

การลดข้อมูลภาพแบบแฟร็กทัลในโดเมนความถี่

FRACTAL IMAGE COMPRESSION IN FREQUENCY DOMAIN

อรรถพล ระโหฐาน

ATTHAPON RAHOTAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-896-1

การลดข้อมูลภาพแบบแฟร็กทัลในโดเมนความถี่

FRACTAL IMAGE COMPRESSION IN FREQUENCY DOMAIN

อรรถพล ระโหฐาน

ATTHAPON RAHOTAN

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974 - 648 - 896 - 1

**FRACTAL IMAGE COMPRESSION IN FREQUENCY DOMAIN**

**ATTHAPON RAHOTHAN**

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

**2002**

**ISBN 974 – 648 – 896 – 1**

**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดข้อมูลภาพแบบแฟลททอลในโดเมนความถี่
นักศึกษา	นาย อรรถพล ระโหฐาน
รหัสประจำตัว	42061315
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. กิติพล ชิตสกุล

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการจัดการภาพแบบดิจิทัลมีบทบาทเพิ่มมากขึ้น ซึ่งข้อมูลภาพที่ได้นั้นมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการในการลดขนาดข้อมูลภาพ ซึ่งวิธีการเข้ารหัสแบบแฟลททอลก็เป็นวิธีหนึ่ง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดข้อมูลภาพได้สูงกว่าวิธีอื่น อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการประมวลผล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนำมาบีบอัดข้อมูลภาพ ซึ่งมีขนาดใหญ่

ในงานวิจัยนี้ ได้ประยุกต์การลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟลททอลและดิซคริส โคซายน์ทรานส์ฟอร์ม เพื่อทำการลดเวลาในการประมวลผลลง โดยทำการลดจำนวนครั้งในการหมุนภาพลง ในขั้นตอนการหาความเหมือนกันของภาพ และยังคงคุณภาพของภาพไว้

<b>Thesis Title</b>	Fractal Image Compression in Frequency Domain
<b>Student</b>	Mr. Atthapon Rahothan
<b>Student ID.</b>	42061315
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electronics Engineering
<b>Year</b>	2002
<b>Thesis Advisor</b>	Dr. Kitipol Chitsakul

### **ABSTRACT**

Nowadays, a digital signal processing (DSP) has become an important role. The performance of DSP is crucial to the performance of the imaging system. The problems associated with such a process are the large size of data of the picture. Therefore, image compression methods are developed. The Fractal image coding is one of more efficiency than the other methods. However, the times of computation are seriously consumed, particularly when compress a large size of a portrait.

This research has applied the fractal image coding and the discrete cosine transform to decrease computation times and also maintain the quality of the picture. The solution is, in the step of finding a similar part of the picture, the elimination of numbers of picture rotations. Test results show that this method is promising.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความสำเร็จไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนและกำลังใจจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้เขียนขอขอบพระคุณคุณพ่อ, คุณแม่และครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณ ดร. กิตติพล ชิตสกุล ในฐานะอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ความดูแลเอาใจใส่อย่างสม่ำเสมอ ขอขอบคุณ รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์ ที่คอยให้การดูแลและผลักดันให้มีกำลังใจในการทำงาน ขอขอบคุณครู อาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอน เพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือในสิ่งต่าง ๆ และท้ายสุดขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน

อรรถพล ระโหฐาน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา .....	1
1.4 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีแฟลกทอล .....	4
2.1 บทนำ .....	4
2.2 การแปลงแบบแอฟไฟน์ .....	5
2.3 อิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม .....	6
2.4 รีเคอร์เรนซ์อิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม .....	16
2.5 พาร์ติชันอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม .....	18
2.6 แบบจำลองของภาพ .....	19
บทที่ 3 การลดขนาดข้อมูลภาพพื้นฐาน .....	22
3.1 บทนำ .....	22
3.2 หลักการพื้นฐานของการลดขนาดข้อมูลภาพ .....	22
3.3 การแบ่งภาพในการเข้ารหัสภาพแบบแฟลกทอล .....	24

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 การลดขนาดข้อมูลภาพแบบเฟลททอลในสเปาเซี่ยลโดเมน .....	26
3.5 การลดขนาดข้อมูลภาพแบบเฟลททอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	34
บทที่ 4 การปรับปรุงการลดขนาดข้อมูลภาพในโดเมนความถี่ .....	44
4.1 บทนำ .....	44
4.2 การแยกส่วนของภาพออกเป็นกลุ่ม ๆ .....	44
4.3 การปรับปรุงวิธีการหาค่า MSE ในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	47
4.4 การเพิ่มความละเอียดในการค้นหาบล็อกโดยใช้กระบวนการของควอดทรี .....	53
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง .....	55
5.1 บทนำ .....	55
5.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการทดลอง .....	55
5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง .....	55
5.4 การตรวจสอบและการวัดผล .....	56
5.5 การทดลองและผลการทดลอง .....	57
บทที่ 6 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา .....	69
6.1 สรุปผลการทดลอง .....	69
6.2 ปัญหาที่พบ .....	69
6.3 แนวทางในการพัฒนา .....	70
เอกสารอ้างอิง .....	71
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ .....	72
ประวัติผู้เขียน .....	73

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการหมุนภาพในรูปแบบต่าง ๆ .....	28
3.2 แสดงการหมุนภาพแบบต่าง ๆ ในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	38
4.1 แสดงลักษณะของสัมประสิทธิ์ในการหมุนรูปแบบต่าง ๆ .....	46
4.2 ลักษณะของสัมประสิทธิ์ในกลุ่มของข้อมูลต่าง ๆ .....	47
4.3 แสดงการหมุนภาพในกลุ่มที่ 2 .....	48
4.4 แสดงการหมุนภาพในกลุ่มที่ 3 .....	48
4.5 แสดงการหมุนภาพระหว่างกลุ่มที่ 2 (เรนจ์บล็อก) และกลุ่มที่ 3 (โดเมนบล็อก) .....	50
4.6 แสดงการหมุนภาพระหว่างกลุ่มที่ 2 (โดเมนบล็อก) และกลุ่มที่ 3 (เรนจ์บล็อก) .....	50
5.1 ผลการทดลองจากการทดลองที่ 1 .....	57

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเครื่องทำสำเนาทำการทำสำเนารูปต้นฉบับทั้งหมด 3 ครั้ง โดยย่อแล้ววางในตำแหน่งที่ต่างกัน .....	4
2.2 แสดงการทำซ้ำ 3 ครั้งแรกของเครื่องทำสำเนาในรูปที่ 2.1 .....	4
2.3 แสดงการทรานส์ฟอร์มแบบเชิงเส้นในระนาบ 2 มิติ.....	5
2.4 แสดงการทรานส์ฟอร์มของแอทแทร็คเตอร์และผลลัพธ์ของการทรานส์ฟอร์ม .....	6
2.5 แสดงการทรานส์ฟอร์มในระนาบ .....	8
2.6 แสดงการประยุกต์การทรานส์ฟอร์มในรูปที่ 2.5 ของรูปสี่เหลี่ยมและรูปสามเหลี่ยม .....	8
2.7 แสดงผลลัพธ์ของการทรานส์ฟอร์มของเครื่องทำสำเนาในขณะที่รูปไม่มีการเปลี่ยนแปลง .....	9
2.8 แสดงตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่างของเซต $A$ และเซต $B$ และฮัสโตรพดีชเห็นซ์ ระหว่างเซต $A$ และเซต $B$ โดยแสดงด้วยเส้นสีดำที่ลากไว้ .....	10
2.9 ก) แสดงการทรานส์ฟอร์ม $w_1, w_2, w_3, w_4$ ของส่วนที่อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม ข) แสดงการทำซ้ำ 3 ครั้งแรกของ $W = \bigcup_{i=1}^4 w_i$ .....	15
2.10 แสดงตัวอย่างของอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มของแอทแทร็คเตอร์และ การทรานส์ฟอร์มโดยแสดงเป็นรูปสี่เหลี่ยมรอบ ๆ แอทแทร็คเตอร์ .....	16
2.11 แสดงอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มโดยผสมกันระหว่างเฟิร์นและสามเหลี่ยมเซอร์พินสกี .....	17
2.12 แสดงผลลัพธ์ของแอทแทร็คเตอร์ในรูปที่ 2.12 .....	17
2.13 แสดงรีเคอร์เรนซ์อิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม ประกอบด้วยอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม ของระนาบซึ่งไม่ติดกันโดยการแมประหว่างระนาบ .....	17
2.14 แสดงรูปไทฮูกระด้าย (ก) เป็นโดเมนของพาร์ติชันอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มแสดง โดยโทนสีเทาและดำ (ข) เป็นโดเมนของการทรานส์ฟอร์มแสดงโดยโทนสีเทาและดำ .....	18
2.15 แสดงแมป $w_i$ ทำการแมป $D_i$ ไปยัง $R_i$ .....	20
3.1 แสดงการแบ่งภาพขนาด $16 \times 16$ เป็นส่วน ๆ ขนาด $8 \times 8$ แบบไม่ซ้อนทับกัน .....	25
3.2 แสดงการแบ่งภาพขนาด $16 \times 16$ เป็นส่วน ๆ ขนาด $8 \times 8$ แบบซ้อนทับกัน 1 จุด .....	25
3.3 แสดงการแบ่งภาพแบบควอดทรี .....	26
3.4 แสดงการหาค่าต่ำสุดระหว่างภาพ $R_i$ ของกราฟ $f \cap (R_i \times I)$ เหนือ $R_i$ และภาพ $w_i(f)$ ของส่วนของกราฟเหนือ $D_i$ .....	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แสดงกระบวนการทำงานการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอลในสเปซเชิงลโดเมน .....	30
3.6 แสดงกระบวนการในการค้นหาบล็อกในสเปซเชิงลโดเมน .....	31
3.7 แสดงขั้นตอนการถอดรหัสภาพในสเปซเชิงลโดเมน .....	33
3.8 แสดงสัมประสิทธิ์ทางความถี่ของโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	35
3.9 แสดงตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทรานส์ฟอร์ม .....	36
3.10 แสดงภาพ $f$ ที่นำมาทรานส์ฟอร์มขนาด $8 \times 8$ จุด .....	36
3.11 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทรานส์ฟอร์ม .....	36
3.12 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทรานส์ฟอร์มในการหมุนแต่ละรูปแบบ .....	37
3.13 แสดงการลดขนาดข้อมูลภาพแบบเฟลททอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	40
3.14 แสดงกระบวนการในการค้นหาบล็อกในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	41
3.15 แสดงกระบวนการถอดรหัสในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	42
4.1 แสดงกลุ่มของข้อมูลที่ต้องการแบ่ง .....	44
4.2 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทรานส์ฟอร์มของกลุ่มภาพ .....	45
4.3 แสดงภาพ $x$ และภาพ $y$ .....	47
4.4 แสดงภาพ $x$ และภาพ $y$ .....	49
4.5 แสดงลักษณะของภาพ $x$ และ ภาพ $y$ ที่ซ้อนทับกัน แล้วทำให้ค่า MSE น้อยที่สุด .....	49
4.6 แสดงภาพ $x$ และ $y$ ที่ไม่สมมาตรกัน .....	49
4.7 แสดงลักษณะของภาพ $x$ และ ภาพ $y$ ที่ซ้อนทับกัน แล้วทำให้ค่า MSE น้อยที่สุด .....	49
4.8 การเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย .....	51
4.9 กระบวนการค้นหาบล็อก .....	52
4.10 การเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย โดยประยุกต์ กระบวนการของควอดทรี .....	53
4.11 การค้นหาบล็อกโดยประยุกต์กระบวนการของควอดทรี .....	54

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 ภาพต้นฉบับ (ก) ภาพ “Lena” (ข) ภาพ “Mandrill” และ (ค) ภาพ “Milkdrop” .....	56
5.2 ภาพผลลัพธ์ “Lena” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3 .....	58
5.3 ภาพผลลัพธ์ “Mandrill” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3 .....	59
5.4 ภาพผลลัพธ์ “Milkdrop” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3 .....	60
5.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของ	
ภาพ “Lena” .....	61
5.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและอัตราการบีบอัดข้อมูลของ	
ภาพ “Lena” .....	61
5.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของ	
ภาพ “Mandrill” .....	62
5.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและอัตราการบีบอัดข้อมูลของ	
ภาพ “Mandrill” .....	62
5.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของ	
ภาพ “Milkdrop” .....	63
5.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและอัตราการบีบอัดข้อมูลของ	
ภาพ “Milkdrop” .....	63
5.11 ภาพผลลัพธ์ “Lena” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ค่า PSNR สูงสุด	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3 .....	64
5.12 ภาพผลลัพธ์ “Mandrill” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ค่า PSNR สูงสุด	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3 .....	65
5.13 ภาพผลลัพธ์ “Milkdrop” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ค่า PSNR สูงสุด	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3 .....	66

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของ ภาพ “Lena” .....	67
5.15 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของ ภาพ “Mandrill” .....	67
5.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของ ภาพ “Milkdrop” .....	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการนำข้อมูลในลักษณะภาพถ่ายดิจิทัล เข้ามาใช้ในสายงานต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นำมาใช้ในลักษณะเป็นฐานข้อมูลสำหรับใช้ในการตรวจสอบหรืออ้างอิง หรือเป็นประวัติ เช่นภาพถ่ายทางการแพทย์ ภาพถ่ายในแฟ้มอาชญากรรม หรืองานทะเบียนต่าง ๆ เป็นต้น ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลเหล่านี้ มักต้องการรายละเอียดสูง ขนาดใหญ่และอาจเป็นภาพสี ทำให้นอกจากต้องใช้เนื้อที่หน่วยความจำในการจัดเก็บแล้ว หากยังใช้เวลาในการส่งผ่าน หรือเรียกกลับมาใช้ใหม่เมื่อต้องการ มากเช่นกันด้วย

การวิจัยเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวที่ตีพิมพ์เผยแพร่ออกมาคือ ทำอย่างไรที่จะสามารถลดขนาดข้อมูลภาพเหล่านี้ ให้มีขนาดเล็กลงแต่ยังคงความสมบูรณ์ของข้อมูลข่าวสารที่จำเป็นต้องรักษาไว้ครบถ้วน

มีเทคนิคการลดข้อมูลภาพอยู่หลายวิธี ทั้งในกลุ่มที่มีการสูญเสียและไม่สูญเสียหรือแบบไฮบริดที่ใช้เทคนิคทั้งสองแบบดังกล่าวร่วมกันเพื่อให้ประสิทธิภาพการลดขนาดข้อมูล เช่นใช้พื้นฐานของการแปลง (transform) ไม่ว่าจะเป็นการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย [12] การแปลงเวฟเล็ต [13] กับเทคนิคเข้ารหัสแบบไม่มีการสูญเสียเช่นการเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน [14] เป็นต้น

การเข้ารหัสแบบแฟลคทอล(fractal) [3] – [11] เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำเข้ามาใช้ในการลดข้อมูลภาพ ทั้งแบบที่ประยุกต์โดยกับข้อมูลภาพ [5], [6], [9] – [11] หรือใช้ร่วมกับการแปลง [4], [7] – [8] ด้วยคุณสมบัติที่สามารถลดข้อมูลลงได้ในอัตราที่สูง มีขั้นตอนง่าย แต่ปัญหาของวิธีการนี้คือใช้เวลาในการเข้ารหัสค่อนข้างมาก จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงความเร็วของการลดข้อมูลภาพที่ใช้พื้นฐานของแฟลคทอล

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาวิธีการลดข้อมูลภาพแบบแฟลคทอลซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนของการประมวลผลต่างๆ ให้เข้าใจ และสามารถพัฒนาขั้นตอนการลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟลคทอลได้เอง
2. ปรับปรุงวิธีการลดข้อมูลภาพแบบแฟลคทอลโดยการลดปริมาณในการประมวลผลลง ทำให้ระบบโดยรวมสามารถทำงานได้เร็วขึ้น

3. ทดลองใช้วิธีที่ได้ปรับปรุงขึ้นนี้มาประยุกต์ใช้งานกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) ให้ลดพื้นที่ที่ใช้จัดเก็บข้อมูลลง (Data Compression) และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีการที่ใช้อยู่เดิม

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากในขั้นตอนของการค้นหาโดเมนบล็อก (Domain block) ซึ่งคล้ายกันกับเรนจ์บล็อก (Range block) มากที่สุดนั้น เป็นการนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการประมวลผล และในการค้นหาแต่ละครั้งจำเป็นต้องหมุนภาพทั้งหมด 8 ครั้ง จึงเป็นสาเหตุทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลมาก จึงตั้งข้อสมมติฐานว่า หากเราสามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลของโดเมนบล็อกและเรนจ์บล็อกให้เป็นกลุ่มย่อย ๆ แล้วทำการประมวลผลในกลุ่มย่อย ๆ นั้นแทน น่าจะเป็นวิธีลดปริมาณในการคำนวณรวมทั้งหมดลงได้ส่วนหนึ่ง และในแต่ละกลุ่มย่อย ๆ เหล่านั้น ถ้าเราสามารถทำให้การหมุนของภาพลดลงให้เหลือเพียงครั้งเดียวได้ ก็สามารถช่วยลดปริมาณในการคำนวณรวมทั้งหมดลงได้ จากสมมติฐานทั้ง 2 ข้อนี้ จะทำให้ความเร็วในการประมวลผลเพิ่มขึ้น

### 1.4 แนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

แนวความคิดใหญ่ ๆ ที่ใช้ในการวิจัยนี้มี 2 เรื่องคือ

1. แนวคิดเรื่องการแบ่งกลุ่มของข้อมูลของโดเมนบล็อกและเรนจ์บล็อกออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ โดยใช้การแปลงโคซายน์เต็มหน่วย (Discrete cosine transform เขียนแทนด้วย DCT) ในการแบ่งลักษณะของข้อมูลต่าง ๆ ให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อที่จะทำการค้นหาเฉพาะในกลุ่มของข้อมูลซึ่งมีลักษณะเดียวกัน
2. ในการค้นหาโดเมนบล็อกซึ่งคล้ายกันกับเรนจ์บล็อกนั้น จำเป็นที่จะต้องหมุนภาพทั้งหมด 8 ครั้ง เพื่อที่จะได้โดเมนบล็อกที่คล้ายกันมากที่สุด แนวความคิดที่นำมาใช้ในการลดจำนวนครั้งในการหมุนภาพลงคือ การสังเกตคุณลักษณะของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงมาทำการตัดสินใจในการหมุนภาพในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้โดเมนบล็อกและเรนจ์บล็อกเหมือนกันมากที่สุด

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้อยู่ที่การนำเสนอการลดข้อมูลภาพแบบแฟลททอลในโดเมนความถี่ โดยใช้การแปลงโคซายน์เต็มหน่วยที่พัฒนาให้สามารถประมวลผลได้เร็วยิ่งขึ้นเทียบกับวิธีการเดิม (วิธีของ Jacquin และวิธีของ Zhao) โดยทำการทดลองกับภาพขนาด 256x256 จุด แต่ละจุดจะมีความเข้มของระดับสีเทา 256 ระดับ โดยพิจารณาแบ่งรายละเอียดเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ออกเป็น 6 บท แต่ละบทจะมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาตลอดจนวัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟลททอล เพื่อให้เข้าใจแนวความคิดเบื้องต้นในการลดข้อมูลภาพแบบแฟลททอล เงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

บทที่ 3 กล่าวถึงการลดข้อมูลภาพพื้นฐานที่ใช้งานจริงในสเปซโดเมน (Spatial Domain) (วิธีของ Jacquin) และ โดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย (วิธีของ Zhao) การวัดความเหมือนกันของภาพ ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ ในการลดข้อมูล

บทที่ 4 นำเสนอวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาจากวิธีของ Zhao โดยอาศัยการแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพและการหมุนภาพด้วยในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย เพื่อเพิ่มความเร็วในการประมวลผล และใช้การแบ่งข้อมูลภาพแบบควอดทรีเข้ามาช่วยทำให้คุณภาพของภาพให้ดีขึ้น ขั้นตอนการทำงานของวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

บทที่ 5 เสนอผลการทดลอง โดยอธิบายถึงวิธีการที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง และผลการทดลองเปรียบเทียบในแง่มุมต่าง ๆ

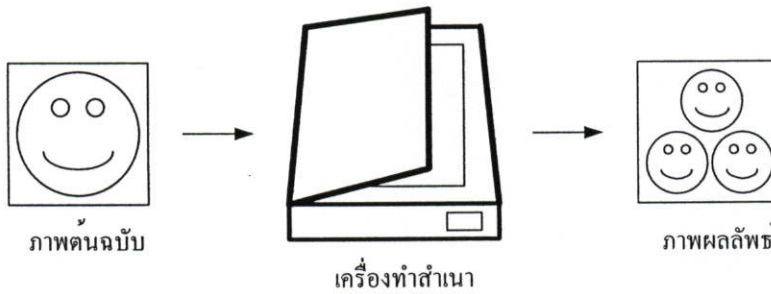
บทที่ 6 บทสรุปและแนวทางการพัฒนา

## บทที่ 2

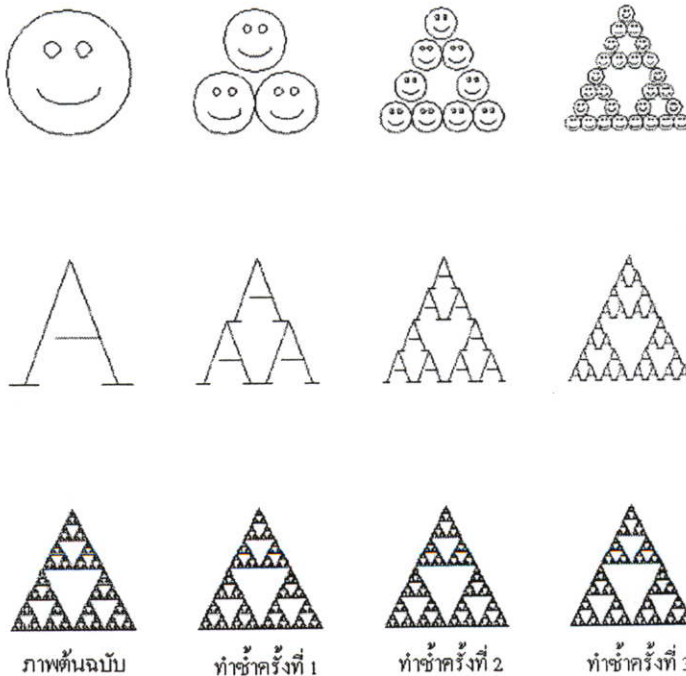
# ทฤษฎีแฟล็กทอล

### 2.1 บทนำ

แฟล็กทอลในทางอุดมคตินั้นสามารถอธิบายอย่างง่าย ๆ โดยเปรียบเทียบกับการทำงานของเครื่องทำสำเนาที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เมื่อนำเครื่องทำสำเนาทำการย่อภาพต้นฉบับลง 50% แล้วทำสำเนาทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทำการวางไว้ในตำแหน่งที่ต้องการดังรูปที่ 2.1 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการทำสำเนาเป็นต้นฉบับอีกครั้งหนึ่ง โดยเปลี่ยนภาพต้นฉบับเป็นภาพต่าง ๆ จะได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องทำสำเนาทำการทำสำเนารูปต้นฉบับทั้งหมด 3 ครั้ง โดยย่อแล้ววางในตำแหน่งที่ต่างกัน

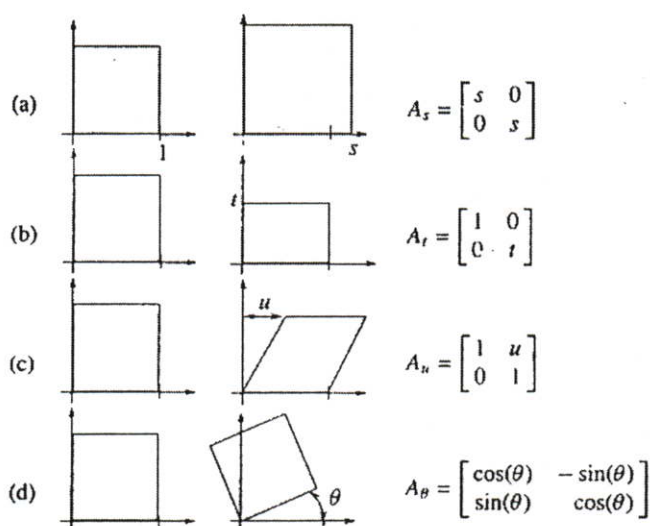


รูปที่ 2.2 แสดงการทำซ้ำ 3 ครั้งแรกของเครื่องทำสำเนาในรูปที่ 2.1

จะเห็นว่าเมื่อทำซ้ำไปเรื่อย ๆ ภาพผลลัพธ์จะลู่เข้าสู่ภาพ ๆ หนึ่ง โดยมีเงื่อนไขว่าต้องทำการย่อภาพต้นฉบับลงในอัตราส่วนเดียวกันและวางในตำแหน่งเดียวกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการย่อแต่ละครั้งจุดของภาพต้นฉบับจะถูกทำให้ลดลงทุก ๆ จุด ดังนั้นภาพต้นฉบับจึงไม่มีผลต่อภาพผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้มา กระบวนการเช่นนี้เรียกว่าแฟลคทอล

## 2.2 การแปลงแบบแอฟไฟน์ (Affine transform)

ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการข้างต้น เปรียบเสมือนกับการนำภาพต้นฉบับมาทำการแปลง โดยวิธีการที่เรียกว่า การแปลงแบบแอฟไฟน์ การแปลงแบบนี้สามารถ เอียง ยืด หมุน ย่อ และขยายได้ ซึ่งรูปแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการแปลงแบบเชิงเส้นในระนาบ 2 มิติ

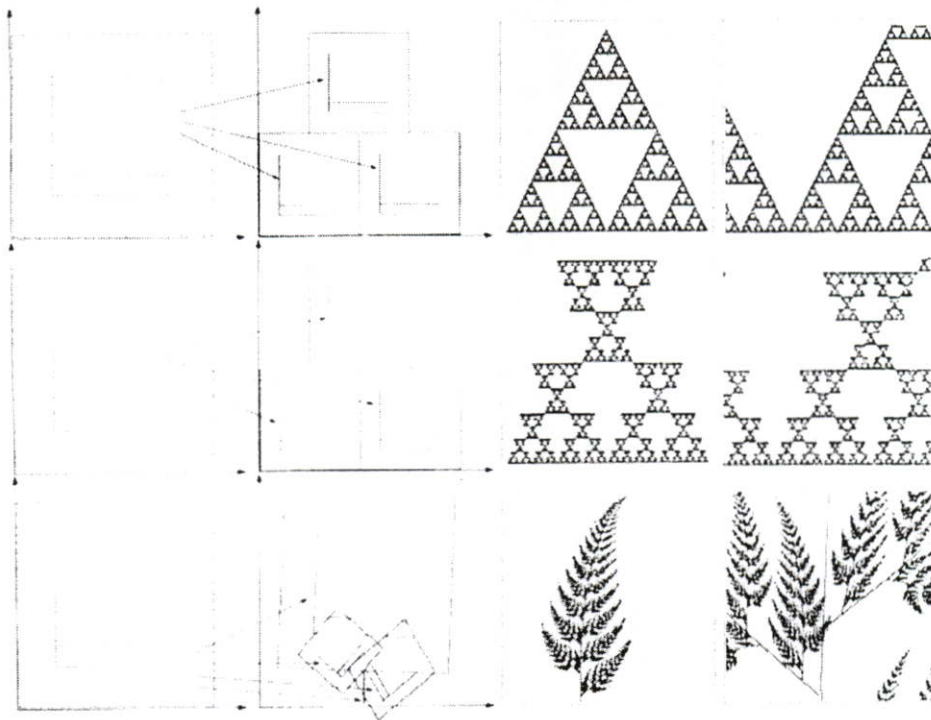
สามารถนำมาเขียนสมการการแปลงในระนาบ 2 มิติได้ดังนี้

$$w_i \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix}$$

ซึ่ง  $a_i, b_i, c_i, d_i$  เป็นค่าสำหรับปรับเปลี่ยนรูปแบบของการแปลงแบบแอฟไฟน์

$e_i$  เป็นค่าสำหรับปรับตำแหน่งในแกน x

$f_i$  เป็นค่าสำหรับปรับตำแหน่งในแกน y



รูปที่ 2.4 แสดงการแปลงของแอตแทรกเตอร์ (Attractor) และผลลัพธ์ของการแปลง

รูปที่ 2.4 แสดงผลของการแปลงแบบแอฟไฟน์โดยแสดงภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงภาพต้นฉบับและภาพขยายบางส่วนของภาพผลลัพธ์ ซึ่งแทนภาพต้นฉบับด้วย  $\square$  ในตัวอย่างที่หนึ่งเป็นการแปลงเหมือนเครื่องทำสำเนารูปที่ 2.1 โดยทำการย่อภาพต้นฉบับลง 50% และวางไว้ในตำแหน่งที่ต่างกัน 3 จุด และภาพในแต่ละตำแหน่งมีลักษณะการหมุนเหมือนกัน ตัวอย่างที่สองมีลักษณะคล้ายตัวอย่างที่หนึ่ง ต่างกันที่มีการแปลงโดยการกลับภาพ 1 แบบ ทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ต่างกันอย่างออกป และตัวอย่างสุดท้ายเป็นภาพไบเฟิร์นของนาย Barnsley ประกอบไปด้วย การแปลงทั้งหมด 4 แบบ

จากตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง ในการแปลงแต่ละครั้งจะกระทำกับภาพต้นฉบับทั้งภาพ ซึ่งทำการย่อและหมุนในลักษณะต่าง ๆ จึงมีผลทำให้ในแต่ละระดับความละเอียดของภาพมีรายละเอียดของภาพทุกระดับ ภาพ ๆ นี้จึงเป็นแฟลกทอล

## 2.2 อีเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม (Iterated function systems)

จากการสร้างภาพของเครื่องทำสำเนาในลักษณะเป็นวงรอบ ตามรูปที่ 2.1 ในทางคณิตศาสตร์เรียกว่า อีเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม (Iterated function system) ซึ่งประกอบไปด้วยชุดของคอนแทรคทีฟทรานส์ฟอร์มเมชัน (Contractive transformation)  $\{w_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2 \mid i = 1, \dots, n\}$  โดยแมป (map) บนระนาบ  $\mathbb{R}^2$  ไปยังตัวเอง กำหนดให้แมป

$$W(\cdot) = \bigcup_{i=1}^n w_i(\cdot)$$

ถ้าให้เซต (set)  $S$  เป็นจุดในระนาบ เมื่อทำการคำนวณ  $w_i(S)$  สำหรับแต่ละค่าของ  $i$  แล้วทำการรวมเซต เหล่านี้เข้าด้วยกัน จะได้เซตใหม่เป็น  $W(S)$  ดังนั้น  $W$  คือแมปบนสเปซ (space) ของเซต (subset) ของระนาบ เซตนี้จะหมายถึง ภาพซึ่งมีองค์ประกอบเป็นจุดภาพ โดยมีลักษณะสมบัติที่สำคัญ 2 ข้อคือ

1. เมื่อ  $w_i$  คอนแทรคทีฟ (contractive) ในระนาบ  $W$  จะคอนแทรคทีฟในสเปซของเซตของระนาบด้วย

2. ถ้าให้คอนแทรคทีฟแมป  $W$  บนสเปซของภาพ และมีภาพ ๆ หนึ่งเรียกว่าแอตแทรคเตอร์ (attractor) มีสัญลักษณ์เป็น  $x_w$  มีคุณสมบัติดังนี้

2.1 ถ้าให้แอตแทรคเตอร์เป็นอินพุตของเครื่องทำสำเนาแล้วได้เอาท์พุทมีขนาดเท่ากับอินพุต แอตแทรคเตอร์  $x_w$  เรียกว่าฟิกซ์พอยท์ (fixed point) ของ  $W$  คือ

$$W(x_w) = x_w = w_1(x_w) \cup w_2(x_w) \cup \dots \cup w_n(x_w)$$

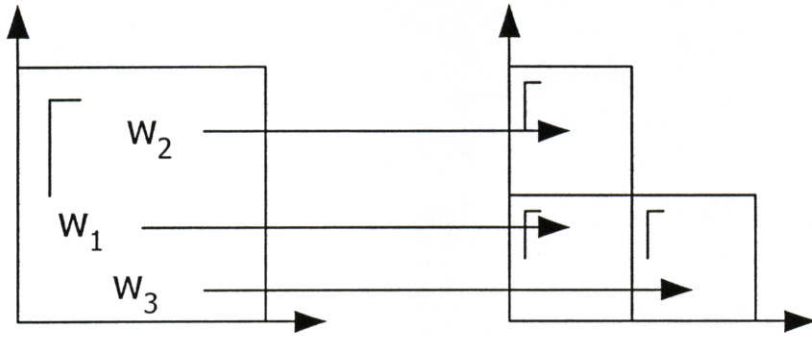
2.2 ให้  $S_0$  เป็นภาพต้นฉบับเมื่อทำสำเนาหนึ่งครั้งจะได้  $S_1 = W(S_0)$  สองครั้งจะได้  $S_2 = W(S_1) = W(W(S_0)) \equiv W^{\circ 2}(S_0)$  สัญลักษณ์ " $\circ$ " เป็นเครื่องหมายบอกถึงการซ้ำ ตัวอย่างเช่น  $W^{\circ 2}(S_0)$  หมายถึงเอาท์พุทได้จากการทำซ้ำครั้งที่สอง

$$x_w \equiv S_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} W^{\circ n}(S_0)$$

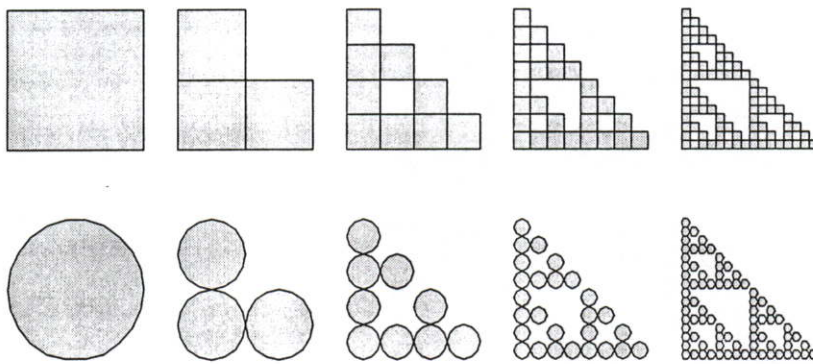
2.3  $x_w$  จะเป็นยูนิค (unique) ถ้าทุก ๆ เซต  $S$  แปลงด้วย  $W$  ได้  $W(S) = S$  เมื่อ  $S$  เป็นแอตแทรคเตอร์ของ  $W$  นั่นคือ  $S = x_w$  หมายความว่าไม่มีเซตเพียงเซตเดียวเป็นสมการฟิกซ์พอยท์ในคุณสมบัติข้อที่ 1

คุณสมบัติทั้ง 3 ข้อข้างต้นนี้เรียกว่าทฤษฎีคอนแทรคทีฟแมปปีงฟิกซ์พอยท์ (The Contractive Mapping Fixed-Point Theorem)

จากหลักการที่กล่าวมาข้างต้นอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มนั้นได้ถูกพัฒนาไปใช้ในการลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟล็กทอล โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 แสดงการแปลงในระนาบ



รูปที่ 2.6 แสดงการประยุกต์การแปลงในรูปที่ 2.5 ของรูปสี่เหลี่ยมและรูปสามเหลี่ยม

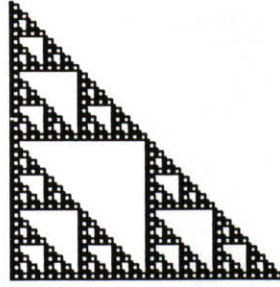
เริ่มด้วยตัวอย่างซึ่งคล้ายกับเครื่องทำสำเนา ดังรูปที่ 2.5 แสดงการแปลง 3 แบบ

$$w_1 \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$w_2 \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$w_3 \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \\ 0 \end{bmatrix}$$

กระบวนการทำสำเนาประกอบด้วยการนำภาพต้นฉบับแปลงด้วย  $w_1$ ,  $w_2$  และ  $w_3$  ตามลำดับ (สมมติให้ ภาพมีขนาดอยู่ระหว่างจุด  $(0,0)$  และ  $(1,1)$  ในระนาบ) แล้วนำภาพผลลัพธ์ที่ได้ กลับไป เป็นภาพต้นฉบับอีกครั้งหนึ่ง รูปที่ 2.6 แสดงภาพผลลัพธ์ของกระบวนการนี้ โดยใช้ภาพต้นฉบับ เป็นรูปสี่เหลี่ยม และรูปวงกลม ภาพผลลัพธ์ที่ได้จะถูกรวบรวมเข้าสู่อุปกรณ์ หนึ่ง แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงผลลัพธ์ของการแปลงของเครื่องทำสำเนาในขณะที่รูปไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากกระบวนการข้างต้น เมื่อทำการสังเกตจุดที่อยู่ติดกัน จะเห็นว่าแมป  $w_i$  ทำให้ระยะห่างระหว่าง  $P = (x, y)$  และ  $Q = (u, v)$  มีค่ามากกว่าระยะห่างระหว่าง  $w_i(P)$  และ  $w_i(Q)$  จากเหตุการณ์นี้ชี้ให้เห็นว่าเครื่องทำสำเนาทำการลดขนาดของ ภาพต้นฉบับ ก่อนได้เป็นภาพผลลัพธ์แล้วจะเกิดอะไรขึ้นเมื่อเครื่องทำสำเนาทำการขยายภาพต้นฉบับ ในกรณีนี้ จุดที่อยู่ติดกันจะขยายออกไปเรื่อย ๆ เพราะฉะนั้นภาพผลลัพธ์ของเครื่องทำสำเนาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้น การทำงานของเครื่องทำสำเนาต้องทำการย่อภาพต้นฉบับลง ต่อไปจะทำการสังเกตว่าเกิดอะไรขึ้นเมื่อภาพต้นฉบับเป็นภาพที่ต่างกัน จากกระบวนการข้างต้นภาพต้นฉบับจะถูกลดขนาดลงไปเรื่อย ๆ ในการทำซ้ำแต่ละครั้ง เมื่อทำซ้ำถึงจุด ๆ หนึ่ง ภาพต้นฉบับจะถูกย่อลงไปเป็นจุด ๆ เดียว ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ไม่ว่าภาพต้นฉบับ จะเป็นภาพอะไรก็ตาม ก็จะเข้าสู่ภาพ ๆ หนึ่งเสมอ เมื่อเครื่องทำสำเนาทำงานแบบลักษณะเป็นวงรอบ

### เมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์ (Complete Metric Spaces)

เมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์ มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะกำหนดขอบเขตของระนาบเป็นฟังก์ชันของแมปจากสเปซของขอบเขตของระนาบ ไปยังตัวเอง โดยขั้นแรกกำหนดเมตริกซ์ (metric) บนสเปซ จากนั้นคอนแทร็คทีฟแมปจะทำการคำนวณยูนิคฟังก์ชัน ซึ่งนิยามของ IFS ที่ใช้สัญลักษณ์ของเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์และคอนแทร็คทีฟแมปคือ

**นิยาม 2.1** เมตริกซ์สเปซคือเซต  $X$  ซึ่งเป็นค่าระยะทาง (distance) ของฟังก์ชัน  $d : X \times X \rightarrow \mathbb{R}$  มีคุณสมบัติดังนี้

1.  $d(a, b) \geq 0$  สำหรับทุกค่าของ  $a, b \in X$ .
2. (identity)  $d(a, b) = 0$  ถ้า  $a = b$  สำหรับทุกค่าของ  $a, b \in X$
3. (symmetry)  $d(a, b) = d(b, a)$  สำหรับทุกค่าของ  $a, b \in X$
4. (triangle inequality)  $d(a, c) \leq d(a, b) + d(b, c)$  สำหรับทุกค่าของ  $a, b, c \in C$

ในที่นี้ฟังก์ชัน  $d$  แสดงในรูปของเมตริกซ์

เมตริกซ์สเปซเป็นเซตของจุด เมื่อทำการแทนค่าของจุด 2 จุดในเซตลงในฟังก์ชัน จะได้ระยะทาง โดยที่ค่าในเซตนั้น สามารถเป็นได้ทั้งจุดและภาพ

### ฮัสโตรฟเมตริกซ์ (Hausdorff Metric)

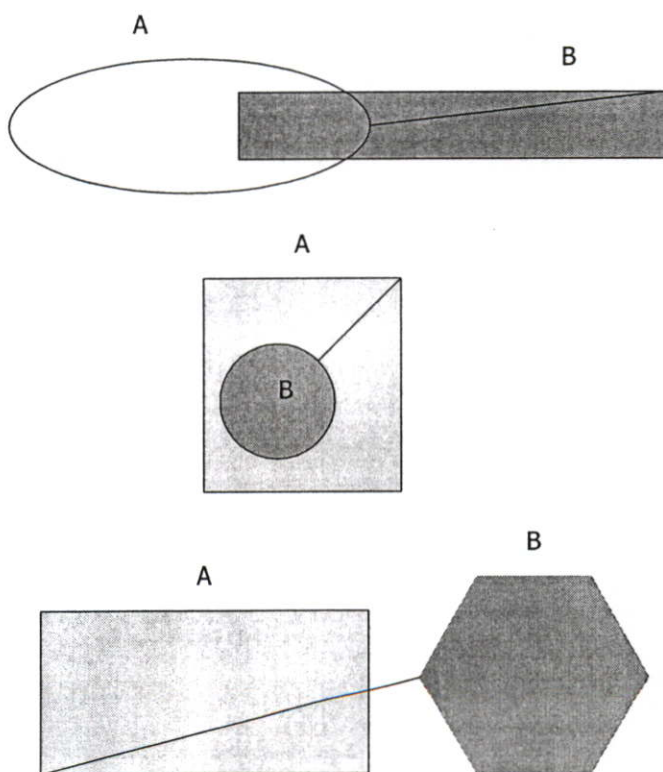
ฮัสโตรฟเมตริกซ์ ( $H$ ) เป็นเมตริกซ์ที่แสดงถึงระยะทางระหว่างภาพ 2 ภาพ โดยที่วิธีการหาฮัสโตรฟดิซแทนซ์  $h(A, B)$  ระหว่าง 2 เซตของระนาบคือ  $A$  และ  $B$  มีวิธีการดังนี้

1. สำหรับแต่ละจุด  $x$  ของ  $A$  หาจุด  $y$  ที่ใกล้ที่สุดใน  $B$  วัดระยะที่น้อยที่สุด โดยใช้สมการยูคลิดีเนียนดิซแทนซ์ (Euclidean distance) ดังนี้

$$d((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

สมการนี้เป็นสมการที่ใช้วัดระยะห่างระหว่างจุด  $(x_1, y_1)$  และ  $(x_2, y_2)$

2. เลือกค่าที่มากที่สุด จากการวัดจุด  $x$  เทียบกับจุด  $y$  ที่ได้ จะได้ฮัสโตรฟดิซแทนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่างของเซต  $A$  และเซต  $B$  และฮัสโตรฟดิซแทนซ์ ระหว่างเซต  $A$  และเซต  $B$  โดยแสดงด้วยเส้นสีดำที่ลากไว้

**นิยาม 2.2** ลำดับของจุด  $\{x_n\}$  ในเมตริกซ์สเปซถูกเรียกว่าลำดับโคซี (Cauchy sequence) ถ้าทุกค่าของ  $\varepsilon > 0$  และ  $N$  เป็นจำนวนเต็ม

$$d(x_m, x_n) < \varepsilon \text{ สำหรับทุกค่าของ } n, m > N$$

**นิยาม 2.3** เมตริกซ์สเปซ  $X$  จะสมบูรณ์ ถ้าทุก ๆ ลำดับโคซีใน  $X$  ลู่เข้าสู่จุด ๆ หนึ่ง ใน  $X$

ลำดับโคซีเป็นลำดับของจุด ซึ่งลู่เข้าสู่จุด ๆ หนึ่ง โดยนิยามของลำดับโคซีนั้นขึ้นอยู่กับการวัดคิชแทนซ์ ตัวอย่างเช่น ลำดับ  $1, \frac{3}{2}, \frac{7}{5}, \frac{17}{12}, \dots, \frac{p}{q}, \frac{p+2q}{p+q}, \dots$  นี้ลู่เข้า ในขณะที่ ลำดับ  $1, 2, 3, 4, \dots$  นั้นไม่ลู่เข้า แสดงให้เห็นว่าเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์นั้น เป็นสเปซซึ่งไม่มีช่องว่างหรือไม่มีตำแหน่งใดที่ไม่มีค่า ตัวอย่างเช่น เซตของตัวเลขข้างต้น โดยใช้  $d(x, y) = |x - y|$  ในการสร้าง แต่ค่าที่ได้นี้ไม่เป็นเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์เพราะว่าคู่อันดับข้างต้นจะลู่เข้าสู่ค่า  $\sqrt{2}$  ซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักเกณฑ์

**คอนแทรคทีฟแมปกับอิเตอร์เรตฟังกชันซิสเต็ม (Contractive Maps and IFS's)**

**นิยาม 2.4** ให้  $X$  เป็นเมตริกซ์สเปซด้วยเมตริกซ์  $d$  และแมป  $w : X \rightarrow X$  เป็นลิปชิตซ์ (Lipschitz) โดยมีค่าลิปชิตซ์แฟคเตอร์เป็น  $s$  โดยที่ค่า  $s$  เป็นค่าจำนวนจริงที่เป็นค่าบวก

$$d(w(x), w(y)) \leq sd(x, y)$$

สำหรับทุกค่าของ  $x, y \in X$  ถ้าลิปชิตซ์แฟคเตอร์ที่เหมาะสมมีค่าน้อยกว่า 1 ( $s < 1$ ) เมื่อนั้น  $w$  จะคอนแทรคทีฟด้วยค่า  $s$

ตัวอย่างเช่น

- ฟังก์ชัน  $f(x) = \frac{1}{x}$  เป็นลิปชิตซ์บนช่วงปิด  $[1, 2]$  แต่ไม่เป็นในช่วงเปิด  $(0, 1)$  ในช่วงปิด  $[1, 2]$ ,  $|f(x) - f(y)| = |1/x - 1/y| = |(x - y)/(xy)| \leq |x - y|$  แต่ในช่วงเปิด  $(0, 1)$  ความชันของ  $f$  จะไม่มีขอบเขต จึงทำให้  $|1/x - 1/y|$  มีค่าใหญ่มาก ๆ ดังนั้นค่าของ  $|x - y|$  จึงมีค่าน้อยกว่า
- ถ้า  $f$  ไม่ต่อเนื่องแล้ว  $f$  จะไม่เป็นลิปชิตซ์เพราะว่าถ้ามีจุดที่ไม่ต่อเนื่องระหว่าง  $x$  และ  $y$  แล้ว ถึงแม้  $x$  และ  $y$  เข้าใกล้กันแต่  $f(x)$  และ  $f(y)$  จะยังคงแยกจากกันอยู่
- ถ้า  $f : \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}^n$  โดย  $f(\bar{x}) = A\bar{x} + \bar{b}$  แล้ว  $f$  จะเป็นลิปชิตซ์ ในความเป็นจริงการกระทำใดที่เป็นเชิงเส้นบนมิติของเวกเตอร์สเปซที่มีขอบเขตแน่นอนเป็นลิปชิตซ์เสมอ

**Lemma 2.1** ถ้า  $f : X \rightarrow X$  เป็นลิปชิตซ์แล้ว  $f$  จะต่อเนื่อง

แมปจะคอนแทร็คทีฟถ้านำมาซึ่งจุดที่ใกล้เคียงกัน คอนแทร็คทีวิตี (contractivity)  $s$  จะเป็นเครื่องวัดว่าจุด 2 จุดนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากเพียงไร ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาแมป  $f(x) = x/2$  บนเส้นจำนวนจริง แมปนี้จะคอนแทร็คทีฟเพราะว่าดิซแท้นซ์ระหว่าง  $f(x)$  และ  $f(y)$  ไม่มีค่ามากไปกว่าครึ่งหนึ่งของดิซแท้นซ์ระหว่าง  $x$  และ  $y$  ถ้าเลือกค่า  $x$  เริ่มต้นและทำการทำซ้ำ  $f$  โดยทำการคำนวณ  $f(x), f(f(x)), f^{\circ 3}(x), \dots$ , เมื่อนั้นค่าจะลู่เข้าสู่  $0 = f(0)$  นี่ก็คือคุณสมบัติโดยทั่วไปของคอนแทร็คทีฟแมป ถ้าทำการทำซ้ำจากทุกจุดเริ่มต้นที่ต่างกัน จะลู่เข้าสู่ค่า ๆ หนึ่งเสมอ

ในขณะที่ทุกคอนแทร็คทีฟแมปมียูนิคฟิกซ์พอยซ์แต่ไม่ใช่ทุกแมปที่มียูนิคฟิกซ์พอยซ์จะคอนแทร็คทีฟ ตัวอย่างเช่น  $x \mapsto 2x$  มีเพียง 0 เท่านั้นที่ทำให้คอนแทร็คทีฟได้

ตัวอย่างของคอนแทร็คทีฟแมป

1. ถ้า  $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  กำหนดโดย  $f(\vec{x}) = A\vec{x} + \vec{B}$  ซึ่ง  $A$  คือ เมตริกซ์ขนาด  $n \times n$  และ  $\vec{x}, \vec{B}$  เป็นเวกเตอร์ เมื่อนั้น  $f$  จะคอนแทร็คทีฟ
2. ให้  $w_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, i = 1, \dots, n$  เป็นกลุ่มของคอนแทร็คทีฟทรานส์ฟอร์มเมชัน ดังนั้น เราสามารถกำหนดแมป  $W : H(\mathbb{R}^2) \rightarrow H(\mathbb{R}^2)$  โดย

$$W(S) = \bigcup_{i=1}^n w_i(S) \quad (2.1)$$

**ทฤษฎีบท 2.1** ถ้า  $w_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$  คอนแทร็คทีฟด้วยคอนแทร็คทีวิตี  $s_i$  สำหรับ  $i = 1, \dots, n$  เมื่อ  $W = \bigcup_{i=1}^n w_i : H(\mathbb{R}^2) \rightarrow H(\mathbb{R}^2)$  คอนแทร็คทีฟในฮัสโตรอฟเมตริกซ์ ด้วยคอนแทร็คทีวิตี  $s = \max_{i=1, \dots, n} \{s_i\}$

จาก ทฤษฎีบท 2.1 แสดงว่าเมื่อเครื่องทำสำเนาทำการย่อขนาดของรูปต้นฉบับ ผลลัพธ์ของกระบวนการที่ได้มาแสดงว่า  $W$  คอนแทร็คทีฟในสเปซของภาพเพราะว่าคอนแทร็คทีฟแมป  $x \mapsto x/2$  มียูนิคฟิกซ์พอยซ์ เป็น 0 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้จากทุกจุดที่เริ่ม ดังนั้นคอนแทร็คทีฟแมป  $W$  จะมียูนิคฟิกซ์พอยซ์ โดยที่เริ่มจากภาพใด ๆ ก็ตาม

**ทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปิ้งฟิกซ์พอยซ์**

**ทฤษฎีบท 2.2** (ทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปิ้งฟิกซ์พอยซ์) ให้  $X$  เป็นเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์ และ  $f : X \rightarrow X$  เป็นคอนแทร็คทีฟแมป เมื่อ ยูนิคพอยซ์  $x_f \in X$  สำหรับทุก ๆ จุดของ  $x \in X$

$$x_f = f(x_f) = \lim_{n \rightarrow \infty} f^{\circ n}(x)$$

จุดนี้จะเรียกว่าฟิสิกซ์พ้อยซ์หรือแอ็ทแทร็คเตอร์ของแมป  $f$

พิสูจน์

เลือก  $x \in X$  สำหรับ  $n > m$

$$d(f^{\circ m}(x), f^{\circ n}(x)) < s d(f^{\circ m-1}(x), f^{\circ n-1}(x)) < s^m d(x, f^{\circ n-m}(x)) \quad (2.2)$$

ใช้ triangle inequality ทำซ้ำ หลาย ๆ ครั้ง

$$\begin{aligned} d(x, f^{\circ k}(x)) &\leq d(x, f^{\circ k-1}(x)) + d(f^{\circ k-1}(x), f^{\circ k}(x)) \\ &\leq d(x, f(x)) + d(f(x), f(f(x))) + \dots + \\ &\quad d(f^{\circ k-1}(x), f^{\circ k}(x)) \\ &\leq (1 + s + \dots + s^{k-2} + s^{k-1}) d(x, f(x)) \\ &\leq \frac{1}{1-s} d(x, f(x)) \end{aligned} \quad (2.3)$$

สามารถเขียนสมการ 2.2 ได้เป็น

$$d(f^{\circ m}(x), f^{\circ n}(x)) < \frac{s^m}{1-s} d(x, f(x))$$

และเนื่องจาก  $s < 1$  ทำให้สมการด้านซ้ายสามารถทำให้มีค่าน้อยพอ ๆ กันได้ ถ้า  $m$  และ  $n$  มีค่ามาก หมายความว่า ลำดับ  $x, f(x), f(f(x)), \dots$  เป็นลำดับโคซีและเนื่องจาก  $X$  เป็นเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์ ทำให้  $x_f = \lim_{n \rightarrow \infty} f^{\circ n}(x)$  อยู่ใน  $X$  จาก Lemma 2.1 คอนแทร็คติวิตีของ  $f$  แสดงว่า  $f$  นั้นต่อเนื่อง ดังนั้น  $f(x_f) = f(\lim_{n \rightarrow \infty} f^{\circ n}(x)) = \lim_{n \rightarrow \infty} f^{\circ n+1}(x) = x_f$

ซึ่งถ้าอยู่นี้อย่างแท้จริงแล้ว สมมติให้  $x_1$  และ  $x_2$  เป็นฟิสิกซ์พ้อยซ์จะได้

$$d(f(x_1), f(x_2)) = d(x_1, x_2)$$

จากทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปีงฟิกซ์พ้อยซ์จะได้ว่า

$$d(x, x_f) \leq \frac{1}{1-s} d(x, f(x))$$

นี่คือผลที่เกิดขึ้นหลังจากทำการใส่ลิมิตจาก  $k$  ไปยัง  $\infty$  ในสมการที่ 2.3

อย่างไรก็ตาม ไม่จำเป็นที่  $f$  ที่คอนแทร็คทีฟต้องมีฟิกซ์พ้อยซ์สำหรับทุกแอ็ทแทร็คเตอร์ของ  $X$  ตัวอย่างเช่น ในการทำการทำซ้ำเพียงไม่กี่ครั้งของ  $f$  จะเป็นคอนแทร็คทีฟ ซึ่งนำไปสู่ทฤษฎีที่กล่าวไว้ข้างต้น เช่นเดียวกันไม่จำเป็นที่  $f$  จะคอนแทร็คทีฟ สำหรับทุก  $n$  ที่มีค่ามาก ถ้า  $f$  คอนแทร็คทีฟ สำหรับบางค่าของ  $n$  แล้วจะเรียกว่าเป็นอีเวนชวลลีคอนแทร็คทีฟ (eventually contractive) ซึ่งเป็นไปได้ที่  $W = \cup w_i$  จะเป็นอีเวนชวลลีคอนแทร็คทีฟ ถ้าบางแมป  $w_i$  ที่ไม่คอนแทร็คทีฟ

**นิยาม 2.5** ให้  $f$  เป็นลิปชิตซ์ฟังก์ชัน ถ้ามีตัวเลข  $n$  จะได้ว่า  $f^n$  เป็นคอนแทร็คทีฟ เมื่อเรียก  $f$  ว่าเป็นอีเวนชวลลีคอนแทร็คทีฟ แล้วตัวเลข  $n$  จะเรียกว่า ตัวยกกำลังของอีเวนชวลลีคอนแทร็คทีฟ (eventually contractivity)

### แฟลกทอลเป็นฟิกซ์พ้อยซ์

ทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปีงฟิกซ์พ้อยซ์ โดยให้  $w_1, \dots, w_n$  เป็นคอนแทร็คทีฟทรานส์ฟอร์มชัน  $s$  เมื่อแมป  $W = \cup w_i$  เป็นคอนแทร็คทีฟและกำหนดยูนิคฟิกซ์พ้อยซ์ใน  $H$  ตัวอย่างเช่น เลือก  $w_i$  ซึ่งเป็นการแปลงแบบแอฟไฟน์ในระนาบ ในกรณีที่ฟิกซ์พ้อยซ์  $x_{w_i}$  เป็นซับเซตของระนาบ ซึ่งเป็นแฟลกทอล

**นิยาม 2.6** ให้  $X$  เป็นเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์ อีเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มจะเป็นกลุ่มของคอนแทร็คทีฟแมป  $w_i : X \rightarrow X$ , สำหรับ  $i = 1, \dots, n$

ดังนั้น อีเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มเป็นเพียงกลุ่มของแมป ซึ่งกำหนดยูนิคแอ็ทแทร็คเตอร์จากทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปีงฟิกซ์พ้อยซ์และจุดซึ่งเป็นแอ็ทแทร็คเตอร์เป็นยูนิคระบุได้จากแมป  $W$  ปัญหาในการเข้ารหัสภาพก็คือ ถ้ามีเซต  $S$  จะหาอีเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มที่แอ็ทแทร็คเตอร์เป็น  $S$  ได้อย่างไร ซึ่งทางออกของปัญหานี้ก็คือ สมการฟิกซ์พ้อยซ์

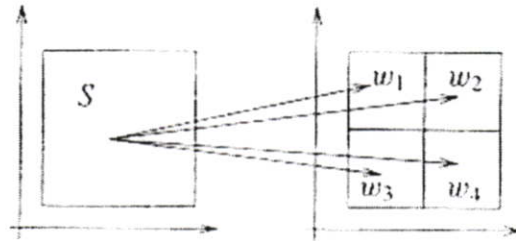
$$x_w = W(x_w) = w_1(X_w) \cup \dots \cup w_n(X_w)$$

และ

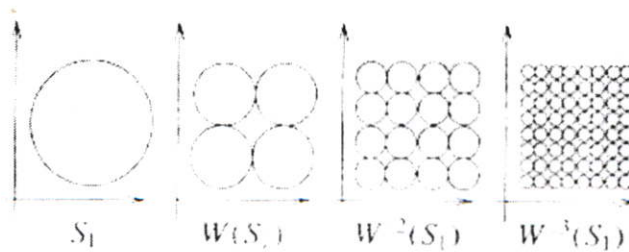
$$d(S, x_w) \leq \frac{1}{1-s} d(S, W(S))$$

สมการแรกบอกว่าฟิซซ์พ้อยซ์ นั้นได้มาจากการแปลงสำเนาของตัวเอง โดยทำกับเซต  $S$  และทำการแปลงโดยใช้คอนแทร็คทีฟทรานส์ฟอเมชันแล้วทำการสร้างเซต  $S$  ใหม่ขึ้นมายูนิคของฟิซซ์พ้อยซ์ นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะว่าถ้าสามารถหา  $W$  ที่เหมาะสมกับ  $S = W(S)$  แล้วทำให้  $S = x_w$  นั่นคือ  $S$  เป็นแอ็ทแทร็คเตอร์ของ  $W$  สมการที่สองบอกว่า ไม่สามารถวางชิ้นส่วนให้พอดีกับเซต  $S$  ได้อย่างแน่นอน ทางที่ดีที่สุดในการทำให้พอดีระหว่างเซต  $S$  เดิม และกลุ่มของ  $W(S)$  ซึ่งเป็นเซต  $S$  ที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ นั่นก็คือเลือกแอ็ทแทร็คเตอร์ที่ใกล้เคียงกับเซต  $S$  เดิมมากที่สุด

ทางออกของการคำนวณนี้ก็คือ เลือก  $W$  ซึ่งทำให้  $S$  มีขนาดเล็กลง ในกรณีนี้  $d(S, W(S))$  จะเล็กลง และทำให้  $d(S, x_w)$  จะเล็กลงตามไปด้วย โดยที่การทำเช่นนี้ ไม่สามารถทำได้กับเทอมของ  $\frac{1}{1-s}$  ที่มีค่ามาก ๆ ดังนั้น จะไม่รู้ว่  $d(S, x_w)$  จะเป็นอย่างไร ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ในกรณีนี้  $d(S, x_w)$  จะมีค่ามาก



(ก)



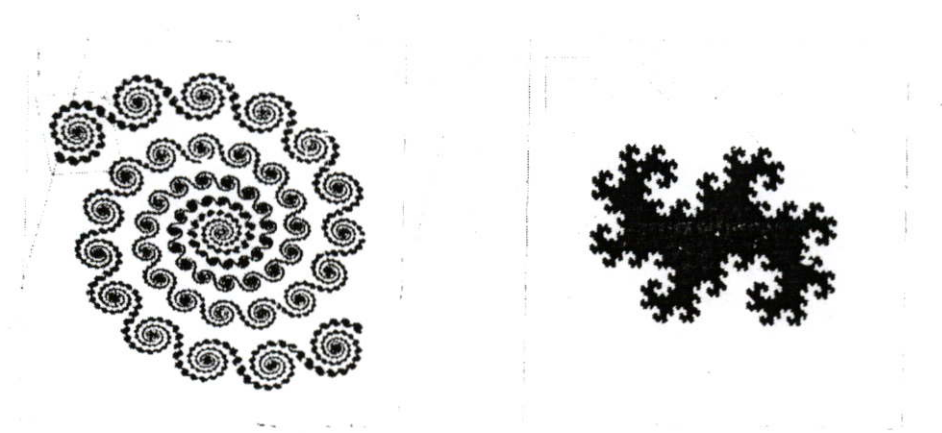
(ข)

รูปที่ 2.9 ก) แสดงการแปลง  $w_1, w_2, w_3, w_4$  ของส่วนที่อยู่ในรูปสี่เหลี่ยม

ข) แสดงการทำซ้ำ 3 ครั้งแรกของ  $W = \cup_{i=1}^4 w_i$

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างง่าย ๆ ในการใช้สมการฟังก์ชันพ้อยซ์ ให้เซต  $S$  เป็นสี่เหลี่ยม ซึ่งประกอบด้วยสำเนาของตัวเองสี่ส่วน ที่ถูกลดลงไปครึ่งหนึ่ง สมการการแปลง  $w_1, w_2, w_3$  และ  $w_4$  แสดงในรูปที่ 2.9ก แสดงให้เห็นว่า  $S = w_1(S) \cup w_2(S) \cup w_3(S) \cup w_4(S) = W(S)$  ซึ่งหมายความว่าฟังก์ชันพ้อยซ์ของ  $W$  คือ  $S$  รูปที่ 2.9ข แสดงการทำซ้ำ 3 ครั้งแรก จะเห็นว่าการทำซ้ำเข้าสู่  $S$  ตามขั้นตอนของทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปิงฟังก์ชันพ้อยซ์

รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มแสดงให้เห็นฟังก์ชันพ้อยซ์และการแปลง จากรูปการแปลงจะแสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน ซึ่งเป็นรูปของสี่เหลี่ยมรูปใหญ่ การหมุนของภาพ แสดงด้วย  $\Gamma$  ในแต่ละรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานจะทำการแปลงโดยการลดขนาดของภาพทั้งภาพ แล้วทำการรวมแต่ละรูปเข้าด้วยกัน

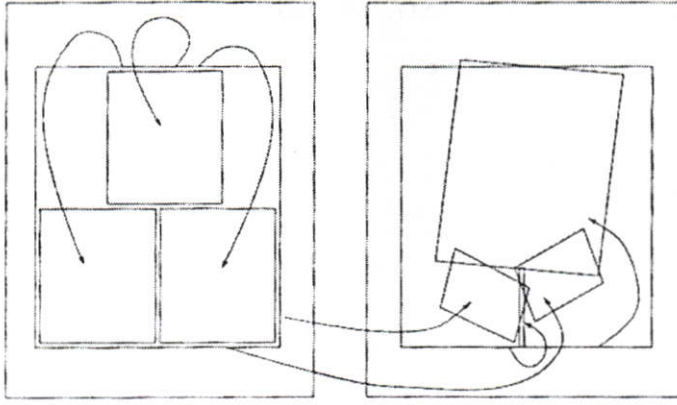


รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มของแอ็ทแทร็คเตอร์และการแปลง โดยแสดงเป็นรูปสี่เหลี่ยมรอบ ๆ แอ็ทแทร็คเตอร์

### 2.3 รีเคอร์เรนต์อิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม (Recurrent Iterated Function Systems)

ในบางครั้งเพื่อที่จะสร้างเฟิร์นการสร้างจากสามเหลี่ยมเซอร์พินสกี (Sierpinski triangles) นั้นง่ายกว่าที่จะสร้างเฟิร์นขึ้นมาอย่างเดี่ยวและเมื่อคิดตามขั้นตอนแล้วการทำงานของอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม จะทำ 2 อย่างพร้อมกันได้แก่

1. สร้างอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มสำหรับสามเหลี่ยมเซอร์พินสกีก่อน แล้วทำการป้อนผลลัพธ์ที่ได้นี้เป็นต้นฉบับของการทำครั้งต่อไป
2. อิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มทำหน้าที่สำหรับการทำสำเนา เพื่อให้เฟิร์นสมบูรณ์ โดยแสดงในรูปที่ 2.11 และผลลัพธ์ของแอ็ทแทร็คเตอร์แสดงในรูปที่ 2.12

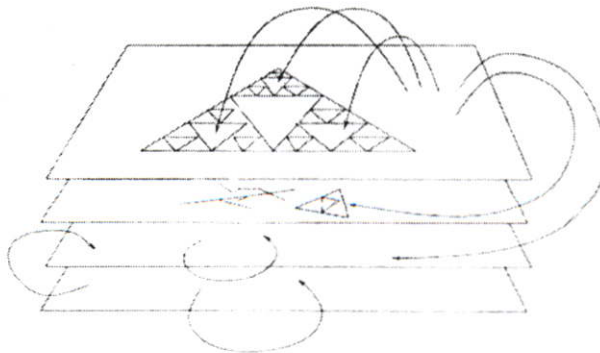


รูปที่ 2.11 แสดงอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มโดยผสมกันระหว่างเฟิร์นและสามเหลี่ยมเซอร์พินสกี



รูปที่ 2.12 แสดงผลลัพธ์ของแอ็ทแทรกเตอร์ในรูปที่ 2.11

โดยที่โครงสร้างทั่วไป สำหรับกำหนดขั้นตอนการทำงาน จินตนาการหมายเลขของระนาบที่ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งในแต่ละระนาบจะมีอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มอยู่แล้วทำการแมประหว่างระนาบดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงรีเคอร์เรนซ์อิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม ประกอบด้วยอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มของระนาบซึ่งไม่ติดกัน โดยการแมประหว่างระนาบ

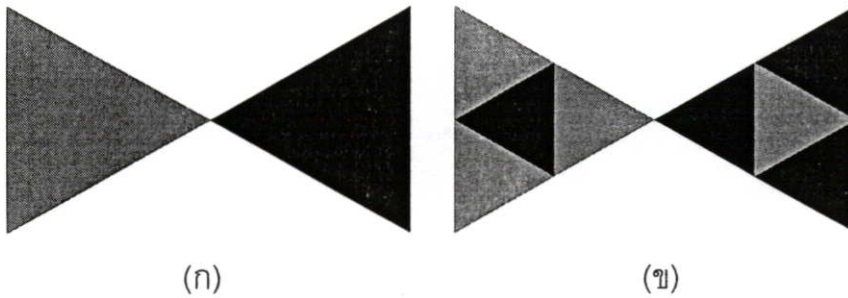
วิธีที่ใช้ในการสร้างเฟิร์นจากสามเหลี่ยมเซอร์พินส์นี้เรียกว่าการทำรีเคอร์เร็นซ์อิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็ม ซึ่งทำการแมปจากระนาบหนึ่งไปยังอีกระนาบหนึ่ง สามารถเขียนสมการในการแมปได้ดังนี้

$$W(A_1, \dots, A_n) = (U_j W_{1j}(A_j), \dots, U_j W_{nj}(A_j))$$

จากทฤษฎีคอนแทร็คทีฟแมปปิงฟังก์ชันซิสเต็ม  $W$  จะมียูนิคฟังก์ชันซิสเต็มเป็น  $x_w = (A_1, \dots, A_n)$

## 2.4 พาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็ม (Partitioned Iterated Function Systems)

พาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มเป็นการนำอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มมาใช้ในการสร้างแฟล็กทอลแต่ต้องกำหนดค่าต่าง ๆ มากกว่าทั่ว ๆ ไป ในการหากลุ่มของแมป  $w_1, \dots, w_n$  จะนำไปสู่การแปลง  $W = \cup w_i$  โดยแสดงให้เห็นว่ามีฟังก์ชันซิสเต็ม ซึ่งแสดงว่า  $W$  คอนแทร็คทีฟโดยพยายามเลือกแอ็ทแทร็คเตอร์ที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด



รูปที่ 2.14 แสดงรูปไทฮูกระด้าย (ก) เป็นโดเมนของพาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มแสดงโดยโทนสีเทาและดำ (ข) เป็นโดเมนของการแปลงแสดงโดยโทนสีเทาและดำ

พาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็ม มีพื้นฐานมาจากอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็ม ในพาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มนี้ โดเมน  $w_i$  จะถูกจำกัดไว้ ทำให้ง่ายขึ้นในการเข้ารหัสภาพสำหรับภาพซึ่งไม่เหมือนกันในตัวเอง ตัวอย่างเช่น รูป “bow tie” ในรูปที่ 2.14 หากที่จะใช้อิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มแต่จะทำได้ง่ายขึ้นเมื่อใช้พาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มในการแปลงโดยสามารถสร้างสามเหลี่ยม 2 อันของ “bow tie” แยกกันโดยใช้นิยามดังนี้

นิยาม 2.7 ให้  $X$  เป็นเมตริกซ์สเปซที่สมบูรณ์ และให้  $D_i \subset X$  สำหรับ  $i = 1, \dots, n$  พาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็มเป็นกลุ่มของคอนแทร็คทีฟแมป  $w_i : D_i \rightarrow X$  สำหรับ  $i = 1, \dots, n$

การใช้ทฤษฎีคอนแท็คทีฟแมปปีงฟังก์ชันพ้อยซ์ในการกำหนดยูนิคฟังก์ชันพ้อยซ์ สำหรับพาร์ติชันนอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มนั้นไม่สามารถทำได้ในเงื่อนไขทั่วไป เนื่องจากโดเมนถูกจำกัดไว้ ซึ่งจุดเริ่มต้นนั้นเป็นสิ่งสำคัญมาก ถ้าไม่ระมัดระวังอาจจะได้เซตว่าง เมื่อทำซ้ำไป 1 ครั้ง

## 2.5 แบบจำลองของภาพ (Image Model)

ในการเข้ารหัสภาพแบบโมโนโครม (monochrome) ที่ไม่ใช่รูปขาวดำ เป็นซับเซตของระนาบภาพที่พูดถึงนี้ก็คือ รูปภาพระดับสีเทาโดยจะทำการวิเคราะห์รูปแบบนี้ ในวิธีการของ การวัดสเปซ (measure spaces), ข้อมูลของจุดภาพ (pixelized data)

### การวัดในรูปแบบของภาพ (Measure As Image Models)

ภาพ สามารถแสดงเป็นการวัด  $\mu$  ในระนาบ ซึ่งกรณีนี้ ความเข้มสามารถวัดบนซับเซต  $A$  ของระนาบ โดย

$$\mu(A) = \int_A d\mu$$

การพูดถึงภาพโดยใช้สมการนี้ ไม่สามารถมองเห็นภาพได้ว่าความเข้มของจุดของภาพนั้นมีค่าเท่าใด ตัวอย่างเช่น ในการวัดความเข้มของแสงต่อพื้นที่

### ข้อมูลของจุดภาพ (Pixelized Data)

ภาพนั้นแสดงด้วยกลุ่มของจุด ในแต่ละค่าของจุดนั้นจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 ใช้แทนเป็นภาพระดับสีเทา จำนวนของบิตต่อจุดใช้เก็บค่าของจุดเพื่อใช้แสดงถึงความละเอียดของภาพที่เป็นระดับสีเทาและผลรวมของจุดสามารถแสดงถึงความละเอียดของภาพ ซึ่งกระบวนการของคอมพิวเตอร์สามารถทำงานได้กับข้อมูลแบบนี้

ดังนั้นในการแปลงแบบแอฟไฟน์จึงจำเป็นต้องเพิ่มแกน  $z$  ขึ้นมาเพื่อแทนค่าของระดับสีเทาสามารถเขียนเป็นสมการการแปลงในระนาบ 3 มิติได้ดังนี้

$$w_i \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i & 0 \\ c_i & d_i & 0 \\ 0 & 0 & s_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ o_i \end{bmatrix}$$

ซึ่ง  $a_i, b_i, c_i, d_i$  เป็นค่าสำหรับปรับเปลี่ยนรูปแบบของการแปลงแบบแอฟไฟน์

$e_i$  เป็นค่าสำหรับปรับตำแหน่งในแกน  $x$

$f_i$  เป็นค่าสำหรับปรับตำแหน่งในแกน  $y$

$s_i$  เป็นค่าสำหรับปรับความคมชัดของภาพ

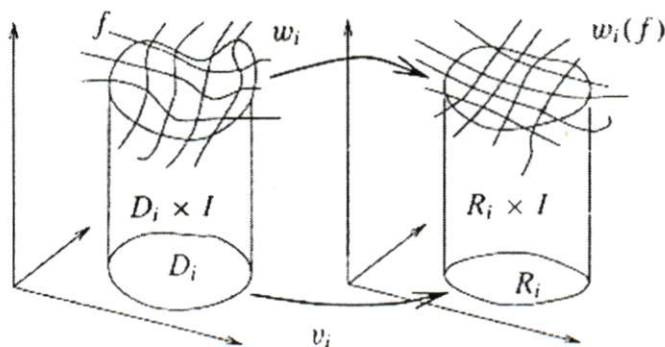
$o_i$  เป็นค่าสำหรับปรับความสว่างของภาพ

จากสมการการแปลงแบบแอฟไฟน์ข้างต้น จะสังเกตเห็นว่า  $z$  ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง  $x$  และ  $y$  ของ  $w_i$  ดังนั้นถ้าเลือก  $w_i$  ที่คอนเทร็คทีฟในแกน  $z$  ซึ่ง  $s_i < 1$  เมื่อนั้น  $W = \cup_i w_i$  จะคอนเทร็คทีฟ สามารถอธิบายการแปลงในระนาบ 3 มิติได้ดังนี้

ให้  $D_1, \dots, D_n$  และ  $R_1, \dots, R_n$  เป็นซับเซตของ  $I^2$  เรียกว่าโดเมนและเรนจ์ ซึ่งเป็นคาร์ทีเซียนโปรดักส์ (Catesian product)  $D_i \times I$  และ  $R_i \times I$

ให้  $f$  เป็นฟังก์ชันซึ่งแทนค่าของระดับสีเทาในแกน  $z$  ทำการแมป  $w_1, \dots, w_n$  ในรูปแบบของพาร์ติชันอ็อบเจกต์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม โดยมีแนวความคิดว่า  $w_i$  มีโดเมนที่จำกัด โดยที่  $w_i(f) = w_i(x, y, f(x, y))$

ดังนั้นจุดภาพเหนือโดเมนคือ  $f \cap (D_i \times I)$  และจุดภาพเหนือเรนจ์คือ  $f \cap (R_i \times I)$  เมื่อทำการแมปโดเมนไปยังเรนจ์จะทำให้  $f \cap (D_i \times I)$  เท่ากับ  $f \cap (R_i \times I)$  แสดงดังรูปที่ 2.15 ได้มาจาก  $\cup_{i=1}^n w_i(f)$



รูปที่ 2.15 แสดงแมป  $w_i$  ทำการแมป  $D_i$  ไปยัง  $R_i$

โดยความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพแบบ Root mean square metric เขียนแทนด้วย rms metric ถ้าให้  $x = (x_1, \dots, x_n)$  และ  $y = (y_1, \dots, y_n)$  เป็นภาพ rms metric สามารถคำนวณได้โดย

$$d_{rms}(x, y) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

ในทางปฏิบัติ ค่าของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Peak Signal-to-noise Ratio เขียนแทนด้วย PSNR) ใช้วัดความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ หาได้จาก

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{b}{rms} \right)$$

ซึ่ง  $b$  คือค่าที่มากที่สุดของสัญญาณ (255) และ  $rms$  คือค่าความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพโดยใช้ค่าความแตกต่างแบบลูสมินสแควและ PSNR มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้มากที่สุดในการหาความแตกต่างของภาพ

## บทที่ 3

# การลดขนาดข้อมูลภาพพื้นฐาน

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้ส่วนแรกจะกล่าวถึงการนำทฤษฎีที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 มาใช้ในการลดขนาดข้อมูลภาพ โดยจะอธิบายเพิ่มเติมในส่วนของการทำงานของเครื่องทำสำเนา เพื่อให้เข้าใจการทำงานมากขึ้น ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการในการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลภาพซึ่งเป็นระดับสีเทา และในส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงกระบวนการทำงานของการลดขนาดข้อมูลภาพที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้

### 3.2 หลักการพื้นฐานของการลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟลคทอล

#### Partitioned Copying Machine

สมมติว่าเครื่องทำสำเนาสามารถทำการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูลภาพซึ่งเป็นระดับสีเทาได้ จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 นั้นเครื่องทำสำเนาที่มีคุณสมบัติดังนี้

- ทุก ๆ การทำสำเนาของภาพต้นฉบับจะวางในภาพผลลัพธ์
- กำหนดตำแหน่ง และขนาดของการปรับขนาด การยืด การเอียง และการหมุนในการละการ

ทำสำเนา

เพื่อให้คล้ายกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟลคทอลมากยิ่งขึ้น เราจะทำการเพิ่มคุณสมบัติของเครื่องทำสำเนา ดังนี้

- มีการปรับความคมชัดและความสว่างในแต่ละการทำสำเนา
- ทำเครื่องหมายของส่วนที่ถูกเลือกจากภาพต้นฉบับที่ทำสำเนา

คุณสมบัติที่เพิ่มเข้าไปนี้ ทำให้สามารถเข้ารหัสข้อมูลภาพซึ่งเป็นระดับสีเทาได้ และความสามารถสุดท้ายนี้เป็นหัวใจสำคัญสำหรับการเข้ารหัสข้อมูลภาพเป็นอย่างยิ่ง คือการแบ่งภาพต้นฉบับออกเป็นส่วน ๆ แล้วทำการแปลงแยกจากกัน การแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ นี้ทำให้สามารถใช้ทฤษฎีของอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม ช่วยในการเข้ารหัสภาพแบบแฟลคทอลได้

จากบทที่ 2 ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าเมื่อมีอะไรเกิดขึ้นเมื่อทำสำเนาโดยใช้เครื่องทำสำเนา ส่วนของภาพที่แบ่งออกมาจะเรียกว่าโดเมน (Domain) เขียนแทนด้วย  $D$ , และผลที่ได้จากการทำสำเนาจะเรียกว่าเรนจ์ (Range) เขียนแทนด้วย  $R$ , และแทนการแปลงด้วย  $w$ , โดยให้ภาพต้นฉบับแทนด้วย  $f$  การทำสำเนาครั้งหนึ่งซึ่งเท่ากับ  $N$  สำเนา สามารถเขียนได้ดังนี้

$$W(f) = w_1(f) \cup w_2(f) \cup \dots \cup w_N(f)$$

เมื่อเครื่องทำสำเนาทำงานในพีคแบ็คคูลูปโดยนำผลลัพธ์กลับมาเป็นต้นฉบับอีกครั้งหนึ่งและเป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ

**พาร์ติชันก๊อปปีแมสชีนเป็นพาร์ติชันอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม (Partitioned Copying Machine Are PIFS)**

ในทางคณิตศาสตร์พาร์ติชันก๊อปปีแมสชีนจะเรียกว่าพาร์ติชันอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็ม จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 PIFS จะไม่ขึ้นกับชนิดของการแปลง ซึ่งในที่นี้จะใช้การแปลงแบบแอฟไฟน์ กำหนดให้ 2 มิติแรกเป็นมิติสเปเชียลและมีค่าของระดับสีเทาเป็นมิติที่ 3 ดังนั้น สมการของการแปลง  $w_i$  จะมีรูปแบบดังนี้

$$w_i \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i & 0 \\ c_i & d_i & 0 \\ 0 & 0 & s_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \\ o_i \end{bmatrix}$$

ซึ่ง  $s_i$  และ  $o_i$  เป็นค่าสำหรับการปรับความคมชัด ความสว่างของการแปลงตามลำดับ ถ้าทำการวิเคราะห์เฉพาะส่วนของสเปเชียล สมการของการแปลง  $v_i$  จะมีรูปแบบดังนี้

$$v_i(x, y) = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix}$$

ดังนั้น ภาพที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชัน  $f(x, y)$  สามารถนำแมป  $w_i$  มาใช้กับภาพ  $f$  ได้ โดย  $w_i(f) \equiv w_i(x, y, f(x, y))$  เมื่อ  $v_i$  เป็นค่าที่กำหนดว่าจะแบ่งภาพต้นฉบับอย่างไร เพื่อที่จะทำการแมปไปยังภาพที่นำมาเปรียบเทียบ ในขณะที่  $s_i$  และ  $o_i$  เป็นค่าที่กำหนดการปรับความคมชัดและความสว่างของภาพตามลำดับ ซึ่งส่วนของภาพ  $D_i$  และ  $R_i$  วางอยู่บนระนาบ และแมป  $w_i$  จะทำการแมปกับส่วนของ  $D_i \times I$  ในแนวแกนตั้งเหนือ  $D_i$  นั้นหมายความว่า  $v_i(D_i) = R_i$  ดังรูปที่ 2.15

ดังนั้น ถ้าให้  $W(f)$  เป็นภาพ  $\cup R_i = I^2$  และ  $R_i \cap R_j = \emptyset$  เมื่อ  $i \neq j$  นั่นคือเมื่อนำ  $W$  มาใช้กับภาพ จะได้ฟังก์ชันบนแต่ละจุดของ  $I^2$

เมื่อให้เครื่องทำสำเนาทำงานในพีคแบ็คคูลูป จึงเปรียบเสมือนกับการทำซ้ำของแมป  $W$  โดยเริ่มจากภาพเริ่มต้น  $f_0$  เมื่อเกิดการซ้ำ  $f_1 = W(f_0)$ ,  $f_2 = W(f_1) = W(W(f_0))$  จะเป็นเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ เมื่อแทน  $n$  ด้วยจำนวนของการซ้ำ จะได้  $f_n = W^n(f_0)$

### ฟิกซ์พอยต์สำหรับพาร์ติชันอิตอเรตฟังก์ชันซิสเต็ม (Fixed Points for Partitioned Iterated Function Systems)

ในกรณีของ PIFS นั้น ฟิกซ์พอยต์หรือแอ็ทแทรกเตอร์ที่เป็นภาพ  $f$  คือ  $W(f) = f$  นั่นคือเมื่อนำการแปลงมาใช้กับภาพ จะทำให้ได้ภาพต้นฉบับกลับมา จากทฤษฎีคอนแทรคทีฟแมปปิง (The Contractive Mapping Theorem) จะเห็นว่าฟิกซ์พอยต์ของ  $W$  จะได้เป็นรูปภาพเมื่อผ่านการคำนวณดังนี้  $W(f_0), W(W(f_0)), W(W(W(f_0))), \dots$ , ซึ่ง  $f_0$  เป็นภาพใด ๆ ดังนั้นจะเห็นว่า  $W$  เป็นคอนแทรคทีฟในสเปซของทุก ๆ ภาพ เมื่อยูนิตฟิกซ์พอยต์เป็นภาพใดภาพหนึ่ง

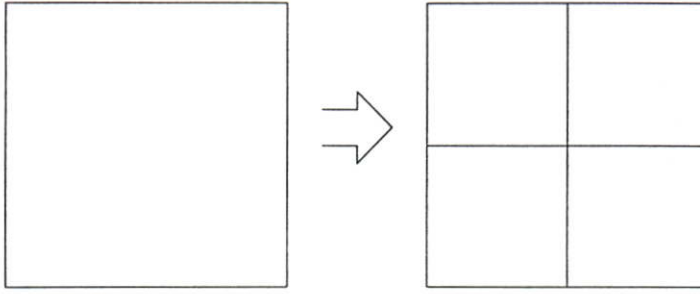
จะเห็นว่าไม่จำเป็นต้องมีเงื่อนไขของคอนแทรคทีฟในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  ซึ่ง  $W$  จะคอนแทรคทีฟเมื่อแต่ละค่าของ  $s_i < 1$  นั่นคือ ค่าดีซเท็นชันในแนวแกน  $z$  จะถูกทำให้ขนาดเปลี่ยนไปโดย factor ที่น้อยกว่า 1 ในความเป็นจริงแล้วการนำทฤษฎีคอนแทรคทีฟแมปปิง มาใช้กับ  $W^m$  สำหรับบางค่าของ  $m$  ซึ่ง  $s_i > 1$  ยังทำให้  $W^m$  นั้นคอนแทรคทีฟอยู่ เมื่อรวมทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้ว ในกรณีนี้เรียก  $W$  ว่าเป็นอีเวนชวลลีคอนแทรคทีฟ ในทางปฏิบัติ ถ้าต้องการความแน่นอนโดยให้ค่า  $s_i < 1$  ทำให้แน่ใจได้ว่าจะคอนแทรคทีฟ แต่จากความเป็นจริงถ้าให้ค่า  $s_i < 1.2$  ก็คอนแทรคทีฟเหมือนกันและเมื่อทำการถอดรหัส ภาพที่ได้เหมือนภาพต้นฉบับมากกว่าเมื่อให้ค่า  $s_i < 1$  ด้วย

### 3.3 การแบ่งภาพในการเข้ารหัสภาพแบบแฟล็กทอล

การแบ่งภาพพื้นฐานที่ใช้ในกระบวนการเข้ารหัสภาพแบบแฟล็กทอล สามารถแบ่งตามรูปแบบใหญ่ ๆ ได้ 2 แบบคือ

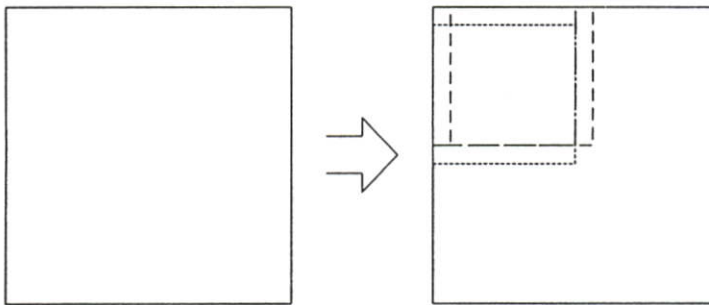
1. การแบ่งแบบไม่ซ้อนทับกัน
2. การแบ่งแบบซ้อนทับกัน

การแบ่งแบบไม่ซ้อนทับกันนั้นภาพที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีขนาดที่พอดีกับขนาดที่ต้องการแบ่ง เช่น ถ้าต้องการแบ่งภาพให้มีขนาดย่อย ๆ เป็น  $8 \times 8$  จุด ภาพที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีขนาดซึ่งสามารถนำ 8 มาหารแล้วลงตัว เช่น  $64 \times 32$  หรือ  $64 \times 64$  เป็นต้น จึงจะสามารถแบ่งภาพได้พอดี ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการแบ่งภาพขนาด 16x16 เป็นส่วน ๆ ขนาด 8x8 แบบไม่ซ้อนทับกัน

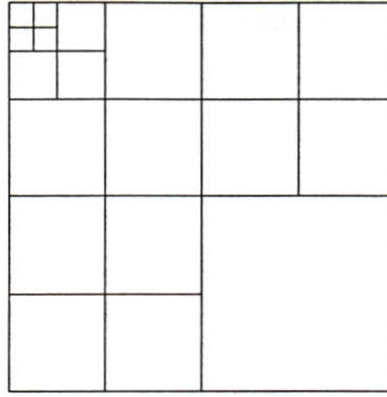
การแบ่งภาพแบบซ้อนทับกันภาพที่นำมาใช้นั้นจะมีขนาดเท่าใดก็ได้ หรือ ขึ้นอยู่กับจำนวนจุดที่ต้องการซ้อนกันในการแบ่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงการแบ่งภาพขนาด 16x16 เป็นส่วน ๆ ขนาด 8x8 แบบซ้อนทับกัน 1 จุด

สิ่งที่ใช้ตัดสินใจในการกำหนดขนาดในการแบ่งภาพก็คือรายละเอียดของภาพที่นำมาเข้ารหัส ถ้าภาพมีรายละเอียดมากขนาดของการแบ่งก็ต้องเล็กลง แต่นั่นก็หมายถึงอัตราการบีบอัดภาพก็จะน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงได้มีการนำกระบวนการแบ่งภาพแบบควอดทรี (Quadtree Partition) มาช่วยในการแบ่งภาพเพื่อให้อัตราการบีบอัดภาพไม่ลดลงตามรายละเอียดของภาพ และภาพที่ได้จากการถอดรหัสไม่สูญเสียรายละเอียดของภาพไป

การแบ่งภาพแบบควอดทรีแสดงในรูปที่ 3.3 จะทำการแบ่งภาพออกเป็นสี่ควอดแรนท์ (Quadrant) โดยแต่ละส่วนที่ทำการแบ่งจะแบ่งออกเป็นสี่ควอดแรนท์ต่อไปเรื่อย ๆ เมื่อภาพในส่วนที่แบ่งไว้แล้วนั้นยังคงมีรายละเอียดมาก



รูปที่ 3.3 แสดงการแบ่งภาพแบบควอดทรี

### 3.4 การลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟล็กทอลในสเปซเฮลโดเมน

สมมติให้ภาพ  $f$  เป็นภาพที่ต้องการลดขนาดข้อมูล นั้นหมายความว่าต้องการหากลุ่มของแมป  $w_1, w_2, \dots, w_n$  ซึ่ง  $W = \bigcup_{i=1}^N$  และ  $f = x_W$  เมื่อ  $f$  เป็นพิกซ์พ้อยซ์ของแมป  $W$  โดยสมการของพิกซ์พ้อยซ์เป็นดังนี้

$$f = W(f) = w_1(f) \cup w_2(f) \cup \dots \cup w_N(f)$$

โดยทำการค้นหาส่วนต่าง ๆ ของ  $f$  จากที่แบ่งไว้ แล้วทำการแปลง  $w_i$  เพื่อให้ได้ภาพ  $f$  กลับคืนมา ดังเช่นในกรณีของเครื่องทำสำเนาในรูปที่ 2.3ค ซึ่งภาพที่ได้สร้างขึ้นมาจากการลดขนาดของภาพต้นฉบับ แล้วนำไปวางไว้ในตำแหน่งที่ต้องการ ในความเป็นจริง ส่วนต่าง ๆ ของภาพที่ทำการแปลงนั้น ขนาดจะไม่เท่ากันพอดี จะได้  $f' = x_W$  ดังนั้นจึงต้องหาส่วนที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุดจาก  $d_{rms}(f', f)$  ซึ่งจะทำให้ได้ภาพจากการแปลง  $W$  ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในกรณีนี้

$$f \approx f' = W(f) \approx W(f) = w_1(f) \cup w_2(f) \cup \dots \cup w_N(f)$$

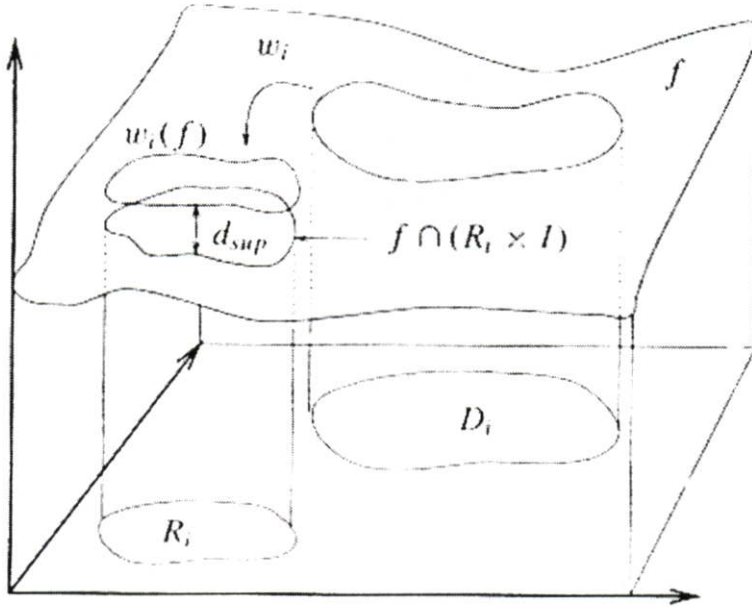
ดังนั้นการประมาณค่าส่วนของภาพจากการแปลง ทำได้โดยการหาค่าความแตกต่างของขนาดของระดับสีให้น้อยที่สุด

$$d_{rms}(f \cap (R, \times I), w_i(f)) \quad i = 1, \dots, N$$

รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการทำงานนี้ โดยหาส่วนของ  $D_i$  และแมป  $w_i$  โดยทำการแปลงส่วนของภาพเหนือ  $D_i$  แล้วทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับส่วนของภาพเหนือ  $R_i$  มากที่สุด โดยหัวใจสำคัญของ

การลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟลททอลคือการส่วนของ  $R_i$  ซึ่งเหมือนกับส่วนของ  $D_i$  มากที่สุด นั่นคือ

$$f_{R_i} = f'_{R_i} = w_i(f_{D_i})$$



รูปที่ 3.4 แสดงการหาค่าต่ำสุดระหว่างภาพ  $R_i$  ของกราฟ  $f \cap (R_i \times I)$  เหนือ  $R_i$  และภาพ  $w_i(f)$  ของส่วนของกราฟเหนือ  $D_i$

เมื่อนำการแปลงแบบแอฟไฟน์มาใช้กับส่วนของ  $D_i$  จะได้สมการการแปลงแบบย่อของ  $R_i$  และ  $D_i$  ดังนี้

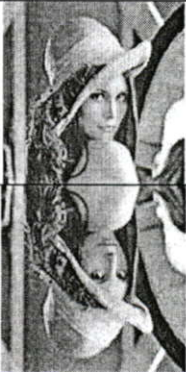

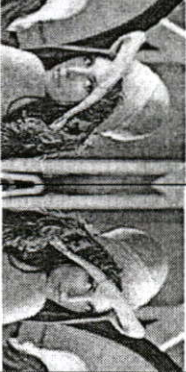
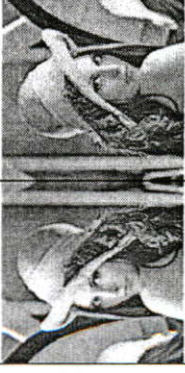
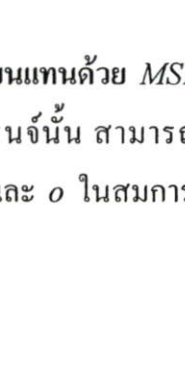
$$f_R(x, y) = f'_R(x, y) = s(I_n(\varphi(f_D(x, y)))) + o \quad (3.1)$$

เมื่อ  $f_R(x, y)$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงของเรนจ์ด้วย DCT

$f_D(x, y)$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงของโดเมนด้วย DCT

- $\varphi$  เป็นการลดขนาดของภาพ ซึ่งทำให้ส่วนของโดเมนมีขนาดเท่ากับส่วนของเรนจ์
- $s$  เป็นค่าสำหรับการปรับความคมชัดของภาพ
- $o$  เป็นค่าสำหรับการปรับความสว่างของภาพ
- $I_n$  เป็นการหมุนภาพในสเปซเชิงเส้น โดเมนสามารถหมุนได้ 8 แบบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการหมุนภาพในรูปแบบต่าง ๆ

รูปแบบ	สเปซโดเมน	ลักษณะของภาพ
$I_1$	Identity	
$I_2$	x flip	
$I_3$	y flip	
$I_4$	$180^\circ$ rotation	
$I_5$	(x=y)flip	
$I_6$	$90^\circ$ rotation	
$I_7$	$270^\circ$ rotation	
$I_8$	(x+y=0)flip	

การคำนวณค่า  $s, o$  และค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Square Error เขียนแทนด้วย  $MSE$ )

ในทางปฏิบัติ การเปรียบเทียบระหว่างส่วนของโดเมนและเรนจ์นั้น สามารถใช้  $MSE$  เมตริกซ์ ในการเปรียบเทียบซึ่งทำให้ง่ายต่อการคำนวณสำหรับค่า  $s$  และ  $o$  ในสมการที่ 3.1 โดย

ให้ 2 เมตริกซ์ นี้ประกอบไปด้วย  $f_D(x, y)$  (จากโดเมน) และ  $f_R(x, y)$  (จากเรนจ์) แล้วทำการหาค่า  $s$  และ  $o$  จากสมการต่อไปนี้

$$MSE = \sum_{x,y=0}^{N-1} [(s(I_n(f_D(x, y)))) + o - f_R(x, y)]^2 \quad (3.2)$$

สมการนี้เป็นการปรับความคมชัดและความสว่างของภาพ ในการทำการแปลงแบบแอฟไฟน์ ค่าของ  $f_D(x, y)$  แล้วทำให้ได้ความแตกต่างระหว่าง  $f_R(x, y)$  น้อยที่สุด โดยค่า  $MSE$  จะต่ำที่สุดเมื่อ ทำพหุคูณอนุพันธ์ (partial derivative) ด้วย  $s$  และ  $o$  แล้วได้ค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ

$$s = \frac{\left[ N \sum_{x,y=0}^{N-1} f_D(x, y) f_R(x, y) - \sum_{x,y=0}^{N-1} f_D(x, y) \sum_{x,y=0}^{N-1} f_R(x, y) \right]}{\left[ N \sum_{x,y=0}^{N-1} f_D(x, y)^2 - \left( \sum_{x,y=0}^{N-1} f_D(x, y) \right)^2 \right]} \quad (3.3)$$

และ

$$o = \frac{1}{N} \left[ \sum_{x,y=0}^{N-1} f_D(x, y) - s \sum_{x,y=0}^{N-1} f_R(x, y) \right] \quad (3.4)$$

ถ้า  $n \sum_{i=1}^n f_D(x, y)^2 - \left( \sum_{i=1}^n f_D(x, y) \right)^2 = 0$  ให้  $s = 0$  และ  $o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_D(x, y)$  นำการคำนวณทั้งหมดนี้ไปแทนในส่วนของการหาค่า  $d_{rms}(f \cap (R_i \times I), w_i(f))$  จากสมการ

### การวัดความเหมือนของภาพ

ในทางปฏิบัติ การวัดความเหมือนกันของภาพจะใช้ PSNR วัดความแตกต่างกันระหว่างภาพสองภาพ ดังสมการที่ 3.5

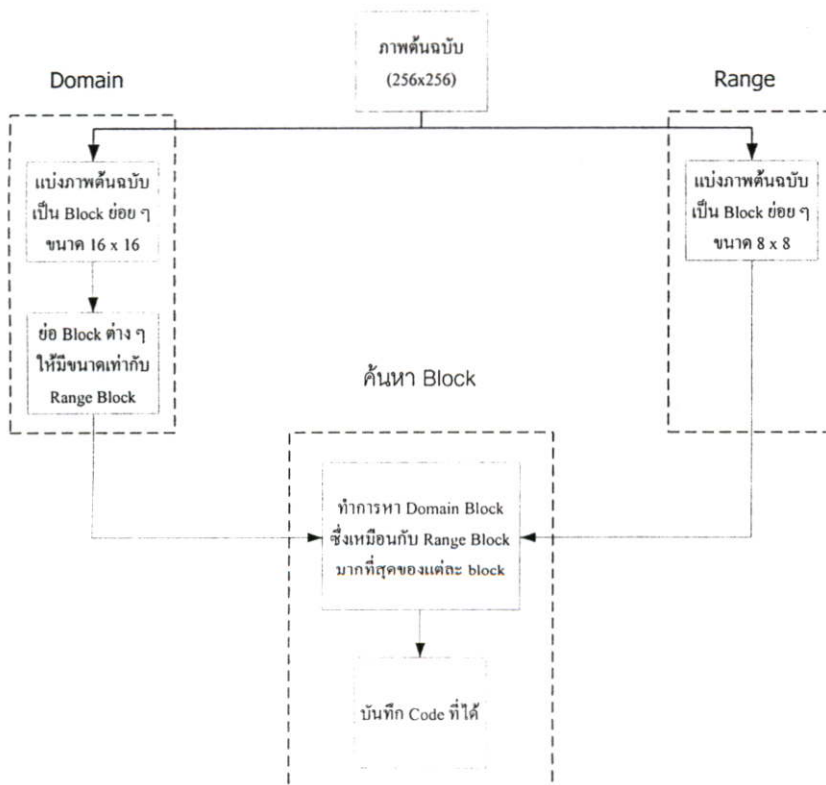
$$\begin{aligned}
 PSNR &= 20 \log_{10} \left( \frac{b}{rms} \right) \\
 &= 20 \log_{10} \left( \frac{b}{\sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f_R(x,y) - f_D(x,y))^2}} \right) \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

เมื่อ  $b$  เป็นค่าที่สูงที่สุดของสัญญาณที่เป็นไปได้ ในที่นี้ภาพระดับสีเทาจะมีค่าเท่ากับ 255 rms เป็นค่า rms ของความแตกต่างกันระหว่างภาพสองภาพ

โดย PSNR มีหน่วยเป็นเดซิเบล (decibel) เป็นการวัดอัตราส่วนสัญญาณสูงสุดต่อความแตกต่างกันระหว่างภาพสองภาพ

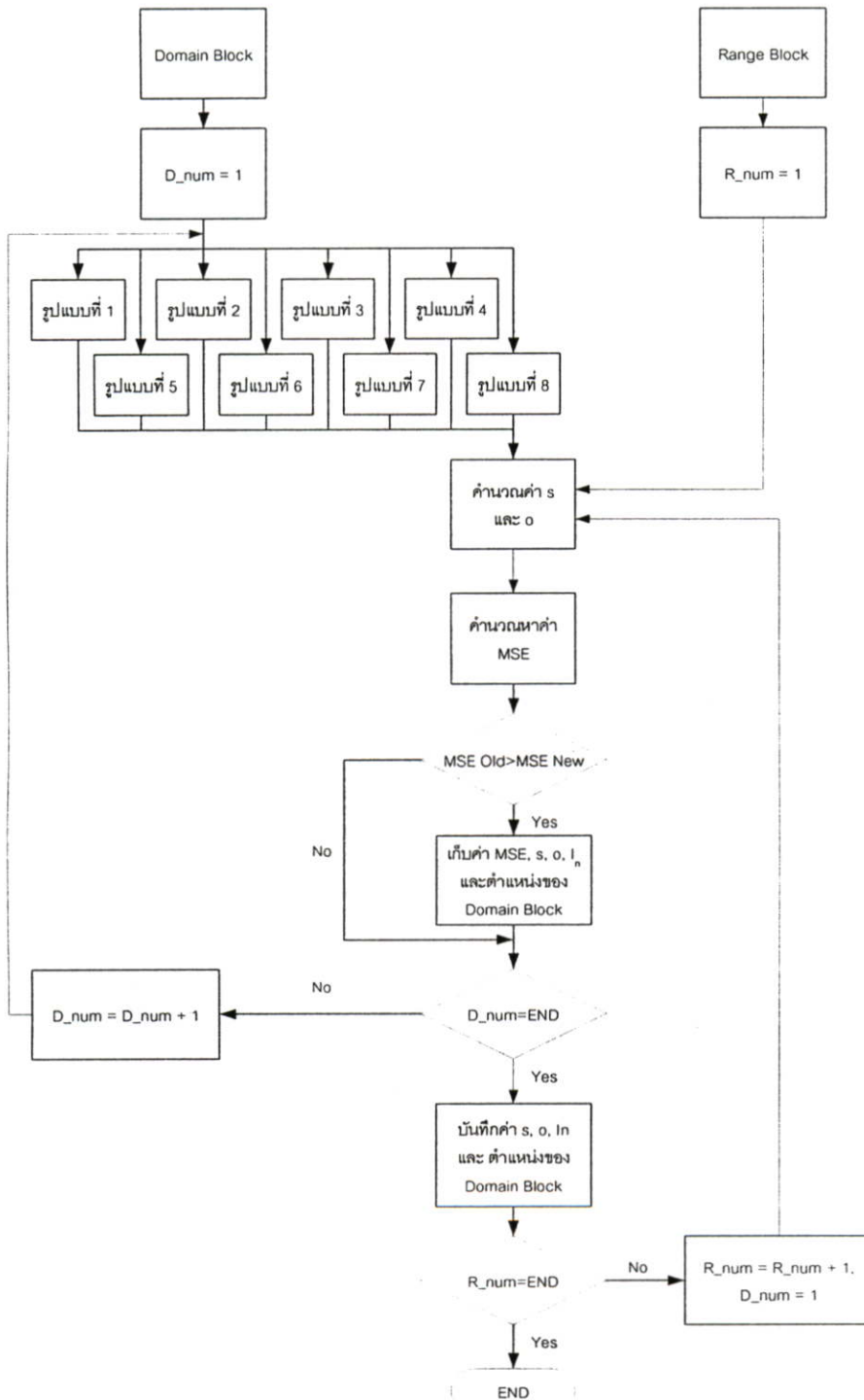
### กระบวนการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอลในสเปซเชิงโดเมน

จากทฤษฎีที่กล่าวทั้งหมดข้างต้น ในปี 1992 นาย jacquin [3] ได้ทำการคิดกระบวนการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอลในสเปซเชิงโดเมนและหลังจากนั้นมาก็มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอลที่อ้างอิงงานวิจัยนี้ [4], [6], [8]-[11] นำวิธีการอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น กระบวนการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอลในสเปซเชิงโดเมนแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงกระบวนการทำงานการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอลในสเปซเชิงโดเมน

การเข้ารหัสภาพแบบแฟลททอล ภาพต้นฉบับจะแบ่งออกเป็นบล็อกขนาด  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  เรียกว่าเรนจ์บล็อก ( $R_i$ ) และโดเมนบล็อก ( $D_i$ ) ตามลำดับ ทำการย่อโดเมนบล็อกให้มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อก เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเรนจ์บล็อก โดยในส่วนของกระบวนการค้นหาบล็อกเป็นการหาโดเมนบล็อกที่เหมือนกับเรนจ์บล็อกมากที่สุด หรือทำให้ค่า MSE ในสมการที่ 3.2. มีค่าน้อยที่สุด แสดงในรูปที่ 3.6



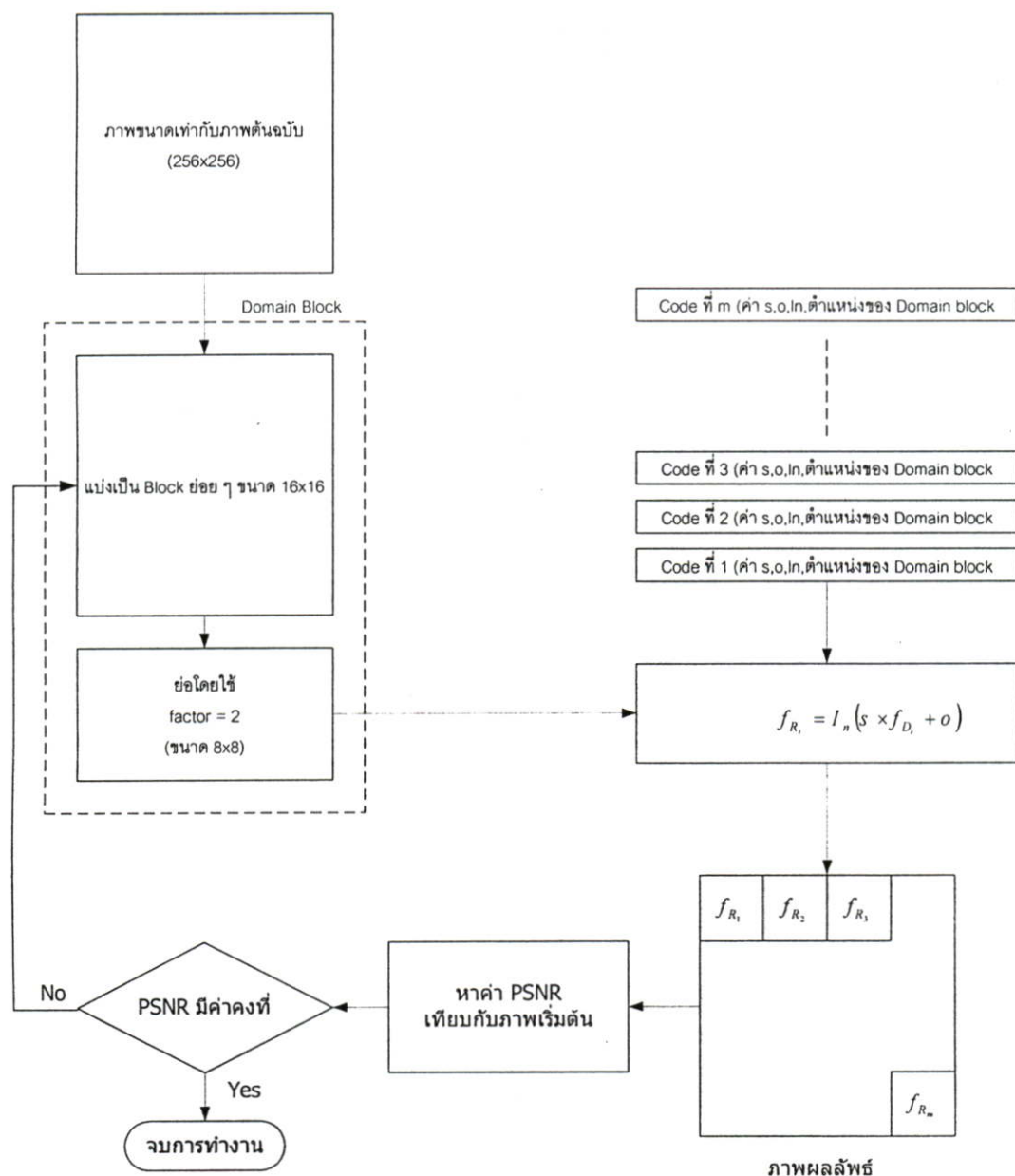
รูปที่ 3.6 แสดงกระบวนการในการค้นหาบล็อกในสเปเชียลโดเมน

### การค้นหาล็อกมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. นำโดเมนบล็อกแรกและเรนจ์บล็อกแรก มาทำการคำนวณหาค่า  $s$  และ  $o$  ตามสมการที่ 3.3 และสมการที่ 3.4 ตามลำดับ
2. นำโดเมนบล็อกมาหมุนตามตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นนำมาหาค่า MSE โดยเปรียบเทียบกับเรนจ์บล็อกจากสมการที่ 3.2
3. เก็บค่า  $MSE, s, o$ , รูปแบบการหมุนและตำแหน่งของโดเมนบล็อก ซึ่งทำให้ค่า MSE น้อยที่สุด
4. เปลี่ยนโดเมนบล็อกเป็นบล็อกถัดไปแล้วทำซ้ำข้อ 2 ถึงข้อ 3 จนครบทุกโดเมนบล็อก
5. บันทึกค่า  $s, o$ , รูปแบบการหมุนและตำแหน่งของโดเมนบล็อกเป็นข้อมูลในถอครหัสสำหรับเรนจ์บล็อกที่นำมาเปรียบเทียบ
6. เปลี่ยนเรนจ์บล็อกเป็นบล็อกถัดไป แล้วทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 5 จนครบทุกบล็อก

### กระบวนการถอครหัสภาพแบบแฟลททอลในสเปซซีลโดเมน

กระบวนการถอครหัสภาพแบบแฟลททอลในสเปซซีลโดเมนเป็นกระบวนการย้อนกลับของการเข้ารหัสภาพ โดยอาศัยคุณสมบัติของอิเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มมาใช้เพื่อให้ได้ภาพต้นฉบับกลับคืนมา โดยคุณภาพของภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อกในการแบ่งภาพและความเหมือนของภาพ ซึ่งการถอครหัสภาพแบบแฟลททอลในสเปซซีลโดเมนแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการถอดรหัสภาพในสเปซโดเมน

การถอดรหัสภาพมีขั้นตอนดังนี้

1. นำภาพใด ๆ ขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ มาทำการแบ่งเป็นบล็อกย่อย ๆ ขนาด 16x16 เป็นโดเมนบล็อก
2. ทำการย่อให้มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อกในกระบวนการเข้ารหัส
3. นำบล็อกจากโดเมนบล็อกในตำแหน่งที่เก็บไว้เป็นข้อมูล(s, o, ln และตำแหน่งของโดเมนบล็อก) สำหรับเรนจ์บล็อกแรก มาทำการคำนวณตามสมการ

$$f_R(x, y) = (s(I_n f_D(x, y))) + o$$

4. แทนที่บล็อกที่ได้ในตำแหน่งของเรนจ์บล็อกในภาพผลลัพธ์
5. ทำซ้ำข้อ 3 ถึง 4 โดยเปลี่ยนข้อมูลของเรนจ์บล็อกเป็นบล็อกถัดไปจนถึงข้อมูลสุดท้าย
6. หาค่า PSNR จากสมการที่ 3.5
7. นำภาพผลลัพธ์ที่ได้กลับไปแทนภาพเริ่มต้น แล้วทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 6 จนค่า PSNR มีค่าคงที่ซึ่งหยุดการทำซ้ำ

### 3.5 การลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟลททอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

#### การแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

การแปลงโคไซน์เต็มหน่วยเป็นวิธีการที่นำมาใช้ในกระบวนการลดขนาดข้อมูลภาพที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์ในโดเมนความถี่ ที่ได้จะเป็นเทอมของค่าจริงเท่านั้น อีกทั้งยังไปประยุกต์กับฮาร์ดแวร์ได้ไม่ยาก ในปัจจุบันหลักการของการแปลงโคไซน์เต็มหน่วยยังคงมีการวิจัยอยู่ต่อไป เพื่อให้สามารถคำนวณด้วยความเร็วที่สูงขึ้นกว่าเดิม

เทคนิคในการลดขนาดข้อมูลภาพโดยใช้การแปลงโคไซน์เต็มหน่วย เพื่อให้การลดขนาดข้อมูลภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น ภาพอินพุตที่เข้ามาจะถูกแยกเป็นบล็อกเล็ก ๆ ในขนาดที่เหมาะสม โดยส่วนมากแล้วขนาดของบล็อกจะมีค่าเป็นเลขยกกำลังสอง เช่น 4,8,16 ซึ่งได้มาจากสองยกกำลังสอง แล้วทำการแปลงโดยแยกเป็นอิสระแต่ละบล็อก โดยมีสมการการแปลงแบบสองมิติดังสมการต่อไปนี้

$$F(u,v) = \frac{2}{N} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} f(m,n) \cos\left\{\left(\frac{2m+1}{2N}\right)u\pi\right\} \cos\left\{\left(\frac{2n+1}{2N}\right)v\pi\right\}$$

เมื่อ  $u, v$  เป็นตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง มีค่าเป็น  $0, 1, 2, \dots, N-1$

$m, n$  เป็นตำแหน่งของจุดภาพภายในบล็อกขนาด  $N \times N$

$f(m, n)$  เป็นค่าของจุดภาพที่ตำแหน่ง  $(m, n)$

$F(u, v)$  เป็นผลจากการทำการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

หลังผ่านกระบวนการแปลงด้วยการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย จะได้สัมประสิทธิ์ที่อยู่ในโดเมนของความถี่ สัมประสิทธิ์ในตำแหน่ง  $(0,0)$  นั้นจะเป็นสัมประสิทธิ์ที่ค่าความถี่ 0 เรียกว่าสัมประสิทธิ์ DC ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าในแต่ละบล็อก

แต่ละค่าภายในบล็อกของข้อมูลภาพ โดยปกติค่าของจุดภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยจากจุดถึงจุด ดังนั้นความถี่ต่ำสุดจะสูงที่สุด ส่วนค่าความถี่กลางและสูงจะมีค่าน้อยกว่าหรืออาจจะเป็นศูนย์ ซึ่งลักษณะของข้อมูลจะอยู่ในตำแหน่งที่แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงสัมประสิทธิ์ทางความถี่ของการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย

เมื่อทำการประยุกต์ใช้การแปลงโคซายน์เต็มหน่วยกับแฟลททอล สมการการแปลงแบบย่อของ  $R_i$  และ  $D_i$  จะได้เป็น

$$F_R(u, v) = \begin{cases} o = F_R(u, v) - F_D(u, v) & u = v = 0 \\ s(I_n(\varphi(F_D(u, v)))) & \text{เมื่อ } u \text{ และ } v \text{ เป็นค่าอื่น} \end{cases} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $\varphi$  เป็นการลดขนาดของภาพ ซึ่งทำให้ส่วนของโดเมนให้มีขนาดเท่ากับส่วนของเรนจ์

$s$  เป็นค่าสำหรับการปรับความคมชัดของภาพ

$o$  เป็นค่าสำหรับการปรับความสว่างของภาพ

$I_n$  เป็นการหมุนภาพในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย

การหมุนในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วยสามารถหมุนได้ 8 แบบดังนี้

สมมติให้ภาพ  $f$  เมื่อทำการแปลงด้วยการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย สัมประสิทธิ์ของการแปลงจะเป็นดังรูปที่ 3.9

C(0,0)	C(0,1)	.	.	.	.	.	.
C(1,0)	C(1,1)	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.

รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง

ให้ภาพ  $f$  เป็นภาพดังรูปที่ 3.10 เมื่อทำการแปลงด้วยการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย จะได้สัมประสิทธิ์ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 แสดงภาพ  $f$  ที่นำมาทำการแปลงขนาด 8x8 จุด

1593.7	-66.3	363.5	107.6	127.5	11.1	-288.6	-156.7
-28.7	-9.8	40.3	24.7	-36	-30.5	22.3	30.5
191	28	-153.9	-44.2	-58.9	-8.8	127.5	72.9
-16.2	-35.3	67.5	49.1	-137.2	35.3	120.5	-132.4
127.5	16.2	-93.4	-19.2	-63.8	-28.7	107.7	81.7
81.7	68.7	-176	-118.6	262.7	14.6	-211.4	118.6
127.9	25	-127.5	-56.6	24.4	53.7	26.4	-37.5
-19.2	4	11	4	17.5	-39	-23.5	73.5

รูปที่ 3.11 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง

เมื่อทำการหมุนภาพแล้วทำการแปลงด้วยการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย จะได้สัมประสิทธิ์ของการแปลงสำหรับการหมุนแต่ละรูปแบบดังรูปที่ 3.12

ลักษณะการหมุน	สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง							
R	1593.7	-66.3	363.5	107.6	127.5	11.1	-288.6	-156.7
	-28.7	-9.8	40.3	24.7	-36	-30.5	22.3	30.5
	191	28	-153.9	-44.2	-58.9	-8.8	127.5	72.9
	-16.2	-35.3	67.5	49.1	-137.2	35.3	120.5	-132.4
	127.5	16.2	-93.4	-19.2	-63.8	-28.7	107.7	81.7
	81.7	68.7	-176	-118.6	262.7	14.6	-211.4	118.6
	127.9	25	-127.5	-56.6	24.4	53.7	26.4	-37.5
	-19.2	4	11	4	17.5	-39	-23.5	73.5
B	1593.7	-66.3	363.5	107.6	127.5	11.1	-288.6	-156.7
	28.7	9.8	-40.3	-24.7	36	30.5	-22.3	-30.5
	191	28	-153.9	-44.2	-58.9	-8.8	127.5	72.9
	16.2	35.3	-67.5	-49.1	137.2	-35.3	-120.5	132.4
	127.5	16.2	-93.4	-19.2	-63.8	-28.7	107.7	81.7
	-81.7	-68.7	176	118.6	-262.7	-14.6	211.4	-118.6
	127.9	25	-127.5	-56.6	24.4	53.7	26.4	-37.5
	19.2	-4	-11	-4	-17.5	39	23.5	-73.5
R	1593.7	66.3	363.5	-107.6	127.5	-11.1	-288.6	156.7
	-28.7	9.8	40.3	-24.7	-36	30.5	22.3	-30.5
	191	-28	-153.9	44.2	-58.9	8.8	127.5	-72.9
	-16.2	35.3	67.5	-49.1	-137.2	-35.3	120.5	132.4
	127.5	-16.2	-93.4	19.2	-63.8	28.7	107.7	-81.7
	81.7	-68.7	-176	118.6	262.7	-14.6	-211.4	-118.6
	127.9	-25	-127.5	56.6	24.4	-53.7	26.4	37.5
	-19.2	-4	11	-4	17.5	39	-23.5	-73.5
B	1593.7	66.3	363.5	-107.6	127.5	-11.1	-288.6	156.7
	28.7	-9.8	-40.3	24.7	36	-30.5	-22.3	30.5
	191	-28	-153.9	44.2	-58.9	8.8	127.5	-72.9
	16.2	-35.3	-67.5	49.1	137.2	35.3	-120.5	-132.4
	127.5	-16.2	-93.4	19.2	-63.8	28.7	107.7	-81.7
	-81.7	68.7	176	-118.6	-262.7	14.6	211.4	118.6
	127.9	-25	-127.5	56.6	24.4	-53.7	26.4	37.5
	19.2	4	-11	4	-17.5	-39	23.5	73.5
R	1593.7	28.7	191	16.2	127.5	-81.7	127.9	19.2
	66.3	-9.8	-28	-35.3	-16.2	68.7	-25	4
	363.5	-40.3	-153.9	-67.5	-93.4	176	-127.5	-11
	-107.6	24.7	44.2	49.1	19.2	-118.6	56.6	4
	127.5	36	-58.9	137.2	-63.8	-262.7	24.4	-17.5
	-11.1	-30.5	8.8	35.3	28.7	14.6	-53.7	-39
	-288.6	-22.3	127.5	-120.5	107.7	211.4	26.4	23.5
	156.7	30.5	-72.9	-132.4	-81.7	118.6	37.5	73.5
B	1593.7	28.7	191	16.2	127.5	-81.7	127.9	19.2
	-66.3	9.8	28	35.3	16.2	-68.7	25	-4
	363.5	-40.3	-153.9	-67.5	-93.4	176	-127.5	-11
	107.6	-24.7	-44.2	-49.1	-19.2	118.6	-56.6	-4
	127.5	36	-58.9	137.2	-63.8	-262.7	24.4	-17.5
	11.1	30.5	-8.8	-35.3	-28.7	-14.6	53.7	39
	-288.6	-22.3	127.5	-120.5	107.7	211.4	26.4	23.5
	-156.7	-30.5	72.9	132.4	81.7	-118.6	-37.5	-73.5

รูปที่ 3.12 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงในการหมุนแต่ละรูปแบบ

ลักษณะการหมุน	สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง							
		1593.7	-28.7	191	-16.2	127.5	81.7	127.9
66.3		9.8	-28	35.3	-16.2	-68.7	-25	-4
363.5		40.3	-153.9	67.5	-93.4	-176	-127.5	11
-107.6		-24.7	44.2	-49.1	19.2	118.6	56.6	-4
127.5		-36	-58.9	-137.2	-63.8	262.7	24.4	17.5
-11.1		30.5	8.8	-35.3	28.7	-14.6	-53.7	39
-288.6		22.3	127.5	120.5	107.7	-211.4	26.4	-23.5
156.7		-30.5	-72.9	132.4	-81.7	-118.6	37.5	-73.5
	1593.7	-28.7	191	-16.2	127.5	81.7	127.9	-19.2
	-66.3	-9.8	28	-35.3	16.2	68.7	25	4
	363.5	40.3	-153.9	67.5	-93.4	-176	-127.5	11
	107.6	24.7	-44.2	49.1	-19.2	-118.6	-56.6	4
	127.5	-36	-58.9	-137.2	-63.8	262.7	24.4	17.5
	11.1	-30.5	-8.8	35.3	-28.7	14.6	53.7	-39
	-288.6	22.3	127.5	120.5	107.7	-211.4	26.4	-23.5
	-156.7	30.5	72.9	-132.4	81.7	118.6	-37.5	73.5

รูปที่ 3.12 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงในการหมุนแต่ละรูปแบบ (ต่อ)

จากการสังเกต ตำแหน่งและเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง ในการหมุนแต่ละรูปแบบ จะเห็นว่าถ้าทำการสลับตำแหน่งและเปลี่ยนเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ที่ได้ จะทำให้สามารถหมุนภาพในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วยได้ โดยไม่จำเป็นต้องหมุนภาพในสเปซโดเมน แล้วจึงทำการแปลง การหมุนภาพแต่ละรูปแบบทำได้ตามสมการในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการหมุนภาพแบบต่าง ๆ ในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย

รูปแบบ	สเปซโดเมน	ลักษณะของภาพ
$I_1$	Identity	$F(u, v) = F(u, v)$
$I_2$	x flip	$F(u, v) = (-1)^u F(u, v)$
$I_3$	y flip	$F(u, v) = (-1)^v F(u, v)$
$I_4$	180° rotation	$F(u, v) = (-1)^{u+v} F(u, v)$
$I_5$	(x=y)flip	$F(u, v) = (-1)^{u+v} F(v, u)$
$I_6$	90° rotation	$F(u, v) = (-1)^v F(v, u)$
$I_7$	270° rotation	$F(u, v) = (-1)^u F(v, u)$
$I_8$	(x+y=0)flip	$F(u, v) = F(v, u)$

การคำนวณค่า  $s, o$  และ  $MSE$  (Mean Square Error) ในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

เมื่อทำการปรับค่าของสัมประสิทธิ์ทาง DC จะทำให้ความสว่างของภาพเปลี่ยนไป ดังนั้นในการปรับความสว่างของภาพจึงทำการคำนวณเฉพาะในส่วนของสัมประสิทธิ์ทาง DC เท่านั้น ดังนั้น

$$o = F_R(0,0) - F_D(0,0) \quad (3.7)$$

และเพื่อไม่ให้เกิดการปรับความคมชัดของภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วยมีผลกับการปรับความสว่างของภาพจึงทำการปรับค่าเฉพาะส่วนของสัมประสิทธิ์ทาง AC เท่านั้น ดังนั้นสมการในการปรับความคมชัดของภาพจึงเป็นไปตามสมการดังนี้

$$s = \frac{\sum_{u,v=0}^{N-1} F_R(u,v) \times F_D(u,v)}{\sum_{u,v=0}^{N-1} (F_D(u,v))^2} \quad (3.8)$$

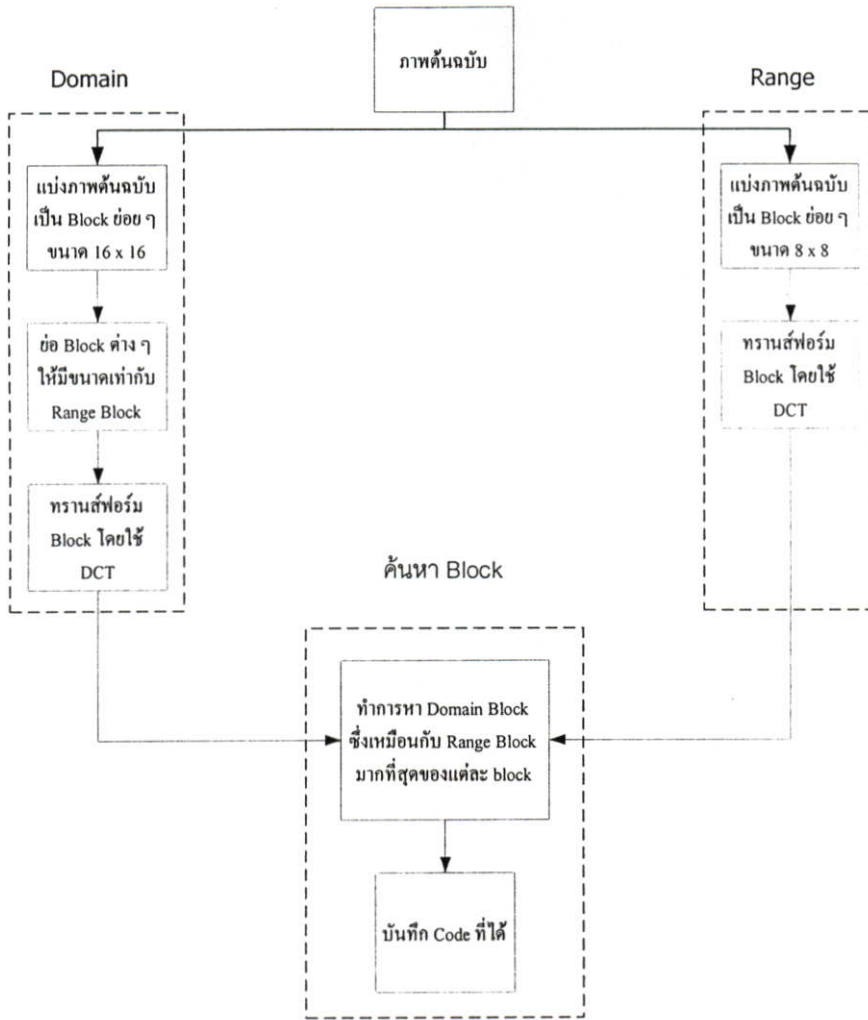
เมื่อ  $u$  และ  $v$  ไม่เท่ากับ 0 ในเวลาเดียวกัน

และการคำนวณหาความต่างกันของภาพ ( $MSE$ ) สามารถคำนวณได้จาก

$$MSE = \sum_{u,v=0}^{N-1} [s(I_n(F_D(u,v))) - F_R(u,v)]^2 \quad (3.9)$$

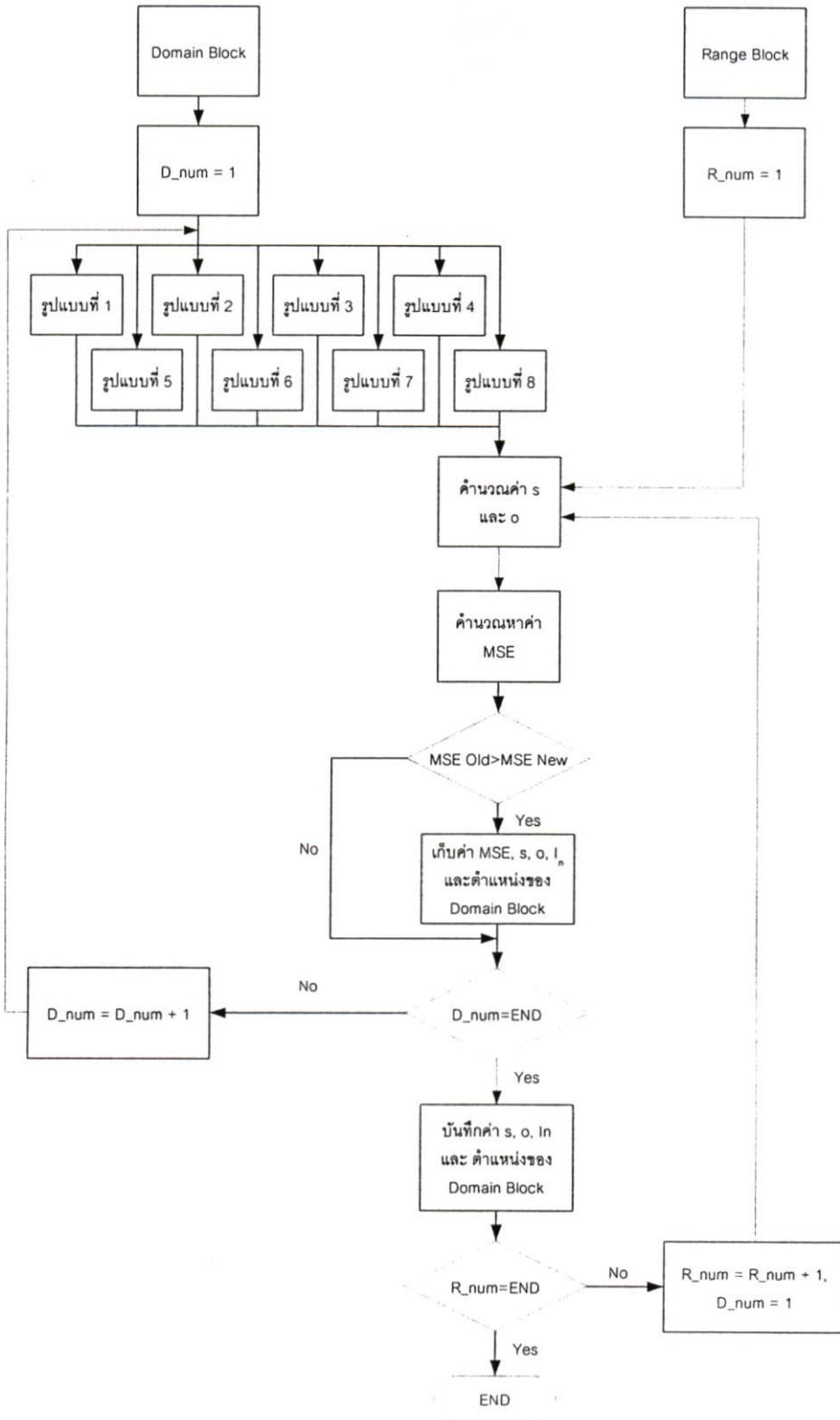
กระบวนการเข้ารหัสภาพแบบแฟลททอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟลททอลในสเปซเชิงโดเมน ในปี 1994 Zhao ได้คิดค้นการเข้ารหัสภาพแบบแฟลททอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์จากการถอดรหัสมีค่า PSNR สูงขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งหมายความว่าภาพผลลัพธ์เหมือนกับภาพต้นฉบับมากขึ้นนั่นเอง แสดงกระบวนการทำงานในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการลดขนาดข้อมูลภาพแบบแฟลกทอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

การเข้ารหัสภาพแบบแฟลกทอล ภาพต้นฉบับจะแบ่งออกเป็นบล็อกขนาด  $8 \times 8$  และ  $16 \times 16$  เรียกว่าเรนจ์บล็อก ( $R_i$ ) และโดเมนบล็อก ( $D_i$ ) ตามลำดับ ทำการย่อโดเมนบล็อกให้มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อกแล้วทำการแปลงโดเมนบล็อกและเรนจ์บล็อกโดยใช้การแปลงโคไซน์เต็มหน่วย หลังจากนั้นนำเข้าไปสู่กระบวนการค้นหาบล็อกเป็นการหาโดเมนบล็อกที่เหมือนกับเรนจ์บล็อกมากที่สุด หรือทำให้ค่า MSE ในสมการที่ 3.13 มีค่าน้อยที่สุด แสดงการทำงานในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงกระบวนการในการค้นหาบล็อกในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย

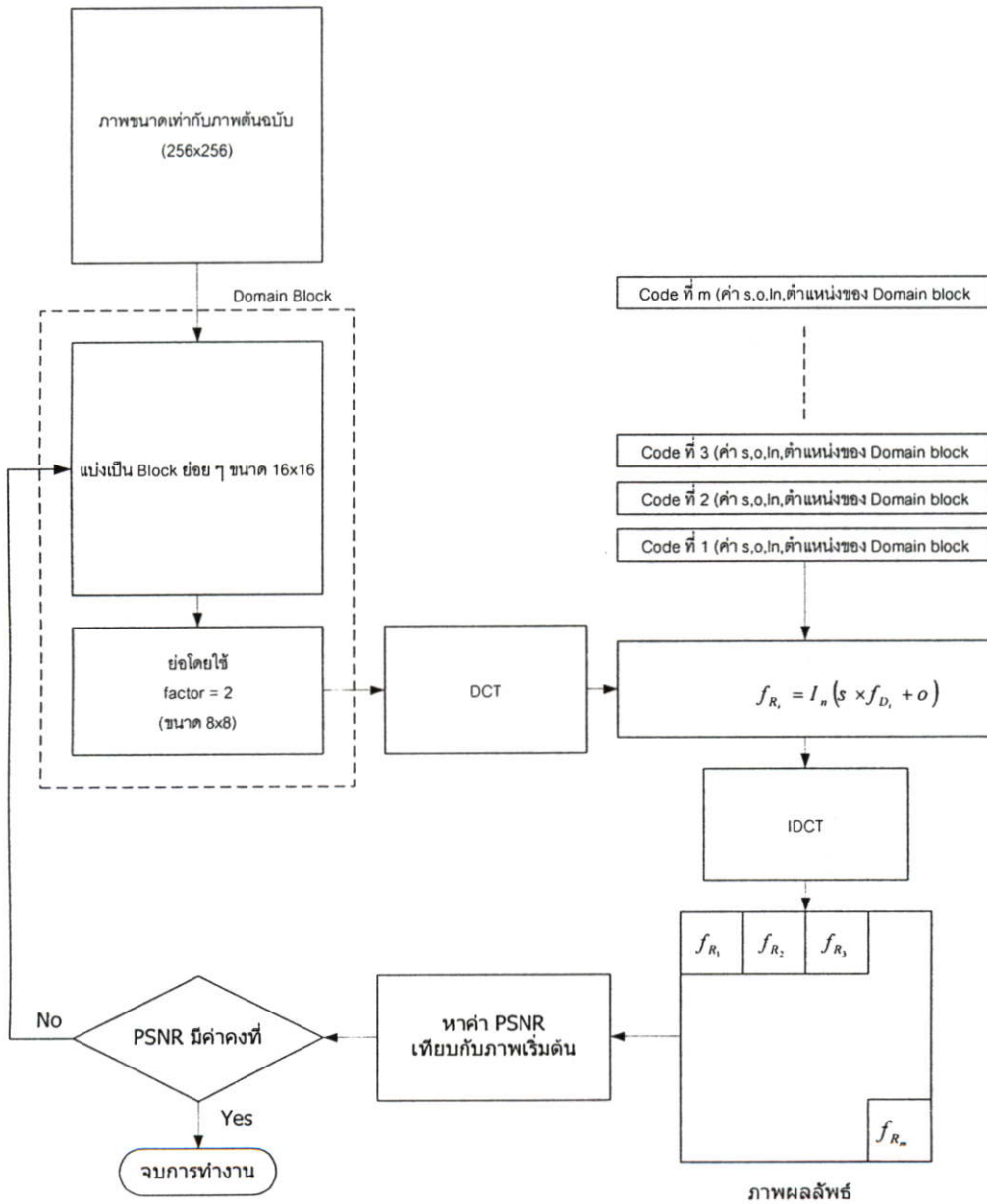
#### การค้นหาบล็อกในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย

จะเห็นว่า การค้นหาโดเมนบล็อกที่เหมือนกับเรนจ์บล็อกในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย นั้น มีการทำงานเหมือนกับการค้นหาในสเปซเชื่อมโดเมนมีความแตกต่างกันในส่วนของ

โดเมนบล็อกและเรนจ์บล็อก ซึ่งทำการแปลงและการคำนวณค่า  $o$  และ  $s$  ตามสมการที่ 3.7 และสมการที่ 3.8 ตามลำดับ

### กระบวนการถอดรหัสภาพแบบเฟลททอลในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

กระบวนการถอดรหัสภาพแบบเฟลททอลในสเปซเชิงลโคเมนเป็นกระบวนการย้อนกลับของการเข้ารหัสภาพ โดยอาศัยคุณสมบัติของอีเทอร์เรตฟังก์ชันซิสเต็มมาใช้เพื่อให้ได้ภาพต้นฉบับกลับคืนมา แสดงกระบวนการทำงานในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงกระบวนการถอดรหัสใน โดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

การถอดรหัสภาพในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำภาพใด ๆ ขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ มาทำการแบ่งเป็นบล็อกย่อย ๆ ขนาด  $16 \times 16$
2. ทำการย่อให้มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อกในกระบวนการเข้ารหัส
3. ทำการแปลงโดยใช้การแปลงโคซายน์เต็มหน่วย
4. นำบล็อกจากโดเมนบล็อกในตำแหน่งที่เก็บไว้เป็นข้อมูล ( $s, o, \ln$  และตำแหน่งของโดเมนบล็อก) สำหรับเรนจ์บล็อกแรก มาทำการคำนวณตามสมการ

$$F_R(u, v) = \begin{cases} o = F_R(u, v) - sF_D(u, v) & u = v = 0 \\ I_n(s(F_D(u, v))) & \text{เมื่อ } u \text{ และ } v \text{ เป็นค่าอื่น} \end{cases}$$

5. ทำการแปลงกลับการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย แล้วนำไปแทนที่บล็อกที่ได้ในตำแหน่งของเรนจ์บล็อกในภาพผลลัพธ์
6. ทำซ้ำข้อ 3 ถึง 4 โดยเปลี่ยนข้อมูลของเรนจ์บล็อกเป็นบล็อกถัดไปจนถึงข้อมูลสุดท้าย
7. หาค่า PSNR จากสมการที่ 3.5
8. นำภาพผลลัพธ์ที่ได้กลับไปแทนภาพเริ่มต้น แล้วทำซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 6 จนค่า PSNR มีค่าคงที่จึงหยุดการทำซ้ำ

## บทที่ 4

# การปรับปรุงการลดขนาดข้อมูลภาพในโดเมนความถี่

### 4.1 บทนำ

จากวิธีการที่ใช้ในบทที่ 3 เป็นการลดขนาดข้อมูลแบบแฟลททอลซึ่งทำงานช้ามาก จึงไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นกระบวนการต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงานมากขึ้น โดยการแบ่งส่วนของภาพออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามวิธีการวิเคราะห์ที่ได้คิดค้นขึ้นมาแล้ว ทำการค้นหาโดเมนบล็อกที่เหมือนกับเรนจ์บล็อกเฉพาะในกลุ่มเดียวกันเท่านั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการที่ใช้เพื่อลดเวลาในการคำนวณให้ลดลง โดยทำงานในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย

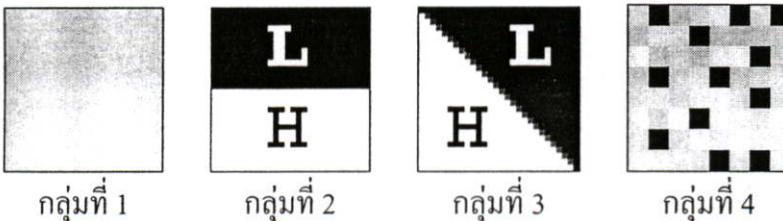
### 4.2 การแยกส่วนของภาพออกเป็นกลุ่ม ๆ (The Classification)

ภาพ ๆ หนึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลส่วนใหญ่ของภาพคือข้อมูลซึ่งมีความถี่ต่ำ จากคุณสมบัติในการแปลงด้วยการแปลงโคซายน์เต็มหน่วย สัมประสิทธิ์ทางความถี่จะกระจายตามรูปที่ 3.8 จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำจะอยู่ติดกับสัมประสิทธิ์ DC และจะกระจายไปยังความถี่สูง

จากคุณสมบัติของการกระจายทางความถี่ลักษณะนี้ ทำให้สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของภาพจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของภาพจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำที่อยู่ในตำแหน่ง  $C(0,1)$ ,  $C(1,0)$  และ  $C(1,1)$

การแบ่งกลุ่มของภาพโดยการประมาณจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำ

ในงานวิจัยนี้ จะทำการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็น 4 กลุ่ม ดังรูปที่ 4.1

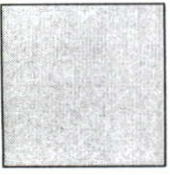


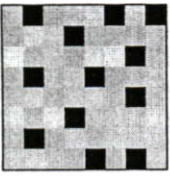


รูปที่ 4.1 แสดงกลุ่มของข้อมูลที่ต้องการแบ่ง

โดยแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดของกลุ่มข้อมูลภาพดังนี้

1. กลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งมีโทนสีเดียว
2. กลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งมีการแบ่งโทนสีกึ่งกลางภาพ

3. กลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งมีการแบ่งโทนสีในแนวทแยง
4. เป็นกลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งไม่เข้ากับทั้ง 3 กลุ่มข้างต้น
- เมื่อทำการแปลงภาพในกลุ่มต่าง ๆ จะได้สัมประสิทธิ์จากการแปลงดังนี้

ลักษณะการหมุน	สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง							
	1437.8	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	2040	0	0	0	0	0	0	0
	-1839.6	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	621.2	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	-382.5	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
	284.2	0	0	0	0	0	0	0
	1912.5	1167.4	0	128	0	44.7	0	21.6
	-1167.4	-127.5	546.7	0	107.1	0	44.1	0
	0	-546.7	-127.5	323.7	0	74.9	0	33.2
	-128	0	-323.7	-127.5	226.6	0	56.5	0
	0	-107.1	0	-226.6	-127.5	171.4	0	44.5
	-44.7	0	-74.9	0	-171.4	-127.5	135.2	0
	0	-44.1	0	-56.5	0	-135.2	-127.5	109.2
	-21.6	0	-33.2	0	-44.5	0	-109.2	-127.5
	1214.1	52.5	13.1	18.3	34.7	18.8	159.1	17.9
	-38.9	17.4	-45.6	41.1	2	-6.7	-68.8	109
	-51.1	24.5	-34	-18.7	2	39	-58.1	37.4
	-4.8	-40.5	-21.2	25.1	4.1	10.1	-49.9	138.1
	-114.5	51.7	-66.5	-63.5	48.7	91.5	-11.5	-36
	-33.6	-77.5	-75.9	-1.9	56	168	-5.4	35.4
	-5.7	77.2	7	-10.3	6.7	-45.2	4.5	-9
	36.2	41.6	-131.4	14.6	94.2	-44.6	8.3	-29.2

รูปที่ 4.2 แสดงสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงของกลุ่มภาพ

สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง ในกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่มีโทนสีเดียวจะมีค่าเฉพาะสัมประสิทธิ์ DC เท่านั้นหรือสัมประสิทธิ์ AC มีค่าต่ำมาก ๆ นั่นเอง ดังนั้น การแยกกลุ่มของภาพกลุ่มที่ 1 สามารถแยกได้จากสมการดังนี้

สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง ในกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งมีการแบ่งโทนสีในแนว  
ทแยง ค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ในตำแหน่ง  $C(0,1)$  และ  $C(1,0)$  จะมีค่าโดยประมาณเท่ากัน

สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง ในกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งมีการแบ่งโทนสี  
กึ่งกลางภาพ ค่าสัมบูรณ์ของสัมประสิทธิ์ในตำแหน่ง  $C(0,1)$  และ  $C(1,0)$  จะมีค่าในตำแหน่งใด  
ตำแหน่งหนึ่งสูงกว่าอีกตำแหน่งมาก โดยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของโทนสีของภาพ

สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง ในกลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มของข้อมูลภาพซึ่งไม่เข้ากับทั้ง 3 กลุ่ม  
ข้างต้น

เนื่องจากภาพที่สร้างขึ้นในรูป 4.1 เพื่อเป็นต้นแบบในการแบ่งกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงของ  
จุดภาพน้อยมาก ทำให้ไม่มีค่าของสัมประสิทธิ์ทางความถี่สูง แต่ในความเป็นจริงแล้ว ภาพ  
โดยทั่วไปเป็นภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ จุดของภาพ ดังนั้นในการแบ่งกลุ่มนี้ จึงเป็นการ  
ประมาณจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำ

#### รูปแบบการหมุนของภาพในกลุ่มต่าง ๆ

การกำหนดรูปแบบการหมุนจากสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงในตำแหน่ง  $C(0,1)$  และ  
 $C(1,0)$  จากค่าและเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลง ในการหมุนแต่ละครั้งจะทำให้  
เครื่องหมายและค่าของสัมประสิทธิ์นั้นเปลี่ยนไปในแต่ละรูปแบบ ดังนั้นจึงสามารถกำหนด  
ลักษณะในการหมุนของภาพได้จากการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะของสัมประสิทธิ์ในการหมุนรูปแบบต่าง ๆ

รูปแบบ	ลักษณะของสัมประสิทธิ์
1	$ C(0,1)  <  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) < 0$
2	$ C(0,1)  <  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) > 0$
3	$ C(0,1)  <  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) > 0$
4	$ C(0,1)  <  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) < 0$
5	$ C(0,1)  >  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) < 0$
6	$ C(0,1)  >  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) > 0$
7	$ C(0,1)  >  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) > 0$
8	$ C(0,1)  >  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) < 0$

หลังจากที่ทราบลักษณะของสัมประสิทธิ์ในการหมุนภาพรูปแบบต่าง ๆ แล้ว เมื่อนำมา  
ประยุกต์เข้ากับการแบ่งกลุ่ม เราสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังตารางที่ 4.2 ดังนี้

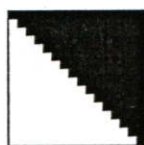
ตารางที่ 4.2 ลักษณะของสัมประสิทธิ์ในกลุ่มของข้อมูลต่าง ๆ

กลุ่ม	รูปแบบ	ลักษณะของสัมประสิทธิ์
1	-	$ C(0,1)  +  C(1,0)  +  C(1,1)  < T$
2	1	$ C(0,1)  \ll  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) < 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	2	$ C(0,1)  \ll  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) > 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	3	$ C(0,1)  \ll  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) > 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	4	$ C(0,1)  \ll  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) < 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	5	$ C(0,1)  \gg  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) < 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	6	$ C(0,1)  \gg  C(1,0) , C(0,1) < 0, C(1,0) > 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	7	$ C(0,1)  \gg  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) < 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
	8	$ C(0,1)  \gg  C(1,0) , C(0,1) > 0, C(1,0) > 0$ และ $C(1,1) \approx 0$
3	1	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  <  C(1,0) $ และ $C(0,1) < 0, C(1,0) < 0$
	2	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  <  C(1,0) $ และ $C(0,1) < 0, C(1,0) > 0$
	3	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  <  C(1,0) $ และ $C(0,1) > 0, C(1,0) < 0$
	4	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  <  C(1,0) $ และ $C(0,1) > 0, C(1,0) < 0$
	5	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  >  C(1,0) $ และ $C(0,1) < 0, C(1,0) < 0$
	6	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  >  C(1,0) $ และ $C(0,1) < 0, C(1,0) > 0$
	7	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  >  C(1,0) $ และ $C(0,1) > 0, C(1,0) > 0$
	8	$ C(0,1)  \approx  C(1,0) ,  C(0,1)  >  C(1,0) $ และ $C(0,1) > 0, C(1,0) > 0$
4	-	ลักษณะอื่น ๆ

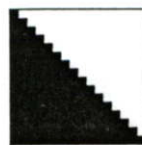
### 4.3 การปรับปรุงวิธีการหาค่า MSE ในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

การหาค่า MSE ของภาพภายในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3

การหาค่า MSE เป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ จากสมการที่ 3.9 ในสมการนี้ ตัวแปร  $I_n$  คือการหมุนของภาพในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งทำการหมุน เพื่อหาภาพที่มีลักษณะเหมือนกันมากที่สุด ตัวอย่างเช่น สมมติว่ามีภาพ x และ y ดังรูปที่ 4.3



ภาพ x



ภาพ y

รูปที่ 4.3 แสดงภาพ x และภาพ y

กำหนดให้ภาพ  $x$  อยู่คงที่ และภาพ  $y$  ทำการหมุน การที่ภาพ 2 ภาพจะทับกันพอดีหรือทำให้ค่า MSE น้อยที่สุดนั้น จะต้องหมุนภาพ  $90^\circ$  เป็นต้น จากตัวอย่างที่กล่าวมา เมื่อทำการวิเคราะห์ในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย ภาพ  $x$  และภาพ  $y$  เมื่อนำไปหาลักษณะการหมุนของภาพ จากตารางที่ 3.1 จะได้เป็นรูปแบบที่ 4 และ 2 ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อให้ค่าและเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์มีค่าเหมือนกันมากที่สุด จะต้องหมุนภาพ  $y$  ด้วย  $I_6$  ซึ่งเป็นการหมุนไป  $90^\circ$  เมื่อเปรียบกับการหาค่า MSE ในสมการที่ 3.9 ภาพ  $x$  และภาพ  $y$  ก็คือเรเจนับล็อกและโดเมนบล็อก ดังนั้นเพื่อเพิ่มความเร็วในการหาค่า MSE ของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 จึงได้กำหนดการหมุนของภาพ เพื่อให้ได้ค่า MSE น้อยที่สุดในการหมุนครั้งแรกไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงการหมุนภาพในกลุ่มที่ 2

$D_1$		ชนิดที่ 2							
		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$
ชนิดที่ 2	$I_1$	$I_1$	$I_7$	$I_5$	$I_3$	$I_8$	$I_2$	$I_4$	$I_6$
	$I_2$	$I_7$	$I_1$	$I_3$	$I_5$	$I_4$	$I_6$	$I_8$	$I_2$
	$I_3$	$I_5$	$I_3$	$I_1$	$I_7$	$I_2$	$I_8$	$I_6$	$I_4$
	$I_4$	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_1$	$I_6$	$I_4$	$I_2$	$I_8$
	$I_5$	$I_8$	$I_2$	$I_4$	$I_6$	$I_1$	$I_7$	$I_5$	$I_3$
	$I_6$	$I_4$	$I_6$	$I_8$	$I_2$	$I_7$	$I_1$	$I_3$	$I_5$
	$I_7$	$I_2$	$I_8$	$I_6$	$I_4$	$I_5$	$I_3$	$I_1$	$I_7$
	$I_8$	$I_6$	$I_4$	$I_2$	$I_8$	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_1$

ตารางที่ 4.4 แสดงการหมุนภาพในกลุ่มที่ 3

$D_1$		ชนิดที่ 3							
		$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_5$	$I_6$	$I_7$	$I_8$
ชนิดที่ 3	$I_1$	$I_1$	$I_7$	$I_5$	$I_3$	$I_8$	$I_2$	$I_4$	$I_6$
	$I_2$	$I_7$	$I_1$	$I_3$	$I_5$	$I_4$	$I_6$	$I_8$	$I_2$
	$I_3$	$I_5$	$I_3$	$I_1$	$I_7$	$I_2$	$I_8$	$I_6$	$I_4$
	$I_4$	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_1$	$I_6$	$I_4$	$I_2$	$I_8$
	$I_5$	$I_8$	$I_2$	$I_4$	$I_6$	$I_1$	$I_7$	$I_5$	$I_3$
	$I_6$	$I_4$	$I_6$	$I_8$	$I_2$	$I_7$	$I_1$	$I_3$	$I_5$
	$I_7$	$I_2$	$I_8$	$I_6$	$I_4$	$I_5$	$I_3$	$I_1$	$I_7$
	$I_8$	$I_6$	$I_4$	$I_2$	$I_8$	$I_3$	$I_5$	$I_7$	$I_1$

### การหาค่า MSE ของภาพระหว่างกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3

ความแตกต่างระหว่างข้อมูลภาพของกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 จะทำให้เกิดค่า MSE มากน้อย ขึ้นอยู่กับลักษณะในการหมุนของภาพว่าสอดคล้องกันหรือไม่ ตัวอย่างเช่น สมมติให้ภาพ x และ ภาพ y มีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4.4 แสดงภาพ x และภาพ y

การที่จะทำให้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุด ภาพ x และภาพ y ควรจะมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของภาพ x และ ภาพ y ที่ซ้อนทับกัน แล้วทำให้ค่า MSE น้อยที่สุด

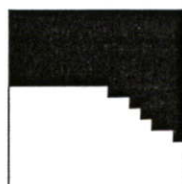
ซึ่งการที่จะเป็นลักษณะใดนั้นขึ้นอยู่กับภาพ x และภาพ y ว่ามีลักษณะของภาพเป็นอย่างไร

ในภาพเหตุการณ์นี้ ภาพ x หรือ y จะสมมาตรกันพอดี ทำให้เกิดได้ทั้ง 2 เหตุการณ์ หรืออีกกรณีหนึ่งคือ ภาพ x และ y ไม่สมมาตรกันดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงภาพ x และ y ที่ไม่สมมาตรกัน

ทำให้ลักษณะของภาพที่ซ้อนทับกันแล้วทำให้ได้ค่า MSE น้อยที่สุด มีลักษณะดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของภาพ x และ ภาพ y ที่ซ้อนทับกัน แล้วทำให้ค่า MSE น้อยที่สุด

ดังนั้นลักษณะของภาพที่ทำให้ค่า MSE น้อยที่สุดจะเกิดขึ้นลักษณะใดลักษณะหนึ่งเท่านั้น เป็นต้น จากตัวอย่างที่อธิบายมานี้ การหมุนระหว่างกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 เพื่อให้ได้ค่า MSE น้อยที่สุด จะมีลักษณะการหมุนภาพตามตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงการหมุนภาพระหว่างกลุ่มที่ 2 (เรจันบล็อกร) และกลุ่มที่ 3 (โดเมนบล็อกร)

D <sub>1</sub>		ชนิดที่ 3							
		I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>
ชนิดที่ 2	I <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>
	I <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>
	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
	I <sub>5</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>
	I <sub>6</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>
	I <sub>7</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
	I <sub>8</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>

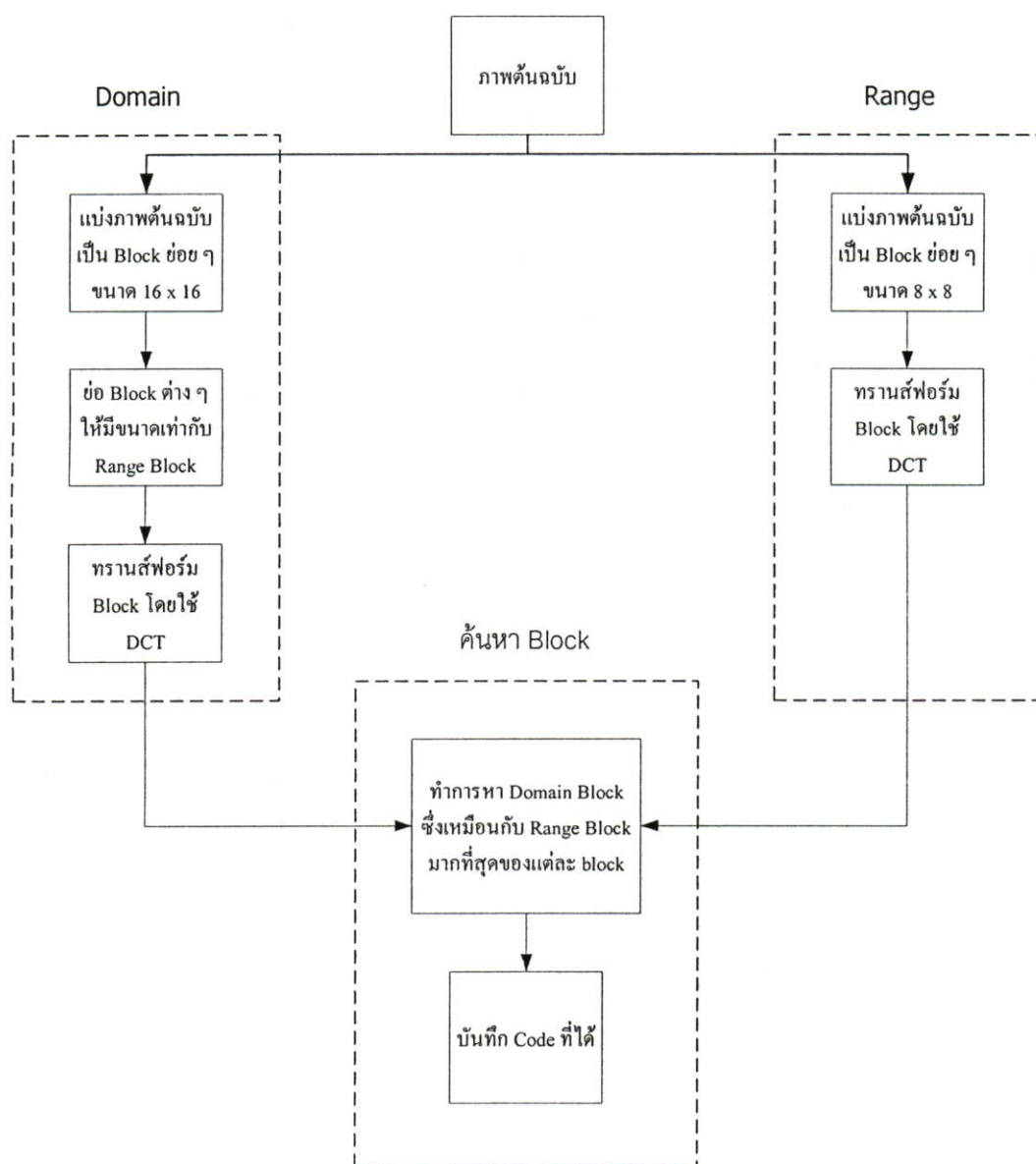
ตารางที่ 4.6 แสดงการหมุนภาพระหว่างกลุ่มที่ 2 (โดเมนบล็อกร) และกลุ่มที่ 3 (เรจันบล็อกร)

D <sub>1</sub>		ชนิดที่ 2							
		I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>5</sub>	I <sub>6</sub>	I <sub>7</sub>	I <sub>8</sub>
ชนิดที่ 3	I <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>
	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
	I <sub>5</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>
	I <sub>6</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>
	I <sub>7</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>
	I <sub>8</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>

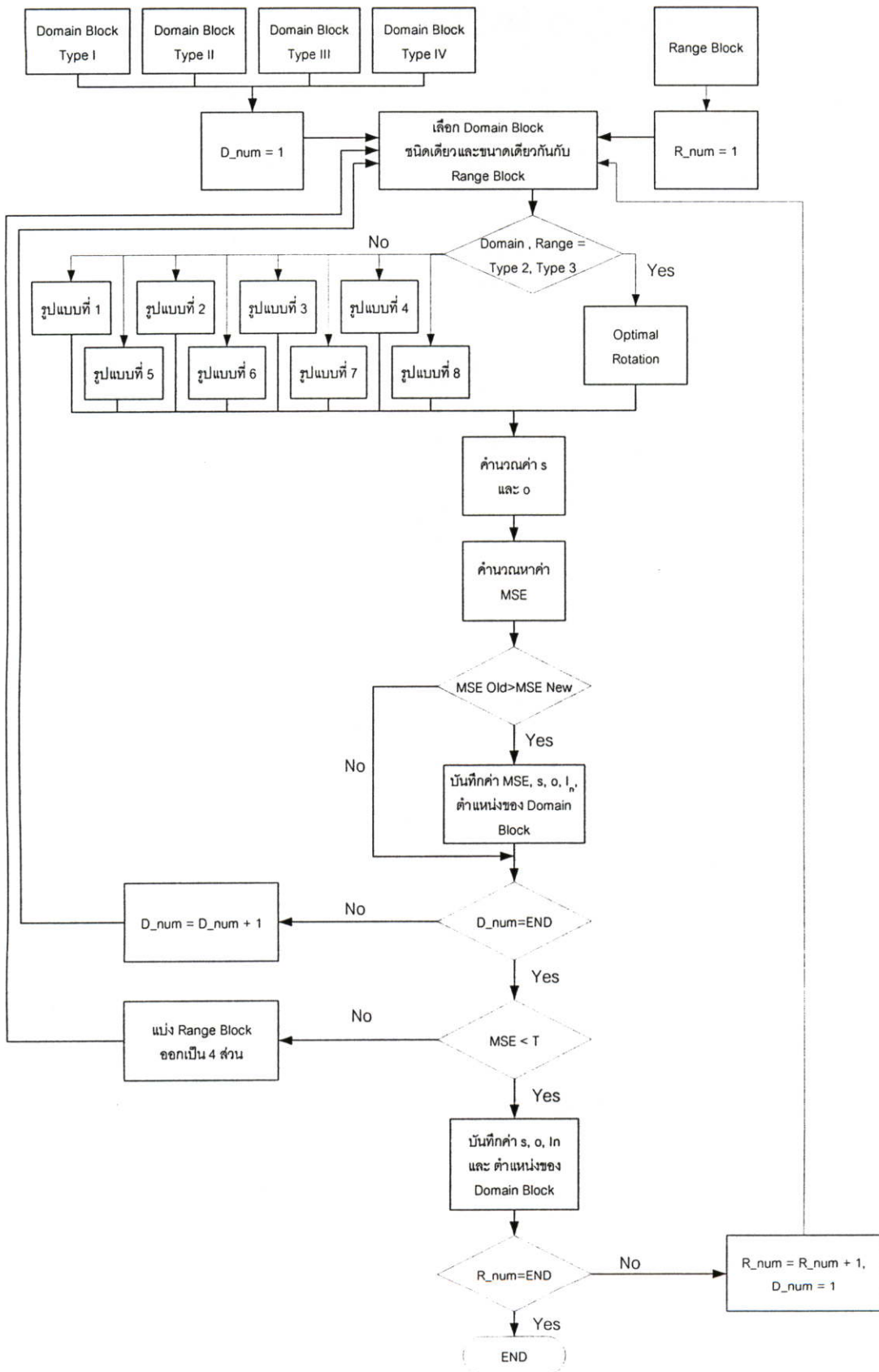
จากวิธีการที่กล่าวมาทั้งหมด จึงได้นำไปปรับปรุงกระบวนการเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคซายน์เต็มหน่วยได้ดังต่อไปนี้

### กระบวนการเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย

กระบวนการเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย มีกระบวนการดังรูปที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9 ในรูปที่ 4.8 จะเป็นกระบวนการเข้ารหัสภาพโดยรวม ส่วนในรูปที่ 4.9 จะเป็นปรับปรุงกระบวนการโดยนำการหาค่า MSE จากวิธีการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดจำนวนครั้งในการหมุนภาพให้น้อยลงในขั้นตอนของการค้นหาบล็อก



รูปที่ 4.8 การเข้ารหัสภาพใน โดเมนการแปลง โคไซน์เต็มหน่วย



รูปที่ 4.9 กระบวนการค้นหาบล็อก

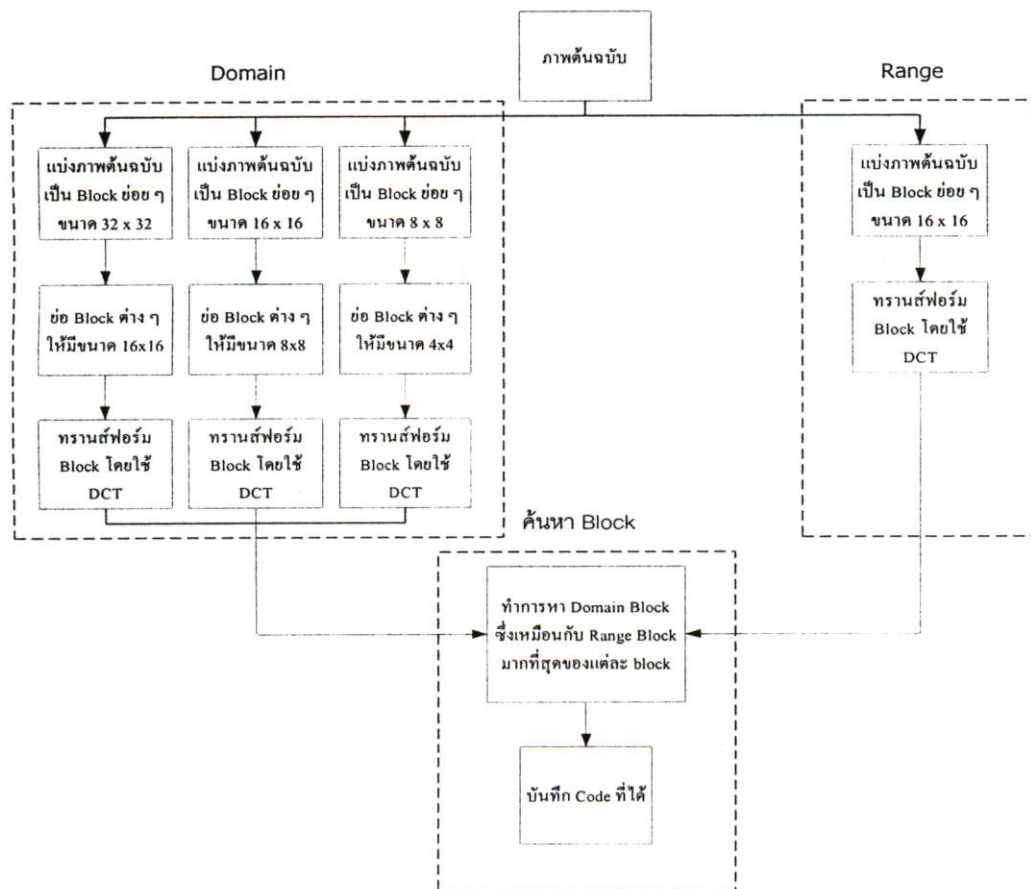
#### 4.4 การเพิ่มความละเอียดในการค้นหาบล็อกโดยใช้กระบวนการของควอดทรี

ข้อมูลภาพนั้น เป็นข้อมูลซึ่งมีความละเอียดมา ในข้อมูลบล็อกหนึ่ง ๆ นั้นมีความละเอียดของภาพในแต่ละส่วนไม่เท่ากัน บางส่วนมีรายละเอียดมาก บางส่วนมีรายละเอียดน้อย ทำให้ภาพที่ได้จากการเข้ารหัสภาพ มีคุณภาพลดลง

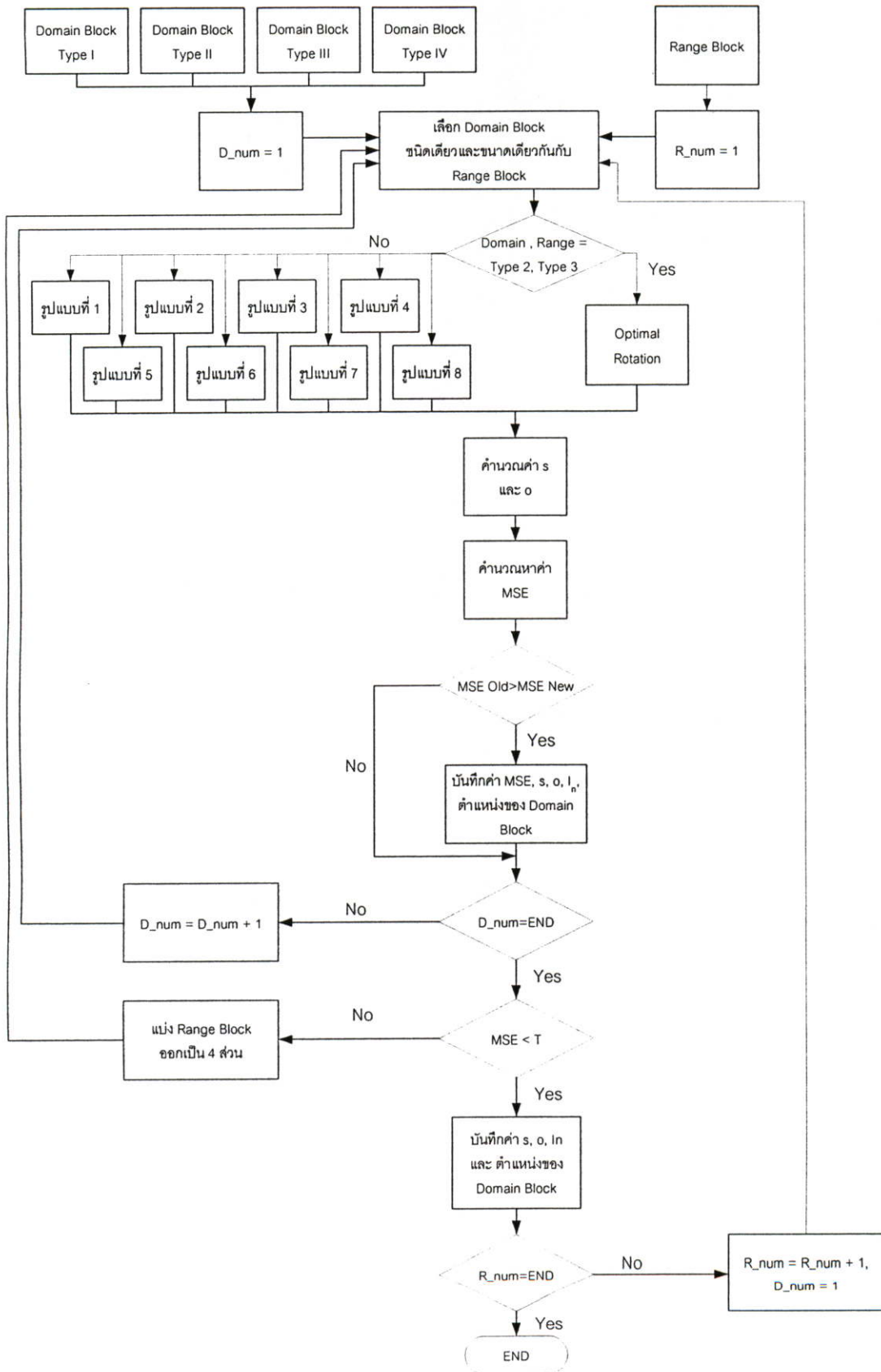
ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการแบ่งภาพแบบควอดทรี ซึ่งมีการเข้าข้อมูลที่มีรายละเอียดสูงได้ ซึ่งในการทำงานจะมีการแบ่งบล็อกย่อยไปเรื่อย ๆ จากคุณสมบัติดังกล่าววิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำมาใช้ในการกระบวนการของการเข้ารหัสภาพ เพื่อเพิ่มความละเอียดในการค้นหาบล็อกให้มากขึ้น ทำให้ภาพที่ได้จากการเข้ารหัสภาพมีคุณภาพสูงขึ้น

โดยทำการตัดสินใจแบ่งบล็อกให้ย่อยลงไปจากค่า MSE ที่ได้จากผลสุดท้ายของการหาจากโดเมนบล็อกให้น้อยกว่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้ แสดงให้เห็นว่าบล็อกที่ทำการค้นหานี้ยังมีความแตกต่างกันมากอยู่ จึงต้องทำย่อยลง ไปอีก เพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพให้มากขึ้น

กระบวนการเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย โดยทำการประยุกต์กระบวนการของควอดทรีมีกระบวนการดังนี้



รูปที่ 4.10 การเข้ารหัสภาพในโดเมนการแปลงโคไซน์เต็มหน่วย โดยประยุกต์กระบวนการของควอดทรี



รูปที่ 4.11 การค้นหาบล็อกโดยประยุกต์กระบวนการของควอดทรี

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 บทนำ

การทดลองในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกเป็นการทดลองเพื่อทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และคุณภาพของภาพผลลัพธ์ เมื่อภาพต้นฉบับมีลักษณะแตกต่างกัน ส่วนที่สองเป็นการเพิ่มคุณภาพของภาพผลลัพธ์โดยใช้การแบ่งภาพแบบควอดทรี ส่วนที่สามเป็นการเปรียบเทียบอัตราการบีบอัดและคุณภาพของภาพผลลัพธ์ เมื่อเทียบกับวิธีการบีบอัดภาพแบบ “Jpeg”

ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ MATLAB<sup>®</sup> เวอร์ชัน 6.0 ทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล “Athlon” ความเร็ว 1.4 จิกะเฮิรซ์ และหน่วยความจำขนาด 256 เมกกะไบท์

#### 5.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการทดลอง

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้อัลกอริทึมในการทดลองทั้งหมด 3 แบบ ด้วยกันคือ วิธีการของ Jacquin, วิธีการของ Zhao, และวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยที่วิธีที่พัฒนาขึ้นมาแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ

แบบที่ 1 ทำการค้นหาเรนจ์บล็อกจากโดเมนบล็อกทุก ๆ บล็อก ซึ่งทำการหมุนโดยใช้ตารางที่ 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6

แบบที่ 2 ทำการค้นหาเรนจ์บล็อกจากโดเมนบล็อกในกลุ่มเดียวกันกันเรนจ์บล็อก โดยทำการรวมกลุ่มที่ 2 และ 3 เป็นกลุ่มเดียวกัน โดยใช้ตารางการหมุนที่ 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6

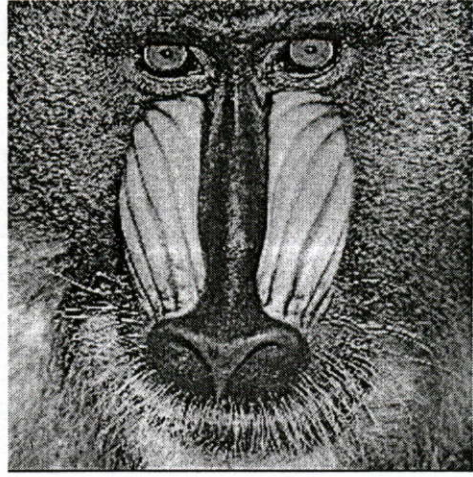
แบบที่ 3 ทำการค้นหาเรนจ์บล็อกจากโดเมนบล็อกในกลุ่มเดียวกันกันเรนจ์บล็อก โดยใช้ตารางการหมุนที่ 4.3 และ 4.4

#### 5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

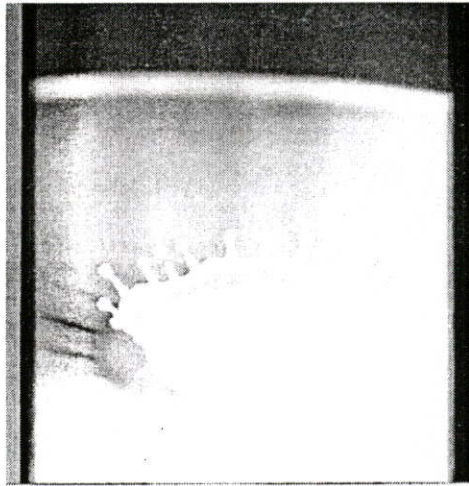
ข้อมูลที่ใช้ทดลองได้จากการนำภาพขนาด 256x256 จุดและมีระดับความเข้มของสีเทา 256 ระดับ จำนวน 3 ภาพ มาแทนข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ ภาพ “Lena” เป็นภาพที่มีรายละเอียดปานกลาง, ภาพ “Mandrill” เป็นภาพที่มีรายละเอียดของภาพมาก และภาพ “Milkdrop” เป็นภาพที่มีรายละเอียดของภาพน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5.1



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.1 ภาพต้นฉบับ (ก) ภาพ “Lena” (ข) ภาพ “Mandrill” และ (ค) ภาพ “Milkdrop”

การนำภาพลักษณะต่างกันนี้เป็นข้อมูลในการทดลองเพื่อทดสอบความแตกต่างของอัตราการผลิตขนาดข้อมูล ความเร็วที่ใช้ในการประมวลผล และคุณภาพของภาพผลลัพธ์ ที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีต่าง ๆ

#### 5.4 การตรวจสอบและการวัดผล

ในแต่ละการทดลองเราจะบันทึกผลลัพธ์ดังนี้

1. เวลาที่ใช้ในการประมวลผล มีหน่วยเป็นนาฬิกา เป็นการวัดตั้งแต่เริ่มกระบวนการเข้ารหัสจนได้ผลลัพธ์ โดยไม่รวมขั้นตอนของการถอดรหัสภาพ

2. อัตราการบีบอัด มีหน่วยเป็น บิตต่อจุดภาพ (bit per pixel) ทำการคำนวณจากบิตที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพที่ได้จากการเข้ารหัสหารด้วย จำนวนบิตทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บภาพต้นฉบับ (256x256x8 บิต)

3. คุณภาพของภาพ การวัดคุณภาพของภาพในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้การวัดอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Peak signal-to-noise ratio เขียนแทนด้วย PSNR) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

## 5.5 การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 เป็นการทดลองเพื่อทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และคุณภาพของภาพผลลัพธ์ เมื่อภาพต้นฉบับมีลักษณะแตกต่างกัน โดยกำหนดให้แต่ละวิธีทำการแบ่งเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อกให้มีขนาด 8x8 และ 16x16 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองจากการทดลองที่ 1

		Lena	Mandrill	Milkdrop
Jacquin method	อัตราการบีบอัดข้อมูล (Bpp)	0.0684	0.0684	0.0684
	PSNR (dB)	25.9675	19.5549	30.5440
	เวลาประมวลผล (นาที่)	11.6450	11.5985	11.6368
Zhao method	อัตราการบีบอัดข้อมูล (Bpp)	0.0671	0.0682	0.0590
	PSNR (dB)	26.0470	19.5727	30.6213
	เวลาประมวลผล (นาที่)	10.3095	10.6225	8.2105
Proposed method (แบบที่ 1)	อัตราการบีบอัดข้อมูล (Bpp)	0.0671	0.0682	0.0590
	PSNR (dB)	25.9300	19.5475	30.5897
	เวลาประมวลผล (นาที่)	5.0422	4.2988	3.3230
Proposed method (แบบที่ 2)	อัตราการบีบอัดข้อมูล (Bpp)	0.0671	0.0682	0.0590
	PSNR (dB)	25.6343	19.4950	30.1097
	เวลาประมวลผล (นาที่)	1.8463	1.8565	1.2688
Proposed method (แบบที่ 3)	อัตราการบีบอัดข้อมูล (Bpp)	0.0671	0.0682	0.0590
	PSNR (dB)	25.7654	19.4964	30.1461
	เวลาประมวลผล (นาที่)	4.0700	4.4207	1.8575

รูปที่ 5.2 – 5.4 เป็นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองที่ 1 ด้วยวิธีการเข้ารหัสแบบต่าง ๆ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



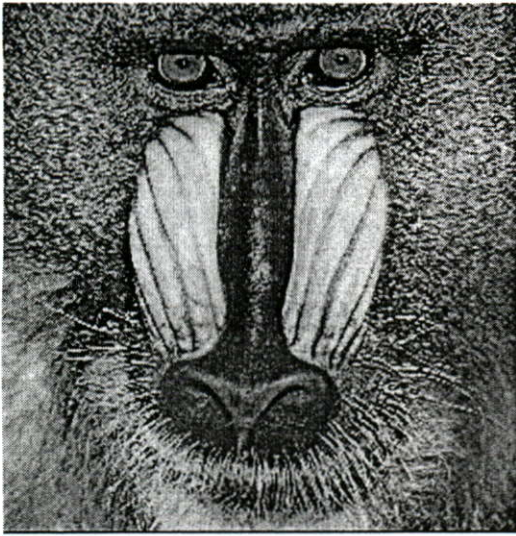
(จ)



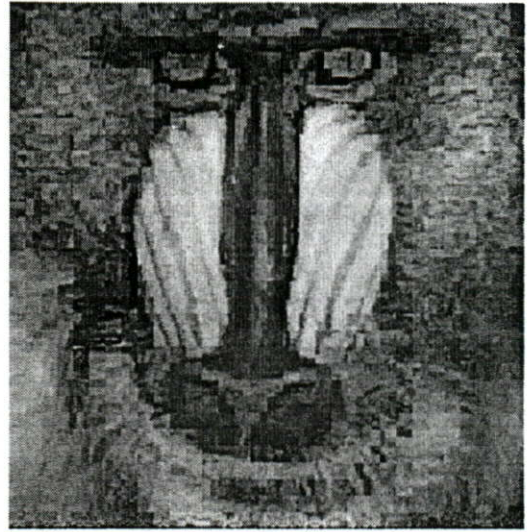
(ฉ)

รูปที่ 5.2 ภาพผลลัพธ์ “Lena” ที่ได้จาก การเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ

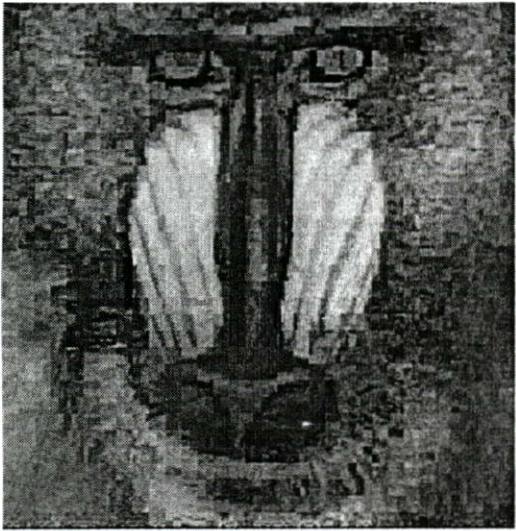
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3



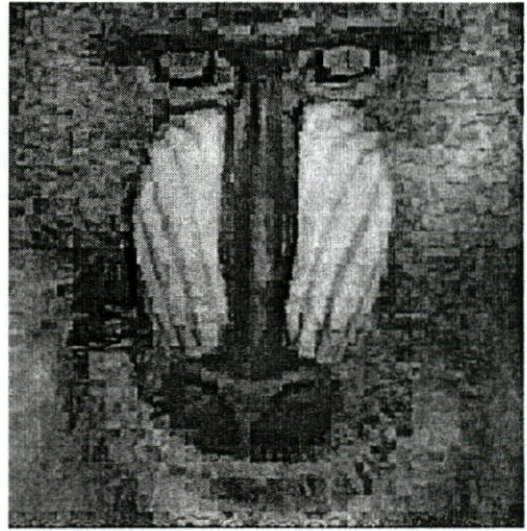
(ก)



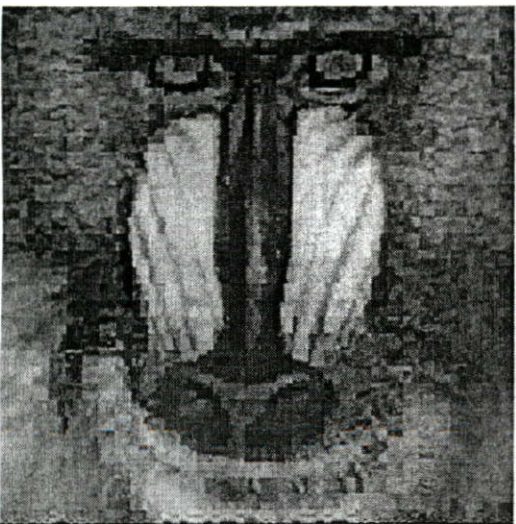
(ข)



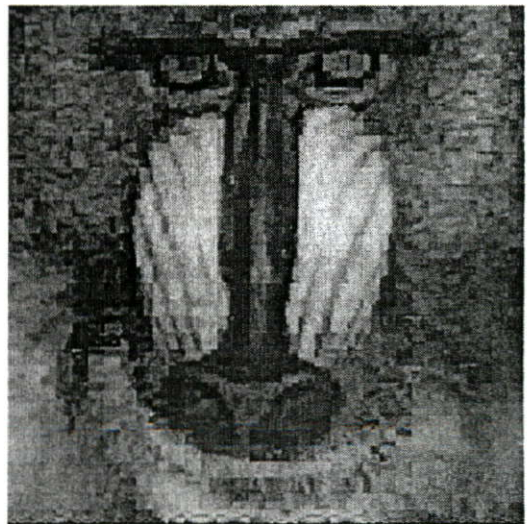
(ค)



(ง)



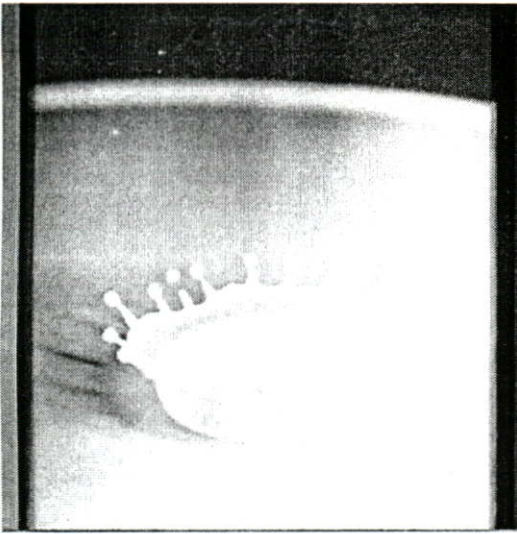
(จ)



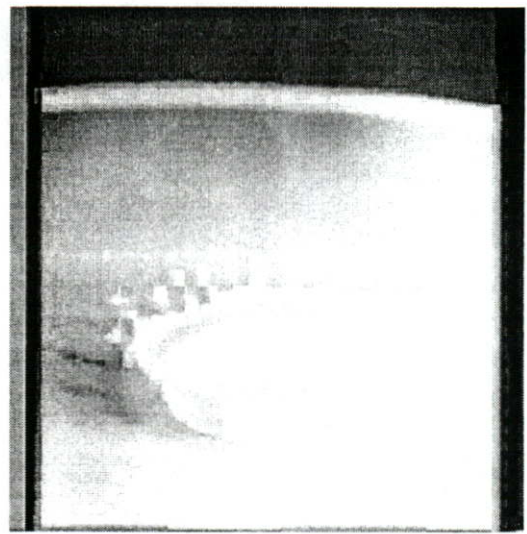
(ฉ)

รูปที่ 5.3 ภาพผลลัพธ์ “Mandrill” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ

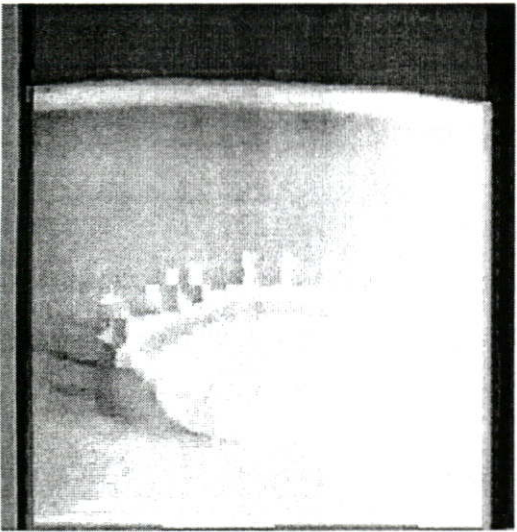
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3



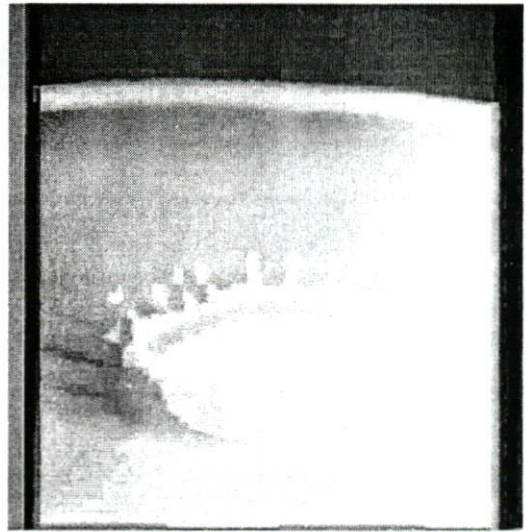
(ก)



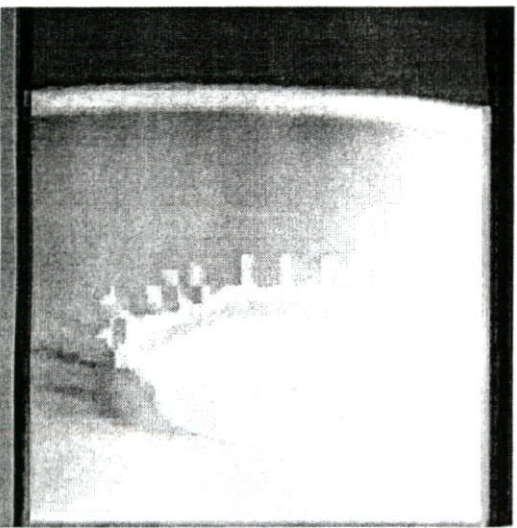
(ข)



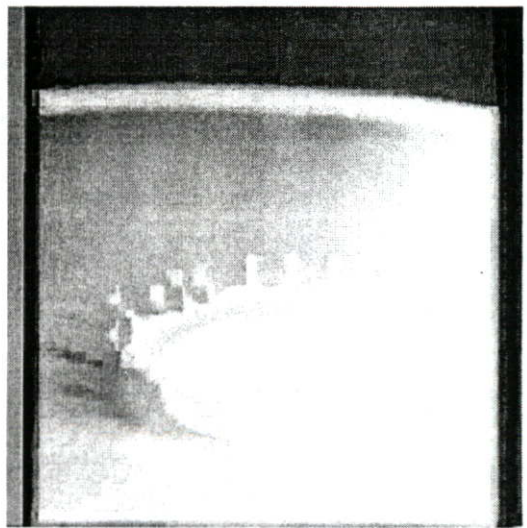
(ค)



(ง)



(จ)

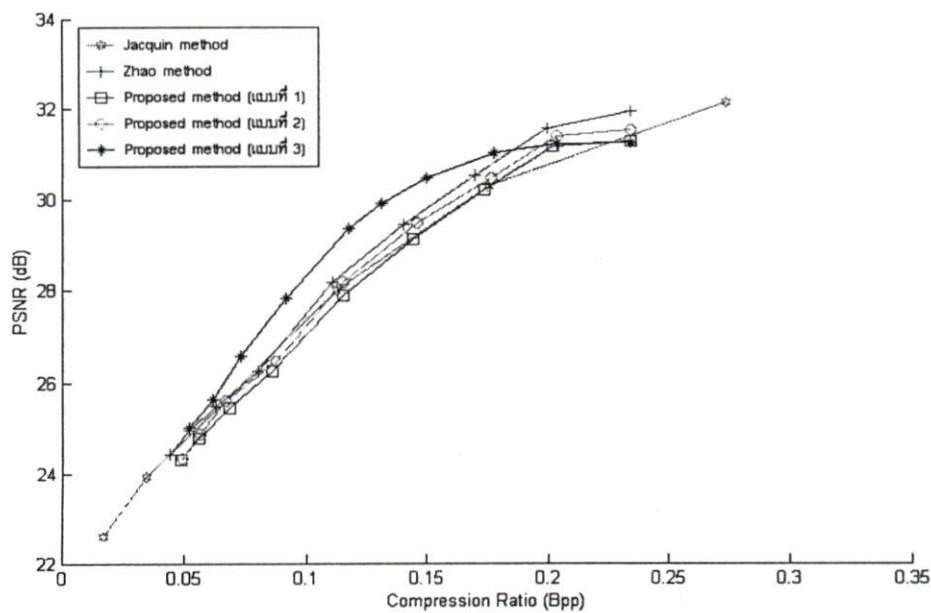


(ฉ)

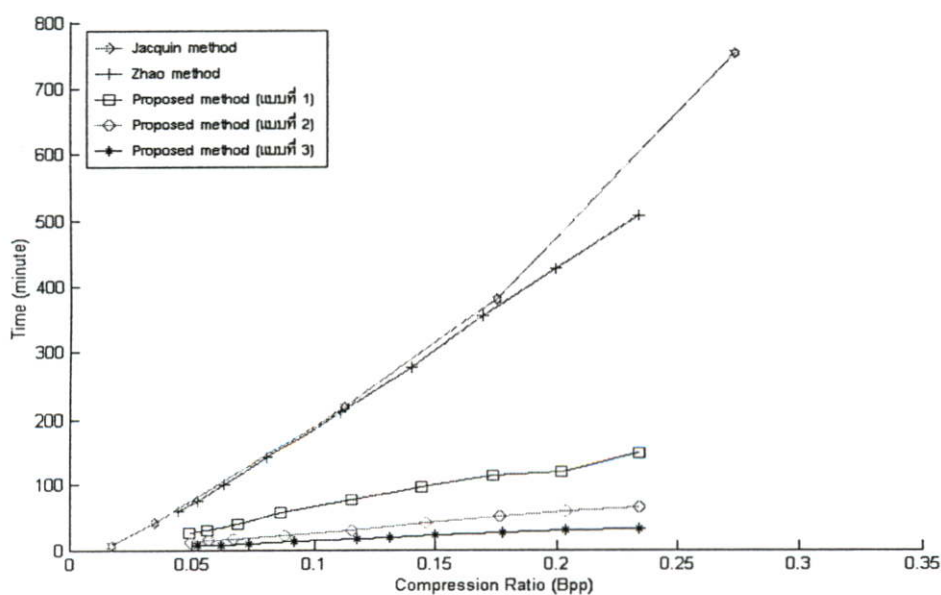
รูปที่ 5.4 ภาพผลลัพท์ “Milkdrop” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3

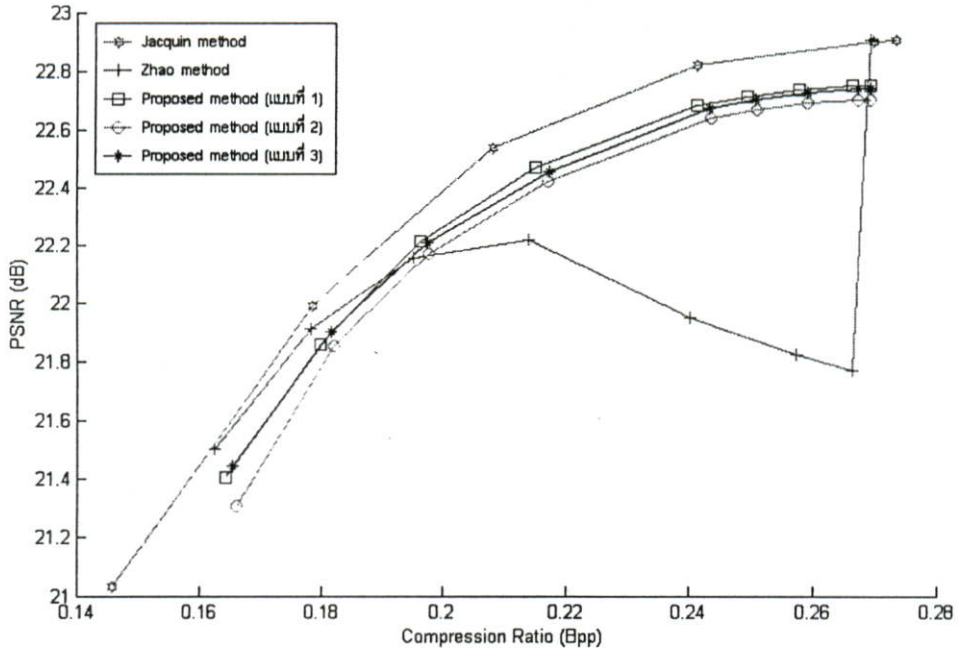
การทดลองที่ 2 เป็นการเพิ่มคุณภาพของภาพผลลัพธ์โดยใช้การแบ่งภาพแบบควอดทรีโดยทำการแบ่งเร็นจ์บล็อกย่อยลงไปต่ำสุดขนาด  $4 \times 4$  และค่า MSE ที่ใช้ในการตัดสินใจแบ่งเร็นจ์บล็อกย่อยลงไปกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0, 10, 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400 และ 500 ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังนี้



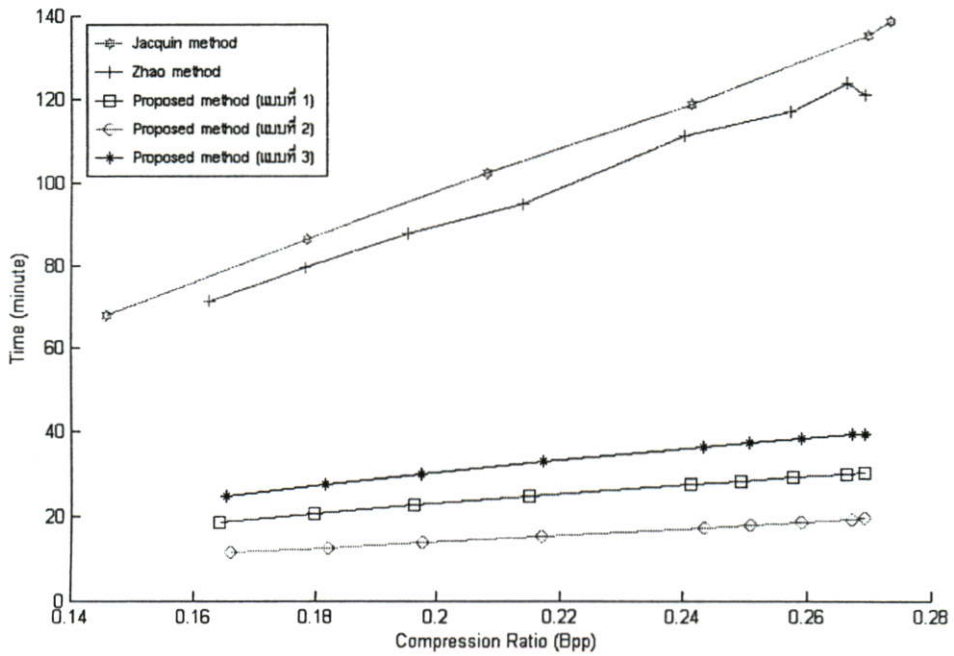
รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Lena”



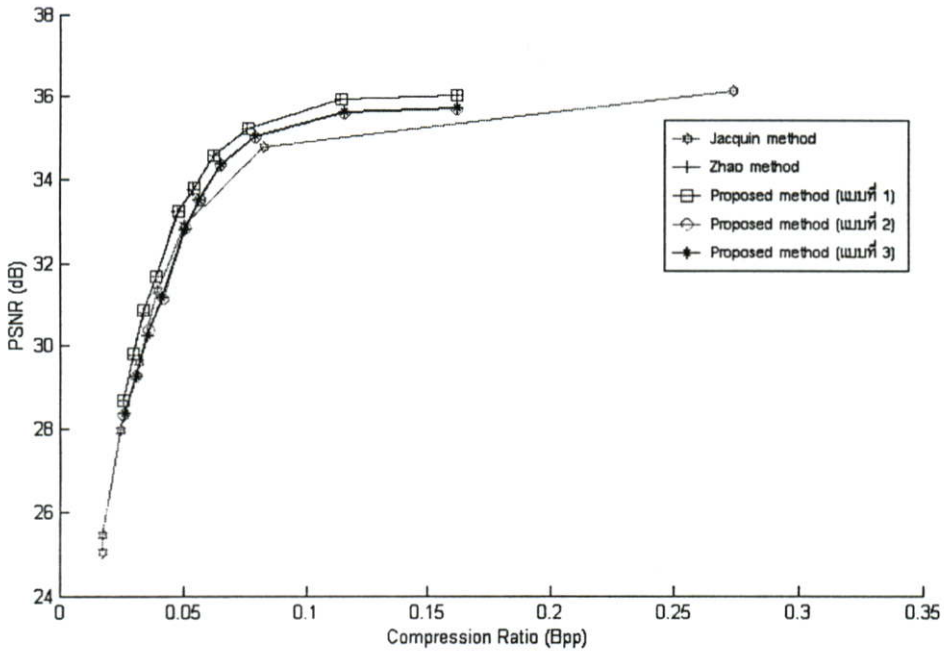
รูปที่ 5.6 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Lena”



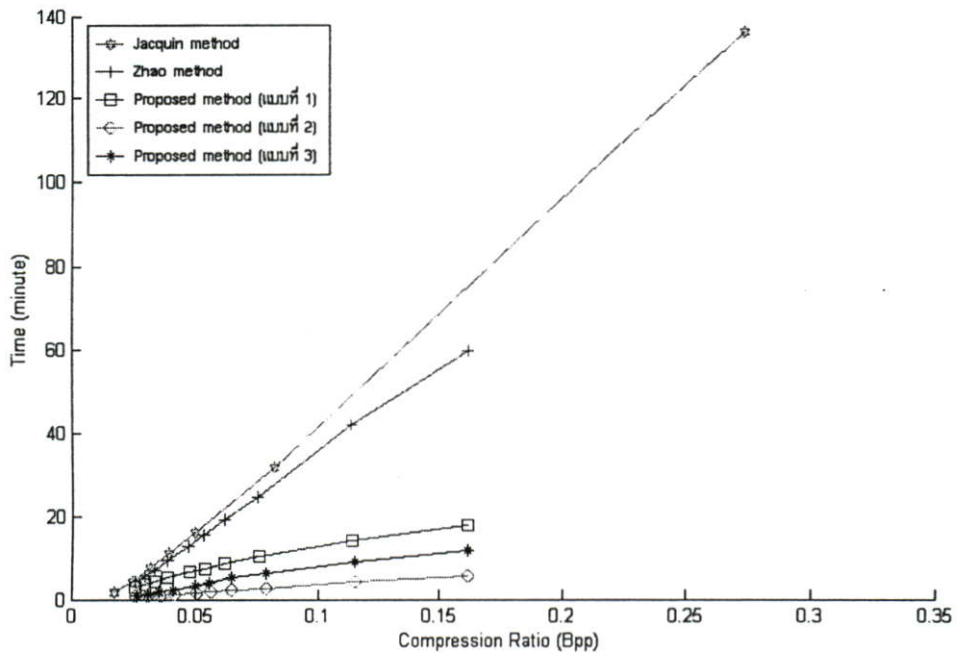
รูปที่ 5.7 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Mandrill”



รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Mandrill”



รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Milkdrop”



รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Milkdrop”



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



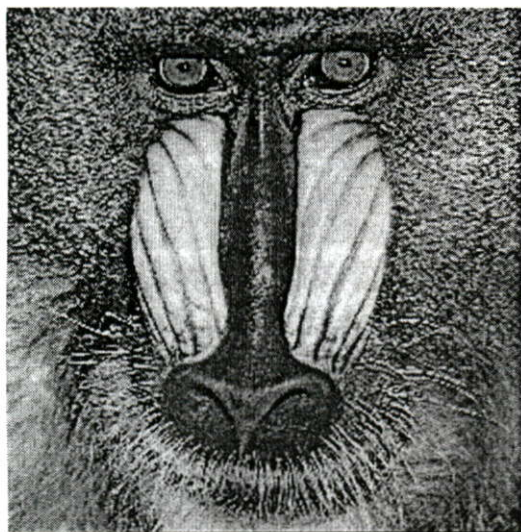
(จ)



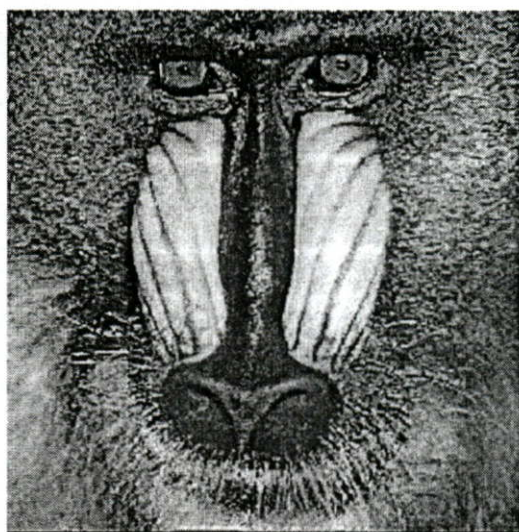
(ฉ)

รูปที่ 5.11 ภาพผลลัพธ์ “Lena” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ค่า PSNR สูงสุด

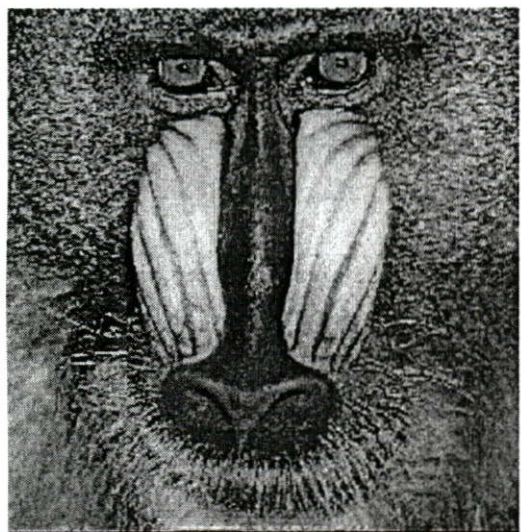
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3



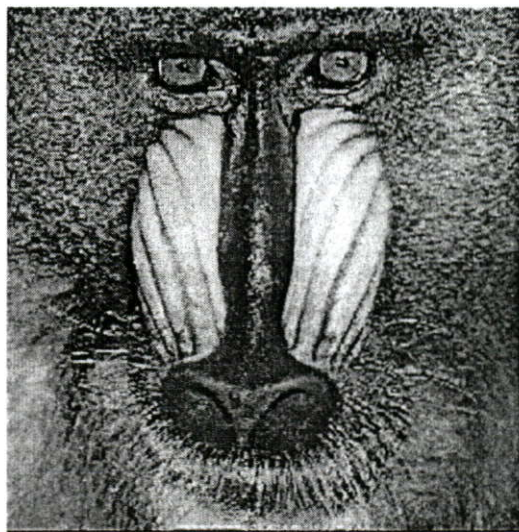
(ก)



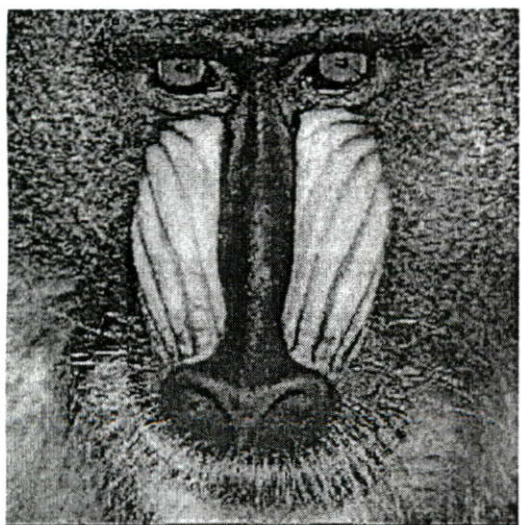
(ข)



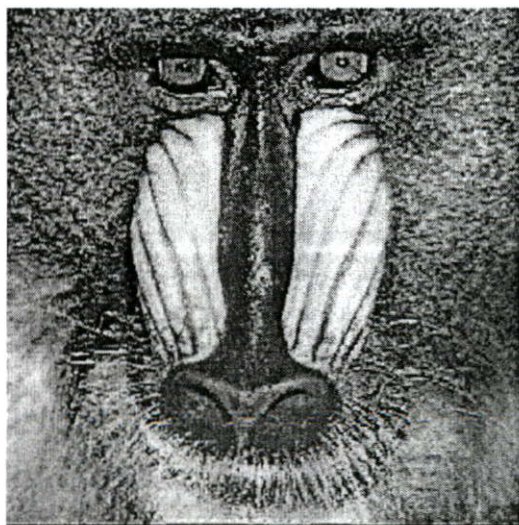
(ค)



(ง)



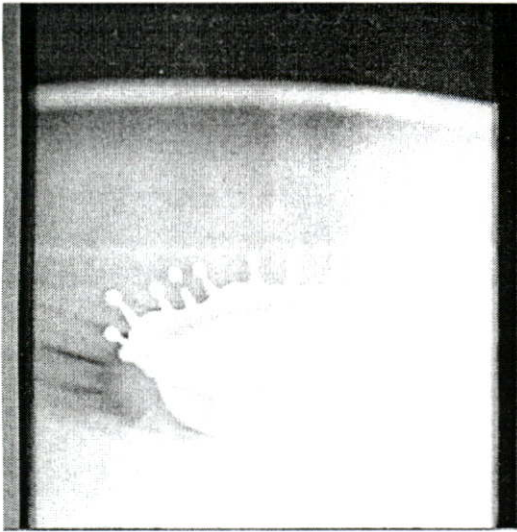
(จ)



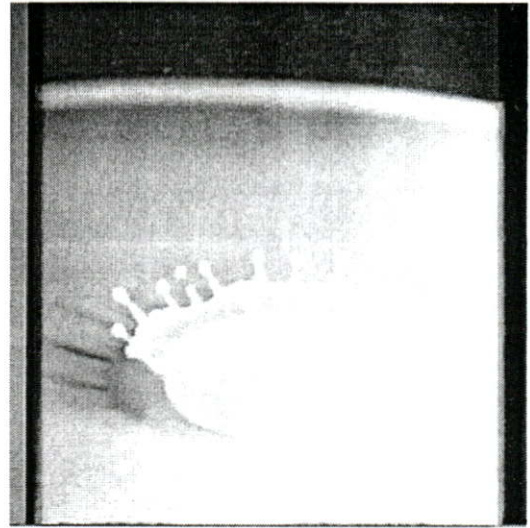
(ฉ)

รูปที่ 5.12 ภาพผลลัพธ์ “Mandrill” ที่ได้จากการเข้ารหัสด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ค่า PSNR สูงสุด

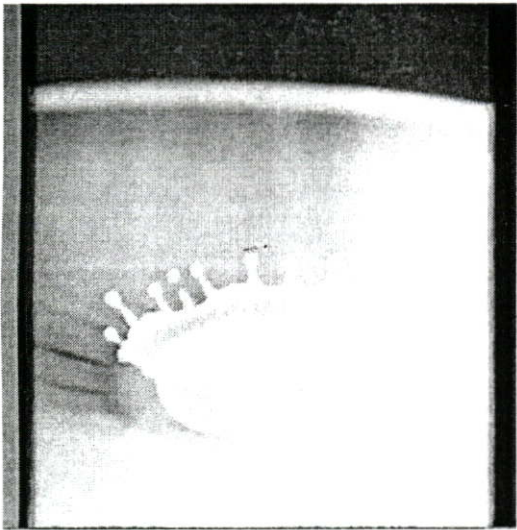
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3



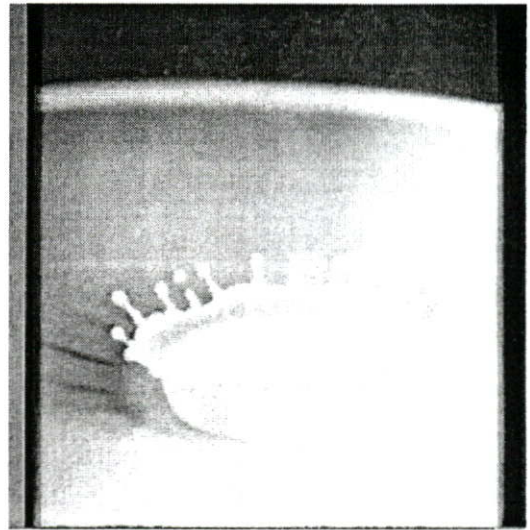
(ก)



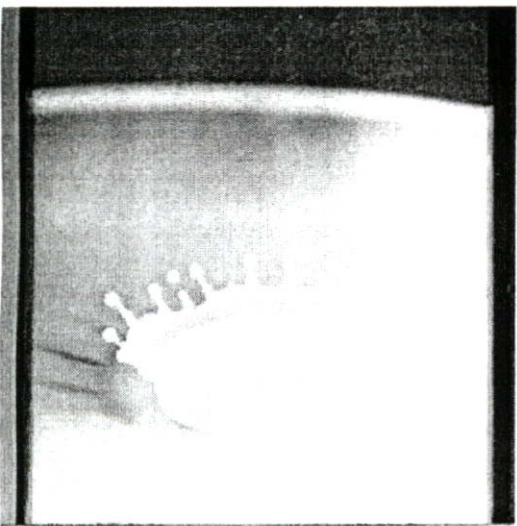
(ข)



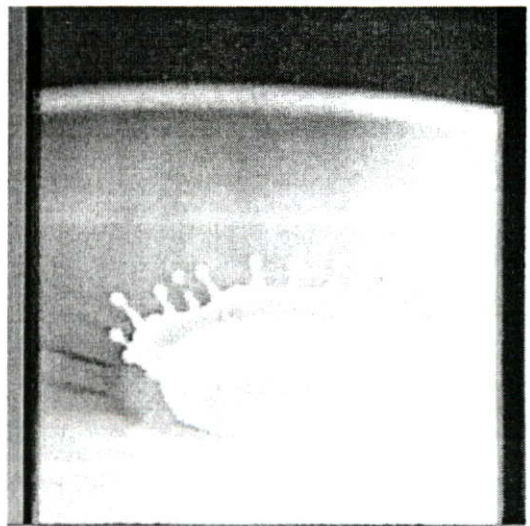
(ค)



(ง)



(จ)

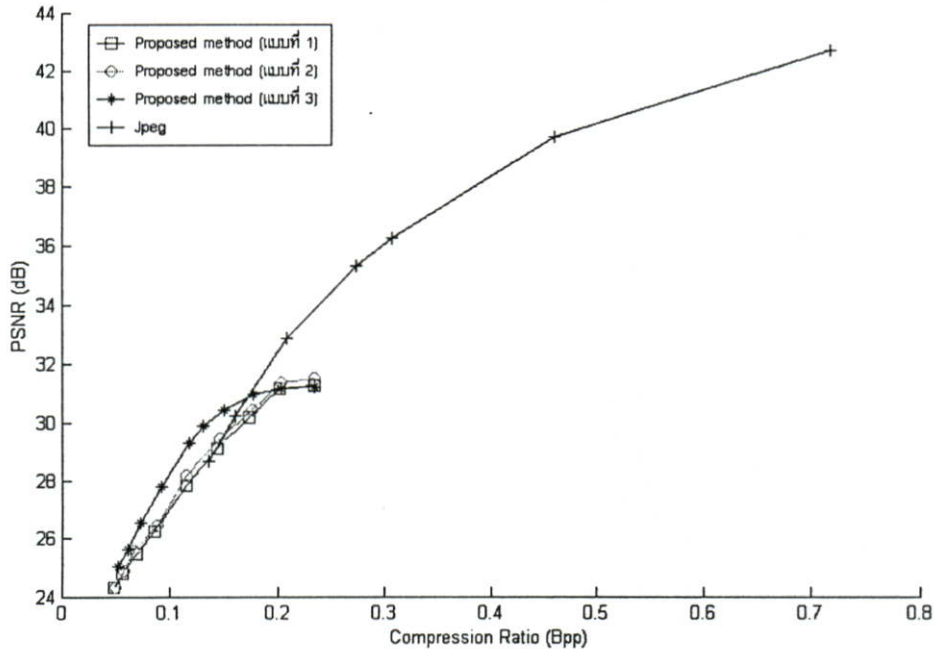


(ฉ)

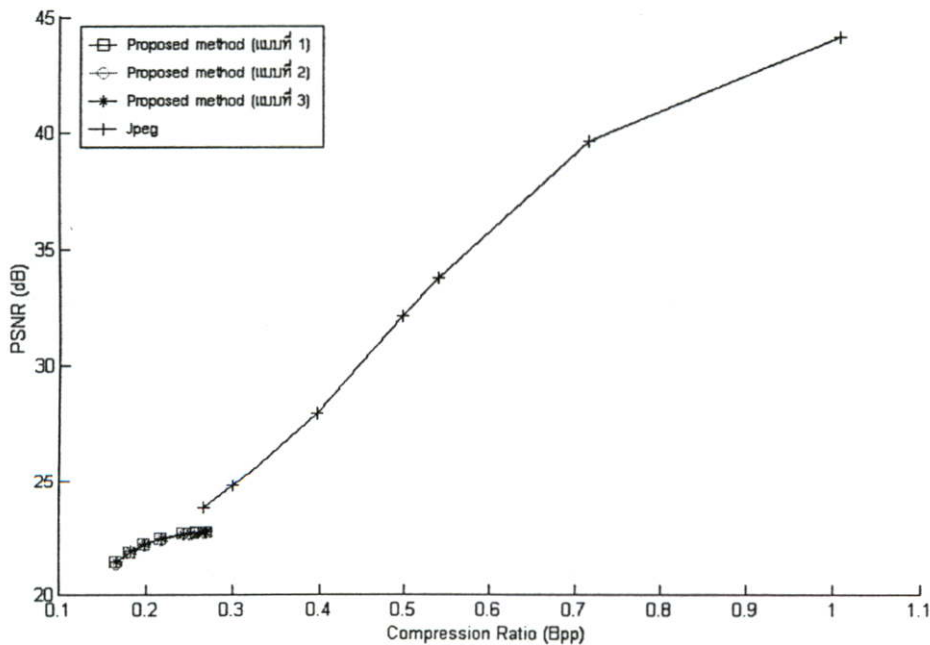
รูปที่ 5.13 ภาพผลลัพธ์ “Milkdrop” ที่ได้จากการเข้รหัสด้วยวิธีต่าง ๆ ที่ค่า PSNR สูงสุด

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) Jacquin (ค) Zhao (ง) แบบที่ 1 (จ) แบบที่ 2 และ (ฉ) แบบที่ 3

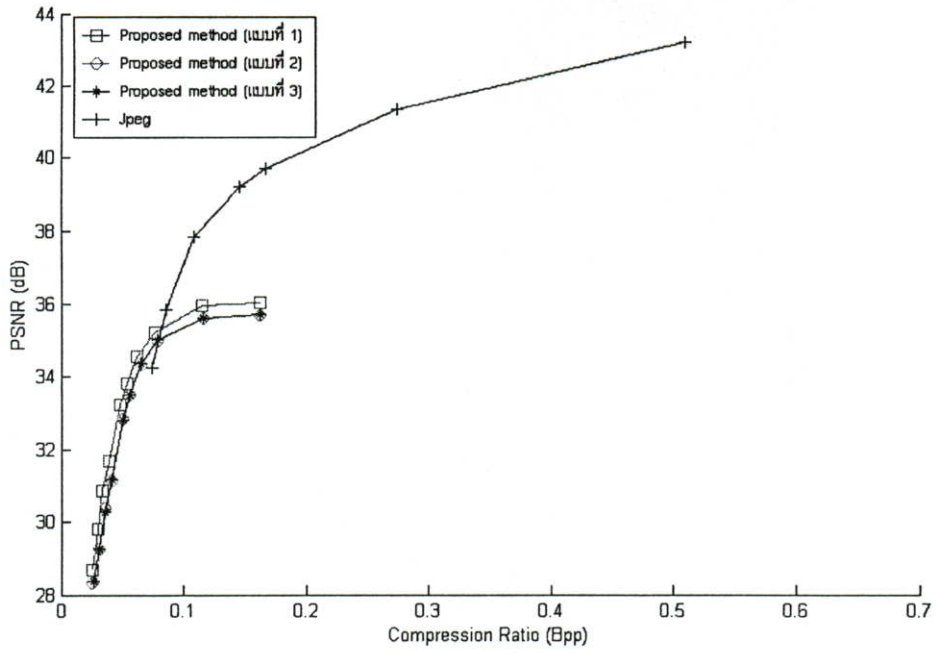
การทดลองที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการบีบอัดและคุณภาพของภาพผลลัพธ์ของวิธีที่พัฒนาขึ้นมาทั้ง 3 แบบ กับวิธีการบีบอัดภาพแบบ “Jpeg” ซึ่งทำการบันทึกจากโปรแกรม Photoshop ได้ผลดังนี้



รูปที่ 5.14 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Lena”



รูปที่ 5.15 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Mandrill”



รูปที่ 5.16 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSNR ของภาพผลลัพธ์และอัตราการบีบอัดข้อมูลของภาพ “Milkdrop”

## บทที่ 6

# สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างวิธีเดิมกับวิธีที่พัฒนาขึ้นมาทั้ง 3 แบบ จะเห็นว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อัตราส่วนของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพที่มีรายละเอียดปานกลาง (ภาพ "Lena") มีค่าเท่ากับ  $11.6450/1.8463 \approx 6.3072$  เท่า และคุณภาพของภาพผลลัพธ์แตกต่างกัน  $25.9675 - 25.6343 \approx 0.3332$  จึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลนั้นน้อยลง โดยที่คุณภาพของภาพสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
2. จากผลการทดลองในการเพิ่มคุณภาพของภาพผลลัพธ์โดยใช้การแบ่งภาพแบบควอดทรี จะเห็นว่าค่า PSNR มีค่าสูงขึ้นแสดงว่าการแบ่งภาพแบบควอดทรี ซึ่งเป็นการแบ่งเรขาคณิตที่เล็กกว่าไปอีก สามารถทำให้ได้คุณภาพของภาพที่ดีขึ้น โดยแลกกับอัตราการบีบอัดข้อมูลภาพที่น้อยลงกว่าเดิม
3. เมื่อนำวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมาทั้ง 3 แบบมาเปรียบเทียบกับวิธีการบันทึกภาพแบบ "Jpeg" จะเห็นว่าที่อัตราการบีบอัดภาพต่ำ ๆ คุณภาพของภาพที่ได้พัฒนาขึ้นมาทั้ง 3 แบบ มีคุณภาพที่ดีกว่า
4. การเข้ารหัสภาพแบบแฟลททอล ในการทดลองที่ผ่านมา จะเห็นว่าลักษณะของภาพมีผลต่ออัตราการบีบอัดภาพและคุณภาพของภาพผลลัพธ์เป็นอย่างมาก โดยภาพที่มีรายละเอียดมากจะได้อัตราการบีบอัดที่น้อยลงและคุณภาพของภาพผลลัพธ์ก็จะต่ำตามไปด้วย และภาพที่มีรายละเอียดน้อยจะได้อัตราการบีบอัดที่สูงมากและคุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ได้จะสูงมาก
5. จากแนวความคิดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพและการหมุนภาพในครั้งเดียวนั้น เป็นการคาดการณ์จากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำเพียงอย่างเดียว ทำให้ในการค้นหาโดเมนบล็อกที่เหมือนกับเรนจ์บล็อกไม่ได้บล็อกที่เหมือนมากที่สุด สังเกตได้จากค่าของ PSNR ที่น้อยลงไปจากเดิมเล็กน้อย
6. เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการลดข้อมูลภาพแบบ JPEG การลดข้อมูลภาพแบบ JPEG สามารถทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่มีค่า PSNR สูงกว่ามาก แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสายตาแล้วที่อัตราการบีบอัดที่เท่ากันภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการลดข้อมูลแบบแฟลททอลได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

### 6.2 ปัญหาที่พบ

จากการทดลองครั้งนี้ได้ประสบปัญหาบางประการดังนี้

1. จากการทดลองกับข้อมูลซึ่งมีรายละเอียดของภาพมาก ทำให้ไม่สามารถทำการแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้ดีเท่าที่ควร ทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลลดลงไม่มาก

2. ขนาดของบล็อกในการแบ่งภาพมีผลแบ่งกลุ่มภาพ ในบล็อกที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ไม่สามารถแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้อย่างชัดเจน ข้อมูลภาพจึงไปรวมกันอยู่ที่กลุ่มที่ 4 ด้วยเหตุนี้ข้อมูลภาพที่อยู่ในกลุ่มที่ 2 และ 3 จึงมีน้อย ทำให้เวลาในการประมวลผลลดลงไม่มากและในการค้นหาโดเมนบล็อกในกลุ่มที่ 2 และ 3 ทำให้ได้บล็อกที่ไม่เหมือนกันมากที่สุด เพราะบล็อกที่ทำการเปรียบเทียบมีจำนวนน้อย ทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ลดลง

### 6.3 แนวทางในการพัฒนา

1. ในการแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพที่ได้ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการประมาณจากสัมประสิทธิ์ทางความถี่ต่ำรอบ ๆ สัมประสิทธิ์ DC เพื่อให้การแบ่งกลุ่มมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นควรที่จะเพิ่มสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการตัดสินใจในการแบ่งกลุ่มภาพให้มากขึ้น
2. ในการเข้ารหัสภาพแบบเฟลททอล เป็นการบีบอัดข้อมูลแบบยอมให้มีการสูญเสียข้อมูล ผลที่ได้จะผิดพลาดไปเล็กน้อย ดังนั้นควรที่จะทำกับข้อมูลภาพซึ่งผ่านการแปลงไปแล้ว จะทำให้ได้คุณภาพของภาพผลลัพ์ดีขึ้น จากการแปลงต่าง ๆ ที่มีอยู่ จะเห็นว่าการแปลงเวฟเล็ต ข้อมูลในส่วนของความถี่ต่ำซึ่งมีค่าที่สูงมาก มีข้อมูลใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้นถ้าเราทำการประยุกต์ใช้การเข้ารหัสแบบเฟลททอลในส่วนของความถี่ต่ำนี้ จะทำให้ได้อัตราการบีบอัดข้อมูลที่สูงขึ้น และคุณภาพของภาพที่ได้จะดีขึ้นด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Yuval Fisher. **Fractal Image Compression Theory and Application.** New York : Springer-Verlag New York, Inc. 1995.
- [2] Ning Lu. **Fractal Imaging.** The United States of America : Academic Press. 1997
- [3] A.E.Jacquin. "Fractal image coding : a review." Proceedings of the IEEE, Vol.81, No.10, 1993
- [4] A. Jacquin. "Image coding based on a fractal theory of iterated contractive image transformations." IEEE Trans. Image Processing, Vol.1, 1992, pp.18-30.
- [5] Y.Zhao., B.Yuan. "Image compression using fractal and discrete cosine transform." Electron. Lett., vol.30, 1994, pp.474-475.
- [6] Chen chunling., Wang shaodi., Shan blingzhe. "A fractal image coding based on the quadtree." Proceeding of ICSP '98, 1998, pp.783-786.
- [7] Ruan Yuxuan., Toh Guan Nge. "An improved fractal image compression scheme embedding DCT encoder." Proceeding of the IEE, No.465, 1999
- [8] Daiki ENDO., Tsuyoshi HIYANE., Kiyooki ATSUTA., Shozo KONDO. "Fractal Image Compression by the Classification in the Wavelet Transform Domain." Proceeding of 5<sup>th</sup> IEEE International Conference on Image Processing, 1998
- [9] M. Gharavi-Alkhansari., T. Huang. "A fractal-based image block coding algorithm." Proceeding of IEEE, Vol.5, 1993, pp.345-348.
- [10] M. T. Orchard. "A fast nearest-neighbor search algorithm." Proceeding of IEEE, 1991, pp.2297-2300.
- [11] Jonas D. Pfefferman., Pablo E. Cingolani., Bruno Cernuschi-Frias. "An improved search algorithm for fractal image compression" Proceeding of IEEE, 1999
- [12] Yung-Gi Wu. "Medical image compression by sampling DCT coefficients" Proceeding of IEEE, Vol.6, 2002, pp. 86 -94
- [13] Ramaswamy V.N., Namuduri K.R., Ranganathan N. "Lossless image compression using wavelet decomposition" Proceeding of IEEE, Vol.3, 1996, pp.924 -928
- [14] Yu-Chen Hu., Chin-Chen Chang. "A novel two-stage lossless image compression scheme" Proceeding of Fourth Optoelectronics and Communications Conference, Vol.2, 1999, pp. 944 - 947

ภาคผนวก  
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

A. Rahothan., K.Chitsakul., M. Sangworasil. “A Fast Fractal Image Coding in Frequency Domain.” Proceeding of the FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON MECHATRONICS –ICOM '01, 2001, pp.419-426

## ประวัติผู้เขียน

นายอรรถพล ระโหฐาน เกิดเมื่อวันที่ 7 มกราคม 2519 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปีการศึกษา 2541 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปีการศึกษา 2538 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือในปีการศึกษา 2536