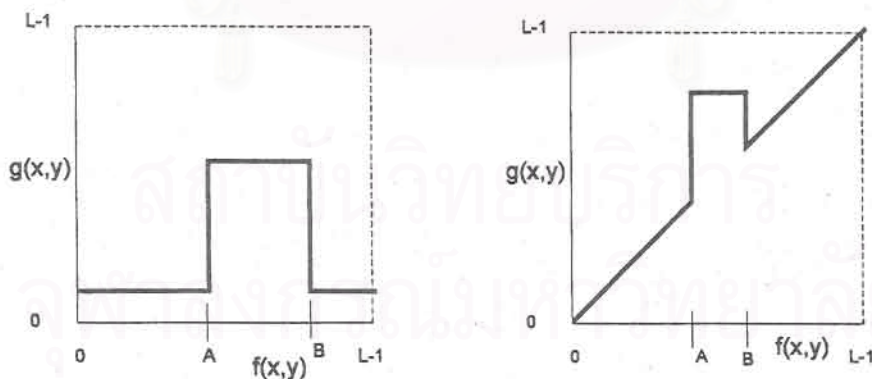
2.2.2.3 การเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา (range gray level slicing)

เทคนิคการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทามีหลักการเช่นเดียวกับการเลื่อนตามระดับสีเทา แตกต่างกันตรงที่ยกระดับค่าสีเทาเป็นช่วงแทนการยกระดับเฉพาะค่าหนึ่ง ๆ ดังรูปที่ 2.7 ที่แสดงให้เห็นฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา ทั้งนี้

$$g(x,y) = \begin{cases} C_1 f(x,y) & , A \leq f(x,y) \leq B \\ C_2 f(x,y) & , f(x,y) < A : f(x,y) > B \end{cases} \quad (2.6)$$

โดยที่ C_1 และ C_2 เป็นค่าคงตัวที่ $C_1 > C_2$ และค่า $C_1 \gg 1$

และ A และ B เป็นช่วงค่าระดับสีเทาที่ต้องการ ที่มีค่า $B > A$



ก) ลดค่าระดับสีเทานอกช่วงที่ต้องการลงเป็นค่าเดียวกัน ข) คงค่าระดับสีเทานอกช่วงที่ต้องการไว้

รูปที่ 2.7 ฟังก์ชันทรานส์ฟอร์มการเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา

เช่นเดียวกับเทคนิคการเลื่อนตามระดับสีเทา ที่อาจไม่มีความจำเป็นจะต้องลดหรือกุดค่าระดับสีเทาอื่น ๆ ลงไปเท่ากัน ดังรูปที่ 2.7ก หมายความว่า $C_2 f(x,y) = K$ หรือยังคงปล่อยไว้ในสภาพเดิมได้ ดังรูปที่ 2.7ข กรณีที่สองนี้จะมี ค่า $C_2 = 1$ โดยที่ค่า $C_1 \gg 1$

2.2.3 การแบ่งส่วนภาพ (image segmentation)

บางครั้งการวิเคราะห์ภาพจะเน้นที่วัตถุ (object) บนภาพ ซึ่งวัตถุเหล่านั้นจะถูกแยกแยะออกได้ด้วยวิธีการที่หลากหลายตั้งแต่วิธีการง่าย ๆ เช่นการหาส่วนที่เป็นแนวของวัตถุ หรือส่วนที่เป็นขอบของวัตถุ ไปจนกระทั่งวิธีการที่สลับซับซ้อน เช่นการหา texture ของวัตถุ เป็นต้น สำหรับสิ่งประดิษฐ์นี้เน้นที่วิธีการง่าย ๆ ทำได้รวดเร็ว และสามารถนำไปประกอบอยู่ในระบบประมวลผลภาพดิจิทัลพร้อมกับเทคนิคอื่นต่อไปได้สะดวก และมีความยืดหยุ่นในการปรับแต่ง ได้แก่

2.2.3.1 การตรวจรู้แนวเส้น (line detection)

เทคนิคที่ใช้ในการตรวจรู้แนวเส้น เป็นการเปรียบเทียบค่าระดับสีเทาระหว่างจุดภาพที่พิจารณากับจุดภาพข้างเคียง ทั้งนี้จะเพิ่มน้ำหนักหรือให้ความสำคัญของจุดภาพข้างเคียงที่มีการเรียงตัวร่วมกับจุดภาพที่พิจารณาเป็นเส้นตรงรวม 4 แบบ คือ เส้นตรงในแนวตั้ง เส้นตรงในแนวนอน เส้นตรงในแนวทแยงจากล่างซ้ายขึ้นไปทางบนขวา หรือเรียกว่าเส้นทแยง $+45^\circ$ และเส้นตรงในแนวทแยงจากบนขวาลงไปทางล่างซ้าย หรือเรียกว่าเส้นทแยง -45° หมายความว่าแนวเส้นที่จะตรวจรู้เป็นแนวเส้นตั้ง แนวเส้นนอน และแนวเส้นเอียงทำมุม $+45^\circ$ หรือ -45° เท่านั้น

กระบวนการตรวจรู้จะทำได้โดยนำหน้ากาก (mask) ขนาด 3×3 (อาจใช้ขนาดใหญ่กว่านี้ เช่น 5×5 หรือ 7×7 ก็ได้ แต่จะใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มขึ้น อีกทั้งผลลัพธ์จะด้อยลง เนื่องจากแนวเส้นตรงที่มีขนาดสั้น ๆ จะไม่ผ่านการตรวจรู้ได้) ไปทาบทับจุดภาพในตำแหน่งที่จะทำการประมวลผล จากนั้นจะคำนวณค่าตามสมการที่ (2.7)

$$R = \sum_{k=1}^9 w_k z_k \quad (2.7)$$

โดยที่ w_k เป็นค่าน้ำหนักของแต่ละจุดบนหน้ากาก ดังรูปที่ 2.8

z_k เป็นค่าระดับสีเทาของจุดภาพในตำแหน่งที่ตรงกับจุดบนหน้ากาก กล่าวคือ

$$\begin{aligned} z_1 &= f(x-1, y-1), & z_2 &= f(x, y-1), & z_3 &= f(x+1, y-1) \\ z_4 &= f(x-1, y), & z_5 &= f(x, y), & z_6 &= f(x+1, y) \\ z_7 &= f(x-1, y+1), & z_8 &= f(x, y+1), & z_9 &= f(x+1, y+1) \end{aligned}$$

w_1	w_2	w_3
w_4	w_5	w_6
w_7	w_8	w_9

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

ก) หน้ากากทั่วไป ข) หน้ากากแนวนอน ค) หน้ากากแนวตั้ง ง) หน้ากากแนว $+45^\circ$ จ) หน้ากากแนว -45°

รูปที่ 2.8 หน้ากากที่ใช้ในการตรวจรู้แนวเส้น

ในการตรวจรู้แนวเส้นของภาพ จะนำหน้ากากทั้ง 4 แบบไปใส่ทับกับบนจุดภาพต่าง ๆ จนครบทั้งภาพ ค่าผลรวมที่ได้ตามสมการที่ (2.7) จากหน้ากากแต่ละแบบของจุดภาพหนึ่ง ๆ จะเป็น R_1, R_2, R_3 และ R_4 ตามลำดับเมื่อเทียบกับแบบหน้ากากในรูปที่ 2.8x ถึง 2.8จ จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าของผลรวมทั้ง 4 ค่า ถ้า $|R_j| > |R_i|$ ที่ทุกค่าของ $j \neq i$ จุดภาพนั้นจะถูกตัดสินว่าเป็นส่วนหนึ่งของแนวเส้นตามแบบของหน้ากากที่ i

บางครั้ง มีความต้องการตรวจรู้แนวเส้นลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ก็อาจทำได้โดยเลือกใช้หน้ากากแนวที่ต้องการใส่ทับกับบนจุดภาพ และหาผลรวมตามสมการที่ (2.7) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าเรขาคณิตที่กำหนดไว้แล้ว ถ้าค่าที่ได้สูงกว่าค่าเรขาคณิต จุดภาพนั้นจะถูกตัดสินว่าเป็นส่วนหนึ่งของแนวเส้น

2.2.3.2 การตรวจรู้ขอบ (edge detection)

องค์ประกอบหรือวัตถุที่ถูกบันทึกภาพจะมีตำแหน่ง การจัดวาง และ texture ที่ทำให้มีการสะท้อนแสงแตกต่างกัน ค่าความเข้มแสงหรือค่าระดับสีเทาที่ปรากฏบนภาพจะสอดคล้องกับความสามารถในการสะท้อนแสงดังกล่าว หมายความว่าองค์ประกอบที่เห็นเด่นชัดบนภาพ จะต้องมีความขอบเขตขององค์ประกอบนั้น ๆ แสดงให้เห็นชัดเจนหรือค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีค่าระดับสีเทาแตกต่างกัน ดังนั้น การตรวจรู้ขอบขององค์ประกอบหรือวัตถุบนภาพ จึงใช้หลักการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาที่มี 2 แนวทาง กล่าวคือ แนวทางการพิจารณาอัตราหรือค่าความชันในการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา ซึ่งเราเรียกว่าวิธีเกรเดียนต์ (gradient method) และแนวทางการพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความชันในการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา ซึ่งเราเรียกว่าวิธีลาปลาเซียน (Laplacian method)

2.2.3.2.1 วิธีเกรเดียนต์ (gradient method)

องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่ปรากฏบนภาพมีค่าระดับสีเทาไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งองค์ประกอบได้ แต่ความแตกต่างของค่าระดับสีเทาจะมีไม่มาก การเปลี่ยนแปลงถ้ามีจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ตลอดทั้งพื้นผิวขององค์ประกอบนั้น ๆ การตัดสินใจว่าบริเวณใดเป็นขอบขององค์ประกอบหนึ่งหรือไม่ขึ้นอยู่กับค่าความชันในการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาว่าสูงกว่าค่าเรซีไฮลด์ (threshold value) หนึ่ง ๆ หรือไม่ ดังนั้นการตรวจรู้ขอบตามแนวทางนี้อาจให้ผลแตกต่างกันไปขึ้นกับการกำหนดค่าเรซีไฮลด์

เนื่องจากวิธีเกรเดียนต์ใช้หลักในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเร็ว จะถูกกำหนดให้เป็นบริเวณขอบของวัตถุ ทั้งนี้ค่าเกรเดียนต์ของภาพ $f(x,y)$ ณ ตำแหน่ง (x,y) เป็นค่าเวกเตอร์

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

โดยที่ขนาดของค่าเวกเตอร์ ∇f เป็นปริมาณที่มีความสำคัญในการตรวจสอบขอบวัตถุ โดยทั่วไปจะเรียกว่าค่าเกรเดียนต์ และใช้สัญลักษณ์ ∇f ที่มีค่า

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2.9)$$

ในทางปฏิบัติ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จะทำการประมาณค่าเกรเดียนต์ด้วยค่าสัมบูรณ์

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \quad (2.10)$$

การหาค่าอนุพันธ์ย่อย G_x และ G_y ทำได้โดยการใช้หน้ากาก (mask) หรือหน้าต่าง (window) หรือตัวดำเนินการ (operator) ขนาด 3×3 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9ก เข้าช่วยปรับค่าระดับสีเทา ณ จุดภาพที่ สอดคล้องกัน ซึ่งตัวดำเนินการมีหลายแบบดังนี้

2.2.3.2.1 วิธีเกรเดียนต์ (gradient method)

2.2.3.2.1.2 ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสส์เกรเดียนต์

(Robert-cross gradient operator)

ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสส์เกรเดียนต์ อาจพิจารณาให้เป็นหน้ากากขนาด 2×2 ดังรูปที่ 2.9ข หรือเป็นหน้ากากขนาด 3×3 ดังรูปที่ 2.9ค ที่ให้ค่าอนุพันธ์ย่อยเป็น

$$G_x = |z_5 - z_9| \quad (2.11ก)$$

และ $G_y = |z_6 - z_8| \quad (2.11ข)$

2.2.3.2.1.2 ตัวดำเนินการแบบโซเบล (Sobel operator)

ตัวดำเนินการแบบโซเบล มีหน้ากากขนาด 3×3 ดังรูปที่ 2.9ค

ทำให้ได้ค่าอนุพันธ์ย่อยเป็น

$$G_x = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3) \quad (2.12ก)$$

และ $G_y = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7) \quad (2.12ข)$

2.2.3.2.1.3 ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์ (Prewitt operator)

ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์ มีหน้ากากขนาด 3×3 เช่นเดียวกับตัวดำเนินการโซเบลแต่มีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.9ง ทำให้ได้ค่าอนุพันธ์ย่อยเป็น

$$G_x = (z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3) \quad (2.13ก)$$

และ $G_y = (z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7) \quad (2.13ข)$

W_1	W_2	W_3
W_4	W_5	W_6
W_7	W_8	W_9

ก) หน้ากากขนาด 3x3 ที่จะใช้เป็นตัวดำเนินการ

1	0
0	-1

0	1
-1	0

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_x และ G_y

ข.1) ขนาด 2x2

0	0	0
0	1	0
0	0	-1

0	0	0
0	0	1
0	-1	0

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_x และ G_y

ข.2) ขนาด 3x3

ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสส์เกรเดียนต์

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

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_x

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

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_y

ค) ตัวดำเนินการแบบโซเบล

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_x

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

หน้ากากใช้คำนวณค่า G_y

ง) ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์

รูปที่ 2.9 ตัวดำเนินการที่ใช้ในการคำนวณค่าเกรเดียนต์

2.2.3.2.2 วิธีลาปลาเซียน (Laplacian method)

วิธีลาปลาเซียน ใช้หลักการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า gradient ของค่าระดับสีเทาอีกต่อหนึ่ง และจะกำหนดตำแหน่งที่มี zero-crossing เกิดขึ้นเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุ ทั้งนี้ การหาค่าอนุพันธ์ย่อยอันดับสองของภาพ $f(x,y)$ คือการหาค่า Laplacian แบบ 2 มิติ เป็น

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2.14n)$$

หน้ากากของวิธีลาปลาเซียขนาด 3x3 จะมีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกันหลายแบบ ดังรูปที่ 2.10 และตัวอย่างการใช้ตัวดำเนินการแบบ 4-neighbor เพื่อหาค่าอนุพันธ์ย่อยอันดับสองของจุดภาพ $f(x,y)$ คือ

$$\nabla^2 f = 4z_5 - (z_2 + z_4 + z_6 + z_8) \quad (2.14ข)$$

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

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

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

ก) แบบ 4-neighbor ข) แบบ 8-neighbor ค) แบบ separable 8-neighbor
รูปที่ 2.10 หน้ากากที่ใช้ในตัวดำเนินการลาปลาเซีย

2.2.3.2.3 การตรวจรู้ขอบแบบแคนนี่ (Canny edge detection)

การตรวจรู้ขอบแบบแคนนี่ เป็นการดัดแปลงวิธีเกรเดียนต์ให้เหมาะสมกับการตรวจรู้ขอบขององค์ประกอบในภาพที่มีสัญญาณรบกวน แต่อยู่บนเงื่อนไข 3 ประการ ดังนี้

- ก) ไม่เกิดความผิดพลาดในการตรวจรู้ขอบที่สำคัญ และไม่ควรมีการตรวจรู้ที่ผิด ๆ เกิดขึ้น
- ข) การบ่งบอกตำแหน่งของขอบ ต้องมีระยะระหว่างตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่จะบ่งบอกกลับที่สุด
- ค) ถ้ามีค่าหลายค่าในการตรวจรู้ขอบของขอบใดขอบหนึ่ง ค่าที่น้อยที่สุดจะเป็นค่าของการตรวจรู้ขอบที่แท้จริง เพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนที่มีผลต่อการหาค่าในการตรวจรู้ขอบ ซึ่งทำให้ได้ขอบที่ไม่เรียบ

ขั้นตอนของวิธีการตรวจรู้ขอบแบบแคนนี่ มี 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ใช้ตัวกรองไบโนเมียล (binomial filter) เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน ดังสมการที่ (2.15)

$$f(x,y) = \left[\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \right] \quad (2.15)$$

โดยที่ $n = 2$ เท่าของความแปรปรวนของการกระจายแบบเกาส์ (Gaussian distribution)

ขั้นที่ 2 ทำการคำนวณเกรเดียนต์ตามสมการที่ (2.10) และใช้ตัวดำเนินการแบบพรีวิต ดังรูปที่ 2.9g จะได้

$$\nabla f = |(Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3)| + |(Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7)| \quad (2.16)$$

ขั้นที่ 3 ทำการหาว่าจุดภาพมีค่า เกรเดียนต์เฉพาะถิ่นสูงสุด (maximum local gradient) หรือไม่ สมมติค่าเกรเดียนต์ของแต่ละจุดภาพในกรอบขนาด 3x3 มีค่าเป็น

P1	P2	P3
P4	P5	P6
P7	P8	P9

ทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าเกรเดียนต์ของจุดภาพกลางกับจุดภาพอื่น ๆ ในแนวเส้นตรงต่าง ๆ ประกอบด้วย แนวตั้ง แนวนอน แนวทแยง $+45^\circ$ และ -45°

ถ้า $P5 > Pk$ ทุกค่า $k \neq 5$ และ $P5 >$ ค่าเทรชโฮลด์ต่ำ (low threshold value) T_L แสดงว่าค่า P5 เป็นค่าเกรเดียนต์เฉพาะถิ่นสูงสุด และจะนำค่าดังกล่าวไปคำนวณตามขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

ขั้นที่ 4 การทำเทรชโฮลด์แบบฮิสเทอรีซิส (hysteresis thresholding)

ขั้นตอนสุดท้ายนี้ เป็นขั้นตอนการตัดสินใจว่าจุดภาพหนึ่ง ๆ เป็นขอบขององค์ประกอบหรือไม่ มีเงื่อนไข 3 ประการ ดังนี้

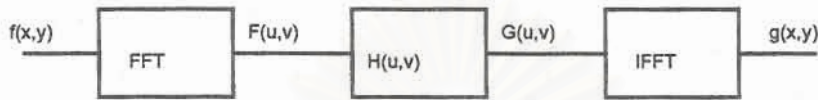
- จุดภาพที่มีขนาดของเกรเดียนต์ใหญ่กว่าค่าเทรชโฮลด์สูง (high threshold value) T_H จุดภาพนั้นจะเป็นขอบขององค์ประกอบ
- ทุกจุดภาพที่จะประกอบกันขึ้นเป็นแนวขอบแนวหนึ่ง จะต้องอย่างน้อย 1 จุดภาพในแนวนั้นที่มีค่าเกรเดียนต์ $> T_H$
- จุดภาพที่มีค่าเกรเดียนต์ $< T_H$ และไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่สอง จะถูกตัดออกไป

2.2.4 การกรองภาพ (image filtering)

การกรองภาพอาจจัดไว้ในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของภาพหรือการวิเคราะห์ภาพก็ได้ขึ้นกับวัตถุประสงค์และเป้าหมาย ถ้าการกรองภาพเป็นเรื่องการทำให้ภาพดูดีขึ้นหรือแสดงรายละเอียดที่ต้องการออกมาได้ชัดเจนขึ้น แต่ถ้าการกรองภาพเน้นในเรื่องการมองหารายละเอียดเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นต่อไปแล้ว ก็สามารถจัดไว้ในเรื่องการวิเคราะห์ภาพได้เช่นกัน

ปกติภาพต่าง ๆ นั้นจัดเป็นสัญญาณ 2 มิติใน spatial domain ของตัวแปรค่าที่เป็นระยะทาง โดยที่เราอาจแปลงให้ไปอยู่ในอีกโดเมน 2 มิติของตัวแปรค่าที่เป็นความถี่ และไม่ขึ้นกับหรือตั้งฉากกับ (orthogonal) โดเมนนี้ หมายความว่ากระบวนการกรองภาพ สามารถดำเนินการใน spatial domain หรือในโดเมนของความถี่ก็ได้ ในการแปลงภาพดิจิทัลจาก spatial domain ไปยังโดเมนของความถี่ทำได้โดยใช้การแปลงฟูริเยร์แบบดิสครีต 2 มิติ (2D discrete Fourier transform) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อการเข้ารหัสภาพโดยการทรานส์ฟอร์ม

การดำเนินการในโดเมนของความถี่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.11 ข้อมูลภาพ $f(x,y)$ จะถูกคำนวณฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิคริตด้วยอัลกอริทึม FFT เข้าไปในโดเมนของความถี่ได้เป็น $F(u,v)$ จากนั้นจะผ่านไปผ่านตัวกรองที่มีทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (transfer function) $H(u,v)$ ตามที่ออกแบบหรือเลือกไว้ ทำให้ได้ผลการกรองเป็น $G(u,v)$ แล้วทำการแปลงกลับเป็น $g(x,y)$ ตัวกรองที่ถูกนำมาใช้กรองสัญญาณสามารถทำให้เป็นแบบอุดมคติได้ ดังรูปที่ 2.12 ที่แสดงสเปกตรัมของตัวกรองแบบต่างๆ ซึ่งการลดสัญญาณรบกวนในเชิงความถี่ ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ ในรูปที่ 2.12ก จะถูกเลือกใช้งาน โดยที่

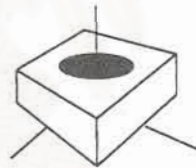
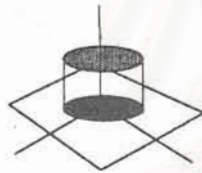


รูปที่ 2.11 ระบบประมวลผลภาพดิจิทัลในโดเมนของความถี่

$$F(u,v) = \text{FFT}\{f(x,y)\} \quad (2.17ก)$$

$$G(u,v) = F(u,v)H(u,v) \quad (2.17ข)$$

$$g(x,y) = \text{IFFT}\{G(u,v)\} \quad (2.17ค)$$



ก) ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ

ข) ตัวกรองผ่านความถี่สูง

รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของตัวกรองแบบอุดมคติ

เนื่องจากค่าความถี่ต่ำที่ได้จะสอดคล้องกับพื้นหลัง (background) ของฉาก (scene) ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอย่างช้า ๆ ในขณะที่ค่าความถี่สูงจะสอดคล้องกับบริเวณขอบขององค์ประกอบหรือวัตถุบนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอย่างรวดเร็ว จากความรู้ในเรื่องความสัมพันธ์ดังกล่าว ทำให้กระบวนการกรองที่ดำเนินการใน spatial domain จะทำได้รวดเร็วและด้วยกรรมวิธีง่าย ๆ ได้โดยใช้หน้ากาก (mask) ที่เหมาะสม เทคนิคการกรองมี ดังนี้

2.2.4.1 ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ (lowpass filter)

2.2.4.1.1 การกรองใน spatial domain

การกรองใน spatial domain ทำได้โดยใช้หน้ากากของตัวดำเนินการ โดยใช้หลักการเฉลี่ยค่าระดับสีเทาของจุดภาพอื่นร่วมกับของจุดภาพที่ต้องการ แนวทางนี้จะสอดคล้องกับเทคนิคการทำภาพให้มัว (bluring) หรือนุ่มนวล (softening) เพราะเป็นการรวมค่าระดับสีเทาของจุดภาพใน

บริเวณใกล้เคียงเข้าด้วย ทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาในบริเวณที่พิจารณา ขนาดของหน้ากากจะสอดคล้องกับค่าความถี่ตัดขอบ โดยที่ขนาดยิ่งใหญ่หมายถึงค่าความถี่ตัดขอบยิ่งต่ำลง หน้ากากที่ใช้ในโครงการนี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 2.13

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

รูปที่ 2.13 หน้ากากสำหรับตัวกรองผ่านความถี่ต่ำใน spatial domain ที่ขนาดต่าง ๆ

2.2.4.1.2 การกรองในโดเมนของความถี่

ดังที่ได้อธิบายข้างต้นถึงกระบวนการประมวลผลภาพในโดเมนความถี่ แล้วว่าต้องทำฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต ดังนั้นระบบ $H(u,v)$ จะมีลักษณะตามที่กำหนดไว้ว่าจะให้ทำการกรองค่าความถี่อย่างไร

2.2.4.1.2.1 ตัวกรองอุดมคติ (ideal filter)

จะใช้ $H(u,v)$ ดังรูปที่ 2.12ก ในการจัดการค่าความถี่ $F(u,v)$ ตามสมการที่ (2.17ก) จากนั้นทำการแปลงกลับไปอยู่ใน spatial domain ตามสมการที่ (2.17ค) โดยที่

$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & , \sqrt{u^2 + v^2} < C \\ 0 & \sqrt{u^2 + v^2} > C \end{cases} \quad (2.18)$$

โดยที่ C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

2.2.4.1.2.2 ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth filter)

เนื่องจากการกรองด้วยตัวกรองอุดมคติ จะให้ผลลัพธ์ที่มีปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Gibb's phenomenon ขึ้น ซึ่งเป็นระลอกของค่าระดับสีเทาในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง โดยเฉพาะขอบขององค์ประกอบ ทำให้คุณภาพของภาพลดลง ตัวกรองที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงบริเวณค่าความถี่ตัดขอบ (cutoff frequency) อย่างค่อยเป็นค่อยไป จึงถูกนำมาใช้งานแทน และตัวกรองที่นิยมใช้กันมากคือตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ ที่มีค่า $H(u,v)$ ดังสมการที่ (2.19)

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C} \right]^{2n}} \quad (2.19)$$

โดยที่ n เป็นอันดับของตัวกรองที่เป็นค่าจำนวนเต็มบวก
 C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

2.2.4.2 ตัวกรองผ่านค่าความถี่สูง (highpass filter)

2.2.4.2.1 การกรองใน spatial domain

การกรองใน spatial domain ทำได้โดยใช้หน้ากากของตัวดำเนินการ โดยใช้หลักการสร้างความแตกต่างของจุดภาพที่ต้องการออกจากจุดภาพข้างเคียง แนวทางเช่นนี้เป็นแนวทางเดียวกับการทำภาพให้คมชัด (sharpening) หน้ากากจะมีขนาด 3×3 ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.14

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

รูปที่ 2.14 หน้ากากสำหรับตัวกรองผ่านค่าความถี่สูงใน spatial domain

2.2.4.2.2 การกรองในโดเมนของความถี่

2.2.4.2.2.1 ตัวกรองอุดมคติ (ideal filter)

จะใช้ $H(u,v)$ ดังรูปที่ 2.12 ในการจัดการค่าความถี่ $F(u,v)$ ตามสมการที่ (2.17ก) จากนั้นทำการแปลงกลับไปอยู่ใน spatial domain ตามสมการที่ (2.17ค) โดยที่

$$H(u,v) = \begin{cases} 0 & \sqrt{u^2 + v^2} < C \\ 1 & \sqrt{u^2 + v^2} > C \end{cases} \quad (2.20)$$

โดยที่ C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

2.2.4.2.2.2 ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ (Butterworth filter)

ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธที่เป็นแบบผ่านค่าความถี่สูงมีค่า ดังนี้

$$H(u,v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{C}{\sqrt{u^2 + v^2}} \right]^{2n}} \quad (2.21)$$

โดยที่ C เป็นค่าความถี่ตัดขอบ

2.2.4.3 ตัวกรองมัธยฐาน (median filter)

ตัวกรองมัธยฐาน ถูกเสนอใช้เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการใช้ตัวกรองผ่านค่าความถี่ต่ำต่างๆไป คือการลดสัญญาณรบกวนลงได้โดยไม่ทำให้ภาพพร่ามัวมากนัก หลักการทำงานของตัวกรองแบบนี้คือการเปลี่ยนจากการใช้ค่าเฉลี่ยของค่าระดับสีเทาไปเป็นการใช้ค่าระดับสีเทาของจุดภาพรอบ ๆ ที่เป็นค่ามัธยฐาน (median) แทน กล่าวคือ

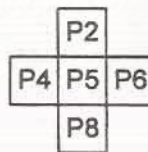
$$g(i, j) = \text{MEDIAN}\{f(i+k, j+l) \dots, (k, l) \in A, (i, j) \in L \times L\} \quad (2.22)$$

โดยที่ $L \times L$ เป็นขนาดของภาพ

$A \subset L \times L$ เป็นขนาดของหน้ากากของตัวกรอง

2.2.4.4 ตัวกรองมัธยฐานเทียม (pseudomedian filter)

เนื่องจากตัวกรองมัธยฐานมีข้อจำกัดในเรื่องเวลาในการประมวลผลจะแปรในรูปเอ็กซ์โพเนนเชียลกับขนาดของหน้ากากหรือตัวดำเนินการ ตัวกรองมัธยฐานเทียมจึงถูกนำมาใช้งานแทน หลักการของตัวกรองมัธยฐานเทียมจะเป็นเช่นเดียวกับตัวกรองมัธยฐานคือ การหาค่ามัธยฐานของค่าระดับสีเทาของจุดภาพที่พิจารณาพร้อมจุดภาพข้างเคียง แต่ลดจำนวนจุดภาพข้างเคียงลงเหลือแต่ในแนวตั้งและแนวนอนเท่านั้น ดังรูปที่ 2.15 แต่ไม่ได้ใช้ค่ามัธยฐานโดยตรงแต่ต้องนำไปคำนวณหาค่าที่ต้องการต่อไป ดังสมการที่ (2.23)



รูปที่ 2.15 จุดภาพที่ใช้ในตัวกรองมัธยฐานเทียม

$$P_{\text{pseudomedian}} = \frac{1}{2} \text{Mx}(\min(P4, P5, P6), \min(P2, P5, P8)) + \frac{1}{2} \min(\text{Mx}(P2, P5, P6), \text{Mx}(P2, P5, P8)) \quad (2.23)$$

ตัวกรองมัธยฐานเทียมใช้ลดสัญญาณรบกวนประเภท salt and pepper ได้ดี เนื่องจากพจน์แรกทางขวามือของสมการที่ (2.23) จะได้ค่าที่น้อยกว่าค่ามัธยฐาน ซึ่งเหมาะสมต่อการลดสัญญาณรบกวนประเภท salt (สัญญาณรบกวนที่เป็นจุดมีค่าระดับสีเทาสูงกว่าจุดภาพข้างเคียง) และพจน์ที่สองทางขวามือของสมการเดียวกัน จะได้ค่าที่มากกว่าค่ามัธยฐาน และเหมาะสมต่อการลดสัญญาณรบกวนประเภท pepper (สัญญาณรบกวนที่เป็นจุดมีค่าระดับสีเทาลดกว่าจุดภาพข้างเคียง)

2.2.4.5 ตัวกรองยกค่าความถี่สูง (high-boost filter)

เนื่องจากตัวกรองผ่านความถี่สูงอาจพิจารณาได้ว่า เป็นผลต่างระหว่างภาพต้นฉบับและภาพที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำ ดังนี้

$$\text{ภาพจากตัวกรองผ่านความถี่สูง} = \text{ภาพต้นฉบับ} - \text{ภาพจากตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ}$$

ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการแสดงให้เห็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาได้ชัดเจนขึ้น จะเสมือนกับการเพิ่มค่าความถี่สูงในบริเวณดังกล่าวที่เรียกเทคนิคนี้ว่า การกรองยกค่าความถี่สูง (high-boost filtering) โดยการเพิ่มขนาดของค่าระดับสีเทาของภาพต้นฉบับขึ้น ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ภาพจากตัวกรองยกค่าความถี่สูง} &= (K)(\text{ภาพต้นฉบับ}) - \text{ภาพจากตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ} \\ &= (K-1)(\text{ภาพต้นฉบับ}) + \text{ภาพจากตัวกรองผ่านความถี่สูง} \quad (2.24) \end{aligned}$$

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

2.2.4.6 ตัวกรองอนุพันธ์ (derivative filter)

ตัวกรองอนุพันธ์ใช้เทคนิคเดียวกับการตรวจจุ่มขอบโดยวิธีเกรเดียนต์ ที่พยายามดึงเอาบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา มาก ๆ ออกมา ซึ่งสอดคล้องกับการดึงเอาค่าความถี่สูงออกมาเช่นกัน หมายความว่าการทำงานของตัวกรองอนุพันธ์จะเป็นเช่นเดียวกับตัวกรองผ่านค่าความถี่สูง ดังนั้นตัวกรองอนุพันธ์จะมีแตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะของตัวดำเนินการเช่นเดียวกับของวิธีเกรเดียนต์ กล่าวคือ

2.2.4.6.1 Robert-cross gradient operator

2.2.4.6.2 Prewitt operator

2.2.4.6.3 Sobel operator

2.3 การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (image enhancement)

กรณีที่ภาพที่มีความบกพร่อง เป็นต้นว่า มีปัญหาในการบันทึกภาพจากความบกพร่องของกระบวนการบันทึกหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึก หรือมีสัญญาณรบกวนในระหว่างการส่งข้อมูลภาพผ่านช่องการสื่อสารและอื่น ๆ ภาพที่บกพร่องจะต้องได้รับการปรับปรุงและแก้ไขเช่นเดียวกับสัญญาณทั่วไป เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องพร้อมที่จะนำไปใช้งานอื่นได้ต่อไป อย่างไรก็ตาม สำหรับภาพที่เป็นสัญญาณ 2 มิติ ที่บางครั้งอาจจะพิจารณาให้แต่ละมิติไม่มีความสัมพันธ์ได้โดยการมองเป็นสัญญาณรูปแบบหนึ่ง แต่บางครั้งแต่ละมิติมีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้งเมื่อมองในรูปแบบขององค์ประกอบและวัตถุต่าง ๆ เทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของภาพจึงมีการจัดแบ่งออกเป็น 2 แนวทางที่แตกต่างกันตามหลักการดังกล่าว และบางเทคนิคในกลุ่มนี้เป็นเทคนิคเดียวกันกับเทคนิคการวิเคราะห์ภาพได้ด้วย เมื่อพิจารณาจากวัตถุประสงค์ในการนำเทคนิคนั้น ๆ มาใช้งาน ดังต่อไปนี้

2.3.1 การทำภาพให้คมชัด (image sharpening)

ดังได้กล่าวถึงในหัวข้อของตัวกรองผ่านความถี่สูง การทำภาพให้คมชัด คือการกรองความถี่ต่ำทิ้งไป และมีกระบวนการ 2 แนวทาง คือดำเนินการใน spatial domain และในโดเมนความถี่ ดังนั้นฟังก์ชันต่าง ๆ ของการทำภาพให้คมชัดจะเหมือนกับของตัวกรองผ่านความถี่สูง

2.3.2 การทำภาพให้นุ่มนวลหรือมัว (image softening or smoothing or blurring)

เช่นเดียวกับการทำภาพให้คมชัดที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการในการกรอง แต่การทำภาพให้นุ่มนวลจะตรงกับการกรองผ่านความถี่ต่ำ มีกระบวนการ 2 แนวทาง คือดำเนินการใน spatial domain และในโดเมนความถี่ นอกจากนี้ วัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งของการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคนี้คือ การลดผลของสัญญาณรบกวน

2.3.3 การกระจายค่าสีสโตแกรม (histogram equalization)

เทคนิคการกระจายค่าสีสโตแกรมถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงค่าคอนทราสต์ (contrast) ของภาพให้ดีขึ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมาก เพราะทำได้ง่าย โดยใช้หลักการให้มีการกระจายค่าสีสโตแกรมของระดับสีเทา (grey level) ของภาพอย่างสม่ำเสมอมากที่สุด โดยอาศัยค่าความน่าจะเป็นเข้าช่วย ดังสมการ

$$g_k = T\{f_k\} = \sum_{k=0}^m p_f(f_k) = \sum_{k=0}^m \frac{n_k}{n} \quad (2.25)$$

โดยที่ n_k เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดที่มีค่าระดับสีเทาที่ k

n เป็นจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพ

$p_f(f_k)$ เป็นค่าความน่าจะเป็นของระดับสีเทาที่ k

f_k เป็นตัวแปรค่าที่แทนระดับสีเทาที่ k ของภาพที่จะปรับปรุงมีค่าระหว่าง 0 และ 1

g_k เป็นค่าระดับสีเทาของภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว จากการทรานส์ฟอร์มแบบไม่เชิงเส้น T

$m = 0, 1, \dots, L-1$

2.3.4 การแจกแจงค่าสีสโตแกรม (histogram specification)

การแจกแจงค่าสีสโตแกรมเป็นการปรับปรุงเทคนิคการกระจายค่าสีสโตแกรม ให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายค่าสีสโตแกรมใช้ค่าความน่าจะเป็นที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม (uniform distribution) เท่านั้น จึงปรับแต่งให้สามารถแจกแจงได้หลากหลายขึ้น

สมมติให้ $u(t) \geq 0$ เป็นค่าตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง ที่มีค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นคือ $p_u(u)$ ที่ได้รับการแปลงให้เป็นตัวแปร $v \geq 0$ โดยการกำหนดค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นให้

เป็น $p_v(v)$ ทั้งนี้กระบวนการแปลงจะเป็นจริง ถ้าตัวแปรสุ่มมีการกระจายสม่ำเสมอ (uniform distribution) ดังนี้

$$w = \int_0^u p_u(x) dx = F_u(u) \quad (2.26)$$

ที่จะสัมพันธ์กับ

$$w = \int_0^v p_v(y) dy = F_v(v) \quad (2.27)$$

เช่นกัน ทำให้ได้

$$v = F_v^{-1}\{F_u(u)\} \quad (2.28)$$

ซึ่งเป็นกระบวนการแปลงกลับที่ทำให้ได้ภาพตามต้องการ ในกรณีของตัวแปรสุ่มแบบดิสครีต $u[n]$ และ $v[n]$ ที่จะมีค่าเป็น x_i และ y_i ตามลำดับ และด้วยค่าความน่าจะเป็น $p_u(x_i)$ และ $p_v(y_i)$ ตามลำดับ โดยที่ $i = 0, 1, \dots, L-1$ และกระบวนการสมมูลกับกรณีต่อเนื่อง คือ

$$w = \sum_0^u p_u(x_i) \quad (2.29)$$

และ

$$\tilde{w}_k = \sum_0^k p_v(y_i) \quad , k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (2.30)$$

ถ้าให้ w' คือค่าของ \tilde{w}_n ที่ทำให้ $\tilde{w}_n - W \geq 0$ ด้วยค่า n ต่ำสุด จะได้ว่า $v' = y_n$ เป็นค่าที่แปลงจาก u ทั้งนี้ อัลกอริทึมของการแจกแจงค่าฮิสโตแกรม เป็นดังนี้

- ทำการกระจายค่าฮิสโตแกรมของภาพต้นฉบับตามสมการที่ (2.29)
- กำหนดแบบการกระจายค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็น $p_v(y_i)$ ตามที่ต้องการ และคำนวณ w'
- ทำการแปลงกลับตามสมการที่ (2.28)

รูปแบบการกระจายค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นเลือกได้ 3 แบบ คือ

- การกระจายสม่ำเสมอ (uniform distribution)
- การกระจายพาราโบลา (parabolic distribution)
- การกระจายเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential distribution)

และการแปลงกลับมีรูปแบบให้เลือกได้ 3 แบบ เช่นกัน คือ

- ทรานส์ฟอร์มเชิงเส้น (linear transformation)
- ทรานส์ฟอร์มพาราโบลา (parabolic transformation)
- ทรานส์ฟอร์มทั่วไป (generalized transform) ที่สามารถระบุอันดับที่ต้องการได้

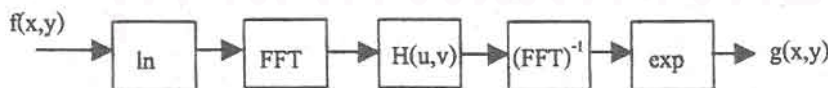
2.3.5 การกรองแบบโฮโมมอร์ฟิก (homomorphic filtering)

เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดภาพมาและมีข้อสรุปว่า ภาพที่เราเห็นนั้นเกิดขึ้นจาก องค์ประกอบ 2 ส่วนรวมกันแบบมอดูเลชัน (modulation) หรือการคูณกัน (multiplication) องค์ประกอบ ทั้ง 2 ส่วนนั้น ได้แก่ องค์ประกอบแรกคือส่วนที่เป็นการส่องสว่าง (illumination) จากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งมี ค่าความเข้มแสงตั้งแต่ศูนย์ถึงอนันต์ องค์ประกอบส่วนนี้เมื่อปรากฏบนภาพ จะเป็นส่วนของฉากหลัง (background) หรือฉาก (scene) การเปลี่ยนค่าความเข้มแสงขององค์ประกอบส่วนแรกนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ สอดคล้องกับสัญญาณความถี่ต่ำ และองค์ประกอบที่สองคือส่วนที่เป็นการสะท้อนกลับ (reflectance) ของ วัตถุเมื่อได้รับแสงจากการส่องสว่าง ซึ่งมีค่าความเข้มแสงตั้งแต่ศูนย์ถึงค่าจำกัดค่าหนึ่ง (ปกติจะปรับให้เป็น 1 หน่วย) องค์ประกอบส่วนที่สองนี้เมื่อปรากฏบนภาพ จะเป็นส่วนของวัตถุที่มีขอบเขตที่แน่นอน การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับสัญญาณความถี่สูง ทั้งนี้

$$f(x,y) = i(x,y)r(x,y) \quad (2.31)$$

โดยที่ $i(x,y)$ เป็นค่าการส่องสว่างของแสง มีขนาด $0 \leq i(x,y) \leq \infty$ และ $r(x,y)$ เป็นค่าการสะท้อนกลับของแสง มีขนาด $0 \leq r(x,y) \leq 1$

ปัญหาในการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ จะเกิดจากกระบวนการที่ไม่ยืดหยุ่น กล่าวคือการปรับปรุงองค์ประกอบหนึ่งจะส่งผลเสียกับอีกองค์ประกอบหนึ่งเสมอ เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างสององค์ประกอบเป็นแบบไม่เชิงเส้น แนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวคือการจัดการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้นขององค์ประกอบทั้งสองให้เป็นเชิงเส้นก่อน จากนั้นจึงจะดำเนินการในขั้นตอนต่อไป เทคนิคในการจัดการขั้นต้นดังกล่าวคือการใช้ตัวดำเนินการลอการิทึม (logarithmic operator) จากนั้นตัวกรองแบบตัวกรองผ่านย่านความถี่ (bandpass filter) แบบหลายย่าน (multi-bandpass) ถูกนำมาใช้งาน ซึ่งกรรมวิธีนี้ถูกเรียกว่าการกรองแบบโฮโมมอร์ฟิก ทั่ว ๆ ไป ตัวกรองที่ใช้เป็นแบบผ่านย่านความถี่ 2 ย่าน คือ ย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง อัตราการส่งผ่านหรือ gain ของทั้งสองย่านจะถูกปรับให้เหมาะสมสำหรับภาพแต่ละภาพ และสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ หมายความว่าเราสามารถจัดการกับองค์ประกอบทั้งสองได้อย่างอิสระต่อกันในคราวเดียวกันได้ ดังแสดงระบบการประมวลผลในรูปที่ 2.16 โดยที่



รูปที่ 2.16 ระบบในการกรองแบบโฮโมมอร์ฟิก

จากข้อมูลภาพต้นฉบับ $f(x,y) = i(x,y)r(x,y)$ นำไปผ่านตัวดำเนินการลอการิทึม ดังนี้

$$\begin{aligned} z(x,y) &= \ln[f(x,y)] \\ &= \ln[i(x,y)] + \ln[r(x,y)] \end{aligned}$$

จากนั้นทำการคำนวณ DFT ได้เป็น

$$F\{z(x,y)\} = F\{\ln[i(x,y)]\} + F\{\ln[r(x,y)]\}$$

หรือ
$$Z(u,v) = I(u,v) + R(u,v)$$

จากนั้นจึงทำการกรองด้วยฟังก์ชัน $H(u,v)$ ที่สามารถปรับอัตราขยายในย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูงได้อย่างอิสระต่อกัน แต่มีเงื่อนไขว่า อัตราขยายในย่านความถี่ต่ำปรับได้ไม่เกิน 1 เพื่อลดความเข้มแสงของฉากหลังที่ทำให้ภาพมีความสว่างเกินไปลง ในขณะที่อัตราขยายในย่านความถี่สูงควรปรับให้เกิน 1 เพื่อเพิ่มระดับแตกต่างของค่าระดับสีเทาในบริเวณที่เป็นขอบขององค์ประกอบบนภาพให้เห็นชัดเจนขึ้น ทั้งนี้ ฟังก์ชันระบบมีค่า ดังนี้

$$H(u,v) = \begin{cases} \alpha & , u < U_c; v < V_c \\ \beta & , u > U_c; v > V_c \end{cases} \quad (2.32)$$

โดยที่ $\alpha < 1$ และ $\beta > 1$
และจะได้

$$S(u,v) = H(u,v)I(u,v) + H(u,v)R(u,v)$$

แล้วจึงทำการแปลงกลับด้วย IDFT ได้เป็น

$$\begin{aligned} s(x,y) &= F^{-1}\{H(u,v)I(u,v)\} + F^{-1}\{H(u,v)R(u,v)\} \\ &= i(x,y) + r(x,y) \end{aligned}$$

จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปผ่านตัวดำเนินการเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential operator) ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับกับตัวดำเนินการลอการิทึม ทำให้ได้ผลลัพธ์เป็น

$$g(x,y) = \exp[s(x,y)] = \exp[i(x,y)] \exp[r(x,y)]$$

2.4 การบีบอัดภาพ (Image Compression)

การทรานส์ฟอร์มภาพมีบทบาทสำคัญยิ่งในการประมวลผลภาพดิจิทัล เนื่องจากมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลาย ๆ ด้านได้ เช่น การวิเคราะห์ภาพในโดเมนของความถี่ การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (image Enhancement) การเข้ารหัสข้อมูลภาพ (image Coding) การเก็บคืนข้อมูลภาพ (image Restoration) เป็นต้น เทคนิคของการทรานส์ฟอร์มที่รู้จักกันมาก และมีประโยชน์ในการใช้งานจริง มี 3 แบบ คือ 푸ริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต โคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต และฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต

ในการนำเอาทรานส์ฟอร์มเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ทางด้าน การเข้ารหัสข้อมูลภาพ เป็นการนำเอาคุณลักษณะที่ไม่เชิงเส้นของตามนุษย์มาใช้ประโยชน์ กล่าวคือ มีการศึกษาและพบว่าตามนุษย์มีการสนองตอบต่อย่านความถี่สูงได้ดีไม่เท่าที่ย่านความถี่ต่ำ และสมองมนุษย์จะให้ความสำคัญกับองค์ประกอบบนภาพที่ปรากฏผ่านตาของเขามีสรูปร่างอย่างไร มากกว่าขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทา ตราบเท่าที่ตาของเขายังสามารถสังเกตเห็นขอบขององค์ประกอบนั้นได้ค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นถ้ามีการลดขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาสูง ก็ไม่ทำให้ผู้ที่มองภาพปฏิเสธหรือรู้สึกว่าภาพนั้นมีความผิดแปลกไปจนยอมรับไม่ได้ บางครั้งกระบวนการเช่นนี้กลับทำให้ภาพดูดีขึ้น เนื่องจากแนวโน้มของภาพที่มีความนุ่มนวล (soft) เป็นที่ชื่นชอบของคนส่วนใหญ่มากกว่าภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาหรือคอนทราสต์สูง ๆ จากคุณลักษณะเหล่านั้น ภาพที่ถูกทรานส์ฟอร์มเข้าไปในโดเมนของความถี่ จะมีการตัดทอนค่าบางส่วนออกไปที่เรียกว่าการทำ bit allocation ซึ่งมี 2 แนวทาง คือ zonal coding และ thresholding ทำให้เป็นการบีบอัดภาพ หรือเรียกว่าการเข้ารหัสภาพที่มีการสูญเสีย (lossy image coding)

ได้มีผู้ศึกษาในการใช้ทรานส์ฟอร์มแบบต่างๆในการประมวลผลภาพดิจิทัล ได้แก่ คาร์ฮูเนน-เลิฟทรานส์ฟอร์ม (Karhunen-Loeve Transform : KLT) 푸ริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (Discrete Fourier Transform : DFT) โคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (Discrete Cosine Transform : DCT) ไชน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตไซน์ (Discrete Sine Transform : DST) ฮาร์ทรานส์ฟอร์ม (Harr Transform) สแลนต์ทรานส์ฟอร์ม (Slant Transform) ฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (Discrete Hadamard Transform : DHT) ฮาร์ทเลย์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (Discrete Hartley Transform : DHLT) และการทรานส์ฟอร์มแบบซิงเกิลแวลลูดีคอมโพสิชัน (Single Value Decomposition Transform) และแบบอื่นๆอีกจำนวนมาก

เทคนิคในการทรานส์ฟอร์มแบบต่าง ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นนี้ มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ สมรรถนะ คุณลักษณะ ข้อดี ข้อเสีย ของแต่ละเทคนิค และในเชิงเปรียบเทียบระหว่างเทคนิค ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ที่สรุปคุณลักษณะที่สำคัญของเทคนิคการทรานส์ฟอร์มแบบต่างๆ ยกเว้นฮาร์ทเลย์ ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต ซึ่งเสนอโดย R.N.Bracewell ในปี ค.ศ. 1983 ที่ข้อมูลและรายละเอียดยังไม่ได้รับการศึกษาเพียงพอและอย่างกว้างขวาง ยกเว้นเรื่องความเร็วในการคำนวณที่แสดงว่าทำได้ดีกว่าฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม

ตารางที่ 2.1 สรุปคุณลักษณะของการทรานส์ฟอร์ม

เทคนิค	คุณลักษณะ
DFT	มีอัลกอริทึมอย่างรวดเร็ว มีการคำนวณเกี่ยวข้องกับค่าเชิงซ้อน การกระจายของพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน เหมาะสมกับงานที่ต้องทำการวิเคราะห์ในเชิงความถี่ ใช้งานในด้าน การประมวลสัญญาณดิจิทัล การคอนโวลูชัน ตัวกรองดิจิทัล การเข้ารหัสภาพ การประมวลผลภาพทางการแพทย์ (CT และ MRI)
DCT	มีอัลกอริทึมอย่างรวดเร็ว มีการคำนวณเกี่ยวข้องกับค่าจริง การกระจายพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนดีเยี่ยม ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับ KL โดยเฉพาะข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันสูงมาก ใช้ประโยชน์ในงานด้าน การออกแบบวงจรเข้ารหัสโดยการทรานส์ฟอร์ม และตัวกรองแบบเวียเนอร์ (Wiener)
DST	มีอัลกอริทึมเร็วกว่า DCT 2 เท่า มีการคำนวณเกี่ยวข้องกับค่าจริง การกระจายพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนดีมาก อาจใช้เสมือนเป็นอัลกอริทึมอย่างรวดเร็วของ KLT ได้ในกรณีวิธีแบบ Recursive Block Processing ใช้ในงานด้าน การเข้ารหัส และการกรอง
DHT	มีอัลกอริทึมที่เร็วกว่าแบบ DST เพราะไม่มีการคูณกัน การกระจายพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มดี ง่ายต่อการประยุกต์เป็นวงจรดิจิทัล เพื่อใช้ในงานด้านการบีบอัดข้อมูลภาพ การกรอง หรือการเข้ารหัส แต่ยากในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อีกทั้งต้องใช้ภาพขนาดเล็กขนาดประมาณ 4x4 จุดภาพ ทำให้มีปัญหาในเรื่องคุณภาพ โดยเฉพาะข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันสูง
Harr	คำนวณได้เร็วมาก การกระจายของพลังงานไม่อยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนดีเท่าเทคนิคอื่น ใช้ประโยชน์ในการหาโครงสร้างของข้อมูล การเข้ารหัส และการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนที่มีความถี่สูงมีความสำคัญ
Slant	คำนวณได้เร็ว การกระจายของพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนดีมาก ให้สมรรถนะสูง สุดในพวกเทคนิคแบบ Non-Sine transform
KLT	ไม่มีอัลกอริทึมอย่างรวดเร็ว คำนวณได้ช้าเพราะมีการหาค่าไอเกนของข้อมูล แต่อาจมีอัลกอริทึมอย่างรวดเร็วของเทคนิคอื่นใช้ได้บางกรณี การกระจายของพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนดีที่สุดเมื่อวัดในเชิงค่าเฉลี่ยกำลังสอง ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เหมาะกับการใช้ประเมินหรือกำหนดขอบเขตของสมรรถนะของเทคนิคอื่นๆ
SVD	ไม่มีอัลกอริทึมอย่างรวดเร็ว และใช้ของเทคนิคอื่นไม่ได้ การกระจายของพลังงานอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในภาพแต่ละภาพ แต่จะให้ความแตกต่างกันไปจากภาพหนึ่งไปยังอีกภาพหนึ่ง

จากตารางดังกล่าวสรุปได้ว่า ถ้าต้องการส่งข้อมูลเป็นภาพเคลื่อนไหว เทคนิคที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดในการลดปริมาณข้อมูลของภาพ คือโคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต แต่ในกรณีของการส่งภาพนิ่ง จะเลือกใช้ได้หลายเทคนิคขึ้นกับเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น คุณภาพของภาพที่ได้รับ ความเร็วในการส่งข้อมูล ความซับซ้อนของวงจรเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส ความเร็วในการเข้ารหัสและถอดรหัส ความสามารถในการลดขนาดข้อมูล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี จะเห็นได้ว่าภาพดิจิทัลแบบภาพนิ่งที่นิยมรับส่งกันบนเครือข่าย Internet จะเป็นภาพนามสกุล JPG ซึ่งใช้มาตรฐานการเข้ารหัสของ JPEG Group นั่นก็ใช้เทคนิคโคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ดี ถ้าวัตถุประสงค์ในการทรานส์ฟอร์มภาพเป็นเรื่องของการวิเคราะห์ พูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตจะเป็นเทคนิคที่คงความสำคัญสูงสุด สำหรับฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตที่ได้รับการคัดเลือกใส่ไว้ในโปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้น เนื่องมาจากความต้องการในการใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับ

โคไซน์ทรานส์ฟอร์มและฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มทั้งทางด้านความเร็วและคุณภาพของภาพที่ผ่านการประมวลผลแล้ว

2.4.1 วิธีทรานส์ฟอร์ม (transform method)

2.4.1.1 ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (discrete Fourier transform : DFT)

อาจกล่าวได้ว่า ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มเป็นการทรานส์ฟอร์มที่สำคัญที่สุดแบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นการทรานส์ฟอร์มที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณใน spatial domain และโดเมนของความถี่อย่างแท้จริง ทำให้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ และการกรองสัญญาณ (filtering) สำหรับสัญญาณดิจิทัล ทั้งนี้ รูปแบบการทรานส์ฟอร์มในแบบดิสครีตทั้งแบบแปลงไปและแปลงกลับ แสดงอยู่ในสมการที่ (2.33ก) และ (2.33ข) ตามลำดับ

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) e^{-j2\pi\left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)} \quad (2.33ก)$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi\left(\frac{xu}{M} + \frac{yv}{N}\right)} \quad (2.33ข)$$

โดยที่ $f(x, y)$ เป็นข้อมูลภาพใน spatial domain

$F(u, v)$ เป็นข้อมูลภาพใน frequency domain และ

M และ N เป็นขนาดความกว้างยาวของภาพ ปกติจะเลือกใช้ให้มีค่าเท่ากัน และถ้า

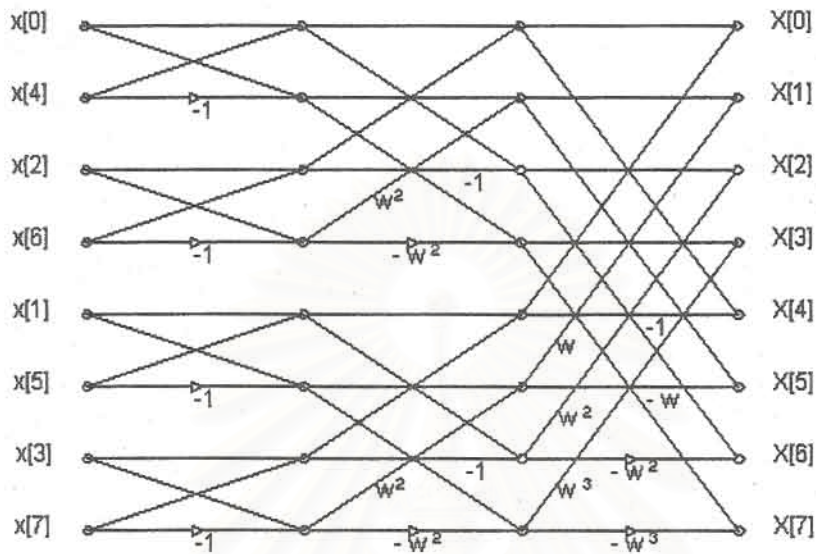
$$M = N = 2^k \quad , \quad k \text{ เป็นเลขจำนวนเต็มบวก}$$

การคำนวณฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตจะทำโดยใช้อัลกอริทึมในการคำนวณอย่างรวดเร็วที่เรียกว่า fast Fourier transform หรือ FFT ที่ใช้หลักการแบ่งกลุ่มข้อมูลในทางเวลา (decimation in time) ร่วมกับคุณสมบัติสมมาตรของ exponential operator และเพื่อให้อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้มีความยืดหยุ่นที่จะปรับใช้กับภาพขนาดต่าง ๆ กันได้หลากหลาย จึงเลือกใช้อัลกอริทึม FFT แบบ Radix-2 หรือ 2-Radix นั่นคือข้อมูลที่จะนำมาคำนวณมีจำนวนเป็น 2^k ทำให้การแบ่งกลุ่มข้อมูลจะแบ่งเป็นสองส่วนตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ และทำการคำนวณที่เรียกว่า Butterfly computation ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.17

2.4.1.2 โคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (discrete cosine transform : DCT)

โคไซน์ทรานส์ฟอร์มพัฒนาจากฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มให้ใช้กับสัญญาณจริงเท่านั้น อีกทั้งผลการแปลงที่ได้ก็เป็นค่าจริงด้วยเช่นกัน คุณสมบัติที่สำคัญของโคไซน์ทรานส์ฟอร์มคือความสามารถในการให้ผลการแปลงที่มีแนวโน้มที่ค่าความถี่ส่วนใหญ่กระจายตัวอย่างหนาแน่นในย่านความถี่ต่ำ จากคุณสมบัตินี้ ทำให้โคไซน์ทรานส์ฟอร์มมีประโยชน์มากในงานด้านบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression) อัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณโคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตจะคล้ายคลึงกับของฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต จึงดัดแปลง FFT เพื่อใช้ในการคำนวณทั้งแปลงไปและกลับของโคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตได้เป็นอย่างดี ที่

สำคัญคือใช้เวลาและหน่วยความจำในการทำงานน้อยกว่าของฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม โคไซน์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตทั้งแปลงไปและแปลงกลับแสดงในสมการที่ (2.34ก) และ (2.34ข) ตามลำดับ และมีอัลกอริทึมในการคำนวณ DCT อย่างเร็วที่เป็นแบบที่เสนอโดย B.G.Lee แสดงอยู่ในรูปที่



รูปที่ 2.17 อัลกอริทึม FFT แบบ Radix-2 ในการคำนวณ DFT

$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2.34ก)$$

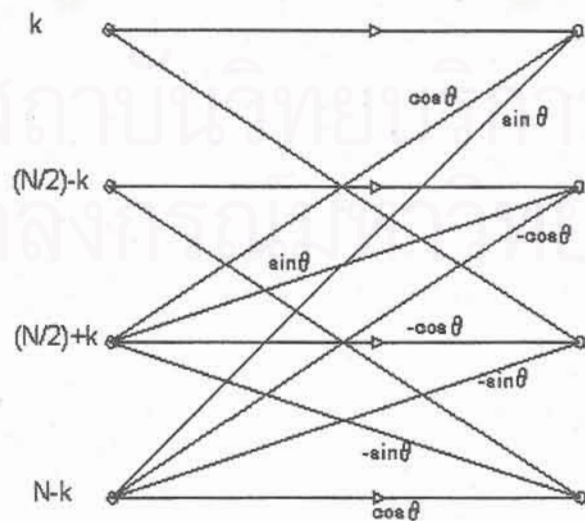
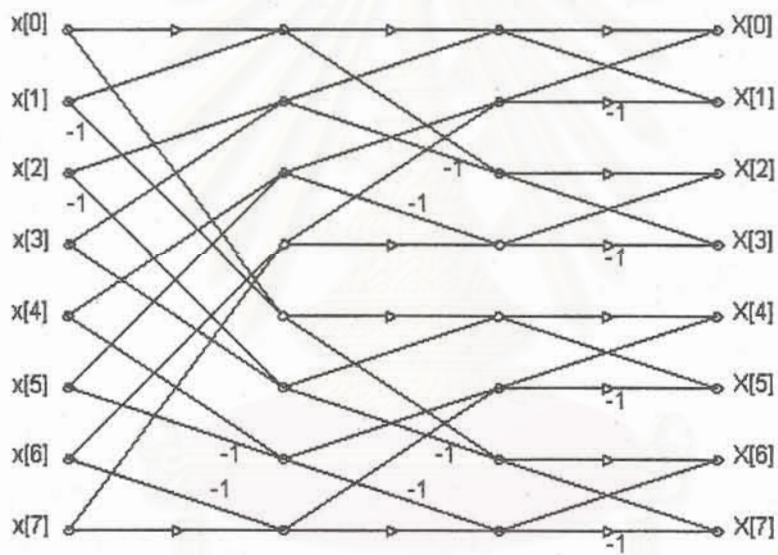
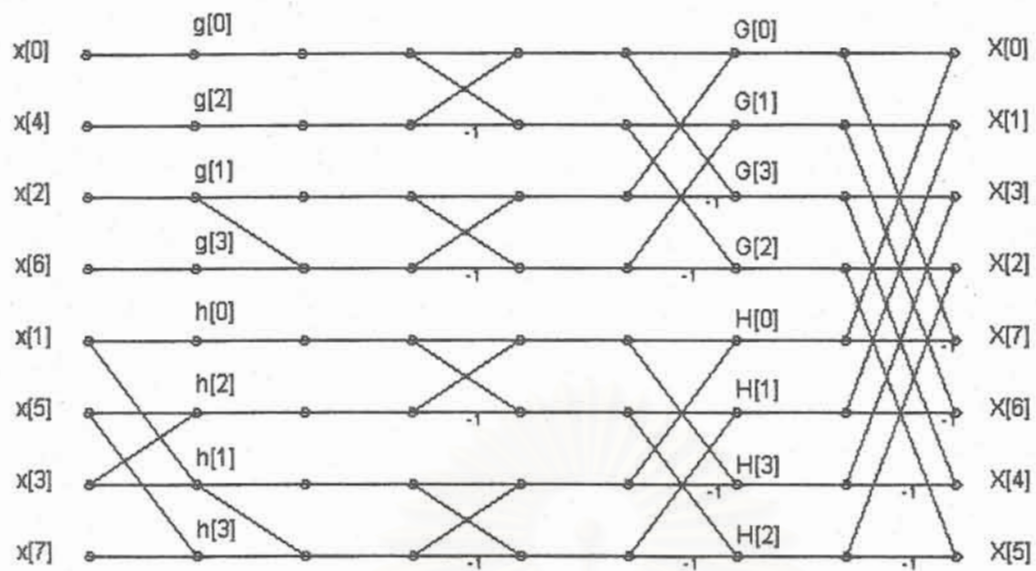
$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v) C(u, v) \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2.34ข)$$

โดยที่

$$\alpha(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} \dots, & k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \dots, & k \neq 0 \end{cases}$$

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.18 อัลกอริทึมในการคำนวณ DCT อย่างเร็ว

2.4.1.3 ฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต (discrete Hadamard transform : DHT)

ฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มเป็นการทรานส์ฟอร์มแบบเดียว ที่ไม่มีฟังก์ชันไซน์เป็นตัวกระทำ (operator) มีแต่ค่าบวกหนึ่งหรือลบหนึ่ง ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด เหมาะสมกับการใช้บีบอัดข้อมูลภาพที่รายละเอียดของภาพมีความสัมพันธ์ระหว่างกันสูง (highly correlated image) เช่นภาพที่มีองค์ประกอบหรือรายละเอียดเป็นแบบรายคาบ ที่สำคัญเป็นการทรานส์ฟอร์มที่มีความสมมาตรทั้งการแปลงไปและแปลงกลับ ดังนั้นอัลกอริทึมของการแปลงทั้งสองทางจะเหมือนกัน รูปแบบของฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มทั้งแปลงไปและกลับแสดงอยู่ในสมการที่ (2.35)

$$H(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) (-1)^{p(x, y, u, v)} \quad (2.35)$$

โดยที่ $p(x, y, u, v) = \sum_{i=0}^{k-1} (u_i x_i + v_i y_i)$ และ

$u_i, v_i, x_i,$ และ y_i เป็นค่าของบิตที่ i ของค่าไบนารีของ $u, v, x,$ และ y ตามลำดับ

k เป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่ $N = 2^k$

อัลกอริทึมในการคำนวณฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีต จะเหมือนกับของฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มแบบดิสครีตทั้งหมด ยกเว้นการปรับเปลี่ยนตัวคูณที่อยู่ในรูปของ exponential term ไปเป็น $+1$ และ -1 แทน หมายความว่าไม่ต้องมีการคูณกันจริง ๆ ในการประมวลผล ซึ่งกระบวนการคูณกันเป็นงานส่วนที่ใช้เวลามากที่สุดในการประมวลผล และเป็นเหตุผลที่การคำนวณ DHT จึงทำได้เร็วกว่า 2 เทคนิคข้างต้น

2.4.2 การทำ bit allocation

การเข้ารหัสข้อมูลภาพโดยการทรานส์ฟอร์มมีสองส่วนใหญ่ คือ ส่วนของการทรานส์ฟอร์มภาพ และส่วนของการทำ bit allocation ส่วนที่สองนี้เป็นส่วนที่ทำให้การเข้ารหัสโดยการทรานส์ฟอร์มบรรลุวัตถุประสงค์สำคัญของการเข้ารหัสภาพที่มีข้อมูลปริมาณมหาศาล คือการลดจำนวนข้อมูลลง แต่ชดเชยด้วยการสูญหายของข้อมูลบางส่วน ทั้งนี้ คุณภาพของภาพที่ผ่านการเข้ารหัสด้วยวิธีนี้จะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐานต่าง ๆ และเนื่องจากการเข้ารหัสที่มีการสูญหายของข้อมูล เราจึงเรียกว่า การเข้ารหัสภาพที่มีการสูญเสีย (lossy image coding) ดังที่ได้กล่าวถึงแต่ต้นว่า การทำ bit allocation มี 2 แนวทาง ดังนี้

2.4.2.1 Zonal coding

เป็นการลดข้อมูลโดยพิจารณาตัดค่าสัมประสิทธิ์ที่ค่าความถี่สูงออกไป โดยใช้หน้าต่างที่มีรูปร่างแน่นอนที่ปรับขนาดได้ แบ่งออกได้เป็น

2.4.2.1.1 วิธีซิกแซก (Zigzagging method)

วิธีซิกแซกเป็นการคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่ค่าความถี่สูงไว้ โดยไม่ต้องใช้หน้ากากก็ได้ เพราะจะเริ่มคัดเลือกจากจุดกำเนิด (origin) ซึ่งเป็นตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นค่าคงตัวหรือค่ากระแสตรง (DC component) จากนั้นจะไล่พิจารณาคัดเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่ค่าความถี่สูงขึ้น ๆ ในแบบซิกแซก ดังรูปที่ 2.19ก ทำให้มีความยืดหยุ่นในการเลือกอัตราบีบอัด (compression ratio) แต่ถ้าใช้หน้ากาก (ที่มีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยม หรือ triangular mask) อัตราบีบอัดจะถูกกำหนดให้เป็นค่า ๆ ที่แน่นอนตามขนาดหน้ากากที่เลือกใช้



รูปที่ 2.19 หน้ากากที่ใช้ในการทำ bit allocation แบบ zonal coding

2.4.2.1.2 หน้ากากวงกลม (circular mask)

เนื่องจากอุปกรณ์บันทึกภาพ ตลอดจนระบบทางภาพต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่มีลักษณะสมมาตรเชิงวงกลม (circular symmetry) โครงการสิ่งประดิษฐ์นี้จึงเสนอหน้ากากวงกลมในการลดข้อมูลสำหรับการเข้ารหัสภาพไว้ด้วย ดังรูปที่ 2.19ข การสร้างหน้ากากนี้จำเป็นต้องใช้การคำนวณมาก เพราะต้องมีการแปลงค่าความถี่ที่วัดตามรัศมีจากจุดกำเนิด ที่ใช้ระบบจุดตัดแบบวงกลม (circular coordinate) ให้เป็นแบบคาร์ทีเซียน (Cartesian or rectangular coordinate) เพื่อกำหนดว่าจุดภาพใดที่ควรเลือกไว้เพื่อลดความยุ่งยากในการกำหนดค่าความถี่ตัดขอบ (cutoff frequency) เพื่อนำไปคำนวณหาขนาดของหน้ากาก จึงได้เสนอให้ใช้การกำหนดค่าอัตราส่วนบีบอัดแทน ที่อาจให้รูปร่างของหน้ากากผิดเพี้ยนไปจากความสมมาตรได้เล็กน้อย

2.4.2.1.3 หน้ากากสี่เหลี่ยม (rectangular mask)

หน้ากากสี่เหลี่ยมถูกเสนอโดยโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้เช่นเดียวกับหน้ากากวงกลม ดังรูปที่ 2.19ค โดยมีวัตถุประสงค์ของการให้เกิดความสอดคล้องกับการกระจายของค่าความถี่บนภาพที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม (ถ้าภาพมีรูปร่างจัตุรัส หน้ากากจะเป็นแบบจัตุรัสด้วย) ที่ค่าความถี่สูงสุดในแนวทแยงของภาพเทียบกับจุดกำเนิดจะมีสูงกว่าแนวอื่น ๆ และในแนวนอนและแนวตั้งเทียบกับจุดกำเนิดจะมีค่าความถี่สูงน้อยกว่าแนวอื่น ๆ อีกทั้งการสร้างหน้ากากลักษณะนี้ทำได้ง่าย เช่นกำหนดแต่ละจุดตัดที่ไกลที่สุดนับจากจุดกำเนิด หรือกำหนดด้วยอัตราส่วนบีบอัด ก็ได้ ซึ่งวิธีกำหนดด้วยค่าอัตราส่วนจะทำให้ได้หน้ากากที่ผิดเพี้ยนไปจากความสมมาตรเล็กน้อย เช่นเดียวกับที่ใช้กับหน้ากากจัตุรัส

2.4.2.2 Thresholding

เป็นการลดจำนวนข้อมูลลงโดยพิจารณาคัดเลือกเฉพาะที่มีขนาดสูงเกินกว่าค่า
ธรี่ชโฮลด์ที่กำหนดไว้ เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์ของความถี่ที่มีขนาดสูง ๆ มีโอกาสที่จะเป็นส่วนสำคัญของ
ข้อมูลของภาพใน spatial domain ทำให้เป็นค่าที่จำเป็นต่อการสร้างคืนกลับภาพ (image reconstruction)
ข้อด้อยของวิธีการนี้คือ การต้องเก็บรักษาข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของค่าสัมประสิทธิ์ที่คัดเลือกไว้ด้วย ทำให้ส่ง
ผลต่ออัตราส่วนบีบอัดโดยรวมของภาพ ดังสมการที่ (2.36)

$$g(x,y) = \begin{cases} f(x,y) & , f(x,y) > T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases} \quad (2.36)$$

โดยที่ T เป็นค่าธรี่ชโฮลด์

2.5 แนวทางการออกแบบโปรแกรม

เนื่องจากเทคนิคการประมวลผลที่กล่าวถึงในหัวข้อต่าง ๆ ข้างต้น สามารถจัดรวมเป็นกลุ่มได้ 3 กลุ่ม
หลัก คือ กลุ่มการวิเคราะห์ภาพ กลุ่มการปรับปรุงคุณภาพของภาพ และกลุ่มการบีบอัดภาพ สำหรับกลุ่มการ
วิเคราะห์ภาพ จะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยหรือส่วนลงไปได้อีกชั้นหนึ่ง คือ ส่วนการปรับแต่งภาพ ส่วนการแบ่ง
ส่วนภาพ และส่วนการกรองภาพ ก่อนจะถึงเทคนิคการประมวลผลต่าง ๆ เช่นเดียวกับสองกลุ่มที่เหลือ ส่วน
กลุ่มการบีบอัดภาพ เมื่อเลือกเทคนิคการประมวลผลภาพ จะมีการทำงานตามขั้นตอน ๆ ของกระบวนการบีบ
อัดภาพ หรือการเข้ารหัสภาพโดยการทรานส์ฟอร์ม เป็นขั้น ๆ ไป การจัดการเหล่านี้สามารถแสดงด้วยโครง
สร้าง ดังนี้

- การวิเคราะห์ภาพ
 - การปรับแต่งภาพ
 - การทำภาพเนกาทีฟ
 - การปรับแต่งคอนทราสต์
 - แบบทั่วไป
 - แบบค่าร้อยละ
 - การลดช่วงความลึกของภาพ
 - การเฉือนภาพ
 - การเฉือนระนาบตามลำดับบิต
 - การเฉือนตามระดับสีเทา
 - การเฉือนตามช่วงระดับสีเทา
 - การแบ่งส่วนภาพ
 - การตรวจรู้แนวเส้น
 - การตรวจรู้แนวขอบ
 - วิธีการเคียนต์

- ตัวดำเนินการแบบไซเบล
 - ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์
 - วิธีลาปลาเซียน
 - การตรวจรู้ขอบแบบแค่นี้
- การกรองภาพ
 - ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ
 - การกรองใน spatial domain
 - การกรองในโดเมนของความถี่
 - ตัวกรองอุดมคติ
 - ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ
 - ตัวกรองผ่านความถี่สูง
 - การกรองใน spatial domain
 - การกรองในโดเมนของความถี่
 - ตัวกรองอุดมคติ
 - ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ
 - ตัวกรองมัลติฐาน
 - ตัวกรองมัลติฐานเทียม
 - ตัวกรองยกค่าความถี่สูง
 - ตัวกรองอนุพันธ์
 - ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสส์เกรเดียนต์
 - ตัวดำเนินการแบบไซเบล
 - ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์
- การปรับปรุงคุณภาพของภาพ
 - การทำภาพให้คมชัด
 - การทำภาพให้นุ่มนวลหรือมัว
 - การกระจายค่าสีโตแกรม
 - การแจกแจงค่าสีโตแกรม
 - การกระจายสม่ำเสมอ
 - การกระจายพาราโบล่า
 - การกระจายเอ็กซ์โพเนนเชียล
 - ทรานส์ฟอร์มเชิงเส้น
 - ทรานส์ฟอร์มพาราโบล่า
 - ทรานส์ฟอร์มทั่วไป
 - การกรองแบบไฮโมอร์ฟิก
- การบีบอัดภาพ
 - การแบ่งซอยภาพ
 - การทรานส์ฟอร์ม
 - ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม

- โคไซน์ทรานส์ฟอร์ม
- ฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์ม
- การทำ bit allocation
 - Zonal coding
 - Zigzagging method
 - Circular method
 - Rectangular method
 - Threshoding
- การทรานส์ฟอร์มกลับ (เรียกใช้อัลกอริทึมตามแบบทรานส์ฟอร์มที่เลือกในขั้นทรานส์ฟอร์ม)
- การเปรียบเทียบผลกับภาพต้นฉบับ
- การคำนวณค่าผิดพลาด

จากโครงสร้างดังกล่าว แนวทางการออกแบบโปรแกรมจึงเน้นการทำอยู่ในรูปของมอดูลของฟังก์ชันต่าง ๆ ซึ่งเทคนิคการประมวลผลส่วนใหญ่จะพัฒนาให้อยู่ในรูปมอดูลย่อย ๆ เพื่อให้เรียกใช้งานโดยมอดูลหลักของโปรแกรม หรือโดยมอดูลของเทคนิคการประมวลผลอื่น ๆ อีกต่อหนึ่ง โครงสร้างของโปรแกรมที่อยู่ในรูปแบบของมอดูลลักษณะนี้ สร้างความสะดวกทั้งในการเรียนการสอน และในการวิจัย เนื่องจากสามารถศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ในกลุ่มเชิงเปรียบเทียบ ในกรณีที่มีการพัฒนาระบบประมวลผลภาพดิจิทัล เทคนิคในแต่ละกลุ่มของโปรแกรมที่เหมาะสมจะถูกเลือกนำไปใช้ในการประมวลผลขั้นต้น (preprocessing) และการประมวลผล (processing) หลักอย่างไรวินั้น จะขึ้นกับลักษณะเฉพาะของแต่ละงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 ผลการทดสอบโปรแกรม

3.1 คำนำ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นใช้งาน จะมีฟังก์ชันในการประมวลผลแบ่งเป็นกลุ่มย่อยที่มีวัตถุประสงค์หลักร่วมกัน เช่น การกรอง (filtering) การแบ่งส่วน (segmentation) เพราะการรวมกลุ่มย่อยเช่นนี้ จะทำให้สะดวกต่อการสาธิตและการใช้งานให้สอดคล้องกับการจัดหัวข้อของหนังสือประมวลผลภาพดิจิทัลส่วนมาก แทนที่จะทำการแบ่งออกเป็นกลุ่ม การวิเคราะห์ การเข้ารหัสภาพโดยการทรานส์ฟอร์ม และการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ที่บางกลุ่มอาจยังมีความแตกต่างของฟังก์ชันในเชิงหลักการหรือแนวทางการทำงานออกจากกันค่อนข้างเด่นชัด ยิ่งไปกว่านั้น บางฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่เป็นส่วนประกอบของเทคนิคอื่นด้วย เช่น การกระจายค่าฮิสโตแกรมจะเป็นเทคนิคย่อยของการแจกแจงค่าฮิสโตแกรม เป็นต้น และบางฟังก์ชันสามารถสนองตอบต่อวัตถุประสงค์ที่หลากหลายได้ เช่น เทคนิคการประมาณค่าเกรเดียนต์ จะปรากฏอยู่ทั้งในเรื่องของการแบ่งส่วนภาพ (image segmentation) และการกรองภาพ (image filtering) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ การออกแบบโปรแกรมของโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้จึงต้องคำนึงถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ดังกล่าว เพื่อให้โปรแกรมมีความยืดหยุ่นที่จะรองรับเงื่อนไขเหล่านี้ได้ และสามารถลดขนาดของโปรแกรมลงได้ อีกทั้งการใช้ประโยชน์ในงานวิจัยและพัฒนาอื่น ๆ จะทำได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว เนื่องจากสามารถเลือกเฉพาะฟังก์ชันที่จำเป็นเท่านั้น ยิ่งไปกว่านั้น เทคนิคใหม่ ๆ ที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในโครงการต่าง ๆ และเห็นว่ามีความเกี่ยวข้องต่อการศึกษาค้นคว้าจริง ก็สามารถนำมาผนวกไว้ในโปรแกรมนี้ได้ในอนาคต ดังนั้น เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางการออกแบบโปรแกรม จากนั้นจึงเป็นการทดสอบการใช้งาน (คู่มือการใช้งานแสดงอยู่ในภาคผนวก) และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.2 วิธีการประดิษฐ์

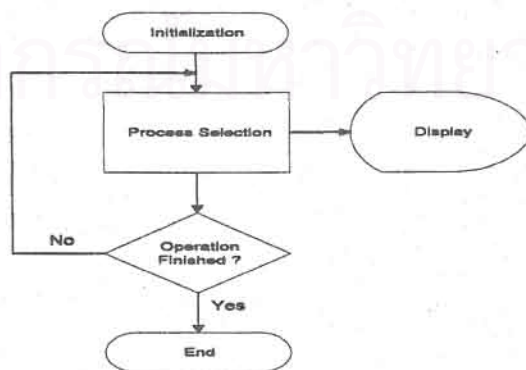
ดังที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้วถึงลักษณะของฟังก์ชันและหรือเทคนิคต่าง ๆ ที่จะพัฒนาไว้ในโปรแกรม และที่จะรองรับสิ่งใหม่ ๆ ในอนาคต โปรแกรมนี้จึงถูกกำหนดให้ประกอบขึ้นด้วยมอดูลต่าง ๆ ได้แก่

- มอดูลหลัก (main module) มีหน้าที่ กำหนดการเริ่มต้นทำงาน (initialization) ของโปรแกรม โดยรวม จัดการในเรื่องรับส่งข้อมูล เช่น การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำสำรอง การอ่านข้อมูลจากแผงแป้นอักขระ (keyboard) การแสดงผล (display) บนจอภาพ (monitor) การบันทึกข้อมูลลงจานบันทึก (disk) เป็นต้น จัดการเรียกใช้งานฟังก์ชันและเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล และจัดการเรียกใช้งานฟังก์ชันให้ความช่วยเหลือ (Help function)

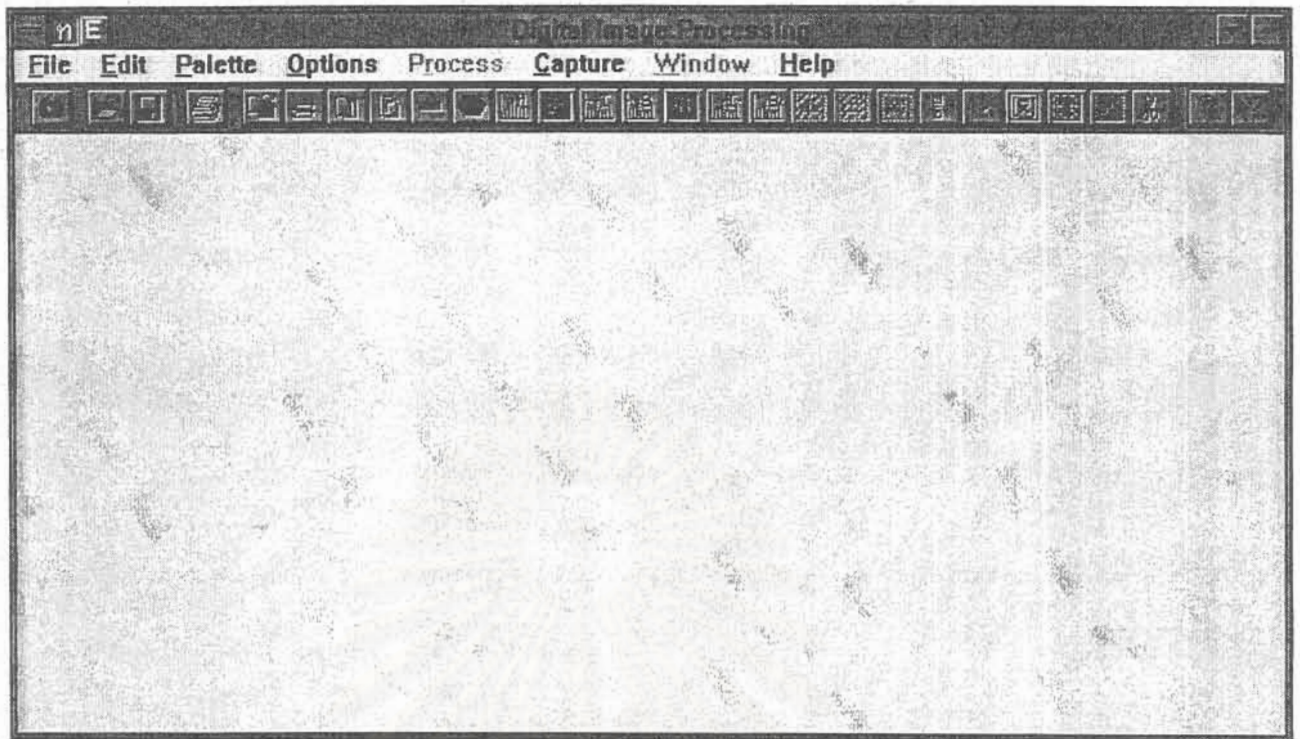
- มอดูลฟังก์ชัน (function or process module) เป็นมอดูลของแต่ละฟังก์ชันหรือเทคนิคต่าง ๆ บางมอดูลจัดเป็นมอดูลพื้นฐาน ที่เรียกใช้งานด้วยมอดูลอื่น ๆ บางมอดูลอาจถูกเรียกใช้งานในหัวข้อที่แตกต่างกันได้
- มอดูลฟังก์ชันให้ความช่วยเหลือ (Help function module) เป็นมอดูลที่เพิ่มเติมเข้าไปในโปรแกรม เพื่อให้ข้อมูลและคำอธิบายเชิงทฤษฎีเกี่ยวกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล สำหรับให้ความช่วยเหลือกับผู้ใช้งานในเมืองต้น

ด้วยเหตุนี้ ถ้าสามารถพัฒนาโปรแกรมให้อยู่ในรูปแบบของมอดูลจุดหมาย (object module) ก็จะทำให้บรรลุถึงแนวทางการออกแบบที่วางไว้แล้ว กล่าวคือ จะทำให้ได้โปรแกรมที่มีความกะทัดรัด มีความคล่องตัวในการปรับเปลี่ยนและหรือแก้ไขตลอดจนเพิ่มเติมสิ่งใหม่ ๆ ลงไปในอนาคต ยิ่งไปกว่านั้น แนวทางการพัฒนาโปรแกรมในรูปแบบมอดูลจุดหมายย่อย ๆ แบบนี้ ยังเหมาะสมต่อการดึงเอาบางมอดูลจุดหมายไปใช้ในงานวิจัยและพัฒนาอื่น ๆ ได้อีกด้วยเช่นกัน เพื่อให้บรรลุแนวทางดังกล่าวและให้โปรแกรมมีคุณสมบัติเคลื่อนย้ายได้ง่าย (portability) นำไปใช้บนระบบปฏิบัติการอื่น ๆ ได้สะดวก โปรแกรมนี้จึงถูกพัฒนาด้วยภาษาซี (C language)

เนื่องจากกำหนดให้โปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้นใช้งานในขั้นต้นนี้ วิงบน Microsoft Windows รุ่น 3.xx ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงอยู่ในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 แสดงหน้าต่างของโปรแกรมที่จะปรากฏออกมาเมื่อเรียกใช้งาน จะมีลักษณะกลมกลืนไปกับมาตรฐานของระบบปฏิบัติการดังกล่าวกำหนดไว้ คือ คำสั่งต่าง ๆ จะอยู่ในรายการเลือกแบบดึงลง (drop down menu) แต่ละแถวของรายการเลือกจะบรรจุด้วยคำสั่งคล้ายคลึงกับโปรแกรมทั่วไป ทำให้สะดวกต่อการใช้งานของผู้ที่มีความคุ้นเคยกับการทำงานบนระบบปฏิบัติการนี้ ทั้งนี้ จะมีรายการเลือกเฉพาะคำสั่งในการประมวลผลภาพดิจิทัลอยู่เพียงรายการเดียว ในกรณีนี้ บางคำสั่งมีทางเลือกของฟังก์ชันใช้งาน จะปรากฏรายการเลือกย่อยขยายไปทางขวาของรายการหลักเป็นลำดับขั้น



รูปที่ 3.1 ผังงาน (flowchart) ของโปรแกรมที่พัฒนา



รูปที่ 3.2 หน้าต่างของโปรแกรมที่พัฒนา

3.3 ผลการทดสอบ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ได้รับการทดสอบสองแบบด้วยกัน ได้แก่ การทดสอบหาจุดบกพร่อง (bug) ที่เกิดขึ้นกับการทำงานของโปรแกรมในระหว่างการพัฒนาแต่ละมอดูล และกับการทำงานโดยรวมของโปรแกรมที่พัฒนาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งกระทำโดยผู้วิจัยร่วมกับผู้ช่วยวิจัย ผลจากการทดสอบแบบนี้ทำให้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด แต่อาจจะมีจุดบกพร่องอื่น ๆ ที่ไม่ปรากฏให้เห็นในระหว่างการทดสอบก็ได้ เนื่องจาก เวลาใช้งานจริงอาจมีการใช้งานที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ หรือปัญหาในเรื่องการจัดสรรหน่วยความจำ และอื่น ๆ เพื่อให้โปรแกรมสามารถนำไปใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้แต่ต้น จึงทำการทดสอบแบบที่สองในระดับการใช้งานจริง ด้วยความช่วยเหลือของนิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา 2102676 Digital Image Processing ประมาณ 20 คน และมีนิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเช่นเดียวกันอีกประมาณ 10 คน ผลการทดสอบโดยรวมไม่ปรากฏปัญหาในการใช้งาน อีกทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียกใช้ฟังก์ชันในการประมวลผลต่าง ๆ มีความถูกต้อง โดยเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่แสดงในหนังสือทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ปรากฏอยู่ในรายการเอกสารอ้างอิงท้ายรายงานนี้ จุดบกพร่องที่อาจปรากฏอยู่บ้างเป็นผลมาจากการเพิ่มเติมฟังก์ชันในการประมวลผลอื่น ๆ เข้าไปในระหว่างการพัฒนาและการทดสอบ เพื่อให้โปรแกรมสนองต่อการใช้งานได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เช่น เรื่องของการควอนไทซ์ เรื่องของการสร้างสัญญาณรบกวนแบบต่าง ๆ

เป็นต้น และการเพิ่มเติมความสามารถในการให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านทฤษฎี และการใช้งาน ด้วย รายการเลือกความช่วยเหลือ (help menu)

รูปที่ 3.3 แสดงภาพต้นฉบับที่ใช้ในการทดสอบเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นบางเรื่องที่จะใช้ภาพต้นฉบับอื่น เพื่อให้เห็นผลการประมวลผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และตั้งแต่รูปที่ 3.4 ถึง 3.27 แสดงภาพผ่านกระบวนการประมวลผลด้วยเทคนิคต่าง ๆ กัน



รูปที่ 3.3 ภาพต้นฉบับสีเดียว ขนาด 256x256 จุดภาพ 256 ระดับสีเทา



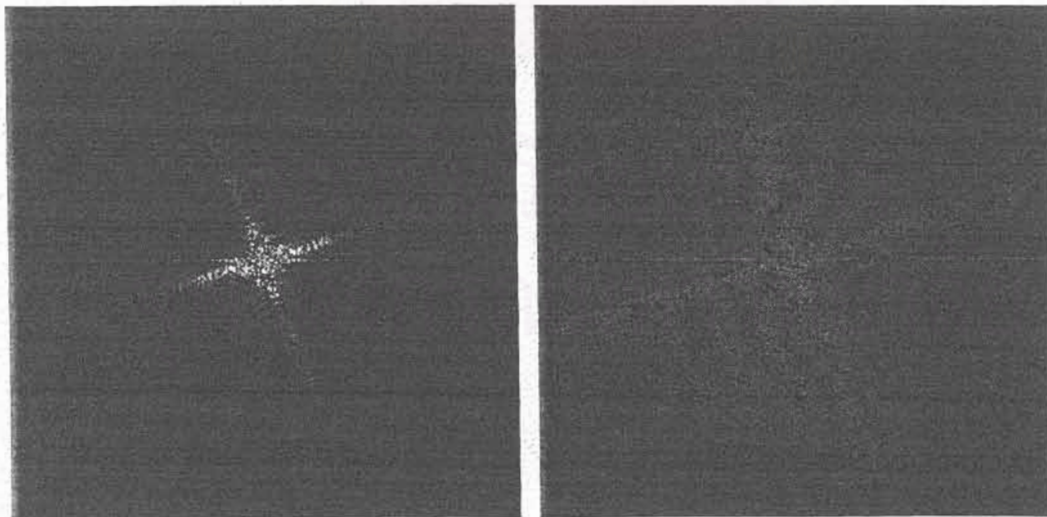
รูปที่ 3.4 ภาพผ่านการทำภาพเนกาทีฟ



รูปที่ 3.5 ภาพผ่านการปรับแต่งคอนทราสต์แบบทั่วไป



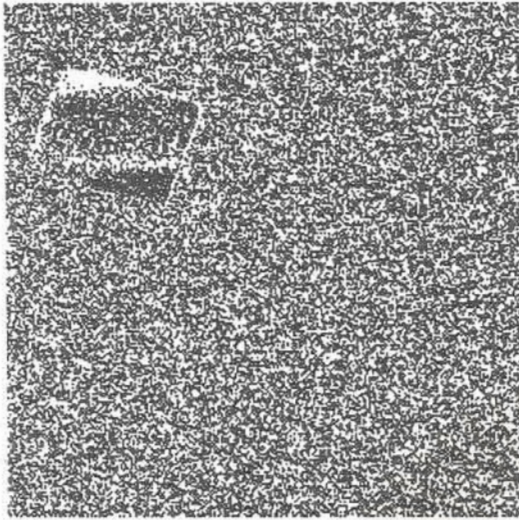
รูปที่ 3.6 ภาพผ่านการปรับแต่งคอนทราสต์แบบค่าร้อยละ



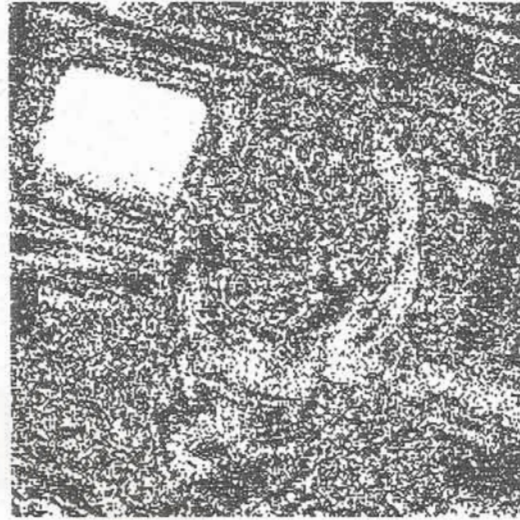
ภาพต้นฉบับ

ภาพผ่านการประมวลผล

รูปที่ 3.7 ภาพผ่านการลดช่วงความลึกของภาพ



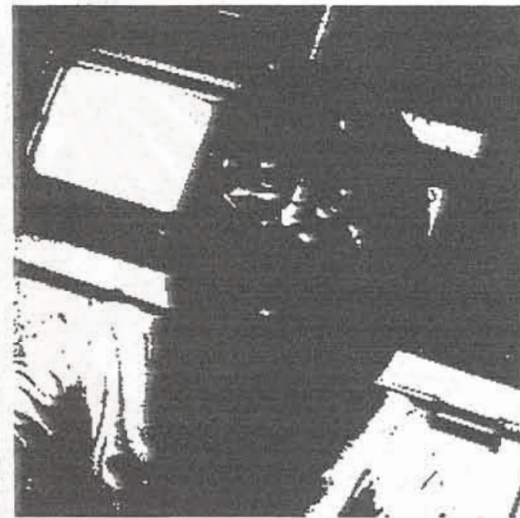
ก) Bit-plane 0



ข) Bit-plane 3



ค) Bit-plane 5



ง) Bit-plane 7

รูปที่ 3.8 ภาพผ่านการเฉือนระนาบตามลำดับบิต



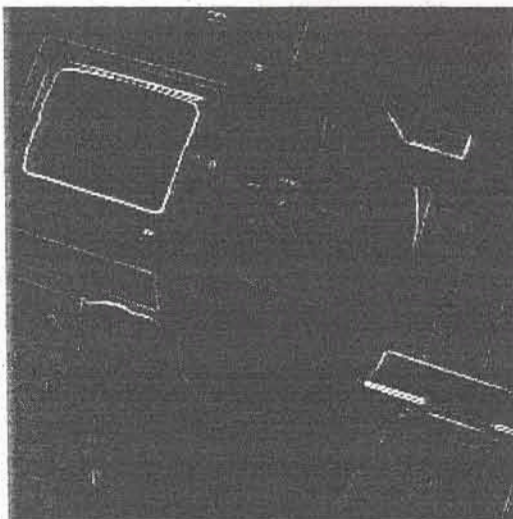
รูปที่ 3.9 ภาพผ่านการเฉือนตามระดับสีเทา



รูปที่ 3.10 ภาพผ่านการเดินตามช่วงระดับสี่เทา



รูปที่ 3.11 ภาพผ่านการตรวจรู้แนวเส้น



ก) ใช้ตัวดำเนินการโรเบิร์ตครอสส์เกรเดียนต์



ข) ใช้ตัวดำเนินการโซเบล

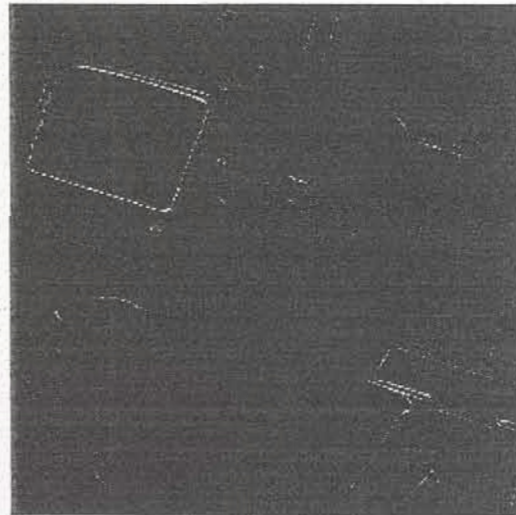


ค) ใช้ตัวดำเนินการพรีวิตต์

รูปที่ 3.12 ภาพผ่านการตรวจจู่ขอบด้วยวิธีเกรเดียนต์



ก) ใช้หน้ากากแบบ separable 8-neighbor



ข) ใช้หน้ากากแบบ 4-neighbor



ค) ใช้หน้ากากแบบ 8-neighbor



รูปที่ 3.14 ภาพผ่านการตรวจรู้ขอบแบบแคนนี่



รูปที่ 3.15 ภาพผ่านตัวกรองผ่านความถี่ต่ำใน spatial domain

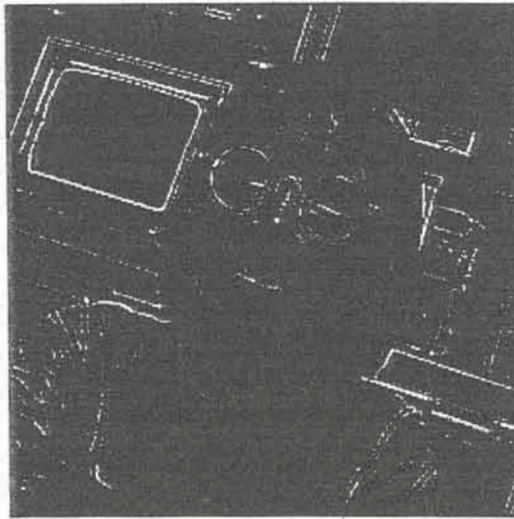


ก) ใช้ตัวกรองอุดมคติ



ข) ใช้ตัวกรองแบตเตอรี่เวิร์ธ

รูปที่ 3.16 ภาพผ่านตัวกรองผ่านความถี่ต่ำในโดเมนของความถี่



รูปที่ 3.17 ภาพผ่านตัวกรองผ่านความถี่สูงใน spatial domain



ก) ใช้ตัวกรองอุดมคติ



ข) ใช้ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ

รูปที่ 3.18 ภาพผ่านตัวกรองผ่านความถี่สูงในโดเมนของความถี่



3.19 ภาพผ่านตัวกรองมัธยฐาน



รูปที่ 3.20 ภาพผ่านตัวกรองมัลฐานเทียม



รูปที่ 3.21 ภาพผ่านตัวกรองยกค่าความถี่สูง



รูปที่ 3.22 ภาพผ่านการกระจายค่าฮิสโตแกรม

2.3.6.1.1 ทรานส์ฟอร์มเชิงเส้น (linear transformation)



ก) ใช้การทรานส์ฟอร์มเชิงเส้น



ข) ใช้การทรานส์ฟอร์มพาราโบลา



ค) ใช้การทรานส์ฟอร์มทั่วไป



ง) ใช้การกระจายสม่ำเสมอ



จ) ใช้การกระจายพาราโบลา



ฉ) ใช้การกระจายเอ็กซ์โพเนนเชียล



รูปที่ 3.24 ภาพผ่านการกรองแบบไฮโมเมอร์ฟิก

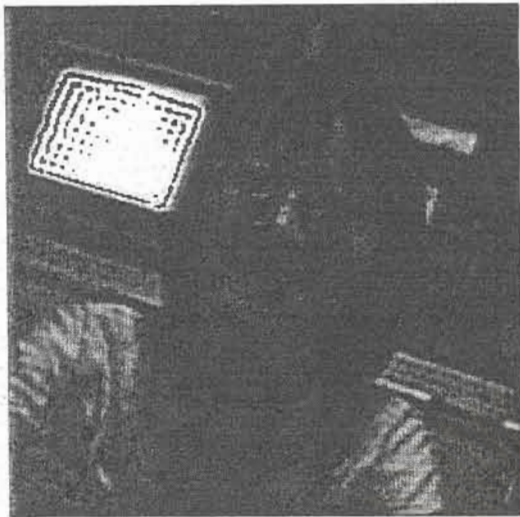


3.25ก.1) ภาพผ่านฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม

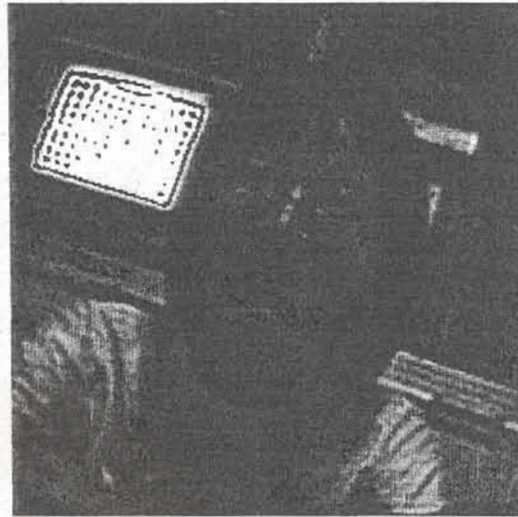


3.25ก.2) ภาพผ่านฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มกลับ

(3.25ก) ไม่มีการแบ่งเป็นภาพย่อย และไม่มีการทำ bit allocation



3.25x.1) วิธีขีดแซก



3.25x.2) วิธีวางกลม



3.25x.3) วิธีสี่เหลี่ยม

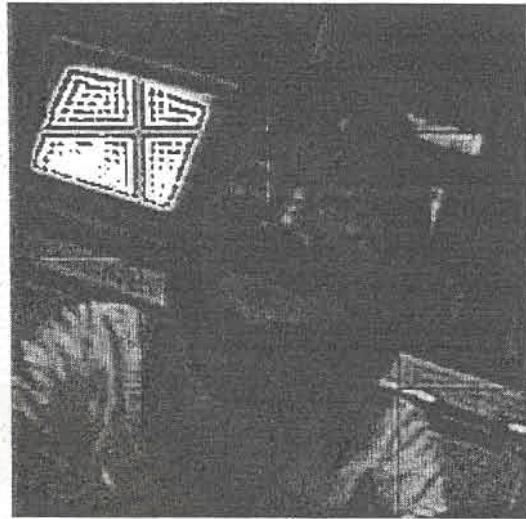


3.25x.4) วิธีเซิร์ชโพลด์

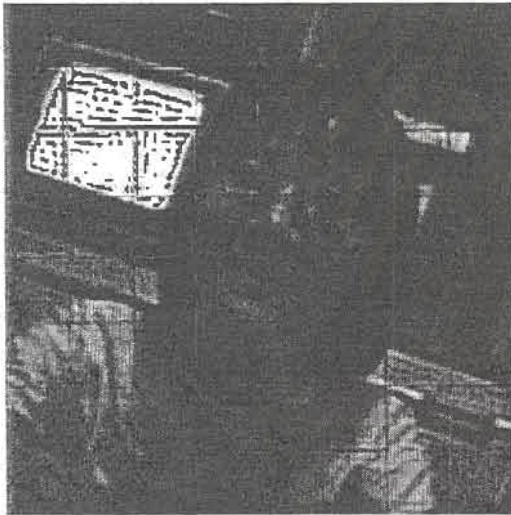
(3.25x) ไม่มีการแบ่งเป็นภาพย่อย แต่มีการทำ bit allocation ด้วยอัตราการบีบอัด 8 เท่า ยกเว้นวิธีเซิร์ชโพลด์



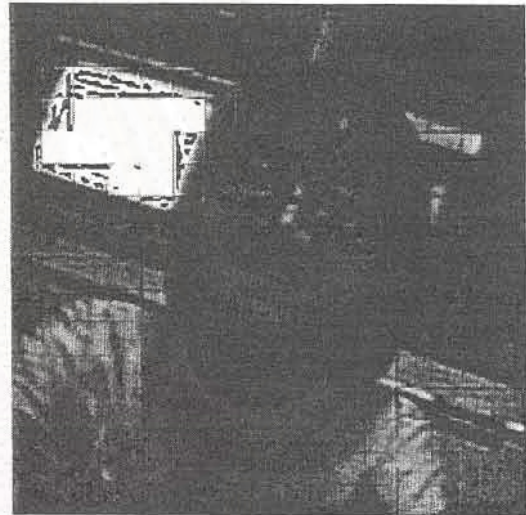
3.25ค.1) ภาพย่อยขนาด 128x128 4 ภาพ



3.25ค.2) ภาพย่อยขนาด 64x64 16 ภาพ



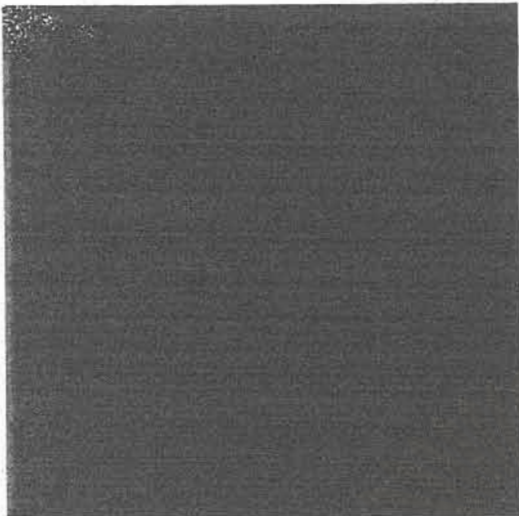
3.25ค.3) ภาพย่อยขนาด 32x32 64 ภาพ



3.25ค.4) ภาพย่อยขนาด 16x16 256 ภาพ

(3.25ค) มีการแบ่งเป็นภาพย่อย และทำ bit allocation ด้วยวิธีซิกแซก อัตราการบีบอัด 8 เท่า

รูปที่ 3.25 ภาพผ่านกระบวนการคำนวณฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม

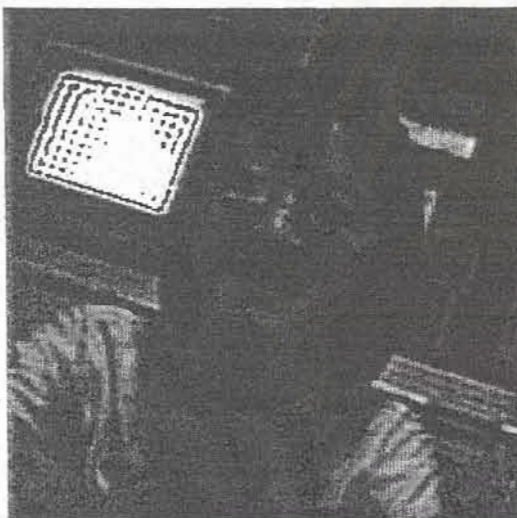


3.26ก.1) ภาพผ่านโคไซน์ทรานส์ฟอร์ม



3.26ก.2) ภาพผ่านโคไซน์ทรานส์ฟอร์มกลับ

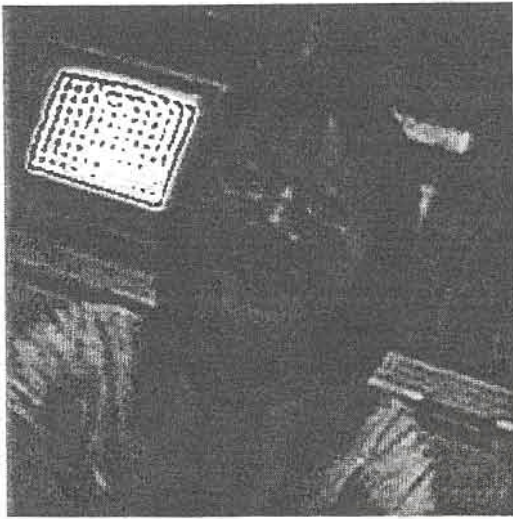
(3.26ก) ไม่มีการแบ่งเป็นภาพย่อย และไม่มีการทำ bit allocation



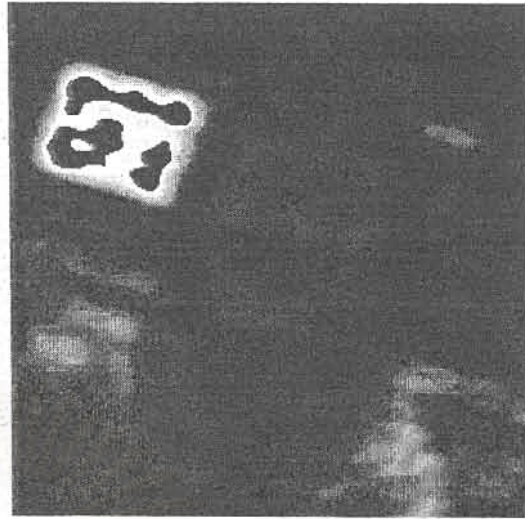
3.26ข.1) วิธีซิกแซก



3.26ข.2) วิธีวงกลม

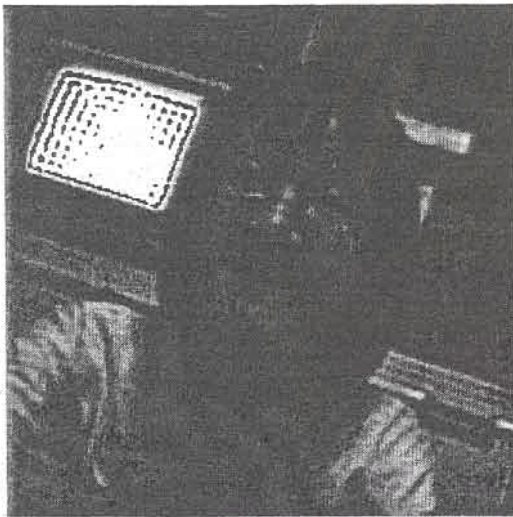


3.26ข.3) วิธีสี่เหลี่ยม

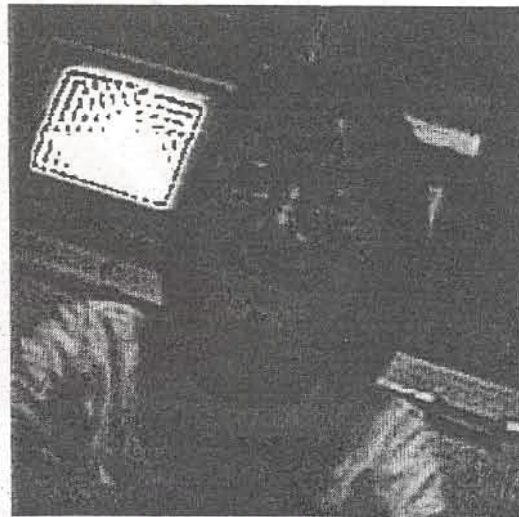


3.26ข.4) วิธีเร็ชโซลด์

(3.26ข) ไม่มีการแบ่งเป็นภาพย่อย แต่มีการทำ bit allocation ด้วยอัตราการบีบอัด 8 เท่ายกเว้นวิธีเร็ชโซลด์



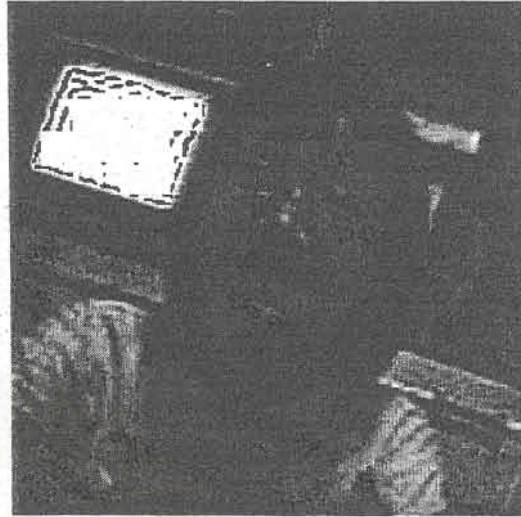
3.26ค.1) ภาพย่อยขนาด 128x128 4 ภาพ



3.26ค.2) ภาพย่อยขนาด 64x64 16 ภาพ



3.26ค.3) ภาพย่อยขนาด 32x32 64 ภาพ



3.26ค.4) ภาพย่อยขนาด 16x16 256 ภาพ

(3.26ค) มีการแบ่งเป็นภาพย่อย และทำ bit allocation ด้วยวิธีซิกแซก อัตราการบีบอัด 8 เท่า

รูปที่ 3.26 ภาพผ่านกระบวนการคำนวณโคไซน์ทรานส์ฟอร์ม

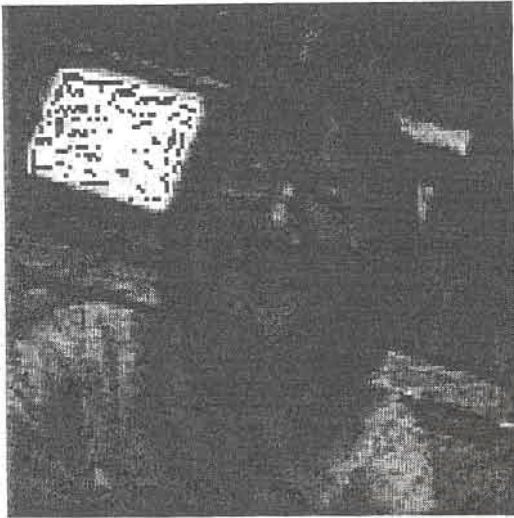


3.27ก.1) ภาพผ่านฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์ม

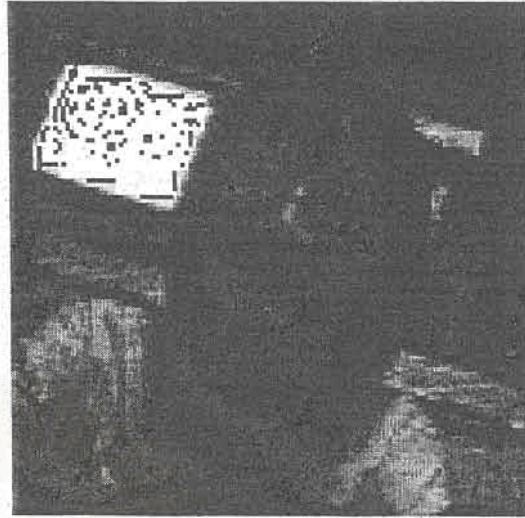


3.27ก.2) ภาพผ่านฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์มกลับ

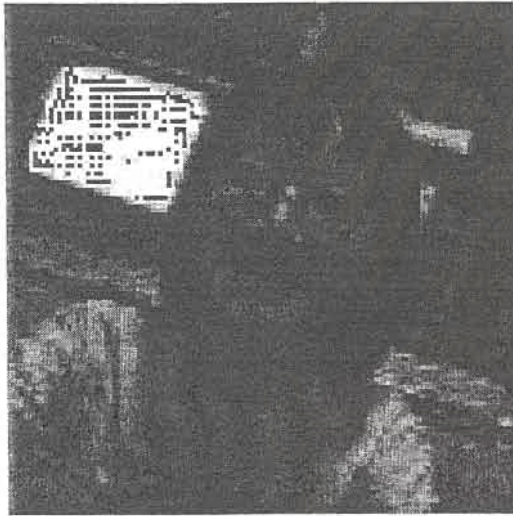
(3.27ก) ไม่มีการแบ่งเป็นภาพย่อย และไม่มีการทำ bit allocation



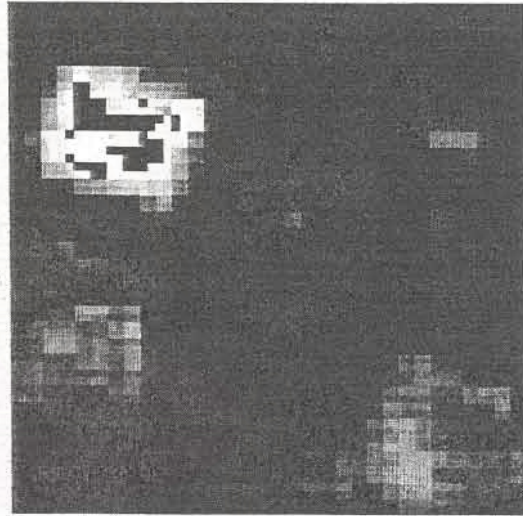
3.27x.1) วิธีขีดแซก



3.27x.2) วิธีวงกลม

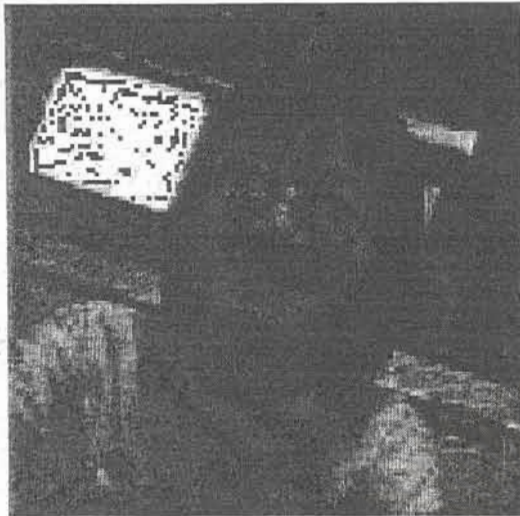


3.27x.3) วิธีสี่เหลี่ยม

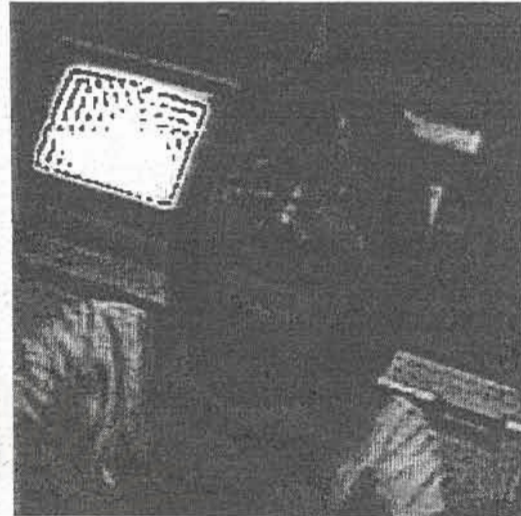


3.27x.4) วิธีเฮอร์ชโฮลด์

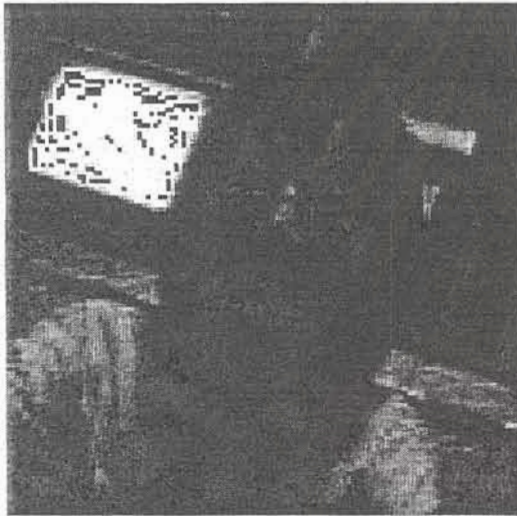
(3.27x) ไม่มีการแบ่งเป็นภาพย่อย แต่มีการทำ bit allocation ด้วยอัตราการบีบอัด 8 เท่ายกเว้นวิธีเฮอร์ชโฮลด์



3.27ค.1) ภาพย่อยขนาด 128x128 4 ภาพ



3.27ค.2) ภาพย่อยขนาด 64x64 16 ภาพ



3.27ค.3) ภาพย่อยขนาด 32x32 64 ภาพ



3.27ค.4) ภาพย่อยขนาด 16x16 256 ภาพ

(3.27ค) มีการแบ่งเป็นภาพย่อย และทำ bit allocation ด้วยวิธีซิกแซก อัตราการบีบอัด 8 เท่า

รูปที่ 3.27 ภาพผ่านกระบวนการคำนวณฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์ม

3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบโปรแกรม เกี่ยวกับเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่มีการระบุไว้แล้วนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยเทคนิคต่าง ๆ เป็นไปอย่างถูกต้องตามทฤษฎี ทั้งหมด ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของโปรแกรม ปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นบ้างประปราย ดังนี้

3.4.1 เวลาใช้งานโปรแกรมร่วมกับโปรแกรมอื่น จะทำให้โปรแกรมหยุดทำงาน ทั้งนี้ คาดว่าเป็นผลของการใช้หน่วยความจำทับซ้อนกัน เนื่องจากยังมีการจองและเรียกใช้หน่วยความจำที่ไม่ดีพอ หรืออาจจะมาจากความผิดพลาดในการคืนหน่วยความจำที่เลิกใช้แล้ว

3.4.2 ฟังก์ชันการทำ bit allocation ด้วยวิธี Thresholding อาจหยุดทำงาน ถ้ามีการกำหนดอัตราการบีบอัด ที่โปรแกรมไม่สามารถทำให้เป็นจริงได้ ในกรณีนี้จะขึ้นกับรายละเอียดของภาพที่ต้องการบีบอัด หรือขึ้นกับการป้อนค่าโดยผู้ใช้ อย่างไรก็ตาม ได้สร้างทางเลือกในการป้อนค่าเพื่อทำการบีบอัดตามวิธีนี้ โดยให้ป้อนค่าที่เป็นสัดส่วนกับขนาดสูงสุดของข้อมูลแทน จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณอัตราการบีบอัดให้ผู้ใช้พิจารณาทำงานต่อไป

3.4.3 ฟังก์ชันที่เพิ่มเติมเข้าไปในโปรแกรม ยังมีการทำงานที่ไม่ถูกต้องอยู่บ้าง ซึ่งต้องทำการแก้ไขในรุ่นต่อไป

3.4.4 การกรองโดยใช้ตัวกรองอนุพันธ์ (derivative filter) ไม่ได้แสดงผลการทดสอบ เนื่องจากเทคนิคที่ใช้จะเป็นเทคนิคเดียวกับการตรวจรูขอบโดยวิธีเกรเดียนต์ทุกประการ

3.4.5 การทำให้ภาพคมชัด (image sharpen) ไม่มีการแสดงผลการทดสอบเช่นเดียวกัน เนื่องจากเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการนี้จะเป็นเทคนิคเดียวกับการกรองผ่านความถี่สูง

3.4.6 การทำภาพให้นุ่มนวล (image softening) ก็ไม่มีการแสดงผลเช่นกัน เพราะกระบวนการที่ใช้จะเป็นกระบวนการเดียวกับการกรองผ่านความถี่ต่ำ หรือการกรองโดยใช้ตัวกรองมัลติฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 สรุป วิจาร์ณ และข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปและวิจารณ์

โปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล ที่พัฒนาขึ้นในโครงการ สิ่งประดิษฐ์ เป็นโปรแกรมที่ฟังก์ชันและหรือเทคนิคในการประมวลผลภาพอยู่ในรูปมอดูลย่อย ๆ เพื่อความสะดวกในการพัฒนา การดัดแปลง การเพิ่มเติม และการแก้ไข ตลอดจนการนำบางมอดูลไปใช้ในงานอื่น ๆ ฟังก์ชันและหรือเทคนิคที่บรรจุอยู่ในโปรแกรมประกอบด้วย 3 หัวข้อหลัก เฉพาะหัวข้อการวิเคราะห์ภาพยังแบ่งออกเป็นส่วน ๆ เป็น ส่วนการปรับแต่งภาพ ส่วนการแบ่งส่วนภาพ และส่วนการกรองภาพ ในแต่ละส่วนของหัวข้อการวิเคราะห์ และในหัวข้อการปรับปรุงคุณภาพ และหัวข้อการบีบอัด จะประกอบด้วยเทคนิคต่าง ๆ จำนวนมาก สำหรับหัวข้อการบีบอัด มีลำดับขั้นตอนในการทำงานแต่ละเทคนิคเป็นขั้น ๆ เริ่มตั้งแต่ การแบ่งซอยภาพออกเป็นภาพย่อย (subimage) การทรานส์ฟอร์มภาพ การทำ bit allocation การทรานส์ฟอร์มภาพกลับ การเปรียบเทียบภาพต้นฉบับกับภาพที่ผ่านการประมวลผล และการคำนวณหาค่าผิดพลาดในการประมวลผล การเรียงลำดับในกระบวนการต่างที่กล่าวถึงข้างต้น จะเป็นดังนี้

- การวิเคราะห์ภาพ
 - การปรับแต่งภาพ
 - การทำภาพเนกาทีฟ
 - การปรับแต่งคอนทราสต์
 - แบบทั่วไป
 - แบบค่าร้อยละ
 - การลดช่วงความลึกของภาพ
 - การเลื่อนภาพ
 - การเลื่อนระนาบตามลำดับบิต
 - การเลื่อนตามระดับสีเทา
 - การเลื่อนตามช่วงระดับสีเทา
 - การแบ่งส่วนภาพ
 - การตรวจรู้แนวเส้น
 - การตรวจรู้แนวขอบ
 - วิธีการเคียนต์
 - ตัวดำเนินการแบบไซเบล
 - ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์
 - วิธีลาปลาเซียน
 - การตรวจรู้ขอบแบบแคนนี่
 - การกรองภาพ
 - ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ

- การกรองใน spatial domain
 - การกรองในโดเมนของความถี่
 - ตัวกรองอุดมคติ
 - ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ
 - ตัวกรองผ่านความถี่สูง
 - การกรองใน spatial domain
 - การกรองในโดเมนของความถี่
 - ตัวกรองอุดมคติ
 - ตัวกรองบัตเตอร์เวิร์ธ
 - ตัวกรองมัชยฐาน
 - ตัวกรองมัชยฐานเทียม
 - ตัวกรองยกค่าความถี่สูง
 - ตัวกรองอนุพันธ์
 - ตัวดำเนินการแบบโรเบิร์ตครอสส์เกรเดียนต์
 - ตัวดำเนินการแบบโซเบล
 - ตัวดำเนินการแบบพรีวิตต์
- การปรับปรุงคุณภาพของภาพ
 - การทำภาพให้คมชัด
 - การทำภาพให้นุ่มนวลหรือมัว
 - การกระจายค่าสีสโตแกรม
 - การแจกแจงค่าสีสโตแกรม
 - การกระจายสม่ำเสมอ
 - การกระจายพาราโบล่า
 - การกระจายเอ็กซ์โพเนนเชียล
 - ทรานส์ฟอร์มเชิงเส้น
 - ทรานส์ฟอร์มพาราโบล่า
 - ทรานส์ฟอร์มทั่วไป
 - การกรองแบบไฮโมอร์ฟิก
- การบีบอัดภาพ
 - การแบ่งชอยภาพ
 - การทรานส์ฟอร์ม
 - ฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม
 - โคไซน์ทรานส์ฟอร์ม
 - ฮาดามาร์ดทรานส์ฟอร์ม
 - การทำ bit allocation
 - Zonal coding
 - Zigzaging method
 - Circular method

- Rectangular method
- Threshoding
 - การทราานส์ฟอร์มกลับ (เรียกใช้อัลกอริทึมตามแบบทราานส์ฟอร์มที่เลือกในชั้นทราานส์ฟอร์ม)
 - การเปรียบเทียบผลกับภาพต้นฉบับ
 - การคำนวณค่าผิดพลาด

ภาพที่จะทำการประมวลผลต้องมีรูปแบบอยู่ในนามสกุล BMP (จะเพิ่มความสามารถของโปรแกรมในการแปลงรูปแบบของภาพจากนามสกุลต่าง ๆ ให้เป็นรูปแบบนามสกุล BMP ต่อไป) และมีขนาด $2^k \times 2^k$, $k = 1, 2, \dots, 8$ เป็นภาพสี่เหลี่ยม มีระดับสีเทา 256 ระดับ (ใช้หน่วยความจำขนาด 8 บิตต่อจุดภาพ) โปรแกรมถูกพัฒนาให้วิ่งบน Microsoft Windows ตั้งแต่ รุ่น 3.00 ขึ้นไป ภาพที่ผ่านการประมวลผลจะสามารถเก็บลงจานบันทึกพร้อมตั้งชื่อได้ตามต้องการ ทั้งนี้ในการประมวลผลที่มีลำดับขั้นตอนการทำงานหลายขั้น เช่น กรณีการบีบอัดภาพ โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างสำหรับแสดงผลในแต่ละขั้นให้โดยอัตโนมัติ ที่สามารถเก็บข้อมูลในแต่ละหน้าต่างได้อย่างอิสระ หรือจะเปิดหน้าต่างของผลการประมวลผลหนึ่ง ๆ ไว้เทียบกับผลการประมวลผลอื่น ก็ได้เช่นกัน และยังมีส่วนช่วยเหลือที่เพิ่มเติมไว้ในตัวโปรแกรมเพื่อให้ความช่วยเหลือผู้ใช้งาน ในระหว่างการใช้โปรแกรม

ผลการทดสอบโปรแกรมทั้งในเรื่องความราบรื่นในการใช้งาน และความครบถ้วนของเทคนิคต่าง ๆ ที่ถูกบรรจุไว้ สรุปได้ดังนี้

1. ส่วนของการทำงาน จากการทดสอบเป็นระยะเวลานานกว่า 3 เดือน และโดยผู้ทดสอบจำนวนมาก เกือบจะไม่ประสบปัญหาใด ๆ ในการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าผู้ใช้งานปฏิบัติตามข้อกำหนดต่าง ๆ ของโปรแกรม เช่น รูปแบบและขนาดของภาพ การป้อนค่าต่าง ๆ ในระหว่างการประมวลผล เป็นต้น ปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเกือบทั้งหมดมาจากเทคนิคใหม่ ๆ ที่มีการเพิ่มเติมเข้าไปนอกเหนือจากที่ระบุไว้ในแต่แรก เนื่องจากส่วนที่เพิ่มเติมเข้าไปนี้ อาจไปก่อปัญหาเกี่ยวกับความขัดแย้งในการเรียกใช้หน่วยความจำ การส่งคืนหน่วยความจำ กับกระบวนการอื่น ๆ ตลอดจนปัญหาในเรื่อง overflow ในการคำนวณค่าต่าง ๆ
2. ส่วนของความครบถ้วนของเทคนิค จากการทดสอบโดยการตั้งโจทย์ปัญหาเชิงวิชาการให้กับผู้ทดสอบตามหัวข้อต่าง ๆ เท่าที่จะเป็นไปได้ สรุปได้ว่า เทคนิคที่บรรจุอยู่ในโปรแกรมสนองตอบต่อความต้องการหลัก ในการใช้งานด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล ได้อย่างครบถ้วน จะมียกเว้นสำหรับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะด้าน เช่น การการบีบอัดภาพแบบไม่สูญเสีย (lossless image compression) การประมวลผลภาพดิจิทัลทางการแพทย์บางอย่าง เป็นต้น

4.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การทำงานของโปรแกรมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ควรพัฒนาโปรแกรมนี้ต่อไปในหลายด้าน คือ

- ด้านความเร็วในการทำงาน เนื่องจากโปรแกรมนี้ถูกพัฒนาให้วิ่งบนระบบ Microsoft Windows รุ่น 3.XX ถึงแม้ว่าจะสามารถนำไปวิ่งบนระบบ Microsoft Windows'95 หรือ Windows NT ได้ก็ตาม แต่ก็เป็นการจำลองการทำงานของรุ่น 3.XX ทำให้การประมวลผลทำได้ไม่เร็วพอ บางเทคนิคใช้เวลานาน เช่น การกรองแบบไฮโมเมอร์ฟิก หรือการบีบอัดภาพ เป็นต้น ทั้งนี้ ได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมให้วิ่งบน Windows'95 โดยตรง ในขั้นทดสอบปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจมาก เนื่องจากความเร็วในการประมวลผลเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะโปรแกรมใช้ความสามารถในเรื่อง 32 บิต แทนที่ 16 บิตบนรุ่น 3.XX
- ด้านการจัดการหน่วยความจำ ปัญหาในการจัดสรรหน่วยความจำสำหรับการประมวลผลสำหรับเทคนิคต่าง ๆ ที่ยังคงมีอยู่ ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาโปรแกรมในส่วนนี้ตามมาตรฐานของ Microsoft Windows ก็ตาม โดยเฉพาะเมื่อมีการเรียกใช้เทคนิคการประมวลผลที่หลากหลายอย่างต่อเนื่อง จะต้องแก้ไขโดยการกำหนดเกณฑ์การเรียกใช้และคืนหน่วยความจำที่ชัดเจนยิ่งขึ้น และบรรจุไว้ในส่วนของมอดูลหลักเพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลา
- ด้านความครบถ้วนของเทคนิคการประมวลผล ถึงแม้ว่า จากการทดสอบโปรแกรมที่ดำเนินการไป จะให้ผลสรุปในด้านนี้เป็นที่น่าพอใจก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาจากวัตถุประสงค์โดยรวม และเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมประมวลผลภาพดิจิทัลที่มีจำหน่ายในตลาดแล้ว โปรแกรมนี้ควรมีการเพิ่มเติมเทคนิคอื่น ๆ ลงไปอีก เช่น การแบ่งส่วนภาพโดย Hough transform การบีบอัดภาพตามมาตรฐานต่าง ๆ (เช่น มาตรฐาน JPEG (Joint Photographic Expert Group) มาตรฐาน MPEG (Moving Picture Expert Group)) การเรียกกลับคืนภาพ (image restoration) การกำจัดหรือลดสัญญาณรบกวน (noise cleaning) เป็นต้น
- ด้านส่วนประกอบอื่น ๆ ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ได้รับการบรรจุไว้ในโปรแกรมนี้จัดได้ว่าเพียงพอต่อการใช้งาน แต่ยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ทั้งนี้กำลังพิจารณาเพิ่มเติมส่วนประกอบใช้สนับสนุนการทำงานของโปรแกรมรุ่นต่อไปในหลาย ๆ ด้าน เช่น ความสามารถในการเรียกใช้งานภาพหลายรูปแบบ ที่เดิมจำกัดเฉพาะนามสกุล BMP ให้สามารถใช้กับรูปแบบอื่นได้ด้วย โดยเฉพาะนามสกุล JPG ที่กำลังเป็นที่นิยมใช้งานกันมากบนเครื่องขายนานาชาติ การสั่งพิมพ์ภาพจากในโปรแกรม การตัดแปะภาพ เป็นต้น

บรรณานุกรม

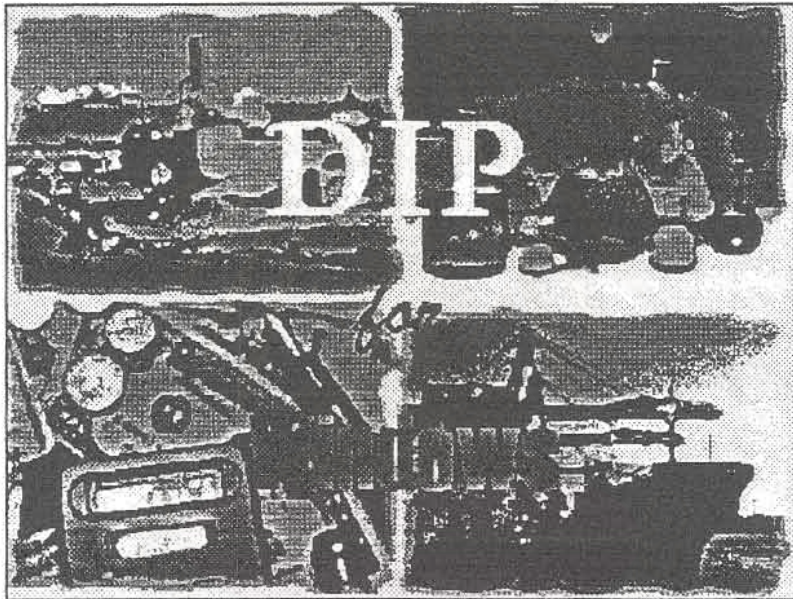
1. Andrews, "Computer Technique in Image Processing", Academic Press, 1970.
2. Andrews, and B.R. Hunt, "Digital Image Restoration", Prentice-Hall, 1977.
3. Banks, "Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition", Prentice-Hall, 1990.
4. Bates, and M.J. McDonnell, "Image Restoration and Reconstruction", Oxford, 1989.
5. Beauchamp, "Transform for Engineers: A Guide to Signal Processing", Oxford, 1987.
6. Clarke, "Transform Coding of Images", Academic Press, 1985.
7. El-Sharkawy, "A Multimedia Laboratory", Computer Applications in Engineering Education, Vol. 1(2), 1993, pp.129-140.
8. Ekstrom, M.P., "Digital Image Processing Techniques", Academic Pr, 1984.
9. Galbiati,Jr., "Machine Vision and Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1990.
10. Gonzalez, and R.E. Woods, "Digital Image Processing", Addison-Wesley, 1992.
11. Hall, "Computer Image Processing and Recognition", Academic Press, 1979.
12. Jain, "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1989.
13. Jayant, and P. Noll, "Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video", Prentice-Hall, 1984.
14. Jitapunkul, "Application du Traitement des Signaux Homomorphiques pour Ameliorer les Qualites des Images", Rapport du D.E.A., Universite de Droites, d'Economie et Sciences d'Aix-Marseille III, 1976.
15. Jitapunkul, "Etude d'un Systemes de Transmission par Densite d'Images de Television, Etude de l'Influence des Bruits et Mesures Objectives et Subjectives de la Qualite des Images Brouillees", These du Docteur d'Ingenieur, Universite de Droites, d'Economie et Sciences d'Aix-Marseille III, 1978.
16. Lim, "Two-Dimensional Signal and Image Processing", Prentice-Hall, 1990.
17. Lindley, C.A., "Practical Image Processing in C: Acquisition, Manipulation, and Storage", Wiley, 1991.
18. Low, "Introductory Computer Vision and Image Processing", McGraw-Hill, 1991.
19. Mattison, P.E., "Practical Digital Video with Programming Examples in C", Wiley, 1994.
20. Pearson, D., "Image Processing", McGraw-Hill, 1991.

21. Pitas, "Digital Image Processing Algorithms", Prentice-Hall, 1993.
22. Pratt, "Digital Image Processing", 2nd ed., Wiley, 1991.
23. Rosenfeld, and A.C. Kak, "Digital Picture Restoration", Prentice-Hall, 1982.
24. Russ, J.C., "The Image Processing Handbook", 2nd edition, IEEE Press, 1994.
25. Schalkoff, "Digital Image Processing and Computer Vision", Wiley, 1989.
26. Sid-Ahmed, M.A., "Image Processing: Theory, Algorithms, & Architectures", McGraw-Hill, 1995.
27. Teuber, "Digital Image Processing", Prentice-Hall, 1993.
28. Vernon, "Machine Vision: Automated Visual Inspection and Robot Vision", Prentice-Hall, 1991.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก) คู่มือการใช้งาน

โปรแกรมบีบอัด วิเคราะห์ และปรับปรุงคุณภาพสัญญาณภาพดิจิทัล

1 การติดตั้งโปรแกรม

1.1 ตรวจสอบว่ามีเพิ่มข้อมูลสำหรับการติดตั้งโปรแกรมครบทั้ง 4 แฟ้ม คือ

DIPWIN.EXE DIPWIN.ICO KIMTEST.HLP และ MSDNTB.DLL

1.2 ถ้าต้องการติดตั้งโปรแกรมในจานบันทึกข้อมูลแข็ง (harddisk) ให้ทำตามขั้นตอน ดังนี้

1.2.1 สร้างสารบบ (directory) ในตัวขับจานบันทึก (disk drive) ที่ต้องการ เช่น

X : \ **DIPDEMO**

โดยที่ X เป็นตัวขับจานบันทึกที่จะติดตั้งโปรแกรม และ

DIPDEMO เป็นชื่อสารบบที่สร้างขึ้น

1.2.2 ทำสำเนา (copy) เพิ่มข้อมูลทั้ง 4 แฟ้มในหัวข้อ 1.1 ลงในสารบบที่สร้างขึ้น เช่น

A : \ **COPY YYY.ZZZ X : \ DIPDEMO**

หมายความว่า เป็นการทำสำเนาเพิ่มข้อมูลจากตัวขับจานบันทึก A

ไปได้ในสารบบ DIPDEMO ในตัวขับจานบันทึก X

1.2.3 เปิด Microsoft Windows รุ่น 3.00 หรือหลังจากนั้น

1.2.4 สร้าง Program Group โดย

1.2.4.1 เลือกรายการ **New** จากรายการเลือก **File**

1.2.4.2 เลือกรายการ **Program Group**

1.2.4.3 พิมพ์ข้อความที่ต้องการลงในช่องของ **Description**

เพื่อตั้งชื่อ Program Group เช่น

Digital Image Processing

1.2.4.4 พิมพ์ข้อความที่ต้องการลงในช่องของ **Group File**

เพื่อกำหนดชื่อ Group File ให้กับ Program Group เช่น

DIPWIN

1.2.5 สร้าง Program Item โดยเปิด Program Group "Digital Image Processing"

1.2.5.1 เลือกรายการ **New** จากรายการเลือก **File**

1.2.5.2 เลือกรายการ **Program Item**

1.2.5.3 พิมพ์ข้อความที่ต้องการลงในช่องของ **Description**

เพื่อระบุชื่อสัญลักษณ์ (Icon) ที่จะอยู่ใน Program Group เช่น

DIPWIN 2.00

1.2.5.4 พิมพ์ข้อความที่ต้องการลงในช่องของ **Command Line**

เพื่อระบุสารบบที่มีโปรแกรม DIPWIN.EXE เช่น

X : \ DIPDEMO \ DIPWIN.EXE

1.2.5.5 พิมพ์ข้อความที่ต้องการลงในช่อง **Working Directory**

เพื่อระบุสารบบที่จะใช้งานระหว่างวิ่งโปรแกรม เช่น

X : \ DIPDEMO

1.2.5.6 สร้างสัญลักษณ์สำหรับโปรแกรม โดยเลือกกดปุ่ม **Change Icon**

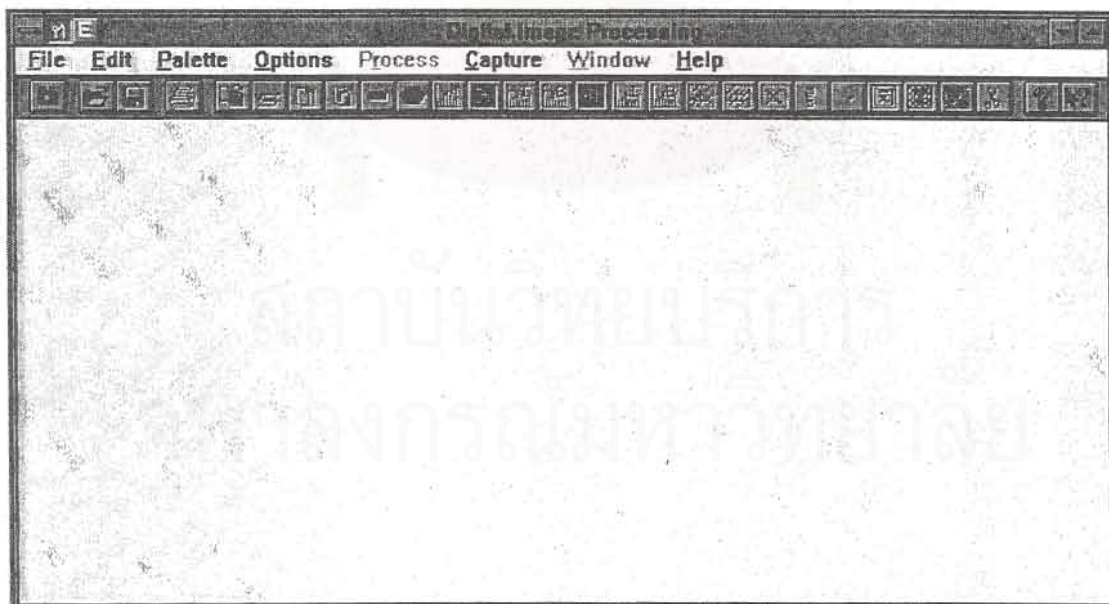
1.2.5.7 เลือกสัญลักษณ์ที่ต้องการ

2. การใช้งานโปรแกรม **DIPWIN.EXE**

2.1 เปิดโปรแกรม Microsoft Windows

2.2 ใน Program Manager ให้ดับเบิลคลิกที่สัญลักษณ์ Digital Image Processing ของ Program Group

2.3 ใน Program Group ให้ดับเบิลคลิกที่สัญลักษณ์ **DIPWIN 2.00** จะปรากฏหน้าต่างของโปรแกรม DIPWIN.EXE ขึ้น ดังรูปที่ ก1 ที่มีรายการเลือกแบบ drop-down menu อยู่ด้านบน และได้ทดลองเพิ่ม Shortcut Tool bar ได้รายการเลือก เพื่อให้การเรียกใช้คำสั่งทำได้เร็วขึ้น



รูปที่ ก1 หน้าต่างของโปรแกรม DIPWIN.EXE

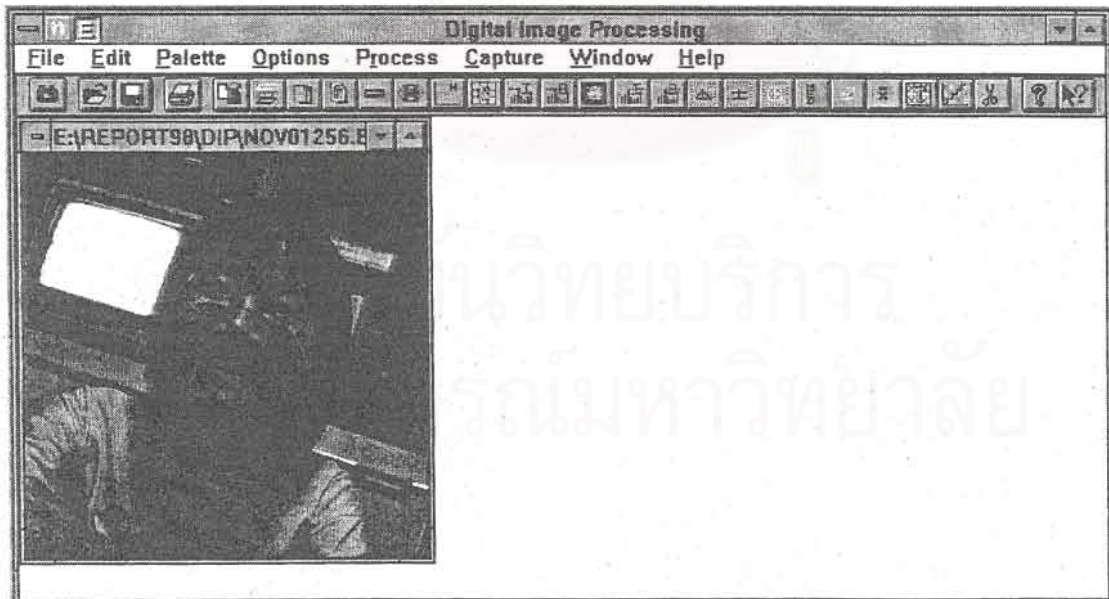
2.4 เปิดเพิ่มข้อมูลภาพที่ต้องการประมวลผล โดยการเลือกรายการ **Open** จากรายการเลือก **File**

จะปรากฏดังรูปที่ ก2



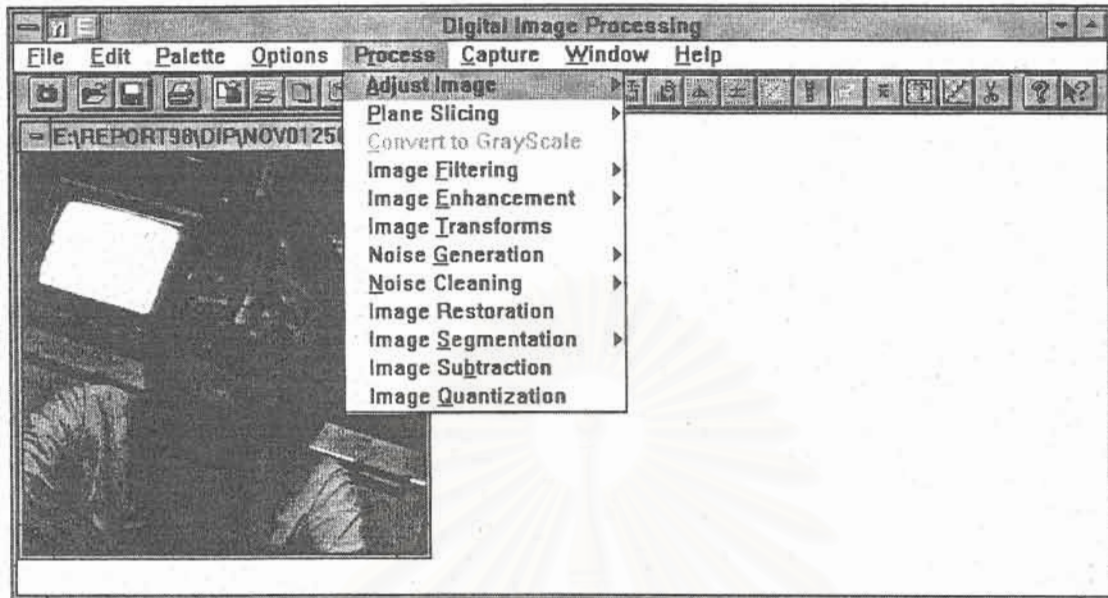
รูปที่ ก2 แสดงกระบวนการเปิดเพิ่มข้อมูลภาพ

- 2.5 เลือกชื่อเพิ่มภาพที่ต้องการจากสารบบที่เพิ่มดังกล่าวบรรจุอยู่ ภาพจะปรากฏบนหน้าต่างลูกพร้อมชื่อเพิ่มบน Title bar ขึ้นในหน้าต่างของโปรแกรม DIPWIN.EXE ดังรูปที่ ก3



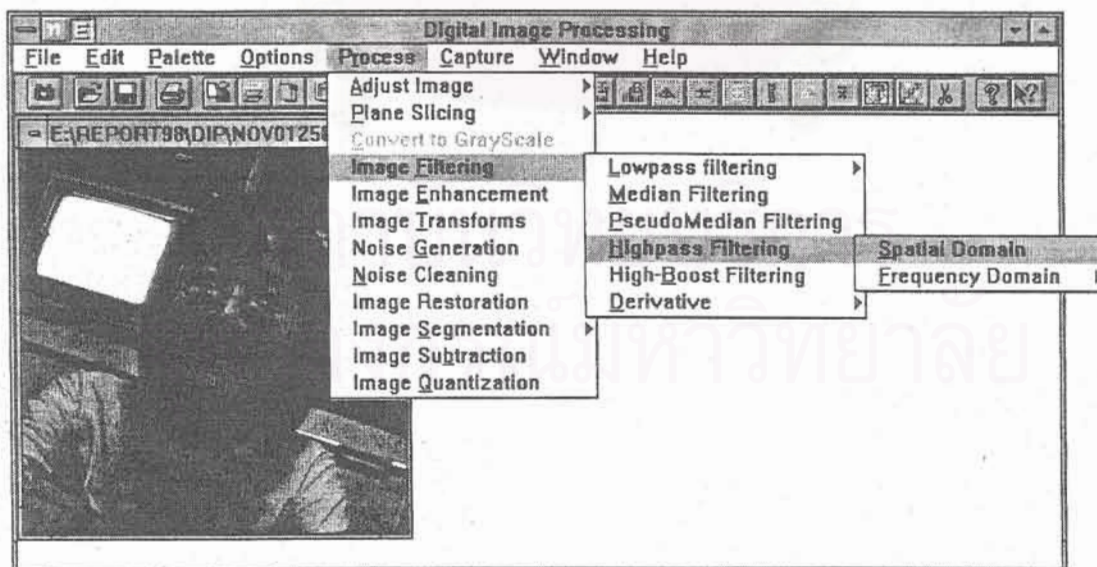
รูปที่ ก3 แสดงภาพที่เปิดขึ้นในหน้าต่างลูก

2.6 เลือกรายการกลุ่มเทคนิคประมวลผลจากรายการเลือก Process ดังรูปที่ ก4



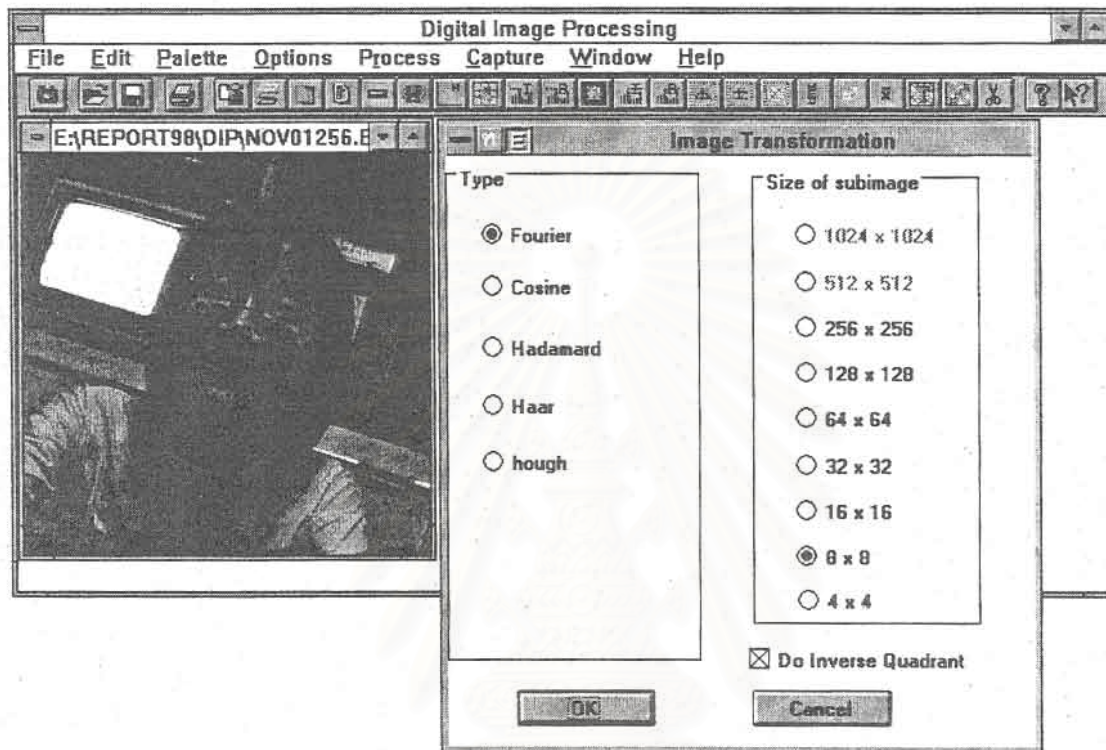
รูปที่ ก4 แสดงการเลือกเทคนิคการประมวลผลจากรายการเลือก Process

2.7 เลือกเทคนิคประมวลผลจากรายการกลุ่มเทคนิค โดยเลื่อนลูกศรไปยังกลุ่มที่ต้องการแล้วคลิกเลือก จากนั้นอาจมีรายการเลือกลำดับขั้นถัดไปปรากฏขึ้นมา ให้กระทำการเลือกด้วยวิธีการเดิมจนกระทั่งเสร็จกระบวนการเลือก ดังรูปที่ ก5



รูปที่ ก5 แสดงการเลือกเทคนิคการประมวลผลใน drop-down menu ลำดับขั้นถัดไป

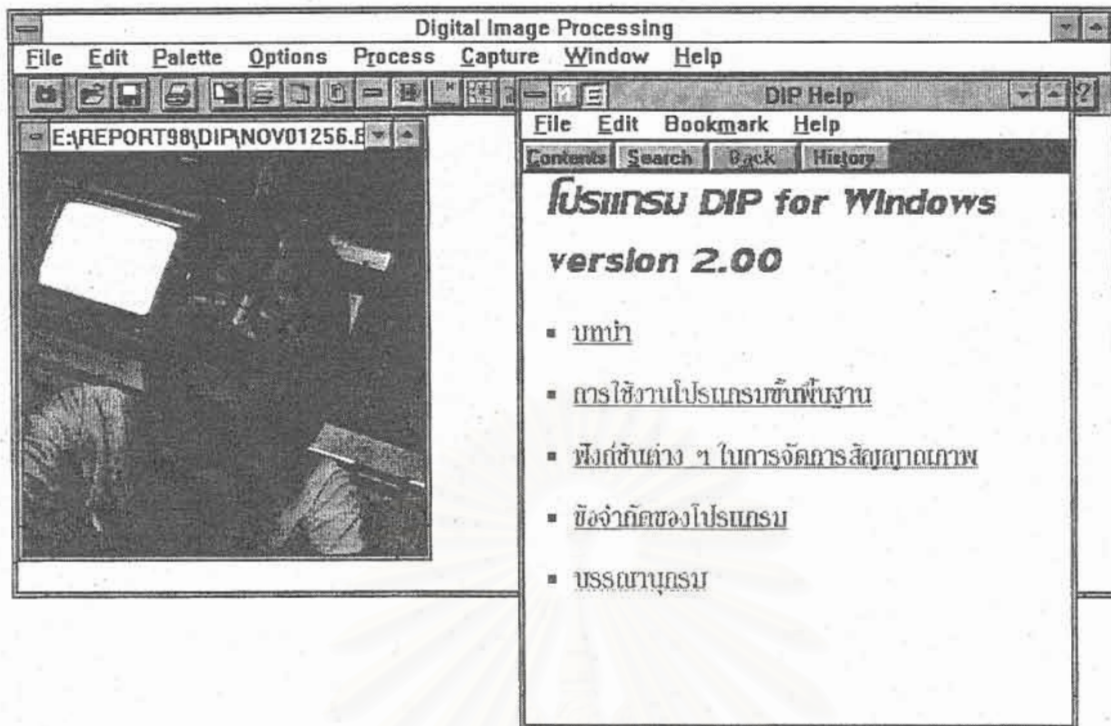
2.8 บางเทคนิคไม่จำเป็นต้องป้อนค่าพารามิเตอร์อะไรเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีการกำหนดเงื่อนไขไว้ตายตัว แต่บางเทคนิคต้องการให้ป้อนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 6 เพื่อปรับเปลี่ยนการทำงาน ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์บางค่า จะมีเงื่อนไขกำหนดไว้แต่บางค่าไม่มีการกำหนดเงื่อนไขใด ๆ ไว้ ให้อิสระกับผู้ใช้งาน



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างของเทคนิคที่ต้องการให้ใส่ค่าพารามิเตอร์

2.9 กรณีต้องการความช่วยเหลือ ให้เลือกรายการ **DIP Help** จากรายการเลือก **Help** ดังรูปที่ 7

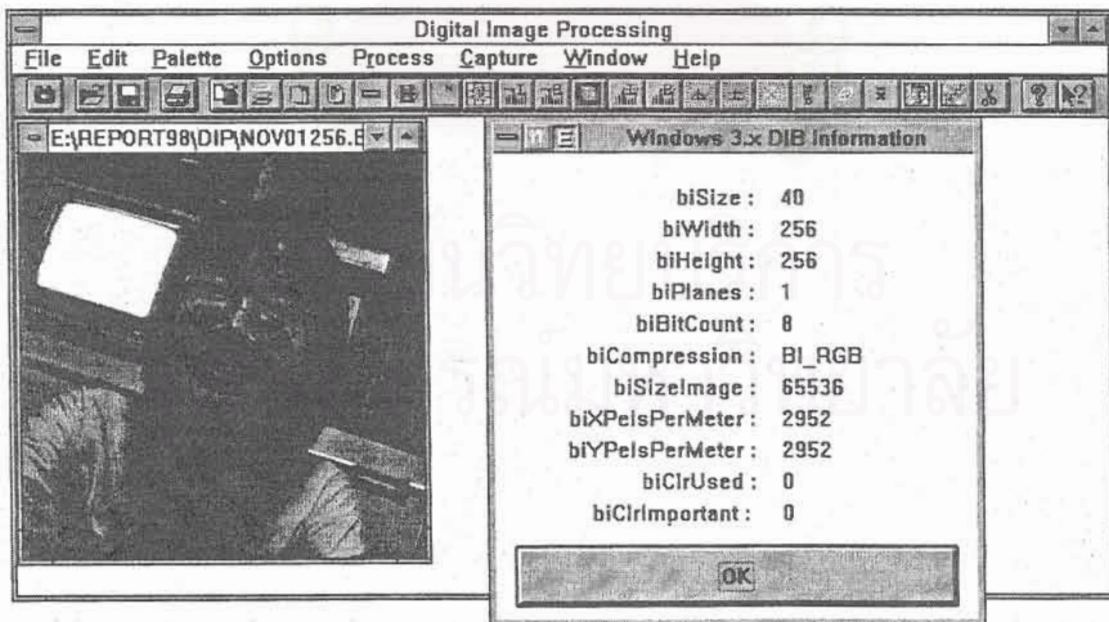
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก7 แสดงการเปิดใช้ความช่วยเหลือที่จัดเตรียมไว้

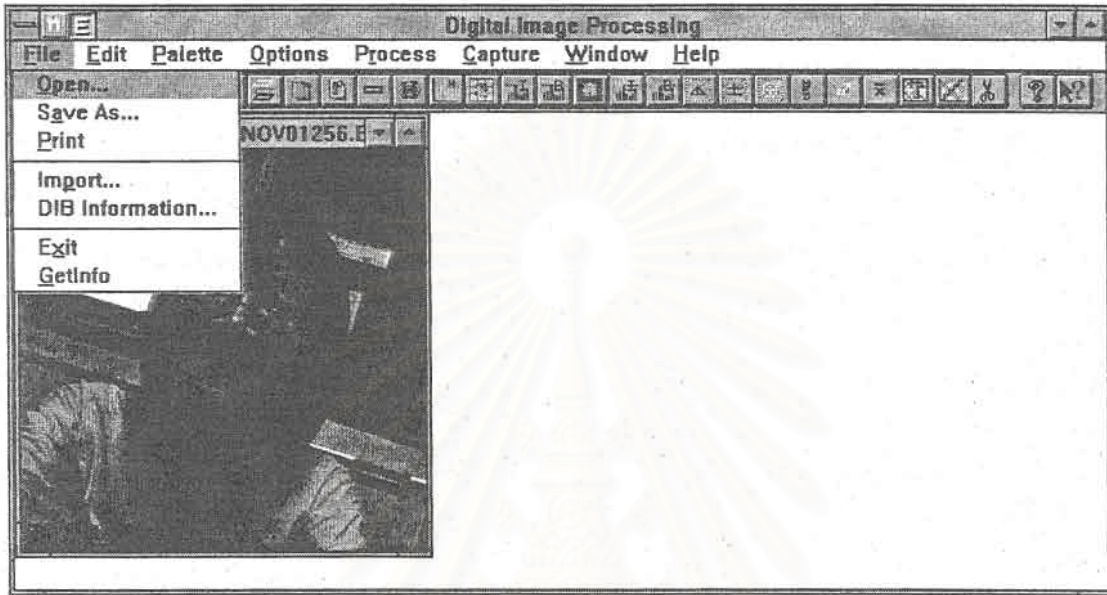
2.10 กรณีต้องการดูข้อมูลของภาพที่เปิดขึ้นใช้งาน ให้เลือกรายการ **DIB Information...**

จากรายการเลือก **File** ดังรูปที่ ก8

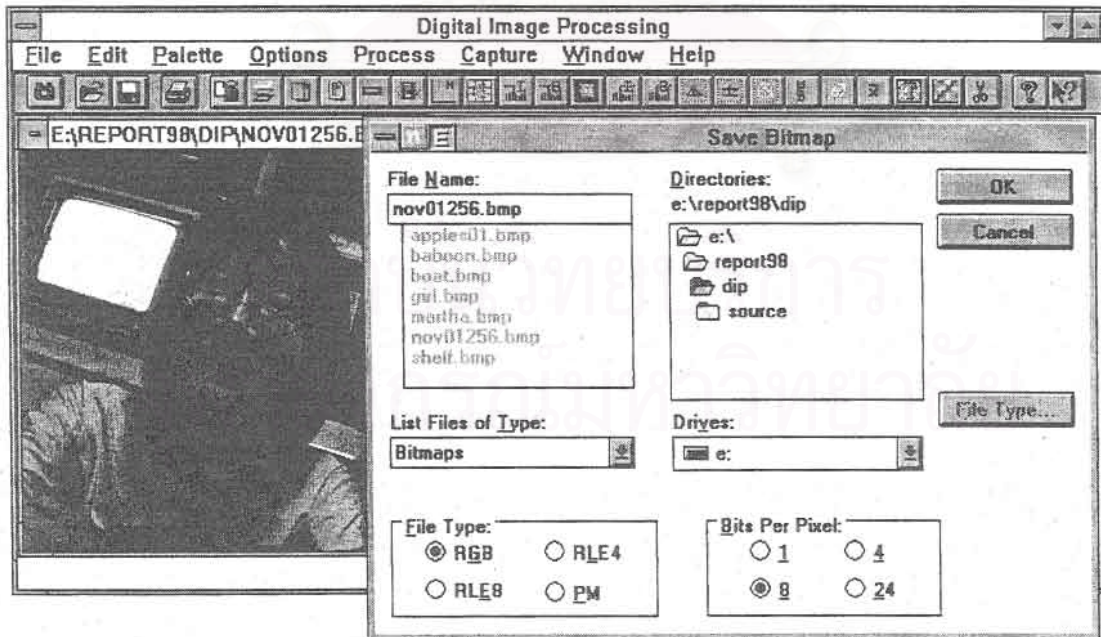


รูปที่ ก8 แสดงการเปิดดูข้อมูลของภาพที่เปิดใช้งานอยู่

2.11 กรณีต้องการเก็บภาพในหน้าต่างลูก ให้เลื่อนลูกศรไปคลิกบนหน้าต่างรูปที่ต้องการเพื่อทำให้ แอ็กทีฟ ดังรูปที่ ก9 จากนั้นเลือกรายการ **Save As...** จากรายการเลือก **File** แล้วตั้งชื่อ ภาพที่จะเก็บลงแฟ้ม พร้อมทั้งใส่ชื่อสารบบและตัวข้ามงานที่จะเก็บบันทึกแฟ้มข้อมูลภาพ ดังรูปที่ ก10



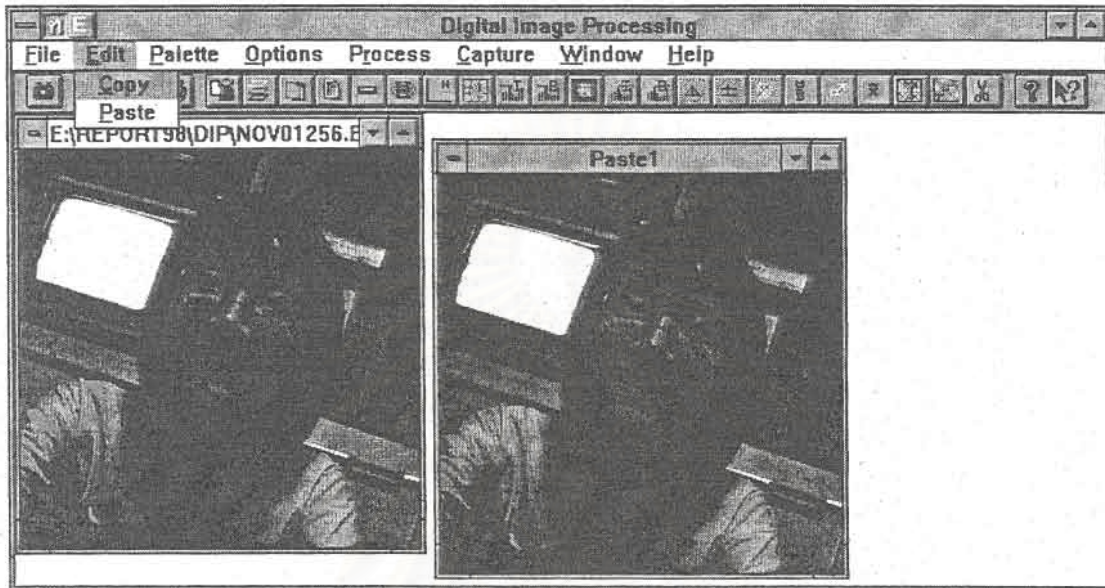
รูปที่ ก9 แสดงกระบวนการเลือกรายการเก็บบันทึกภาพจากรายการเลือก File



รูปที่ ก10 แสดงรายการเลือกเพื่อทำการเก็บบันทึกภาพ

2.12 กรณีต้องการให้แสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ให้เลือกรายการ **Show Time** จากรายการ
เลือก **Options**

2.13 กรณีต้องการตัด (cut) และแปะ (paste) ภาพ ให้เลือกรายการ **Copy** หรือ **Paste** จาก
รายการเลือก **Edit** ดังรูปที่ ก11



รูปที่ ก11 แสดงการตัดและแปะภาพภายในหน้าต่างของโปรแกรม DIPWIN.EXE

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานที่ตีพิมพ์

1. Piyatanasirikul, and S. Jitapunkul, "Application of Digital Image Processing for Crack Detection on Road Surface", 20th. Electrical Engineering Conference, Bangkok, November, 13-14, 1997, pp. 333-337.
2. Piyatanasirikul, and S. Jitapunkul, "Application of Digital Image Processing for Crack Detection on Road Surface", Intl. Conf. on " Toward the year 2000 : Technology for Rural Development ", Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, August, 25-26, 1997, pp. 26-30.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย