



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง การปับัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่
โดย นางสาวมลฤดี ทิบุญมา

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร.มงคล หวังสถิตย์วงศ์)

21 พฤษภาคม 2550

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรณปัญญา)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวรรณ)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พยุง มีสัง)

การบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่

นางสาวมลฤดี ทีบุญมา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชื่อ : นางสาวมณฑิลา ทิพนูมา
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่
 สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณฑ์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวรรณ
 ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

การบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลเป็นการเข้ารหัสวิธีหนึ่ง ที่ให้ผลลัพธ์เป็นการบีบอัดแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วน ซึ่งการบีบอัดข้อมูลด้วยวิธีนี้ มีอัตราการบีบอัดที่สูง ผลลัพธ์ไม่ขึ้นกับความละเอียดของภาพ และถอดรหัสได้เร็ว อย่างไรก็ตาม กระบวนการเข้ารหัสต้องใช้ระยะเวลาอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่เพื่อลดระยะเวลาของการเข้ารหัสภาพ โดยในขั้นตอนก่อนการเข้ารหัสภาพ จะนำภาพต้นฉบับมาแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพแบบนอแมลโลซ์คัท ส่งผลให้ขนาดของโคเมนพูลลดลง จากนั้นวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของโคเมนพูลในแต่ละพื้นที่ย่อย เพื่อคัดเลือกบล็อกรหัสเข้ารหัส การเปรียบเทียบคู่บล็อกที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถเพิ่มความเร็วของการเข้ารหัสได้เร็วกว่าวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ โดยคุณภาพของภาพที่สร้างกลับถูกลดลงเพียงเล็กน้อย

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 95 หน้า)

คำสำคัญ : การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบเฟรคทอล การแบ่งพื้นที่แบบกลุ่มข้อมูลภาพ การแบ่งพื้นที่แบบนอเมตโลจี้คัล ความแปรปรวน การบีบอัดแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วน



อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

Name : Miss Monruedee Tebunma
Thesis Title : Fractal Image Compression Using Region-Based Segmentation Approach
Major Field : Computer Technology
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok
Thesis Advisors : Assistant Professor Dr. Kuntpong Woraratpanya
: Assistant Professor Dr. Supot Nitsuwat
Academic Year : 2006

Abstract

Fractal image compression is one of effective methods for lossy coding. This method has various advantages in terms of high compression ratio, resolution independence, and fast decoding. However, its encoding process takes very high time-consuming. Therefore, in order to overcome this obstacle, the fractal image compression using region-based segmentation approach is proposed. In this method, first, an encoded image is partitioned by means of normalized-cutting segmentation so as to reduce a domain pool size. Then each region of the image is encoded with variance-based domain pool design. Finally, an implementation scheme is illustrated that the proposed method can speed up the encoding time faster than the conventional method whereas the quality of the reconstructed image is slightly degradation.

(Total 95 pages)

Keywords : fractal image compression, region-based segmentation, normalized cutting
segmentation, variance-based, lossy compression



Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรณปัญญา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ นิตย์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ และทุ่มเทตลอดระยะเวลา การทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ผู้สอนทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ได้สั่งสอนวิชาความรู้ เพื่อนำมาใช้เป็นพื้นฐานใน การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษา สจพ. ทุกท่านที่ช่วยแนะแนวทางในการเขียน โปรแกรม MATLAB ทำให้ข้าพเจ้าสามารถต่อยอดพัฒนาโปรแกรมจนสำเร็จได้ ขอขอบคุณทุกท่านที่มูลนิธิ บำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา สาขานครราชสีมา ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้าน ความรู้สึนึกคิด ทำให้ข้าพเจ้าเกิดภูมิปัญญาในการสร้างสรรค์งานวิจัยขึ้นนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บัณฑิตวิทยาลัยและเจ้าหน้าที่ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ในขั้นตอนของการ ดำเนินการวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวของผู้ทำการวิจัย ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุน ในทุกๆ ด้าน สุดท้ายนี้ประโยชน์และคุณความดีอันใด ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้แก่ บิดามารดา ครูอาจารย์และผู้มีพระคุณของข้าพเจ้าทุกท่านตลอดไป

มลฤดี ที่บุญมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	3
1.5 ประโยชน์ของผลการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การบีบอัดข้อมูลภาพ	5
2.2 การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล	10
2.3 ทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพ	21
2.4 ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
2.6 แนวความคิดที่นำมาใช้ในงานวิจัย	29
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	31
3.1 การวิเคราะห์ประเด็นของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล	31
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	33
3.3 การวัดคุณภาพของภาพ	46
บทที่ 4 ผลการทดลอง	49
4.1 กลุ่มตัวอย่างรูปภาพในการวิจัย	49
4.2 ผลการทดลอง	53
4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลอง	60

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการทดลอง	67
5.2 ปัญหาของการพัฒนางานวิจัย	67
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	67
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก ภาพที่สร้างกลับจากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี	71
ประวัติผู้วิจัย	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ตำแหน่งเรนจ์บล็อกที่ (14, 40) ของภาพ Lena.bmp เมื่ออยู่ในรูปแบบการหมุนข้อมูลภาพ 8 รูปแบบ	14
4-1 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ	53
4-2 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี นอแมลไลซ์คัท	54
4-3 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี นอแมลไลซ์คัท และการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้	55
4-4 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ ค่าความแปรปรวน	56
4-5 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี นอแมลไลซ์คัท และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	57
4-6 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้	58
4-7 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี นอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้	59
4-8 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี นอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาด (4x4 และ 8x8)	60
4-9 เปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสและอัตราบิตของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ทั้ง 8 วิธี (ค่าคงที่ = 0.1)	61
4-10 เปรียบเทียบค่า PSNR และอัตราบิตของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี (ค่าคงที่ = 0.1)	62

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 กระบวนการบีบอัดข้อมูล	6
2-2 การควอนไทซ์แบบสเกลาร์	7
2-3 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล	11
2-4 การแบ่งพื้นที่ของเรนจ์บล็อกของภาพแบบต่างๆ	12
2-5 ตัวอย่างเรนจ์บล็อก โดเมนบล็อก และโดเมนบล็อกหลังลดขนาด ณ ตำแหน่งที่ (14, 40) ของภาพ Lena.bmp	13
2-6 จุดเริ่มต้นของการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยวิธีการเติบโต	22
2-7 การเติบโตของพื้นที่หลังจากผ่านขั้นตอนการวนซ้ำ	22
2-8 การแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้	23
2-9 การแยกและการรวมกันของพื้นที่	23
3-1 การแบ่งพื้นที่ภาพของภาพต้นฉบับ Lena.bmp ออกเป็น 4 ส่วนเท่ากัน	31
3-2 ลำดับของการดำเนินการพัฒนาวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล	33
3-3 ผลการแบ่งเรนจ์บล็อกแบบคงที่ของภาพ Lena.bmp	34
3-4 การแบ่งโดเมนบล็อกของภาพ Lena.bmp	34
3-5 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท	40
3-6 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท และการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้	41
3-7 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	42
3-8 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน	43
3-9 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้	44
3-10 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-11 ขั้นตอนการทำงานของการทำงานการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อก แบบคงที่ 2 ขนาด (4x4 และ 8x8)	46
4-1 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Glodhill.bmp	50
4-2 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Lena.bmp	51
4-3 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Cameraman.bmp	51
4-4 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Saturn.bmp	52
4-5 ภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทจำนวน 5 ส่วน	54
4-6 เปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี (ค่าคงที่ = 0.1) ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp	62
4-7 เปรียบเทียบอัตราบิตของการเข้ารหัสของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี (ค่าคงที่ = 0.1) ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp	63
4-8 เปรียบเทียบคุณภาพการคืนกลับของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี (ค่าคงที่ = 0.1) ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp	63
4-9 กราฟเส้นการเปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสภาพกับอัตราบิต ของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp	64
4-10 กราฟเส้นการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการบีบอัดกับอัตราบิต ของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp	64
ก-1 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp	72
ก-2 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-3 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp	74
ก-4 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp	75
ก-5 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Goldhill.bmp	76
ก-6 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Lena.bmp	77
ก-7 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Cameraman.bmp	78
ก-8 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Saturn.bmp	79
ก-9 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp ตามลำดับ	80
ก-10 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp ตามลำดับ	81
ก-11 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-12 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp	83
ก-13 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Goldhill.bmp	84
ก-14 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Lena.bmp	85
ก-15 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Cameraman.bmp	86
ก-16 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ของ Saturn.bmp	87
ก-17 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Goldhill.bmp	88
ก-18 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Lena.bmp	89
ก-19 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Cameraman.bmp	90
ก-20 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ Saturn.bmp	91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-21 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาดของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp	92
ก-22 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับ ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาดของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp	93

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในชีวิตประจำวัน มนุษย์มีการติดต่อสื่อสารกันในรูปแบบของสื่อมัลติมีเดีย (Multimedia) ตลอดเวลา ข้อมูลไม่ใช่เป็นแต่เฉพาะตัวหนังสือ (Text) แต่ยังรวมไปถึงข้อมูลในรูปแบบของภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว วิดีโอ และเสียง การนำมัลติมีเดียมาใช้รับส่งข้อมูลเป็นสิ่งที่ทุกคนต้องการ โดยเฉพาะข้อมูลภาพ ซึ่งภาพหนึ่งภาพอาจมีความหมายหลายพันคำ แต่ในการจัดเก็บบนระบบคอมพิวเตอร์มีความต้องการพื้นที่ในหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูลมากกว่านั้น เพราะแต่ละจุดภาพ (Pixels) ถูกแทนด้วยเลขฐานสอง (Binary Code) ดังนั้นในการจัดเก็บข้อมูลจึงต้องการเนื้อที่มาก รวมถึงช่องทางการสื่อสารขนาดใหญ่ด้วย การเก็บภาพที่ใช้หน่วยความจำน้อยลงจะช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่าย และยังทำให้การส่งถ่ายข้อมูลใช้เวลาเร็วขึ้น ด้วยเหตุนี้หลักการบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินการที่เกี่ยวกับการบีบอัดและคลายข้อมูล เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล โดยมีเป้าหมายคือการลดขนาดของข้อมูลให้เล็กที่สุด และคงคุณภาพของภาพไว้ให้ได้มากที่สุด หลักการบีบอัดข้อมูลภาพแบ่งออกเป็น 2 วิธี [4] คือ การบีบอัดที่ไม่มีการสูญเสีย (Lossless Image Compression) วิธีนี้ภาพที่สร้างกลับมาจากข้อมูลที่ถูกบีบอัดมีคุณภาพเหมือนเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง เหมาะสำหรับทางการแพทย์ที่ต้องการความแม่นยำสูง ความผิดพลาดเพียงเล็กน้อยอาจหมายถึงชีวิตของผู้ป่วยได้ อีกวิธีคือ การบีบอัดที่มีการสูญเสีย (Lossy Image compression) เป็นการบีบอัดข้อมูลภาพแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วน จะมีข้อมูลบางส่วนขาดหายไปโดยไม่สามารถเรียกกลับคืนมาได้ เมื่อนำวิธีนี้ไปใช้ลดขนาดข้อมูลภาพ ข้อมูลที่ถอดรหัสออกมาจะใกล้เคียงกับต้นฉบับพอที่สายตาและหูของมนุษย์จะไม่สามารถแยกความแตกต่างได้มากนัก ยกตัวอย่างเช่น สัญญาณเสียง (Voice Signal) ข้อมูลภาพ (Images) หรือสัญญาณวิดีโอ (Video Signal) เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้สามารถลดขนาดของข้อมูลได้มากกว่าการบีบอัดที่ไม่มีการสูญเสียหลายสิบเท่า การบีบอัดข้อมูลภาพตามมาตรฐาน JPEG (Joint Photographic Experts Group) เป็นตัวอย่างของการบีบอัดที่มีการสูญเสียที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากให้คุณภาพของภาพที่ดีใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับมาก และมีขนาดของไฟล์ที่เล็กลงมาก ทำให้สามารถจัดเก็บภาพในหน่วยความจำหรือส่งผ่านสัญญาณสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการบีบอัดข้อมูลที่ผ่านมา วิธีการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล [7] (Fractal Image Compression) เป็นการบีบอัดข้อมูลภาพแบบมีการสูญเสีย ที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีอัตราการบีบอัดข้อมูล (Compression Ratio) สูง และให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ซึ่งการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลจะเก็บข้อมูลอยู่ในรูปแบบของรหัสแฟรคทอล (Fractal Code) ประกอบไปด้วยค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่าความสว่าง ความคมชัด และรูปแบบในการเข้ารหัสข้อมูลภาพ ซึ่งจะนำมาเข้ากระบวนการทำซ้ำเพื่อที่จะสร้างเป็นภาพเดิมขึ้นมา ด้วยวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลนี้ จะทำให้ได้ข้อมูลภาพที่มีขนาดเล็กลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของภาพต้นฉบับ แต่วิธีการนี้ใช้เวลาในการบีบอัดข้อมูลภาพนานมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีผู้วิจัยเสนอแนวคิดที่หลากหลาย [13] ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลเพื่อเข้าสู่กระบวนการบีบอัดภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล [7] เช่น การเพิ่มความเร็วการเข้ารหัสด้วยการออกแบบรูปแบบการแบ่งกลุ่มของข้อมูลภาพ ออกเป็นรูปแบบต่างๆ (Partition) ที่ทำให้การเข้ารหัสสามารถทำได้เร็วขึ้น การเพิ่มความเร็วของการเข้ารหัสด้วยการแปลงขนาดและปรับแต่งบล็อกย่อยของรูปภาพก่อนการเข้ารหัส บีบอัด การเพิ่มความเร็วของการเข้ารหัสด้วยการตัดแปลง (Block Transforms) เพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการเข้ารหัส การจัดกลุ่ม (Classification) ให้โดเมนบล็อก (Domain Block) และเรนจ์บล็อก (Range Block) เพื่อลดเวลาในการเปรียบเทียบคู่เหมือน เป็นต้น ส่วนในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เกิดแนวคิดในการพัฒนาวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลด้วยการนำหลักการนอแมลไลซ์คัท (Normalized Cuts) [10] ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Shi และ Malik มาแบ่งพื้นที่ข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ (Image Segmentation) เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างเรนจ์บล็อกกับโดเมนบล็อก โดยทำการค้นหาบล็อกที่เหมาะสมภายในพื้นที่ (Region) เดียวกัน แทนการเปรียบเทียบทุกๆ โดเมนบล็อกกับแต่ละเรนจ์บล็อกซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลมหาศาลเมื่อเทียบกับการเข้ารหัสบีบอัดข้อมูลภาพเพียงภาพเดียว ส่งผลให้การเข้ารหัสภาพมีความเร็วสูงขึ้นและคุณภาพของภาพหลังการบีบอัดอยู่ในขั้นดี แต่เมื่อความเร็วยิ่งเพิ่มขึ้น อัตราการลดข้อมูลภาพยิ่งต่ำลง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยต่างๆ เพิ่มเติมและได้นำหลักการค่าความแปรปรวน (Variance - Based) [14] จากงานวิจัยของ He, Yang และ Huang มาใช้ร่วมกับหลักการนอแมลไลซ์คัทเพื่อเพิ่มอัตราการลดข้อมูลภาพให้มากขึ้นและคุณภาพของภาพหลังการบีบอัดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไว้ในบทที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการ ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และผลการทดลองผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ขั้นตอนสุดท้ายสรุป และเสนอแนะผู้วิจัยกล่าวไว้ในบทที่ 5

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล โดยนำทฤษฎีอนุเมอเรลไลซ์คัทมาประยุกต์ใช้ในการเข้ารหัสให้เร็วขึ้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบ เป็นภาพมาตรฐาน แบบ BMP โทนสีเทา (Gray Scale)

ขนาด 256 x 256 จุดภาพ ความสว่าง 256 ระดับ

1.3.2 การแบ่งพื้นที่ภาพออกเป็นส่วนย่อย ใช้วิธีการแบ่งด้วยทฤษฎีอนุเมอเรลไลซ์คัท

1.3.3 การกำหนดพื้นที่เรนจ์บล็อกของภาพ ใช้วิธีการแบ่งพื้นที่แบบขนาดคงที่ (Fixed Size Square Blocks) และแบบ โครงสร้างต้นไม้ (Quadtree Blocks)

1.3.4 ประเมินคุณภาพของการคืนกลับข้อมูลภาพ (Reconstruction Image) ด้วย PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)

1.3.5 เวลาในการเข้ารหัสข้อมูลภาพ (Encoding Time) และเวลาในการถอดรหัสข้อมูลภาพ (Decoding Time) ได้จากระบบปฏิบัติการ

1.3.6 เปรียบเทียบคุณภาพของภาพ และอัตราข้อมูลบิต (Bit Rate) ของภาพผลลัพธ์ที่ผ่านการบีบอัดกับภาพต้นฉบับ

1.3.7 เปรียบเทียบเวลาการเข้ารหัสข้อมูลภาพ คุณภาพของภาพและอัตราข้อมูลบิตของวิธีการที่พัฒนาขึ้นกับวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ [1]

1.3.8 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการพัฒนา

1.3.9 เครื่องคอมพิวเตอร์ CPU Intel Centrino 1.73 GHz หน่วยความจำหลัก 760 MB

1.3.10 ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP

1.4 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1.4.1 Normalized Cuts หมายถึง วิธีการในงานวิจัยของ Shi และMalik [10] ที่ทำการแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ (Image Segmentation)

1.4.2 Range Block หมายถึง การกำหนดให้พื้นที่ย่อยในวิธีของการบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลที่มีขนาดเท่ากับ $n \times n$ จุดภาพ ภายในขอบเขตของพื้นที่หลักขนาด $M \times N$ โดยที่กำหนดให้ $N < M$

1.5 ประโยชน์ของผลการวิจัย

ได้วิธีการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลที่มีระยะเวลาในการบีบอัดข้อมูลภาพน้อยลง และคงคุณภาพของภาพได้ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลด้วยการนำวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพมาประยุกต์ใช้ เพื่อลดระยะเวลาในการบีบอัดข้อมูลภาพนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎี แนวคิด และผลงานวิจัยหรืองานเขียนอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องดังที่จะกล่าวไว้ในบทนี้ เริ่มต้นด้วยการอธิบายถึงหลักการของทฤษฎีการบีบอัดข้อมูลภาพ และวิธีการบีบอัดที่มีการสูญเสียแบบต่างๆ จากนั้นหัวข้อ 2.2 กล่าวถึงการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล ซึ่งเป็นความรู้สำคัญสำหรับงานวิจัย ต่อมาในหัวข้อ 2.3 ทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพ จะอธิบายวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพแบบต่างๆ ที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการทำวิจัย และหัวข้อ 2.4 จะอธิบายวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพแบบนอนแมลไลซ์คัท ที่ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ หัวข้อ 2.5 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่นำไปสู่แนวคิดในการพัฒนาขั้นตอนการวิจัย และหัวข้อสุดท้ายเป็นการสรุปแนวความคิดจากทฤษฎีและงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการพัฒนางานวิจัยนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.1 การบีบอัดข้อมูลภาพ

2.1.1 การบีบอัดข้อมูล เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อคิดค้นและสร้างกรรมวิธีการแสดง หรือแทนชุดสัญลักษณ์ข้อมูลด้วยสัญญาณดิจิทัล หรือชุดตัวเลขฐานสองที่มีประสิทธิภาพ สามารถจัดหรือลดปริมาณความซ้ำซ้อนที่มีอยู่ในข้อมูลต้นฉบับให้เหลือน้อยที่สุด ในขั้นตอนของการบีบอัดข้อมูลจะต้องทำการเข้ารหัสและถอดรหัสข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 2-1 โดยเทคนิคการบีบอัดข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ การบีบอัดที่มีการสูญเสีย และการบีบอัดที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนี้

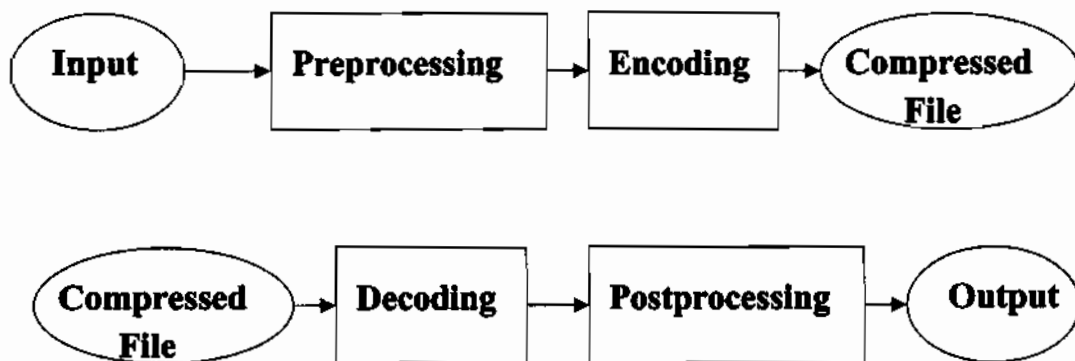
2.1.1.1 การบีบอัดที่มีการสูญเสีย

คุณลักษณะหลักของการบีบอัดข้อมูลชนิดที่มีการสูญเสียคือ การยอมให้มีการสูญเสียของข้อมูลต้นฉบับไปในระหว่างกระบวนการบีบอัด ซึ่งหมายความว่าระบบไม่สามารถสร้างข้อมูลต้นฉบับกลับคืนมาให้เหมือนเดิมได้อีก การบีบอัดประเภทนี้มีจุดเด่นที่สามารถบีบอัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก กล่าวคือ หลังการบีบอัดจะได้ข้อมูลที่มีขนาดเล็กลงอย่างมากเมื่อเทียบกับขนาด

เดิมของข้อมูลต้นฉบับ โดยที่คุณภาพของข้อมูลหลังการบีบอัดส่งผลต่อความรู้สึกหรือการรับรู้ของมนุษย์ไม่มากนัก หรือยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2.1.1.2 การบีบอัดที่ไม่มีการสูญเสีย

การบีบอัดข้อมูลที่ไม่มีการสูญเสียมีคุณสมบัติสำคัญคือ ข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดแล้วสามารถนำมาใช้ในการสร้างข้อมูลต้นฉบับกลับคืนมาได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ดังเดิมทุกประการ การบีบอัดประเภทนี้มีบทบาทสำคัญอย่างมากกับการประยุกต์ใช้งานที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ ไฟล์ข้อมูลคอมพิวเตอร์เป็นตัวอย่างของข้อมูลที่ต้องผ่านกระบวนการบีบอัดแล้วต้องแน่ใจว่าไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น เนื่องจากการสูญเสียข้อมูลในไฟล์เหล่านี้แม้เพียงเล็กน้อย ข้อมูลที่บรรจุในไฟล์ดังกล่าวจะไม่มีประโยชน์หรือใช้งานไม่ได้อีกต่อไป ไฟล์ข้อมูลภาพที่ใช้งานทางการแพทย์ก็เป็นอีกตัวอย่างที่ต้องใช้วิธีการบีบอัดที่ไม่มีการสูญเสีย เพราะความถูกต้องของข้อมูลในภาพมีความสำคัญเป็นอันดับแรก การวินิจฉัยโรคของแพทย์จะต้องอาศัยข้อมูลภาพ เช่น ภาพเอกซเรย์ ภาพอัลตราซาวนด์ หรือภาพถ่ายที่มีความถูกต้องละเอียดและแม่นยำที่สุด เป็นต้น



ภาพที่ 2-1 กระบวนการบีบอัดข้อมูล

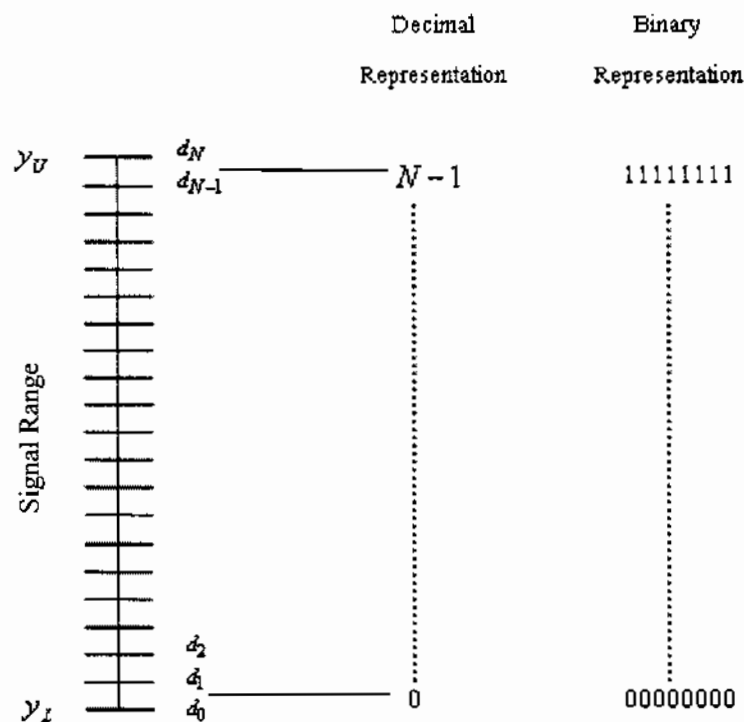
จากภาพที่ 2-1 เป็นการแสดงขั้นตอนหลักของกระบวนการบีบอัดข้อมูล ซึ่งวิธีการบีบอัดข้อมูลมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีขั้นตอนในส่วนของการประมวลผลและเข้ารหัสที่แตกต่างกันไป ในลำดับถัดไปจะกล่าวถึงวิธีการบีบอัดข้อมูลที่มีการสูญเสียแบบต่างๆ ซึ่งเป็นเนื้อหาส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

2.1.2 วิธีการบีบอัดที่มีการสูญเสียแบบต่างๆ

การลดข้อมูลแบบที่มีการสูญเสียจะทำให้เกิดความเพี้ยนของข้อมูลขึ้น แต่ก็มีอัตราการลดข้อมูลที่สูงกว่าการลดข้อมูลแบบที่ไม่มีการสูญเสียมาก ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการควอนไทซ์ การเข้ารหัสแบบทำนาย การเข้ารหัสโดยการแปลง การเข้ารหัสแบบค้อย การบีบอัดข้อมูลตามมาตรฐาน JPEG และการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบเฟรคทอล ดังที่จะอธิบายต่อไปนี้

2.1.2.1 การควอนไทซ์แบบสเกลาร์ (Scalar Quantization)

การควอนไทซ์แบบสเกลาร์เป็นการควอนไทซ์ที่แบ่งระดับข้อมูลของฟังก์ชันเป็น L ระดับ แล้วเลือกเอาค่าใดค่าหนึ่งมาใช้แทนโดยให้มีความใกล้เคียงค่าเดิมของฟังก์ชันให้ได้มากที่สุดเรียกว่า การควอนไทซ์แบบสเกลาร์ และถ้าหากนำวิธีการนี้มาใช้กับข้อมูลเดียวจะเรียกว่า สเกลาร์ควอนไทซ์ ในที่นี้จะพิจารณาภาพโทนสีเทา ซึ่งแทนระดับโทนสี 0-255 ด้วยเลขฐานสองจำนวน 8 บิต ถ้าช่วงสัญญาณ (Signal Range) ค่อเนื่องจากค่าต่ำสุด y_L ไปถึงค่าสูงสุด y_U ฟังก์ชันของตัวควอนไทซ์จะแบ่งช่วงสัญญาณดังกล่าวไปเป็น N ช่วง และแทนคุณลักษณะเลขฐานสองให้แก่แต่ละส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2-2 [6]



ภาพที่ 2-2 การควอนไทซ์แบบสเกลาร์

2.1.2.1.1 การควอนไทซ์แบบยูนิฟอร์ม (Uniform Quantization) เป็นการควอนไทซ์ที่มีรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยการแบ่งช่วงของข้อมูล $(y_U - y_L)$ ออกเป็น N ช่วงที่มีระยะห่างเท่ากัน d_0 ถึง d_N ดังแสดงในภาพที่ 2-2 โดยช่วงที่ถูกแบ่งเรียกว่า ระดับการตัดสินใจ (Decision Level) ตัวควอนไทซ์แทนจำนวนจริง ระหว่างระดับการตัดสินใจ d_i และ d_{i+1} โดยมีค่าเป็นเลขฐานสองของ i นั่นคือ ถ้า $d_i < y \leq d_{i+1}$ จะได้ ผลลัพธ์ตัวควอนไทซ์เท่ากับ i สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการ (2-1)

$$i = \left\lfloor \frac{y - y_L}{y_U - y_L} (N - 1) \right\rfloor \quad (2-1)$$

การคืนกลับการควอนไทซ์ (Dequantization) จะได้ระดับของการคืนกลับ r_i ดังสมการ (2-2)

$$r_i = \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \quad (2-2)$$

อย่างไรก็ตาม การควอนไทซ์แบบยูนิฟอร์มไม่ถูกนำไปใช้ในการพิจารณาความน่าจะเป็นของค่าใดๆ ที่จะเกิดขึ้น การสมมติว่าทุกค่ามีความน่าจะเป็นของการเกิดเท่ากัน กรณีนี้ส่วนใหญ่ไม่เป็นจริง ซึ่งมันจะเป็นจริงเมื่อระดับการตัดสินใจอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ที่ซึ่งความน่าจะเป็นของการเกิดสูงปัญหาดังกล่าวนำไปสู่การควอนไทซ์ที่จะอธิบายในลำดับถัดไป

2.1.2.1.2 การควอนไทซ์แบบนอน-ยูนิฟอร์ม (Non-Uniform Quantization) จะทำการแบ่งช่วงของสัญญาณไม่เท่ากัน โดยจะแบ่งระดับละเอียดมากขึ้นในช่วงสัญญาณระดับความถี่ต่ำ และแบ่งหยาบมากขึ้นในช่วงสัญญาณระดับความถี่สูง ความผิดเพี้ยน (Distortion) ระหว่างสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ถูกปรับลด สามารถวัดได้จากสมการ (2-3)

$$E = \sum_{k=0}^N \int_{d_k}^{d_{k+1}} (y - r_k)^2 p(y) dy \quad (2-3)$$

โดยที่ ระดับการตัดสินใจ d_i , $i = 0, 1, 2, \dots, N$ และระดับการคืนกลับ r_i , $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ เมื่อ y คือ สัญญาณอินพุต และ $p(y)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความหนาแน่น y

2.1.2.2 การเข้ารหัสแบบทำนาย (Predictive Coding)

ในการเข้ารหัสแบบทำนายโดยทั่วไป ความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงกันจะถูกนำมาใช้ในการทำนายค่าของแต่ละจุดภาพ วิธีหนึ่งในการลดขนาดข้อมูลที่น่าเอาการเข้ารหัสแบบทำนายมาใช้คือ การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์เชิงอนุพันธ์ (Differential Pulse Code Modulation: DPCM) โดยจะนำเอาค่าความผิดพลาดจากการทำนายที่ได้มาจากการลบค่าการทำนายออกจากค่าจริงของจุดภาพมาทำการควอนไทซ์แบบสเกลาร์ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของข้อมูลขึ้น แต่ก็จะสามารถลดข้อมูลได้ในอัตราที่มากขึ้น [2]

2.1.2.3 การเข้ารหัสโดยการแปลง (Transform Coding)

การลดข้อมูลด้วยการเข้ารหัสการแปลงจะทำการแปลงข้อมูลอินพุตที่อยู่ในรูปของสเปเชียลโดเมน (Spatial Domain) ให้อยู่ในรูปของสเปกตรัม (Spectrum) หรือ โดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยใช้วิธีการแปลงแบบต่างๆ เช่น การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) ในการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปของสเปเชียลโดเมนให้อยู่ในรูปสัมประสิทธิ์ของพลังงานความถี่ จะได้ความถี่ต่ำๆ แต่มีพลังงานสูง และที่ความถี่สูงๆ พลังงานจะลดลงไป สำหรับข้อมูลภาพโดยทั่วไปนั้นจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นความถี่สูง คือส่วนที่เป็นรายละเอียดหรือขอบภายในภาพและส่วนที่เป็นความถี่ต่ำภาพคือข้อมูลส่วนที่เป็นพื้นของภาพ ซึ่งจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัสของแต่ละช่วงความถี่จะไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อต้องการลดข้อมูลให้ได้มาก ค่าของพลังงานความถี่สูงจะถูกตัดทิ้งไปเป็นส่วนใหญ่ ทำให้รายละเอียดส่วนที่เป็นขอบในภาพขาดหายไป ภาพที่ได้จะเบลอ (Blur) ขาดความคมชัด

การแปลงที่ใช้ในการลดข้อมูลภาพมีอยู่หลายวิธี เช่น การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) การแปลงวอลช์-ฮาดามาร์ด (Walsh-Hadamard Transform) การแปลงโคไซน์ดิสครีตโคซายน์ (Discrete Cosine Transform) การแปลงไซน์ดิสครีตโคซายน์ (Discrete Sine Transform) การแปลงฮาร์ (Haar Transform) และการแปลงคาร์ฮูเนนเลอเฟ (Karhunen Loeve Transform) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป แต่วิธีที่นิยมใช้ในการลดข้อมูลกันมากที่สุดคือ การแปลงโคไซน์ดิสครีตโคซายน์ (DCT) ตัวอย่างของการลดข้อมูลที่ใช้การแปลงโคไซน์ดิสครีตโคซายน์ คือ การลดข้อมูลแบบ JPEG ซึ่งปัจจุบันวิธีการนี้เป็นวิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการลดข้อมูล [2]

2.1.2.4 การเข้ารหัสแบนด์ย่อย (Subband Coding)

ในการเข้ารหัสแบนด์ย่อย ภาพต้นแบบจะถูกกรองตามช่วงของความถี่เพื่อสร้างเป็นภาพย่อย ซึ่งภาพเหล่านี้ถูกเรียกว่าภาพแบนด์ย่อย (Subbands) เนื่องจากแต่ละภาพแบนด์ย่อยนี้ได้ถูกลดความกว้างแถบ (Bandwidth) เมื่อเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบ ทำให้สามารถที่จะทำการลดจำนวนการสุ่ม (Down Sampling) ลงได้ ซึ่งสามารถทำได้ด้วยกระบวนการในการกรอง (Filtering) ส่วนการลด

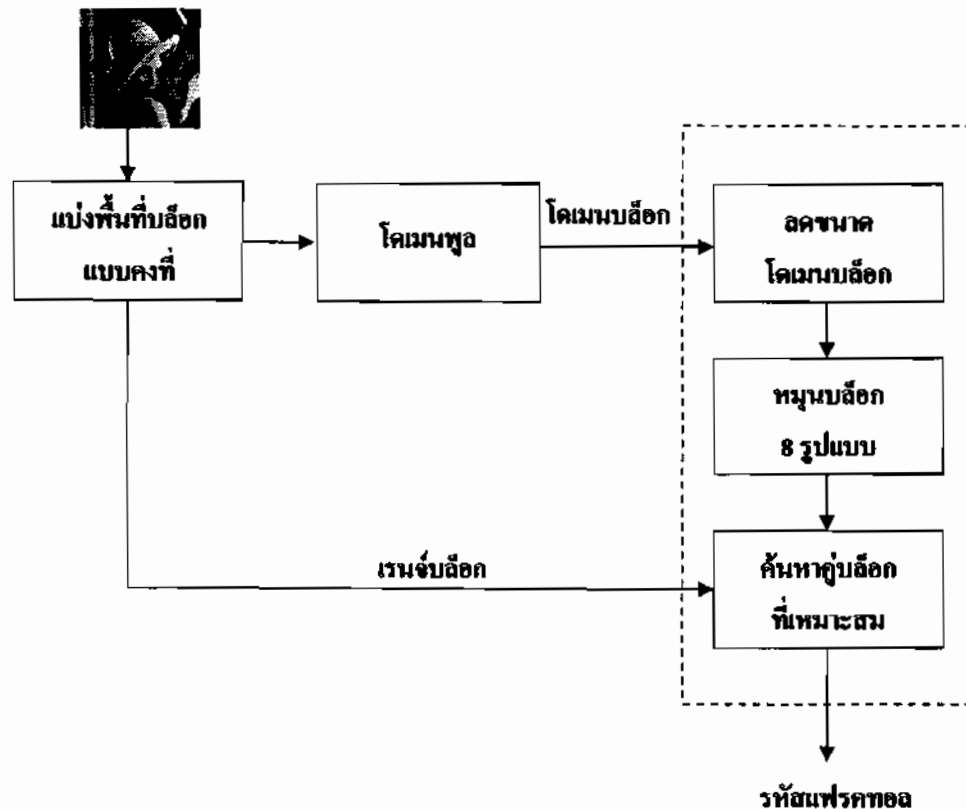
จำนวนการสุ่มนี้เรียกว่าเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis Stage) หลังจากนั้นภาพแบนด์ย่อยที่ได้จะถูกเข้ารหัสด้วยตัวเข้ารหัสต่างๆ โดยที่อัตราบิตต่างๆ หรือแม้แต่วิธีการเข้ารหัสต่างหากก็สามารถนำมาใช้กับภาพแต่ละแบนด์ย่อยได้

ในการสร้างภาพกลับคืนมาอีกครั้ง สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนการสุ่ม (Up Sampling) ของภาพแบนด์ย่อยที่ได้ถอดรหัสแล้ว จากนั้นนำมาผ่านตัวกรอง แล้วรวมภาพที่สร้างกลับคืนมาแต่ละแบนด์ย่อยเข้าด้วยกัน กระบวนการนี้เรียกว่าขั้นตอนการสังเคราะห์ (Synthesis Stage) ซึ่งสังเกตได้ว่าการสร้างภาพย่อยจะไม่ทำให้เกิดการลดลงของข้อมูล เนื่องจากจำนวนของการสุ่มของทุกแบนด์ย่อยรวมกันแล้วยังคงเท่ากับภาพต้นแบบ แต่จะมีข้อดีในแง่ที่แต่ละภาพแบนด์ย่อยนั้นสามารถที่จะทำการเข้ารหัสแบนด์ย่อยได้ด้วยประสิทธิภาพที่ดีกว่าภาพต้นแบบเดิมซึ่งการเข้ารหัสแบนด์ย่อยอาจใช้การแปลงเวฟเลตซึ่งช่วยในการแยกแบนด์ย่อย ออกจากภาพต้นแบบได้ ซึ่งจะเป็นหลักการพื้นฐานสำหรับการแปลงเวฟเลต เพื่อแปลงสัมประสิทธิ์ในมิติหนึ่งสู่อีกมิติหนึ่งได้

2.2 การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล

งานวิจัยเกี่ยวกับการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล [7] ที่นำเสนอโดย Fisher เป็นการนำทฤษฎีแฟรคทอลมาใช้ในการบีบอัดข้อมูลภาพ ซึ่งผลที่ได้เป็นการบีบอัดแบบสูญเสียข้อมูลบางส่วน โดยวิธีการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลนี้มีข้อดีคือ 1) มีอัตราการบีบอัดข้อมูลสูง 2) มีคุณภาพของภาพ (Quality of Image) ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ 3) มีความเร็วในการคืนภาพ (Reconstructed Image) ที่เร็ว 4) ความสามารถในการคืนภาพผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับความละเอียด (Resolution Independent) ของภาพ เพราะวิธีการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลนั้น ไม่ได้เก็บข้อมูลบางส่วนของภาพเหมือนวิธีการอื่นๆ 5) การเก็บข้อมูลในรูปแบบของรหัสแฟรคทอลประกอบไปด้วยค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่าความสว่าง ค่าความคมชัด และรูปแบบที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลภาพ จึงทำให้ข้อมูลที่ถูกเก็บมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ แต่วิธีการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลใช้เวลาในการเข้ารหัสข้อมูลภาพที่นาน เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น เพราะต้องใช้เวลาในการหาค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับค่าความสว่าง ความคมชัด และรูปแบบที่ใช้ในการเข้ารหัสภาพของแต่ละส่วนในภาพต้นฉบับ [1] ขั้นตอนการทำงานของการทำงานการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลแสดงได้ดังภาพที่ 2-3

การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลดังแสดงในภาพที่ 2-3 แบ่งเป็นขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอนคือ การกำหนดพื้นที่เรขาคณิต การกำหนดพื้นที่โดเมนบล็อก การค้นหาคู่ของบล็อกที่เหมาะสม และการเข้ารหัสแฟรคทอล ตามลำดับ รายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ มีดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2-3 ขั้นตอนการทำงานของ การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล

2.2.1 การกำหนดพื้นที่เรนจ์บล็อก

ในการกำหนดพื้นที่เรนจ์บล็อกนั้น จะทำการแบ่งส่วนของภาพออกเป็นส่วนๆ โดยไม่ซ้อนทับกัน พื้นที่ที่ครอบคลุมทั้งภาพ สามารถมีขนาดหรือรูปร่างใดๆ ก็ได้ ซึ่งในรูปแบบของการแบ่งส่วนของภาพ (Partition) โดย Wohlberg และ Jager [13] ได้มีการแบ่งลักษณะของการแบ่งส่วนเป็นในรูปแบบดังต่อไปนี้ [3]

ก) Fixed Size Square Blocks ที่แสดงในภาพที่ 2-4 (ก) เป็นวิธีการแบ่งเรนจ์บล็อกอย่างง่ายที่สุด โดยแบ่งพื้นที่ให้มีขนาดเท่ากันทุกบล็อก ซึ่งการแบ่งพื้นที่แบบนี้จะเรียกใช้เรนจ์บล็อกด้วยการระบุตำแหน่งของแต่ละเรนจ์บล็อก

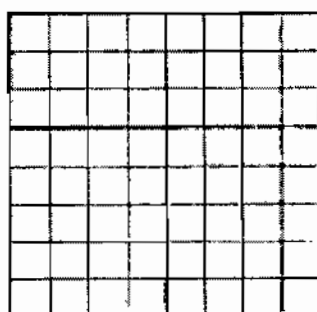
ข) Quadtree เป็นการแบ่งพื้นที่ในลักษณะที่เรียกว่า โครงสร้างต้นไม้ โดยจะมีระดับของการแบ่งเรนจ์บล็อก จากเรนจ์บล็อกที่มีขนาดเล็กที่สุด และสามารถรวมเป็น บล็อกใหญ่ที่มีขนาดเท่ากันและจำนวนเท่ากับเรนจ์บล็อกย่อยทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 2-4 (ข)

ค) Horizontal – Vertical มีลักษณะเหมือนกับ Quadtree โดยมีการแบ่งพื้นที่โดยมีระดับชั้น โดยแต่ละบล็อกจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนทั้งแนวตั้งและแนวนอนและแบ่งตำแหน่งย่อยไปอีก ดังแสดงในภาพที่ 2-4 (ค)

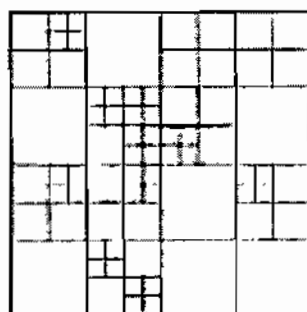
ง) Irregular Regions ดังที่แสดงในภาพที่ 2-4 (ง) มีลักษณะเหมือนกับการแบ่งพื้นที่แนวตั้งและแนวนอนและผสมกับการกำหนดพื้นที่แบบคงที่ตายตัวร่วมด้วย

จ) Polygon Blocks มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปเหลี่ยมแบบต่างๆ และแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ หลังจากนั้นแต่ละครั้งก็จะถูกแบ่งให้อยู่ในรูปแบบเดิมอีกหลายๆ ครั้งจนได้ขนาดเรนจ์บล็อกตามที่เหมาะสมกับค่าที่ตั้งไว้ ดังแสดงในภาพที่ 2-4 (จ) และ (ฉ)

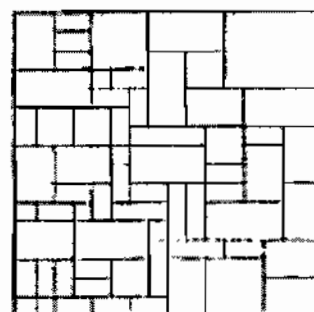
ฉ) Overlapped Blocks เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดของ เรนจ์ ได้จากการหาค่า MSE ของภาพแบบ Quadtree วิธีนี้จะมีความทับซ้อนกันของบล็อกที่ใช้งานไปแล้ว ซึ่งจะพบได้ในการแบ่งพื้นที่ของ Wavelet Domain Coding



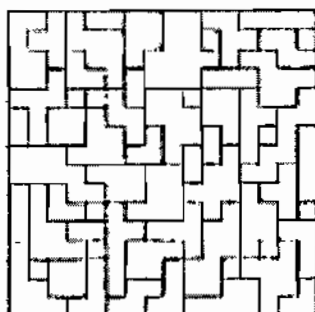
(ก) Fixed Size Square



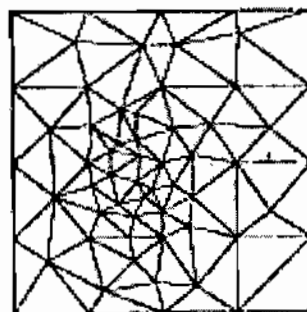
(ข) Quadtree



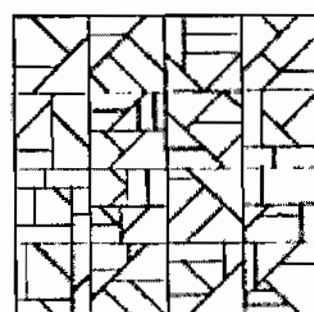
(ค) Horizontal-Vertical



(ง) Irregular



(จ) Triangular

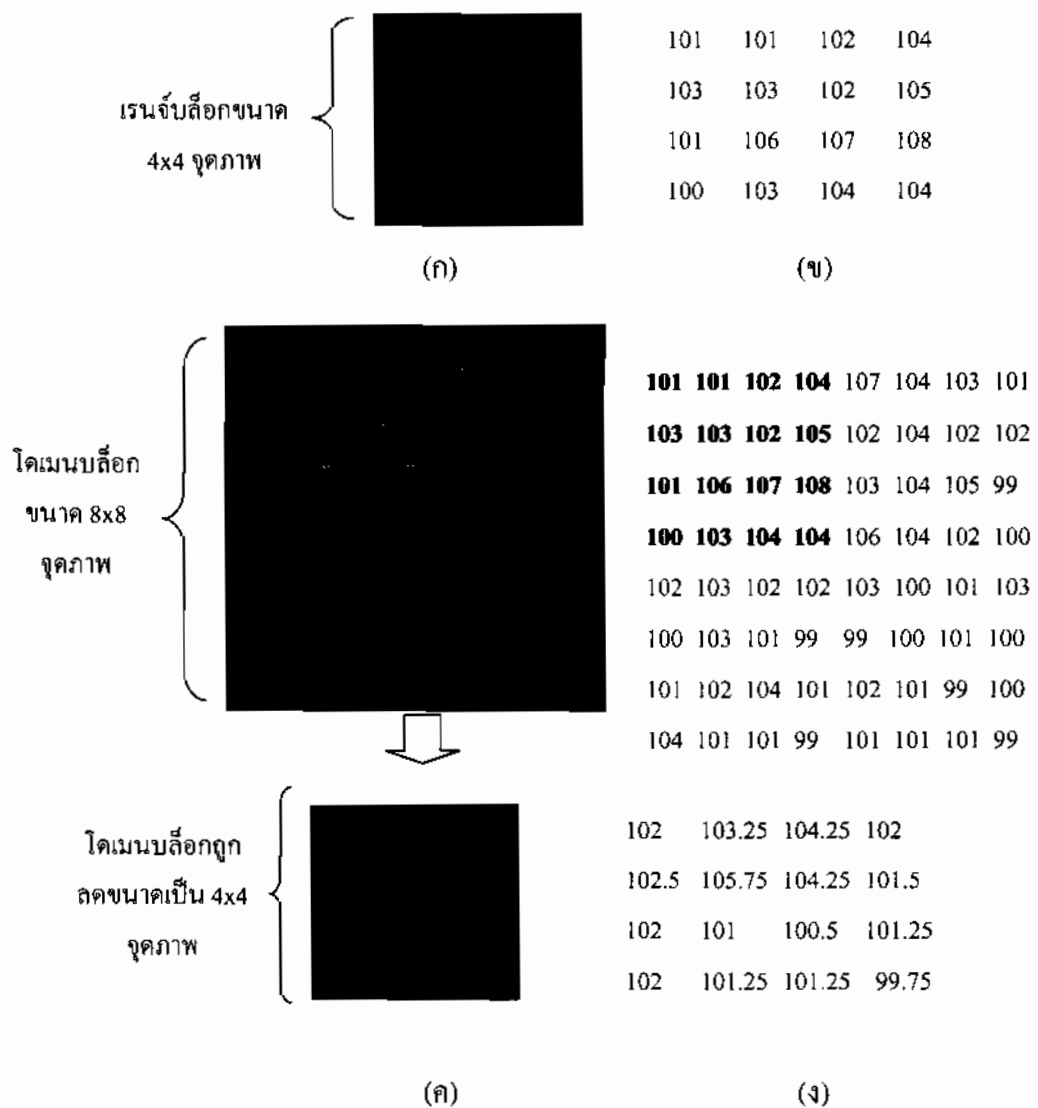


(ฉ) Polygonal

ภาพที่ 2-4 การแบ่งพื้นที่ของเรนจ์บล็อกของภาพแบบต่างๆ

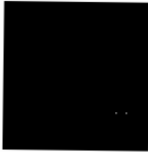
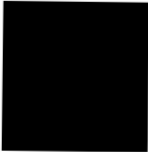
2.2.2 การกำหนดพื้นที่โดเมนบล็อก

การกำหนดขนาดของโดเมนบล็อก จะกำหนดให้มีขนาดเป็น 2 เท่าของเรนจ์บล็อก หากเรนจ์บล็อกขนาด 4x4 จุดภาพ จะมีโดเมนบล็อกขนาด 8x8 จุดภาพ ส่วนเรนจ์บล็อก ขนาด 8x8 จุดภาพ จะมีโดเมนบล็อกขนาด 16x16 จุดภาพ จากนั้นทำการลดขนาดโดเมนบล็อกลง โดยการหาค่าเฉลี่ยจากค่าความเข้มของจุดภาพ ซึ่งจะได้โดเมนบล็อกที่มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อก เพื่อจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการค้นหาคู่ของบล็อกที่เหมาะสมต่อไป ตัวอย่างของการลดขนาดโดเมนบล็อกแสดงดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างเรนจ์บล็อก โดเมนบล็อก และ โดเมนบล็อกหลังลดขนาด ณ ตำแหน่งที่ (14, 40) ของภาพ Lena.bmp

ตารางที่ 2-1 ตำแหน่งเรนจับล็อกที่ (14, 40) ของภาพ Lena.bmp เมื่ออยู่ในรูปแบบการหมุนข้อมูล
ภาพ 8 รูปแบบ

รูปแบบ	การหมุน	ข้อมูลภาพ	ข้อมูลในรูปแบบเทริกซ์
1	จุดเริ่มต้น ของบล็อก		101 101 102 104 103 103 102 105 101 106 107 108 100 103 104 104
2	หมุนบล็อก + 90°		104 105 108 104 102 102 107 104 101 103 106 103 101 103 101 100
3	หมุนบล็อก + 180°		104 104 103 100 108 107 106 101 105 102 103 103 104 102 101 101
4	หมุนบล็อก + 270°		100 101 103 101 103 106 103 101 104 107 102 102 104 108 105 104
5	พลิกตำแหน่ง ตามแนวตั้ง		100 103 104 104 101 106 107 108 103 103 102 105 101 101 102 104
6	หมุนบล็อก + 90°		104 108 105 104 104 107 102 102 103 106 103 101 100 101 103 101
7	หมุนบล็อก + 180°		104 102 101 101 105 102 103 103 108 107 106 101 104 104 103 100
8	หมุนบล็อก + 270°		101 103 101 100 101 103 106 103 102 102 107 104 104 105 108 104

2.2.3 การค้นหาคู่ของบล็อกที่เหมาะสม ทำการเปลี่ยนรูปของโดเมนบล็อกที่ถูกลดขนาดแล้ว ให้อยู่ในรูปแบบการหมุนข้อมูลภาพ 8 รูปแบบ ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 2-1 แล้วนำโดเมนบล็อก ทั้ง 8 รูปแบบไปเปรียบเทียบกับเรนจ์บล็อกที่อยู่ภายในพื้นที่ภาพเดียวกัน จนกว่าจะได้คู่ของบล็อกที่เหมาะสม ในการเปรียบเทียบเรนจ์บล็อกกับโดเมนบล็อกเพื่อหาคู่บล็อกที่มีความคล้ายกันมากที่สุด นั้น ทำได้ด้วยการคำนวณหาค่าของ s และ o จากสมการที่ (2-4) ถึง (2-6) [7] เพื่อเลือกค่า s และ o ที่ดีที่สุด เมื่อได้คู่บล็อกที่เหมาะสมแล้วจึงทำการเข้ารหัสแฟรคทอลต่อไป

$$s = \frac{\left[n \sum_{i=1}^n a_i b_i - \sum_{i=1}^n a_i \sum_{i=1}^n b_i \right]}{\left[n \sum_{i=1}^n a_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n a_i \right)^2 \right]} \quad (2-4)$$

$$o = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n b_i - s \sum_{i=1}^n a_i \right] \quad (2-5)$$

ถ้า $n \sum_{i=1}^n a_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n a_i \right)^2 = 0$, จะได้ $s = 0$ และ

$$o = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n b_i \right] \quad (2-6)$$

$$R = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n b_i^2 + s \left(s \sum_{i=1}^n a_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n a_i b_i + 2o \sum_{i=1}^n a_i \right) + o \left(no - 2 \sum_{i=1}^n b_i \right) \right] \quad (2-7)$$

$$\text{RMS Error} = \sqrt{R} \quad (2-8)$$

เมื่อ	s	คือ ค่า Contrast
	o	คือ ค่า Brightness
	n	คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดภายในบล็อก
	a_i	คือ ค่าความเข้มของจุดภาพภายในโดเมนบล็อก
	b_i	คือ ค่าความเข้มของจุดภาพภายในเรนจ์บล็อก
	RMS Error	คือ ค่า Root-Mean-Square (RMS)

ในกรณีที่ทำการเข้ารหัสภาพกับภาพต้นฉบับขนาด 256×256 จุดภาพ โดยทำการแบ่งบล็อกแบบขนาดคงที่ 4×4 จุดภาพ จะได้จำนวนเรนจ์บล็อกทั้งหมดเท่ากับ $(256/4) \times (256/4)$ หรือ 4,096 บล็อก แต่จะได้จำนวนโดเมนบล็อกทั้งหมดเท่ากับ $256 - (8 - 1) \times 256 - (8 - 1) = 62,001$ บล็อก เนื่องจากโดเมนบล็อกซ้อนทับกันได้ และมีระยะห่างระหว่างบล็อกเท่ากับ 1 จุดภาพ ดังนั้นในขั้นตอนของการเปรียบเทียบคู่บล็อกจะทำการเปรียบเทียบบล็อกทั้งหมด $4,096 \times (62,001 \times 8) = 2,031,648,768$ ครั้ง

2.2.4 การเข้ารหัสแฟรคทอล

ทำการเข้ารหัสเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อกในรูปแบบของรหัสแฟรคทอล ด้วยการเก็บข้อมูลที่ได้จากการค้นหาคู่ของเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อกที่เหมาะสมกัน โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบไปด้วย

ก) ตำแหน่งของโดเมนบล็อก (D_x, D_y) ที่เหมาะสมกับเรนจ์บล็อก โดยใช้จำนวนบิตในการเก็บข้อมูลตำแหน่งละ 8 บิต ทั้งแถวและคอลัมน์เป็นจำนวนรวม 16 บิต

ข) รูปแบบการหมุนของบล็อก (Pattern) ใช้จำนวนบิตเท่ากับ 3 บิต

ค) ค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับความสว่าง (Scale Factor : s) ใช้จำนวนบิตเท่ากับ 5 บิต

ง) ค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับความคมชัด (Luminance Offset : o) ใช้จำนวนบิตเท่ากับ 7 บิต

ดังนั้นจำนวนบิตทั้งหมดที่ถูกใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลรหัสภาพแบบแฟรคทอลนั้นเท่ากับ 31 บิต ในการบันทึกรหัสภาพแบบแฟรคทอลของแต่ละเรนจ์บล็อก แต่หากทำการแบ่งพื้นที่เรนจ์บล็อกมากกว่าหนึ่งขนาด ต้องเพิ่มการเก็บขนาดของเรนจ์บล็อกอีกหนึ่งตัวแปร

ผลลัพธ์ที่ได้จากการเข้ารหัสแบบแฟรคทอล มีรายละเอียดที่ประกอบไปด้วยจำนวนข้อมูลภาพ ที่มีความซ้ำกันในรูปภาพต้นฉบับ และค่าของการลดขนาดที่ใช้ในการสร้างโดเมนบล็อก เมื่อจะทำการแปลงกลับของข้อมูลภาพ โดยจะมีการทำซ้ำในส่วนของโดเมนบล็อก เพื่อให้ได้ค่าของข้อมูลจริงกลับคืนมา ซึ่งจำนวนรอบของการทำซ้ำที่ได้ค่าที่ดีที่สุดเกือบเท่าต้นฉบับนั้นไม่ควรน้อยกว่า 7 รอบ ขั้นตอนการถอดรหัสภาพเริ่มต้นด้วยการสร้างพื้นที่ภาพที่มีขนาดเท่ากับภาพต้นฉบับ จากนั้นสร้างโดเมนบล็อกจากตำแหน่งของโดเมนบล็อก (D_x, D_y) ที่เหมาะสมกับเรนจ์บล็อก และทำการหมุนโดเมนบล็อกจากรูปแบบการหมุน (Pattern) ที่ดีที่สุด ขั้นตอนต่อมาทำการย่อขนาดโดเมนบล็อกลงครึ่งหนึ่ง เพื่อจะนำไปสร้างเรนจ์บล็อกชิ้นใหม่ โดยทำการสร้างเรนจ์บล็อกได้จากสมการที่ (2-9)

$$R_i = (sD_i + o) \quad (2-9)$$

โดยที่ D เป็นโดเมนบล็อกที่จะทำการเข้ารหัสที่ดีที่สุดซึ่งมีค่าใกล้เคียงเรนจ์บล็อก R ส่วน s และ o คือ ค่าสัมประสิทธิ์ Scaling และ Offset ตามลำดับ

นำผลลัพธ์ที่ได้จากสมการที่ (2-9) ไปใส่ในพื้นที่ภาพที่สร้างไว้ จากนั้นให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนการสร้างโดเมนบล็อกไปจนครบทุกระเบียบบล็อก โดยทำซ้ำประมาณ 7-10 รอบ จะได้ภาพผลลัพธ์หลังการบีบอัดที่ใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ในการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ผ่านกระบวนการทำซ้ำกับภาพต้นฉบับนั้น จะประเมินด้วยค่า PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) ดังจะกล่าวในลำดับถัดไป

2.2.5 การวัดคุณภาพของภาพ

ในการลดข้อมูลภาพนั้น จะมีข้อมูลส่วนหนึ่งที่ผิดพลาดหรือสูญเสียไป ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลในตอนที่เราสร้างภาพกลับคืนมา และค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ในช่วงหนึ่งที่สามารถยอมรับได้ เกณฑ์ที่ในการวัดประสิทธิภาพของการเข้ารหัสภาพสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ 1) การวัดเชิงคุณภาพ ซึ่งเป็นวิธีการพื้นฐานโดยใช้สายตาของผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการลดข้อมูลภาพมาทำการตัดสินคุณภาพของภาพในฐานะที่เป็นผู้ใช้งาน 2) การวัดเชิงปริมาณ เป็นการวัดค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการเข้ารหัสข้อมูลภาพ เกณฑ์ที่นิยมใช้ในการวัดคุณภาพของภาพหลังการคืนกลับคือ ค่า Root-Mean-Square (RMS) ของความผิดพลาดระหว่างข้อมูลภาพอินพุตและข้อมูลภาพเอาต์พุต และค่า RMS ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของภาพเอาต์พุต (Signal-to-Noise Ratio: SNR) โดยสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ [2]

เมื่อกำหนดให้ข้อมูลภาพอินพุตประกอบด้วยอาร์เรย์ขนาด $N \times N$ ของจุดภาพ $f(x, y)$ โดย x และ y มีค่าเป็น $0, 1, \dots, N-1$ และแต่ละจุดภาพมีค่าของระดับสีเทาที่เป็นไปได้คือ 2^m เมื่อ m เป็นจำนวนบิตของระดับสีเทา

สำหรับทุกค่าของ x และ y ในช่วง $0, 1, \dots, N-1$ ค่าความผิดพลาดระหว่างจุดภาพอินพุตและเอาต์พุตคือ

$$e(x, y) = f(x, y) - g(x, y) \quad (2-10)$$

เมื่อ $e(x, y)$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ณ จุด x, y ใดๆ

$f(x, y)$ คือ ค่าภาพอินพุต ณ จุด x, y ใดๆ

$g(x, y)$ คือ ค่าภาพเอาต์พุต ณ จุด x, y ใดๆ

ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองของภาพ (Mean Square Error: e_{ms}) คือ

$$e_{ms} = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} e^2(x, y)$$

$$= \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - g(x, y)]^2$$
(2-11)

ดังนั้นค่า RMS ของความผิดพลาดจึงสามารถเขียนได้ดังสมการ (2-12)

$$e_{RMS} = [e_{ms}]^{1/2}$$
(2-12)

ค่า Root Mean Square Error (e_{rms}) เป็นค่าที่ใช้ในการวัดความแตกต่างของข้อมูลอินพุตกับข้อมูลเอาต์พุต แต่เมื่อพิจารณาขนาดของข้อมูลเอาต์พุตต่อขนาดของสัญญาณรบกวน ก็จะได้เป็นค่า SNR เมื่อกำหนดให้สัญญาณภาพเอาต์พุตแต่ละจุดประกอบด้วยสัญญาณอินพุตบวกด้วยค่าสัญญาณรบกวน นั่นคือ

$$g(x, y) = f(x, y) + e(x, y)$$
(2-13)

ดังนั้นค่าเฉลี่ยกำลังสองของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของข้อมูลภาพเอาต์พุต สามารถหาได้โดยค่าเฉลี่ยของสัญญาณอินพุตกำลังสองหารด้วยค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนกำลังสองของข้อมูลภาพทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2-14)

$$SNR_{ms} = \frac{\frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} g^2(x, y)}{\frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} e^2(x, y)}$$
(2-14)

ค่า RMS ของ SNR สามารถเขียนได้ดังสมการ (2-15)

$$SNR_{RMS} = \left(\frac{\frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} g^2(x, y)}{\frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - g(x, y)]^2} \right)^{1/2} \quad (2-15)$$

โดยที่เทอมส่วนของสมการข้างบนเป็นสมการของสัญญาณรบกวนที่อยู่ในรูปของผลต่างระหว่างข้อมูลอินพุตกับข้อมูลเอาต์พุต

นอกจากนี้ สามารถหาค่าของ Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) ในหน่วยของเดซิเบล (dB) ได้ด้วยสมการ (2-16)

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2-16)$$

เมื่อ MSE คือค่าของ Mean-Square-Error ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-17)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \quad (2-17)$$

เมื่อ N คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพต้นฉบับ
 y คือ ค่าของจุดภาพของภาพต้นฉบับ
 x คือ ค่าของจุดภาพของภาพที่ผ่านการบีบอัด

จากวิธีการที่ใช้ในการวัดความเหมือนของภาพที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ไม่สามารถที่จะบ่งบอกหรือใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาได้แต่เพียงอย่างเดียว ในกรณีของภาพเอาต์พุตที่ได้จากการประมวลผลหรือรับส่งสัญญาณ โดยมีสายตาของมนุษย์เป็นตัวรับภาพ ซึ่งระบบการมองเห็นของสายตาสายจะไวต่อความเข้มแสงในลักษณะของลอการิทึม (Logarithmic) ดังนั้น ความผิดพลาดในบริเวณที่เป็นที่มีคของภาพจะเห็นได้ชัดเจนกว่าความผิดพลาดที่อยู่ในบริเวณที่สว่าง และระบบการมองเห็นยังไวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของระดับสีเทาด้วย ความผิดพลาดที่อยู่บนขอบหรือใกล้ๆ ขอบของวัตถุจะมีผลกระทบต่อการมองเห็นมากกว่าความผิดพลาดที่อยู่ในโครงสร้างที่เป็นฉากหลังของภาพ ด้วยเหตุนี้เอง ถึงแม้ว่าภาพจะมีค่าของ RMS ในความผิดพลาดที่เท่ากัน แต่อาจจะปรากฏความแตกต่างของคุณภาพของการมองเห็นที่แตกต่างกันได้ ดังนั้นนอกจากการประเมินคุณภาพหลัง

การบีบอัดด้วยค่า PSNR แล้ว ยังสามารถประเมินได้จากอัตราการบีบอัดข้อมูลภาพ ซึ่งวิธีการเข้ารหัสภาพที่คิโนนั้น นอกจากจะสามารถคืนกลับภาพผลลัพธ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับแล้ว ยังต้องมีอัตราบิตที่ต่ำลงและมีอัตราการลดข้อมูลที่สูงขึ้นด้วย

อัตราบิต (Bit Rate) คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนบิตต่อจุดภาพ (Bit Per Pixel: bpp) ของภาพที่ถูกลดขนาดข้อมูล โดยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดของภาพที่ถูกลดข้อมูลต่อจำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพต้นฉบับ ดังสมการ (2-18)

$$Bit\ Rate = \frac{C}{N} \quad (2-18)$$

เมื่อ C คือ จำนวนบิตทั้งหมดของภาพที่ถูกลดข้อมูล

N คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมดของภาพต้นฉบับ

ภาพที่มีค่าอัตราบิตต่ำมากๆ ย่อมมีอัตราการลดข้อมูลที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งอัตราการลดข้อมูล คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้แทนภาพต้นแบบ และจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้แทนภาพที่ถูกทำการลดข้อมูล โดยสามารถหาได้ดังสมการที่ (2-19)

$$Compression\ Ratio = \frac{N \cdot k}{C} \quad (2-19)$$

เมื่อ k คือ จำนวนบิตต่อจุดภาพของภาพต้นฉบับ

จากทฤษฎีที่ได้กล่าวถึงการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ในขั้นตอนของการเปรียบเทียบเพื่อหาคู่บล็อกลูกที่เหมาะสมนั้น ต้องทำการเปรียบเทียบบล็อกทั้งหมด 2,031,648,768 ครั้ง สำหรับการเข้ารหัสภาพกับภาพต้นฉบับขนาด 256x256 จุดภาพ ซึ่งต้องใช้เวลาในการเข้ารหัสที่นานมากเพื่อทำการเข้ารหัสภาพเพียง 1 ภาพ แต่ด้วยจุดเด่นของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลที่ให้อัตราบิตต่ำและคุณภาพหลังการคืนกลับที่ดีมาก จึงมีนักวิจัยหลายท่านได้นำทฤษฎีและวิธีการต่าง ๆ มาใช้ร่วมกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล เพื่อลดระยะเวลาการเข้ารหัสให้มีความเร็วมากยิ่งขึ้น และในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพเพื่อจะนำไปใช้เป็นแนวทางในการเข้ารหัสภาพกับพื้นที่ย่อย เพื่อลดระยะเวลาในการเข้ารหัส ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวได้อธิบายไว้ในลำดับถัดไป

2.3 ทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพ

การแบ่งพื้นที่ภาพจะทำให้สามารถแยกข้อมูลภาพของส่วนที่ต้องการออกมาได้ วิธีการแบ่งพื้นที่ภาพมีหลายวิธี ซึ่งวิธีหนึ่งที่มีความนิยมคือ การพิจารณาความเหมือนกัน (Similarity) ของคุณสมบัติของจุดภาพ หรือการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยการพิจารณากลุ่มของข้อมูลภาพ (Region-Based Segmentation) โดยถ้าจุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน การแบ่งพื้นที่ภาพ R ไปเป็นพื้นที่ย่อย $R_1, R_2, R_3, \dots, R_S$ ทำได้ดังสมการ (2-20)

$$R = \bigcup_{i=1}^S R_i \quad (2-20)$$

โดยที่ $R_i \cap R_j = \emptyset$ และ $i \neq j$

จากสมการที่ (2-20) ให้พิจารณาตามเงื่อนไขดังสมการที่ (2-21) และ (2-22)

$$H(R_i) = TRUE; \quad i = 1, 2, 3, \dots, S \quad (2-21)$$

$$H(R_i \cup R_j) = FALSE \quad i \neq j, R_i \text{ ประชิดกันกับ } R_j \quad (2-22)$$

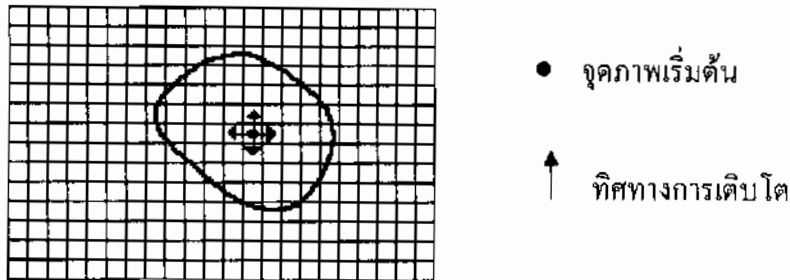
โดยที่ S คือ ผลรวมของพื้นที่ย่อยทั้งหมดในภาพ และ $H(R_i)$ คือการตรวจสอบความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน (Homogeneity) ของพื้นที่ R_i

การแบ่งพื้นที่ภาพด้วยการพิจารณาความเหมือนของจุดภาพนี้มีด้วยกัน 2 วิธีคือ การเติบโตของพื้นที่ (Region Growing) และการรวมและการแยกพื้นที่ (Region Splitting and Merging) ดังที่จะอธิบายต่อไปนี้ [5], [8]

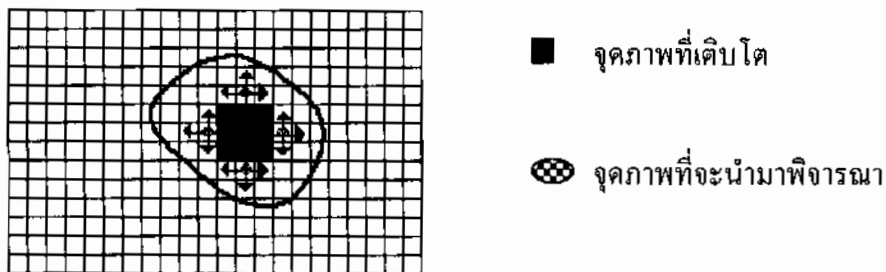
2.3.1 การแบ่งพื้นที่โดยใช้ขั้นตอนการเติบโตของพื้นที่

ขั้นตอนที่ง่ายที่สุดของหลักการนี้คือ การรวมกันของจุดภาพ โดยแต่ละจุดจะมีจุดภาพเพื่อนบ้านที่มีคุณสมบัติเหมือนกันในด้านของระดับโทนสี ลวดลาย หรือสี จุดภาพที่อยู่ติดกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ขั้นตอนการแบ่งพื้นที่เริ่มด้วยการเลือกกลุ่มของจุดภาพ (Seed Pixel) ที่จะใช้เป็นจุดเริ่มการเติบโต ดังแสดงในภาพที่ 2-6 จากนั้นพิจารณาจุดภาพเพื่อนบ้าน หากยังสามารถขยายการเติบโตของพื้นที่ได้อีก ให้วนซ้ำในแต่ละพื้นที่ R_i และวนซ้ำแต่ละจุดภาพ p ที่เชื่อมต่อไปยังพื้นที่ R_i โดยถ้า $S(p, R_i)$ น้อยกว่า ค่าคงที่ที่กำหนด ให้ p เป็นพื้นที่

เดียวกันกับ R , ที่ซึ่ง $S(p, R)$ คือระยะทางของ p และ R , ที่ขึ้นอยู่กับความเหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-6 จุดเริ่มต้นของการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยวิธีการเดินโต



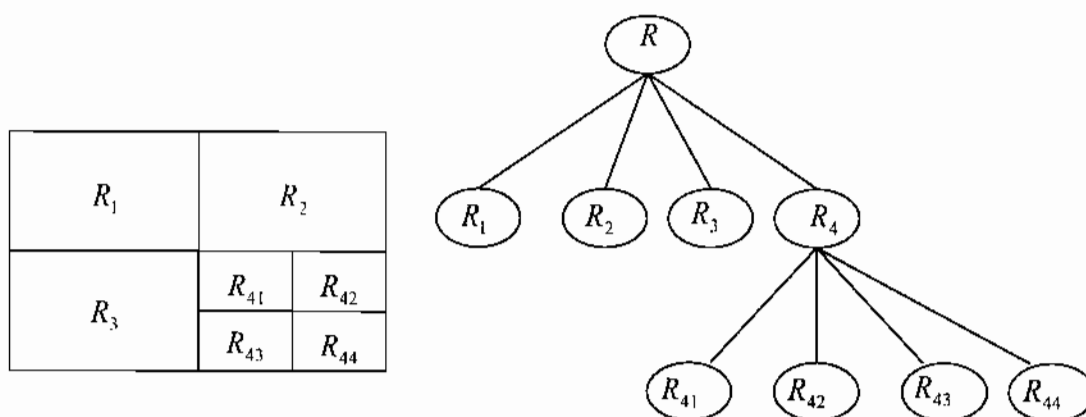
ภาพที่ 2-7 การเดินโตของพื้นที่หลังจากผ่านขั้นตอนการวนซ้ำ

ปัญหาของการแบ่งพื้นที่ภาพโดยใช้วิธีการเดินโต คือการเลือกกลุ่มของจุดภาพเริ่มต้นที่เหมาะสมต่อการแยกพื้นที่ภาพ และการเลือกคุณสมบัติที่เหมาะสม ของการรวมจุดภาพในพื้นที่ต่างๆ ระหว่างกระบวนการเดินโต รวมถึงการกำหนดกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมในการให้หยุดการทำงานวนซ้ำ เมื่อพื้นที่เดินโตไปถึงขอบของวัตถุ

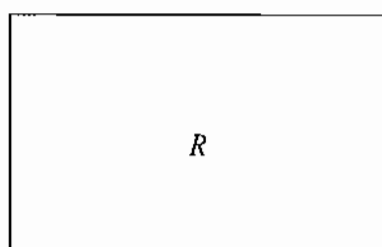
2.3.2 การแบ่งพื้นที่โดยใช้ขั้นตอนการรวมและการแยกพื้นที่

พิจารณาความเหมือนของพื้นที่ที่ติดกัน S ถ้าเป็นจริง จะทำการรวมพื้นที่ แต่ถ้าตรวจสอบความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของกลุ่ม H แล้วเป็นเท็จ จะทำการแยกพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 2-8 แสดงการรวมและแยกพื้นที่ด้วยโครงสร้างต้นไม้ โดยพื้นที่ถูกแยกเป็น 4 ส่วน (Quadrant) ต่อมาก็จะวนซ้ำในพื้นที่ส่วนแยกแล้วเพื่อทำการแยกอีก อัลกอริทึมของการรวมและแยกคือ พิจารณาความเหมือนกันของกลุ่มพื้นที่ ถ้า $H(R) == False$ ให้แยกพื้นที่ R ออกเป็น 4 ส่วนคือ $R1, R2, R3$

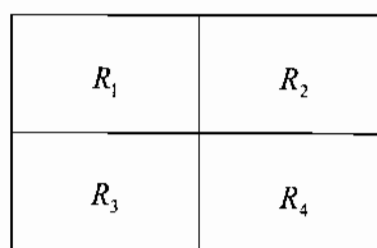
และ R_4 และสำหรับสองพื้นที่ใดที่ติดกัน จะกำหนดเป็น r_1 และ r_2 ซึ่งถ้า $S(r_1, r_2) = True$ ให้ทำการรวมพื้นที่ r_1 และ r_2 ขั้นตอนดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 2-9



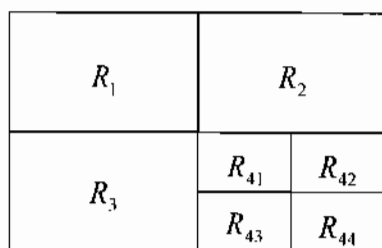
ภาพที่ 2-8 การแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้



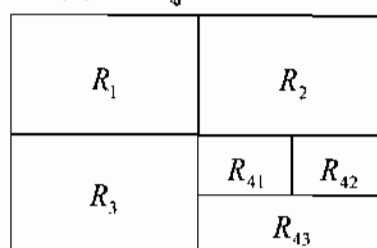
(ก) พื้นที่ทั้งหมดของภาพ



(ข) พื้นที่ถูกแยกครั้งแรก



(ค) พื้นที่ถูกแยกครั้งที่สอง



(ง) พื้นที่บางส่วนถูกรวม

ภาพที่ 2-9 การแยกและการรวมกันของพื้นที่

ปัญหาอุปสรรคของวิธีการรวมและแยกพื้นที่คือ การกำหนดกฎเกณฑ์ที่เหมาะสมที่ใช้ตรวจสอบว่าจุดภาพทั้งหมดในภาพย่อยแต่ละภาพมีคุณสมบัติเป็นหนึ่งเดียวกันหรือไม่ และต้องการโครงสร้างข้อมูลที่ซับซ้อนในการจัดการกับภาพย่อยที่แบ่งได้

วิธีการแบ่งพื้นที่ภาพดังที่กล่าวไปแล้วนั้น เป็นพื้นฐานของการแบ่งพื้นที่ภาพที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิจัย ในการนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการประมวลผลข้อมูลภาพซึ่ง Shi และ Malik [10] ได้นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพที่เรียกว่า นอแมลไลซ์คัท ที่สามารถทำการแบ่งพื้นที่ภาพในระดับโครงสร้างที่ซับซ้อนได้อย่างละเอียด และมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งผู้วิจัยจะนำเสนอถึงวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพแบบนอแมลไลซ์คัทในหัวข้อถัดไป

2.4 ทฤษฎีกราฟ

Shi และ Malik [10] ได้นำเสนอทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพที่แปลกใหม่ ด้วยการนำทฤษฎีการแบ่งกราฟมาใช้ในการแบ่งข้อมูลภาพ โดยประสิทธิภาพของการแบ่งพื้นที่ภาพขึ้นอยู่กับค่าเฉพาะ (Eigenvalue) ที่ได้จากการคำนวณข้อมูลภาพทั้งหมด พวกเขาเรียกทฤษฎีนี้ว่า นอแมลไลซ์คัท

ทฤษฎีกราฟ (Graph Theory) ได้นิยามให้ Graph $G = (V, E)$ โดยที่ V คือ โหนดหรือจุด และ E คือเส้นเชื่อมระหว่างจุด การแบ่งกราฟออกเป็น 2 ส่วน A และ B จะได้ว่า $A \cup B = V$, $A \cap B = \emptyset$ ซึ่งระดับขั้นของความไม่คล้ายระหว่าง 2 ส่วน สามารถคำนวณได้จากผลรวมน้ำหนักของเส้นเชื่อมจุดที่ถูกถอดออก ในทางทฤษฎีกราฟเรียกว่า จุดตัด ซึ่งคำนวณหาได้จากสมการ (2-23)

$$cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v) \quad (2-23)$$

แต่การคำนวณจุดตัดจากสมการที่ (2-27) เกิดปัญหาในการแบ่งสมาชิกให้กับกลุ่มของข้อมูลทำการแบ่ง โดยบางกลุ่มมีสมาชิกล้นเกินไป Shi และ Malik จึงได้นำเสนอการหาจุดตัดของข้อมูลที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ด้วยการคำนวณเศษส่วนของผลรวมน้ำหนักเส้นของทุกโหนดในกราฟ ดังสมการ (2-24)

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{assoc(A, V)} + \frac{cut(A, B)}{assoc(B, V)} \quad (2-24)$$

โดย $assoc(A, V) = \sum_{u \in A, t \in V} w(u, t)$ คือ ผลรวมของการเชื่อมจากโหนดใน A ไปยังทุกโหนดในกราฟ และ $assoc(B, V)$ กำหนดเช่นเดียวกัน

การแบ่งโหนด V ออกเป็นเซต A และ B ทำได้โดย กำหนดให้ x คือ $N = |V|$ โดย $x_i = 1$ เมื่อโหนด i อยู่ใน A นอกเหนือจากนี้ให้เท่ากับ -1 กำหนดให้ $d(i) = \sum_j w(i, j)$ เป็นผลรวมการเชื่อมจากโหนด i ไปยังโหนดอื่นทั้งหมด สามารถเขียนสมการ (2-24) ได้ใหม่ดังสมการ (2-25)

$$Ncut(A, B) = \frac{\sum_{(x_i > 0, x_j < 0)} -w_{ij} x_i x_j}{\sum_{x_i > 0} d_i} + \frac{\sum_{(x_i < 0, x_j > 0)} -w_{ij} x_i x_j}{\sum_{x_i < 0} d_i} \quad (2-25)$$

ให้ D คือ เมทริกซ์ทแยงมุม (Diagonal Matrix) $N \times N$ ที่มี d อยู่บนแนวหลัก

W คือ เมทริกซ์สมมาตร (Symmetrical Matrix) ที่ $W(i, j) = w(i, j)$ จะได้ว่า

$$k = \frac{\sum_{x_i > 0} d_i}{\sum_i d_i} \text{ และ } b = \frac{k}{1 - k'}$$

เมื่อนำสมการที่ (2-29) ไปเข้าระบบเมทริกซ์และเขียนใหม่ให้ง่ายขึ้น จะได้ดังสมการ (2-26)

$$\min_x Ncut(x) = \min_y \frac{y^T (D - W) y}{y^T D y} \quad (2-26)$$

โดยที่ $y(i) \in \{1, -b\}$ และ $y^T D \mathbf{1} = 0$ ถ้า y ได้รับค่าจำนวนจริง สามารถลดสมการ (2-26)

โดยการแก้ปัญหาระบบค่าเฉพาะ (Eigenvalue System) ได้ดังสมการ (2-27)

$$(D - W)y = \lambda D y \quad (2-27)$$

แปลงสมการที่ (2-27) ไปเป็นระบบค่าเฉพาะมาตรฐาน (Standard Eigen System) ดังสมการ (2-28)

$$D^{-\frac{1}{2}} (D - W) D^{-\frac{1}{2}} z = \lambda z \quad (2-28)$$

เมื่อ $z = D^{\frac{1}{2}} y$ ที่ซึ่ง $z_0 = D^{\frac{1}{2}} \mathbf{1}$ คือเวกเตอร์เฉพาะ (Eigenvector) ของสมการที่ (2-28)

ด้วยค่าเฉพาะของศูนย์ โดย $(D - W)$ ถูกเรียกว่า ลาปาเซียนเมทริกซ์

การนำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทไปใช้แบ่งกลุ่มข้อมูลภาพ เป็นระบบการคำนวณที่ซับซ้อน ซึ่งสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 กำหนดให้ภาพเป็นกราฟไม่ระบุทิศทาง (Undirected Graph) $G = (V, E)$ เมื่อ V แทน โหนด ซึ่งเป็นข้อมูลของแต่ละจุดภาพ E แทนเส้นเชื่อม (Edges) แต่ละคู่ของจุดภาพ และ W แทน น้ำหนัก (Weight) ของเส้นเชื่อมระหว่างโหนด i และ j โดยน้ำหนักจะเป็นตัวชี้ความคล้ายระหว่าง โหนด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-29)

$$w_{i,j} = e^{-\frac{\|F(i)-F(j)\|_2^2}{\sigma_f^2}} \times \begin{cases} e^{-\frac{\|X(i)-X(j)\|_2^2}{\sigma_x^2}} & \text{ถ้า } \|X(i)-X(j)\|_2 < r \\ 0 & \text{ในกรณีอื่น} \end{cases} \quad (2-29)$$

โดยที่ $X(i)$ เป็น ระยะห่างของโหนด i และ $F(i)$ เป็นเวกเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลความเข้ม (Intensity) สี (Color) และ ลวดลาย (Texture) ที่ซึ่งโหนดกำหนดให้มียาค่าดังนี้

$F(i) = 1$ กรณีเป็นการแบ่งกลุ่มของจุด

$F(i) = I(i)$ หรือค่าของความเข้ม กรณีแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพของภาพโทนสีเทา

$F(i) = [v, v \cdot s \cdot \sin(h), v \cdot s \cdot \cos(h)](i)$ กรณีแบ่งกลุ่มข้อมูลภาพของภาพสี ซึ่ง h, s, v คือ ค่าของสีในระบบ HSV (Hue Saturation Value)

ส่วน σ และ r คือ ค่าคงที่

2.4.2 แก๊สมการที่ (2-28) เพื่อหาเวกเตอร์เจาะจง ด้วยค่าเจาะจงน้อยที่สุด และใช้เวกเตอร์ เจาะจงด้วยค่าเจาะจงน้อยที่สุดอันดับสองไปทำการแบ่งกราฟ ซึ่งเวกเตอร์เจาะจงที่ผ่านการคำนวณ มาแล้วหนึ่งครั้ง สามารถแบ่งกราฟได้ 2 ส่วน โดยเวกเตอร์เจาะจงจะได้รับค่าต่อเนื่อง และเลือกจุด แยกเพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน มีหลายวิธีในการเลือกจุดแยก วิธีหนึ่งคือ เอาค่าศูนย์หรือค่า มัธย ฐานเป็นจุดแยก หรืออีกวิธีคือ ค้นหาจุดแยก จนกระทั่งได้ผลการแบ่งที่มีค่า $Ncut(A, B)$ ดีที่สุด หลังจากกราฟถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนแล้ว สามารถเวียนซ้ำขั้นตอนเดิมกับกราฟ 2 ส่วนที่ได้แบ่งไปแล้ว เพื่อแบ่งข้อมูลอีก ซึ่งการเวียนซ้ำจะสิ้นสุดเมื่อค่า $Ncut$ เกินจากที่จำกัดไว้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shi และ Malik [10] ทำการวิจัยการแบ่งข้อมูลภาพด้วยการนำทฤษฎีกราฟ (Graph – Theoretic) มาใช้ในการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ และตั้งใจให้ นอแมลไลซ์คัท เป็นบรรทัดฐานใหม่ในการแบ่งกราฟ ซึ่งใช้วัดทั้งความไม่คล้ายระหว่างกลุ่มที่แตกต่างกัน และความคล้ายภายในกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดหลักคือ ใช้ทฤษฎีเมตริกซ์และพีชคณิตเชิงเส้น เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเมตริกซ์กระทบ W และลาปลาเซียนเมตริกซ์ $D - W$ ของกราฟ ซึ่งเป็นการคำนวณคณิตศาสตร์ขนาดใหญ่ และแนวคิดในการใช้เวกเตอร์เจาะจงเพื่อหาการแบ่งกราฟ โดยมีการคำนวณดังสมการในหัวข้อ 2.4 พวกเขาได้ทำการทดลองแบ่งข้อมูลภาพของภาพธรรมชาติ ภาพสังเคราะห์ที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวน และภาพเคลื่อนไหว ผลลัพธ์ของการแบ่งข้อมูลพบว่า นอแมลไลซ์คัททำการแบ่งข้อมูลได้อย่างเหมาะสม

Chen, Wang และ Krovetz [9] ทำการวิจัยการค้นคืนกลุ่มของข้อมูลภาพ (Cluster-based image retrieval) แบบ Unsupervised Learning (CLUE) ด้วยการนำทฤษฎีกราฟมาใช้ในขั้นตอนการจัดกลุ่มภาพ ในขั้นตอนของการวิจัยนี้ได้เลือกทฤษฎีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Nearest-neighbors method: NNM) มาวัดความคล้ายของภาพ จากนั้นทำการแทนคุณลักษณะของภาพด้วยกราฟ (Graph Representation) เพื่อคำนวณหาคู่เหมือนของภาพและเส้นเชื่อมโยง (Edges) คู่เหมือน จากนั้นทำการจัดกลุ่ม (Clustering) ภาพด้วยทฤษฎี นอแมลไลซ์คัท [10] และเลือกภาพที่มีค่าความคล้ายมากที่สุดขึ้นมาเป็นตัวแทนกลุ่ม ขบวนการของงานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากการค้นคืนเนื้อหาของข้อมูลภาพ (Content-Based Image Retrieval: CBIR) ที่วิธีการเลือกภาพเพื่อนบ้านและการจัดกลุ่มภาพ การทดลองได้นำระบบงานวิจัยนี้ผนวกเข้ากับฐานข้อมูลภาพ (COREL Database) ซึ่งเก็บภาพชนิด JPEG ขนาด 384x256 จุดภาพ จำนวน 60,000 ภาพ และทำการสุ่มภาพจำนวน 5 ภาพที่แตกต่างกัน คือ birds, car, food, historical buildings และ soccer game ผลการค้นคืนภาพของงานวิจัยนี้ มีความแม่นยำในการค้นคืนมากกว่าระบบการค้นคืนเนื้อหาของข้อมูลภาพ

Hartenstein, Ruhl และ Saupe [11] ทำการวิจัยการบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล ด้วยการนำการแบ่งข้อมูลมาปรับใช้กับภาพ (Image – Adaptive) โดยนำหลักการรวมกลุ่มข้อมูล (Region – Merging) มาใช้เพื่อลดระยะเวลาของการเข้ารหัสภาพ อีกทั้งยังจำกัดจำนวนโคเมนบล็อคออร์เทนซ์บล็อกด้วยการกำหนดค่าคงที่ ส่งผลให้การเข้ารหัสข้อมูลภาพมีความเร็วมากขึ้น

Belloulata และ Konrad [12] ทำการวิจัยการบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล โดยนำหลักการพิจารณาข้อมูลมาใช้ร่วมกับการเข้ารหัสภาพ โดยให้เรนจ์บล็อก และโคเมนบล็อกรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แตแบ่งบล็อกบริเวณเส้นขอบไปเป็นส่วนที่อยู่ในรูปของสเปซเซียนโคเมนและโคเมนเปลี่ยนรูป ตามลำดับ การทดลองได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้กับอัลกอริทึมอื่นๆ ที่ไม่ได้ใช้หลักการ

พิจารณาข้อมูล ด้วยภาพ MPEG-4 จำนวน 4 ภาพ การเข้ารหัสภาพที่ใช้การพิจารณาข้อมูลทั้งในรูปของสเปเชียลโดเมนและโดเมนเปลี่ยนรูป มีค่า PSNR ดีกว่าการเข้ารหัสภาพที่ไม่ได้ใช้การพิจารณาข้อมูล (-0.10 ถึง 1.58 dB) และสามารถลดระยะเวลาในการเข้ารหัสภาพได้

He, Yang และ Huang [14] ทำงานวิจัยการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอล โดยนำหลักการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน มาใช้เพื่อลดระยะเวลาของการเข้ารหัส และได้กำหนดพารามิเตอร์ขึ้นมา 3 ตัว เพื่อควบคุมความเร็วของการเข้ารหัส และคุณภาพของการคืนกลับข้อมูลภาพ พารามิเตอร์ดังกล่าวคือ ϵ เป็นค่าคงที่สำหรับเปรียบเทียบกับค่าความแปรปรวนของเรนจ์บล็อก เพื่อคัดบล็อกที่มีค่าความแปรปรวนต่ำ ไปสร้างเป็นบล็อกเงา (Shade Block) ที่มีค่าความเข้มของจุดภาพในบล็อกเงา เท่ากับค่าเฉลี่ยความเข้ม (Intensity Mean) ของเรนจ์บล็อกนั้น และทำการเข้ารหัสทันทีโดยไม่ต้องทำการค้นหาคู่ของบล็อก ช่วยลดระยะเวลาในการเปรียบเทียบบล็อก ถัดมาคือพารามิเตอร์ δ เป็นค่าคงที่ เพื่อใช้คัดเลือกโดเมนบล็อกที่มีค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกับเรนจ์บล็อก โดยนำไปเปรียบเทียบกับความแตกต่างของค่าความแปรปรวนระหว่างเรนจ์บล็อกกับโดเมนบล็อกในกลุ่มเดียวกัน (Pool) ทั้งหมด ซึ่งการจำกัดขอบเขตในการค้นหาโดเมนบล็อกที่เหมาะสม จะกำหนดด้วยค่าพารามิเตอร์ k

การคัดเลือกโดเมนบล็อกที่เหมาะสม สามารถทำได้ดังสมการ (2-30)

$$\Omega_\delta = \{D \in \Omega : \text{var}(D) \geq \delta^2\} \quad (2-30)$$

เมื่อ Ω คือ Codebook ที่รวบรวมโดเมนบล็อกที่ถูกลดขนาดแล้ว

D คือ โดเมนบล็อก

การหาโดเมนบล็อกที่มีค่าความแปรปรวนใกล้เคียงกันกับเรนจ์บล็อก ทำได้ดังสมการ (2-31)

$$\{D \in \Omega_\delta \mid \|\text{var}(D) - \text{var}(R)\| < \eta\} \quad (2-31)$$

เมื่อ R คือ เรนจ์บล็อก

η คือ ค่าคงที่ มากกว่าศูนย์

var คือ ค่าความแปรปรวน สามารถคำนวณได้ดังสมการ (2-32)

$$\text{var}(X) = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (2-32)$$

เมื่อ X_i คือ ข้อมูลแต่ละจุดภาพ
 $\bar{X}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยของจุดภาพ
 n คือ จำนวนจุดภาพ

ค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว มีผลกับคุณภาพหลังการบีบอัด และเวลาการเข้ารหัสภาพ กล่าวคือ ถ้า ε และ δ มีค่าสูง แต่ k มีค่าต่ำ จะส่งผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสภาพมีความเร็วมากขึ้น แต่คุณภาพของการคืนกลับจะต่ำลงด้วย ดังนั้นจะต้องกำหนดค่าให้แก่พารามิเตอร์ในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้คุณภาพของการคืนกลับอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นั่นคือ ให้ $\varepsilon = 6$ และ $\delta = 30$ ส่วน k เท่ากับ 10, 20, ..., 120 ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้เปรียบเทียบผลการทดลองของการเข้ารหัสกับงานวิจัยของ C.K. และ W.K. [15] ที่ทำวิจัยการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอล ด้วยการเข้ารหัสบล็อกที่ขึ้นอยู่กับค่าความแปรปรวนของพื้นที่ ผลคืองานวิจัยของ He, Yang และ Huang ได้ค่าเฉลี่ยของค่า PSNR และระยะเวลาการเข้ารหัสของภาพจำนวน 10 ภาพ ดีกว่างานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบ

2.6 แนวความคิดที่นำมาไว้ในงานวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้เกิดแนวความคิดในการนำภาพต้นฉบับมาแบ่งพื้นที่ภาพออกเป็นส่วนย่อย และทำการเข้ารหัสภาพทีละส่วนของพื้นที่ย่อย เพื่อลดจำนวนการเปรียบเทียบคู่บล็อก ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาของการเข้ารหัสภาพลดลงได้ โดยพื้นที่ที่ถูกแบ่งนั้น ควรมีความคล้ายกันมากที่สุดของข้อมูลภาพในพื้นที่ส่วนเดียวกัน เพื่อให้เรนจ์บล็อกทำการเปรียบเทียบกับโดเมนบล็อกที่มีความคล้ายกัน ทั้งนี้นอกจากจะลดระยะเวลาการเข้ารหัสแล้ว ยังส่งผลให้คุณภาพของการคืนกลับอยู่ในระดับดีด้วย ผู้วิจัยจึงนำทฤษฎีของแมตริกซ์จากงานวิจัยของ Shi และ Malik ที่ได้รับการยอมรับว่า สามารถทำการแบ่งพื้นที่ภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ มาใช้ในการแบ่งภาพที่จะนำเข้าสู่ขั้นตอนการเข้ารหัสแบบเฟรคทอล นอกจากนี้ยังนำหลักการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน จากงานวิจัยของ He, Yang และ Huang มาช่วยในการลดจำนวนบล็อกและคัดเลือกบล็อกที่เหมาะสม เพื่อนำไปค้นหาคู่บล็อกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีและงานวิจัยดังกล่าวมาพัฒนาโปรแกรมการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอล โดยมีขั้นตอนการทำงานดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลให้มีความเร็วในการเข้ารหัสภาพมากขึ้น และลดอัตราบิตให้ต่ำลง โดยใช้ทฤษฎีและวิธีการต่างๆ ที่ได้ศึกษามาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ในบทนี้ผู้วิจัยจะอธิบายการดำเนินการของงานวิจัยอย่างละเอียดในลำดับต่อไป

3.1 การวิเคราะห์ประเด็นของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล [1] ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 พบว่ามีหลายงานวิจัย [13] ที่ให้ความสนใจในการพัฒนาวิธีการเข้ารหัสดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในด้านของระยะเวลาการเข้ารหัส อัตราการบีบอัด และคุณภาพของภาพหลังการคืนกลับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ระยะเวลาของการเข้ารหัสที่นานมาก เพราะต้องทำการเปรียบเทียบคู่บล็อกมากถึง 2,031,648,768 ครั้ง ในกรณีที่ทำเข้ารหัสภาพต้นฉบับขนาด 256x256 จุดภาพ ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดว่า หากลดจำนวนการเปรียบเทียบคู่บล็อกลงย่อมมีผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสภาพลดลงด้วย จึงได้ทดลองแบ่งพื้นที่ภาพออกเป็น 4 ส่วนเท่ากัน ดังแสดงในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 การแบ่งพื้นที่ภาพของภาพต้นฉบับ Lena.bmp ออกเป็น 4 ส่วนเท่ากัน

จากนั้นทำการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แต่แทนที่จะทำการเปรียบเทียบเรนจ์บล็อกกับโดเมนบล็อกทั้งภาพ ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเรนจ์บล็อกกับโดเมนบล็อกที่อยู่ภายในพื้นที่ส่วนเดียวกันเท่านั้น ผลการทดลองพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาการเข้ารหัสลงได้ แต่อัตราบิตยังไม่ลดลง ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพ เพื่อศึกษาหาวิธีการแบ่งพื้นที่ภาพที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากหากเรนจ์บล็อกได้ทำการเปรียบเทียบกับโดเมนบล็อกภายในพื้นที่เดียวกัน โดยโดเมนบล็อกมีความคล้ายกับเรนจ์บล็อกมาก จะมีผลให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการคืนกลับมีความใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับด้วย จากการศึกษาได้พบงานวิจัยการค้นคืนกลุ่มของข้อมูลภาพ [9] ที่นำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท [10] มาใช้ในการจัดกลุ่มภาพ โดยภาพที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันต้องเป็นภาพที่มีความคล้ายกันมากที่สุด ผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดในการนำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทมาใช้เพื่อแบ่งพื้นที่ภาพออกเป็น ส่วน โดยพื้นที่ภายในส่วนเดียวกันต้องมีความคล้ายกันมากที่สุด ดังนั้นเรนจ์บล็อกจะได้เปรียบเทียบกับโดเมนบล็อกภายในพื้นที่ส่วนเดียวกันและมีความคล้ายกันมากที่สุด ส่งผลให้สามารถลดระยะเวลาของการเข้ารหัส และได้ภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการคืนกลับใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับด้วย อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการลดอัตราบิตก็มีความสำคัญต่อการเข้ารหัสข้อมูลภาพ ซึ่งวิธีการดังกล่าวยังลดอัตราบิตได้ไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงศึกษางานวิจัยเพิ่มเติม พบงานวิจัยการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลโดยควบคุมประสิทธิภาพของการเข้ารหัสด้วยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ [14] ผู้วิจัยจึงได้นำงานวิจัยดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท เพื่อให้งานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพทั้งด้านเวลาของการเข้ารหัส การลดอัตราบิต และคุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับยอมรับได้

ประเด็นสำคัญของการพัฒนาวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ในงานวิจัยนี้ คือ การลดระยะเวลาของการเข้ารหัสภาพ ด้วยการแบ่งพื้นที่ภาพแบบอนุเมตไลซ์คัท การควบคุมคุณภาพของการคืนกลับด้วยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อก และการลดอัตราบิตด้วยการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ซึ่งแต่ละวิธีการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาและพัฒนาขึ้นจะกล่าวไว้ในลำดับถัดไป

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลรวมทั้งสิ้น 8 วิธีการ ดังไดอะแกรมที่แสดงไว้ในภาพที่ 3-2 ดังต่อไปนี้



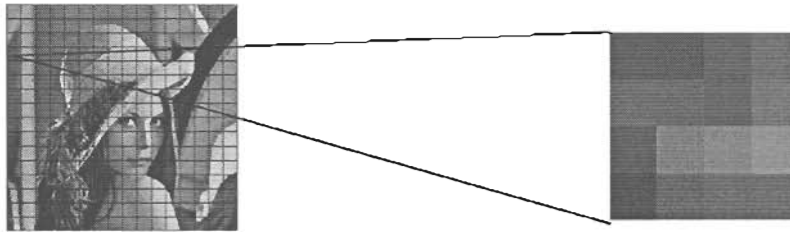
ภาพที่ 3-2 ลำดับของการดำเนินการพัฒนาวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล

จากภาพที่ 3-2 แต่ละวิธีการมีขั้นตอนการทำงานดังที่จะอธิบายต่อไปนี้

3.2.1 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ

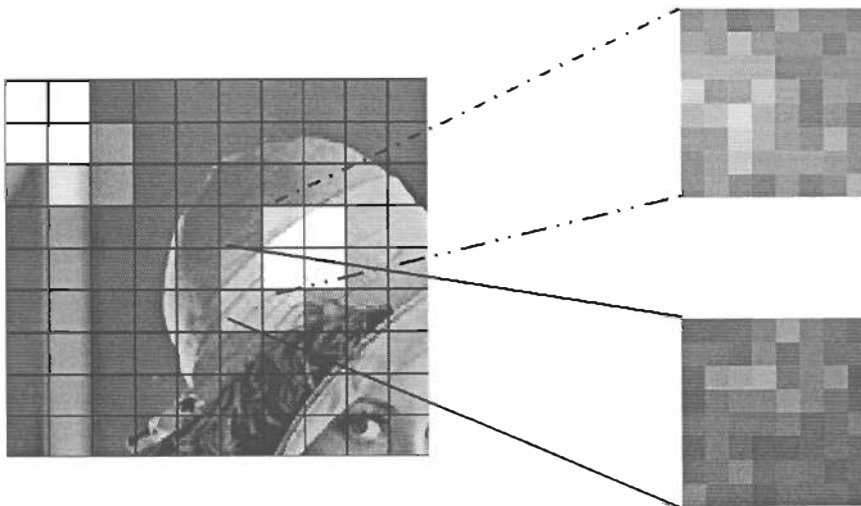
จากทฤษฎีและขั้นตอนการทำงานของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล [7] ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2 แล้วนั้น ผู้วิจัยได้นำมาเป็นโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้เปรียบเทียบกับวิธีการเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยได้ดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.2.1.1 การกำหนดพื้นที่เรนจับล็อก ใช้การกำหนดพื้นที่บล็อกแบบคงที่ขนาด 4×4 จุดภาพ โดยไม่ซ้อนทับกัน ซึ่งภาพที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็นภาพระดับสีเทา ขนาด 256×256 จุดภาพ เมื่อทำการแบ่งบล็อกทั่วทั้งภาพแล้ว จะได้จำนวนเรนจับล็อกทั้งหมดเท่ากับ 4,096 บล็อก



ภาพที่ 3-3 ผลการแบ่งเรนจับล็อกแบบคงที่ของภาพ Lena.bmp

3.2.1.2 การกำหนดพื้นที่โดเมนบล็อก ใช้การกำหนดเช่นเดียวกับเรนจับล็อก โดยโดเมนบล็อกมีขนาดเป็น 2 เท่าของเรนจับล็อก คือ 8×8 จุดภาพ แต่ละบล็อกซ้อนทับกันได้ และมีระยะห่างระหว่างบล็อกเท่ากับ 4 จุดภาพ เมื่อทำการแบ่งบล็อกทั่วทั้งภาพแล้ว จะได้จำนวนโดเมนบล็อกทั้งหมดเท่ากับ $(256/4)-1 \times (256/4)-1 = 3,969$ บล็อก



ภาพที่ 3-4 การแบ่งโดเมนบล็อกของภาพ Lena.bmp

3.2.1.3 การค้นหาคู่ของบล็อกที่เหมาะสม จะนำแต่ละโดเมนบล็อกไปทำการหมุนข้อมูลภาพ 8 รูปแบบ และลดขนาดแต่ละโดเมนบล็อกให้มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อก ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 จากนั้นนำแต่ละคู่บล็อกไปเปรียบเทียบเพื่อหาคู่บล็อกที่มีความคล้ายกันมากที่สุด ซึ่งในการเปรียบเทียบเรนจ์บล็อกกับโดเมนบล็อกเพื่อหาคู่บล็อกที่มีความคล้ายกันมากที่สุดนั้น ทำได้ด้วยการคำนวณหา RMS, σ และ s จากสมการ (2-4) ถึง (2-8) ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 เพื่อเลือกค่า σ และ s ที่ดีที่สุด เมื่อได้คู่บล็อกที่เหมาะสมแล้วจึงทำการเข้ารหัสแฟรคทอลต่อไป

3.2.1.4 การเข้ารหัสแฟรคทอลให้กับแต่ละเรนจ์บล็อก จะต้องเก็บข้อมูลของตำแหน่งโดเมนบล็อก รูปแบบการหมุนของเรนจ์บล็อก ค่าคงที่ที่ใช้ปรับความสว่าง และค่าคงที่ที่ใช้ปรับความคมชัด รวมทั้งหมด 31 บิต ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

จากคำเนิงานทั้ง 4 ขั้นตอนเพื่อทำการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ต้องทำการเปรียบเทียบคู่บล็อกทั้งหมด $4,096 \times (3,969 \times 8) = 130,056,192$ ครั้ง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานมาก ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในบทที่ 4 ผู้วิจัยจึงได้นำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ เพื่อลดระยะเวลาการเข้ารหัสลง ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

3.2.2 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท

ผู้วิจัยได้นำผลของการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 มาใช้ร่วมกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ โดยกำหนดจำนวนพื้นที่ย่อยของภาพเท่ากับ 5 ส่วน จากนั้นส่งแต่ละส่วนเข้าสู่ขั้นตอนการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ซึ่งจากวิธีการที่ 3.2.1 ได้ทำการแบ่งบล็อกทั่วทั้งภาพ ในวิธีการนี้จะเป็นการแบ่งบล็อกภายในพื้นที่ภาพทีละส่วน และทำการค้นหาคู่บล็อกที่เหมาะสมภายในพื้นที่เดียวกันเท่านั้น เมื่อดำเนินการครบทุกส่วนย่อยของภาพแล้ว จะได้รหัสแฟรคทอลของภาพที่ต้องการบีบอัด ขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 3-5

จากการนำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท ส่งผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสภาพลดลง ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2.2 เนื่องจากการแบ่งบล็อกและค้นหาคู่บล็อกภายในพื้นที่เดียวกัน ช่วยลดจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบคู่บล็อกลงอย่างมาก อีกทั้งผลของการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท ได้ข้อมูลภาพภายในพื้นที่เดียวกันที่มีความคล้ายกันมาก ทำให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับอยู่ในระดับดี แต่เนื่องจากการแบ่งพื้นที่ภาพมีรูปทรงที่เป็นอิสระ ทำให้การแบ่งเรนจ์บล็อกบริเวณขอบของพื้นที่ มีการแบ่งบล็อกที่ซ้อนทับกัน ส่งผลให้อัตราบิดลดลงไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงได้นำทฤษฎีการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้มาใช้แทนการแบ่งบล็อกแบบคงที่ เพื่อลดจำนวนเรนจ์บล็อกในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก เพื่อที่จะลดอัตราบิดลง ดังวิธีการที่จะกล่าวในลำดับถัดไป

3.2.3 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 3-6

จากวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.2 ที่ใช้วิธีการแบ่งพื้นที่เรนจ์บล็อกแบบคงที่ ขนาด 4×4 จุดภาพ ทั้งทั้งส่วนย่อยของพื้นที่ภาพ ส่งผลให้อัตราบิดลดลงไม่มากนัก ในวิธีการนี้จึงได้ใช้วิธีการแบ่งพื้นที่เรนจ์บล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ โดยกำหนดบล็อกเป็น 2 ขนาดคือ 4×4 และ 8×8 จุดภาพ ซึ่งได้กำหนดค่าคงที่เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าความเข้มสูงสุดของจุดภาพกับค่าความเข้มต่ำสุดของจุดภาพในแต่ละบล็อกไว้ 5 ระดับคือ 0.1 ถึง 0.5 นั่นคือบล็อกที่มีผลต่างของความเข้มจุดภาพมากกว่าค่าคงที่ที่กำหนดไว้ จะถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาด 4×4 จุดภาพ แต่ถ้าผลต่างของความเข้มจุดภาพน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าคงที่ จะถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาด 8×8 จุดภาพ จากนั้นแบ่งพื้นที่โดเมนบล็อกที่มีขนาดเป็น 2 เท่าของเรนจ์บล็อก และนำเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบเพื่อหาบล็อกที่เหมาะสมภายในพื้นที่ส่วนเดียวกัน และมีขนาดบล็อกเท่ากัน

ผลของการทดลองตามวิธีการดังกล่าวได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2.3 ซึ่งการนำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท และการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้มาใช้ร่วมกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกตินี้ สามารถลดระยะเวลาการเข้ารหัสภาพได้ และลดอัตราบิดได้ต่ำลง โดยมีคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับในระดับดี แต่หากจะนำไปใช้งานจริง ควรที่จะมีระยะเวลาการเข้ารหัสภาพที่เร็วกว่านี้ โดยยังคงคุณภาพของภาพผลลัพธ์ไว้ในระดับที่ยอมรับได้ ผู้วิจัยจึงศึกษาหลักการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ได้นำมาใช้ร่วมกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังที่จะกล่าวในลำดับถัดไป

3.2.4 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 3-7

วิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลที่นำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาใช้ร่วมด้วย [14] มีขั้นตอนการทำงานเริ่มด้วยการกำหนดพื้นที่เรนจ์บล็อก และโดเมนบล็อกเช่นเดียวกันกับวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.1.1 และ 3.2.1.2 แต่ก่อนที่จะส่งแต่ละบล็อกเข้าสู่ขั้นตอนเปรียบเทียบเพื่อค้นหาบล็อกที่เหมาะสม จะทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของบล็อกก่อน เพื่อลดจำนวนบล็อกที่จะส่งไปเปรียบเทียบ โดยมีการวิเคราะห์ในลักษณะดังต่อไปนี้

ก) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของเรนจ์บล็อก โดยนำค่าความแปรปรวนของเรนจ์บล็อกเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ ϵ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 หากเรนจ์บล็อกมีค่าความแปรปรวนต่ำกว่าค่า ϵ ที่กำหนดไว้ ให้สร้างบล็อกที่มีขนาดเท่ากับเรนจ์บล็อกนั้น ในที่นี้เรียกว่าบล็อกเงา โดยมีค่าความเข้มของจุดภาพในบล็อกเงาเท่ากับค่าเฉลี่ยความเข้มของเรนจ์บล็อกนั้น และ

ทำการเข้ารหัสแฟรคทอลทันที โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการค้นหาของบล็อก แต่ถ้าเรนจ์บล็อกมีความแปรปรวนสูงกว่าค่า ϵ ที่กำหนดไว้ ให้ส่งเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบบล็อกเพื่อค้นหาของบล็อกที่เหมาะสมในขั้นตอนถัดไป

ข) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของโดเมนบล็อก โดยนำค่าความแปรปรวนของโดเมนบล็อกเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ δ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 หากโดเมนบล็อกมีความแปรปรวนสูงกว่าค่า δ ที่กำหนดไว้ จะนำโดเมนบล็อกนั้นไปลดขนาดให้เท่ากับเรนจ์บล็อก จากนั้นทำการหมุนโดเมนบล็อก 8 รูปแบบ และส่งเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบบล็อกเพื่อค้นหาของบล็อกที่เหมาะสมในขั้นตอนถัดไป ส่วนโดเมนบล็อกที่มีค่าความแปรปรวนต่ำกว่าค่า δ ที่กำหนดไว้ จะไม่ถูกนำไปเปรียบเทียบกับเรนจ์บล็อก เนื่องจากค่าความเข้มของจุดภาพภายในบล็อก มีความแตกต่างกันน้อยมาก

ในขั้นตอนของการค้นหาบล็อกที่เหมาะสม และเข้ารหัสแฟรคทอล มีการทำงานเช่นเดียวกันกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.1.3 และ 3.2.1.4

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาและทดลองวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลโดยนำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาใช้ร่วมด้วย [14] ตามขั้นตอนการทำงานดังที่กล่าวมา พบว่าวิธีการนี้ช่วยลดระยะเวลาการเข้ารหัสภาพได้มาก และมีคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับในระดับดี จึงได้นำวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนนี้ไปใช้ร่วมกันกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทดังที่จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

3.2.5 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 3-8

จากการศึกษาขั้นตอนการทำงานของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ที่นำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาใช้ร่วมด้วย ในวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.4 พบว่าช่วยลดระยะเวลาการเข้ารหัสภาพได้มาก จึงได้นำวิธีดังกล่าวมาใช้ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท โดยนำผลของการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท มาทำการแบ่งพื้นที่เรนจ์บล็อก และโดเมนบล็อกในแต่ละส่วนพื้นที่ย่อย เช่นเดียวกันกับวิธีการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.1 จากนั้นจึงส่งเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อกไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เพื่อคัดเลือกบล็อกเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบเพื่อค้นหาบล็อกที่เหมาะสม และเข้ารหัสแฟรคทอล ดังวิธีการที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2.4

จากการที่นำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาใช้ร่วมกันกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ส่งผลให้ระยะเวลาของการเข้ารหัสภาพมีความเร็วกว่าวิธีการเข้ารหัสทั้ง 4 วิธี ที่ได้ดำเนินการวิจัยมาข้างต้น โดยมีคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับในระดับดี แต่อัตราบิตที่ต้องใช้สูงกว่าการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ผู้วิจัยจึงได้นำการแบ่ง

บล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ที่ได้นำไปใช้ในวิธีการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.2 มาใช้ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เพื่อลดอัตราบิดให้ต่ำลง ดังวิธีการเข้ารหัสที่จะอธิบายในลำดับถัดไป

3.2.6 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 3-9

จากภาพที่ 3-9 เป็นขั้นตอนการทำงานของการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล ที่นำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาใช้ร่วมด้วย เช่นเดียวกันกับวิธีการที่ 3.2.4 แต่เปลี่ยนจากการแบ่งบล็อกแบบคงที่ ไปเป็นการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ 2 ขนาดคือ 4x4 และ 8x8 จุดภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสมีความเร็วมากยิ่งขึ้น โดยคุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับดี และสามารถลดอัตราบิดได้ต่ำมาก

จากการดำเนินการวิจัยในวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.3 และ 3.2.4 ทำให้ผู้วิจัยทราบว่า การแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้มีผลให้อัตราบิดต่ำลงอย่างแน่นอน จึงได้นำขั้นตอนการทำงานจากวิธีการนี้ไปใช้ร่วมกันกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท ดังที่จะกล่าวไปลำดับถัดไป

3.2.7 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 3-10 ซึ่งจะเห็นว่า มีขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกันกับวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.5 แต่วิธีการดังกล่าวใช้การแบ่งบล็อกแบบขนาดคงที่ 4x4 จุดภาพ ส่งผลให้อัตราบิดไม่ลดลง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้มาใช้ในวิธีการนี้ เพื่อลดอัตราบิดให้ต่ำลง

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนดังภาพที่ 3-8 พบว่า ระยะเวลาการเข้ารหัสภาพไม่แตกต่างจากวิธีการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.5 แต่สามารถลดอัตราบิดให้ต่ำลงได้ และยังมีคุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับดี ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2.7

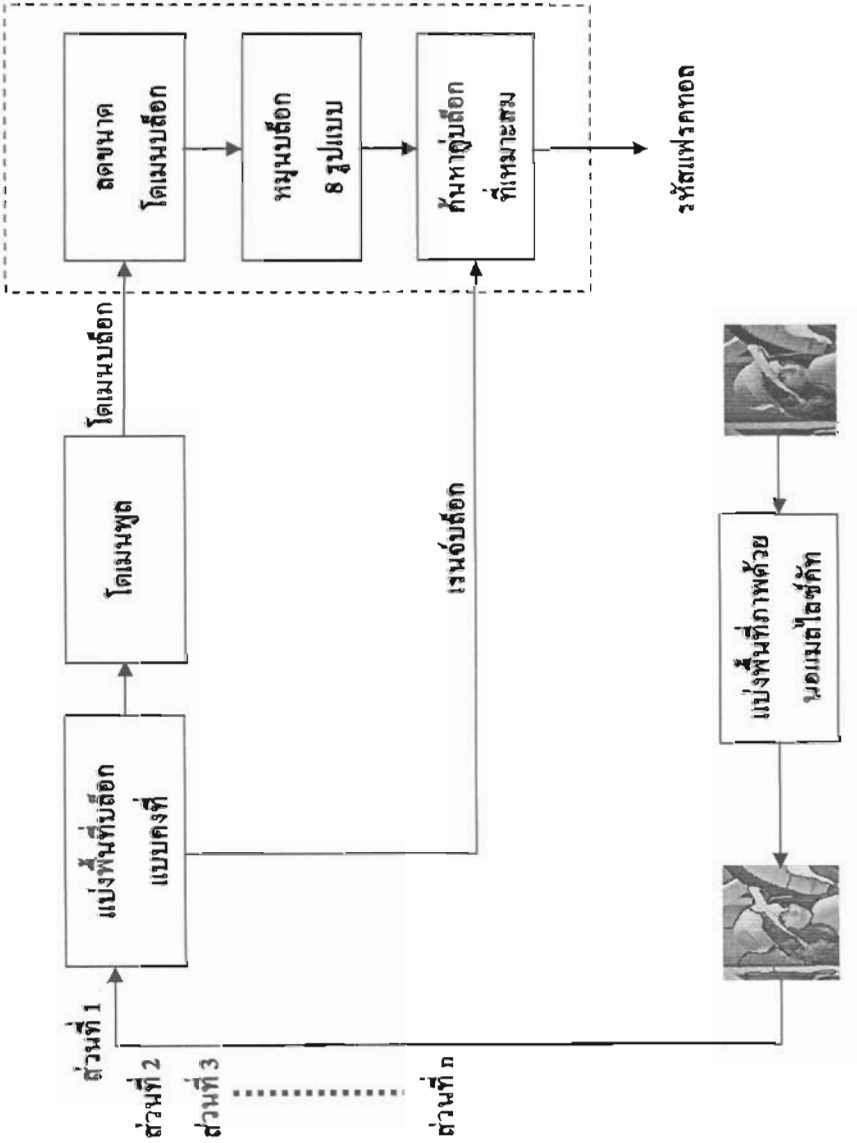
ถึงแม้วิธีการนี้จะได้ผลการเข้ารหัสที่มีประสิทธิภาพทั้งด้านระยะเวลาการเข้ารหัส อัตราบิด และคุณภาพของภาพผลลัพธ์ ผู้วิจัยยังได้เกิดแนวคิดที่จะเพิ่มจำนวนของบล็อกขนาด 8x8 จุดภาพ ในส่วนของพื้นที่ภาพที่มีค่าความแปรปรวนน้อย เพื่อลดอัตราบิดให้ต่ำลงอีก จึงได้พัฒนาโปรแกรมการเข้ารหัสเพิ่มอีกหนึ่งวิธีการ ดังที่จะอธิบายในลำดับถัดไป

3.2.8 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาด แสดงขั้นตอนการทำงานได้ดังภาพที่ 3-11

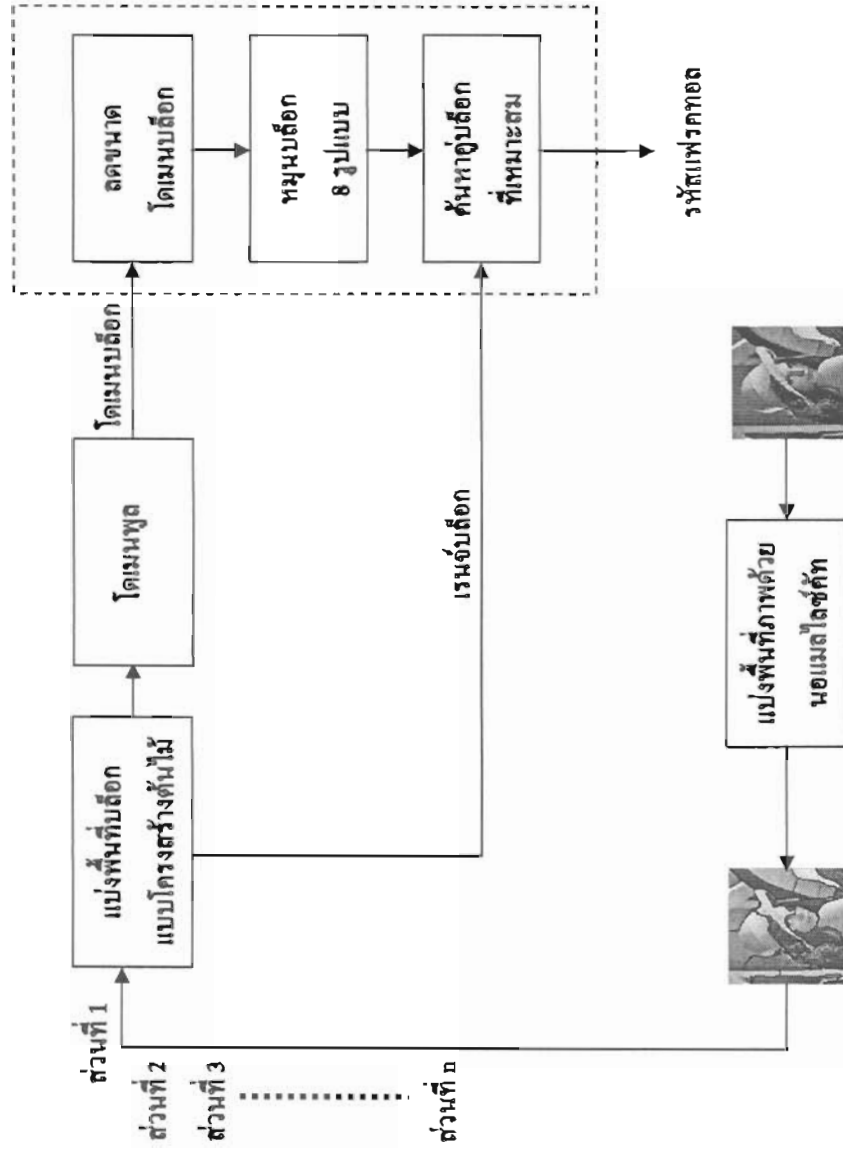
จากขั้นตอนการทำงานที่แสดงดังภาพที่ 3-11 เมื่อทำการแบ่งพื้นที่ภาพออกเป็นส่วนย่อยด้วยอนุเมตไลซ์คัทแล้ว นำพื้นที่แต่ละส่วนไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน หากพื้นที่ที่มีค่าความแปรปรวนน้อย จะแบ่งพื้นที่บล็อกแบบคงที่ขนาด 8x8 จุดภาพ และหากพื้นที่ที่มีค่าความแปรปรวนมาก จะแบ่งพื้นที่บล็อกแบบคงที่ขนาด 4x4 จุดภาพ ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนนั้น ผู้วิจัย

ได้กำหนดค่าคงที่ขึ้นมา โดยมีค่าเท่ากับ 300 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบกับค่าความแปรปรวนของแต่ละพื้นที่ย่อย หากค่าความแปรปรวนของพื้นที่สูงกว่า 300 จะแบ่งบล็อกคงที่ขนาด 4x4 จดภาพให้กับพื้นที่นั้น แต่หากค่าความแปรปรวนของพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 300 จะแบ่งบล็อกคงที่ขนาด 8x8 จดภาพให้กับพื้นที่นั้น จากนั้นจึงส่งแต่ละบล็อกเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเพื่อคัดเลือกบล็อกไปทำการเปรียบเทียบหาบล็อกที่เหมาะสม และเข้ารหัสแฟรคทอล

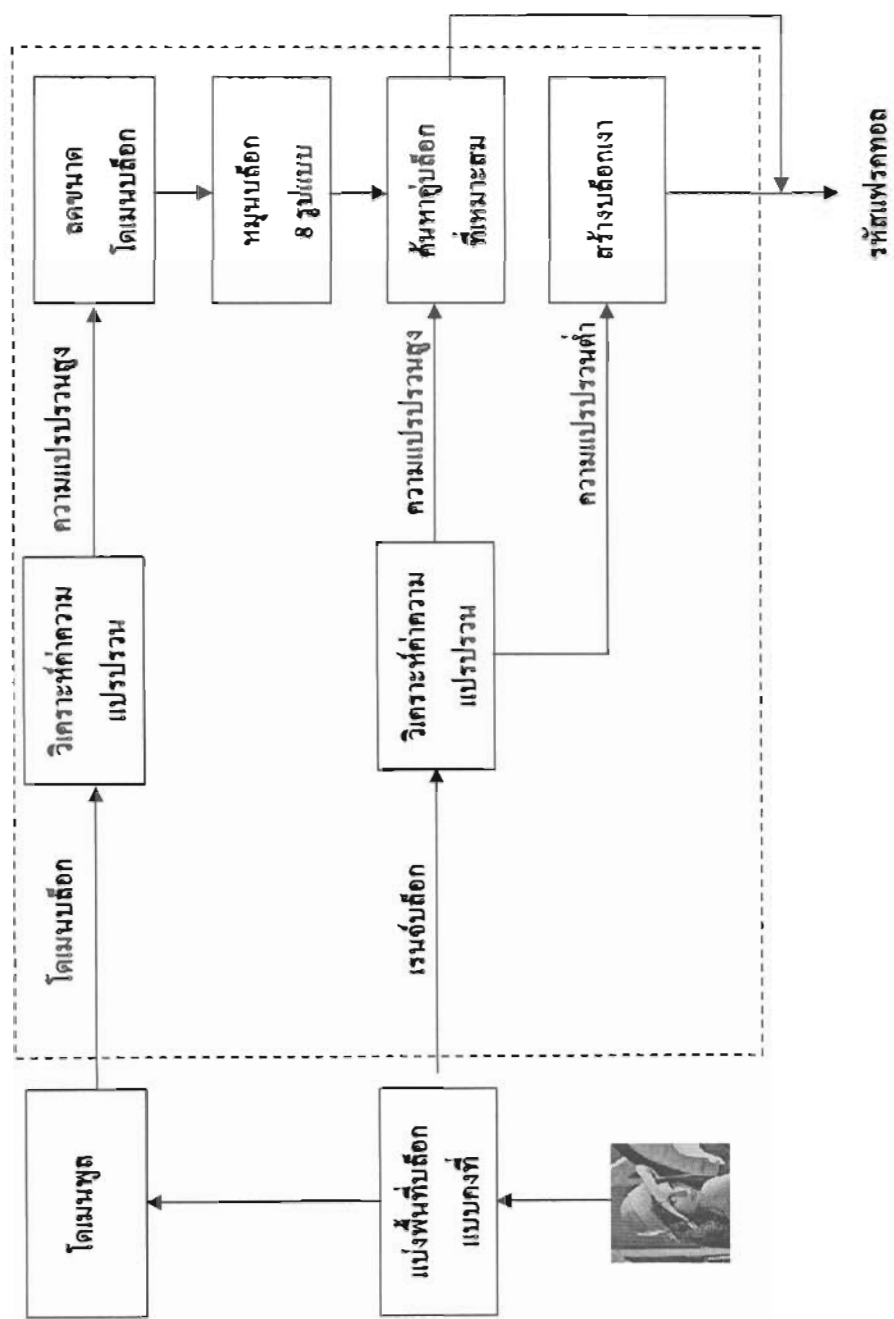
จากขั้นตอนการทำงานดังกล่าว ได้แสดงผลการทดลองไว้ในหัวข้อ 4.2.8 ซึ่งวิธีการนี้สามารถลดอัตราบิตได้ต่ำมาก และมีระยะเวลาการเข้ารหัสภาพที่เร็วกว่าวิธีการเข้ารหัสทั้ง 7 วิธีที่ผ่านมา แต่คุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับ ถูกลดต่ำลงด้วย เนื่องจากการแบ่งบล็อกขนาด 8x8 จดภาพ เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม คุณภาพของภาพผลลัพธ์ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับอัตราบิตที่ต่ำ และระยะเวลาการเข้ารหัสที่เร็วมาก



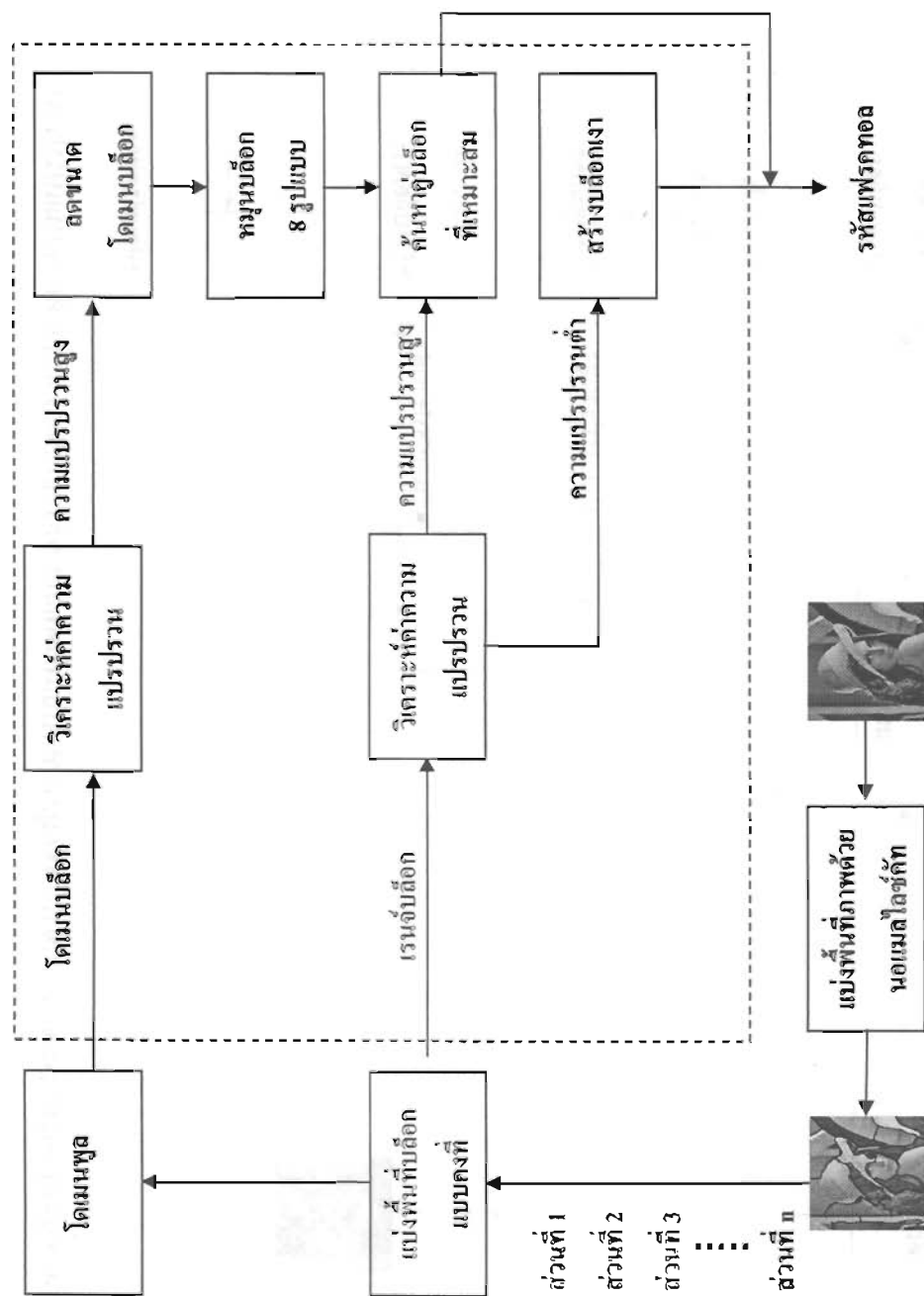
ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการทำงานของกรเข้ารหัสแฟรคทอลกับทฤษฎีแฟรคทอล



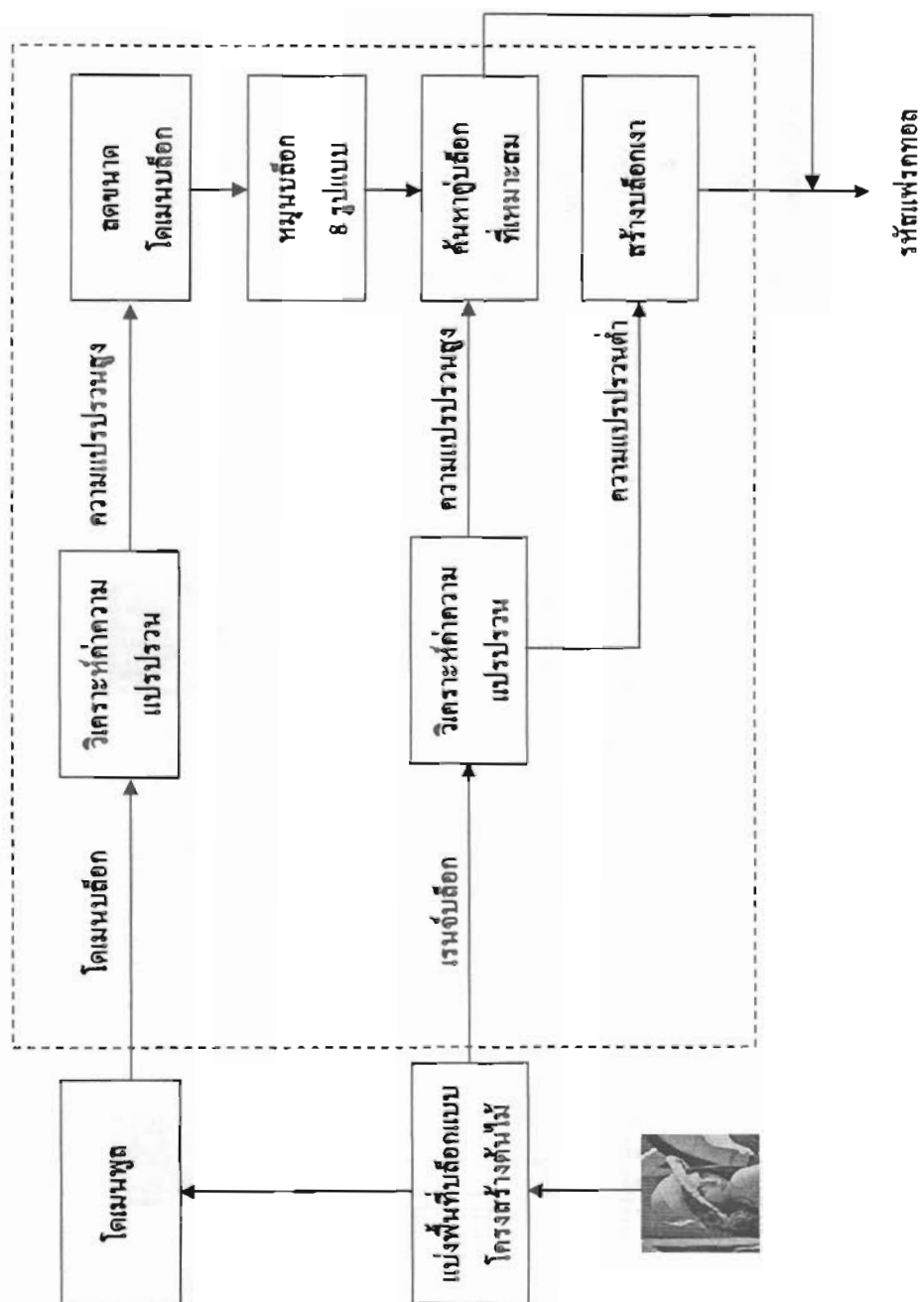
ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุข่ายเชิงซ้อนและการแปลงบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้



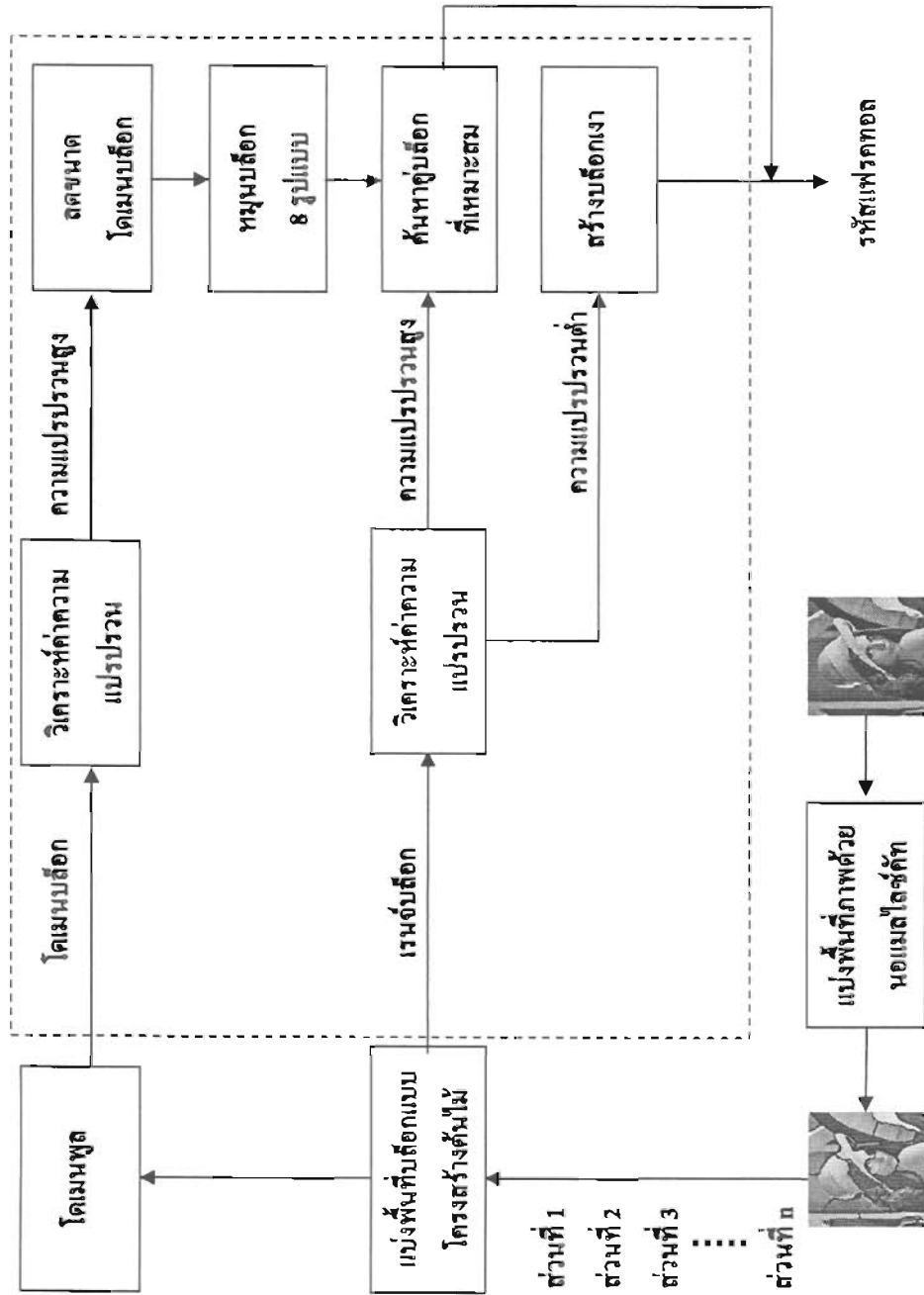
ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน



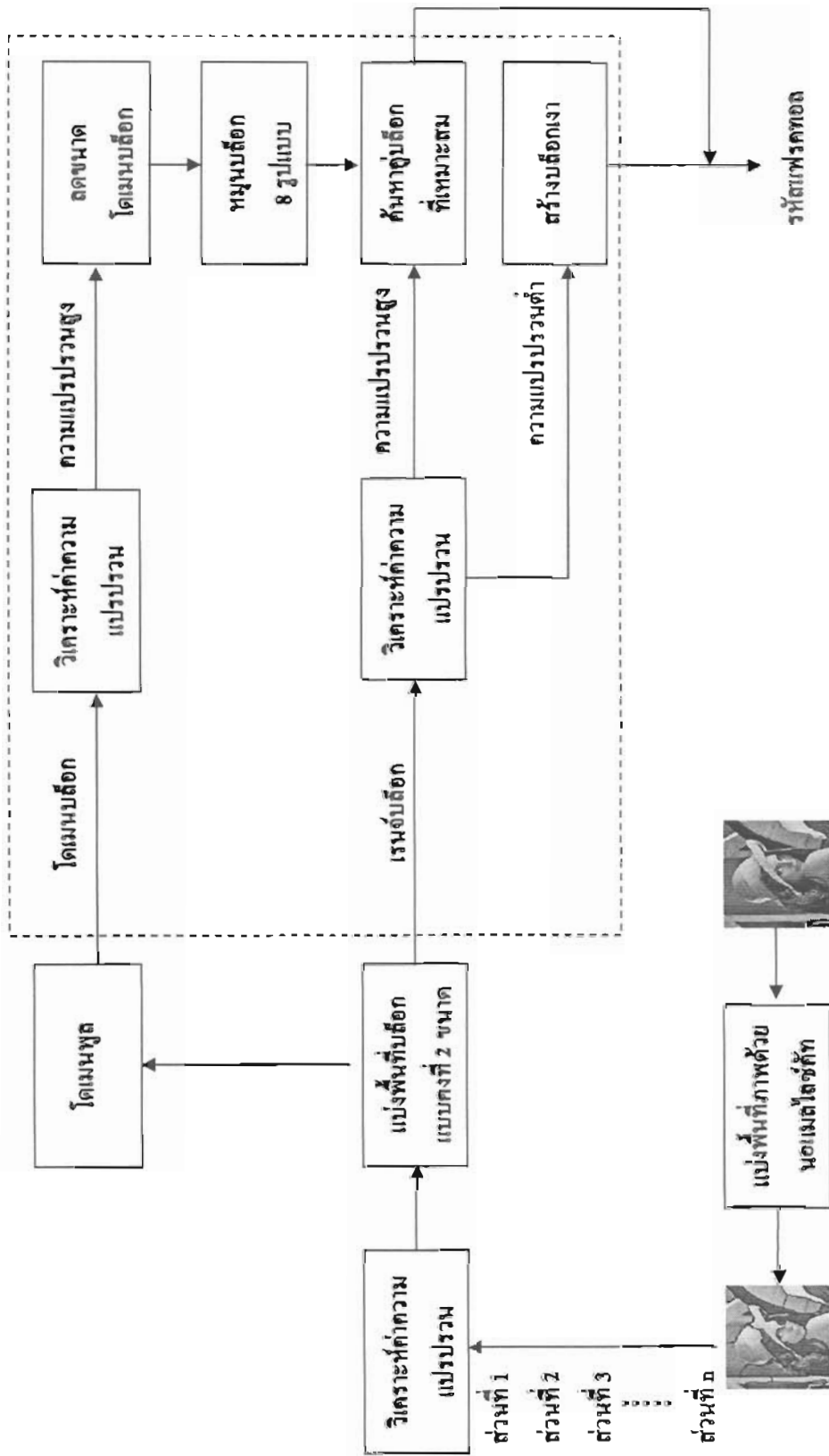
ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน



ภาพที่ 3-9 ขั้นตอนการทำงานของรหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้



ภาพที่ 3-10 ขั้นตอนการทำงานของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีนอแมเลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างค้ำไม้



ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนการทำงานของกรเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุแมลได้ซัดท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

และแบ่งบล็อกเป็นขนาดที่ 2 ขนาด (4x4 และ 8x8)

3.3 การวัดคุณภาพ

การวัดประสิทธิภาพและคุณภาพของภาพที่ได้จากการคลายการบีบอัดหรือการคืนกลับในงานวิจัยนี้ จะทำการวัดวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลที่ได้พัฒนาขึ้นทั้ง 7 วิธีการดังที่กล่าวมาข้างต้น เปรียบเทียบกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติในหัวข้อ 3.2.1 ซึ่งจะวัดคุณภาพประสิทธิภาพของระยะเวลาในการเข้ารหัส และคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับ และอัตราบิต โดยคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการคืนกลับ จะวัดด้วยค่า PSNR ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการที่ (2-20) ส่วนอัตราบิตของภาพ คำนวณโดยใช้สมการที่ (2-16)

การดำเนินงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นขั้นตอนการทำงานของวิธีการเข้ารหัสภาพที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ สำหรับผลของการเข้ารหัสได้กล่าวไว้ในบทที่ 4

บทที่ 4

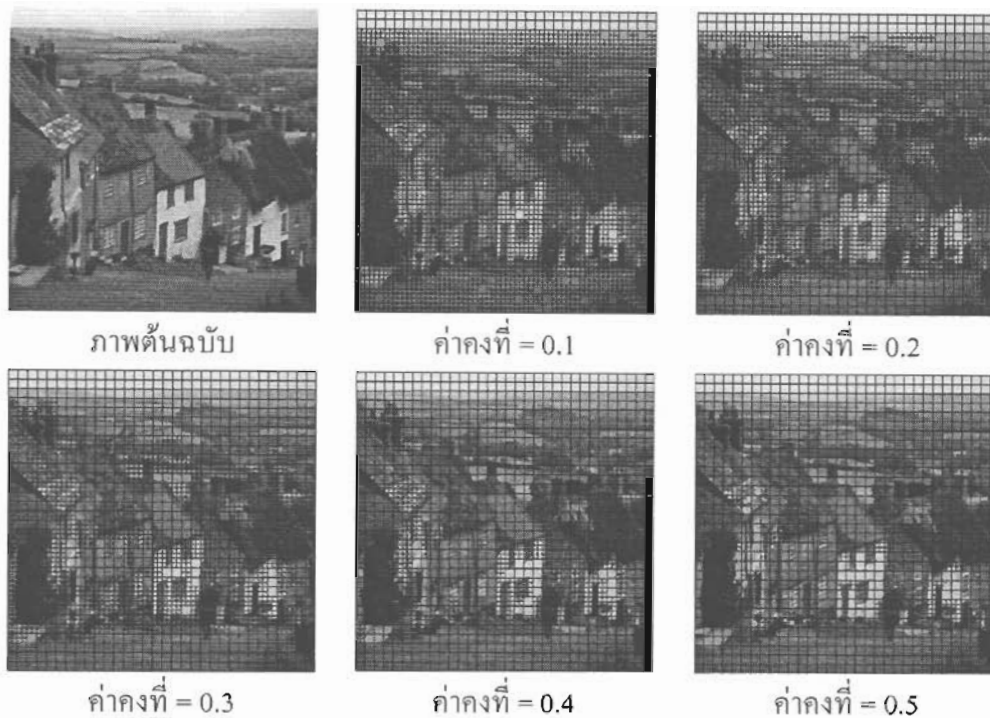
ผลการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงผลการวิจัยที่ได้รับจากการนำทฤษฎีและวิธีการต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติ ดังที่ได้ทำการวิจัยไว้ในบทที่ 3 ซึ่งภาพผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการทดลองแต่ละวิธีได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก

4.1 กลุ่มตัวอย่างรูปภาพในการวิจัย

ในการทำการวิจัยการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลนี้ ได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างของภาพเพื่อใช้ในการทดลองจำนวน 4 ภาพ แต่ละภาพเป็นภาพระดับสีเทา ขนาด 256x256 จุดภาพ จัดระดับความซับซ้อนของภาพด้วยผลของการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ โดยกำหนดขนาดของบล็อกออกเป็น 2 ขนาดคือ 4x4 และ 8x8 จุดภาพ ค่าคงที่สำหรับเปรียบเทียบกับผลต่างระหว่างความเข้มสูงสุดของจุดภาพกับความเข้มต่ำสุดของจุดภาพภายในแต่ละบล็อกเพื่อทำการแบ่งบล็อก กำหนดไว้ 5 ระดับคือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 บริเวณของภาพที่มีค่าความต่างของจุดภาพมากกว่าค่าคงที่ที่กำหนดไว้ จะถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาด 4x4 จุดภาพ และบริเวณของภาพที่มีค่าความต่างของจุดภาพน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าคงที่ที่กำหนด จะถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาด 8x8 จุดภาพ นั่นคือ ภาพที่มีความซับซ้อนมาก จะมีความต่างของจุดภาพมาก ดังนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพจะถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาด 4x4 จุดภาพ ส่วนภาพที่มีความซับซ้อนน้อย จะมีความต่างของจุดภาพน้อย ดังนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพจะถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาด 8x8 จุดภาพ ผลของการแบ่งพื้นที่ภาพที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 ภาพ Goldhill.bmp จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ ที่ระดับค่าคงที่ 0.1 ถึง 0.5 ดังแสดงในภาพที่ 4-1 พบว่าบริเวณที่มีความซับซ้อนมาก ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดเล็ก คือพื้นที่บริเวณตัวบ้าน ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพนี้ ส่วนพื้นที่ที่ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดใหญ่ คือพื้นที่บริเวณท้องฟ้าและถนน ซึ่งเป็นบริเวณส่วนน้อยของภาพ ดังนั้นภาพนี้จึงจัดเป็นภาพที่มีระดับความซับซ้อนมาก



ภาพที่ 4-1 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Glodhill.bmp

4.1.2 Lena.bmp จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ ที่ระดับค่าคงที่ 0.1 ถึง 0.5 ดังแสดงในภาพที่ 4-2 พบว่าบริเวณที่มีความซับซ้อนมาก ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดเล็ก คือพื้นที่บริเวณดวงตา ใบหน้า เส้นผม และเส้นขอบ ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาพนี้ ส่วนพื้นที่ที่ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดใหญ่ คือพื้นที่ที่เป็นพื้นหลังของ Lena ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่มีระดับสีที่ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นภาพนี้จึงจัดเป็นภาพที่มีระดับความซับซ้อนค่อนข้างมาก

4.1.3 Cameraman.bmp จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ ที่ระดับค่าคงที่ 0.1 ถึง 0.5 ดังแสดงในภาพที่ 4-3 พบว่าบริเวณที่มีความซับซ้อนมาก ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดเล็ก คือพื้นที่บริเวณใบหน้า ตัวกล้องถ่ายรูป ขาตั้งกล้อง เส้นขอบ และพื้นหลังบางส่วน โดยพื้นที่ที่ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดใหญ่ คือพื้นที่บริเวณท้องฟ้าและสนามหญ้า ซึ่งมีบริเวณมากกว่าพื้นที่ที่ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดเล็ก ดังนั้นภาพนี้จึงจัดเป็นภาพที่มีระดับความซับซ้อนปานกลาง

4.1.4 Saturn.bmp จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ ที่ระดับค่าคงที่ 0.1 ถึง 0.5 ดังแสดงในภาพที่ 4-4 พบว่าบริเวณที่มีความซับซ้อนมาก ถูกแบ่งเป็นบล็อกขนาดเล็ก คือพื้นที่บริเวณเส้นขอบของดาวเคราะห์ และวงแหวน ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนน้อยของภาพ ส่วนพื้นที่ที่ถูกแบ่งเป็น

บล็อกขนาดใหญ่ คือพื้นที่ภายในดาวเคราะห์และพื้นหลังทั้งหมด ซึ่งมีบริเวณที่กว้างมาก ดังนั้นภาพนี้จึงจัดเป็นภาพที่มีระดับความซับซ้อนน้อย



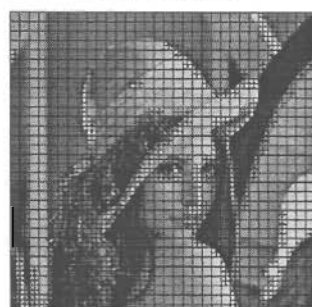
ภาพต้นฉบับ



ค่าคงที่ = 0.1



ค่าคงที่ = 0.2



ค่าคงที่ = 0.3



ค่าคงที่ = 0.4



ค่าคงที่ = 0.5

ภาพที่ 4-2 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ

Lena.bmp



ภาพต้นฉบับ



ค่าคงที่ = 0.1



ค่าคงที่ = 0.2

ภาพที่ 4-3 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบ โครงสร้างต้นไม้ของ

Cameraman.bmp



ค่าคงที่ = 0.3

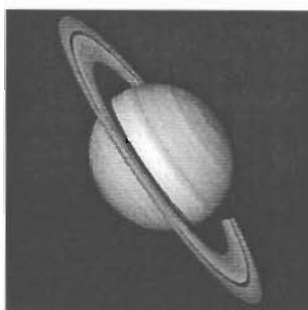


ค่าคงที่ = 0.4

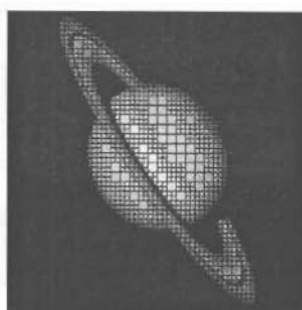


ค่าคงที่ = 0.5

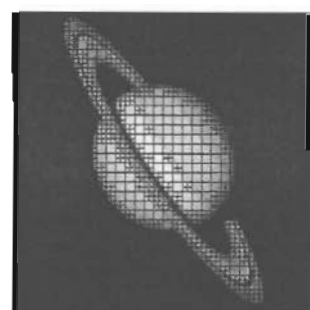
ภาพที่ 4-3 (ต่อ)



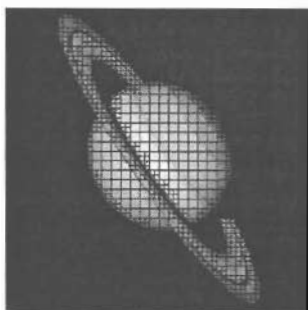
ภาพต้นฉบับ



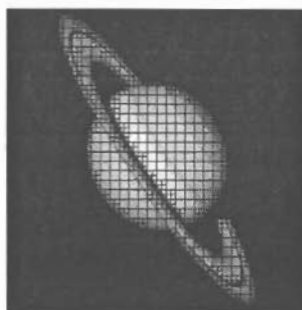
ค่าคงที่ = 0.1



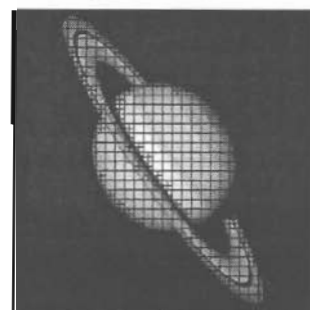
ค่าคงที่ = 0.2



ค่าคงที่ = 0.3



ค่าคงที่ = 0.4



ค่าคงที่ = 0.5

ภาพที่ 4-4 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Saturn.bmp

หลังจากแบ่งระดับความซับซ้อนของภาพด้วยการแบ่งพื้นที่ภาพแบบโครงสร้างต้นไม้แล้ว ลำดับถัดไปเป็นผลการทดลองของการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธีที่ได้กล่าวไว้ใน บทที่ 3 ของภาพต้นฉบับทั้ง 4 ภาพ ที่ค่าคงที่ 0.1 ถึง 0.5 โดยประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น อินเทลเซนทรี 10 มีความเร็วในการประมวลผล 1.73 GHz หน่วยความจำหลัก 760 MB บนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP และใช้โปรแกรม MATLAB 6.5 ในการประมวลผล

4.2 ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลทั้งหมด 8 วิธี กับภาพต้นฉบับจำนวน 4 ภาพที่มีระดับความซับซ้อนแตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งพื้นที่บล็อกแบบคงที่ 4x4 จุดภาพ และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ 4x4 และ 8x8 จุดภาพ โดยกำหนดค่าคงที่เพื่อใช้ในการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ 5 ระดับคือ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1 ผลการทดลองจากการเข้ารหัสและถอดรหัสเพื่อวัดคุณภาพของแต่ละวิธีการอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ซึ่งวิธีการนี้ทำการแบ่งพื้นที่ภาพเป็นบล็อกขนาดคงที่ 4x4 จุดภาพ และค้นหาโดเมนบล็อกที่เหมาะสมกันโดยใช้วิธีการค้นหาแบบลำดับ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ

ชื่อภาพต้นแบบ	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	9,729.58	35.25	1.94
Lena.bmp	9,828.70	35.59	1.94
Cameraman.bmp	9,703.72	32.14	1.94
Saturn.bmp	3,710.08	41.77	1.94

จากผลการทดลองพบว่า การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติได้ค่า PSNR ที่สูง นั่นคือมีความผิดเพี้ยนไปจากภาพต้นฉบับน้อย ภาพผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสามารถลดอัตราบิตลงเหลือเพียง 1.94 bpp แต่วิธีการนี้ใช้เวลาในการเข้ารหัสภาพนานถึง 9,828.70 วินาที สำหรับภาพ Lena ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานมากเมื่อเทียบกับการเข้ารหัสภาพด้วยวิธีการอื่นๆ และเป็นระยะเวลาที่นานมากสำหรับการนำไปใช้งานจริง

4.2.2 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมลไลซ์คัท เป็นการนำทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพอนุเมลไลซ์คัท มาใช้เพื่อแบ่งพื้นที่ภาพต้นฉบับออกเป็นส่วนย่อยจำนวน 5 ส่วน ผลของการแบ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4-5 จากนั้นจึงทำการสร้างเรนจ์บล็อก ขนาดคงที่ 4x4 จุดภาพ และค้นหาโดเมนบล็อกที่เหมาะสมกันภายในพื้นที่ส่วนเดียวกัน ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-2



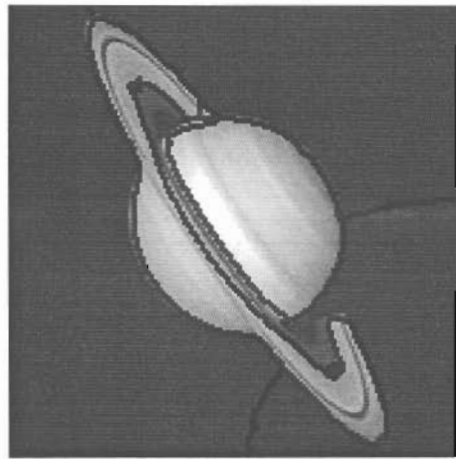
(ก) Goldhill.bmp



(ข) Lena.bmp



(ค) Cameraman.bmp



(ง) Saturn.bmp

ภาพที่ 4-5 ภาพผลลัพธ์จากการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทจำนวน 5 ส่วน

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท

ชื่อภาพต้นแบบ	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	3,497.45	34.48	2.23
Lena.bmp	3,176.31	34.61	2.05
Cameraman.bmp	2,656.13	30.28	2.11
Saturn.bmp	832.34	40.91	2.11

ผลการทดลองพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถช่วยลดระยะเวลาในการเข้ารหัสข้อมูลภาพได้มาก โดยเฉพาะภาพที่มีความซับซ้อนน้อยอย่าง Saturn ระยะเวลาในการเข้ารหัสลดลงเกือบ 5 เท่า และทุกภาพได้รับค่า PSNR ในเกณฑ์ดี แต่อัตราบิตที่ต้องใช้มากกว่าการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาทฤษฎีและทำการทดลองเพิ่มในลำดับถัดไปเพื่อลดอัตราบิตลง

4.2.3 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้

ชื่อภาพต้นแบบ	ค่าคงที่	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	0.1	3,501.38	34.23	2.20
	0.2	3,069.81	32.75	1.93
	0.3	2,481.61	30.75	1.60
	0.4	2,205.77	29.34	1.41
	0.5	1,984.27	28.25	1.27
Lena.bmp	0.1	2,740.87	34.18	1.83
	0.2	2,478.45	33.57	1.62
	0.3	2,262.61	32.33	1.48
	0.4	2,100.19	31.00	1.36
	0.5	1,943.55	30.03	1.27
Cameraman.bmp	0.1	2,125.61	30.66	1.70
	0.2	1,683.00	30.41	1.58
	0.3	1,889.59	29.41	1.50
	0.4	1,805.47	29.31	1.42
	0.5	1,760.94	28.96	1.41
Saturn.bmp	0.1	857.16	40.50	1.50
	0.2	739.58	40.35	1.40
	0.3	694.26	39.76	1.36
	0.4	616.17	38.05	1.31
	0.5	547.09	36.48	1.23

วิธีการนี้จะแบ่งเรนจ์บล็อกเป็น 2 ขนาดคือ 4×4 และ 8×8 จุดภาพด้วยวิธีการแบ่งแบบโครงสร้างต้นไม้ ผลลัพธ์จากการแบ่งแสดงไว้ที่หัวข้อ 4.1 โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่าความเข้มของจุดภาพมากกว่าค่าคงที่ที่กำหนด จะสร้างเรนจ์บล็อก 4×4 จุดภาพ แต่หากความแตกต่างของค่าความเข้มของจุดภาพน้อยกว่าค่าคงที่ จะสร้างเรนจ์บล็อก 8×8 จุดภาพ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-3

ผลการทดลองพบว่าการแบ่งเรนจ์บล็อกเป็น 2 ขนาดด้วยการแบ่งแบบโครงสร้างต้นไม้ช่วยลดอัตราบิตของภาพลงได้ต่ำกว่าการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ อีกทั้งยังลดระยะเวลาการเข้ารหัสภาพลงอีก โดยค่า PSNR ยังอยู่ในเกณฑ์ดี อาจกล่าวได้ว่าวิธีการทดลองนี้บรรลุวัตถุประสงค์ในการวิจัยแล้ว แต่เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเข้ารหัส หากจะนำไปใช้งานจริง คงต้องใช้ระยะเวลาน้อยกว่านี้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยอื่นเพื่อที่จะนำมาช่วยลดระยะเวลาการเข้ารหัสลงอีก โดยยังมีคุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ดีและอัตราบิตที่ต่ำ จึงนำไปสู่การทดลองในลำดับถัดไป

4.2.4 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติรวมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เป็นงานวิจัยของ He, Yang และ Huang [11] ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งผลของงานวิจัยดังกล่าวมีระยะเวลาการเข้ารหัสภาพที่เร็ว และค่า PSNR ที่ดี ผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยดังกล่าวและทำการทดลองกับภาพต้นฉบับที่เตรียมไว้ โดยกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการทดลองคือ $\varepsilon = 6$, $\delta = 30$ และ $k = 0.05$ แบ่งเรนจ์บล็อกแบบคงที่ 4×4 จุดภาพ ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติรวมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

ชื่อภาพต้นแบบ	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	363.92	33.16	2.06
Lena.bmp	234.20	33.37	2.06
Cameraman.bmp	118.41	29.83	2.06
Saturn.bmp	38.91	38.54	2.06

ผลการทดลองพบว่า แม้อัตราบิตจะสูงกว่าการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ แต่ระยะเวลาในการเข้ารหัสภาพลดลงกว่า 10 เท่า และมีค่า PSNR ที่ดี ผู้วิจัยจึงนำวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนนี้ไปใช้ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท และทำการทดลองในลำดับถัดไป

4.2.5 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เป็นการนำวิธีการที่ 4.2.2 มาใช้ร่วมกับวิธีการที่ 4.2.4 โดยนำเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อกไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำเข้าสู่ขั้นตอนเปรียบเทียบบล็อกที่เหมาะสม ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

ชื่อภาพต้นแบบ	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	157.47	32.10	2.26
Lena.bmp	90.09	32.26	2.05
Cameraman.bmp	49.06	28.36	2.09
Saturn.bmp	22.33	37.11	2.11

ผลการทดลองพบว่า วิธีการนี้ช่วยลดระยะเวลาการเข้ารหัสภาพลงจนถึงระดับที่สามารถนำไปใช้งานจริงได้แล้ว แต่อัตราบิตที่ต้องใช้สูงขึ้นมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าวิธีการที่ 4.2.3 มีผลของอัตราบิตที่ต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ ผู้วิจัยจึงนำวิธีการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ที่ใช้กับวิธีการดังกล่าว ไปทดลองร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ดังการทดลองในลำดับถัดไป

4.2.6 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ โดยการทดลองนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 4.2.4 แต่กำหนดบล็อกเป็น 2 ขนาด คือ 4x4 และ 8x8 จุภาพด้วยวิธีการแบ่งแบบโครงสร้างต้นไม้ จากนั้นจึงนำเรนจ์บล็อกและโดเมนบล็อกไปสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบบล็อกที่เหมาะสมต่อไป ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-6

ผลการทดลองพบว่า อัตราบิตลดลงต่ำกว่าทุกการทดลองที่ผ่านมา อีกทั้งมีระยะเวลาในการเข้ารหัสภาพที่เร็ว และค่า PSNR อยู่ในระดับดี ผู้วิจัยจึงนำวิธีการนี้ไปใช้ร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท ดังการทดลองในลำดับถัดไป

ตารางที่ 4-6 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้

ชื่อภาพต้นแบบ	ค่าคงที่	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	0.1	347.92	32.90	1.86
	0.2	283.50	31.68	1.41
	0.3	196.26	29.87	0.97
	0.4	150.94	28.46	0.73
	0.5	118.58	27.53	0.59
Lena.bmp	0.1	223.67	33.09	1.55
	0.2	196.97	32.51	1.25
	0.3	170.72	31.54	1.03
	0.4	141.59	30.33	0.86
	0.5	121.91	29.33	0.72
Cameraman.bmp	0.1	111.66	29.76	1.30
	0.2	101.97	29.52	1.15
	0.3	86.58	29.01	0.99
	0.4	75.95	28.59	0.89
	0.5	71.26	28.24	0.84
Saturn.bmp	0.1	36.22	38.20	0.94
	0.2	32.44	37.72	0.83
	0.3	29.16	37.07	0.77
	0.4	26.27	35.45	0.70
	0.5	21.84	33.63	0.61

4.2.7 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ เป็นการนำวิธีการที่ 4.2.2 มาใช้ร่วมกับวิธีการที่ 4.2.6 โดยทำการแบ่งพื้นที่ภาพต้นฉบับออกเป็นส่วนย่อยจำนวน 5 ส่วน จากนั้นจึงทำการสร้างเรนจ์บล็อก ขนาด 4×4 และ 8×8 จุดภาพจากการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ จากนั้นวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของแต่ละบล็อกเพื่อคัดเลือกบล็อกก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบคู่บล็อกที่เหมาะสมกันภายในพื้นที่ส่วนเดียวกัน ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์กัท
การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้

ชื่อภาพต้นแบบ	ค่าคงที่	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	0.1	160.16	31.81	2.21
	0.2	149.09	30.65	1.94
	0.3	124.09	28.81	1.59
	0.4	112.95	27.60	1.42
	0.5	99.20	26.82	1.28
Lena.bmp	0.1	91.33	32.03	1.80
	0.2	89.86	31.29	1.64
	0.3	84.16	30.24	1.48
	0.4	79.83	29.10	1.36
	0.5	76.41	28.16	1.29
Cameraman.bmp	0.1	53.16	28.15	1.68
	0.2	50.88	27.87	1.59
	0.3	48.74	27.64	1.49
	0.4	44.50	27.28	1.42
	0.5	44.38	27.10	1.39
Saturn.bmp	0.1	22.50	36.71	1.49
	0.2	23.70	36.18	1.44
	0.3	22.69	35.73	1.42
	0.4	21.28	34.00	1.31
	0.5	19.09	32.10	1.23

ผลการทดลองพบว่า สามารถลดอัตราบิตให้ต่ำลงได้ และมีระยะเวลาการเข้ารหัสภาพที่เร็วมากขึ้น แม้ค่า PSNR จะลดลงไปบ้าง แต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งการทดลองนี้กล่าวได้ว่าได้บรรลุตามวัตถุประสงค์การวิจัยแล้ว แต่ผู้วิจัยก็ได้ทำการทดลองเพิ่มอีกหนึ่งวิธีการในลำดับถัดไปเพื่อศึกษาว่ายังสามารถลดระยะเวลาการเข้ารหัสและอัตราบิตลงได้อีกหรือไม่

4.2.8 การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์กัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาด เป็นประยุกต์วิธีการที่ 4.2.5 จากแบ่งบล็อกแบบคงที่ขนาด 4x4 จุลภาพ ไปเป็นแบ่งบล็อกคงที่ 2 ขนาดด้วยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของพื้นที่

ที่ได้จากการแบ่งด้วยทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท โดยพื้นที่ที่มีค่าความแปรปรวนน้อย จะแบ่งบล็อกคงที่ขนาด 8x8 จุดภาพ ส่วนพื้นที่ที่มีค่าความแปรปรวนมาก จะแบ่งบล็อกคงที่ขนาด 4x4 จุดภาพ จากนั้นนำแต่ละบล็อกไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนเพื่อคัดเลือกบล็อกก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการเปรียบเทียบกลุ่มบล็อกที่เหมาะสมกันภายในพื้นที่ส่วนเดียวกัน ผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ผลการทดลองของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาด (4x4 และ 8x8)

ชื่อภาพต้นแบบ	เวลาในการเข้ารหัส (s)	PSNR (dB)	Bit Rate (bpp)
Goldhill.bmp	53.08	26.75	0.77
Lena.bmp	78.03	29.71	1.38
Cameraman.bmp	48.42	27.12	1.46
Saturn.bmp	17.51	32.81	0.80

ผลการทดลองพบว่า สามารถลดอัตราบิตได้ต่ำถึง 0.77 bpp สำหรับภาพ Goldhill โดยระยะเวลาการเข้ารหัสภาพลดลงเกือบ 200 เท่าเมื่อเทียบกับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ แม้ค่า PSNR จะถูกลดลงไปด้วย แต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลจากการทดลองทั้ง 8 วิธีไว้ในหัวข้อถัดไป

4.3 เปรียบเทียบผลการทดลอง

จากการทดลองการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะสรุปผลการทดลองด้วยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านเวลาในการเข้ารหัสข้อมูลภาพ ประสิทธิภาพของการลดอัตราบิต และคุณภาพของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการคืนกลับ ของภาพต้นฉบับทั้ง 4 ภาพที่ค่าคงที่เท่ากับ 0.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้านเวลาของการเข้ารหัสและอัตราบิตพบว่า วิธีการสุดท้ายมีระยะเวลาการเข้ารหัสเร็วที่สุดและอัตราบิตต่ำที่สุด แต่หากพิจารณาที่คุณภาพของภาพผลลัพธ์ วิธีการนี้มีค่า PSNR อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากมีอัตราบิตที่ลดลงมาก จึงมีผลต่อการสูญเสียคุณภาพของภาพผลลัพธ์มากขึ้น ในขณะที่วิธีการที่ 7 ซึ่งแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ใช้ระยะเวลาการเข้ารหัสมากกว่าวิธีการที่ 8 ไม่มากนัก แต่ได้รับคุณภาพของภาพผลลัพธ์ในระดับดี แต่

อัตราบิตที่ใช้สูงกว่าวิธีการที่ 8 ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นในลักษณะของกราฟ ดังแสดงในภาพที่ 4-6 ถึง 4-10

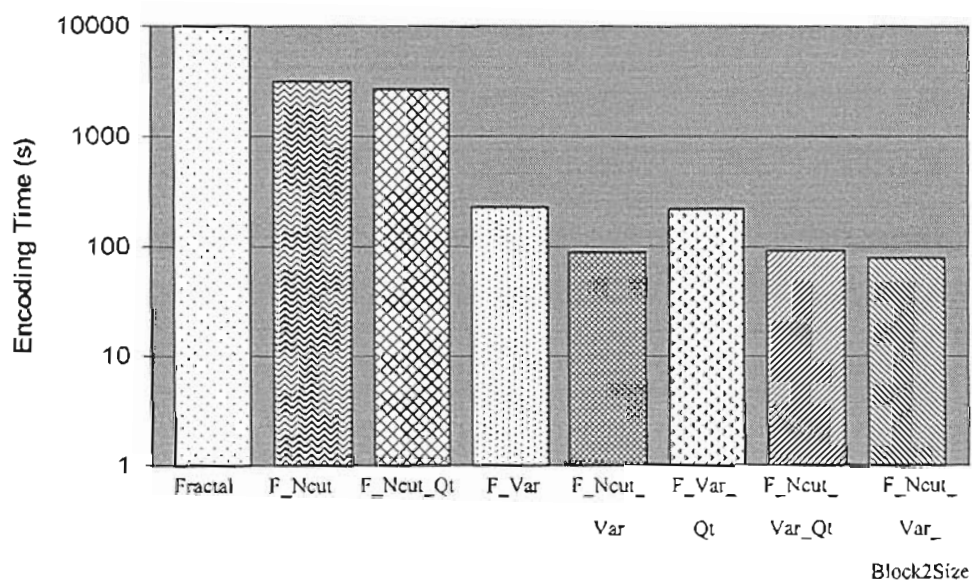
จากภาพที่ 4-6, 4-7 และ 4-8 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและคุณภาพของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ของภาพ Lena.bmp ซึ่งเป็นภาพที่มีความซับซ้อนค่อนข้างมาก ที่ค่าคงที่เท่ากับ 0.1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้คุณภาพของภาพผลลัพธ์ดีที่สุด จะเห็นว่าวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ มีค่า PSNR สูงที่สุด ในขณะที่วิธีการที่นำทฤษฎีอนุเมลโลซัทมาใช้ร่วมด้วยนั้น มีค่า PSNR ที่ต่ำกว่า แต่ยังอยู่ในระดับดี โดยที่ระยะเวลาในการเข้ารหัสลดลงอย่างมาก และเมื่อนำวิธีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนมาใช้ร่วมด้วย ส่งผลให้อัตราบิตลดลง ในขณะที่ยังมีค่า PSNR ยังอยู่ในระดับดี และยังช่วยลดระยะเวลาการเข้ารหัสให้มีความเร็วมากขึ้นอีกด้วย ส่วนภาพที่ 4-9 และ 4-10 เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสภาพกับอัตราบิต และคุณภาพของภาพผลลัพธ์กับอัตราบิตของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ที่ค่าคงที่ 0.1 ถึง 0.5 สำหรับบทสรุปและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในบทที่ 5

ตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสและอัตราบิตของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี (ค่าคงที่ = 0.1)

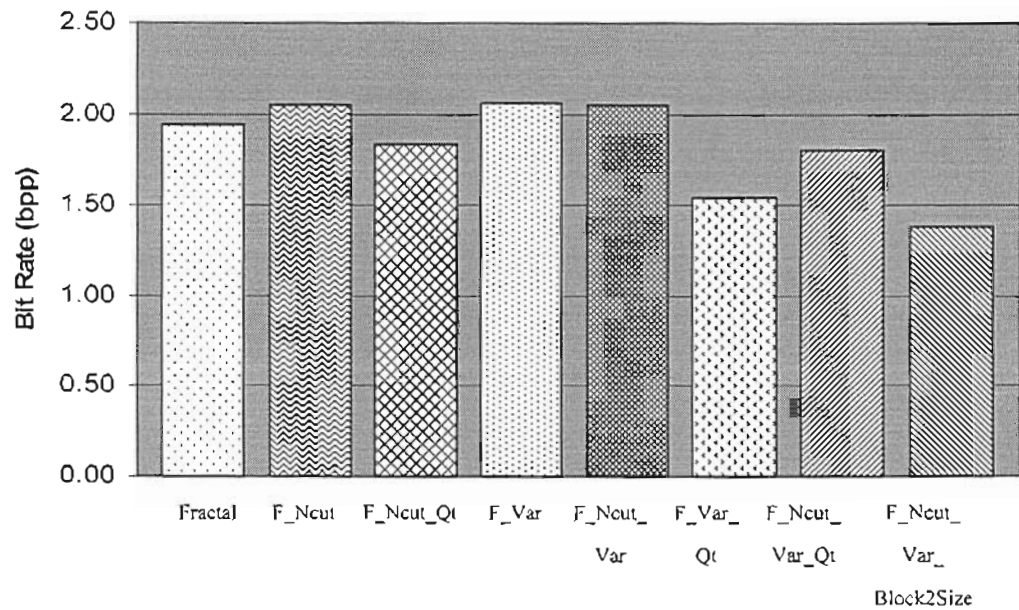
วิธีการ เข้ารหัสภาพ	Goldhill		Lena		Cameraman		Saturn	
	Time	bpp	Time	bpp	Time	bpp	Time	bpp
Fractal (วิธีที่ 1)	9729.58	1.94	9828.70	1.94	9703.72	1.94	3710.08	1.94
F_Ncut (วิธีที่ 2)	3497.45	2.23	3176.31	2.05	2656.13	2.11	832.34	2.11
F_Ncut_Qt (วิธีที่ 3)	3501.38	2.20	2740.87	1.83	2125.61	1.70	857.16	1.50
F_Var (วิธีที่ 4)	363.92	2.06	234.20	2.06	118.41	2.06	38.91	2.06
F_Ncut_Var (วิธีที่ 5)	157.47	2.26	90.09	2.05	49.06	2.09	22.33	2.11
F_Var_Qt (วิธีที่ 6)	347.92	1.86	223.67	1.55	111.66	1.30	36.22	0.94
F_Ncut_Var_Qt (วิธีที่ 7)	160.16	2.21	91.33	1.80	53.16	1.68	22.50	1.49
F_Ncut_Var_Block 2 Size (วิธีที่ 8)	53.08	0.77	78.03	1.38	48.42	1.46	17.51	0.80

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบค่า PSNR และอัตราบิตของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี
(ค่าคงที่ = 0.1)

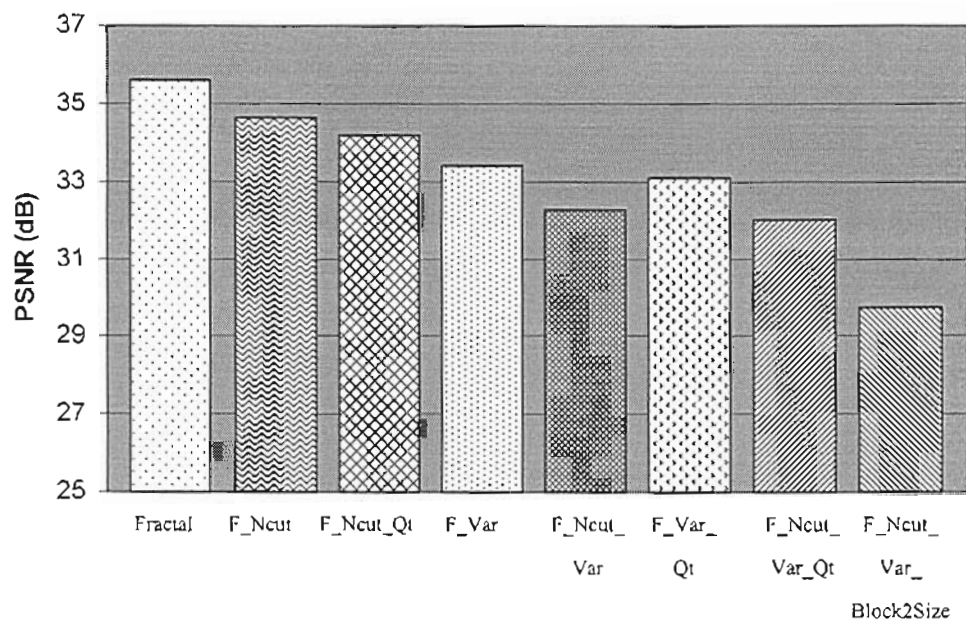
วิธีการ เข้ารหัสภาพ	Goldhill		Lena		Cameraman		Saturn	
	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp	PSNR	bpp
Fractal (วิธีที่ 1)	35.25	1.94	35.59	1.94	32.14	1.94	41.77	1.94
F_Ncut (วิธีที่ 2)	34.48	2.23	34.61	2.05	30.28	2.11	40.91	2.11
F_Ncut_Qt (วิธีที่ 3)	34.23	2.20	34.18	1.83	30.66	1.70	40.50	1.50
F_Var (วิธีที่ 4)	33.16	2.06	33.37	2.06	29.83	2.06	38.54	2.06
F_Ncut_Var (วิธีที่ 5)	32.10	2.26	32.26	2.05	28.36	2.09	37.11	2.11
F_Var_Qt (วิธีที่ 6)	32.90	1.86	33.09	1.55	29.76	1.30	38.20	0.94
F_Ncut_Var_Qt (วิธีที่ 7)	31.81	2.21	32.03	1.80	28.15	1.68	36.71	1.49
F_Ncut_Var_Block 2 Size (วิธีที่ 8)	26.75	0.77	29.71	1.38	27.12	1.46	32.81	0.80



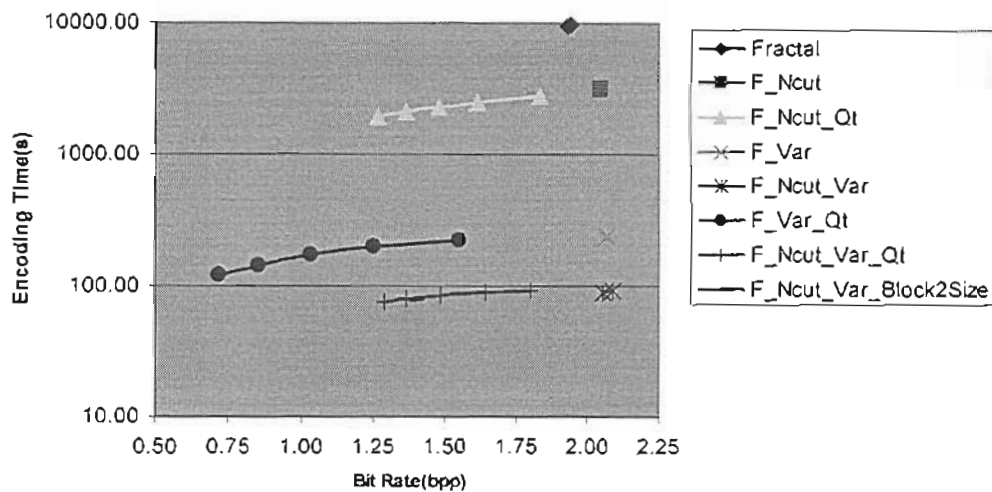
ภาพที่ 4-6 เปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี
(ค่าคงที่ = 0.1) ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp



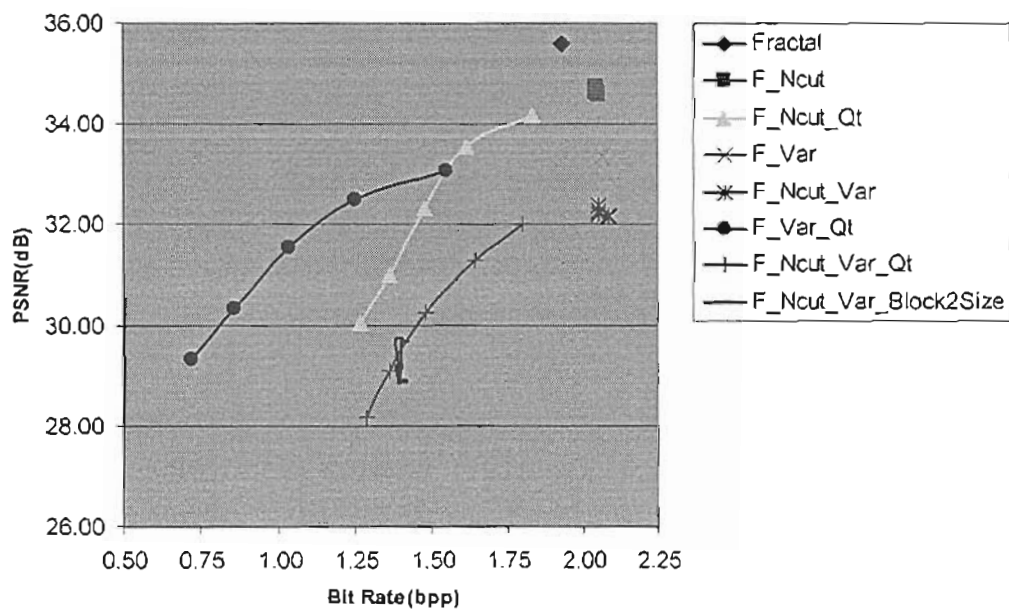
ภาพที่ 4-7 เปรียบเทียบอัตราบิตของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี
(ค่าคงที่ = 0.1) ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp



ภาพที่ 4-8 เปรียบเทียบคุณภาพการคืนกลับของการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี
(ค่าคงที่ = 0.1) ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp



ภาพที่ 4-9 กราฟเส้นการเปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารหัสภาพกับอัตราบิต ของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp



ภาพที่ 4-10 กราฟเส้นการเปรียบเทียบคุณภาพของภาพผลลัพธ์หลังการบีบอัดกับอัตราบิต ของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี ของภาพต้นฉบับ Lena.bmp

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีของงานวิจัยต่างๆ และนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันกับวิธีการดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีการแบ่งพื้นที่ภาพนอแมลไลซ์คัท การแบ่งพื้นที่บล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ และการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ มีประสิทธิภาพทั้งทางด้านเวลาของการเข้ารหัส อัตราการลดข้อมูล และคุณภาพของภาพหลังการบีบอัด จากการทดลองในวิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ดังนี้

หากทำการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลปกติ ต้องใช้ระยะเวลาในการเข้ารหัสนานถึง 9,828 วินาที ในการเข้ารหัสภาพ Lena.bmp เพียงภาพเดียว แต่เมื่อนำทฤษฎีนอแมลไลซ์คัทมาใช้ในการแบ่งพื้นที่ภาพออกเป็นส่วนย่อย และทำการแบ่งพื้นที่บล็อกและเปรียบเทียบกลุ่มบล็อกภายในพื้นที่ส่วนเดียวกัน ส่งผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสลดลงเหลือเพียง 3,176 วินาที หรือลดลงจากเดิม 3 เท่า และหากเป็นภาพ Saturn.bmp ที่มีความซับซ้อนน้อยมาก สามารถลดระยะเวลาของการเข้ารหัสภาพได้มากถึง 4.45 เท่า โดยภาพต้นฉบับทุกภาพที่นำมาทดลอง มีคุณภาพของภาพหลังการบีบอัดอยู่ในระดับดี แต่อัตราการบีบอัดข้อมูลภาพยังไม่ดีพอ จึงต้องนำทฤษฎีการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้มาใช้แทนการแบ่งบล็อกแบบคงที่ เพื่อเพิ่มอัตราการบีบอัดให้สูงมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในการนำไปใช้งานจริง ระยะเวลาในการเข้ารหัสภาพ ควรมีความเร็วสูงกว่าผลการทดลองที่กล่าวไปข้างต้น ฉะนั้น การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน จึงถูกนำมาใช้ร่วมในงานวิจัยนี้ด้วย ส่งผลให้ระยะเวลาในการเข้ารหัสภาพ Lena.bmp ลดเหลือเพียง 91 วินาที ที่อัตราบิตเท่ากับ 1.80 bpp และคุณภาพที่วัดโดย PSNR เท่ากับ 32 dB กล่าวได้ว่า การเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลร่วมกับทฤษฎีนอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งพื้นที่บล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ ให้ผลการบีบอัดที่มีประสิทธิภาพทั้งด้านเวลาของการเข้ารหัส อัตราบิต และคุณภาพหลังการบีบอัด

ในงานวิจัยนี้มีค่าพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลที่พัฒนาขึ้นดังต่อไปนี้

ก) จำนวนพื้นที่ส่วนย่อย ที่เป็นผลจากการแบ่งด้วยนอแมลไลซ์คัท ในงานวิจัยนี้ กำหนดจำนวนพื้นที่ส่วนย่อยเท่ากับ 5 ส่วน ซึ่งเป็นจำนวนที่เหมาะสม เพราะหากกำหนดจำนวนพื้นที่มากกว่า 5 ส่วน จะทำให้ระยะเวลาในการเข้ารหัสภาพมีความเร็วมากขึ้น แต่คุณภาพของภาพหลังการบีบอัดจะลดต่ำลงด้วย

ข) ขนาดของบล็อก มีผลต่ออัตราบิตของภาพหลังการบีบอัด หากแบ่งบล็อกขนาด 8×8 จุดภาพมากขึ้น อัตราบิตของภาพลดต่ำลง ระยะเวลาการเข้ารหัสภาพลดลง แต่คุณภาพของภาพหลังการบีบอัดจะลดต่ำลงด้วย

ค) ค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าความแปรปรวน ε , δ และ k ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำหรับแบ่งกลุ่มเรนจ์บล็อก กลุ่มโดเมนบล็อก และจำกัดการค้นหาโดเมนบล็อกตามลำดับ หากกำหนดให้ ε และ δ มีค่าสูงขึ้น โดย k มีค่าต่ำลง จะส่งผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสมีความเร็วมากขึ้น แต่คุณภาพของภาพหลังการบีบอัดจะมีความสูญเสียมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในการทดลอง จึงได้กำหนดค่าให้แกพารามิเตอร์ในระดับที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพหลังภาพบีบอัดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ง) ค่าคงที่ ที่ใช้ในการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ หากค่าคงที่มีค่ามากขึ้น บล็อกจะถูกแบ่งเป็นขนาด 8×8 จุดภาพมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสภาพมีความเร็วมากขึ้น อัตราการบีบอัดข้อมูลสูงขึ้น แต่คุณภาพหลังการบีบอัดต่ำลง อย่างไรก็ตาม ที่ระดับค่าคงที่เท่ากับ 0.5 ของภาพ Lena.bmp ในการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ร่วมกับนอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ มีคุณภาพของภาพผลลัพธ์ในระดับที่ยอมรับได้ คือ PSNR เท่ากับ 28.16 และลดอัตราบิตเหลือเพียง 1.29 bpp ซึ่งใช้เวลาเข้ารหัสเพียง 76 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 4-9 และ 4-10 จะเห็นว่า เส้นกราฟของวิธีการเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทอล ที่แบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง

จากภาพที่ 4-9 และ 4-10 พบว่า วิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ที่ใช้การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ มีอัตราบิตที่ต่ำที่สุด และคุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับดี โดยวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ที่ใช้ทฤษฎีนอแมลไลซ์คัท ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ มีระยะเวลาการเข้ารหัสภาพเร็วที่สุด โดยอัตราบิตอยู่ในระดับต่ำ และคุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับดี ส่วนวิธีการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอล ที่ใช้ทฤษฎีนอแมลไลซ์คัท ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน และแบ่งบล็อกคงที่ 2 ขนาด ถึงแม้จะมีคุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่สามารถลดอัตราบิตได้ต่ำกว่าวิธีการที่ใช้การแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้

5.2 ปัญหาของการพัฒนางานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทมาประยุกต์ใช้กับการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติ เพื่อลดระยะเวลาการเข้ารหัส ซึ่งการเพิ่มจำนวนการแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยให้กับภาพต้นฉบับ มีผลให้ระยะเวลาการเข้ารหัสยิ่งลดลง แต่อัตราการบีบอัดต่ำลงด้วย ถึงแม้คุณภาพของภาพผลลัพธ์อยู่ในระดับยอมรับได้ แต่อัตราบิตก็มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการเข้ารหัสภาพ ที่ต้องคำนึงถึง

5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

จากปัญหาในงานที่วิจัยที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2 หากจะนำงานวิจัยนี้ไปปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการเข้ารหัสภาพมากยิ่งขึ้น ขอเสนอแนะให้แบ่งบล็อกในรูปแบบอื่นๆ ที่เหมาะสมกับพื้นที่ส่วนย่อยที่เป็นผลลัพธ์มาจากการแบ่งด้วยอนุเมตไลซ์คัท เนื่องจากผลของการแบ่ง จะได้พื้นที่ที่มีรูปทรงอิสระ ทำให้การแบ่งบล็อกแบบสี่เหลี่ยมไม่เหมาะสมกับรูปทรงดังกล่าว อาจนำวิธีการแบ่งบล็อกออกเป็นรูปเหลี่ยมแบบต่างๆ ดังที่แสดงในภาพ 2-4 (จ) และ (ฉ) มาประยุกต์ใช้ คาดว่าสามารถช่วยลดอัตราบิตของภาพให้ต่ำลง และลดระยะเวลาการเข้ารหัสภาพโดยการแบ่งพื้นที่ภาพด้วยอนุเมตไลซ์คัทให้มีจำนวนพื้นที่ส่วนย่อยมากยิ่งขึ้นได้ อย่างไรก็ตามนอกจากภาพนิ่งแล้ว ทฤษฎีอนุเมตไลซ์คัทยังมีความสามารถในการแบ่งพื้นที่ภาพที่เป็นภาพเคลื่อนไหวต่อเนื่อง ดังนั้นในอนาคตอาจนำทฤษฎีดังกล่าวไปประยุกต์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพให้กับการบีบอัดข้อมูลภาพเคลื่อนไหวได้

เอกสารอ้างอิง

1. พงษ์ศิริ เกาะเกี่ยว. การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทัล. ปรินซ์ตันพรินซ์ครุศาสตร์
อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
2. สุรัสวดี รัตนจารุพัทธ์, สาโรจน์ กิตติสถิตพร และเกริกศักดิ์ ตั้งมันคง. การแปลงเวฟเลตเพื่อ
บีบอัดข้อมูลในระบบการรู้จำลายนิ้วมือ. ปรินซ์ตันพรินซ์ครุศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี, 2544.
3. ถัดดาวลัย หวังเจริญ. การเข้ารหัสข้อมูลภาพแบบแฟรคทัลโดยใช้คิสกริตโคซายน์ทรานส
ฟอร์มและวิธีการค้นหาแบบสไปรอล. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2547.
4. ถัญฉกร วุฒิสัทกุลกิจ และคณะ. เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูลเบื้องต้น. กรุงเทพฯ :
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
5. สุพจน์ นิตยสุวรรณ. การประมวลผลสัญญาณภาพขั้นสูง. เอกสารประกอบการสอน ครุศาสตร์
อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
6. Mather A. Sid-Ahmed. Image Processing : Theory, Algorithms and Architechures.
Singapore : McGraw-Hill, Inc., 1995.
7. Yuval Fisher. Fractal Image Compression : Theory and Application. New York :
Springer-Verlag, 1995.
8. Milan Sonka, Vaclav Hlavac and Roger Boyle. Image Processing, Analysis and Machine
Vision. Second Edition. PWS Publishing : The United States of America, 1999.
9. Y. Chen and Jame Z. Wang. "CLUE : Cluster-Based Retrieval of Images by
Unsupervised Learning." IEEE Transactions. Vol. 14, no. 8. (August 2005) :
1187-1201.
10. J. Shi and J. Malik. "Normalized Cuts and Image Segmentation." IEEE Transactions.
Vol. 22, no. 8. (August 2000) : 888-905.

11. H. Hartenstein, M. Ruhl, and D. Saupe. "Region-Based Fractal Image Compression." IEEE Transactions on Image Processing. Vol. 9. (July 2000) : 1171–1184.
12. K. Belloulata and J. Konrad. "Fractal Image Compression with Region-Based Functionality." IEEE Transaction on Image Processing. Vol. 11. (April 2002) : 351–3624.
13. Brendt Wohlberg and Gerhard de Jager. "A Review of the Fractal Image Coding Literature." IEEE Transaction Image Processing. Vol. 8, No. 12. (December 1999).
14. C. He, S.X. Yang and X. Huang. "Variance-Based Accelerating Scheme for Fractal Image Encoding." Electronics Letters. Vol. 40, No. 2. (January 2004).
15. Lee, C.K. and Lee, W.K. "Fast Fractal Image Block Coding Based on Local Variances." IEEE Transaction Image Processing. Vol. 7, No. 6. (June 1998) : 888-891.
16. J. Shi and J. Malik, Normalized Cuts and Image Segmentation. University of California at Berkeley. [Online] 1997. Available from : <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision>

ภาคผนวก ก

ภาพที่สร้างกลับจากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลทั้ง 8 วิธี



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 35.25 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 35.59 dB

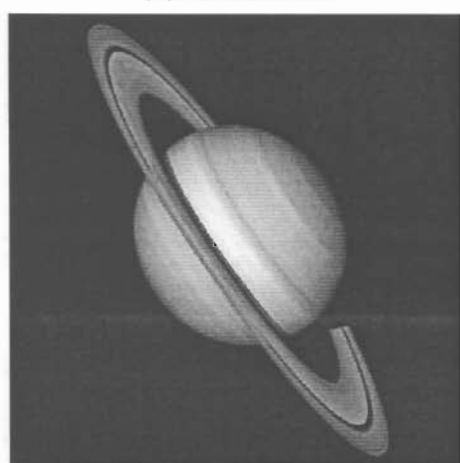
ภาพที่ ก-1 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp



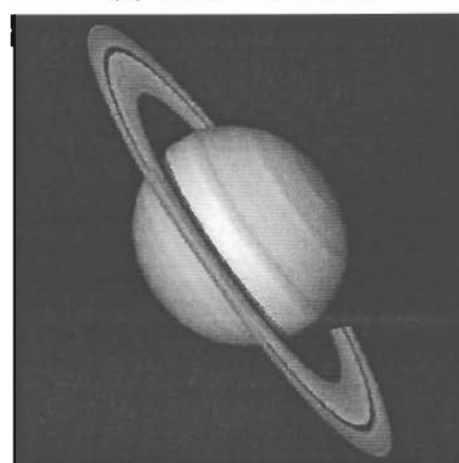
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 32.14 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 41.77 dB

ภาพที่ ก-2 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติของ
Cameraman.bmp และ Saturn.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 34.48 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 34.61 dB

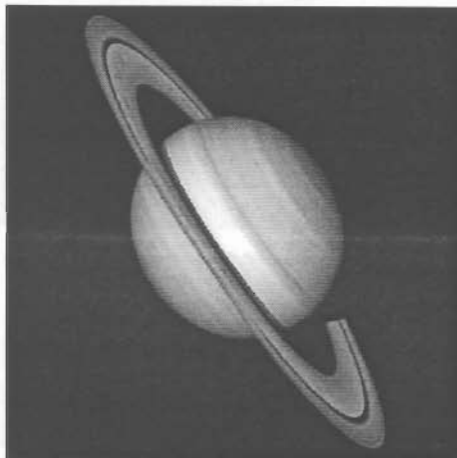
ภาพที่ ก-3 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอนเนลไลซ์คัทของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp



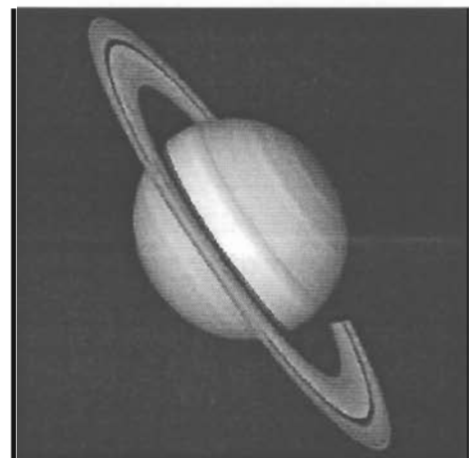
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 30.28 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 40.91 dB

ภาพที่ ก-4 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัทของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 34.23 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 32.75 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 30.75 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 29.34 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 28.25 dB

ภาพที่ ก-5 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Goldhill.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 34.18 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 33.57 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 32.33 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 31.00 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 30.03 dB

ภาพที่ ก-6 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Lena.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 30.66 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 30.41 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 29.41 dB

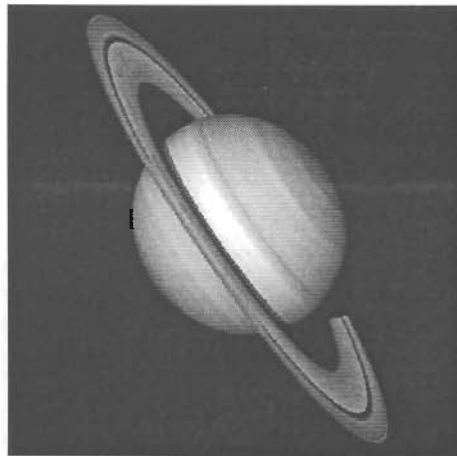


(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 29.31 dB

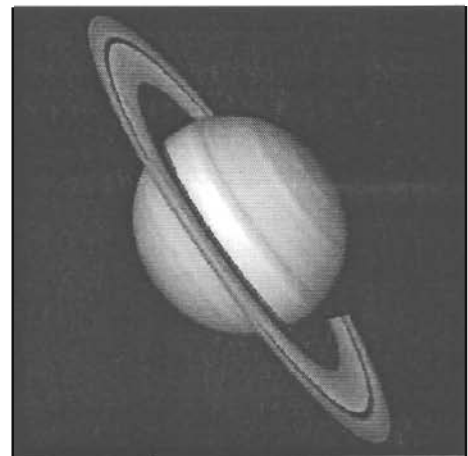


(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 28.96 dB

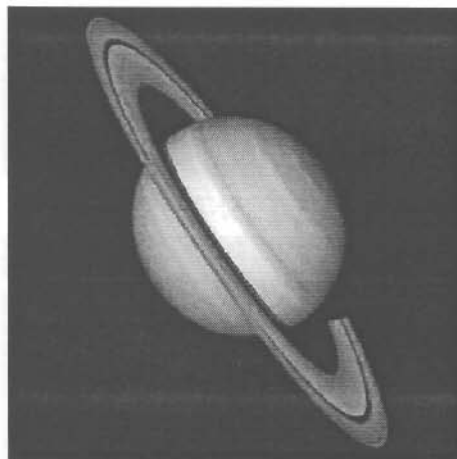
ภาพที่ ก-7 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอซมัลไลซ์กัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Cameraman.bmp



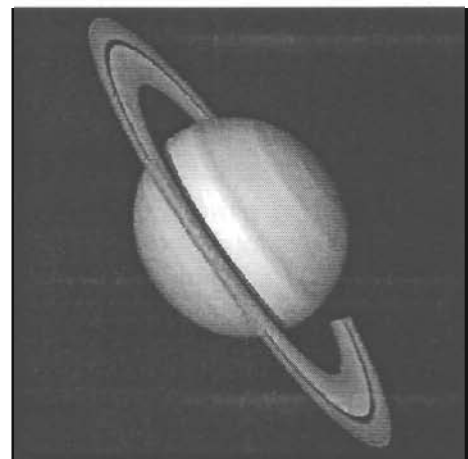
(ก) ภาพต้นฉบับ



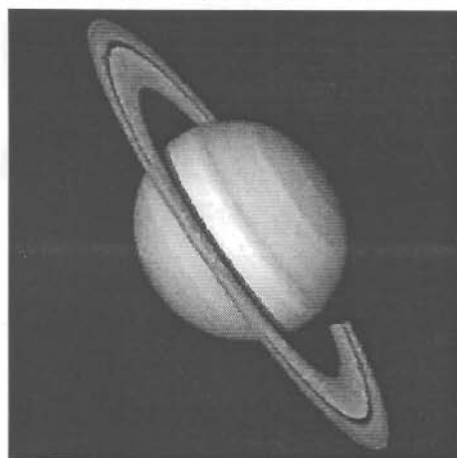
(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 40.50 dB



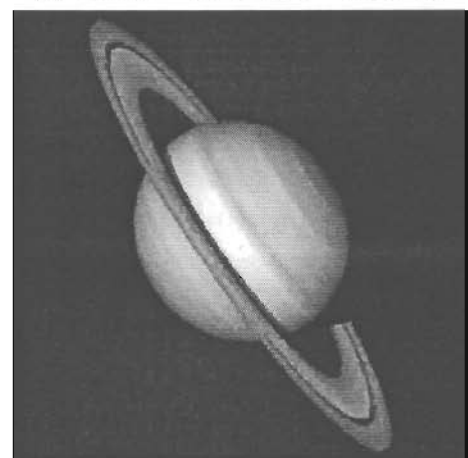
(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 40.35 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 39.76 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 38.05 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 36.48 dB

ภาพที่ ๓-8 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัทและการแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Saturn.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 33.16 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 33.37 dB

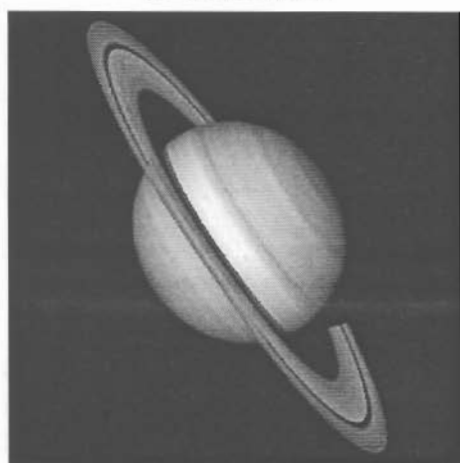
ภาพที่ ก-9 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Goldhill.bmp และ Lena.bmp



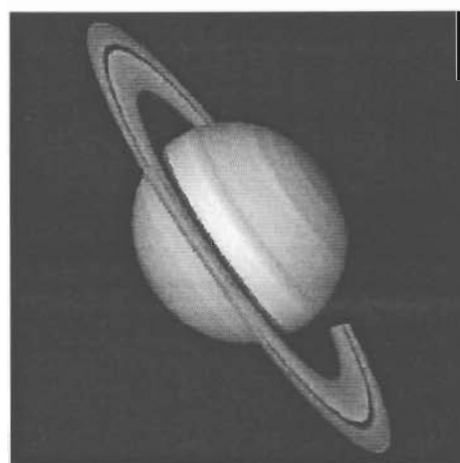
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 29.83 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 38.54 dB

ภาพที่ ก-10 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Cameraman.bmp และ Saturn.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 32.10 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 32.26 dB

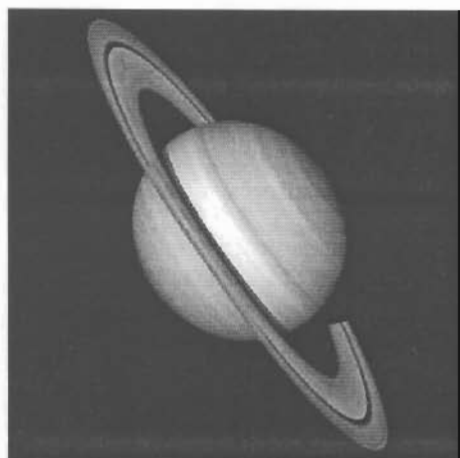
ภาพที่ ก-11 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Goldhill.bmp และ
 Lena.bmp



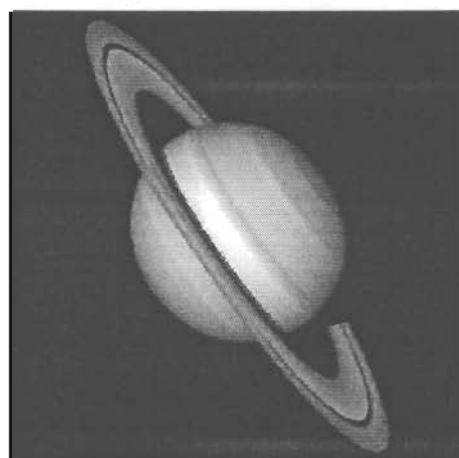
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 28.36 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 37.11 dB

ภาพที่ ก-12 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลสปกติดร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัทและการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ Cameraman.bmp
 และ Saturn.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 32.90 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 31.68 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 29.87 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 28.46 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 27.53 dB

ภาพที่ ก-13 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Goldhill.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 33.09 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 32.51 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 31.54 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 30.33 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 29.33 dB

ภาพที่ ก-14 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Lena.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 29.76 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 29.52 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 29.01 dB

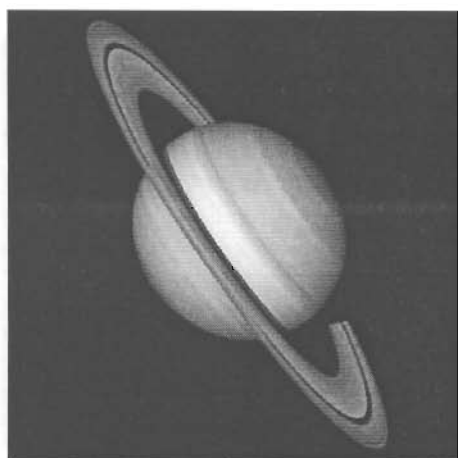


(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 28.59 dB

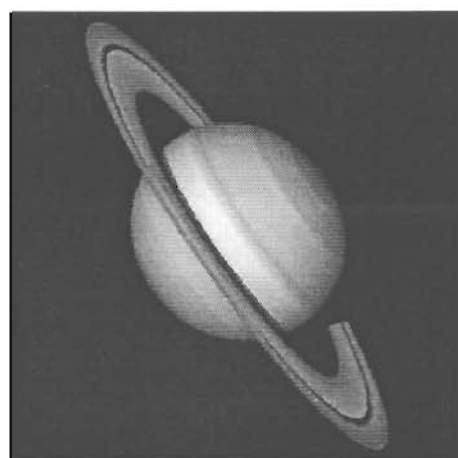


(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 28.24 dB

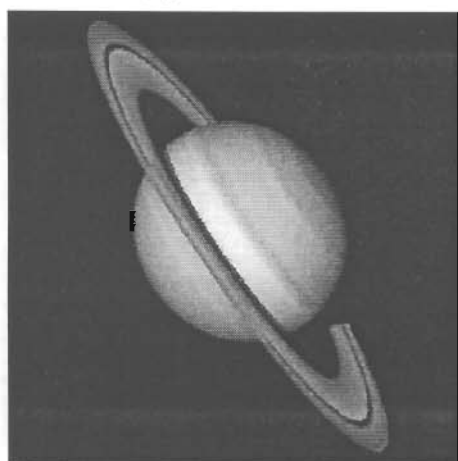
ภาพที่ ก-15 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกคิร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Cameraman.bmp



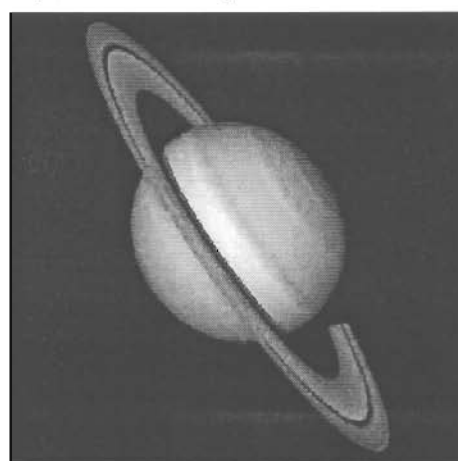
(ก) ภาพต้นฉบับ



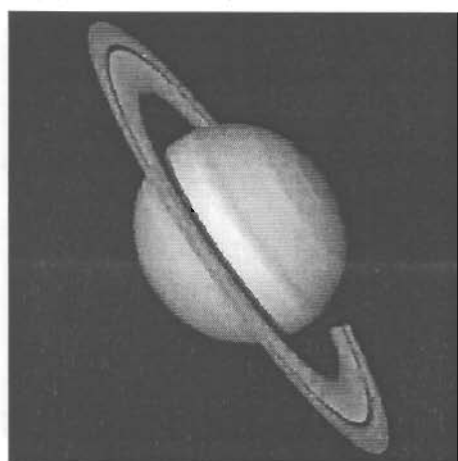
(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 38.20 dB



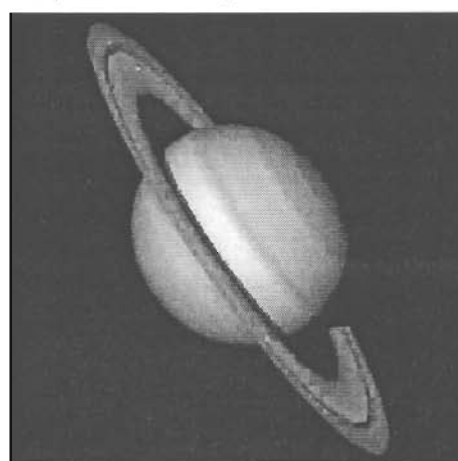
(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 37.72 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 37.07 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 35.45 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 33.63 dB

ภาพที่ ก-16 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้ของ Saturn.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 31.81 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 30.65 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 28.81 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 27.60 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 26.82 dB

ภาพที่ ก-17 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้
 ของ Goldhill.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 32.03 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 31.29 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 30.24 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 29.10 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 28.16 dB

ภาพที่ ก-18 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบโครงสร้างต้นไม้
 ของ Lena.bmp



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 28.15 dB



(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 27.87 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 27.64 dB

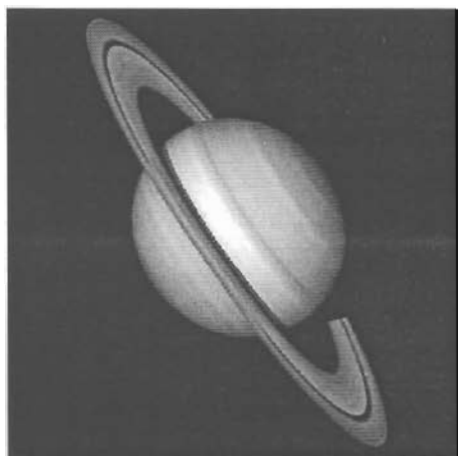


(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 27.28 dB

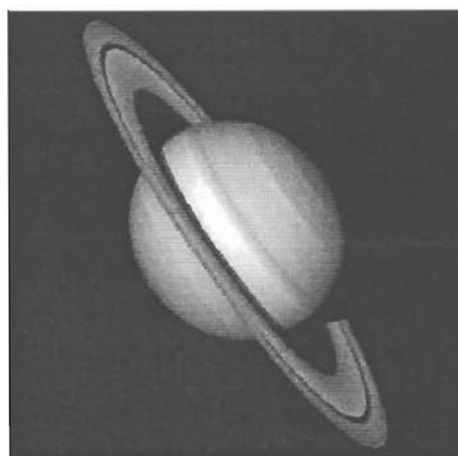


(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 27.10 dB

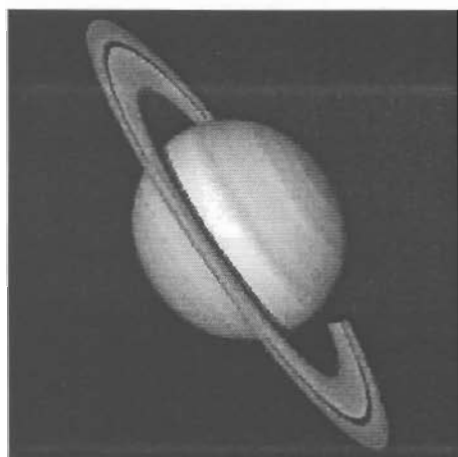
ภาพที่ ก-19 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้
 ของ Cameraman.bmp



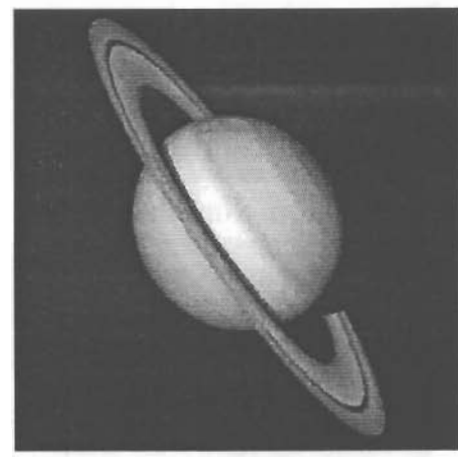
(ก) ภาพต้นฉบับ



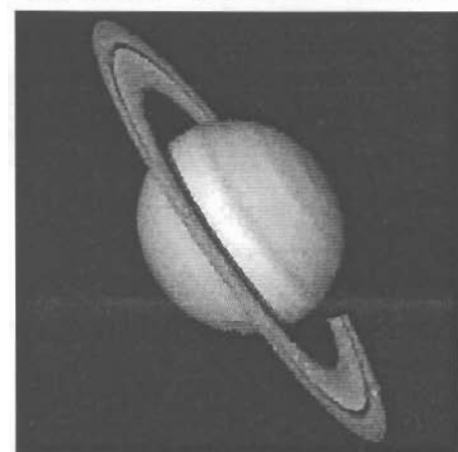
(ข) ค่าคงที่ = 0.1, PSNR = 36.71 dB



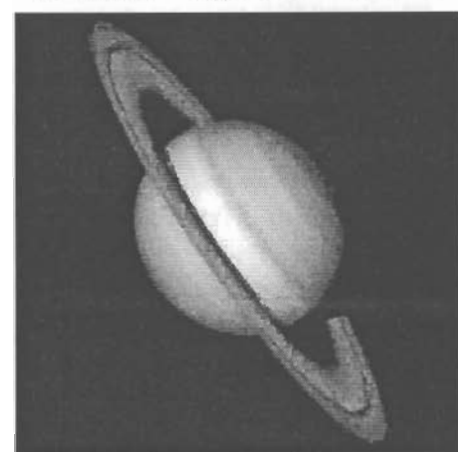
(ค) ค่าคงที่ = 0.2, PSNR = 36.18 dB



(ง) ค่าคงที่ = 0.3, PSNR = 35.73 dB



(จ) ค่าคงที่ = 0.4, PSNR = 34.00 dB



(ฉ) ค่าคงที่ = 0.5, PSNR = 32.10 dB

ภาพที่ ก-20 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบ โครงสร้างต้นไม้
 ขยง Satorn-Innap



(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 26.75 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 29.71 dB

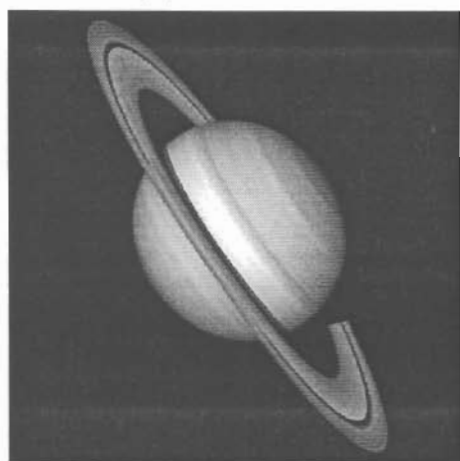
ภาพที่ ๑-21 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบเฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมตไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาดของ
 Goldhill.bmp และ Lena.bmp



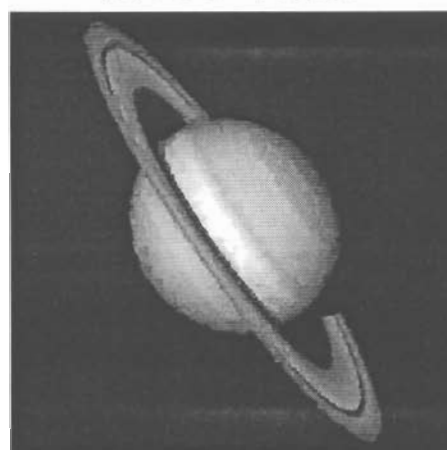
(ก) ภาพต้นฉบับ



(ข) PSNR = 27.12 dB



(ค) ภาพต้นฉบับ



(ง) PSNR = 32.81 dB

ภาพที่ ก-22 ภาพต้นฉบับและภาพผลลัพธ์จากการเข้ารหัสภาพแบบแฟรคทอลปกติร่วมกับทฤษฎี
 นอแมลไลซ์คัท การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนและแบ่งบล็อกแบบคงที่ 2 ขนาดของ
 Cameraman.bmp และ Saturn.bmp

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นางสาวมลฤดี ทิบุญมา
 ชื่อวิทยานิพนธ์ : การบีบอัดข้อมูลภาพแบบแฟรคทอลด้วยวิธีการแบ่งพื้นที่
 สาขาวิชา : เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์

ประวัติ

ประวัติส่วนตัว เกิดวันที่ 24 กรกฎาคม 2519 กรุงเทพฯ

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) แผนกวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา และระดับปริญญาตรีครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ประวัติการทำงาน ปี 2542 ทำงานในตำแหน่งอาจารย์พิเศษ ที่วิทยาลัยเทคนิคหลวงพ่อกุณปริสุทฺโธ จังหวัดนครราชสีมา ปี 2543 ทำงานในตำแหน่งอาจารย์พิเศษ ที่วิทยาลัยบริหารธุรกิจและการท่องเที่ยว นครราชสีมา ปี 2544 – 2546 ทำงานในตำแหน่งอาจารย์และผู้จัดการสาขา ที่สถาบันสอนไอน์มานาชาดิ (NIIT) สาขานครราชสีมา และปี 2546 – 2549 ทำงานในตำแหน่งผู้จัดการสาขาของบริษัทไอที ซิตี จำกัด(มหาชน)

สถานที่ติดต่อ บ้านเลขที่ 772/15-18 ถนนเบญจรงค์ ซอย 8/10 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา Email: niitkorat@hotmail.com