

การพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพ JPEG2000 บนโดเมนบีบอัด



นายนาวิน อังกระ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

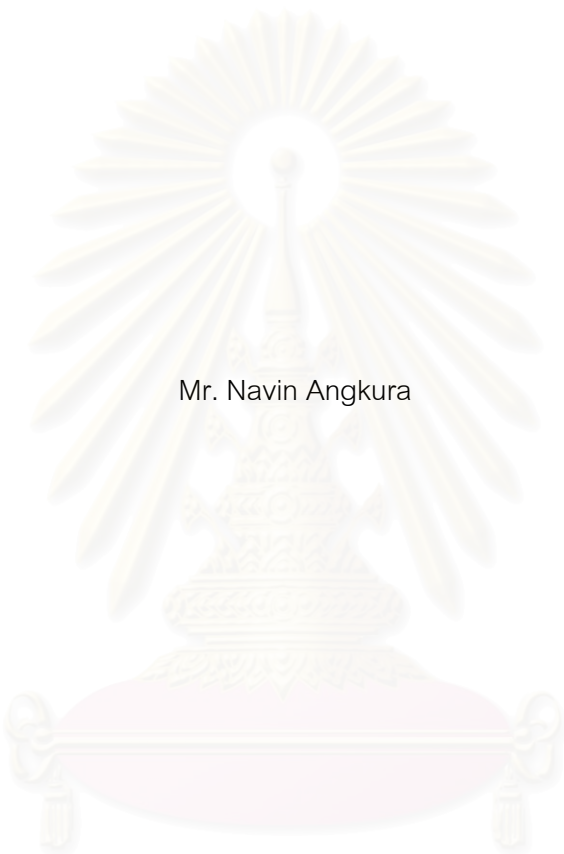
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF JPEG2000 IMAGE RETRIEVAL TECHNIQUE ON COMPRESSED DOMAIN



Mr. Navin Angkura

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

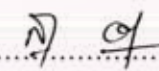
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการคืนคืนภาพ JPEG2000 บนโดเมนบีบอัด
โดย	นายนาวิน อังกระ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศุภกร สิทธิไชย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

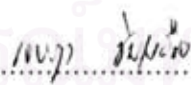

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ศุภกร สิทธิไชย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)

นาวิณ อังกระ : การพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพ JPEG2000 บนโดเมนบีบอัด.
(DEVELOPMENT OF JPEG2000 IMAGE RETRIEVAL TECHNIQUE ON COMPRESSE
DOMAIN) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ศุภกร สิทธิไชย, 191
หน้า.

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพในโดเมนบีบอัดของ
ภาพ JPEG2000 โดยอาศัยลักษณะเฉพาะทางพื้นผิวของภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต และวิเคราะห์
ลักษณะเฉพาะทางพื้นผิวของภาพด้วย การหาค่าพลังงาน การหาค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบ
เฉพาะที่ โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมของแผนที่นัยสำคัญ และเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม
จากการทดลอง สังเกตได้ว่าแต่ละเทคนิควิธีให้ประสิทธิภาพดีในการค้นคืนภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพ
เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงได้นำเสนอวิธีในการดึงลักษณะเฉพาะทางพื้นผิวแบบมีทิศทาง โดยอาศัยฉาก
บริบทจากการเข้ารหัสนัยสำคัญ จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการแยกแยะ
กลุ่มภาพที่มีพื้นผิวทิศทางที่แตกต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ได้
นำเสนอการรวมเทคนิคการค้นคืนภาพโดยใช้เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับการกำหนดบริบท เพื่อ
ปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ ซึ่งประเมินได้จากค่า ANMRR (Average
Normalized Modified Retrieval Rank) จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ
เชิงความถูกต้องในการค้นคืนภาพดีกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน โดยเทคนิคการค้นคืนภาพที่นำเสนอ
สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่จำเป็นเพื่อการพัฒนากระบวนการค้นคืนภาพต่อไป

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต..... พลอ อังกร
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ศุภกร
ปีการศึกษา.....2549..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... สุภาวดี อร่ามวิทย์

4770640921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: IMAGE RETRIEVAL / JPEG2000 / CONTEXT / WAVELET TRANSFORM / D, DISTANCE / ANMRR

NAVIN ANGKURA : DEVELOPMENT OF JPEG2000 IMAGE RETRIEVAL TECHNIQUE ON COMPRESSE DOMAIN THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUPAVADEE ARAMVITH, Ph.D., THESIS COADVISOR : SUPAKORN SIDDHICHAI, Ph.D., 191 pp.

In this thesis, several features of JPEG2000 wavelet coefficients have been investigated, including energy, variance, localization grid map, moment of significance map, histogram of significance map, and wavelet autocorrelation. From experimental results, it has been observed that each approach offers the best retrieval performance in only some of image categories. Therefore, a new method using texture directional feature from context labels of significance coding. Experimental results indicate that the proposed method can effectively differentiate and categorize images with different texture directional information. In addition, an integration of the proposed features with wavelet autocorrelogram also showed improvement in retrieval performance using ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank) measurement. The proposed techniques presented in this thesis are thus a necessary step toward the development of JPEG2000 image retrieval system.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Electrical Engineering Student's signature..... *Navin*
Field of study..... Electrical Engineering Advisor's signature..... *Supadee Aramvith*
Academic year... 2006 Co-advisor's signature..... *Supakorn Siddhichai*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.ศุภกร สิทธิไชย ซึ่งได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาและเสนอแนะให้ข้อคิดต่างๆ ในการทำวิจัย มาโดยตลอด ผู้ทำวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ

ขอขอบคุณ สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ความสนับสนุนในส่วนของคุณทุนสำหรับทำงานวิจัย ซึ่งทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยความราบรื่น รวมถึงคุณวิภาดาและคุณจันทริกา ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการติดต่อประสานงานเรื่องต่างๆ กับทางสถาบัน

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้รับแต่สิ่งดี ๆ เสมอมา ขอบพระคุณสำหรับความรัก ความห่วงใยที่ไม่เคยลดน้อยลงเลย

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคน ที่ผู้วิจัยได้รู้จักไม่ว่าจะเป็นภายในห้องปฏิบัติการรวมวิธีสัญญาณดิจิทัลหรือที่ใดก็ตาม สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจที่มีค่าทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จสิ้นได้ในที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฅ
ดัชนีคำศัพท์.....	ท
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและความเป็นมา.....	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.2.1 ระบบ QBIC (Query By Image Content)	3
1.2.2 ระบบ WebSEEK	4
1.2.3 ระบบ VisualSEEK.....	4
1.2.4 ระบบ MIT's Photobook	4
1.2.5 ระบบ BlobWorld	5
1.2.6 ระบบ NETRA	5
1.2.7 ระบบ Chabot.....	5
1.2.8 ระบบ SaFe (Spatial and Feature Query System).....	5
1.3 เทคนิคที่นำเสนอ	6
1.4 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	6
1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	6
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	7
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 ความรู้พื้นฐาน.....	8
2.1 มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000.....	8
2.1.1 การแบ่งภาพออกเป็นไทล์ (Image Tiling)	10
2.1.2 การเลื่อนระดับบิตไฟตรง (DC level Shifting)	12

2.1.3 การแปลงองค์ประกอบของสี (Color component Transform)	12
2.1.4 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete Wavelet Transformation, DWT)	14
2.1.4.1 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ	14
2.1.4.2 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2 Dimension Discrete Wavelet Transform)	18
2.1.4.3 รูปแบบการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000	20
2.1.5 การควอนไทซ์ (Quantization).....	24
2.1.6 การเข้ารหัสเน้นบริเวณที่สนใจ (Region of Interest coding, ROI).....	26
2.1.6.1 แมกซ์ชิฟท์ (Max Shift Scaling).....	27
2.1.6.2 เจเนรัลชิฟท์ (General Scaling).....	28
2.1.7 การเข้ารหัสแบบทีเยอร์วัน (Tier-1 Coding).....	28
2.1.7.1 การกำหนดบริเวณและโค้ดบล็อก (Precincts and Code block)	28
2.1.7.2 การเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy Coding).....	29
2.1.8 การเข้ารหัสเลขคณิตโดยอาศัยตัวเข้ารหัสเอ็มคิว (Arithmetic Coder, MQ-Coder)	35
2.1.9 การเข้ารหัสแบบทีเยอร์ทู (Tier2 Coding).....	36
2.1.9.1 การจัดทำกลุ่มของข้อมูล (Packetization)	36
2.1.9.2 ระดับชั้นคุณภาพ (Quality Layer).....	37
2.2 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ	38
2.2.1 การดึงลักษณะเฉพาะของภาพ	38
2.2.2 การสร้างดัชนีภาพ	39
2.2.3 การค้นคืนภาพ	39
2.2.4 การสอบถาม (Querying)	40
2.3 ลักษณะเฉพาะของภาพ	40
2.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิว	40
2.3.2 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต	41
2.3.2.1 การหาค่าพลังงาน (Energy)	41

บทที่	หน้า
2.3.2.2 การหาค่าความแปรปรวน (Variance)	42
2.3.2.3 การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (Localization Grid Map)	44
2.3.2.4 โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ (Moment of Significance Map).....	46
2.3.2.5 การสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ	50
2.3.2.6 เวฟเล็ตออโตคอรัลโลแกรม (Wavelet Autocorrelogram)	51
2.4 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Feature vector comparison).....	53
2.4.1 ระยะทาง L_1 (L_1 distance)	53
2.4.2 ระยะทาง L_2 (L_2 distance)	54
2.4.3 ระยะทาง D_1 (D_1 distance).....	54
2.4.4 ระยะทาง S_1 (S_1 distance).....	54
2.5 การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ.....	55
3 เทคนิคที่นำเสนอ	57
3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยการหาค่าพลังงาน.....	58
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยการหาค่าความแปรปรวน.....	59
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยแผนที่กริดแบบเฉพาะที่	59
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ.....	60
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยฮิสโตแกรมของแผนที่นัยสำคัญ.....	61
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยเวฟเล็ตออโตคอรัลโลแกรม.....	62
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดบริบทของการ เข้ารหัสนัยสำคัญใน JPEG2000	63
3.8 การรวมลักษณะเฉพาะ (Feature integration)	68
4 ผลการทดลอง	70
4.1 การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพโดยอาศัยการหาค่าพลังงาน จากข้อมูลการแปลงเวฟเล็ต	70
4.2 การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยอาศัยการหาค่าความ แปรปรวนของแถบย่อยเวฟเล็ต	76
4.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยวิธีการสร้างแผนที่กริด แบบเฉพาะที่จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต	80

บทที่	หน้า
4.4 การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยวิธีการหาค่าโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต	87
4.5 การทดลองที่ 5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยการสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ.....	93
4.6 การทดลองที่ 6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยอาศัยเวฟเล็ตฮอโตคออร์รีโลแกรม	98
4.7 การทดลองที่ 7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพของเทคนิคการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสนัยสำคัญของ JPEG2000.....	105
4.8 การทดลองที่ 8 ทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการค้นคืนภาพของแต่ละเทคนิคจากฐานข้อมูลภาพ.....	112
4.9 การทดลองที่ 9 ตัวอย่างการค้นคืนภาพในฐานข้อมูลด้วยภาพสอบถาม โดยอาศัยเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย การหาค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ เวฟเล็ตฮอโตคออร์รีโลแกรม และเทคนิคที่นำเสนอ (การกำหนดบริบท).....	120
4.10 การทดลองที่ 10 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน.....	137
4.11 การทดลองที่ 11 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางด้วยวิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสนัยสำคัญของ JPEG2000.....	147
4.12 สรุปการทดลอง	158
5 ผลการทดลองกรณีภาพมีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ.....	160
5.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย (Target Image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ เป็นภาพสอบถาม	160
5.2 การทดลองที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย (Target Image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ เป็นภาพสอบถาม ด้วยการรวมเทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะแบบต่างๆ	170
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	180
6.1 สรุปผลการวิจัย	180

บทที่	หน้า
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต	181
รายการอ้างอิง	182
ภาคผนวก.....	185
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....	186
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	191



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

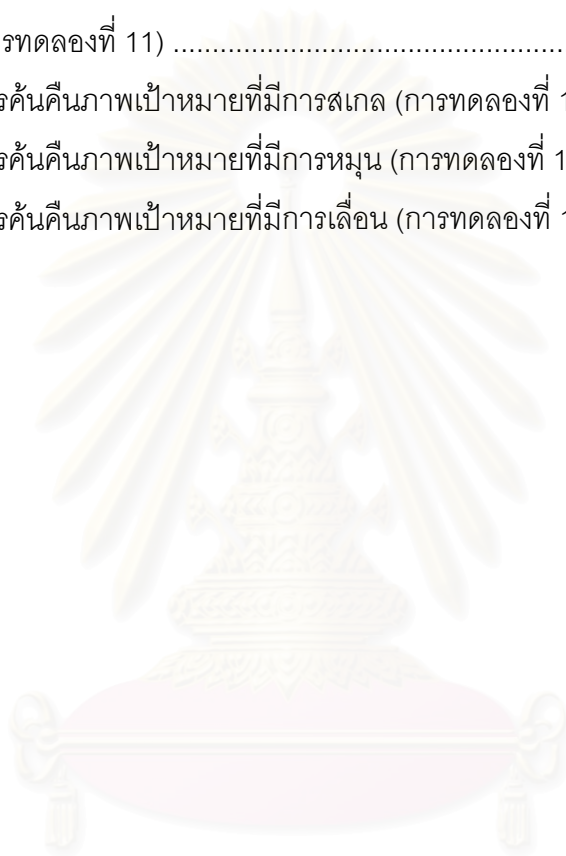
สารบัญตาราง

ฎ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ผลกระทบต่อคุณภาพของภาพจากการแบ่งขนาดของไทม์	11
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์ในการกำหนดบริบททั้ง 9 แบบ สำหรับการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญ	31
ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ในการกำหนดบริบทของการเข้ารหัสแบบคิดเครื่องหมาย	32
ตารางที่ 2.4 เกณฑ์ในการกำหนดบริบทของรีเฟนเมนท์บิต	33
ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ในการกำหนดบริบททั้ง 9 แบบ	67
ตารางที่ 4.1 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 1)	72
ตารางที่ 4.2 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 1)	73
ตารางที่ 4.3 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 2)	77
ตารางที่ 4.4 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 2)	78
ตารางที่ 4.5 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 3)	82
ตารางที่ 4.6 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 3)	83
ตารางที่ 4.7 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 4)	89
ตารางที่ 4.8 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 4)	90
ตารางที่ 4.9 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 5)	94
ตารางที่ 4.10 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 5)	95
ตารางที่ 4.11 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 6)	100
ตารางที่ 4.12 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 6)	102
ตารางที่ 4.13 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (การทดลองที่ 7)	107
ตารางที่ 4.14 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 7)	108
ตารางที่ 4.15 เวลาโดยเฉลี่ยในการประมวลผลของแต่ละวิธี	113

บทที่	หน้า
ตารางที่ 4.16 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L1/ การทดลองที่ 9)	121
ตารางที่ 4.17 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L2/ การทดลองที่ 9)	122
ตารางที่ 4.18 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ D1/ การทดลองที่ 9).....	123
ตารางที่ 4.19 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ S1/ การทดลองที่ 9)	124
ตารางที่ 4.20 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 9).....	125
ตารางที่ 4.21 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L1/ การทดลองที่ 10)	139
ตารางที่ 4.22 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L2/ การทดลองที่ 10)	140
ตารางที่ 4.23 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ D1/ การทดลองที่ 10).....	141
ตารางที่ 4.24 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ S1/ การทดลองที่ 10)	142
ตารางที่ 4.25 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม (การทดลองที่ 10).....	143
ตารางที่ 4.26 อันดับการค้นคืนภาพหลายขวาง	154
ตารางที่ 4.27 อันดับการค้นคืนภาพหลายแนวตั้ง.....	154
ตารางที่ 4.28 อันดับการค้นคืนภาพหลายแนวทแยง	154
ตารางที่ 4.29 ค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อย	156
ตารางที่ 4.30 ข้อมูลเวกเตอร์ในแต่ละแถบย่อย.....	158
ตารางที่ 5.1 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความเปรียบต่าง (การทดลองที่ 1)	162
ตารางที่ 5.2 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความส่องสว่าง (การทดลองที่ 1)	163
ตารางที่ 5.3 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (การทดลองที่ 1) ...	164
ตารางที่ 5.4 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการสเกล (การทดลองที่ 1)	166
ตารางที่ 5.5 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการหมุน (การทดลองที่ 1).....	167
ตารางที่ 5.6 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเลื่อน (การทดลองที่ 1)	167

บทที่	หน้า
ตารางที่ 5.7 ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายในแบบต่างๆ (การทดลองที่ 1)	169
ตารางที่ 5.8 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความเปรียบต่าง	171
ตารางที่ 5.9 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความส่องสว่าง	172
ตารางที่ 5.10 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (การทดลองที่ 11)	173
ตารางที่ 5.11 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการสเกล (การทดลองที่ 11)	174
ตารางที่ 5.12 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการหมุน (การทดลองที่ 11)	175
ตารางที่ 5.13 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเลื่อน (การทดลองที่ 11)	175



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังการเข้ารหัส และถอดรหัสของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000	
(ก) การเข้ารหัสของภาพ (Encoder) (ข) การถอดรหัสของภาพ (Decoder).....	9
รูปที่ 2.2 แผนผังการเข้ารหัส และถอดรหัสของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG	
(ก) การเข้ารหัสของภาพ (Encoder) (ข) การถอดรหัสของภาพ (Decoder)	9
รูปที่ 2.3 แผนภาพการแบ่งไทล์ของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000	10
รูปที่ 2.4 การบีบอัดภาพที่อัตราบิตเท่ากับ 0.25 บิตต่อจุดภาพ โดยแบ่งขนาดของไทล์ไม่เท่ากัน	
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ไม่มีการแบ่งไทล์ (ค) ภาพที่มีการแบ่งไทล์ขนาด 128 × 128 จุดภาพ (ง) ภาพที่มีการแบ่งไทล์ขนาด 64 × 64 จุดภาพ	11
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการแปลงองค์ประกอบของสีจาก RGB เป็น YCbCr	
สำหรับการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับไม่ได้	13
รูปที่ 2.6 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในช่วง ถึง สำหรับกระบวนการ	
แปลงองค์ประกอบภาพแบบผันกลับไม่ได้ (ICT)	14
รูปที่ 2.7 โครงสร้างการแปลงเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ	15
รูปที่ 2.8 การขยายสัญญาณสมมาตรเป็นคาบ โดยที่ “ABCDEFG” แทนสัญญาณข้อมูล	16
รูปที่ 2.9 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ในรูปแบบการทำงาน	
แปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ.....	18
รูปที่ 2.10 การแปลงแบบดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยมีค่าการชักตัวอย่างย่อยเท่ากับ 2.....	19
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 ระดับ	19
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตที่ระดับการแปลงเวฟเล็ต D = 3.....	20
รูปที่ 2.13 รูปแบบโครงสร้างของลิฟท์ทิงสำหรับการวิเคราะห์แถบย่อย.....	21
รูปที่ 2.14 รูปแบบโครงสร้างของลิฟท์ทิงสำหรับการสังเคราะห์แถบย่อย.....	22
รูปที่ 2.15 รูปแบบโครงสร้างแบบลิฟท์ทิงของการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับได้	24
รูปที่ 2.16 โครงสร้างของการควอนไทซ์แบบมีเขตไร้มวลของ	25
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีของการควอนไทซ์	26
รูปที่ 2.18 การขยายค่าแบบแมกซ์ชิฟท์ในพื้นที่ที่เป็น ROI	27
รูปที่ 2.19 การขยายค่าแบบเจเนรัลชิฟท์ในพื้นที่ที่เป็น ROI.....	28
รูปที่ 2.20 รูปแบบการกราดตรวจบนระนาบบิต	29
รูปที่ 2.21 บล็อกไดอแกรมการทำงานของ MQ coder.....	30

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.22 หน้าต่างบริบทสำหรับการคำนวณบริบท	31
รูปที่ 2.23 ระนาบบิตของสัมประสิทธิ์ทั้ง 4 ในโค้ดบล็อก	34
รูปที่ 2.24 การเข้ารหัสระนาบบิตของค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 4	35
รูปที่ 2.25 กลุ่มข้อมูลในหนึ่งแพ็คเกต	36
รูปที่ 2.26 องค์ประกอบใน 1 แพ็คเกตซึ่งประกอบไปด้วยแฮดเดอร์และแพ็คเกตบิต	37
รูปที่ 2.27 ชั้นคุณภาพที่ได้จากการจัดสรรบิตให้กับแต่ละโค้ดบล็อก	37
รูปที่ 2.28 โครงสร้างของระบบคั่นคั่นภาพที่มีการบีบอัด	38
รูปที่ 2.29 การดึงข้อมูลการแปลงเวฟเล็ตจากฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัส JPEG2000	39
รูปที่ 2.30 เซตข้อมูลของ Z	42
รูปที่ 2.31 รูปแบบการแบ่งถึงเก็บค่าของฮีสโตแกรม	51
รูปที่ 2.32 การแบ่งจำนวนถึงเก็บค่าสำหรับระดับการแปลงเวฟเล็ตทั้ง 3 ระดับ	52
รูปที่ 2.33 ตัวอย่างการพิจารณาจุดภาพที่ระยะ ไตๆ ของแถบย่อย LH	53
รูปที่ 3.1 การแบ่งจำนวนถึงเก็บค่าสำหรับระดับการแปลงเวฟเล็ตทั้ง 3 ระดับ	63
รูปที่ 3.2 หน้าต่างบริบทสำหรับการคำนวณบริบท	66
รูปที่ 4.1 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยเทคนิคการหาค่าพลังงาน	73
รูปที่ 4.2 ผลการคั่นคั่นภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 1)	75
รูปที่ 4.3 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยเทคนิควิธีการหาค่าความแปรปรวน	78
รูปที่ 4.4 ผลการคั่นคั่นภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 2)	80
รูปที่ 4.5 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_1 (การทดลองที่ 3)	83
รูปที่ 4.6 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_2 (การทดลองที่ 3)	84
รูปที่ 4.7 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ D_1 (การทดลองที่ 3)	84
รูปที่ 4.8 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ S_1 (การทดลองที่ 3)	85

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.9 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 3).....	87
รูปที่ 4.10 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยการหาค่าโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ.....	90
รูปที่ 4.11 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 4).....	92
รูปที่ 4.12 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ	95
รูปที่ 4.13 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 5).....	97
รูปที่ 4.14 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 6)	104
รูปที่ 4.15 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_1 (การทดลองที่ 7)	108
รูปที่ 4.16 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_2 (การทดลองที่ 7)	109
รูปที่ 4.17 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ D_1 (การทดลองที่ 7)	109
รูปที่ 4.18 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ S_1 (การทดลองที่ 7)	110
รูปที่ 4.19 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 7)	112
รูปที่ 4.20 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ L_1 (การทดลองที่ 9).....	125
รูปที่ 4.21 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ L_2 (การทดลองที่ 9).....	126
รูปที่ 4.22 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ D_1 (การทดลองที่ 9)	126
รูปที่ 4.23 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ S_1 (การทดลองที่ 9).....	127
รูปที่ 4.24 ผลการค้นคืนภาพพร้อมด้วยวิธีต่างๆ (ก) พลังงาน (ข) ความแปรปรวน (ค) แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ง) โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ (จ) ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ (ฉ) เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม (ช) การกำหนดบริบท (เทคนิคที่นำเสนอ)	130

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.25 ผลการค้นคืนภาพเสื่อด้วยวิธีต่างๆ (ก) พลังงาน (ข) ความแปรปรวน (ค) แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ (ง) โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ (จ) ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ (ฉ) เวฟเล็ตออกโตคอรีโโลแกรม (ช) การกำหนดบริบท (เทคนิคที่นำเสนอ)	133
รูปที่ 4.26 ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยวิธีต่างๆ (ก) พลังงาน (ข) ความแปรปรวน (ค) แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ (ง) โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ (จ) ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ (ฉ) เวฟเล็ตออกโตคอรีโโลแกรม (ช) การกำหนดบริบท (เทคนิคที่นำเสนอ)	136
รูปที่ 4.27 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอรีโโลแกรม	144
รูปที่ 4.28 ผลการค้นคืนภาพเสื่อด้วยการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอรีโโลแกรม	144
รูปที่ 4.29 ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอรีโโลแกรม	144
รูปที่ 4.30 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5 (การทดลองที่ 11)	146
รูปที่ 4.31 ตัวอย่างฐานข้อมูลภาพพื้นผิว.....	148
รูปที่ 4.32 ตัวอย่างภาพพื้นผิวลายแนวขวางหลังผ่านการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ก) ภาพพื้นผิวลายขวาง (ข) ข้อมูลเวฟเล็ตของภาพ (ค) ข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนที่กริด	149
รูปที่ 4.33 ตัวอย่างภาพพื้นผิวลายแนวตั้งหลังผ่านการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ก) ภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง (ข) ข้อมูลเวฟเล็ตของภาพ (ค) ข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนที่กริด	149
รูปที่ 4.34 ตัวอย่างภาพพื้นผิวลายแนวทแยงหลังผ่านการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ก) ภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง (ข) ข้อมูลเวฟเล็ตของภาพ (ค) ข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนที่กริด	150
รูปที่ 4.35 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวลายขวาง (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3	151
รูปที่ 4.36 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวลายแนวตั้ง (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3	152
รูปที่ 4.37 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวลายแนวทแยง (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3	153

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.38 ตัวอย่างข้อมูลเวฟเล็ตของภาพพื้นผิวลายแนวขวางที่คั่นคั้นได้	
(ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพที่คั่นคั้นได้อันดับ 2	155
รูปที่ 4.39 ผลลัพธ์ของข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่	
(ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพที่ถูกคั่นคั้น.....	157
รูปที่ 4.40 ภาพที่ถูกคั่นคั้นได้อันดับที่ 2 ของการคั่นคั้นด้วยวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่	
(ก) ภาพที่ถูกคั่นคั้น (ข) ภาพเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่	157
รูปที่ 5.1 ภาพที่มีความเปรียบเทียบต่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย	
(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2	162
รูปที่ 5.2 ภาพที่มีความส่องสว่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย	
(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2	163
รูปที่ 5.3 ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (ก) ภาพเป้าหมาย	
(ข) ภาพสอบถาม	164
รูปที่ 5.4 ภาพที่มีการสเกล (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) ภาพสอบถาม	165
รูปที่ 5.5 ภาพที่มีการหมุนของวัตถุแบบไม่มีพื้นหลัง (ก) ภาพเป้าหมาย	
(ข) ภาพสอบถาม	165
รูปที่ 5.6 ภาพที่มีการเลื่อนไปของวัตถุ (ก) ภาพเป้าหมาย	
(ข) ภาพสอบถาม	166

Analysis kernels	เคอร์เนลวิเคราะห์
Arithmetic coding	การเข้ารหัสเลขคณิต
Bandwidth	แบนด์วิดท์
bin	ถังสี
bit	บิต
Bit plane	ระนาบบิต
Bit stream	กระแสบิต, สายบิต
Brightness	ความส่องสว่าง
Buffer	บัฟเฟอร์
Central Moment	โมเมนต์ศูนย์กลาง
Centroid	เซนทรอยด์
Code block	โค้ดบล็อก
Code stream	สายรหัส
Coefficients	สัมประสิทธิ์
Color Component Transform	การแปลงองค์ประกอบสี
Compressed domain	โดเมนบีบอัด
Context	บริบท
Context Window	หน้าต่างบริบท
Contrast	ความเปรียบเทียบ
Convolution	สังวัตนาการ, คอนโวลูชัน
Correlation	สหสัมพันธ์
D_1 distance	ระยะทาง D_1
DC level shifting	การเลื่อนระดับบิตไฟตรง
Decoder	ตัวถอดรหัส
Decomposition	การแตกองค์ประกอบ
Discrete Wavelet Transform	การแปลงดีสครีตเวฟเล็ต
Encoder	ตัวเข้ารหัส
Energy	พลังงาน

Entropy	เอนโทรปี
Feature	ลักษณะเฉพาะ
Feature integration	การรวมลักษณะเฉพาะ
Feature vector comparison	การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
High pass filter	ตัวกรองความถี่สูงผ่าน
Histogram	ฮิสโตแกรม
Image Index	ดัชนีภาพ
Image Retrieval	การค้นคืนภาพ
Interval	อินตรัภาค
L_1 distance	ระยะทาง L_1
L_2 distance	ระยะทาง L_2
Lifting	ลิฟท์ทิง
Localization grid map	แผนที่กริดแบบเฉพาะที่
Low pass filter	ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน
Mapping	การส่งจุด
Moment	โมเมนต์
Multiresolution	ความละเอียดหลายระดับ
Normalization	การทำให้เป็นบรรทัดฐาน
Nyquist Frequency	ความถี่ไนควิสต์
Offset	ออฟเซต
Packet	แพคเกจ
Packet header	แพคเกจเฮดเดอร์
Parity	ภาวะคู่หรือคี่
Precinct	การกำหนดบริเวณ
Progressive Transmission	การส่งแบบก้าวหน้า
Prototype research system	ระบบเชิงวิจัยต้นแบบ
Quantization	การควอนไทซ์
Query image	ภาพสอบถาม
Random Access	การเข้าถึงโดยสุ่ม

Rotate	การหมุน
S_1 Distance	ระยะทาง S_1
Scale	สเกล
Shift	การเลื่อน
Significance map encoding	การเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ
Subband	แถบย่อย
Sub-sampling	การซัดตัวอย่างย่อย
Symmetric Extension	การขยายแบบสมมาตร
Synthesis Kernels	เคอร์เนลสังเคราะห์
Texture	พื้นผิว
Texture Vector	เวกเตอร์พื้นผิว
Threshold	ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน
Tier1 coding	การเข้ารหัสทีเออร์วัน
Tier2 coding	การเข้ารหัสทีเออร์ทู
Tiling	การแบ่งไทล์
Uncompressed Domain	โดเมนที่ไม่มีการบีบอัด
Variance	ความแปรปรวน
Wavelet Autocorrelogram	เวฟเล็ตออโตคอร์รีโลแกรม
Wavelet Kernels	เวฟเล็ตเคอร์เนล
Wavelet transforms	การแปลงเวฟเล็ต

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและความเป็นมา

ในปัจจุบันวิธีการค้นหาข้อมูลภาพในคอมพิวเตอร์ยังต้องอาศัยการค้นหาด้วยตนเอง หรือใช้ชื่อไฟล์ภาพ (file name) เป็นคำสำคัญในการค้นหา หรือใช้คำอธิบายเกี่ยวกับรูปภาพ (image caption) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ใช่ลักษณะเฉพาะของภาพจริง ๆ ทำให้ไม่ได้รับความสะดวกในกรณีที่ต้องการค้นหาภาพที่เหมือนหรือคล้ายกับภาพที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อความสะดวกต่อการค้นคืนภาพ จำต้องมีการพัฒนาระบบค้นคืนภาพขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ในการค้นหาภาพในฐานข้อมูลภาพดิจิทัลที่มีจำนวนมาก ในอดีตได้มีการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพซึ่งสามารถใช้งานได้แต่กับเฉพาะภาพที่ไม่ได้ผ่านการบีบอัดเท่านั้น แต่ในปัจจุบันข้อมูลภาพโดยส่วนใหญ่เป็นภาพที่ผ่านการบีบอัด เพราะว่าขนาดของข้อมูลภาพของภาพที่ไม่ได้มีการบีบอัดนั้นมีขนาดใหญ่ ทำให้เปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บมาก จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการบีบอัดภาพขึ้นอยู่หลากหลาย แต่มีมาตรฐานอยู่แบบหนึ่งที่ได้รับการนิยมนิยมและเป็นที่ยอมรับกันดีก็คือ มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG (Joint Photographic Experts Groups)

สำหรับมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG มีประสิทธิภาพการบีบอัดภาพอยู่ในเกณฑ์ดี และยังสามารถช่วยลดขนาดของไฟล์ข้อมูลภาพได้มาก แต่ในกรณีที่ภาพถูกบีบอัดที่อัตราบิดต่ำ ความเพี้ยนที่เกิดขึ้นจะเห็นได้เด่นชัด โดยจะเห็นภาพมีลักษณะเป็นบล็อกๆ หรือเรียกว่าการเกิดบล็อกเทียม (Blocking Artifact) และก็ยังข้อจำกัดบางประการอยู่ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนารูปแบบมาตรฐานการบีบอัดภาพขึ้นมาใหม่ ด้วยความร่วมมือกันระหว่างองค์กร ISO/IEC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) และ ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunication Sector) ในการกำหนดขั้นตอนและวิธีในการประมวลผลสัญญาณภาพ รวมทั้งกำหนดลักษณะ (Feature) ให้มีความหลากหลายกับการนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพการบีบอัดสูง รองรับภาพที่มีขนาดใหญ่ถึง การส่งภาพแบบก้าวหน้า (Progressive Transmission) ความสามารถในการเข้าถึงโดยสุ่ม (Random Access) และการเข้ารหัสเน้นบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) เป็นต้น โดยมาตรฐานแบบใหม่นี้กำหนดให้มีชื่อว่มาตรฐานการบีบอัดภาพ

แบบ JPEG2000 [1-4] ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจอย่างมากอยู่ในขณะนี้ และในอนาคตอันใกล้นี้คาดว่าจะมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีงานวิจัยในการพัฒนาเทคนิคการคืนคุณภาพที่สามารถรองรับภาพที่ผ่านการบีบอัดด้วยมาตรฐานบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 มากขึ้น

โดยทั่วไประบบการคืนคุณภาพ นิยมใช้ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพทางสี (Color) รูปร่าง (Shape) และพื้นผิว (Texture) [12] เป็นตัวแทนในการอธิบายลักษณะเฉพาะของภาพ สำหรับระบบการคืนคุณภาพของภาพที่มีการบีบอัด ถ้าต้องการลักษณะเฉพาะของภาพทางสี หรือรูปร่าง จำเป็นต้องมีการถอดรหัสกลับมาทั้งหมดเสียก่อน ทำให้ไม่ได้รับความสะดวก เพราะนอกจากจะเสียเวลาถอดรหัสภาพทั้งหมดแล้ว ยังต้องเสียเวลาในกรรมวิธีประมวลผลภาพอีกด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการพัฒนาระบบการคืนคุณภาพบนโดเมนบีบอัดขึ้น (Compressed domain) สำหรับภาพ JPEG2000 อาศัยการแปลงเวฟเล็ต (Wavelet transform) สำหรับการเปลี่ยนโดเมน (Domain) ทำให้สามารถที่จะอาศัยข้อมูลพื้นผิวที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตของภาพ โดยสามารถดึงข้อมูลได้โดยตรงจากบัฟเฟอร์ (Buffer) บนโดเมนบีบอัด อีกทั้งยังสามารถอาศัยข้อมูลที่บรรจุอยู่ในแพ็คเกจ (Packet) ได้อีกด้วย ดังนั้นระบบการคืนคุณภาพ JPEG2000 สามารถกระทำการดึงข้อมูลได้โดยตรงจากโดเมนบีบอัด โดยอาศัยลักษณะเฉพาะทางพื้นผิวของภาพ และหรืออาศัยข้อมูลในส่วนอื่นๆ ที่อยู่ในโดเมนบีบอัดได้อีกด้วย

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการคืนคุณภาพบนโดเมนบีบอัด สำหรับภาพบีบอัดแบบ JPEG2000 ได้เริ่มมีการพัฒนาอยู่ต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยโดยส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพทางพื้นผิวที่ได้จากข้อมูลการแปลงเวฟเล็ตที่มาจากฝั่งถอดรหัสภาพ JPEG2000 และในบางงานวิจัยอาศัยข้อมูลจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ (Packet header) ของสายรหัสข้อมูล (Code stream) เนื่องจาก JPEG2000 ใช้การแปลงเวฟเล็ต ทำให้สามารถที่จะนำงานวิจัยที่เกี่ยวกับการคืนคุณภาพโดยอาศัยข้อมูลเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบการคืนคุณภาพ JPEG2000 ได้

เทคนิคการคืนคุณภาพ JPEG2000 หรือเทคนิคการคืนคุณภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับภาพ JPEG2000 ได้ ที่ซึ่งอาศัยลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพทางพื้นผิว ซึ่งได้มาจากการแปลงเวฟเล็ต ได้แก่ การหาค่าพลังงาน (Energy) [14], [17] เป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และปราศจากบัฟเฟอร์เก็บค่าข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ส่งผลให้มีความรวดเร็วในการคืนคุณภาพ การหาค่าความแปรปรวน (Variance) [15] เป็นวิธีที่ง่าย คำนวณไม่ซับซ้อนมาก สามารถอธิบายการกระจายตัวของข้อมูลเวฟเล็ตได้ และปราศจากบัฟเฟอร์เก็บค่าข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต

ในงานวิจัย [16] อาศัยคุณสมบัติการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ (Significance map encoding) มาสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (Localization grid map) ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญในแต่ละแถบย่อย (Subband) ในงานวิจัย [17] อาศัยการรวมเทคนิคการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะจากการหาค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อย และโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ (Moment of significant map) ทำให้มีคุณสมบัติในการทนทานต่อการเลือน การสเกล และการหมุน ของวัตถุในภาพ สำหรับงานวิจัย [19] อาศัยการหาค่าฮิสโตแกรม (Histogram) จากแผนที่นัยสำคัญ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และมีการคำนวณไม่ซับซ้อน และสามารถอธิบายการกระจายตัวของข้อมูลสำคัญในแต่ละถึงเก็บค่าได้ (bin) และสำหรับในงานวิจัย [20-22] อาศัยเวฟเล็ตออโตคอร์รีโลแกรม (Wavelet Autocorrelogram) ในการอธิบายสหสัมพันธ์ (Correlation) ของข้อมูลเวฟเล็ตในทิศทางต่างๆ และมีความรวดเร็วในการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

สำหรับบางตัวอย่างของเทคนิคการค้นคืนภาพที่อาศัยข้อมูลจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ ได้แก่ ในงานวิจัย [23] อาศัยข้อมูลของจำนวนระนาบบิต (Bit plane) ในโค้ดบล็อก (Code block) ซึ่งได้มาโดยตรงจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ สำหรับเวกเตอร์การค้นคืนที่นำมาใช้สร้างเป็นดัชนีของภาพ (Image Index) ประกอบไปด้วยความแปรปรวนและค่าเฉลี่ย (Mean) ของระนาบบิตที่ถูกเลือกจากโค้ดบล็อก และสำหรับในงานวิจัย [24] ได้นำเสนอการใช้สารบัญข้อมูล (Information Content) ของแถบย่อยเวฟเล็ต ซึ่งกำหนดได้จากจำนวนบิตข้อมูลที่ใช้ในการเข้ารหัสในแต่ละแถบย่อย สำหรับสารบัญข้อมูลของแถบย่อย ได้โดยตรงมาจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ของสายรหัสข้อมูล JPEG2000 สารบัญข้อมูลสามารถใช้อธิบายคุณลักษณะทางพื้นผิวได้ เช่น การปรับทิศทางของพื้นผิว (Texture Orientation) และ ความหยาบของพื้นผิว (Texture Coarseness) ซึ่งในงานวิจัยทั้ง 2 นี้ กระทำโดยตรงบนแพ็คเกจเฮดเดอร์ของสายรหัสข้อมูล JPEG2000 โดยปราศจากการถอดรหัสใดๆ ทำให้มีความรวดเร็วในการค้นคืนภาพ

ปัจจุบันได้มีการคิดค้นและพัฒนาระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพกันอย่างแพร่หลาย ทั้งที่เป็นระบบเชิงพาณิชย์ และระบบเชิงวิจัยต้นแบบ (Prototype research system) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงบางระบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1.2.1 ระบบ QBIC (Query By Image Content)

ระบบ QBIC [12] เป็นระบบเชิงพาณิชย์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท IBM สามารถรองรับการใช้งานในระบบที่มีฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้ และสนับสนุนการสอบถาม (query)

ทั้งแบบที่ใช้ลักษณะเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง และแบบที่ใช้ลักษณะเฉพาะหลายอย่างร่วมกัน โดยลักษณะเฉพาะที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี, รูปร่างและพื้นผิว ดังนี้

- สี พิจารณาจากการกระจายของสีภายในภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมของสี
- รูปร่าง วิเคราะห์จากลักษณะของพื้นที่, ความโค้งเป็นวง (circularity), ความเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity) และทิศทางหรือตำแหน่งของแกนเอก (major axis orientation)
- พื้นผิว วิเคราะห์จากความหยาบ (coarseness), ความเปรียบต่าง (contrast) และทิศทาง (directionality)

1.2.2 ระบบ WebSEEK

ระบบ WebSEEK [12], [13] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ซึ่งเป็นระบบค้นคืนภาพและ วิดีทัศน์ด้วยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้งานบนเว็บ (World Wide Web) โดยลักษณะเฉพาะของ ภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี (ฮิสโตแกรมของสี) ผังเชิงพื้นที่ (spatial layout) และพื้นผิวนอกจากนี้ยังสนับสนุนการป้อนกลับจากผู้ใช้ (relevance feedback) เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพและวิดีโอให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

1.2.3 ระบบ VisualSEEK

ระบบ VisualSEEK [12], [13] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบอีกระบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย โดย ลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี และตำแหน่งเชิงพื้นที่ (spatial location) ของ บริเวณสี (color region) ซึ่งสามารถใช้ในการสอบถามได้หลายวิธี เช่น การระบุสี ขนาดหรือผังเชิง พื้นที่ของบริเวณสี โดยผู้ใช้สามารถร่างแบบภาพเพื่อใช้ในการสอบถามได้ จากนั้นระบบจะทำการค้นคืนภาพที่มีการจัดเรียงบริเวณสีคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา

1.2.4 ระบบ MIT's Photobook

ระบบ MIT's Photobook [12], [13] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการสื่อเทคโนโลยีแห่งสถาบันแมสซาชูเซตส์ (The Massachusetts Institute of Technology Media Laboratory) มีการใช้เครื่องมือเชิงโต้ตอบ (interactive tool) ซึ่งได้รับการ

ออกแบบมาเพื่อใช้ในการค้นหา (browsing) และค้นคืนภาพและวีดิทัศน์ โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี รูปร่างและพื้นผิว

1.2.5 ระบบ BlobWorld

ระบบ BlobWorld [12], [13] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย, เบิร์กลีย์ (The University of California, Berkeley) ระบบสามารถแยกส่วนภาพแต่ละภาพออกเป็นบริเวณหลาย ๆ บริเวณ ซึ่งสมนัย (correspond) โดยประมาณกับวัตถุหรือส่วนต่าง ๆ ของวัตถุภายในภาพนั้น โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี รูปร่าง และพื้นผิว

1.2.6 ระบบ NETRA

ระบบ NETRA [12], [13] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (University of California Santa Barbara) สนับสนุนการใช้สี, รูปร่าง, ผังเชิงพื้นที่ และพื้นผิวเป็นลักษณะเฉพาะของภาพในการแยกส่วนบริเวณภาพเพื่อใช้ในการค้นหาและค้นคืนภาพที่ต้องการจากฐานข้อมูลภาพ

1.2.7 ระบบ Chabot

ระบบ Chabot [12], [13] เป็นระบบค้นคืนภาพที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย, เบิร์กลีย์ (The University of California, Berkeley) มีการใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational DataBase Management System : RDBMS) ในการจัดเก็บและจัดการภาพในฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานสำหรับฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบ คือ ฮิสโตแกรมของสี การพัฒนาระบบ Chabot นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้ง่ายยิ่งขึ้น สามารถจัดเก็บฐานข้อมูลภาพที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มความยืดหยุ่นสำหรับวิธีการสอบถาม

1.2.8 ระบบ SaFe (Spatial and Feature Query System)

ระบบ SaFe [12], [13] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ระบบจะทำการค้นหาและเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพโดยใช้การจัดเรียงเชิงพื้นที่ของวัตถุหรือบริเวณภายในภาพ ซึ่ง

ผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ ขนาดและสีของวัตถุ หรือบริเวณแต่ละส่วนภายในภาพเพื่อใช้ในการสอบถามได้

นอกเหนือจากระบบที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีอีกหลายระบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้น เช่น ระบบ CANDID (Comparison Algorithm for Navigating Digital Image Database), ระบบ Circus (Content-based Image Retrieval and Consultation User-centered System), ระบบ ImageRETRO, ระบบ ImageRover, ระบบ ImageScape, ระบบ MARS (Multimedia Analysis and Retrieval System), ระบบ PicToSeek, ระบบ SQUID (Shape Queries Using Image Databases), ระบบ Surf Image และระบบ Viper (Visual Information Processing for Enhanced Retrieval) เป็นต้น [13]

1.3 เทคนิคที่นำเสนอ

การค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งนั้น จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพเท่านั้น เนื่องจากมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพแต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะคล้ายกันก็มากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีมาใช้ร่วมกัน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอประกอบด้วยวิธีการกำหนดบริบท (Context) และเวฟเล็ตออกโตคอรีโกลแกรม

1.4 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อพัฒนาเทคนิควิธีการค้นคืนของภาพที่ผ่านการบีบอัดด้วยมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 ซึ่งกระทำโดยตรงบนโดเมนการบีบอัด โดยอาศัยข้อมูลการแปลงเวฟเล็ตที่ได้จากฝั่งถอดรหัสภาพ JPEG2000 เพื่อความรวดเร็วในการค้นคืนภาพที่มีฐานข้อมูลภาพบีบอัดขนาดใหญ่

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ออกแบบและพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลที่มีการบีบอัดด้วยมาตรฐาน JPEG2000 โดยมุ่งเน้นไปในส่วนของการดึงลักษณะเฉพาะจากโดเมนการบีบอัด ด้วยลักษณะเฉพาะของภาพซึ่งประกอบไปด้วยการกำหนดบริบท และเวฟเล็ตออกโตคอรีโกลแกรม โดยใช้ฐานข้อมูลภาพจำนวน

1000 ภาพ และใช้ระยะทาง D_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ โดยวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank)

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับภาพรวมของระบบการค้นคืนภาพเพื่อได้แนวคิดโดยรวมของงานวิจัย
- 2) ศึกษารายละเอียดและทำความเข้าใจในกระบวนการของการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000
- 3) ศึกษาและค้นคว้าหาบทความที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนภาพในโดเมนการบีบอัดที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาพที่มีการบีบอัดด้วยมาตรฐาน JPEG2000 ได้
- 4) ทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ การเปรียบเทียบเวกเตอร์ในระบบต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละวิธี
- 5) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น
- 6) สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์
- 7) นำเทคนิควิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพมารวมกัน และทดลองผล เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ เพื่อให้ประสิทธิภาพของการค้นคืนภาพดีที่สุด
- 8) สรุปและวิเคราะห์ผลที่ได้ และทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการค้นคืนภาพ
2. เข้าใจในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000
3. สามารถนำเทคนิคที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นไปใช้ในงานวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. สามารถนำเทคนิคที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
5. สามารถที่จะเผยแพร่ให้เป็นคุณประโยชน์กับผู้สนใจงานวิจัยทางด้านการค้นคืนภาพ

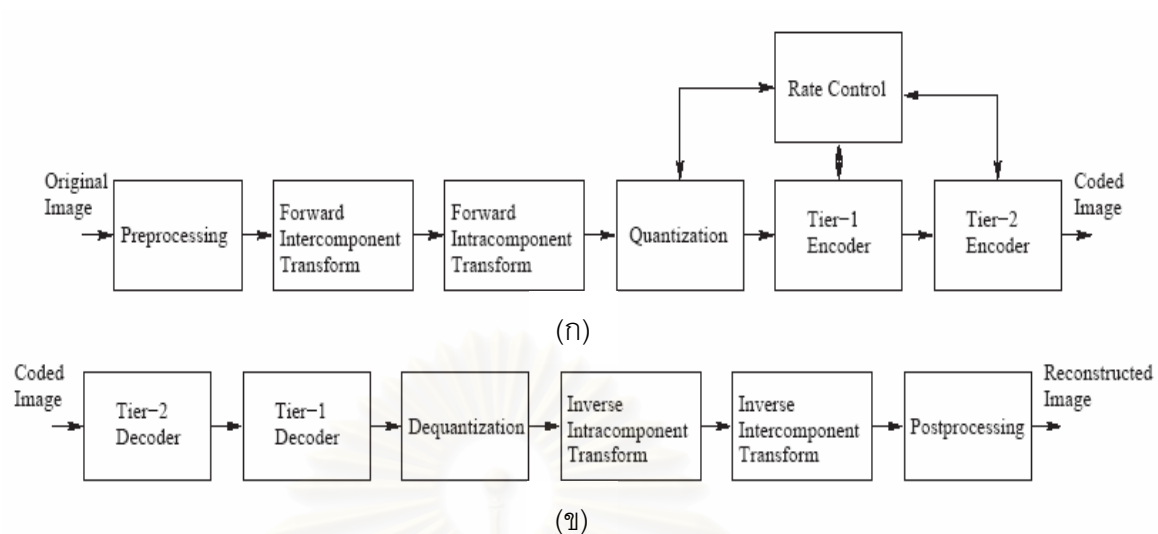
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ได้แก่ มาตรฐานการบีบอัดภาพ JPEG2000, โครงสร้างของระบบคั่นคั้นภาพที่มีการบีบอัด, ลักษณะเฉพาะของภาพทางพื้นผิว, การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการคั่นคั้นภาพ

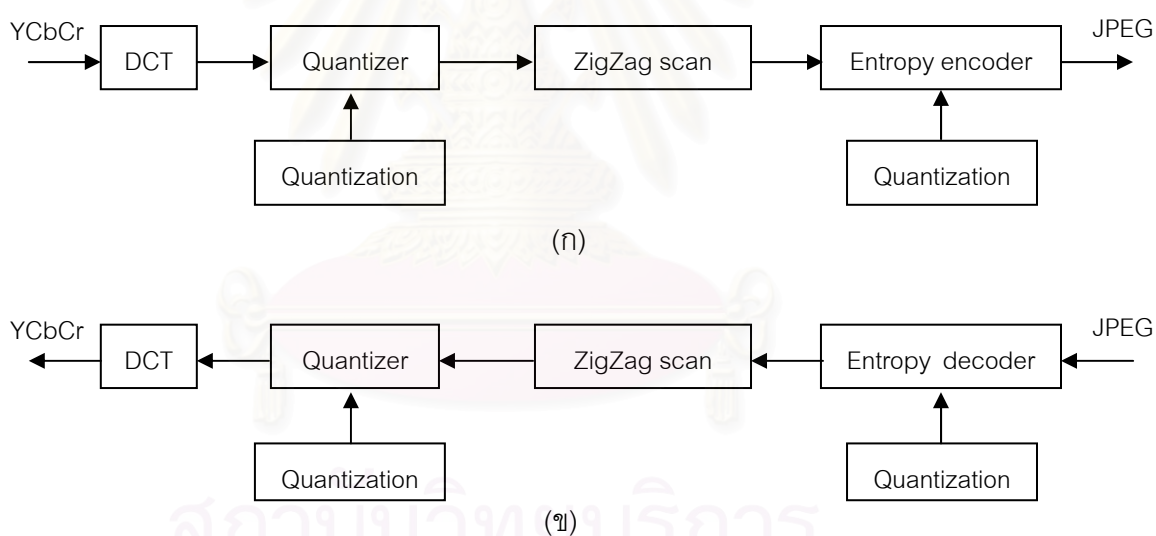
2.1 มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000

รูปแบบกระบวนการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 กำหนดโดย ISO/ITU-T ซึ่งมีความแตกต่างไปจากมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG โดยขั้นตอนการบีบอัดภาพแบบ JPEG [1], [25] มีขั้นตอนดังนี้ (แสดงอยู่ในรูปที่ 2.2) เริ่มจากการแปลงบล็อกดีสครีตโคไซน์ (Block Discrete Cosine Transform, BDCT) แบบ 2 มิติ จากนั้นทำการควอนไทซ์ ต่อมาเป็นการจัดเรียงข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการเข้ารหัสเอนโทรปี โดยจะทำเรียงรหัสข้อมูลแบบซิกแซก (Zigzag) และสุดท้ายจะเป็นการเข้ารหัสเอนโทรปี โดยที่มาตรฐาน JPEG นั้นจะอาศัยการเข้ารหัสฮัฟแมน (Huffman coding) ผลที่ได้ยังมีข้อจำกัดอยู่เพราะในการเข้ารหัสแบบบล็อกดีสครีตโคไซน์ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลภาพทำให้การบีบอัดภาพที่อัตราบิตต่ำจะทำให้ภาพเกิดบล็อกเทียม (Blocking Artifact) ด้วยเหตุนี้ทำให้ ISO/ITU-T ได้พัฒนาการบีบอัดภาพแบบใหม่ขึ้น เรียกว่า มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 โดยมีความแตกต่างจาก JPEG ดังนี้ ใน JPEG2000 นั้นจะอาศัยการแปลงแบบบล็อกดีสครีตเวฟเล็ต (Block Discrete Wavelet Transform, BDWT) แทนการแปลงแบบบล็อกดีสครีตโคไซน์ และในส่วนของขั้นตอนการจัดเรียงค่าสัมประสิทธิ์จะพิจารณาให้เป็นระนาบบิต (Bit plane) โดยให้พิจารณาส่วนที่เป็นนัยสำคัญสูง (Most significant bit) ไปสู่นัยสำคัญต่ำ (Least significant bit) และขั้นตอนในการจัดเรียงข้อมูลโดยอาศัยวิธี Embedded block coding with optimized truncation (EBCOT) [1], [9] ก็เพื่อความเหมาะสมสำหรับการเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy) โดยอาศัยการเข้ารหัสเลขคณิต (Arithmetic Coding)



รูปที่ 2.1 แผนผังการเข้ารหัส และถอดรหัสของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000

(ก) ตัวเข้ารหัสของภาพ (Encoder) (ข) ตัวถอดรหัสของภาพ (Decoder) [7]



รูปที่ 2.2 แผนผังการเข้ารหัส และถอดรหัสของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG

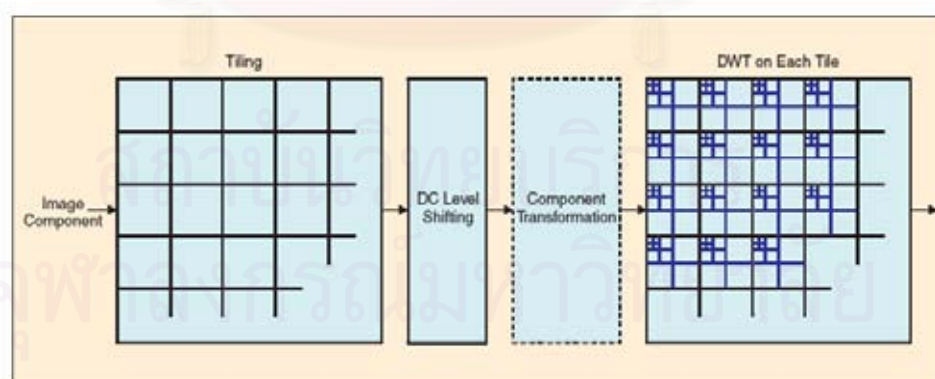
(ก) การเข้ารหัสของภาพ (Encoder) (ข) การถอดรหัสของภาพ (Decoder) [25]

จากรูปที่ 2.1 ภาพรวมของกระบวนการทั้งหมดของการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 [1-7] มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ เริ่มแรกจะทำการแบ่งภาพออกเป็นสัดส่วนย่อยๆ (Image Tiling) ซึ่งจะทำให้การแบ่งภาพออกเป็นสี่เหลี่ยมๆ คล้ายกับกระเบื้องหลายๆ แผ่นวางเรียงกัน และขั้นตอนต่อไปเป็นการทำการเลื่อนระดับบิตไฟตรง (DC level shifting) ถัดมาจะเป็นการแปลงองค์ประกอบของสี (Color Component Transform) หรือ Intercomponent Transform และในส่วนต่อไปจะประกอบ

ไปด้วยการแปลงดีสครีตเวฟเล็ต (Discrete Wavelet Transform, DWT) หรือ การแปลงองค์ประกอบภายใน (Intracomponent Transform) ถัดมาคือ การควอนไทซ์ (Quantization) และเทียร์วัน (Tier1) กับเทียร์ทู (Tier2) ซึ่งในส่วนของเทียร์วัน จะเกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสระนาบบิต (Bit plane coding) และการเข้ารหัสเอนโทรปี โดยอาศัยการเข้ารหัสเลขคณิต แบบ MQ coder และในส่วนตัวสุดท้ายเทียร์ทู (Tier2) จะเกี่ยวข้องกับการสร้างสายรหัส (Bit stream) ซึ่งจะมีการเก็บและจัดวางแบบมีระดับชั้น

2.1.1 Image Tiling

ในขั้นต้นจะทำการแบ่งภาพออกเป็นสี่เหลี่ยมเล็กๆ คล้ายกับกระเบื้องที่เรียงต่อกันโดยที่กระเบื้อง หรือ ไทล์ (Tile) แต่ละอันวางอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ซ้อนทับกัน ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.3 ซึ่งข้อดีของการทำภาพข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบนี้ ยกตัวอย่างเช่น การถอดรหัสภาพกลับมาเพื่อที่จะนำข้อมูลบางอย่างที่เราต้องการนั้นไปใช้ เราอาจจะสนใจเฉพาะข้อมูลบางส่วนที่อยู่ในกระเบื้องนั้นๆ และทำการดึงเฉพาะส่วนนั้นๆ ทำให้สามารถที่จะลดขนาดหน่วยความจำลงได้ แต่ขนาดของกระเบื้องที่กำหนดก็มีผลต่อค่า PSNR¹ ถ้ากระเบื้องมีขนาดเล็กเกินไปก็จะทำคุณภาพของภาพหลังผ่านการบีบอัดมีค่าต่ำ (PSNR มีค่าต่ำ) ซึ่งตัวอย่างของการบีบอัดภาพด้วยขนาดที่แตกต่างกันของไทล์ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.1 ซึ่งจะบอกเกี่ยวกับค่า PSNR ของแต่ละขนาดกระเบื้องที่อัตราบิตต่างกัน เพราะฉะนั้นการเลือกขนาดของไทล์ก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมด้วย



รูปที่ 2.3 แผนภาพการแบ่งไทล์ของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 [3]

¹ PSNR ย่อมาจาก Peak signal to noise ratio เป็นหน่วยที่ใช้วัดคุณภาพของภาพ โดยถ้า PSNR มีค่ามากจะหมายความว่าภาพที่ผ่านการบีบอัดมีคุณภาพดี กลับกันถ้า PSNR มีค่าน้อยจะหมายความว่าภาพที่ผ่านการบีบอัดจะมีคุณภาพต่ำ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.4 การบีบอัดภาพที่อัตราบิตเท่ากับ 0.25 บิตต่อจุดภาพ โดยแบ่งขนาดของไทม์ไม่เท่ากัน
 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ไม่มีการแบ่งไทม์ (ค) ภาพที่มีการแบ่งไทม์ขนาด 128×128 จุดภาพ
 (ง) ภาพที่มีการแบ่งไทม์ขนาด 64×64 จุดภาพ [3]

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบต่อคุณภาพของภาพจากการแบ่งขนาดของไทม์

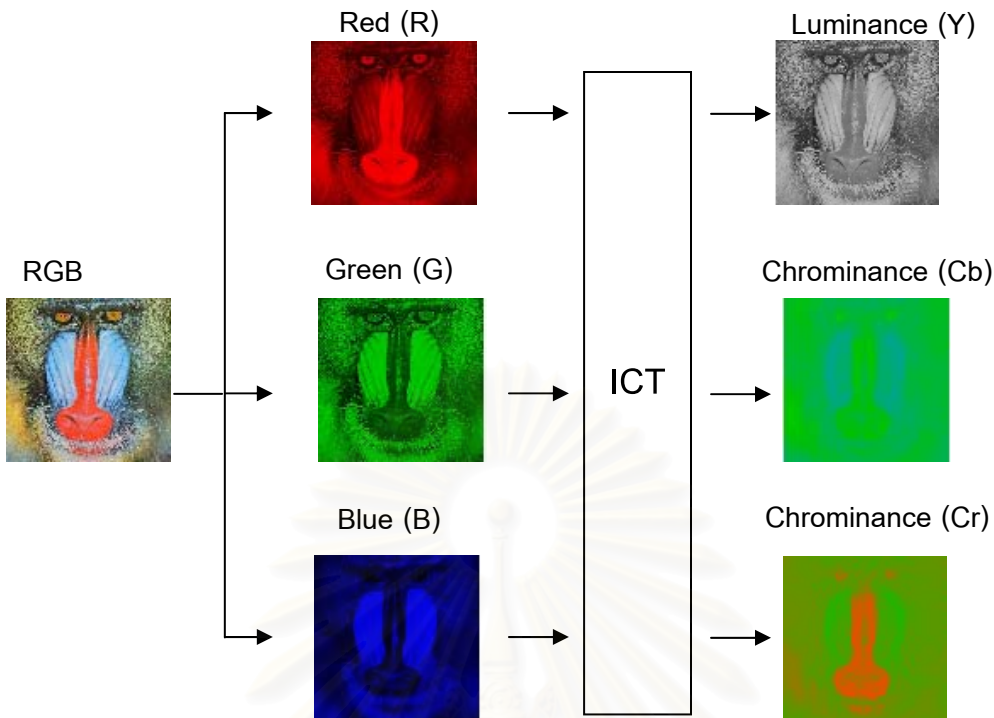
อัตราบิต (Bit Rate)	ไม่มีการแบ่ง ไทม์	แบ่งไทม์ที่ขนาด 128×128	แบ่งไทม์ที่ขนาด 64×64
0.125	24.75	23.42	20.07
0.25	26.49	25.69	23.95
0.5	28.27	27.79	26.80
ค่า PSNR ในหน่วยเดซิเบล (DB) สำหรับภาพสี "Ski" ที่มีขนาด 720×576 จุดภาพ			

2.1.2 การเลื่อนระดับบิตไฟตรง (DC level Shifting)

จากรูปที่ 2.3 การทำการเลื่อนระดับบิตไฟตรง จะกระทำก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแปลงดิสครีตเวฟเล็ต โดยที่ทุกๆค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ที่เป็นแบบไม่คิดเครื่องหมาย (Unsigned) ที่อยู่ภายในไทล์ ในแต่ละอันจะถูกทำการลบด้วยค่าออฟเซต (Offset) 2^P-1 โดยที่ P คือจำนวนบิตต่อตัวอย่าง (Bit per Sample) สมมติในแต่ละจุดในแผ่นกระเบื้องมี P บิตต่อตัวอย่าง ซึ่งแต่ละตัวอย่างอาจจะเป็นแบบคิดเครื่องหมาย (Signed) และแบบไม่คิดเครื่องหมาย (Unsigned) ซึ่งระยะฐานสิบอาจจะเป็น $[-2^{P-1}, 2^{P-1}-1]$ หรือ $[0, 2^P-1]$ ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนของการทำการเลื่อนระดับบิตไฟตรง จะทำการลบเฉพาะที่เป็นแบบไม่คิดเครื่องหมาย (Unsigned) เพื่อที่ว่าจะทำให้ระยะฐานสิบมีศูนย์กลางอยู่ที่ศูนย์

2.1.3 การแปลงองค์ประกอบของสี (Color component Transform)

การแปลงองค์ประกอบของสีมีอยู่ 2 มาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แบบแรก คือ การแปลงองค์ประกอบภาพแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible component transformations, ICT) ซึ่งถูกกำหนดให้ใช้ในรูปแบบของการเข้ารหัสที่มีการสูญเสีย (Lossy Coding) และอีกแบบก็คือการแปลงองค์ประกอบภาพแบบผันกลับได้ (Reversible Component Transformation, RCT) ซึ่งถูกกำหนดให้ใช้ในรูปแบบของการเข้ารหัสที่มีการสูญเสีย (Lossy Coding) หรือเป็นแบบของการเข้ารหัสที่ไร้การสูญเสีย (Lossless Coding) ก็ได้ [1] ตัวอย่างการแปลงองค์ประกอบของสีแสดงอยู่ในรูปที่ 2.5 เหตุผลสำหรับการแปลงปริภูมิสีจาก R G B ไปเป็นปริภูมิสี Y Cb Cr นั้นเพราะว่าในรูปแบบปริภูมิสี R G B นั้นความสัมพันธ์ของสีและแสงไม่อิสระต่อกัน ถ้าแสงมีการเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลให้สีเปลี่ยนแปลงด้วย และสำหรับการแปลงปริภูมิสีแบบ ICT จะใช้กับการแปลงเวฟเล็ตที่มีรูปแบบเป็นแบบผันกลับไม่ได้ (9/7 Irreversible Wavelet Transform) และสมการของการแปลงไปและการแปลงกลับของการแปลงองค์ประกอบของภาพแบบผันกลับไม่ได้ (ICT) ดังแสดงอยู่ในสมการที่ (2.1) และ (2.2) ตามลำดับ

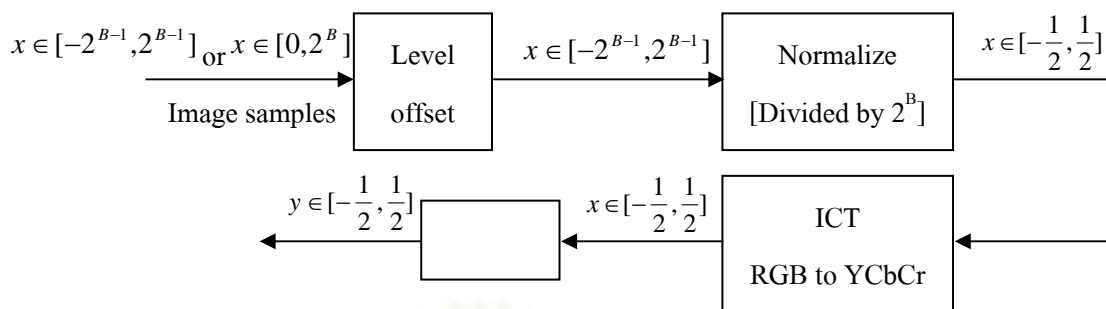


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการแปลงองค์ประกอบของสีจาก RGB เป็น YCbCr สำหรับการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับไม่ได้ [6]

$$\begin{pmatrix} \gamma \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.16875 & -0.33126 & 0.5 \\ 0.5 & -0.41869 & -0.08131 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \tag{2.1}$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.0 & 0 & 1.402 \\ 1.0 & -0.34413 & -0.71414 \\ 1.0 & 1.772 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \gamma \\ C_b \\ C_r \end{pmatrix} \tag{2.2}$$

โดยที่ R G และ B กำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง $\left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right]$ หลังจากผ่านการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในช่วง $-\frac{1}{2}$ ถึง $\frac{1}{2}$ สำหรับกระบวนการแปลงองค์ประกอบภาพแบบผันกลับไม่ได้ (ICT) [1]

สำหรับการแปลงองค์ประกอบของสีแบบผันกลับได้ (RCT) กำหนดให้เป็นที่ทั้งรูปแบบของการเข้ารหัสที่มีความสูญเสีย และรูปแบบของการเข้ารหัสที่ไร้การสูญเสีย ซึ่งใช้กับการแปลงเวฟเล็ตที่มีรูปแบบเป็นแบบผันกลับได้ (5/3 Reversible Wavelet Transform) สำหรับการแปลงผันได้ (RCT) จะอาศัยการแปลงผันปริภูมิสีของ YUV ซึ่งมีสมการของการแปลงไปและแปลงกลับดังแสดงอยู่ในสมการที่ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ และสำหรับการแปลงแบบผันกลับได้ (RCT) นั้นจะไม่มีทำให้เป็นค่าบรรทัดฐาน (Normalize)

$$\begin{pmatrix} \gamma_r \\ V_r \\ U_r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \left[\frac{R + 2G + B}{4} \right] \\ V_r + G \\ U_r + G \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

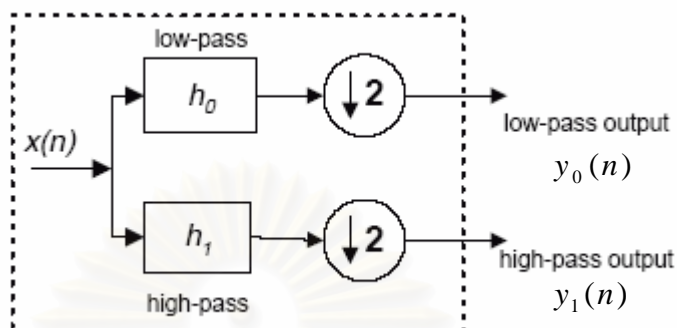
$$\begin{pmatrix} G \\ R \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_r - \left[\frac{U_r + V_r}{4} \right] \\ V_r + G \\ U_r + G \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

2.1.4 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ต (Discrete Wavelet Transformation, DWT)

2.1.4.1 การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ

การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ถูกสร้างมาจากการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ โดยที่การแปลงแบบ 1 มิติ จะทำการแปลงลำดับสัญญาณข้อมูลขาเข้า $x(n)$ ซึ่ง

เป็นสัญญาณขาเข้าที่มีระยะจำกัด (Finite length) โดยให้แยกออกเป็น 2 สัญญาณแถบย่อย ได้แก่ $y_0(n)$ และ $y_1(n)$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างการแปลงเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ

โดยที่ $y_0(n)$ แทนสัญญาณที่ผ่านตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งสร้างมาจากตัวกรองความถี่ต่ำผ่านและตามด้วยการซัดตัวอย่างย่อย (Sub-sampling)

$y_1(n)$ แทนสัญญาณที่ผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High pass filter) ซึ่งสร้างมาจากตัวกรองความถี่สูงผ่านและตามด้วยการซัดตัวอย่างย่อย

และสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของแถบย่อยที่แสดงการส่งจุดสัญญาณ (Mapping) จากสัญญาณขาเข้า $x(n)$ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณขาออกตัวแปรเดียว (Single Sequence) $y(n)$ ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$y[2n] = y_0[n] \quad (2.5)$$

$$y[2n+1] = y_1[n] \quad (2.6)$$

ทั้ง $x(n)$ และ $y(n)$ กำหนดให้มีอินตรัภาค (Interval) เดียวกัน คือ และในส่วนของทั้ง 2 แถบย่อย $y_0(n)$ และ $y_1(n)$ นั้นจะมีอินตรัภาคอยู่ในช่วง $E^0 \leq n < F^0$ และ $E^1 \leq n < F^1$ ตามลำดับ โดยที่

$$E^0 = \left\lfloor \frac{E}{2} \right\rfloor, F^0 = \left\lfloor \frac{F}{2} \right\rfloor, E^1 = \left\lfloor \frac{E}{2} \right\rfloor, F^1 = \left\lfloor \frac{F}{2} \right\rfloor \quad (2.7)$$

หรือ

$$E^b = \left\lfloor \frac{E-b}{2} \right\rfloor, F^b = \left\lfloor \frac{F-b}{2} \right\rfloor \text{ สำหรับ } b=0, 1 \quad (2.8)$$

การส่งจุดสัญญาณจาก $x(n)$ ไปยัง $y(n)$ สามารถอธิบายได้ง่ายๆ ในเทอมของการแทรกเสริมส่วนสมมาตร (Symmetric Extension) ซึ่งกำหนดโดย $\tilde{x}(n)$ และ $\tilde{y}(n)$ โดยที่การแทรกเสริมส่วนสมมาตรของ $x(n)$ จะหมายถึงสัญญาณลำดับอนันต์ (infinite length sequence, $\tilde{x}(n)$) ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการดังนี้

$$\tilde{x}(n) = x(n) \quad , \quad E \leq n < F \quad (2.9)$$

$$\tilde{x}[E-n] = \tilde{x}[E+n], \quad \forall n \in \mathbb{Z} \quad (2.10)$$

$$\tilde{x}[F-1-n] = \tilde{x}[F-1+n], \quad \forall n \in \mathbb{Z} \quad (2.11)$$

เหตุผลที่จะต้องใช้ขั้นตอนวิธีการแทรกเสริมส่วนสมมาตร (Symmetric Extension Algorithm) ใน [1], [11] นั้นเนื่องจากใน ตัวกรองของการประมวลผลสัญญาณภาพนั้น แตกต่างจากตัวกรองในการประมวลผลสัญญาณทั่วไป ยกตัวอย่างการประมวลผลสัญญาณเสียง สัญญาณขาเข้าที่เข้าตัวกรองนั้นมีตัวอย่างเยอะมากหรือเข้าใกล้อนันต์เมื่อเปรียบเทียบกับตัวกรองจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับค่าบริเวณขอบ แต่สำหรับสัญญาณภาพที่มีการแบ่งออกเป็น ไทล์จะเกิดความ เพี้ยนขึ้นที่บริเวณขอบของไทล์ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการขยายสัญญาณออกเป็น คาบที่ส่วนต้นและส่วนปลายของ สัญญาณ หรือที่ขอบทั้ง 2 ด้านของไทล์ ซึ่งก็คือวิธีการขยายคาบสัญญาณให้สมมาตร (Periodic Symmetric Extension) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การขยายสัญญาณสมมาตรเป็นคาบ โดยที่ “ABCDEFGF” แทนสัญญาณข้อมูล

ซึ่งการแปลงผันแถบย่อยแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับ (Forward and Reverse Subband Transform) ถูกกำหนดให้อยู่บนลำดับสัญญาณที่ถูกขยาย (Extended Sequence) ซึ่งมีรูปแบบของการประมวลผลสัญญาณเป็นแบบสังวัตนาการ (Convolution) และมีสมการดังนี้

$$\tilde{y}(n) = \sum_{i \in \mathbb{Z}} h_{n \bmod 2}^t [i] \tilde{x}[n-i] \quad (2.12)$$

$$\tilde{x}(n) = \sum_{i \in \mathbb{Z}} \tilde{y}(i) g_{i \bmod 2}^t (n-i) \quad (2.13)$$

โดยที่ $h_0^t(n)$ และ $h_1^t(n)$ กำหนดให้เป็นผลตอบสนองของอิมพัลส์ของตัวกรองวิเคราะห์แถบผ่านต่ำและตัวกรองวิเคราะห์แถบผ่านสูง (Low and High Pass Analysis Filter Impulse Response) ตามลำดับ และ $g_0^t(n)$ กับ $g_1^t(n)$ กำหนดเป็นผลตอบสนองของอิมพัลส์ของตัวกรองสังเคราะห์แถบผ่านต่ำและตัวกรองสังเคราะห์แถบผ่านสูง (Low and High Pass Synthesis Filter Impulse Response) เพื่อให้ง่ายจากนี้ไปกำหนดให้ผลตอบสนองของอิมพัลส์ที่กล่าวในข้างต้นหมายถึง เคอร์เนลเวฟเล็ต (Wavelet Kernels) และลักษณะของเคอร์เนลวิเคราะห์ (Analysis Kernels, $h_0^t(n)$ และ $h_1^t(n)$) และเคอร์เนลสังเคราะห์ (Synthesis Kernels, $g_0^t(n)$ และ $g_1^t(n)$) เป็นแบบลำดับข้อมูลที่มีจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองเป็นจำนวนคี่ (Odd Length Sequence) ซึ่งสมมาตรที่ $n=0$ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$h_b^t[n] = h_b^t[-n], g_b^t[n] = g_b^t[-n], \text{ for } b \in \{0,1\} \quad (2.14)$$

และความสัมพันธ์ระหว่างเคอร์เนลวิเคราะห์ และเคอร์เนลสังเคราะห์ คือ

$$\begin{aligned} g_0^t[n] &= \alpha^{-1} (-1)^n h_1^t[n] \\ g_1^t[n] &= \alpha^{-1} (-1)^n h_0^t[n] \end{aligned} \quad (2.15)$$

กำหนดตัวประกอบการขยาย (Gain Factor, α) กำหนดให้มีค่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{1}{2} (h_0^{dc} h_1^{nyq} + h_1^{dc} h_0^{nyq}) \quad (2.16)$$

โดยที่ h_b^{dc} และ h_b^{nyq} กำหนดเป็นค่าการขยาย (Gain) ของเคอร์เนลวิเคราะห์ที่ระดับสัญญาณไฟตรง หรือที่ความถี่เท่ากับศูนย์ และความถี่ไนควิสต์ (Nyquist Frequency) ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

$$h_b^{dc} = \sum_n h_b^t[n] \text{ และ } h_b^{nyq} = \sum_n (-1)^n h_b^t[n] \text{ สำหรับ } b = 0, 1 \quad (2.17)$$

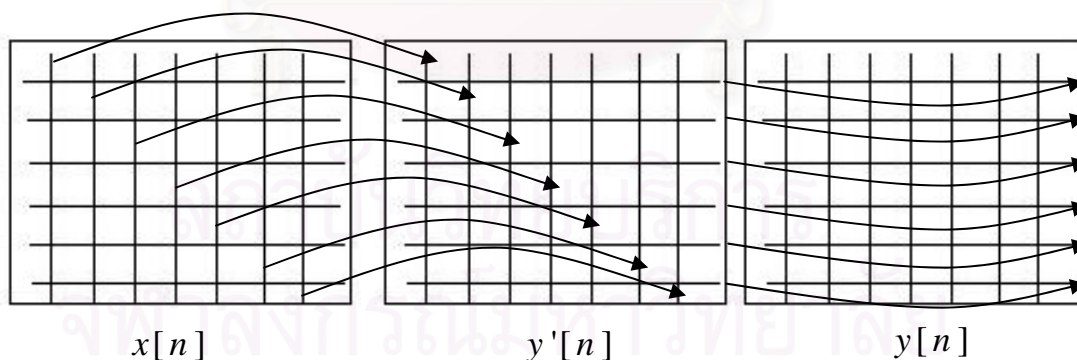
กำหนดให้เคอร์เนลวิเคราะห์แถบความถี่ต่ำผ่านและแถบความถี่สูงผ่านมีระยะ $2L_0 + 1$ และ $2L_1 + 1$ ตามลำดับ สามารถเขียนสมการที่ (2.12) ได้ใหม่ คือ

$$\begin{aligned}\tilde{y}[n] &= \sum_{i=-L_n \bmod 2}^{L_n \bmod 2} h_{n \bmod 2}^t[i] \tilde{x}[n+i] \\ &= \sum_{i=n-L_n \bmod 2}^{n+L_n \bmod 2} \tilde{x}[i] h_{n \bmod 2}^t[i-n]\end{aligned}\quad (2.18)$$

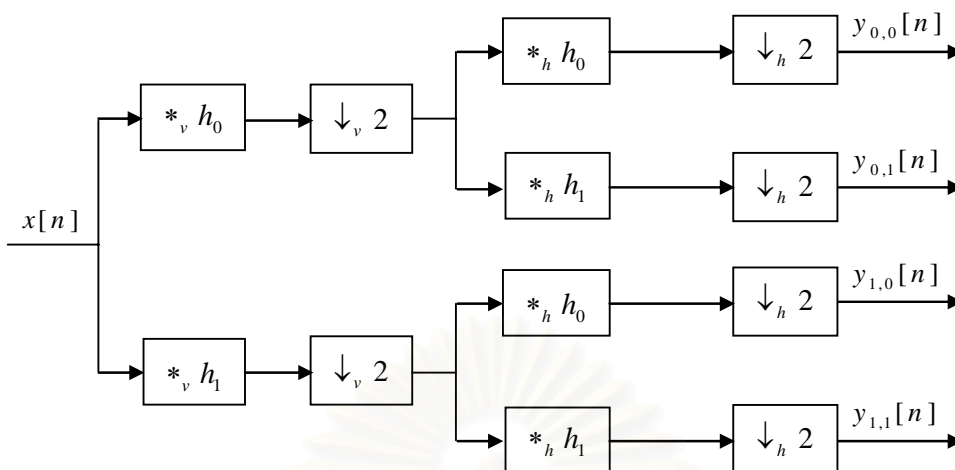
2.1.4.2 การแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ (2 Dimension Discrete Wavelet Transform)

การแปลงผันดีสครีตเวฟเล็ตจะทำการแปลงผันสัมประสิทธิ์ของสัญญาณข้อมูลภาพที่ผ่านการเลื่อนระดับบิตไฟตรงแล้วในแต่ละไทม์สให้เป็นกลุ่มของค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละแถบย่อยซึ่งจะมีรูปแบบการแปลงผันที่แบ่งแยกกัน โดยเริ่มจากหลักก่อนและจากนั้นตามด้วยแถว (ในรูปที่ 2.9 และ 2.10) ผลลัพธ์ที่ได้จะให้ 4 แถบย่อยก็คือ $y_{0,0}(n)$ จนถึง $y_{1,1}(n)$ โดยที่ $y_{0,0}(n)$ แทนแถบย่อยแบบ Low-Low (LL Subband) $y_{0,1}(n)$ แทนแถบย่อยแบบ Low – High (LH Subband) $y_{1,0}(n)$ แทนแถบย่อยแบบ High – Low (HL Subband) และ $y_{1,1}(n)$ แทนแถบย่อยแบบ High – High (HH Subband) (ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.11) และ กำหนดให้ $y[n]$ เป็นลำดับ สัญญาณแบบ 2 มิติซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการดังนี้

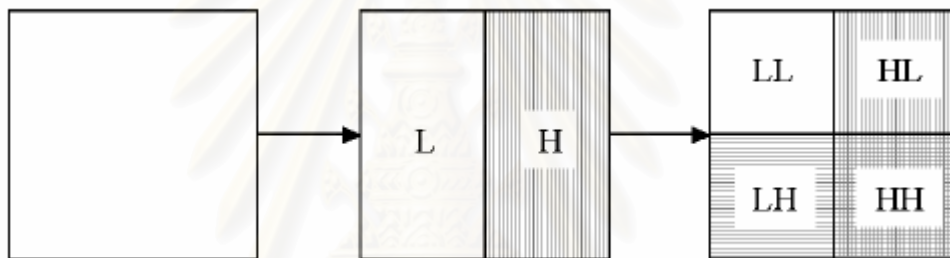
$$y[2n_1 + b_1, 2n_2 + b_2] = y_{b_1, b_2}[n_1, n_2] \quad \text{สำหรับ } b_1, b_2 \in \{0,1\} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.9 การแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ ในรูปแบบการทำการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 มิติ [1]

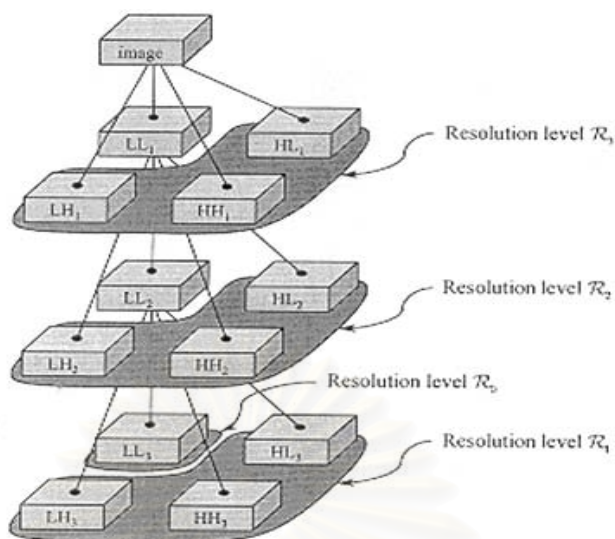


รูปที่ 2.10 การแปลงแบบดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 2 มิติ โดยมีค่าการชักตัวอย่างย่อเท่ากับ 2



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบ 1 ระดับ

ในขั้นตอนของการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตนั้นสามารถที่จะกำหนดจำนวนของการแตกองค์ประกอบ (Decomposition, D) ของแต่ละแถบย่อยเป็นหลายๆระดับ ซึ่งในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 นั้นสามารถรองรับระดับการแปลงเวฟเล็ตได้ถึง $0 \leq D \leq 32$ [1] แต่โดยทั่วไปนั้น ค่า D ที่ใช้โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง $D=4$ ถึง $D=8$ (ยกตัวอย่างการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตที่ระดับชั้น $D = 3$ ในรูปที่ 2.12) ซึ่งที่ใช้กันทั่วไปนั้นจะใช้ $D = 5$ ก็เพียงพอแล้วที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการบีบอัดนั้นเข้าใกล้จุดที่เหมาะสม



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตที่ระดับการแปลงเวฟเล็ต $D = 3$ [1]

2.1.4.3 รูปแบบการแปลงดิสครีตเวฟเล็ตในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000

1) การแปลงดิสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับไม่ได้ (Irreversible Discrete Wavelet Transform)

ใน JPEG2000 (ส่วนที่ 1) นั้นรองรับเฉพาะ CDF 9/7 kernel (หรือ Daubechies 9-tap7 filter) ซึ่งจะหมายถึง ตัวกรองวิเคราะห์แถบความถี่ต่ำผ่านและตัวกรองวิเคราะห์แถบความถี่สูงผ่านที่มีระยะเป็น 9 และ 7 ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกรองแถบความถี่ต่ำผ่านและตัวกรองแถบความถี่สูงผ่านดังนี้

$$h_0'(z) = 0.602949018236 + 0.266864118443(z^1 + z^{-1}) - 0.078223266529(z^2 + z^{-2}) - 0.016864118443(z^3 + z^{-3}) + 0.026748757411(z^4 + z^{-4}) \quad (2.20)$$

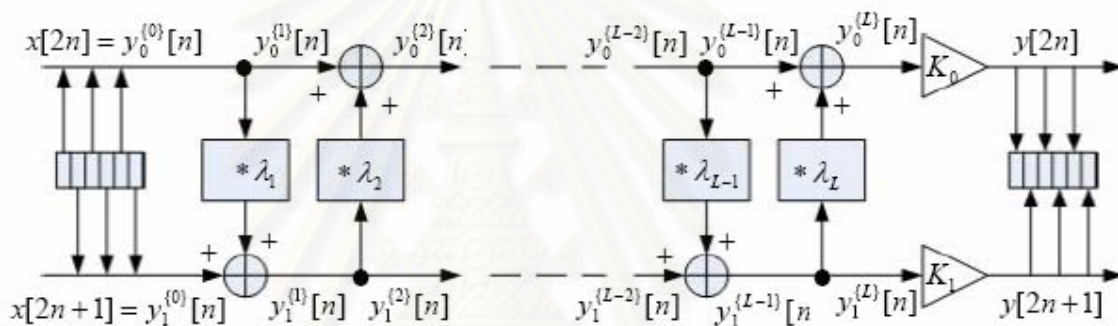
$$h_1'(z) = 0.557543526229 - 0.295635881557(z^1 + z^{-1}) + 0.028771763114(z^2 + z^{-2}) + 0.045635881557(z^3 + z^{-3}) \quad (2.21)$$

มาตรฐานของ JPEG2000 นั้นสามารถรองรับรูปแบบของแบบวิธีการกรอง (Filtering Mode) ได้ 2 รูปแบบ ก็คือ แบบสังวัตนาการ และแบบลิฟท์ทิง (Lifting) [1] ในส่วนของแบบสังวัตนาการจะเป็นไปตามสมการที่ (2.12) และ (2.13) และในส่วนของแบบลิฟท์ทิงนั้นจะเป็นที่นิยมใช้งานมาก เพราะว่าลิฟท์ทิงเป็นวิธีการเดียวที่ใช้ในการทำให้เกิดผลของการแปลง

ดีสครีตเวฟเลตแบบผันกลับได้ (Reversible DWT) ใน JPEG2000 อีกทั้งยังเป็นรูปแบบวิธีการที่ใช้หน่วยความจำต่ำ และใช้เวลาน้อยในการคำนวณระเบียบวิธีการเข้ารหัสแบบเลขคณิต

- โครงสร้างแบบลิฟท์ทิง (Lifting Structure)

กำหนดให้ $x[k]$ เป็นลำดับสัญญาณขาเข้า และผ่านการแปลงผันด้วยการแปลงแบบ 2 ช่องสัญญาณซึ่งจะทำการแยกสัญญาณขาเข้า ออกเป็นลำดับคู่และลำดับคี่ สำหรับสัญญาณขาออกที่ได้นั้นก็คือ $y_0[n]$ และ $y_1[n]$ หรือ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของลำดับคู่และลำดับคี่ของแถบย่อยของ $x[k]$ ซึ่งก็คือ $y_0^{(0)}[n] = x[2n]$ และ $y_1^{(0)}[n] = x[2n + 1]$ และในบางครั้งจะเรียกรูปแบบนี้ว่าการแปลงเลซีเวฟเลต (Lazy Wavelet Transform)



รูปที่ 2.13 รูปแบบโครงสร้างของลิฟท์ทิงสำหรับการวิเคราะห์แถบย่อย [1]

กระบวนการของลิฟท์ทิงแบบวิเคราะห์ แสดงอยู่ในรูปที่ 2.13 และกำหนดให้ l เป็นเลขลำดับที่บอกถึงดัชนีที่แสดงลำดับขั้นของลิฟท์ทิง (Lifting Step) ว่าเป็นลำดับคู่ หรือ คี่

กรณี l เป็นเลขคี่จะทำให้ลำดับย่อยที่เป็นแบบเลขคี่จะถูกปรับเป็นไปตามสมการดังนี้

$$y_0^{(l)}(n) = y_0^{(l-1)}(n) \tag{2.22}$$

$$y_1^{(l)}(n) = y_1^{(l-1)}(n) + \sum_i \lambda_i(i) y_0^{(l-1)}(n-i) \tag{2.23}$$

กรณี l เป็นเลขคู่จะทำให้ลำดับย่อยที่เป็นแบบเลขคู่จะถูกปรับเป็นไปตามสมการดังนี้

$$y_0^{(l)}(n) = y_0^{(l-1)}(n) + \sum_i \lambda_l(i) y_0^{(l-1)}(n-i) \quad (2.24)$$

$$y_1^{(l)}(n) = y_1^{(l-1)}(n) \quad (2.25)$$

หรือนำทั้ง 2 สมการที่ l เป็นกรณีเลขคี่ และเลขคู่มาเขียนรวมกัน ซึ่งสามารถเขียนรวมกันใหม่ได้เป็นดังนี้

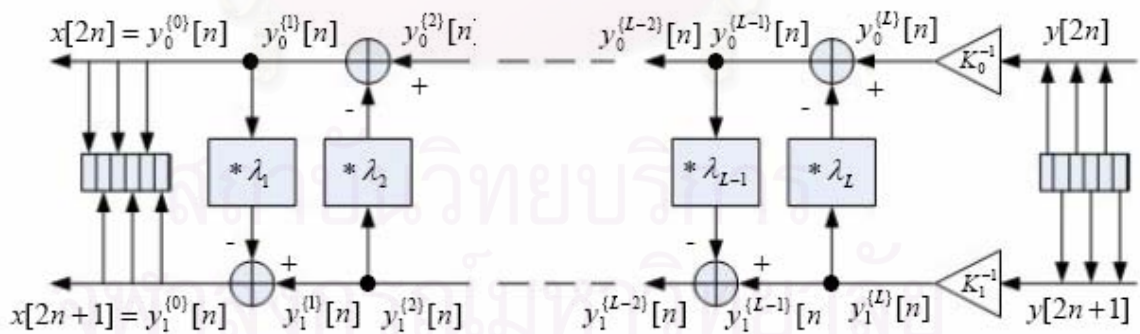
$$y_{1-p(l)}^{(l)}(n) = y_{1-p(l)}^{(l-1)}(n) \quad (2.26)$$

$$y_{p(l)}^{(l)}(n) = y_{p(l)}^{(l-1)}(n) + \sum_i \lambda_l(i) y_{1-p(l)}^{(l-1)}(n-i) \quad (2.27)$$

โดยที่ $p(l)$ กำหนดเป็นภาวะคู่หรือคี่ (Parity) ของ l (เป็น 0 ถ้า l เป็นเลขคู่ และเป็น 1 ถ้า l เป็นเลขคี่)

และสำหรับกระบวนการลิปทิงแบบสังเคราะห์ที่มีสมการดังต่อไปนี้ (ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.14)

$$\begin{aligned} y_{1-p(l)}^{(l-1)}(n) &= y_{1-p(l)}^{(l)}(n) \\ y_{p(l)}^{(l-1)}(n) &= y_{p(l)}^{(l)}(n) - \sum_i \lambda_l(i) y_{1-p(l)}^{(l)}(n-i) \\ &= y_{p(l)}^{(l)}(n) - \sum_i \lambda_l(i) y_{1-p(l)}^{(l-1)}(n-i) \end{aligned} \quad (2.28)$$



รูปที่ 2.14 รูปแบบโครงสร้างของลิปทิงสำหรับการสังเคราะห์แถบย่อย [1]

กลับมาพิจารณากรณีการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับไม่ได้ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองแบบวิเคราะห์เป็นไปตามสมการที่ (2.20) และ (2.21) และอาศัยแปลงผันด้วยวิธีการแบบกระบวนการลิปทิง โดยกำหนดขั้นของลิปทิง (Lifting Step) เท่ากับ 4 ($L=4$) โดยที่

$$\begin{aligned}
\lambda_1(z) &= -1.586134342(1+z) \\
\lambda_2(z) &= -0.052980118(1+z^{-1}) \\
\lambda_3(z) &= 0.882911075(1+z) \\
\lambda_4(z) &= 0.443506852(1+z^{-1})
\end{aligned}
\tag{2.29}$$

และค่าอัตราขยาย K_0 และ K_1 ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.13 มีความสัมพันธ์ดังนี้ $K_0 = \frac{1}{K}$ และ $K_1 = \frac{K}{2}$ โดยที่ $K = 1.230174105$

2) การแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับได้ (Reversible Discrete Wavelet Transforms)

สำหรับการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับได้นั้น ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกรองแบบวิเคราะห์ จะมีจำนวนสัมประสิทธิ์ตัวกรองแบบวิเคราะห์ของความถี่ต่ำผ่านเท่ากับ 5 และมีจำนวนสัมประสิทธิ์ตัวกรองแบบวิเคราะห์ของความถี่สูงผ่านเท่ากับ 3 โดยมีสมการดังนี้

$$\begin{pmatrix} h'_0(z) \\ h'_1(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{8}z^{-2} + \frac{1}{4}z^{-1} + \frac{3}{4} + \frac{1}{4}z - \frac{1}{8}z^{-2} \\ -\frac{1}{4}z^{-1} + \frac{1}{2} - \frac{1}{4}z \end{pmatrix}
\tag{2.30}$$

และสำหรับสัมประสิทธิ์ตัวกรองแบบสังเคราะห์ (Synthesis Filter Coefficients)

$$\begin{pmatrix} g'_0(z) \\ g'_1(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2}z^{-1} + 1 + \frac{1}{2}z \\ -\frac{1}{4}z^{-2} + \frac{1}{2}z^{-1} + \frac{3}{2} - \frac{1}{2}z - \frac{1}{4}z^2 \end{pmatrix}
\tag{2.31}$$

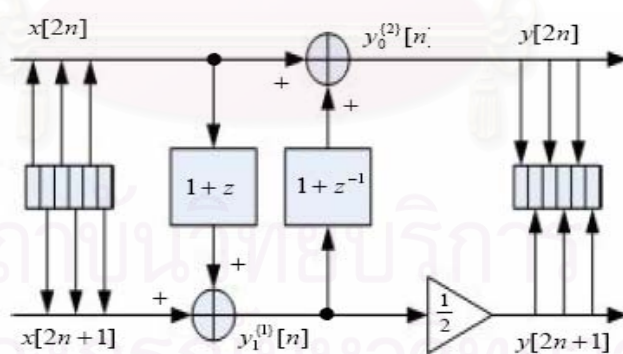
สำหรับวิธีการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับได้นั้น อาศัยกระบวนการแปลงผันด้วยวิธีการแบบลิปทิง โดยกำหนดให้ชั้นของลิปทิงเท่ากับ 2 ($L=2$) โดยกำหนดให้มีค่าแลมดาดังนี้ $\lambda_1(z) = -\frac{1}{2}(1+z)$ และ $\lambda_2(z) = \frac{1}{4}(1+z^{-1})$ และในส่วนของค่าอัตราขยาย K_0 และ K_1 ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.13 สามารถหาได้จากผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ของสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 y_1^{(2)}(n) &= y_1^{(1)}(n) = y_1^{(0)}(n) - \left(\frac{1}{2}\right)(y_0^{(0)}(n) + y_0^{(0)}(n+1)) \\
 &= x(2n+1) - \frac{1}{2}(x(2n) + x(2n+2)) \\
 &= 2(x * h_1')(2n+1) = 2y(2n+1)
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

และ

$$\begin{aligned}
 y_0^{(2)}(n) &= y_0^{(1)}(n) + \frac{1}{4}(y_1^{(1)}(n) + y_1^{(1)}(n-1)) \\
 &= x(2n) + \frac{1}{4} \left(\begin{aligned} &x(2n+1) - \frac{1}{2}(x(2n) + x(2n+2)) \\ &+ x(2n-1) - \frac{1}{2}(x(2n-2) + x(2n)) \end{aligned} \right) \\
 &= \frac{3x(2n)}{4} + \frac{x(2n+1) + x(2n-1)}{4} - \frac{x(2n+2) + x(2n-2)}{8} \\
 &= (x * h_0')(2n) = y(2n)
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

ซึ่งจากทั้ง 2 สมการจะได้ค่าอัตราขยาย $K_0 = 1$ และ $K_1 = \frac{1}{2}$ และรายละเอียดของขั้นตอนแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 รูปแบบโครงสร้างแบบลิปทิงของการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับได้

2.1.5 การควอนไทซ์ (Quantization)

หลังจากที่ได้ผ่านการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตทุกๆ ค่าสัมประสิทธิ์จะถูกทำการควอนไทซ์ ซึ่งกระบวนการควอนไทซ์ ทุกๆ ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตจะถูกทำให้ลดลง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นกระบวนการของการมีความสูญเสีย ซึ่งในส่วนของการทำงานการแปลงเวฟเล็ตแบบผัน

กลับไม่ได้จะอาศัยการควอนไทซ์แบบมีเขตไร้ผลสนอง (Dead zone quantization, DZQ) และสมการในการทำควอนไทซ์ คือ

$$q_b(u, v) = \text{sign}(a_b(u, v)) \left\lfloor \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} \right\rfloor \quad (2.34)$$

โดยที่ $a_b(u, v)$ คือ สัญญาณข้อมูลขาเข้า และ Δ_b คือ ค่าลำดับขั้นการควอนไทซ์ (Quantization step-size)

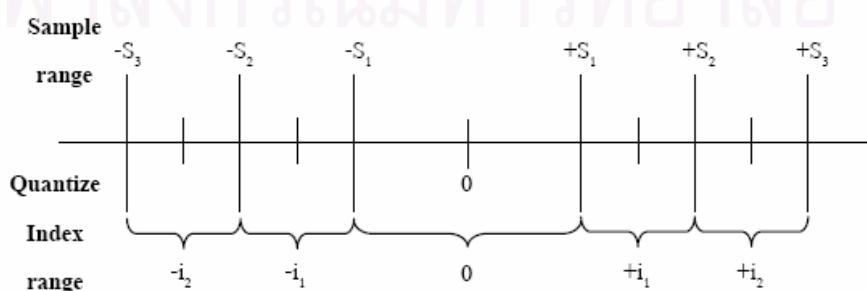
$q_b(u, v)$ คือ สัญญาณข้อมูลขาออกที่ผ่านการควอนไทซ์

ค่าลำดับขั้น (Step size, Δ_b) สำหรับแต่ละแถบย่อย กำหนดในเทอมของเอ็กโพเนนซ์ (ε_b) และแมนทิสซา (Mantissa, μ_b) โดยที่ทั้ง ε_b และ μ_b เป็นเลขจำนวนเต็มบวก โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta_b = 2^{-\varepsilon_b} \left(1 + \frac{\mu_b}{2^{11}}\right) \text{ และ} \\ 0 \leq \varepsilon_b < 2^5 \text{ และ } 0 \leq \mu_b < 2^{11} \quad (2.35)$$

สำหรับการแปลงผันแบบไร้ความสูญเสีย ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตแบบไร้ความสูญเสีย จะมีค่าเป็นจำนวนเต็ม และไม่มีการทำการควอนไทซ์ โดยจะกำหนดค่า Quantize Step Size เป็น 1 ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการควอนไทซ์เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตแบบไร้ความสูญเสีย (คิดเครื่องหมาย)

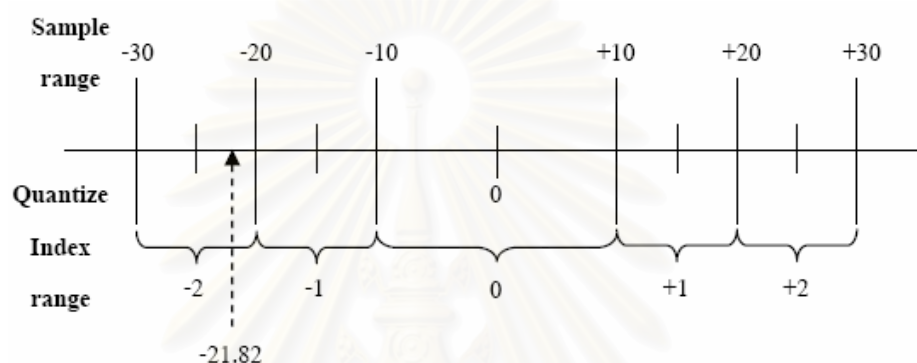
ในความหมายของคำว่าเขตไร้ผลสนอง (Dead Zone) จะหมายถึงระยะการควอนไทซ์ (Quantization Range) จะเป็น 2 เท่าของ Quantize Step Size ที่จุดศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของการควอนไทซ์แบบมีเขตไร้ผลสนอง

ยกตัวอย่างการทำควอนไทซ์ กำหนดให้ค่าลำดับขั้นการควอนไทซ์ (Quantize Step Size) มีค่าเป็น 10 และค่าสัมประสิทธิ์การแปลงดีสครีตเวฟเล็ตแบบผันกลับไม่ได้ของข้อมูลขาเข้าเท่ากับ -21.28 ค่าดัชนีการควอนไทซ์หาได้จากสมการที่ (2.34) ผลลัพธ์แสดงอยู่ในรูปที่ 2.17

$$\text{Quantize} = -\left\lfloor \frac{21.28}{10} \right\rfloor = -2$$



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการคำนวณดัชนีของการควอนไทซ์

2.1.6 การเข้ารหัสเน้นบริเวณที่สนใจ (Region of Interest coding, ROI)

ตัวบีบอัดของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 นั้นสามารถที่จะกำหนดให้พื้นที่บางพื้นที่ในภาพนั้นเป็นส่วนที่มีความสำคัญสูงหรือกำหนดให้เป็นส่วนที่มีคุณภาพสูงได้ ซึ่งจะเรียกวิธีการนี้ว่า “Region of Interest coding” หรือ ROI ซึ่งมีความเหมาะสมมากสำหรับการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณที่มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) แคบ

ในการเข้ารหัสเน้นบริเวณที่สนใจนั้นผู้ใช้อาจจะต้องกำหนดพื้นที่ที่ต้องการเข้ารหัสให้ได้คุณภาพสูงกว่าบริเวณอื่น การเข้ารหัสในบริเวณที่สนใจในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 นั้นจะใช้วิธีการลดความสำคัญของสัมประสิทธิ์การควอนไทซ์ในบริเวณที่ไม่ได้สนใจหรือเรียกว่า พื้นหลัง (Background) การลดความสำคัญของสัมประสิทธิ์พื้นหลัง (Background Coefficient) ทำได้โดยการเลื่อนระนาบบิตให้อยู่ที่ต่ำกว่า ซึ่งหมายความว่าเมื่อตัวเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy Coder) ทำการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์การควอนไทซ์ ระนาบบิตที่เกี่ยวข้องกับ ROI จะถูกทำการเข้ารหัสก่อน และขั้นตอนการทำ ROI มีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีดังต่อไปนี้

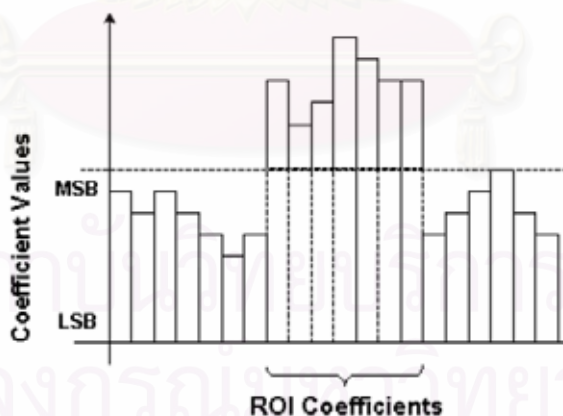
1. ทำการสร้างหน้ากากของ ROI (ROI Mask) กำหนดโดย $M(x,y)$
2. กำหนดค่าสเกล (Scaling Value, s)
3. ทำการลดค่าสัมประสิทธิ์พื้นหลังลง โดยอาศัยค่าสเกล S
4. ทำการบันทึกค่าสเกล (s) ลงในสายรหัสข้อมูล โดยอาศัย RGN marker

มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 กำหนดวิธีการเลื่อนระนาบ บิตไว้ 2 วิธีคือ แมกซ์ชิฟท์ (Max Shift Scaling) และ เจเนรัลชิฟท์ (General Scaling) [1] โดยทั้ง 2 วิธีจะทำการเลื่อนระนาบบิตโดยอาศัยค่าชิฟท์ (s)

2.1.6.1 แมกซ์ชิฟท์ (Max Shift Scaling)

วิธีการเลื่อนระนาบบิตแบบแมกซ์ชิฟท์กำหนดอยู่ในส่วนที่ 1 ของ มาตรฐาน JPEG2000 ซึ่งจะทำชิฟท์ ค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ใน ROI Mask ขึ้นที่ทำให้ LSB ภายใน ROI Mask มีค่าสูงกว่าค่านัยสำคัญสูงสุดของ สัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ของค่าสัมประสิทธิ์ พื้นหลัง ดังรูปที่ 2.18 โดยที่จะทำการสเกลด้วยค่า 2^s ซึ่งค่าสเกล s เป็นไปตามสมการที่ (2.36) โดยที่ $\max(M_b)$ กำหนดเป็นจำนวนของขนาดระนาบบิตที่มีค่ามากที่สุด

$$s = \{s \in \mathbb{Z}^+ \mid s \geq \max(M_b)\} \quad (2.36)$$

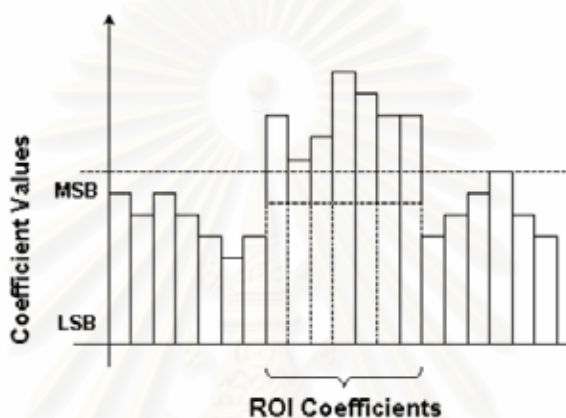


รูปที่ 2.18 การขยายค่าแบบแมกซ์ชิฟท์ในพื้นที่ที่เป็น ROI [6]

2.1.6.2 เจเนรัลชีฟท์ (General Scaling)

ในส่วนที่ 2 ของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 ได้กล่าวถึงวิธีการเลื่อนระนาบิตแบบเจเนรัลชีฟท์ โดยวิธีการเลื่อนระนาบิตภายใน ROI นั้นเป็นไปตามสมการที่ (2.37) และแสดงในรูปที่ 2.19

$$s = \{s \in Z^+ \mid s < M_b\} \quad (2.37)$$



รูปที่ 2.19 การขยายค่าแบบเจเนรัลชีฟท์ในพื้นที่ที่เป็น ROI [6]

2.1.7 การเข้ารหัสแบบเทียร์วัน (Tier-1 Coding)

ในขั้นตอนนี้ เริ่มแรก ประกอบไปด้วยการแบ่งไทม์ไลน์ออกเป็นขอบเขต โดยกระทำการกำหนดบริเวณ (Precincts) และสร้างไค้ดบล็อก (Code Block) ถัดไปจะเป็นการเข้ารหัสเอนโทรปี

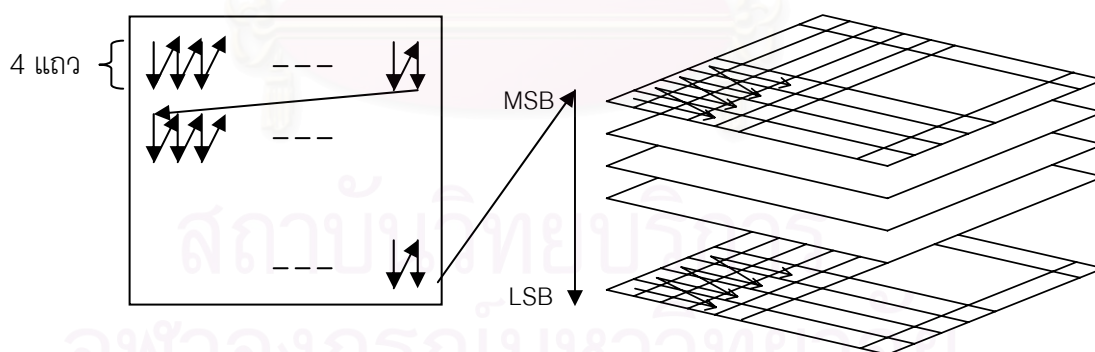
2.1.7.1 การกำหนดบริเวณและไค้ดบล็อก (Precincts and Code block)

หลังจากที่ผ่านขั้นตอนการแปลงเวฟเล็ตและการควอนไทซ์แล้วจะทำการแบ่งแบนด์ย่อยออกเป็นไค้ดบล็อก และทำการกำหนดบริเวณ โดยการพิจารณาไทม์ไลน์แต่ละองค์ประกอบของสี ผลลัพธ์จากการแปลงเวฟเล็ตจะได้แถบย่อยในแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ตภายในไทม์ไลน์จะถูกกำหนดให้มีการแบ่งออกเป็นตารางสี่เหลี่ยม ที่เรียกกันว่า Precincts ซึ่งการกำหนดบริเวณจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดขนาดของแพ็คเกจ เพราะว่าแพ็คเกจจะประกอบไปด้วยกลุ่มของ Precincts จากแต่ละแถบย่อยในแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ตนั้นๆ และภายใน Precincts ถูกแบ่งออกเป็นตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า ไค้ดบล็อก โดยที่ไค้ดบล็อกเป็นหน่วย

มูลฐาน (Basic Unit) ที่นำไปใช้ในกระบวนการเข้ารหัสเลขคณิต ซึ่งโค้ดบล็อกจะมีขนาดความกว้างเป็น 2^{xcb} และความสูงเป็น 2^{ycb} โดยที่ $2 \leq xcb, ycb \leq 10$ และ $xcb + ycb \leq 12$

2.1.7.2 การเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy Coding)

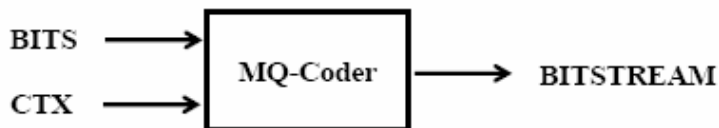
ค่าสัมประสิทธิ์หลังจากผ่านการควอนไทซ์ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละแถบย่อยที่แตกต่างกันซึ่งเกิดมาจากการแปลงเวฟเล็ต ค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จะถูกจัดให้อยู่ภายในบล็อกสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า โค้ดบล็อก จากนั้นโค้ดบล็อกต่างๆเหล่านี้จะถูกนำไปเข้ารหัสระนาบบิต โดยจะเริ่มทำการเข้ารหัสแบบเรียงลำดับจากระนาบบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดที่ไม่มีค่าเป็น 0 ไปยังระนาบบิตที่มีความสำคัญน้อยสุด แต่ละระนาบบิตของโค้ดบล็อกนั้นๆจะมีรูปแบบการกวาดตรวจ (Scan) ข้อมูลในโค้ดบล็อก โดยการกวาดตรวจจะเริ่มจากมุมบนซ้ายและกวาดตรวจลงมาในแถวแรกไป 4 บิต จากนั้นกลับขึ้นไปในหลักที่ 2 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนสิ้นสุดข้อมูลในระนาบบิตนั้นๆ ที่อยู่ในโค้ดบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 2.20 เพื่อที่จะใช้สำหรับการเข้ารหัสนัยสำคัญ (Significance coding) ทั้ง 3 พาส บิตข้อมูลของแต่ละค่าสัมประสิทธิ์ในระนาบบิตจะถูกนำมาเข้ารหัสด้วยวิธีการทั้ง 3 พาส ซึ่งก็คือการแพร่ของเครื่องหมาย (Significance Propagation Pass) แมกนิจูดรีไฟน์เมนต์พาส (Magnitude Refinement Pass) และ คลีนอัพพาส (Clean Up Pass) (รายละเอียดขั้นตอนของทั้ง 3 พาสจะกล่าวในหัวข้อถัดไป) หลังจากผ่านการเข้ารหัสระนาบบิตแล้ว ก็จะนำไปสู่ขั้นตอนของการบีบอัดข้อมูลโดยอาศัยการเข้ารหัสแบบเลขคณิต



รูปที่ 2.20 รูปแบบการกวาดตรวจบนระนาบบิต

สิ่งที่ตัวเข้ารหัสเลขคณิตต้องการคือ บิตข้อมูลและความน่าจะเป็น (Probability) ซึ่งความน่าจะเป็นได้มาจากบริบท (Context) ดังนั้นการเข้ารหัสบิตข้อมูลจะเกี่ยวข้องกับ การกำหนดบริบท ซึ่งได้มาจากการเข้ารหัสระนาบบิต และการกำหนดความน่าจะเป็น

เป็น กำหนดได้จากบริบท บิตข้อมูลและความน่าจะเป็นที่ได้จากบริบท จะใช้ในการเข้ารหัสเลขคณิตแบบ MQ ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอแกรมการทำงานของ MQ coder

- การแพร่ของเครื่องหมาย (Significance propagation pass)

ในกระบวนการของการแพร่ของเครื่องหมาย หรือพาส 1 (Pass 1) ถ้าบิตที่ตำแหน่งปัจจุบันเป็นบิต 0 และเป็นบิตที่ไม่มีนัยสำคัญ (Insignificant) ในที่นี้จะหมายถึงตัวเซ็ทสถานะสำคัญ (Significant State) เป็น 0 แต่ถ้าตัวเซ็ทสถานะสำคัญเป็น 1 จะกำหนดให้บิตนั้นเป็นบิตที่มีนัยสำคัญ (Significant) และบิตรอบข้างของตัวมันในขอบเขตของหน้าต่างบริบท (Context Window) อย่างน้อยที่สุด มีอยู่ 1 ตัวที่เป็นบิตที่มีนัยสำคัญ จะทำการกำหนดให้บิตนี้มีการเข้ารหัสแบบ พาส 1 โดยที่การกำหนดบริบทอาศัยตารางที่ 2.2 [1] เป็นตัวกำหนด แต่ถ้าบิตที่อยู่ในตำแหน่งปัจจุบันเป็นบิต 1 สถานะนัยสำคัญ หรือตัวบ่งชี้สำคัญ (Significant Flag) จะเซ็ทตัวมันเองเป็น 1 (คิดเครื่องหมาย) และจะกำหนดให้มีการเข้ารหัสแบบคิดเครื่องหมาย (Sign coding) โดยอาศัยตารางการกำหนดในตารางที่ 2.3 [1], [4]

การกำหนดบริบทจะทำการพิจารณาจากหน้าต่างบริบท โดยกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างแนวตั้ง ($K^v(j)$), แนวนอน ($K^h(j)$), และแนวทแยงมุม ($K^d(j)$) ดังแสดงในสมการที่ (2.38), (2.39), และ (2.40) และรูปที่ 2.22

$$K^h[j] = \sigma[j_r, j_c - 1] + \sigma[j_r, j_c + 1] \quad (2.38)$$

$$K^v[j] = \sigma[j_r - 1, j_c] + \sigma[j_r + 1, j_c] \quad (2.39)$$

$$K^d[j] = \sum_{k_r=\pm 1} \sum_{k_c=\pm 1} \sigma[j_r + k_r, j_c + k_c] \quad (2.40)$$

โดยที่ $\sigma[]$ คือบิตที่มีนัยสำคัญที่ตำแหน่ง j ใดๆ

สำหรับการกำหนดบริบทของการเข้ารหัสแบบคิดเครื่องหมาย จะทำการคำนวณได้โดย การนับจำนวนเครื่องหมายในแนวนอน ($K^h(j)$) และการนับจำนวนเครื่องหมายในแนวตั้ง ($K^v(j)$) (ดูตัวอย่างในรูปที่ 2.22) ในการนับเครื่องหมายนั้นจะทำการกำหนดให้มีค่าเป็น -1 ก็ต่อเมื่อ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ในแนวแกนตั้งทั้งหมดเป็นนัยสำคัญเชิงลบ (Negative Significant) หรือมีเพียงหนึ่งตัวที่เป็นแบบนัยสำคัญเชิงลบและอีก ตัวเป็นบิตที่ไม่มีนัยสำคัญ (Insignificant) สำหรับกรณีแนวแกนนอนก็จะคิดแบบเดียวกันกับในแนวตั้ง และจะกำหนดค่าเป็น +1 ก็ต่อเมื่อถ้าค่าสัมประสิทธิ์ในแนวตั้งทั้งหมดเป็นนัยสำคัญสำคัญเชิงบวก (Positive Significant) หรือมีเพียงหนึ่งตัวที่เป็นแบบนัยสำคัญเชิงบวก และอีกตัวเป็นบิตที่ไม่มีนัยสำคัญ สำหรับในแนวนอนก็จะคิดแบบเดียวกับในแนวแกนตั้ง การนับเครื่องหมายจะมีค่าเป็น 0 ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ในแนวแกนนอน หรือแกนตั้งทั้งหมดเป็นแบบไม่มีนัยสำคัญ หรือมีสัมประสิทธิ์อยู่ 1 ตัวเป็นนัยสำคัญเชิงบวก และอีกตัวเป็นนัยสำคัญเชิงลบก็จะทำการนับให้มีค่าเป็น 0 เช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ในแนวแกนนอนบิตตัวที่หนึ่งเป็นแบบนัยสำคัญเชิงบวก และอีกตัวหนึ่งเป็นแบบไม่มีนัยสำคัญในรูปแบบนี้จะทำการกำหนดให้ค่าการนับในแนวนอนมีค่าเป็น +1 เป็นต้น กรณีในการกำหนดค่าบริบทนั้นจะแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 กรณีในการกำหนดบริบทของการเข้ารหัสแบบคิดเครื่องหมาย

$Sign\ count \begin{cases} H \\ V \end{cases}$	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1
	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
Expected sign context	-	-	-	-	+	+	+	+	+
	13	12	11	10	9	10	11	12	13

- แม็กนิจูดรีไฟน์เมนท์พาส (Magnitude Refinements Pass)

ในกระบวนการเข้ารหัสแบบแม็กนิจูดรีไฟน์เมนท์พาส หรือพาส 2 (Pass 2) ถ้าบิตในระนาบบิตก่อนหน้ามันเป็นบิตที่มีสถานะนัยสำคัญ บิตที่ตำแหน่งระนาบบิตปัจจุบันก็จะถูกกำหนดให้กลายเป็นบิตที่มีสถานะนัยสำคัญด้วย ในการคำนวณบริบทของรีไฟน์เมนท์บิต (Refinement Bit) ถ้ารีไฟน์เมนท์บิตในปัจจุบันเป็นบิตแรกหลังจากถูกตรวจพบว่าเป็นนัยสำคัญ และถ้ามีสัมประสิทธิ์ที่มีสถานะนัยสำคัญใดๆ ในรอบข้าง นั่นคือ $h+v+d > 0$ การกำหนดบริบทสำหรับรีไฟน์เมนท์บิตจัดแสดงอยู่ในตารางที่ 2.4 [4]

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์ในการกำหนดบริบทของรีไฟน์เมนต์บิต

Context 14	Current refinement bit is the first bit after significant identification and there is no significant coefficient in the eight neighbors
Context 15	Current refinement bit is the first bit after significant identification and there is at least one significant coefficient in the eight neighbors
Context 16	Current refinement bit is at least two bits away from significant identification.

- คลีนอัฟพาส (Clean Up Pass)

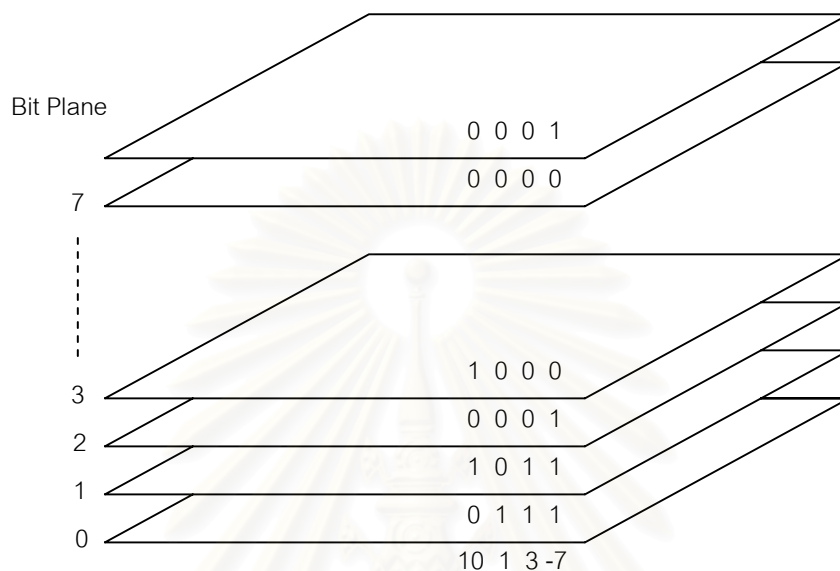
ในกระบวนการคลีนอัฟพาส หรือพาส 3 (Pass 3) บิตจะต้องไม่ถูกทำการเข้ารหัสระนาบบิตใน 2 พาสแรก พิจารณาสัมประสิทธิ์ C ในระนาบบิต B ถ้า C เป็นบิตที่ไม่เป็นนัยสำคัญ บิตในระนาบบิต B จะไม่ ถูกทำการเข้ารหัสระนาบบิตในส่วนของพาส 2 ถ้าทุกๆ สัมประสิทธิ์รอบข้างของ C เป็นแบบไม่มีนัยสำคัญ บิต C ใน ระนาบบิต B จะไม่ถูกเข้ารหัสระนาบบิตในส่วนของพาส 1 เหมือนกันด้วย เหตุนี้บิตจะถูกเข้ารหัสระนาบบิตในแบบพาส 3 แต่ถ้าบิตที่พบเป็น 1 บิต C จะกลายเป็นบิตที่มีสถานะนัยสำคัญ และคิดเครื่องหมาย และตัวเข้ารหัสจะเซ็ทให้สถานะความสำคัญเป็น 1 การกำหนดบริบทในส่วนของการเข้ารหัสแบบคลีนอัฟพาสจะเหมือนกับที่กำหนดในส่วนของการแพร่กระจายของเครื่องหมาย แต่จะมีข้อแตกต่างตรงที่ถ้า 4 บิตในแถบทางแนวหลัก ทุกตัวเป็นบิตที่ไม่มีนัยสำคัญและรอบข้างไม่มีบิตที่เป็นนัยสำคัญจะอาศัย Run Length Coding ในการเข้ารหัส

- ตัวอย่างการเข้ารหัสระนาบบิต

ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเป็นแบบเลขจำนวนเต็มแบบคิดเครื่องหมาย (Signed integer) และมีบิตที่แสดงเครื่องหมาย (Sign bit) ในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 บิตเครื่องหมายที่เป็น 0 จะแทนความหมายของเลขจำนวนเต็มบวก และบิต 1 จะแทนความหมายของเลขจำนวนเต็มลบ ยกตัวอย่างถ้าค่าสัมประสิทธิ์มีบิตที่แสดงเครื่องหมายอยู่ 1 บิต และ 8 บิตแทนแมกนิจูด จะได้ว่า +7 คือ 0|00000111 และ -7 คือ 1|00000111

สมมติยกตัวอย่างให้ทั้ง 4 สัมประสิทธิ์มีค่าดังต่อไปนี้ $10 = 0|00001010$, $1 = 0|0000001$, $3 = 0|00000011$ และ $-7 = 1|00000111$ ซึ่งจะมีทั้งหมด 8 ระนาบบิต เรียงลำดับ

จาก 7-0 ระนาบบิตที่เป็นบิตที่แสดงเครื่องหมาย เริ่มต้นจะถูกมองข้ามไป และในระนาบบิต 7-4 บิตทุกๆตัวมีค่าเป็น 0 (ดังแสดงในรูปที่ 2.23) ดังนั้นการเข้ารหัสระนาบบิต จะเริ่มจากระนาบบิตที่ 3



รูปที่ 2.23 ระนาบบิตของสัมประสิทธิ์ทั้ง 4 ในโค้ดบล็อก

บิตของสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากับ 10 เป็น 1 ที่ระนาบบิตที่ 3 ซึ่งจะถูกเข้ารหัสระนาบบิตแบบคลื่นฮัฟฟามัน และบิตนี้จะถูกประกาศให้เป็นบิตที่มีนัยสำคัญแบบคิดเครื่องหมาย สำหรับระนาบบิตที่ 2 จะทำการเข้ารหัสซึ่งใน ระนาบบิตที่ 3 ค่า สัมประสิทธิ์ที่ 10 เป็นแบบนัยสำคัญ ดังนั้นบิตของ 10 ในระนาบบิตที่ 2 นี้จะถูกเข้ารหัสในส่วนของพาส 2 และกำหนดให้เป็นบิตที่มีนัยสำคัญ ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ที่เท่ากับ 1 นั้นตัวมันเองที่ระนาบบิตนี้ บิตของมันเป็นแบบไม่มีนัยสำคัญ แต่รอบข้างของมันพบว่ามีบิตที่เป็นนัยสำคัญ ซึ่งก็คือบิต 0 ของค่าสัมประสิทธิ์ ที่เท่ากับ 10 ดังนั้นบิต 0 ของค่าสัมประสิทธิ์ที่เท่ากับ 1 ในระนาบบิต ที่ 2 นี้จะถูกเข้ารหัสระนาบบิตแบบพาส 1 พิจารณาบิตของค่าสัมประสิทธิ์ที่เท่ากับ 3 และ -7 ในระนาบบิตที่ 2 ซึ่งมีบิตเป็นบิต 0 และ บิต 1 ตามลำดับบิต 1 ของค่าสัมประสิทธิ์ -7 จะถูกตรวจสอบและกำหนด ให้เป็นการเข้ารหัสแบบพาส 3 และกำหนดให้บิตนั้นเป็นบิตที่มี นัยสำคัญแบบคิดเครื่องหมายถัดมา จะเป็นการเข้ารหัสที่ระนาบบิตที่ 1 บิตของค่าสัมประสิทธิ์ 10 ที่ระนาบบิตนี้จะถูกเข้ารหัสในส่วนที่ พาส 2 (เพราะว่าเป็นบิตที่มีนัยสำคัญในระนาบบิตก่อนหน้า) และบิตของค่าสัมประสิทธิ์ 1 จะถูกเข้ารหัสในพาส 1 เพราะรอบข้างตัวมันมีบิตที่เป็นนัยสำคัญที่มาจากบิต 1 ของค่าสัมประสิทธิ์ที่ เท่ากับ 10 สำหรับบิตของค่าสัมประสิทธิ์ 3 ในระนาบบิตที่ 1 จะถูกเข้ารหัสในส่วนของพาส 1 และ กำหนดให้เป็นบิตที่มีนัยสำคัญแบบคิดเครื่องหมายเพราะว่ารอบข้างมันมีบิตที่เป็นนัยสำคัญและ

ตัวมันเองเป็นบิต 1 และบิต 1 ในระนาบบิตที่ 1 ของค่าสัมประสิทธิ์ -7 จะถูกเข้ารหัสในส่วนของพาสที่ 2 เพราะว่าบิตในระนาบบิตก่อนหน้าเป็นบิตที่มีนัยสำคัญตัวอย่างการเข้ารหัสใน ทั้ง 3 พาส แสดงอยู่ในรูปที่ 2.24

Coefficients					Coefficients					
Bit Plane	10	1	3	-7	Bit Plane	Pass	10	1	3	-7
Sign	0	0	0	1	3	Clean up	1+	0	0	0
7	0	0	0	0	2	Significance	0			
6	0	0	0	0	2	Refinement	0			
5	0	0	0	0	2	Clean up	0			1-
4	0	0	0	0	1	Significance	0		1+	
3	1	0	0	0	1	Refinement	1		1	
2	0	0	0	1	1	Clean up				
1	1	0	1	1	0	Significance	1+			
0	0	1	1	1	0	Refinement	0		1 1	
					0	Clean up				

รูปที่ 2.24 การเข้ารหัสระนาบบิตของค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 4

2.1.8 การเข้ารหัสเลขคณิตโดยอาศัยตัวเข้ารหัสเอ็มคิว (Arithmetic Coder, MQ-Coder)

การเข้ารหัสแบบ MQ-Coder [1], [6] เป็นการเข้ารหัสเอนโทรปีชนิดหนึ่ง ซึ่งจะทำให้การเข้ารหัสเลขฐานสอง จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะทำการบีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลงโดยกรรมวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งตัวเข้ารหัสแบบ MQ-Coder ข้อมูลขาเข้าจะอาศัยบิตข้อมูลและบริบทของบิตข้อมูล ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.21 บิตข้อมูลกับบริบทข้อมูลของตัวบิตข้อมูลนั้นๆ จะถูกกำหนดให้เป็นอิสระต่อกันและมีลำดับข้อมูลที่ตรงกัน กำหนดให้จำนวนบริบทมีค่าเป็น N และมีจำนวนบิตข้อมูลบิตในจำนวนบริบท และกำหนดเป็นความน่าจะเป็นของบิตข้อมูล อาศัยทฤษฎีบทข้อมูลของแชนนอน (Shannon Information Theory) ในการกำหนดเอนโทรปีของบิต-บริบทข้อมูล (Bit-Context) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.41)

$$H = \sum_{i=0}^{N-1} n_i (-p \log_2 p_i - (1-p_i) \log_2 (1-p_i)) \quad (2.41)$$

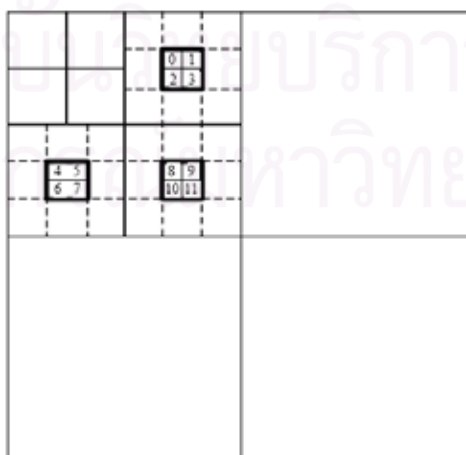
วิธีการของการเข้ารหัสบริบทเอนโทรปีจะทำการแปลงลำดับคู่บิต-บริบทข้อมูลให้กลายเป็นบิตข้อมูลที่มีขนาดกะทัดรัดที่มีขนาดเข้าใกล้ทฤษฎีบทของแซนนอนและในการเข้ารหัสแบบเลขคณิต สัญลักษณ์ทุกตัวของแหล่งข้อมูลจะถูกจัดเรียงให้อยู่ในช่วงของความน่าจะเป็น ซึ่งจะอยู่ในช่วงของจำนวนจริงหนึ่งหน่วย (0 – 1) ซึ่งรายละเอียดการเข้ารหัสแบบเลขคณิตสามารถดูได้จาก [11]

2.1.9 การเข้ารหัสแบบเทียร์ทู (Tier2 Coding)

ในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยการทำข้อมูลของแต่ละโค้ดบล็อกที่ผ่านการบีบอัดมาทำเป็นกลุ่มข้อมูลโดยเรียกการทำกลุ่มข้อมูลนั้นๆ ว่าแพ็คเกต และในแต่ละโค้ดบล็อกจะมีการจัดทำระดับชั้นคุณภาพ (Quality layer) โดยอาศัยการจัดสรรบิตข้อมูลจากแต่ละโค้ดบล็อก

2.1.9.1 การจัดทำกลุ่มของข้อมูล (Packetization)

หลังจากที่ทุกๆบิตข้อมูลของทุกๆสัมประสิทธิ์จากทุกโค้ดบล็อกของการจัดสรรบริเวณที่ผ่านการบีบอัดข้อมูลสายรหัสให้กลายเป็นสายรหัสที่มีขนาดกะทัดรัดซึ่งแพ็คเกตคือ กลุ่มของข้อมูลที่เข้ารหัส (Coding Pass Data) และในส่วนของตัวแพ็คเกตนั้นประกอบไปด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ เฮดเดอร์ (Header) และบอดี (Body) ซึ่งในเฮดเดอร์จะบรรจุข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการถอดรหัสแพ็คเกต และในส่วนของบอดีจะบรรจุข้อมูลที่แท้จริง แพ็คเกตถูกสร้างขึ้นจากแต่ละกลุ่มของการกำหนดบริเวณ ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และแต่ละโค้ดบล็อกภายในบริเวณ Precincts นั้นๆ จะถูกจัดเก็บในแพ็คเกตบอดีโดยเรียงจากแถบย่อย HL, LH, และ HH ดังแสดงในรูปที่ 2.26



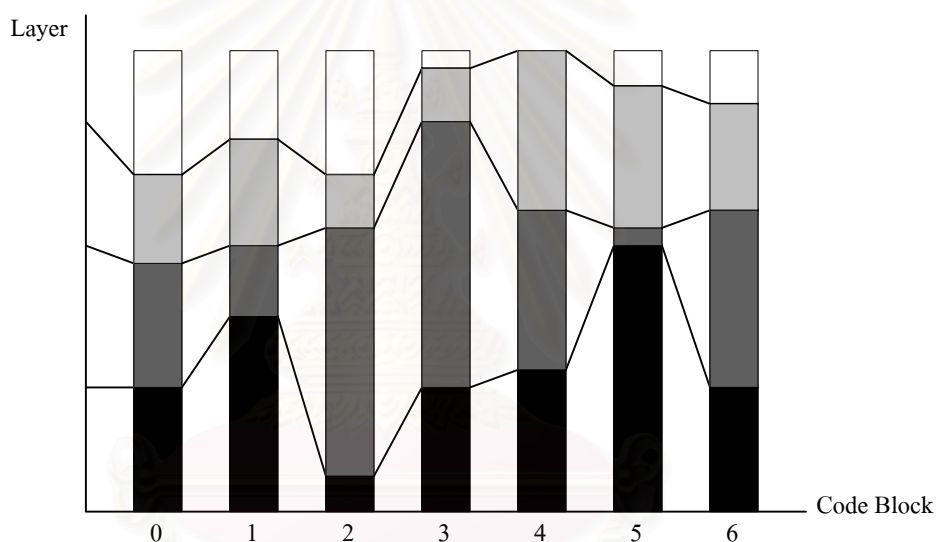
รูปที่ 2.25 กลุ่มข้อมูลในหนึ่งแพ็คเกต

Packet Header	n_0 sub-bitplanes from code-block 0	n_1 sub-bitplanes from code-block 1	n_{11} sub-bitplanes from code-block 11
---------------	---------------------------------------	---------------------------------------	-------	---

รูปที่ 2.26 องค์ประกอบใน 1 แพ็คเก็ตซึ่งประกอบไปด้วยเฮดเดอร์และแพ็คเก็ตบอดี

2.1.9.2 ระดับชั้นคุณภาพ (Quality Layer)

สายบิตข้อมูลในโค้ดบล็อกจะมีการจัดสรรบิตโดยทำการตัดสินใจในการเลือกปริมาณบิตที่เหมาะสมในแต่ละระดับชั้นคุณภาพ [11] การจัดสรรบิตนั้นภายในบริเวณเดียวจะถูกกำหนดเป็นสีเดียวกัน ซึ่งโทนสีเป็นตัวบ่งบอกระดับชั้นคุณภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งการแบ่งแพ็คเก็ตออกเป็นหลายๆ ระดับชั้นคุณภาพนั้นก็เพื่อที่จะทำการถอดรหัสเชิงคุณภาพได้

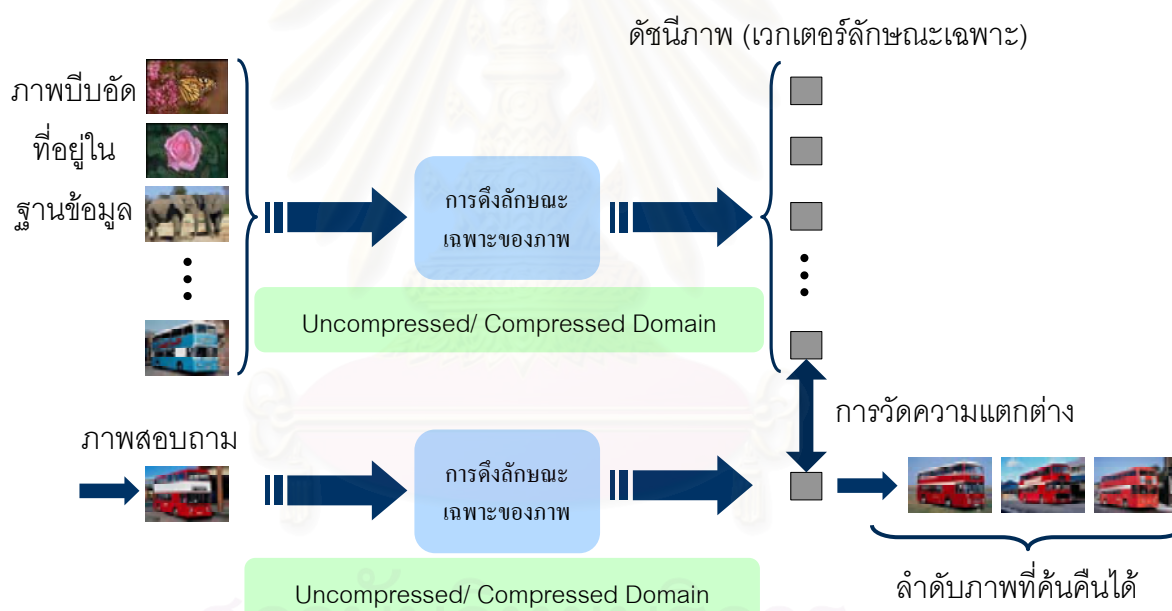


รูปที่ 2.27 ชั้นคุณภาพที่ได้จากการจัดสรรบิตให้กับแต่ละโค้ดบล็อก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ

ระบบการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยทั่วไปประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลักๆ ได้แก่ การดึงลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction) การสร้างดัชนีภาพ (Image Indexing) และการค้นคืนภาพ (Image Retrieval) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันทั่วไปในภาพที่ไม่มีการบีบอัด ตัวอย่างของภาพที่ไม่มีการบีบอัดได้แก่ ภาพฟอร์แมต BMP ภาพฟอร์แมต PCX ภาพฟอร์แมต ICO ภาพฟอร์แมต TGA ภาพฟอร์แมต DXF และภาพฟอร์แมต TIFF เป็นต้น [26] แต่สำหรับภาพที่มีการบีบอัดนั้นสามารถที่จะกระทำได้นับโดเมนที่ไม่มีการบีบอัด (Uncompressed Domain) ซึ่งก็คือการถอดรหัสภาพทั้งหมดกลับมา หรือกระทำได้โดยตรงบนโดเมนการบีบอัด ซึ่งจะอาศัยข้อมูลในแพ็คเกจเฮดเดอร์ หรือทำการถอดรหัสแค่บางส่วนจากฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัส ดังนั้นโครงสร้างของระบบการค้นคืนภาพที่มีการบีบอัดจะมีโครงสร้างเป็นไปตามรูปที่ 2.28



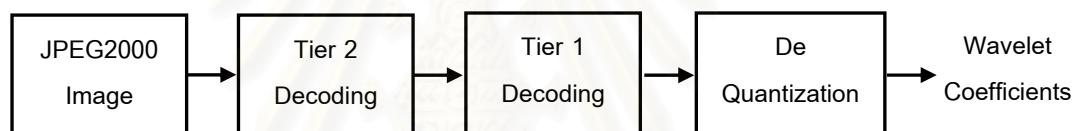
รูปที่ 2.28 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพที่มีการบีบอัด

2.2.1 การดึงลักษณะเฉพาะของภาพ

ลักษณะเฉพาะของภาพเป็นคุณสมบัติที่สามารถหาได้โดยอาศัยขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพ สำหรับการดึงลักษณะเฉพาะของภาพ JPEG2000 สามารถทำได้โดยอาศัยลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพทาง สี รูปร่าง และพื้นผิว แต่วิธีการดึงลักษณะเฉพาะของสี และรูปร่างนั้น สำหรับภาพที่มีการบีบอัดจะต้องถูกถอดรหัสออกมาทั้งหมดเสียก่อนซึ่งก็คือการแปลงภาพที่อยู่ในโดเมนการบีบอัดไปเป็นภาพที่ไม่อยู่ในโดเมนการบีบอัดโดยอาศัยตัวถอดรหัสของ

มาตรฐานการบีบอัดภาพนั้นๆ กรณีถ้าฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่จะทำให้เสียเวลามากในการคำนวณหาข้อมูลลักษณะเฉพาะ เพราะว่าจะต้องเสียเวลาในการถอดรหัสภาพ อีกทั้งยังจะต้องเสียเวลาในกรรมวิธีของการประมวลผลภาพอีกด้วย ซึ่งไม่สะดวกและไม่เป็นที่นิยม ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนภาพหลายๆ บทความได้นำเสนอเทคนิคการค้นคืนภาพในโดเมนการบีบอัด สำหรับมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 ใช้วิธีการแปลงดีสครีตเวฟเล็ต ก่อนทำการควอนไทซ์ข้อมูล ดังนั้นถ้าต้องการข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งกระทำได้โดยการถอดรหัสภาพออกมาแค่บางส่วนจากฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัสแบบ JPEG2000 และทำการดึงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตออกมาจากบัฟเฟอร์ (Buffer) ดังแสดงในรูปที่ 2.29

ข้อมูลที่ได้จากทางฝั่งตัวถอดรหัสของ JPEG2000 เป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงลักษณะของพื้นผิว ซึ่งลักษณะข้อมูลพื้นผิวเป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบ ความละเอียดหรือความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพได้



รูปที่ 2.29 การดึงข้อมูลการแปลงเวฟเล็ตจากฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัส JPEG2000

2.2.2 การสร้างดัชนีภาพ

การสร้างดัชนีภาพ คือ การนำเอาลักษณะเฉพาะของภาพ นำมาสร้างเป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของแต่ละภาพในฐานข้อมูลมาทำการจัดเก็บไว้ใช้สำหรับการเปรียบเทียบระยะทางเวกเตอร์สำหรับการค้นคืนภาพลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพที่แยกออกมาจะอยู่ในรูปของค่าที่เป็นตัวเลขจำนวน n ค่า (ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละวิธี) หรือก็คือเวกเตอร์ขนาด n มิติ

2.2.3 การค้นคืนภาพ

จากรูปที่ 2.28 ขั้นตอนแรกสำหรับการทำ การค้นคืนภาพจะต้องมีภาพสอบถาม (Query Image) ซึ่งก็คือภาพที่ผู้ใช้ต้องการที่จะค้นหาภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงหรืออยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามให้มากที่สุด จากนั้นทำการดึงเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามออกมาแล้วนำไปเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพฐานข้อมูลทั้งหมด ซึ่งการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของกลุ่มภาพนั้นทำได้โดยการเปรียบเทียบระยะทางของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้ง 2 ภาพ

2.2.4 การสอบถาม (Querying)

วิธีการสอบถามหาภาพจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละระบบ ซึ่งการสอบถามหาภาพภาพเดียวกันด้วยวิธีการสอบถามที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป สำหรับระบบที่ได้ออกแบบนี้จะใช้วิธีการสอบถามด้วยภาพตัวอย่าง (Query By Example) [13] โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกภาพควิรีและลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในการสอบถามได้ จากนั้นระบบจะนำภาพไปเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูล และแสดงภาพที่มีลักษณะคล้ายกับภาพควิรีมากที่สุดออกมา ข้อดีของวิธีคือ คนทั่วไปสามารถใช้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบหรือลักษณะเฉพาะของภาพแต่อย่างใด

2.3 ลักษณะเฉพาะของภาพ

ลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นสิ่งซึ่งใช้แทนลักษณะของภาพ หรือเป็นสิ่งที่ใช้เป็นตัวแทน ใช้เป็นตัวบ่งบอกความหมายของภาพนั้นๆ และการเลือกวิธีที่เหมาะสมสำหรับการสร้างลักษณะเฉพาะของภาพก็เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะถ้าหากเลือกใช้วิธีการสร้างลักษณะเฉพาะที่ไม่เหมาะสมแล้วนั้นอาจทำให้ผลในการค้นคืนภาพที่ต้องการอาจมีความผิดพลาดได้

2.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิว

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิว [13] แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistic Approach) การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (Structure Approach) และการวิเคราะห์เชิงสเปกตรัม (Spectrum Approach)

- การวิเคราะห์เชิงสถิติ ทำได้โดยการนำค่าความเข้มสีของจุดภาพมาคำนวณค่าทางสถิติ เช่น พลังงาน (Energy) เอนโทรปี (Entropy) หรือ คอรีเลชัน (Correlation) เพื่อใช้อธิบายลักษณะพื้นผิวของภาพ
- การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งระหว่างพื้นผิวภายในภาพ
- การวิเคราะห์เชิงสเปกตรัม เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในโดเมนความถี่ โดยที่ข้อมูลจะถูกเปลี่ยนโดเมน จากโดเมนพื้นที่ (Spatial Domain) ไปเป็นโดเมนความถี่ ซึ่งนำมาใช้อธิบายคุณสมบัติทางพื้นผิว และวิธีที่นิยมใช้ในงานวิจัยทั่วไป [1], [13] คือการแปลงเวฟเล็ต

สำหรับในงานวิจัยนี้อาศัยการวิเคราะห์เชิงสเปกตรัมที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตของมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายลักษณะของพื้นผิว และข้อดีของการใช้ข้อมูลจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตนั้นทำให้ได้ข้อมูลความละเอียดแบบหลายระดับได้ (Multi resolution) ทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้น

2.3.2 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

การแปลงเวฟเล็ตเป็นวิธีที่ใช้อธิบายลักษณะเฉพาะของภาพได้ โดยข้อมูลที่เป็นพื้นผิววัตถุหรือข้อมูลความถี่ต่ำจะอยู่ในแถบย่อยความถี่ต่ำ (LL) และข้อมูลที่เป็นลายเส้นหรือขอบของวัตถุในแนวแกนต่างๆนั้น จะอยู่ในแถบย่อยความถี่สูง โดยการแปลงเวฟเล็ตนั้นได้ทั้งข้อมูลเชิงความถี่ (frequency information) และข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial information) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการวิเคราะห์และแยกแยะลักษณะเฉพาะของภาพอย่างมาก

สำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ตของภาพที่ผ่านการบีบอัดด้วยมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 นั้นสามารถกระทำได้โดยการดึงค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตโดยตรงจากบัพเฟอร์ของภาพทางฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัสภาพแบบ JPEG2000 ซึ่งเป็นรูปแบบของการกระทำบนโดเมนการบีบอัด

2.3.2.1 การหาค่าพลังงาน (Energy)

การหาค่าพลังงานของแต่ละแถบย่อย (ยกเว้นในแถบย่อย LL) [14] ใช้สำหรับการแทนลักษณะสำคัญทางพื้นผิว ในแต่ละแถบย่อย โดยค่าพลังงานเป็นตัวบ่งบอกว่าในแถบย่อยนั้นๆ มีระดับผลรวมของขนาดข้อมูลมากน้อยเพียงใด กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตของแถบย่อยที่ i^{th} คือ $S_i(x, y)$ และค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อยเวฟเล็ต i^{th} กำหนดได้ดังสมการที่ (2.42)

$$E_i = \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (S_i(x, y))^2 \quad (2.42)$$

โดยที่ W และ H คือ ความกว้างและความสูงของแถบย่อย i^{th}

E_i คือ พลังงานในแถบย่อยที่ i^{th}

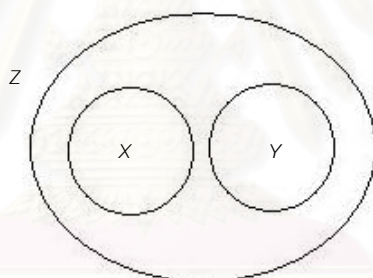
ดังนั้นเซตของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ (FV_E) ซึ่งใช้แทนลักษณะเฉพาะของพื้นผิว ดังแสดงอยู่ในสมการที่ (2.43)

$$FV_E = (E_0, E_1, E_2, \dots, E_{k-1}) \quad (2.43)$$

โดยที่ k คือ จำนวนแถบย่อย (ไม่รวมแถบย่อย LL)

2.3.2.2 การหาค่าความแปรปรวน (Variance)

การหาค่าความแปรปรวน [15] เป็นการบ่งบอกการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลของแถบย่อยนั้นๆ การคำนวณค่าความแปรปรวนนั้นได้มาจากการคำนวณทั้งโมเมนต์ที่หนึ่งและโมเมนต์ที่สอง กำหนดให้เซต Z ประกอบไปด้วยกลุ่มข้อมูลชนิด X และกลุ่มข้อมูลชนิด Y (ดังรูปที่ 2.30) การคำนวณค่าความแปรปรวนของเซต Z ได้มาจากการคำนวณโมเมนต์ที่หนึ่งและโมเมนต์ที่สองของข้อมูลชนิด X และข้อมูลชนิด Y ดังสมการที่ (2.44), (2.45), (2.46), และ (2.47)



รูปที่ 2.30 เซตข้อมูลของ Z

$$E[X] = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.44)$$

$$E[X^2] = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} \quad (2.45)$$

$$E[Y] = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (2.46)$$

$$E[Y^2] = \frac{\sum_{i=1}^N y_i^2}{N} \quad (2.47)$$

โดยที่ $E[X]$ คือ โมเมนต์ที่หนึ่งของกลุ่มข้อมูล X
 $E[X^2]$ คือ โมเมนต์ที่สองของกลุ่มข้อมูล X
 $E[Y]$ คือ โมเมนต์ที่หนึ่งของกลุ่มข้อมูล Y
 $E[Y^2]$ คือ โมเมนต์ที่สองของกลุ่มข้อมูล Y
 x_i คือ ข้อมูลในกลุ่มชนิด X
 y_i คือ ข้อมูลในกลุ่มชนิด Y
 N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของแต่ละกลุ่ม X และ Y (กำหนดให้

ข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน)

โมเมนต์ที่หนึ่งของเซต Z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของผลรวมโมเมนต์ที่หนึ่งของทั้งข้อมูลชนิด X และ Y ดังสมการที่ (2.48) และโมเมนต์ที่สองของเซต Z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของผลรวมโมเมนต์ที่สองของทั้งข้อมูลชนิด X และ Y ดังสมการที่ (2.49)

$$E[Z] = \frac{\sum_{i=1}^N x_i + \sum_{i=1}^N y_i}{2N} = \frac{E[X] + E[Y]}{2} \quad (2.48)$$

$$E[Z^2] = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2 + \sum_{i=1}^N y_i^2}{2N} = \frac{E[X^2] + E[Y^2]}{2} \quad (2.49)$$

ดังนั้นค่าความแปรปรวนของเซต Z สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.50)

$$\text{Var}(Z) = E[Z^2] - E[Z]^2 \quad (2.50)$$

โดยที่ $\text{Var}(z)$ คือ ค่าความแปรปรวนของข้อมูลในเซต Z

$E[Z^2]$ คือโมเมนต์ที่สองของเซตข้อมูล Z

$E[Z]$ คือโมเมนต์ที่หนึ่งของเซตข้อมูล Z

สำหรับภาพที่มีการบีบอัดด้วยมาตรฐาน JPEG2000 หน่วยมูลฐาน ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสระนาบิต คือโค้ดบล็อก ในแต่ละแถบย่อยประกอบไปด้วยหลายๆ โค้ดบล็อก ดังนั้นการคำนวณค่าความแปรปรวนของแต่ละแถบย่อยสามารถคำนวณได้โดยหาโมเมนต์ที่หนึ่งและโมเมนต์ที่สองจากจำนวนโค้ดบล็อกทั้งหมด M โค้ดบล็อก และจากสมการที่ (2.48), (2.49), และ (2.50) สามารถเขียนสมการการหาค่าความแปรปรวนของแถบย่อยได้ในรูปผลรวมของโมเมนต์ที่หนึ่งและโมเมนต์ที่สองจากทุกโค้ดบล็อกในแต่ละแถบย่อยดังสมการที่ (2.51)

$$\text{Var}(i) = \frac{E[X_1^2] + \dots + E[X_M^2]}{M} - \left(\frac{E[X_1] + \dots + E[X_M]}{M} \right)^2 \quad (2.51)$$

โดยที่

$E[X_1], \dots, E[X_M]$ คือ โมเมนต์ที่หนึ่งของแต่ละโค้ดบล็อกทั้งหมด M โค้ดบล็อกในแถบย่อยที่ i^{th}

$E[X_1^2], \dots, E[X_M^2]$ คือ โมเมนต์ที่สองของแต่ละโค้ดบล็อกทั้งหมด M โค้ดบล็อกในแถบย่อยที่ i^{th}

M คือ จำนวนโค้ดบล็อกทั้งหมดในแต่ละแถบย่อยที่ i^{th}

จากสมการที่ (2.51) ค่าความแปรปรวนในแต่ละแถบย่อยถูกกำหนดเป็นเซตของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ ดังแสดงอยู่ในสมการที่ (2.52)

$$FV_V = (V_0, V_1, V_2, \dots, V_{k-1}) \quad (2.52)$$

โดยที่ k คือ จำนวนของแถบย่อยทั้งหมด

2.3.2.3 การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (Localization Grid Map)

การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ [16] เป็นวิธีการสร้างดัชนีการค้นคืนคุณภาพโดยอาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อยสำคัญในแถบย่อย ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ และเวกเตอร์พื้นผิว ดังต่อไปนี้

- กำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ให้กับแต่ละระดับของการแปลงเวฟเล็ต และทำการกำหนดความสำคัญให้กับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อย โดยกำหนดให้ $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ เป็นขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตของภาพดั้งเดิม จากนั้นกำหนดให้ $T_0, T_1, T_2, \dots, T_l$ เป็นอนุกรมของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (2.53)

$$T_0 = \frac{1}{2} \max c_n \text{ และ } T_l = \frac{T_{l-1}}{2} \text{ โดยที่ } l = 1, 2, \dots, L \quad (2.53)$$

โดยที่ L คือ ระดับการแปลงดีสครีตเวฟเล็ต

หลังจากที่ได้อนุกรมค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ตแล้วก็จะทำการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ (Significance Map Encoding) ซึ่งพิจารณาในแต่ละแถบย่อยโดยอาศัยค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ตของแต่ละแถบย่อยนั้นๆ เป็นตัวตัดสิน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตเป็นแบบมีนัยสำคัญ กลับกันถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตเป็นแบบไม่มีนัยสำคัญ

- กำหนดให้ $LG_i(m)$ เป็นแผนที่กริดแบบเฉพาะที่โดยกำหนดให้มีขนาด 8×8 จุดภาพ [16] สำหรับแถบย่อยลำดับที่ i^{th} และกำหนดให้ $S_{BL}(m)$ เป็นจำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นนัยสำคัญของบล็อกที่ m^{th} และกำหนดให้ TV_{qLG} เป็นเซตของเวกเตอร์พื้นผิว

- ทำการสร้างรูปแบบของแผนที่กริดแบบเฉพาะที่โดยเริ่มจากในแต่ละแถบย่อยที่ i^{th} ดังนี้

- ทำการแบ่งแถบย่อยที่ i^{th} ออกเป็นบล็อกย่อยที่มีขนาด 8×8 จุดภาพ จำนวน M บล็อก
- ทำการนับจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นนัยสำคัญที่ได้จากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญในแต่ละบล็อกที่ m^{th}
- ทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นนัยสำคัญต่อจำนวนบล็อกทั้งหมดในแถบย่อยที่ i^{th} ดังสมการที่ (2.54)

$$ave_i = \frac{\sum_{m=1}^M S_{BL}(m)}{M} \quad (2.54)$$

โดยที่ ave_i คือ จำนวนค่าเฉลี่ยของผลรวมค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่เป็นแบบนัยสำคัญในแถบย่อยที่ i^{th} ต่อจำนวนบล็อกทั้งหมดในแถบย่อย i^{th}

M คือ จำนวนบล็อกทั้งหมดในแถบย่อยที่ i^{th}

- ทำการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ได้ดังสมการที่ (2.55)

$$LG_i(m) = \begin{cases} 1 & \text{for } S_{BL}(m) \geq ave_i \\ 0 & \text{for } S_{BL}(m) < ave_i \end{cases} \quad (2.55)$$

กำหนดให้บล็อกที่ m^{th} นั้นๆ ($S_{BL}(m)$) เป็นแอ็กทิฟบล็อก (Active Block) ถ้า $LG_i(m)$ มีค่าเป็น 1

- การคำนวณหาเวกเตอร์พื้นผิวของแต่ละแถบย่อยที่ i^{th}
 - กำหนดให้ Na_i เป็นจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อยสำคัญทั้งหมดภายในแอ็กทิฟบล็อกของแถบย่อยที่ i^{th}
 - ทำการคำนวณหาค่าเวกเตอร์พื้นผิวโดยการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ด้วยการหารด้วยจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อยสำคัญของแอ็กทิฟบล็อกในทุกๆ แถบย่อย ดังสมการที่ (2.56)

$$q_i = \frac{Na_i}{\sum_i Na_i} \quad (2.56)$$

โดยที่ q_i คือ เวกเตอร์พื้นผิวในแต่ละแถบย่อยที่ i^{th}

- เซตของเวกเตอร์พื้นผิว TV_{qLG} สามารถกำหนดได้ในสมการที่ (2.57)

$$TV_{qLG} = \{q_0, q_1, \dots, q_{k-1}\} \quad (2.57)$$

โดยที่ k คือ จำนวนแถบย่อยทั้งหมด

2.3.2.4 โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ (Moment of Significance Map)

การสร้างโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ [17] เป็นเทคนิควิธีในการดึงคุณลักษณะเด่นจากภาพที่มีการเลื่อน (Shift) การสเกล (Scale) และการหมุนของภาพ (Rotate) ด้วยวิธีการหาโมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ (Normalized Central Moment) [18] ที่มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการเลื่อน การสเกล และการหมุนของภาพ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ทำการสร้างแผนที่นัยสำคัญ เริ่มต้นทำการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ให้กับแต่ละระดับของการแปลงเวฟเล็ต และทำการกำหนดความสำคัญให้กับค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อย โดยกำหนดให้ $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ เป็นขนาดของค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการแปลงดีสครีตเวฟเล็ตของภาพดั้งเดิม จากนั้นกำหนดให้ $T_0, T_1, T_2, \dots, T_l$ เป็นอนุกรมของค่าขีดเริ่มเปลี่ยน ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (2.53)

หลังจากที่ได้อนุกรมค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ดแล้วก็จะทำการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ ซึ่งพิจารณาในแต่ละแถบย่อยโดยอาศัยค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่แต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ดของแถบย่อยนั้นๆ เป็นตัวตัดสิน ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ดตัวนั้นเป็นแบบมีนัยสำคัญหรือกำหนดให้เป็น 1 กลับกันถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ดเป็นแบบไม่มีนัยสำคัญหรือกำหนดให้เป็น 0 ดังสมการที่ (2.58)

$$M_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } SB_i(x, y) > T_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.58)$$

โดยที่ $M_i(x, y)$ กำหนดเป็นแผนที่นัยสำคัญที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ในแถบย่อยที่ i^{th} , T_i กำหนดเป็นอนุกรมค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่แต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ด, $SB_i(x, y)$ กำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ในแถบย่อยที่ i^{th}

- หลังจากทำการสร้างแผนที่นัยสำคัญแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการกำหนดโมเมนต์ 2 มิติที่อันดับ p และ q ใดๆ ดังแสดงในสมการที่ (2.59) สำหรับโมเมนต์ศูนย์กลาง (Central Moment) แบบ 2 มิติ ของแถบย่อยที่ i^{th} แสดงอยู่ในสมการที่ (2.60) และโมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์กำหนดในสมการที่ (2.61)

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^A \sum_{y=0}^B x^p y^q M_i(x, y) \quad (2.59)$$

$$u_{pq}^i = \sum_{x=1}^A \sum_{y=1}^B (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q M_i(x, y) \quad (2.60)$$

$$\eta_{pq}^i = u_{pq}^i / (u_{00}^i)^y \quad (2.61)$$

โดยที่ m_{pq} คือ โมเมนต์ 2 มิติที่อันดับ p และ q ใดๆ

u_{pq}^i คือ โมเมนต์ศูนย์กลางแบบ 2 มิติที่แถบย่อย i^{th}

η_{pq}^i คือ โมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ที่แถบย่อย i^{th}

A คือ ความกว้าง (Width) ของแถบย่อยที่ i^{th}

B คือ ความสูง (Height) ของแถบย่อยที่ i^{th}

p และ q กำหนดเป็นอันดับของโมเมนต์

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \text{และ} \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

และ

$$\gamma = \frac{(p+q)}{2} + 1 \quad (2.62)$$

โมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ที่อันดับ 2 และ 3 คำนวณจากแผนที่
 นัยสำคัญในแต่ละแถบย่อย เพื่อที่จะทำการหาค่าความแปรปรวน และความเบ้ (Skewness) โดย
 ที่ค่าความแปรปรวนเป็นตัวบ่งบอกการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์ที่สัมพันธ์กับเซน-
 ทรอยด์ (Centroid) และความเบ้เป็นตัวบ่งบอกความสมมาตรตามทิศทางต่างๆ โมเมนต์ศูนย์กลาง
 แบบมีการนอร์มอลไลซ์ทั้ง 7 รูปแบบสามารถคำนวณได้จากโมเมนต์ศูนย์กลางที่อันดับต่างๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} u_{00} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^0 M(x, y) \\ &= \sum_x \sum_y M(x, y) \\ &= m_{00} \end{aligned} \quad (2.63)$$

$$\begin{aligned} u_{10} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^0 M(x, y) \\ &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^0 M(x, y) \\ &= m_{10} - \frac{m_{10}}{m_{00}} (m_{00}) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.64)$$

$$\begin{aligned} u_{01} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^1 M(x, y) \\ &= m_{01} - \frac{m_{01}}{m_{00}} (m_{00}) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.65)$$

$$\begin{aligned} u_{11} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 M(x, y) \\ &= m_{11} - \frac{m_{10} m_{01}}{m_{00}} \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$\begin{aligned}
&= m_{11} - \bar{x}m_{01} = m_{11} - \bar{y}m_{10} \\
u_{20} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 M(x, y) \\
&= m_{20} - \frac{2m_{10}^2}{m_{00}} + \frac{m_{10}^2}{m_{00}} \\
&= m_{20} - \frac{m_{10}^2}{m_{00}} = m_{20} - \bar{x}m_{10}
\end{aligned} \tag{2.67}$$

$$\begin{aligned}
u_{02} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 M(x, y) \\
&= m_{02} - \frac{m_{01}^2}{m_{00}} \\
&= m_{02} - \bar{y}m_{01}
\end{aligned} \tag{2.68}$$

$$\begin{aligned}
u_{21} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^1 M(x, y) \\
&= m_{21} - 2\bar{x}m_{11} - \bar{y}m_{20} + 2\bar{x}^2 m_{01}
\end{aligned} \tag{2.69}$$

$$\begin{aligned}
u_{12} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^2 M(x, y) \\
&= m_{12} - 2\bar{y}m_{11} - \bar{x}m_{02} + 2\bar{y}^2 m_{10}
\end{aligned} \tag{2.70}$$

$$\begin{aligned}
u_{30} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^3 (y - \bar{y})^0 M(x, y) \\
&= m_{30} - 3\bar{x}m_{20} + 2\bar{x}^2 m_{10}
\end{aligned} \tag{2.71}$$

$$\begin{aligned}
u_{03} &= \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^3 M(x, y) \\
&= m_{03} - 3\bar{y}m_{02} + 2\bar{y}^2 m_{01}
\end{aligned} \tag{2.72}$$

จากการศึกษาทดลองในงานวิจัย [17] อาศัยการแปลงเวฟเล็ต 3 ระดับ โดยที่โมเมนต์ถูกประเมินเฉพาะที่ระดับการแปลงเวฟเล็ตสูงสุดเท่านั้น ดังนั้นเวกเตอร์คุณลักษณะจะประกอบไปด้วยแถบย่อยทั้ง 4 ที่ระดับการแปลงเวฟเล็ตสูงสุด ซึ่งก็คือแถบย่อยที่ 0 1 2 และ 3 ซึ่งประกอบไปด้วยแถบย่อย LL , HL , LH , และ HH ตามลำดับ ดังนั้นเซตของเวกเตอร์พื้นผิว

ประกอบไปด้วยโมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ทั้ง 7 แบบของทุกๆ 4 แถบย่อยดังแสดงในสมการที่ (2.73)

$$f^M = \{f_{SB_0}^M, f_{SB_1}^M, f_{SB_2}^M, f_{SB_3}^M\} \quad (2.73)$$

โดยที่ โมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ทั้ง 7 แบบของแต่ละแถบย่อยคือ

$$f_{SB_j}^M = \{\eta_{20}^j, \eta_{11}^j, \eta_{02}^j, \eta_{30}^j, \eta_{21}^j, \eta_{12}^j, \eta_{03}^j\} \quad (2.74)$$

2.3.2.5 การสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ

การสร้างดัชนีการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรม (Histogram) จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่ผ่านการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ [19] โดยอาศัยค่าสัมประสิทธิ์นัยสำคัญ (Significance Coefficients: SC) ที่ได้จากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ มาคำนวณฮิสโตแกรมที่แต่ละระดับการแปลงเวฟเลตโดยมีรายละเอียดดังนี้

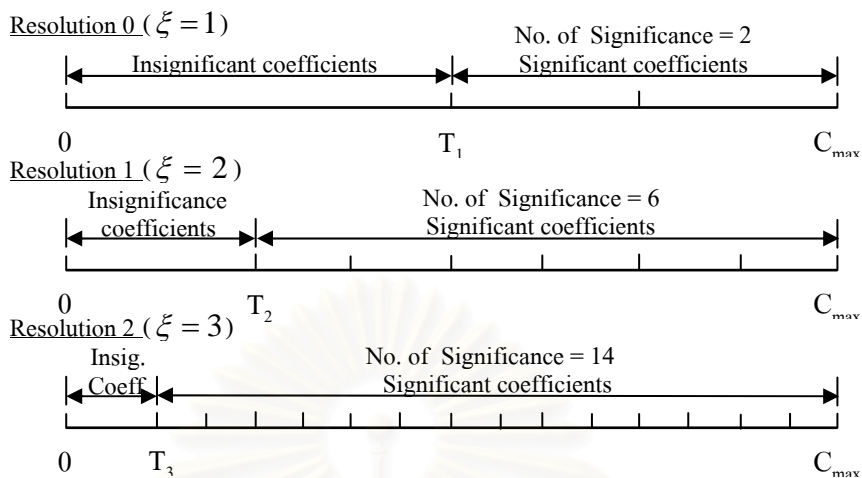
- พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้สร้างแผนที่นัยสำคัญคือค่าขีดเริ่มเปลี่ยนและขนาดของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่สูงที่สุด โดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ (2.53) ในการแบ่งระยะ (Range) สำหรับแต่ละช่วงนั้นจะเป็นครึ่งหนึ่งโดยแบ่งตามระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเลต ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่มีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่มีความสำคัญ สำหรับการทำฮิสโตแกรมนั้น เริ่มแรกจะทำการแบ่งถึงเก็บค่า (Bin) ให้กับแต่ละระดับการแปลงเวฟเลต โดยมีความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.75)

$$\beta = \sum_{i=1}^{\xi} 2^i \quad (2.75)$$

โดยที่ β กำหนดเป็นจำนวนถึงเก็บค่าที่กำหนดให้แต่ละระดับการแปลงเวฟเลต

ξ กำหนดเป็นระดับความละเอียด โดยที่ $\xi = 1, 2, 3 \dots$

ความสัมพันธ์ระหว่าง β กับ ξ แสดงอยู่ในรูปที่ 2.31 [19] เริ่มต้นค่าขีดเริ่มเปลี่ยน T_1 กำหนดเป็นค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้กับระดับการแปลงเวฟเลตที่ต่ำที่สุด (Lowest Resolution) สำหรับ ξ ที่ค่า 1, 2, และ 3 ให้ค่า β เท่ากับ 2, 6, และ 14 ตามลำดับ (ในรูปที่ 2.31)

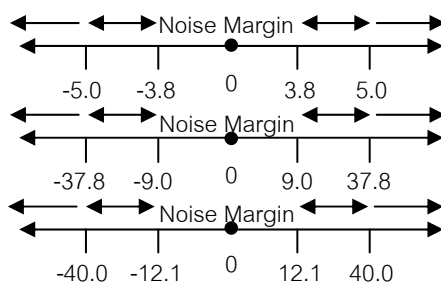


รูปที่ 2.31 รูปแบบการแบ่งถึงเก็บค่าของฮีสโตแกรม

ดังนั้นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะสร้างได้จากการหาค่าฮีสโตแกรมที่แต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ต โดยจำนวนของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะจะขึ้นกับระดับการแปลงเวฟเล็ต ยกตัวอย่างการแปลงเวฟเล็ต 2 ระดับ ประกอบไปด้วย 3 ระดับความละเอียด โดยที่ระดับความละเอียดที่ 0 แทนแถบย่อย LL จากนั้นที่ระดับความละเอียดที่ 1 และ 2 จะเป็นส่วนที่เป็นข้อมูลความถี่สูง ดังนั้นจำนวนเวกเตอร์ทั้งหมดที่การแปลงเวฟเล็ต 2 ระดับคือผลรวมของจำนวนถึงเก็บค่าทั้งหมด ซึ่งจะเท่ากับ 24 เวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.31

2.3.2.6 เวฟเล็ตออโตคอรัลโแกรม (Wavelet Autocorrelogram)

เวฟเล็ตออโตคอรัลโแกรม [20], [21], [22] อาศัยคุณสมบัติทางสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ และระดับความละเอียดหลายระดับ (Multiresolution) ของค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต โดยพิจารณาสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่เปลี่ยนแปลงไปกับระยะทางใดๆ อีกทั้งยังมีคุณสมบัติของความทนทานต่อการหมุนเลื่อน สำหรับขั้นตอนวิธีของเวฟเล็ตออโตคอรัลโแกรม ขั้นตอนแรกเป็นการแบ่งค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.32 [22] จากนั้นทำการคำนวณเวฟเล็ตออโตคอรัลโแกรมแบบ 1 มิติ ที่ระยะทางต่างๆ เฉพาะในทิศทางแนวแกนนอน และ แนวตั้ง ของค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต หรือก็คือแถบย่อย LH และ แถบย่อย HL ตามลำดับ ซึ่งแถบย่อย LH จะมีข้อมูลในทิศทางที่เป็นแนวนอน ซึ่งก็คือความถี่ในแนวตั้ง และแถบย่อย HL มีข้อมูลในทิศทางที่เป็นแนวแกนตั้ง ซึ่งก็คือความถี่ในแนวแกนนอน



รูปที่ 2.32 การแบ่งจำนวนถึงเก็บค่าสำหรับระดับการแปลงเวฟเล็ดทั้ง 3 ระดับ

การคำนวณเวฟเล็ดอโตคอรัลแกรม กำหนดให้

W^l คือ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ดที่แถบย่อยที่ l^{th} ใดๆ (เฉพาะแถบย่อย LH และ HL)

$W_{c_i}^l$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดของแถบย่อยที่ l^{th} ใดๆ ที่มีค่าอยู่ในช่วง c_i

c_i คือ ช่วงการควอนไทซ์ออกเป็นหลายๆ ระดับโดยที่ $i=1, 2, 3, \dots, m$

m คือ จำนวนการควอนไทซ์ทั้งหมด สำหรับในงานวิจัย [22] ใช้จำนวนการควอนไทซ์เท่ากับ 4 (ดังรูปที่ 2.32)

p_1 คือ จุดภาพที่มีค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดอยู่ในช่วง c_i

p_2 คือ จุดภาพใดๆ ในแถบย่อยที่ l^{th} ใดๆ

สำหรับการคำนวณเวฟเล็ดอโตคอรัลแกรมเป็นไปตามสมการที่ (2.76)

$$\alpha^l(i, k) = \frac{\Gamma^l(i, i, k)}{2h_{c_i}(W^l)} \quad (2.76)$$

โดยที่ $\Gamma^l(i, i, k) = \{(p_1, p_2) \mid p_1, p_2 \in W_{c_i}^l, |p_1 - p_2| = k\}$

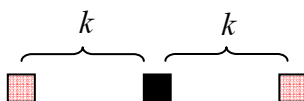
k คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ $k=1, 2, 3, \dots, n$

n คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพที่มากที่สุด

$h_{c_i}(W^l)$ คือ จำนวนค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดทั้งหมดในแถบย่อยที่ l^{th} ที่อยู่ในช่วง c_i ใดๆ

จากสมการที่ (2.76) $\alpha^l(i, k)$ คือ ความน่าจะเป็นในการพบค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดทั้ง 2 ตำแหน่ง ที่มีค่าอยู่ในช่วงระดับการควอนไทซ์ c_i ในระยะห่างระหว่างจุดภาพที่ k ใดๆ ที่แถบย่อยที่ l^{th} และถ้าแถบย่อยที่กระทำอยู่เป็นแถบย่อย LH จะทำการคำนวณเวฟเล็ดอโตคอรัล-

รีโกลแกรมเฉพาะทิศทางในแนวแกนนอน (ดังรูปที่ 2.33) กลับกันถ้าแถบย่อยที่กระทำอยู่เป็นแถบย่อย HL จะทำการคำนวณเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโกลแกรมเฉพาะทิศทางในแนวแกนตั้งเท่านั้น



รูปที่ 2.33 ตัวอย่างการพิจารณาจุดภาพที่ระยะ k ใดๆ ของแถบย่อย LH

โดยที่ ■ คือ จุดภาพอ้างอิง

■ คือ จุดภาพที่ระยะ k ใดๆ ในแนวแกนนอน

ในงานวิจัย [20], [21], [22] ใช้การแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดเท่ากับ 3 จำนวนการควอนไทซ์เท่ากับ 4 และระยะ $k = 1, 2, 3, 4$ ดังนั้นจำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้งหมดเท่ากับ ระยะ k ที่มากที่สุดคูณกับ จำนวนการควอนไทซ์ และคูณกับจำนวนแถบย่อยที่แต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ตทั้งหมด 3 ระดับ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับ $4 \times 4 \times 2 \times 3$ เท่ากับ 96 เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ ด้วยเหตุนี้สามารถสรุปได้ว่าจำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะขึ้นอยู่กับระยะทาง k จำนวนของการควอนไทซ์ และระดับการแปลงเวฟเล็ต แต่สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้ใช้จำนวนการควอนไทซ์เท่ากับ 4 และระดับการแปลงเวฟเล็ตเท่ากับ 3 แต่จะทำการปรับเฉพาะค่าระยะห่างระหว่างจุดภาพ k เท่านั้น

2.4 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Feature vector comparison)

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ ทำได้โดยการคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งสอง ซึ่งความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองแปรตามระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

กำหนดให้ I และ I' แทนภาพ 2 ภาพที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างกัน สำหรับวิธีการคำนวณระยะทางของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะแบ่งออกเป็นวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.4.1 ระยะทาง L_1 (L_1 distance)

ระยะทาง L_1 [13] คือ ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์ใดๆ ซึ่งเป็นวิธีที่คำนวณได้ง่าย รวดเร็วและไม่ซับซ้อน สำหรับการคำนวณระยะทาง L_1 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.77)

$$|I - I'|_{x, L_1} = \sum_{i=0}^{K-1} |X_i(I) - X_i(I')| \quad (2.77)$$

โดยที่ $X_i(I)$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I , K คือ จำนวนของแถบย่อยทั้งหมด, $X_i(I')$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I'

2.4.2 ระยะทาง L_2 (L_2 distance)

การคำนวณระยะทาง L_2 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.78)

$$|I - I'|_{x, L_2} = \sqrt{\sum_{i=0}^{K-1} (X_i(I) - X_i(I'))^2} \quad (2.78)$$

โดยที่ $X_i(I)$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I , K คือ จำนวนของแถบย่อยทั้งหมด, $X_i(I')$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I'

2.4.3 ระยะทาง D_1 (D_1 distance)

ระยะทาง D_1 [13] เป็นวิธีที่ประยุกต์มาจากระยะทาง L_1 โดยการแทนที่ค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์ใด ๆ ด้วยค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์ใด ๆ หารด้วย 1 บวกกับผลรวมของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์นั้น (ค่า 1 ในส่วนของสมการ เพิ่มเข้ามาเพื่อป้องกันการหารด้วยศูนย์) สำหรับการคำนวณระยะทางแบบ D_1 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.79)

$$|I - I'|_{x, D_1} = \sum_{i=0}^{K-1} \frac{|X_i(I) - X_i(I')|}{1 + X_i(I) + X_i(I')} \quad (2.79)$$

โดยที่ $X_i(I)$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I

$X_i(I')$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I'

K คือ จำนวนของแถบย่อยทั้งหมด

2.4.4 ระยะทาง S_1 (S_1 Distance)

การคำนวณระยะทาง S_1 [13] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.80)

$$|I - I'|_{x, S_1} = 1 - \frac{1}{K} \times \sum_{i=0}^{K-1} \frac{\min(X_i(I), X_i(I'))}{\max(X_i(I), X_i(I'))} \quad (2.80)$$

โดยที่ $X_i(I)$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I
 $X_i(I')$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I'
 K คือ จำนวนของแถบย่อยทั้งหมด

2.5 การประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ

วิธีวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่ใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ วิธี r -measure และ p_1 -measure, Precision และ recall และ ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank) [13] สำหรับวิธีการวัดประสิทธิภาพที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การวัดประสิทธิภาพด้วยค่า ANMRR ซึ่งเหมาะกับการวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถาม ในขณะที่วิธี r -measure และ p_1 -measure เป็นการวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ถูกต้องหรือภาพเป้าหมาย จากลำดับที่ของภาพเป้าหมายนั้น [13] สำหรับการวัดประสิทธิภาพแบบ ANMRR ค่าแสดงประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 0 – 1 โดยที่ถ้าค่า ANMRR มีค่าต่ำ หมายความว่าประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพดีกลับกันถ้าค่า ANMRR มีค่าสูง หมายความว่าประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพต่ำ

สำหรับการคำนวณค่า ANMRR กำหนดให้ Q คือ จำนวนการควิรี (1% ของจำนวนภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล)

$NG(q)$ คือ จำนวนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถาม q

$R(k)$ คือ ลำดับที่ของภาพ k ที่ได้จากผลการค้นคืนภาพ

$K(q) = \min(4 \times NG(q), 2 \times GTM)$, โดยที่ $GTM = \max\{NG(q)\}$

$Rank(k)$ คือ ลำดับที่ของภาพในกลุ่มเดียวกันที่ค้นคืนมาได้ ซึ่งถูกจำกัดให้ลำดับที่สูงสุดมีค่าเท่ากับ $K+1$ โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.81)

$$Rank(k) = \begin{cases} R(k) & , \text{if } R(k) \leq K(q) \\ (K + 1) & , \text{if } R(k) > K(q) \end{cases} \quad (2.81)$$

$AVR(q)$ คือ ค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของภาพ (Average Rank) สำหรับควิรี q ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.82)

$$AVR(q) = \sum_{k=1}^{NG(q)} \frac{Rank(k)}{NG(q)} \quad (2.82)$$

เนื่องจากแต่ละกลุ่มภาพอาจมีจำนวนภาพที่แตกต่างกัน จึงทำให้ $AVR(q)$ มีค่าขึ้นอยู่กับค่า $NG(q)$ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงค่า $AVR(q)$ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่า $NG(q)$ เรียกว่า $MRR(q)$ (Modified Retrieval Rank) โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (2.83)

$$MRR(q) = AVR(q) - 0.5 - \frac{NG(q)}{2} \quad (2.83)$$

ค่า $MRR(q)$ มีขอบเขตล่างเท่ากับศูนย์ โดยที่ $MRR(q)$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ในกรณีที่สามารถค้นคืนภาพได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือสามารถค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามได้ทั้งหมดในลำดับที่ 1 ถึง $NG(q)$

$NMRR(q)$ คือ ค่า $MRR(q)$ มาตรฐาน (Normalized Modified Retrieval Rank) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 (สามารถค้นคืนภาพได้อย่างสมบูรณ์) ถึง 1 (ไม่สามารถค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามได้ในลำดับที่ 1 ถึง $K(q)$) โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (2.84)

$$NMRR(q) = \frac{MRR(q)}{K + 0.5 - 0.5 * NG(q)} \quad (2.84)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $ANMRR$ ดังสมการที่ (2.85)

$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q NMRR(q) \quad (2.85)$$

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีต่าง ๆ รวมถึงเทคนิคการค้นคืนภาพที่ได้ศึกษาส่วนเทคนิคการค้นคืนภาพที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงในบทถัดไป

บทที่ 3

เทคนิคที่นำเสนอ

ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ สี รูปร่าง และพื้นผิว สำหรับภาพที่มีการบีบอัด อาทิเช่น ภาพที่มีการบีบอัดด้วย JPEG2000 หากต้องการลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพทางสี และรูปร่าง จำต้องถอดรหัสภาพกลับมาทั้งหมดเสียก่อน ทำให้ต้องเสียเวลาในการถอดรหัสข้อมูล และยังคงต้องเสียเวลาในส่วนของการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลด้วย สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาเทคนิคการคืนคืนภาพ JPEG2000 ทำให้สามารถที่จะอาศัยข้อมูลพื้นฐานของภาพทางพื้นผิวได้ เนื่องจากภาพ JPEG2000 อาศัยการแปลงเวฟเล็ตในการเปลี่ยนโดเมนจากโดเมนพื้นที่ เป็นโดเมนความถี่ และคุณสมบัติของการแปลงเวฟเล็ตนั้นให้ข้อมูลที่เป็นพื้นผิวของภาพ อีกทั้งยังวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวได้แบบหลายระดับความละเอียด ด้วยเหตุนี้วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมาวิเคราะห์ และสร้างลักษณะเฉพาะของภาพ ด้วยเทคนิควิธีการสร้างลักษณะเฉพาะของภาพในรูปแบบต่างๆ เช่น การหาค่าพลังงาน [14, 17] การหาค่าความแปรปรวน [15] การสร้างแผนที่กริดเฉพาะที่ [16] โมเมนต์ของแผนที่ที่สำคัญ [17] ฮิสโตแกรมของแผนที่ที่สำคัญ [19] เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม [20-22] และเทคนิคที่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์นำเสนอขึ้นเอง โดยให้ชื่อเทคนิคนี้ว่า การสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดบริบทของการเข้ารหัสที่สำคัญใน JPEG2000 หรือเรียกสั้นๆ ว่า วิธีการกำหนดบริบท สำหรับข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตนั้น ได้มาโดยตรงจากบัพเฟอร์ที่เก็บข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตทางฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัส JPEG2000 โดยทำการถอดรหัสออกมาบางส่วน ซึ่งจะถือได้ว่าเป็นการกระทำในโดเมนบีบอัด

สำหรับการคืนคืนภาพ JPEG2000 นั้น นอกจากอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตแล้ว ยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากส่วนอื่นๆ ที่อยู่ในโดเมนบีบอัดได้อีกด้วย อาทิเช่น ข้อมูลจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ ในงานวิจัย [23] อาศัยการหาค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของระนาบบิตในโค้ดบล็อก ซึ่งข้อมูลจำนวนระนาบบิตได้มาโดยตรงจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ของภาพ JPEG2000 และในงานวิจัย [24] อาศัยจำนวนบิตข้อมูลที่ถูกใช้ในการเข้ารหัสของแต่ละแถบย่อย มาอธิบายคุณลักษณะทางพื้นผิว เช่น การปรับทิศทางของพื้นผิว และความหยาบของพื้นผิวได้ โดยข้อมูลเหล่านี้ได้มาโดยตรงจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ของสายรหัสข้อมูลใน JPEG2000 แต่สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้อาศัยข้อมูลพื้นผิวของภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ซึ่ง

สามารถดึงข้อมูลมาได้โดยตรงในโดเมนบีบอัด ทางฝั่งถอดรหัสของตัวถอดรหัส JPEG2000 เนื่องจากสามารถประยุกต์เทคนิควิธีการสร้างลักษณะเฉพาะต่างๆ ที่กระทำบนเวฟเล็ตโดเมน (Wavelet Domain) ได้ ทำให้มีวิธีการที่หลากหลายที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการค้นคืนภาพแบบ JPEG2000 สำหรับวิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพในวิทยานิพนธ์นี้ อาศัยวิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้ง 7 วิธี ที่ได้กล่าวในตอนต้น (รวมเทคนิควิธีที่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์นำเสนอขึ้นเองด้วย) ซึ่งวิธีการในแต่ละแบบ มีทั้งข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะกล่าวลงในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการวิเคราะห์รายละเอียดของแต่ละเทคนิควิธีด้วยกันทั้งหมด 7 วิธี โดยในรายละเอียดของแต่ละวิธีนั้น ในบางวิธีก็จะมี การปรับพารามิเตอร์บางอย่างเพื่อความเหมาะสม เพื่อประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยการหาค่าพลังงาน

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ค่าพลังงานในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อยด้วยสมการที่ (2.42) โดยทำการคำนวณในทุกๆ แถบย่อย ยกเว้นแถบย่อย LL จากการทดลองพบว่าอาศัยข้อมูลเฉพาะแถบย่อยความถี่สูง (HL, LH, HH) ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อนำแถบย่อย LL มาคิด โดยที่เวกเตอร์ของค่าพลังงานเขียนได้ดังสมการที่ (3.1)

$$FV_E = (E_0, E_1, E_2, \dots, E_{k-1}) \quad (3.1)$$

โดยที่ k คือ จำนวนแถบย่อย (ไม่รวมแถบย่อย LL)

ข้อดีของการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการหาค่าพลังงานก็คือเป็นวิธีที่มีการคำนวณที่รวดเร็ว และใช้จำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะน้อยในการแทนลักษณะเฉพาะของภาพนั้นๆ ซึ่งวิธีการหาค่าพลังงานเป็นการวิเคราะห์ว่าแถบย่อยไหนมีความสำคัญมากที่สุด โดยบอกได้จากค่าพลังงานที่มากที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกในเชิงปริมาณข้อมูล สำหรับข้อเสียของวิธีการหาค่าพลังงานนั้น พบว่าการหาค่าพลังงานให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของความเปรียบต่าง และการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังไม่ดี เนื่องจากข้อมูลที่มีการทำการปรับความเปรียบต่าง และข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังแตกต่างไปจากภาพเป้าหมายทำให้เกิดความแตกต่างในการคำนวณค่าพลังงาน เนื่องจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังสอง จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ และพบว่าเทคนิคการหาค่าพลังงานเป็นเทคนิคที่ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟ-

ไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้การค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามมากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืน

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยการหาค่าความแปรปรวน

สำหรับวิธีการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการคำนวณหาค่าความแปรปรวนในทุกๆ ได้บล็อกของแต่ละแถบย่อยด้วยสมการที่ (2.51) โดยทำการคำนวณในทุกๆ แถบย่อย โดยที่เวกเตอร์ของค่าความแปรปรวนเขียนได้ดังสมการที่ (3.2)

$$FV_V = (V_0, V_1, V_2, \dots, V_{k-1}) \quad (3.2)$$

โดยที่ k คือ จำนวนแถบย่อยทั้งหมด

ข้อดีของการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยค่าความแปรปรวนนั้น เป็นวิธีที่ใช้จำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะน้อยในการแทนลักษณะเฉพาะของภาพนั้นๆ และยังสามารถบ่งบอกถึงการกระจายตัวของข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อยได้ว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงใดในแต่ละแถบย่อย สำหรับข้อเสียของการหาค่าความแปรปรวนนั้น ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างไม่ดี และการหาค่าความแปรปรวนเป็นเทคนิคที่ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต มีประสิทธิภาพในการค้นคืนกลุ่มภาพเดียวกันกับภาพสอบถามไม่ดีเท่าที่ควร เพราะว่าวิธีการหาค่าความแปรปรวนทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในทางสถิติ ซึ่งการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์นั้นส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทาง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีนี้ทำให้เกิดความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตระหว่างภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืน ทำให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่อยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมด

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยแผนที่กริดแบบเฉพาะที่

ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการทดลองปรับขนาดบล็อกสำหรับสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ เพื่อวัดผลกระทบที่เกิดจากขนาดบล็อกที่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าขนาดบล็อกสำหรับทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ที่ขนาด 8×8 จุดภาพมีความเหมาะสมมากที่สุด สำหรับวิธีการสร้างแผนที่กริดแบบ

เฉพาะที่อธิบายอยู่ในหัวข้อที่ 2.3.2.3 และการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะดูได้จากสมการที่ (2.56) โดยที่เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของแผนที่กริดแบบเฉพาะที่เขียนได้ดังสมการที่ (3.3)

$$TV_{qLG} = \{q_0, q_1, \dots, q_{k-1}\} \quad (3.3)$$

โดยที่ k คือ จำนวนแถบย่อยทั้งหมด

ข้อดีของวิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่เป็นวิธีที่ใช้จำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะน้อยในการแทนลักษณะเฉพาะของภาพนั้นๆ มีความรวดเร็ว ไม่ซับซ้อน และเป็นวิธีที่สามารถบ่งบอกข้อมูลลักษณะเด่นชัด (Dominant feature) หรือก็คือข้อมูลที่สำคัญซึ่งได้จากการเข้ารหัสแผนที่ที่นัยสำคัญ จากนั้นทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญๆ และสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนบางส่วนที่ไม่ต้องการออกไปได้ ทำให้การค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของความส่องสว่าง และความเปรียบต่างอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับข้อเสียของแผนที่กริดเฉพาะที่นั้น เกิดขึ้นจากข้อมูลส่วนสำคัญที่เกิดขึ้นอาจจะไม่ใช่ส่วนที่เป็นวัตถุที่สนใจเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับวัตถุที่สนใจได้ ทำให้การค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังไม่ดี และพบว่าวิธีแผนที่กริดเฉพาะที่ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามทั้งหมด เป็นเพราะวิธีนี้ให้ความสำคัญต่อกันกับข้อมูลของทั้งภาพสอบถามและภาพที่ถูกค้นคืน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ

สำหรับวิธีการวิเคราะห์โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการคำนวณหาค่าโมเมนต์ทั้ง 7 แบบในแต่ละแถบย่อยด้วยสมการที่ (2.61) โดยทำการคำนวณเฉพาะ 4 แถบย่อย ซึ่งก็คือ LL_0 , HL_1 , LH_1 , และ HH_1 เพราะจากการทดลองใน [17] ค่าโมเมนต์มีค่าใกล้เคียงกันในแถบย่อยความถี่สูงที่ทุกๆ ระดับการแปลงเวฟเล็ต จึงเลือกเฉพาะแถบย่อยความถี่สูงที่ระดับเดียว และเวกเตอร์ของค่าโมเมนต์ทั้ง 7 แบบเขียนได้ดังสมการที่ (3.4) และ (3.5)

$$f^M = \{f_{SB_0}^M, f_{SB_1}^M, f_{SB_2}^M, f_{SB_3}^M\} \quad (3.4)$$

โดยที่ โมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ทั้ง 7 แบบของแต่ละแถบย่อยคือ

$$f_{SB_j}^M = \{\eta_{20}^j, \eta_{11}^j, \eta_{02}^j, \eta_{30}^j, \eta_{21}^j, \eta_{12}^j, \eta_{03}^j\} \quad (3.5)$$

โดยที่ j คือ แถบย่อยที่ $j = \{0, 1, 2, 3\}$

ข้อดีของวิธีการหาค่าโมเมนต์เป็นวิธีการที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปต่อการเลื่อนขนาน (Translation) และการสเกล (Scale) สำหรับข้อเสียของวิธีนี้คือมีความซับซ้อนมาก และใช้เวลาในการประมวลผลสูง และสำหรับการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทาง ให้การค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามทั้งหมด

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยฮิสโตแกรมของแผนที่นัยสำคัญ

ทำการคำนวณหาฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญในทุกๆ แอพย่อยโดยกำหนดให้จำนวนถึงเก็บค่าคำนวณได้ดังสมการที่ (2.75) สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ระดับความละเอียดของการแปลงเวฟเล็ตเท่ากับ 3 ทำให้จำนวนถึงเก็บค่าในแต่ละระดับ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (2.75) มีค่าดังนี้ ที่ระดับความละเอียด 0 (แอพย่อย LL) จำนวนถึงเก็บค่าเท่ากับ 2 ถึง ที่ระดับความละเอียด 1 จำนวนถึงเก็บค่าเท่ากับ 6 ถึง ที่ระดับความละเอียด 2 จำนวนถึงเก็บค่าเท่ากับ 14 ถึง และที่ระดับความละเอียด 3 จำนวนถึงเก็บค่าเท่ากับ 30 ถึง ซึ่งจะหมายถึงจำนวนเวกเตอร์ที่ใช้ในการค้นคืนภาพที่ระดับความละเอียด 0 เท่ากับ 2 ค่า จำนวนเวกเตอร์ที่ใช้ในการค้นคืนภาพที่ระดับความละเอียด 1 เท่ากับ 6 ค่า จำนวนเวกเตอร์ที่ใช้ในการค้นคืนภาพที่ระดับความละเอียด 2 เท่ากับ 14 ค่า และจำนวนเวกเตอร์ที่ใช้ในการค้นคืนภาพที่ระดับความละเอียด 3 เท่ากับ 30 ค่า สำหรับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของฮิสโตแกรมเขียนได้ดังสมการที่ (3.6)

$$FV_H = (H_0, H_1, H_2, H_3) \quad (3.6)$$

$$\text{โดยที่ } H_0 = (h_{c1}, h_{c2})$$

$$H_1 = (h_{c1}, h_{c2}, \dots, h_{cm}) \text{ โดยที่ } m=1, 2, 3, \dots, 6$$

$$H_2 = (h_{c1}, h_{c2}, \dots, h_{cm}) \text{ โดยที่ } m=1, 2, 3, \dots, 14$$

$$H_3 = (h_{c1}, h_{c2}, \dots, h_{cm}) \text{ โดยที่ } m=1, 2, 3, \dots, 30$$

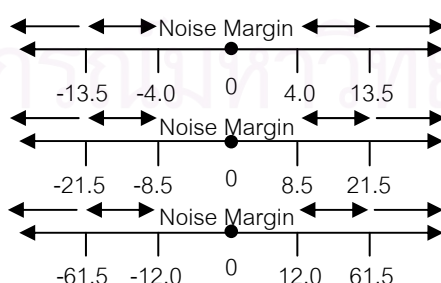
ข้อดีของวิธีการหาค่าฮิสโตแกรมเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว และไม่ซับซ้อน และยังมีความทนทานต่อการหมุน การเลื่อนขนาน สำหรับข้อเสีย กรณีภาพมีการเปลี่ยนแปลงไปของความส่องสว่าง และความเบี่ยงต่าง ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพที่ไม่ดี และสำหรับการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทาง ให้การค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามทั้งหมด

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยเวฟเล็ตออคโตคอร์รีโลแกรม

นอกจากความสามารถในการค้นคืนภาพได้อย่างถูกต้อง และตรงตามความต้องการของผู้ใช้แล้ว เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพต้องสามารถค้นคืนภาพได้อย่างรวดเร็ว และคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะได้ง่าย มีความซับซ้อนในการคำนวณไม่มาก และมีขนาดของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ค่อนข้างเล็ก เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการทำดัชนีและจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล

การปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ สำหรับวิธีเวฟเล็ตออคโตคอร์รีโลแกรมสามารถทำได้โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณเวฟเล็ตออคโตคอร์รีโลแกรมของภาพให้เหมาะสม ซึ่งได้แก่ จำนวนการควอนไทซ์ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต และเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใดๆ ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะส่งผลต่อขนาดของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และความซับซ้อนรวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณเวฟเล็ตออคโตคอร์รีโลแกรมของภาพเพื่อสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

การคำนวณเวฟเล็ตออคโตคอร์รีโลแกรมของภาพในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ เท่ากับ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ เนื่องจากในการทดลองพบว่าวิธีนี้มีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำที่สุด และกำหนดให้การแบ่งระดับการควอนไทซ์ออกเป็น 4 ระดับ โดยพิจารณาสัมประสิทธิ์ที่มีขนาดเล็กให้เป็นข้อมูลสัญญาณรบกวน และกำจัดส่วนนี้ทิ้ง สำหรับเกณฑ์ในการแบ่งค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละถึงเก็บค่า สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ไม่ได้จัดว่าเป็นข้อมูลสัญญาณรบกวน จะแบ่งข้อมูลในแต่ละถึงเก็บค่าออกเป็นประมาณร้อยละ 25 [20-22] จากการทดลองสามารถกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนในแต่ละถึงเก็บค่า ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การแบ่งจำนวนถึงเก็บค่าสำหรับระดับการแปลงเวฟเล็ตทั้ง 3 ระดับ

สำหรับการคำนวณเวฟเล็ตฮอโตคอรรีโลแกรม คำนวณได้จากสมการที่ (2.76) และเขียนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของเวฟเล็ตฮอโตคอรรีโลแกรมได้ดังสมการที่ (3.7)

$$\alpha'(i,k) = \begin{bmatrix} \alpha'(1,1) & \alpha'(1,2) & \dots & \alpha'(1,k) \\ \alpha'(2,1) & \alpha'(2,2) & \dots & \alpha'(2,k) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \alpha'(i,1) & \alpha'(i,2) & \dots & \alpha'(i,k) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

โดยที่ k คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใดๆ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

i คือ จำนวนถึงเก็บค่าหลังจากการควอนไทซ์ $i = \{1, 2, 3, 4\}$

l คือ ลำดับที่ของแถบย่อย LH และ HL $l = \{1, 2, 4, 5, 7, 8\}$

เวฟเล็ตฮอโตคอรรีโลแกรม เป็นวิธีที่อธิบายถึงสหสัมพันธ์ในแนวแกนของข้อมูลว่ามีความน่าจะเป็นในการพบกลุ่มข้อมูลที่เหมือนกันในแนวแกนเป็นอย่างไร อีกทั้งยังมีความรวดเร็ว และไม่ซับซ้อนมากนัก สำหรับข้อเสีย คือ ใช้จำนวนเวกเตอร์มากในการแทนลักษณะเฉพาะของภาพ และใช้เป็นเครื่องมือในการอธิบายภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางได้ไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เป็นเพราะไม่มีความอิสระต่อกันของข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตระหว่างภาพสอบถามและภาพที่ถูกค้นคืน

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดบริบทของการเข้ารหัสสัญญาณใน JPEG2000

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคนิคใหม่สำหรับใช้สร้างดัชนีการค้นคืนภาพ โดยได้แนวความคิดมาจากการเข้ารหัสสัญญาณ (Significance coding) ที่ใช้ในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 [1] สำหรับการเข้ารหัสข้อมูลในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 จะทำการพิจารณาการเข้ารหัสโดยอาศัยการเข้ารหัสระนาบบิต (Bit plane coding) โดยพิจารณาการเข้ารหัสข้อมูลแบบวิเคราะห์ในระนาบบิตข้อมูล ซึ่งในการเข้ารหัสระนาบบิตนั้นอาศัยการเข้ารหัสสัญญาณ ซึ่งประกอบไปด้วยการเข้ารหัสทั้ง 3 พาส (Three coding pass) ผลลัพธ์ที่ได้จากการเข้ารหัสสัญญาณจะทำให้ได้คู่บิต-บริบท (Bit-Context pair) สำหรับใช้ในการเข้ารหัสเลขคณิตแบบ MQ ใน JPEG2000 การกำหนดบริบทมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการกำหนดกลุ่มบิตข้อมูลของแต่ละระนาบบิต จากนั้นจะนำบริบทที่ได้นั้นไปคำนวณหาความน่าจะเป็นสำหรับการเข้ารหัสเลขคณิตแบบ MQ สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำแนวความคิดการเข้ารหัสสัญญาณมาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลโดยอาศัยบริบทเป็นเครื่องมือในการอธิบายแบบรูปของขอบ (Edge pattern) ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งจะทำการกำหนดกลุ่มข้อมูลในรูปของบริบทโดยทำการดูข้อมูลบล็อก

สำคัญรอบข้างว่ามีความสัมพันธ์เป็นอย่างไร ตรงกับเงื่อนไขของบริบทอะไร จากนั้นก็จะทำการกำหนดบริบทให้กับบล็อกนั้น หลังจากที่ทำกรกำหนดบริบทให้กับทุกบล็อกในแถบย่อยแล้ว ก็จะทำกรคำนวณความน่าจะเป็นในการค้นพบกลุ่มบริบทนั้นๆ ว่ามีความน่าจะเป็นในการพบกลุ่มบริบทนั้นๆ มากน้อยเพียงใด ในแต่ละแถบย่อยซึ่งจะทำให้เกิดความอิสระต่อกันมากขึ้นในการวิเคราะห์ข้อมูลของภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืน และจากการทดลองพบว่าบริบทสามารถค้นคืนข้อมูลแบบมีทิศทางได้ เนื่องจากการแปลงเวฟเล็ตมีคุณสมบัติในการจำแนกทิศทางอยู่แล้ว ซึ่งจะจำแนกทิศทางได้เป็น 3 ทิศทางหลักด้วยกัน คือ ข้อมูลในแนวนอน ข้อมูลในแนวตั้ง และข้อมูลในแนวทแยง จากการทดลองการค้นคืนภาพพื้นผิวด้วย การหาค่าพลังงาน การหาค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมของแผนที่นัยสำคัญ และเวฟเล็ตคอโคออร์ดิเนตแกรม พบว่าแต่ละเทคนิคที่ได้กล่าวมานั้น เป็นเครื่องมือที่มีคุณสมบัติไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดความอิสระต่อกันมากขึ้นของข้อมูลภาพสอบถามกับข้อมูลของภาพที่ถูกค้นคืน เพียงแต่เป็นการอธิบายข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในเชิงปริมาณของข้อมูลในแต่ละแถบย่อย หรือไม่ก็เป็นเพียงการบ่งบอกข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในทางสถิติของแต่ละแถบย่อย จึงทำให้กรณีการทดลองการค้นคืนได้ของข้อมูลภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามเท่าใดนัก ทั้งๆ ที่การแปลงเวฟเล็ตให้คุณสมบัติในการจำแนกทิศทางอยู่แล้ว ซึ่งจะแตกต่างไปจากวิธีการกำหนดบริบท โดยที่วิธีการกำหนดบริบทจะทำกรวิเคราะห์ข้อมูลในอีกแบบหนึ่ง ซึ่งจะดูกลุ่มบล็อกข้อมูลที่สำคัญ โดยไม่นำค่าทางขนาดของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมาคำนวณ หรือวิเคราะห์โดยตรง จึงทำให้เกิดความอิสระต่อกันมากขึ้นของข้อมูลในแต่ละแถบย่อยของภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืน จึงส่งผลให้กรวิเคราะห์ภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวอยู่ในทิศทางเดียวกันทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถจำแนกข้อมูลพื้นผิวแบบมีทิศทางได้ถูกต้องทั้งหมด ทั้งนี้เป็นเพราะการนำข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตมาคำนวณโดยตรง จึงส่งผลให้เกิดความไม่อิสระต่อกัน และทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น นอกจากวิธีการกำหนดบริบทจะให้ข้อดีของการจัดกลุ่มข้อมูลขอบที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตทำให้มีความอิสระต่อข้อมูลในแต่ละแถบย่อยของแต่ละภาพมากขึ้น ยังมีข้อดีที่ได้จากการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ซึ่งก็คือ ทำให้ได้ข้อมูลที่สำคัญๆ ในแต่ละแถบย่อย รวมถึงการทำจัดข้อมูลที่เป็นสัญญาณรบกวนได้อีกด้วย

สำหรับขั้นตอนของเทคนิควิธีการกำหนดบริบทนั้น เริ่มต้นอาศัยการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ จากนั้นทำการกำหนดบริบท ให้กับบล็อกย่อยในแถบย่อยนั้นๆ ซึ่งวิธีการกำหนดบริบทประยุกต์มาจากการกำหนดบริบทของการเข้ารหัสระนาบพิตใน JPEG2000 และการสร้างแผนที่

กริดแบบเฉพาะที่จะทำให้ได้กลุ่มข้อมูลที่มีความสำคัญ หรือเป็นข้อมูลเด่นในภาพ สำหรับขั้นตอนการกำหนดบริบท และเวกเตอร์พื้นผิว มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- กำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนให้กับแต่ละระดับของการแปลงเวฟเล็ต หลังจากที่ได้อนุกรมค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ตแล้วก็จะทำการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตเป็นแบบมีนัยสำคัญ กลับกันถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเล็ตเป็นแบบไม่มีนัยสำคัญ (รายละเอียดดูได้จากหัวข้อที่ 2.3.2.3)

- กำหนดให้ $LG_i(m)$ เป็นแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ขนาด $k \times k$ จุดภาพ สำหรับแถบย่อยลำดับที่ i^{th} จากการทดลองค่า k ที่เหมาะสมคือ 4 และกำหนดให้ $S_{BL}(m)$ เป็นจำนวนของค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นนัยสำคัญของบล็อกที่ m^{th} และ TV_{cLG} เป็นเวกเตอร์พื้นผิว

- ทำการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่โดยเริ่มจากในแต่ละแถบย่อยที่ i^{th} ดังนี้
- ทำการแบ่งแถบย่อยออกเป็นบล็อกย่อยที่มีขนาด \dots จุดภาพจำนวน M บล็อก
- ทำการนับจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นนัยสำคัญที่ได้จากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญในแต่ละบล็อกที่ m^{th}
- ทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นนัยสำคัญต่อจำนวนบล็อกทั้งหมดในแถบย่อยที่ i^{th} ได้ดังสมการที่ (2.54)
- ทำการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ได้ดังสมการที่ (2.55)

กำหนดให้บล็อกที่ m^{th} นั้นๆเป็นแอ็กทิฟบล็อก หรือเป็นบล็อกที่มีนัยสำคัญ (Significance Block) ถ้า $LG_i(m)$ เป็นบิต 1 แต่ถ้า $LG_i(m)$ เป็นบิต 0 หมายถึงบล็อกนั้นๆ เป็นบล็อกที่ไม่มีนัยสำคัญ

- การคำนวณหาเวกเตอร์พื้นผิวของแต่ละแถบย่อยที่ i^{th}
- หลังจากที่ทำกริดแบบเฉพาะที่เสร็จสิ้นแล้ว ต่อมาทำการกำหนดบริบทโดยอาศัยวิธีการเข้ารหัสนัยสำคัญ (Significance

Coding) โดยอ้างอิงตารางการกำหนดบริบทจากมาตรฐานการเข้ารหัสภาพแบบ JPEG2000 [1]

- ในขั้นตอนเริ่มต้น กำหนดหน้าต่างบริบท (Context Window) ให้มีขนาด 3×3 บล็อก ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยตำแหน่งบล็อกตรงกลางคือบล็อกปัจจุบัน (Current Block) และรอบข้างคือบล็อกสมาชิกรอบข้าง (Neighborhood Blocks)
- การกำหนดบริบทให้กับบล็อกปัจจุบันจะทำการพิจารณาจากหน้าต่างบริบท โดยกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างแนวตั้ง ($\sum h$), แนวนอน ($\sum v$), และแนวทะแยงมุม ($\sum d$) โดยที่ $\sum v$ คือ ผลรวมบล็อกที่เป็นนัยสำคัญในแนวแกนตั้ง, $\sum h$ คือ ผลรวมบล็อกที่เป็นนัยสำคัญในแนวแกนนอน, และ $\sum d$ คือ ผลรวมบล็อกที่เป็นนัยสำคัญในแนวทะแยง

D_0	V_0	D_1
H_0	X	H_1
D_2	V_1	D_3

รูปที่ 3.2 หน้าต่างบริบทสำหรับการคำนวณบริบท

- ในกรณีที่ $\sum h=0$ $\sum v=0$ และ $\sum d=0$ หมายความว่าบล็อกรอบข้างทั้งหมดเป็นบล็อกที่ไม่มีนัยสำคัญ และในตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดบริบททั้ง 9 แบบ และเกณฑ์ในการจำแนกบริบทนั้นยังแยกออกเป็นแต่ละประเภทของแถบย่อยซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจจะขึ้นกับชนิดของแต่ละแถบย่อยด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ในการกำหนดบริบททั้ง 9 แบบ

LH subband (also LL) (vertically high-pass)				HL subband (horizontally high-pass)				HH subband (diagonally high-pass)		
$\sum h$	$\sum v$	$\sum d$	Context	$\sum h$	$\sum v$	$\sum d$	Context	$\sum d$	$\sum (h+v)$	Context
2	x	x	8	x	2	x	8	≥ 3	x	8
1	≥ 1	x	7	≥ 1	1	x	7	2	≥ 1	7
1	0	≥ 1	6	0	1	≥ 1	6	2	0	6
1	0	0	5	0	1	0	5	1	≥ 2	5
0	2	x	4	2	0	x	4	1	1	4
0	1	x	3	1	0	x	3	1	0	3
0	0	≥ 2	2	0	0	≥ 2	2	0	≥ 2	2
0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- เวกเตอร์พื้นผิว TV_{CLG} ใน 1 แถบย่อยจะมีทั้งหมด 9 รูปแบบ โดยในแต่ละแถบย่อยประกอบไปด้วยเวกเตอร์บริบททั้ง 9 บริบท สำหรับการกำหนดเวกเตอร์พื้นผิว ทำได้โดยการหาความน่าจะเป็นในการพบบริบท k ใดๆ ในแถบย่อยที่ i^{th} ได้ดังสมการที่ (3.8)

$$c_{ik} = \frac{NC_k}{\sum_k NC_k} \quad (3.8)$$

$$TV_{CLG} = \begin{bmatrix} c_{0,0} & c_{0,1} & \dots & c_{0,m-1} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ c_{n-1,0} & c_{n-1,1} & \dots & c_{n-1,m-1} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

โดยที่ c_{ik} คือ ความน่าจะเป็นในการพบบริบท k ใดๆ ในแถบย่อยที่ i^{th}

NC_k คือ จำนวนบริบท k ใดๆ ที่พบในแถบย่อยที่ i^{th}

$\sum_k NC_k$ คือ ผลรวมจำนวนบริบททุกๆ แบบในแถบย่อยที่ i^{th}

m คือ จำนวนบริบททั้ง 9 แบบ และ n คือ จำนวนแถบย่อยทั้งหมด

โดยส่วนใหญ่ภาพที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกันจะมีลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กันหรือคล้ายคลึงกันมากกว่าลักษณะเฉพาะอื่นๆ จึงทำให้การค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิคอย่างใดอย่างหนึ่งนั้นมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเฉพาะบางกลุ่ม

ภาพเท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพ แต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ ซึ่งจะส่งผลให้ไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะมีความคล้ายคลึงกันก็มีมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มีแนวคิดในการนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่างๆ มาใช้ร่วมกัน จากการทดลองเทคนิคที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือ คือ วิธีที่ใช้เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับวิธีการกำหนดบริบท

สำหรับข้อดีของวิธีเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม คือ สามารถอธิบายสหสัมพันธ์ข้อมูลในแนวแกน ว่ามีความน่าจะเป็นในการพบข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันเป็นอย่างไร มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของความสว่าง, ความเปรียบต่างค่าสูงของภาพ, ภาพที่มีการสเกล, และการเลื่อน ส่วนเทคนิคการกำหนดบริบทเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการอธิบายความเป็นทิศทางของข้อมูลได้ดี และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของความเปรียบต่างค่าสูง, ความส่องสว่าง, รวมถึงภาพที่มีการหมุน การเลื่อน, และภาพที่มีการสเกล ดังนั้นการนำวิธีเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม และเทคนิคการกำหนดบริบทมาใช้ร่วมกัน จึงทำให้การค้นคืนภาพจากหลายกลุ่มภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.8 การรวมลักษณะเฉพาะ (Feature integration)

การนำลักษณะเฉพาะต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน สามารถทำได้โดยการหาผลรวมของระยะทางของแต่ละวิธี หรือนำเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของแต่ละวิธีมาต่อเรียงกัน (Cascade) การนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่างๆ ของภาพมาใช้ร่วมกัน จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะของภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพดีขึ้นในหลายกลุ่มภาพ

โดยเทคนิคการค้นคืนภาพที่น่าเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ คือ การใช้วิธีเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรมโดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ร่วมกับวิธีการกำหนดบริบท ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการจัดเรียงเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้ง 2 วิธีนี้ จะทำการจัดเรียงเวกเตอร์เป็นแบบ 1 มิติ แสดงอยู่ในสมการที่ (3.10)

$$f = \{\alpha^1(1,1), \alpha^1(1,2), \dots, \alpha^1(1,k), \alpha^1(2,1), \dots, \alpha^1(2,k), \dots, \alpha^1(i,1), \dots, \alpha^1(i,k), \\ \alpha^2(1,1), \alpha^2(1,2), \dots, \alpha^2(1,k), \alpha^2(2,1), \dots, \alpha^2(2,k), \dots, \alpha^2(i,1), \dots, \alpha^2(i,k), \\ \dots, \alpha^l(1,1), \alpha^l(1,2), \dots, \alpha^l(1,k), \alpha^l(2,1), \dots, \alpha^l(2,k), \dots, \alpha^l(i,1), \dots, \alpha^l(i,k), \quad (3.10) \\ c_{0,0}, c_{0,1}, \dots, c_{0,m-1}, c_{1,0}, \dots, c_{1,m-1}, \dots, c_{n-1,0}, \dots, c_{n-1,m-1}\}$$

โดยที่ l คือ ลำดับที่ของแถบย่อย LH และ HL $l = \{1, 2, 4, 5, 7, 8\}$

i คือ จำนวนถึงเก็บค่าหลังจากการควอนไทซ์ $i = \{1, 2, 3, 4\}$

k คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใดๆ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$

n คือ จำนวนแถบย่อยทั้งหมด $n = \{1, 2, 3, \dots, 10\}$

m คือ จำนวนบริบททั้ง 9 แบบ

ในบทถัดไปจะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธี รวมถึงเทคนิคการค้นคืนภาพที่น่าเสนอ และเทคนิคการรวมลักษณะเฉพาะของแต่ละวิธีในวิทยานิพนธ์นี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง การทดลองค้นคืนภาพบีบอัดแบบ JPEG2000 ด้วยเทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะต่างๆ โดยอาศัยลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพซึ่งก็คือ พื้นผิว โดยที่พื้นผิวของภาพได้มาจากการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งได้มาโดยตรงจากบัฟเฟอร์ในโดเมนบีบอัดของภาพแบบ JPEG2000 เทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะต่างๆ ประกอบด้วย การหาค่าพลังงาน, การหาค่าความแปรปรวน, การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่, การหาค่าโมเมนต์, ฮิสโตแกรมจากแผนที่นี้ที่สำคัญ, เวฟเล็ตออกโคออร์ดิเนตแกรม และเทคนิคที่นำเสนอ (การหาผลลากบรีบท) โดยใช้การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 4 วิธี คือ ระยะทาง L_1 , ระยะทาง L_2 , ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละวิธี และทดสอบการรวมลักษณะเฉพาะในแต่ละแบบ รวมทั้งการทดลองวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยแต่ละการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพโดยอาศัยการหาค่าพลังงานจากข้อมูลการแปลงเวฟเล็ต

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะจากข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ซึ่งก็คือข้อมูลพื้นผิวของภาพ โดยค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตที่ได้นั้น ได้มาจากทาง ด้านฝั่งถอดรหัสของเครื่องมือถอดรหัสภาพแบบ JPEG2000 และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะเฉพาะและการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการแปลงเวฟเล็ต อาศัยการหาผลรวมค่าพลังงานซึ่งเสนอโดย [14], [17]

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามด้วยการหาค่าพลังงาน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิว จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธี คือ ระยะทาง L_1 , ระยะทาง L_2 , ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาค่าพลังงานของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตโดย จะทำการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อยของภาพ ยกเว้นแถบย่อย LL
- ในทุกๆ การทดลองอาศัยภาพฐานข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดด้วยมาตรฐานการบีบอัด ภาพแบบ JPEG2000 โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบีบอัดให้มีค่า Rate เป็น 1.0 และระดับการแปลงเวฟเล็ตเป็น 3
- ในทุกๆ การทดลอง ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 4 วิธี คือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง L_2 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลที่ใช้เท่ากับ 1000 ภาพ [27-29] ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มภาพหลาย ประเภทคละกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 กลุ่มๆ ละ 100 ภาพ คือ ภาพท้องฟ้า ภาพวิว ทะเล ภาพตึกสถาปัตยกรรมยุโรป ภาพรถบัส ภาพไดโนเสาร์ ภาพเสือ ภาพกุหลาบ ภาพม้า ภาพภูเขาหิมะ และภาพอาหารนานาชาติ สำหรับจำนวนภาพพื้นผิวที่ใช้ เท่ากับ 400 ภาพ [30] ประกอบด้วยภาพลายพื้นผิวคละแบบกัน โดยภาพที่ใช้ในการ ทดลองมีขนาด 384x256 จุดภาพ
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพ สอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ใน ฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวน ภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR สำหรับผลการทดลองดังแสดงอยู่ในตาราง ที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

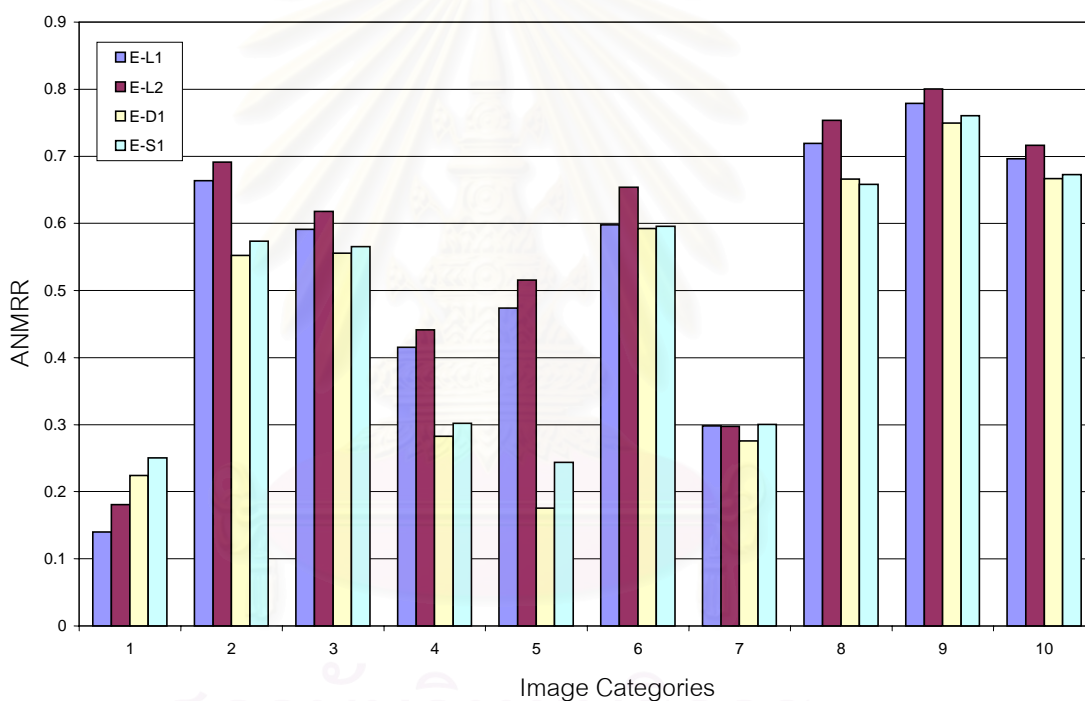
ตารางที่ 4.1 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
การหาค่าพลังงาน (E)	L_1	0.1401	0.6639	0.5913	0.4153	0.4739	0.5978	0.2982	0.7194	0.7786	0.6962
	L_2	0.1806	0.6911	0.6177	0.4413	0.5156	0.6542	0.2975	0.7535	0.8007	0.7166
	D_1	0.2240	0.5519	0.5554	0.2827	0.1755	0.5920	0.2756	0.6659	0.7497	0.6665
	S_1	0.2508	0.5734	0.5653	0.3019	0.2440	0.5957	0.3006	0.6580	0.7605	0.6729

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
การหาค่าพลังงาน (E)	L_1	0.5375
	L_2	0.5669
	D_1	0.4739
	S_1	0.4923



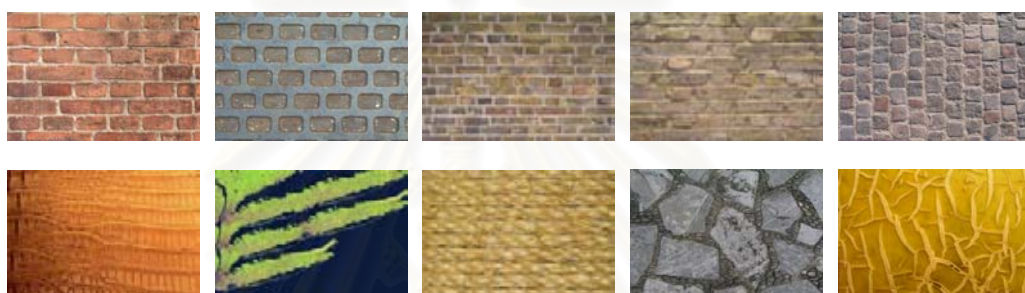
รูปที่ 4.1 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยเทคนิคการหาค่าพลังงาน

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.1.1

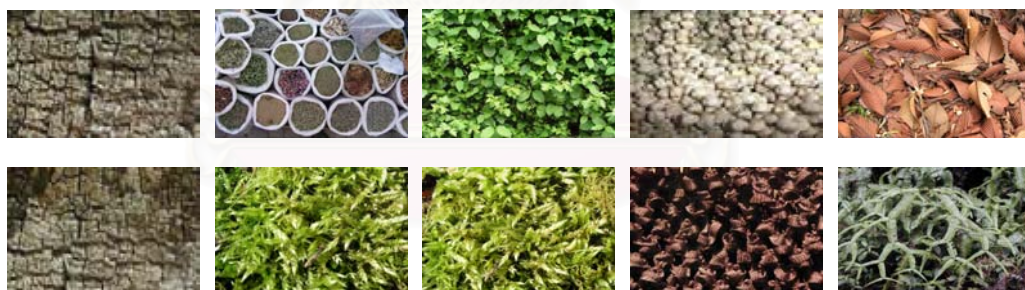
ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วยเทคนิคการหาค่าพลังงาน สำหรับผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่า การเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ ระยะ D_1 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ การเปรียบเทียบแบบ ระยะ L_1 ระยะ L_2 และระยะ S_1 โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ที่ต่ำที่สุดในตารางที่ 4.2

การทดลองแบบที่ 4.1.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

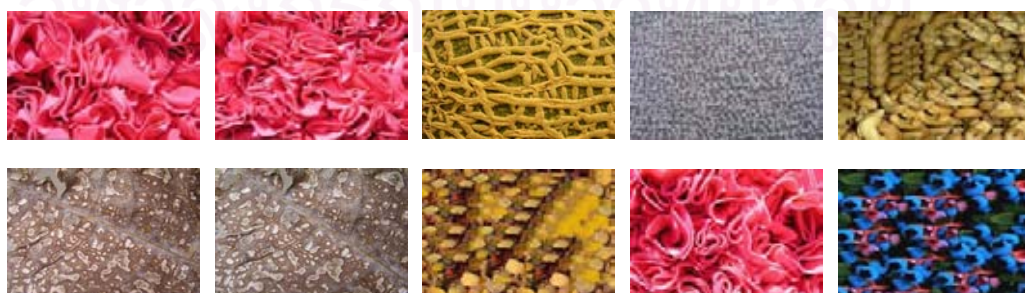
เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐบล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.2 โดยที่ภาพมุมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ D_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนดีที่สุด (ตารางที่ 4.2)



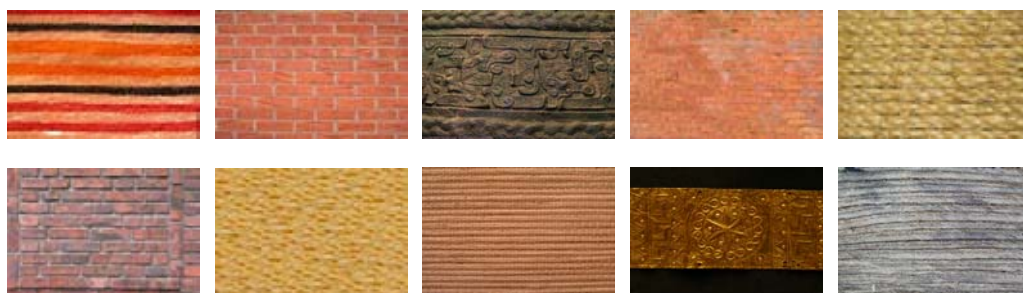
(ก)



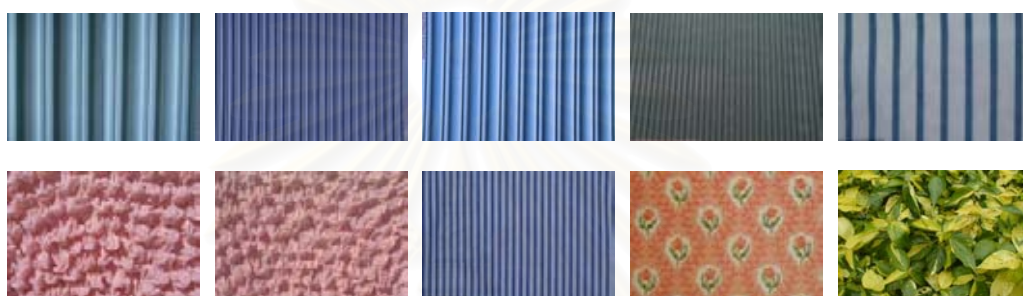
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.2 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.1.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว โดยอาศัยภาพพื้นผิวคณะแบบทั้งหมด 400 ภาพ จากผลการทดลองพบว่าวิธีการหาค่าพลังงานให้ผลการค้นคืนข้อมูลภาพพื้นผิวที่มีลักษณะของลวดลายต่างๆ ปะปนกัน แต่ลักษณะของภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้นั้นมีลักษณะของข้อมูลภาพพื้นผิวที่มีปริมาณข้อมูลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพราะการหาค่าพลังงานเป็นการหาผลรวมค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตกำลังสอง ซึ่งเป็นลักษณะของการบ่งบอกปริมาณข้อมูล สำหรับการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางให้ผลการค้นคืนได้ของภาพพื้นผิวไม่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ง)

4.2 การทดลองที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยอาศัยการหาค่าความแปรปรวนของแถบย่อยเวฟเล็ต

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะจากข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต ซึ่งก็คือข้อมูลพื้นผิวของภาพ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะเฉพาะและการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของการแปลงเวฟเล็ตโดยอาศัยการหาค่าความแปรปรวนของแต่ละแถบย่อยซึ่งเสนอโดย [15]

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามด้วยการหาค่าความแปรปรวน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิว จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธี คือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา L_2 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาค่าความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.2.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวนภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อดำเนินการค่า ANMRR สำหรับผลการทดลองดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

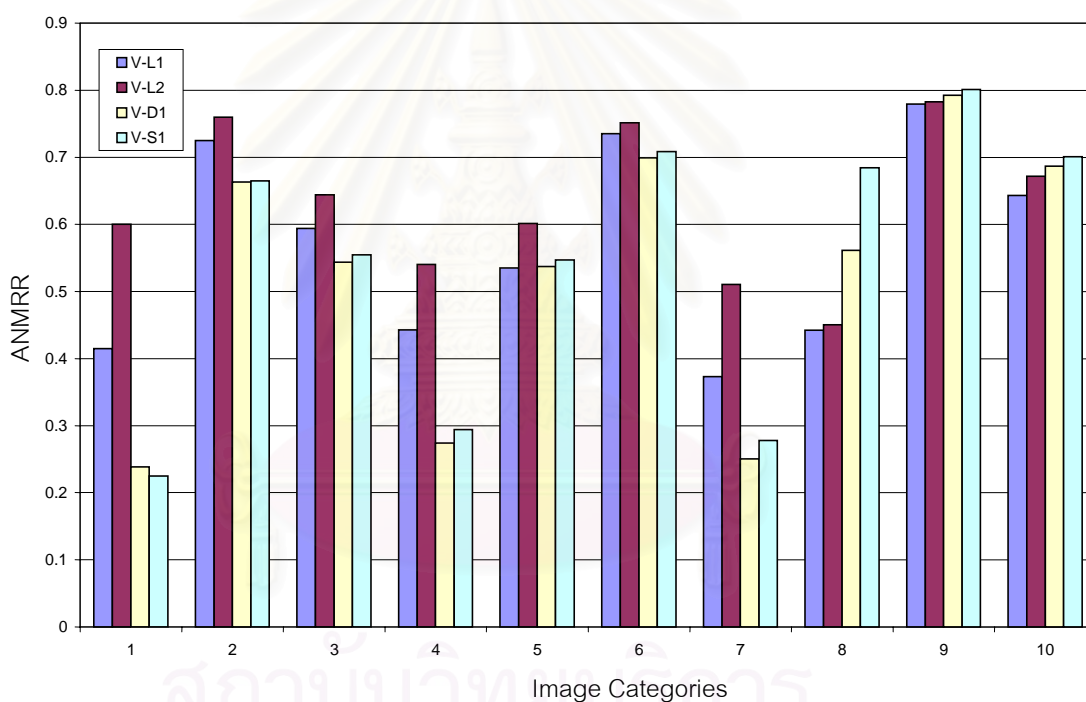
ตารางที่ 4.3 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
การหาค่าความแปรปรวน (V)	L_1	0.4148	0.7247	0.5941	0.4430	0.5347	0.7355	0.3733	0.4422	0.7795	0.6431
	L_2	0.6004	0.7600	0.6442	0.5401	0.6016	0.7514	0.5106	0.4505	0.7826	0.6716
	D_1	0.2386	0.6631	0.5437	0.2739	0.5371	0.6990	0.2508	0.5612	0.7922	0.6864
	S_1	0.2251	0.6650	0.5546	0.2942	0.5469	0.7084	0.2783	0.6843	0.8009	0.7009

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
การหาค่าความแปรปรวน (V)	L_1	0.5685
	L_2	0.6313
	D_1	0.5246
	S_1	0.5459



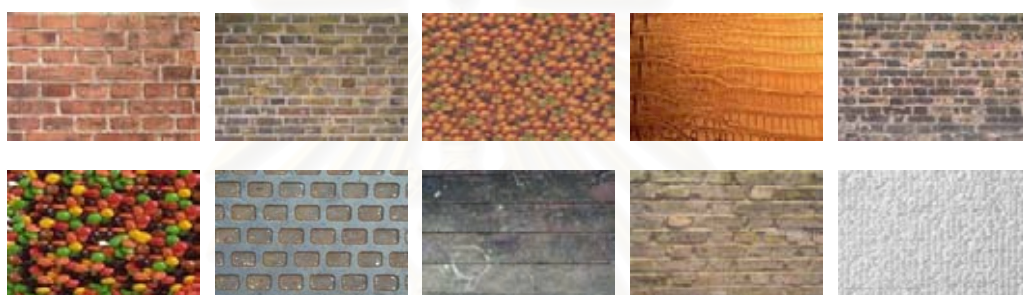
รูปที่ 4.3 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยเทคนิควิธีการหาค่าความแปรปรวน

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.2.1

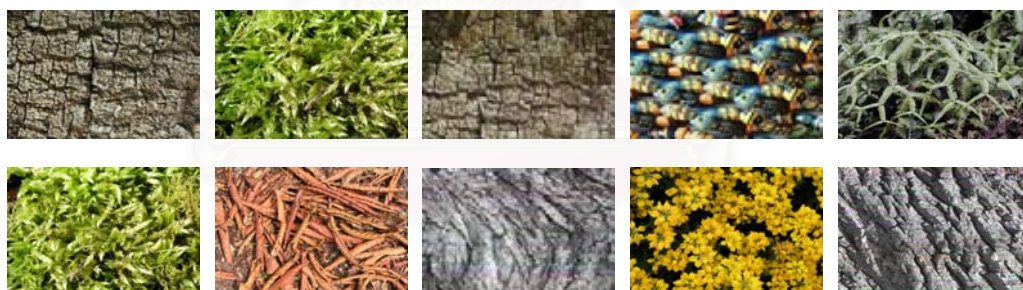
ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ จากผลการทดลองพบว่า การเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบระยะ D_1 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ การเปรียบเทียบแบบ ระยะ L_1 ระยะ L_2 และระยะ S_1 โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ที่ต่ำที่สุดใน ตารางที่ 4.4

การทดลองแบบที่ 4.2.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐบล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.4 โดยที่ภาพมุมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ D_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนดีที่สุด (ตารางที่ 4.4)



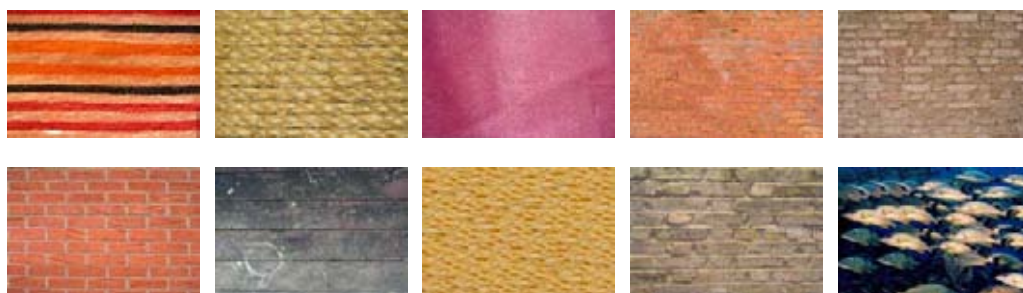
(ก)



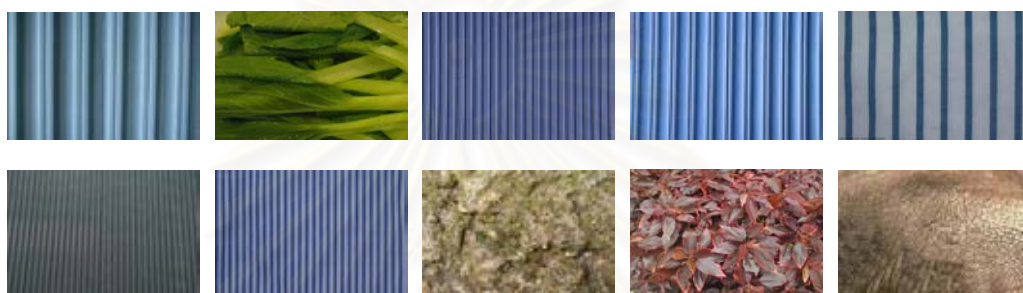
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.4 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.2.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว ผลการทดลองพบว่าวิธีการหาค่าความแปรปรวนให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ประกอบไปด้วยลวดลายต่างๆ คละกัน ซึ่งลักษณะของภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้จะสัมพันธ์กับภาพสอบถามในเชิงปริมาณข้อมูล แต่ไม่สัมพันธ์กันในเชิงทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ง) และ 4.4 (จ) จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้ไม่สัมพันธ์กันในเชิงทิศทางของข้อมูล

4.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยวิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต

การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งก็คือข้อมูลพื้นผิวของภาพ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของการแปลงเวฟเล็ตอาศัยวิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ซึ่งนำเสนอโดย [16]

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามด้วยเทคนิควิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิว จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา L_2 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- อาศัยเทคนิคการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต เริ่มต้นทำการแบ่งออกเป็นบล็อกเล็กๆ ในแต่ละแถบย่อย จากนั้นทำการนับจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญในทุกๆ บล็อกเล็กๆ ในแถบย่อยนั้นๆ และทำการคำนวณหา ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญต่อบล็อก โดยมีเงื่อนไขว่าถ้าค่าสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญในบล็อกๆ นั้นมากกว่าค่าเฉลี่ยจะทำการกำหนดให้บล็อกนั้น เป็นแฉกทิฟบล็อก จากนั้นก็นำเอาแฉกทิฟบล็อกนี้ไปสร้างเป็นเวกเตอร์พื้นผิว (Texture Vector)
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.3.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR โดยกำหนดบล็อกสำหรับการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ๆ ขนาด 4x4 8x8 และ 16x16 จุดภาพ

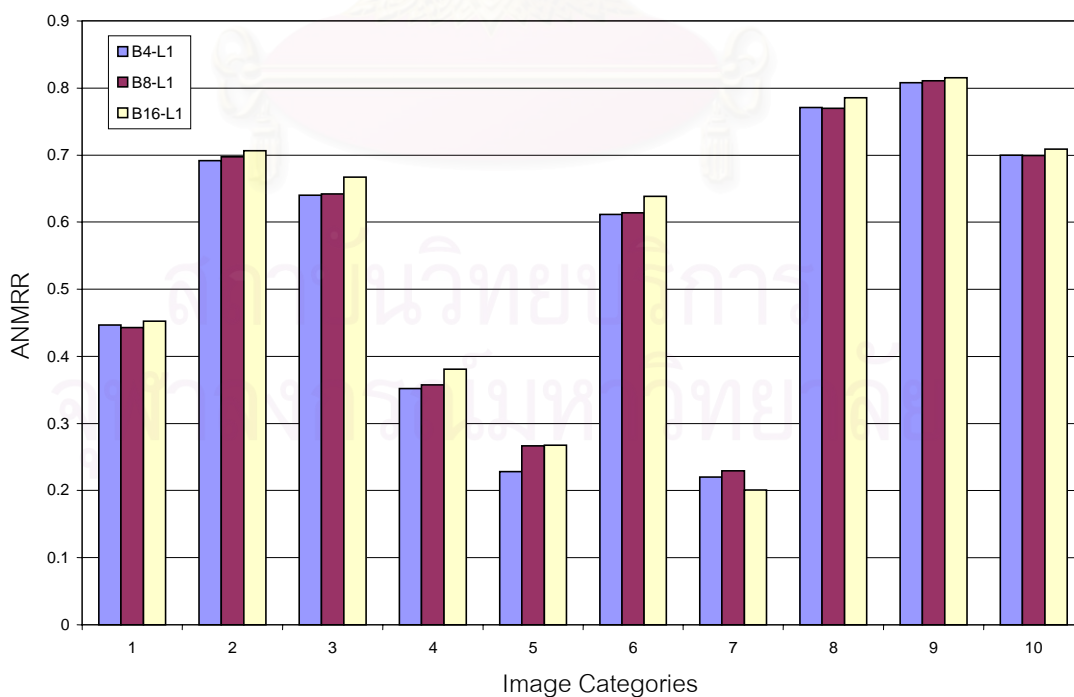
เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวนภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR และกำหนดให้มีการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดบล็อกของแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ให้มีขนาด 4x4 8x8 และ 16x16 จุดภาพ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพว่า ขนาดของบล็อกส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพอย่างไร สำหรับผลการทดลอง แสดงอยู่ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

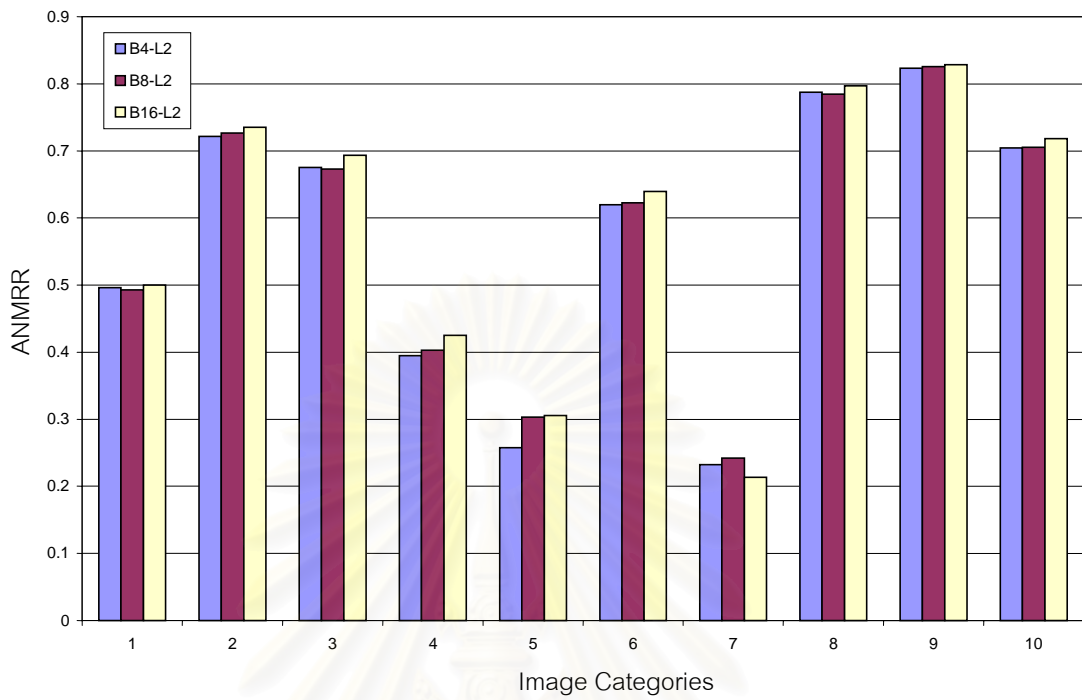
ตารางที่ 4.5 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

ขนาดบล็อก	วิธีการเปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4x4 (B4)	L ₁	0.4471	0.6917	0.6401	0.3517	0.2281	0.6114	0.2203	0.7709	0.8078	0.6996
	L ₂	0.4963	0.7214	0.6749	0.3947	0.2577	0.6198	0.2323	0.7873	0.8236	0.7043
	D ₁	0.3840	0.6811	0.6222	0.3217	0.2165	0.6135	0.2071	0.7651	0.7968	0.6921
	S ₁	0.5670	0.6245	0.5619	0.2492	0.0747	0.5110	0.3497	0.7647	0.7962	0.6773
8x8 (B8)	L ₁	0.4426	0.6977	0.6419	0.3578	0.2668	0.6141	0.2292	0.7695	0.8110	0.6991
	L ₂	0.4926	0.7267	0.6936	0.4030	0.3032	0.6223	0.2419	0.7847	0.8258	0.7057
	D ₁	0.3789	0.6879	0.6245	0.3271	0.2513	0.6150	0.2156	0.7642	0.7993	0.6928
	S ₁	0.5687	0.6289	0.5668	0.2530	0.0878	0.5091	0.3696	0.7655	0.7990	0.6753
16x16 (B16)	L ₁	0.4527	0.7065	0.6670	0.3811	0.2679	0.6388	0.2011	0.7853	0.8151	0.7090
	L ₂	0.5002	0.7350	0.6936	0.4249	0.3053	0.6397	0.2133	0.7972	0.8285	0.7182
	D ₁	0.3898	0.7023	0.6513	0.3496	0.2541	0.6390	0.1873	0.7771	0.8037	0.7021
	S ₁	0.5805	0.6423	0.5845	0.2864	0.0967	0.5191	0.3474	0.7774	0.8068	0.6935

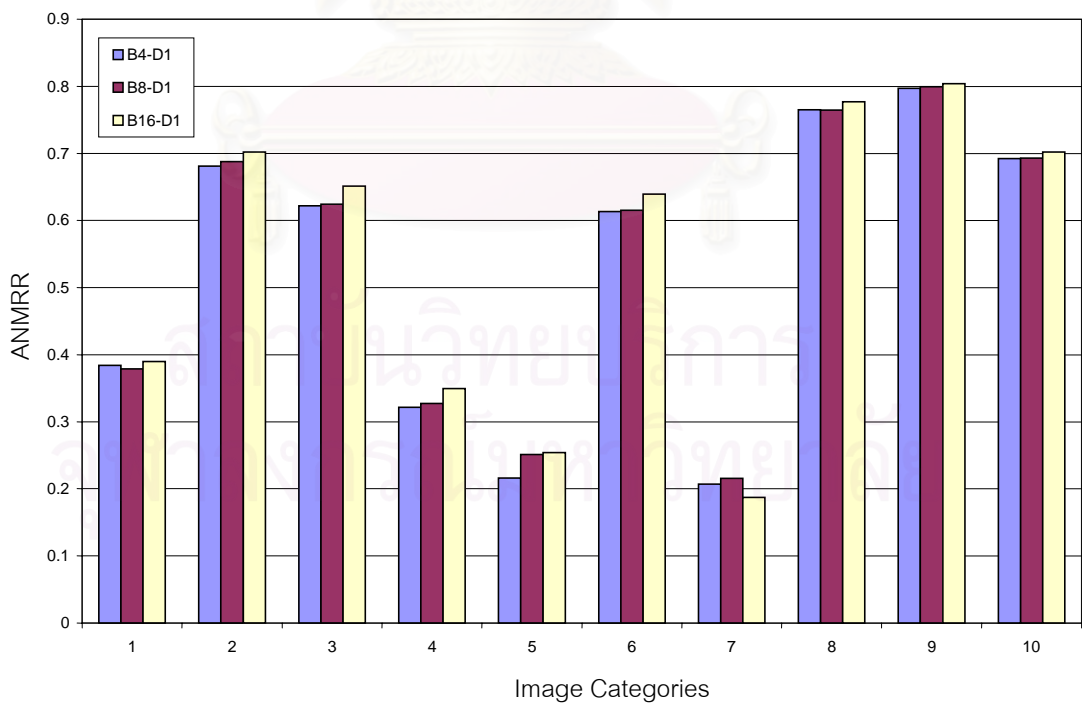
ตารางที่ 4.6 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

ขนาดบล็อก	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
4x4 (B4)	L_1	0.5469
	L_2	0.5712
	D_1	0.5300
	S_1	0.5176
8x8 (B8)	L_1	0.5530
	L_2	0.5779
	D_1	0.5357
	S_1	0.5224
16x16 (B16)	L_1	0.5625
	L_2	0.5856
	D_1	0.5456
	S_1	0.5335

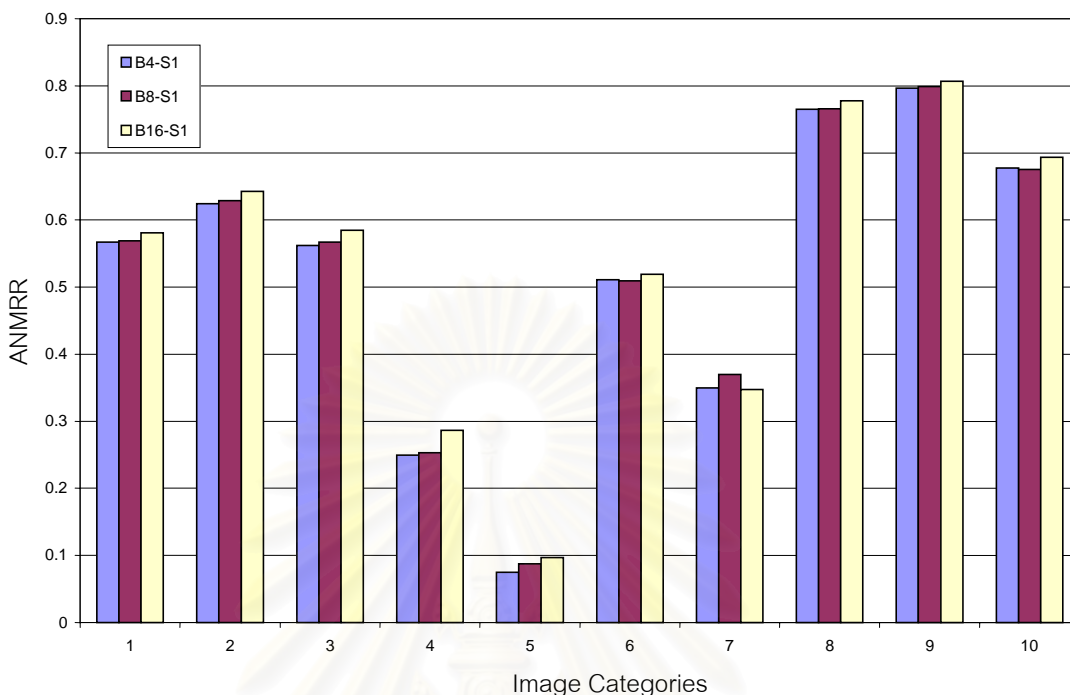
รูปที่ 4.5 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_1



รูปที่ 4.6 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_2



รูปที่ 4.7 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ D_1



รูปที่ 4.8 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ S_1

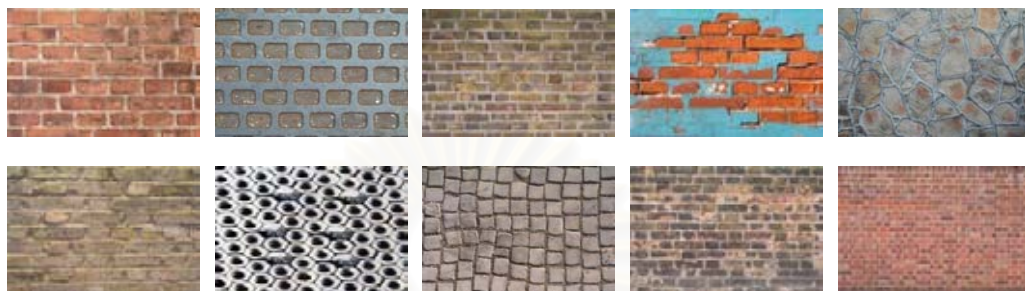
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.3.1

ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดบล็อกสำหรับทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ จากผลการทดลองพบว่าขนาดบล็อกที่ 4×4 จุดภาพ ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (เทียบจากการวัดระยะทางแบบ S_1) เมื่อเทียบกับบล็อกขนาดอื่นๆ แต่ก็ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าบล็อกขนาด 8×8 และ 16×16 จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.6 พบว่าค่า ANMRR ของบล็อกขนาด 8×8 และ 4×4 จุดภาพ มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่เวลาที่ใช้ของบล็อกขนาด 4×4 จุดภาพ มีมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงกำหนดให้ใช้บล็อกขนาด 8×8 จุดภาพสำหรับการทดลองในครั้งต่อไป และสำหรับการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ ระยะ S_1 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบแบบ ระยะ L_1 ระยะ L_2 และระยะ D_1 ดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ที่ต่ำที่สุดในตารางที่ 4.6

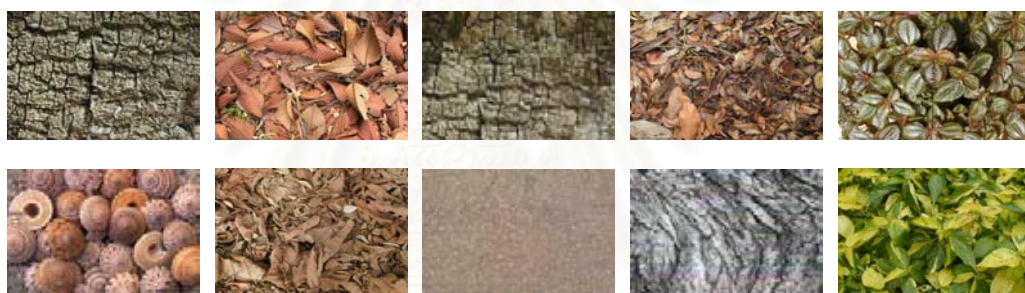
การทดลองแบบที่ 4.3.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐบล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น

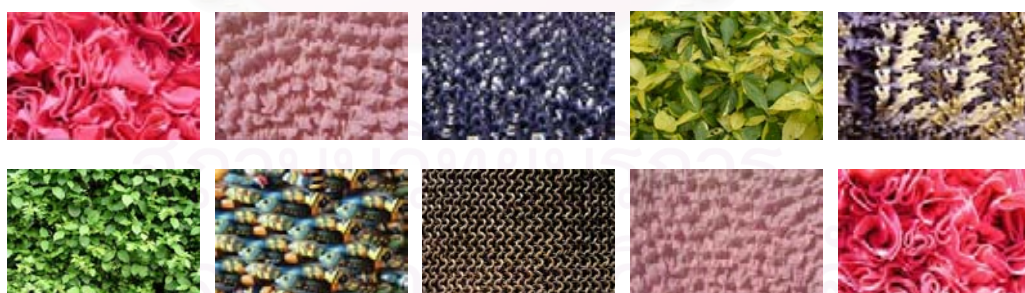
ดังรูปที่ 4.9 โดยที่ภาพมุมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้ายกับ ภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการ เปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ S_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนที่ดีที่สุด (ตารางที่ 4.6)



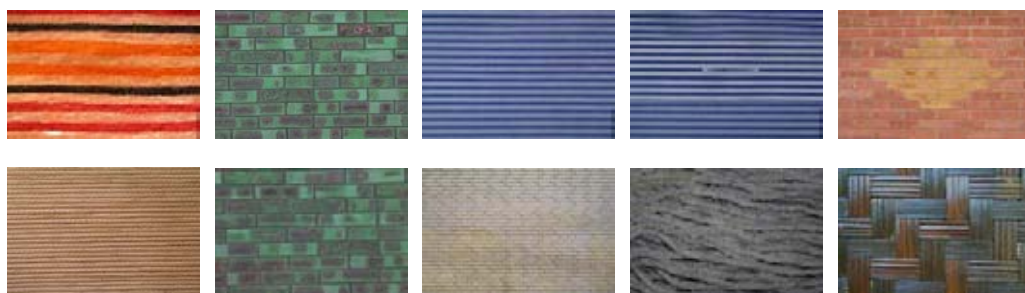
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.9 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.3.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าวิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ประกอบไปด้วยลวดลายต่างๆ คละกัน ซึ่งลักษณะของภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้จะสัมพันธ์กับภาพสอบถามในเชิงปริมาณข้อมูล สำหรับภาพพื้นผิวที่มีทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ง) ให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามไปทั้งหมด

4.4 การทดลองที่ 4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยวิธีการหาค่าโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต

การทดลองที่ 4 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งก็คือข้อมูลพื้นผิวของภาพ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของการแปลงเวฟเล็ตต่อการหาค่าโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ ซึ่งนำเสนอโดย [17]

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามด้วยเทคนิควิธีการหาค่าโมเมนต์ของแผนทีน้อยสำคัญ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา L_2 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- อาศัยเทคนิคการหาค่าโมเมนต์ของแผนทีน้อยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟ-เล็ต เริ่มต้นทำการหาค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของแต่ละระดับการแปลงเวฟเล็ต ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์นั้นเป็นแบบมีนัยสำคัญหรือกำหนดเป็น 1 กลับกันค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตนั้นๆ เป็นแบบไม่มีนัยสำคัญหรือกำหนดเป็น 0 จากนั้นก็นำเอาแผนทีน้อยสำคัญนี้ไปคำนวณหาโมเมนต์ศูนย์กลางแบบมีการนอร์มอลไลซ์ ซึ่งใช้สร้างเป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะสำหรับการค้นคืน
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.4.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวนภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR สำหรับผลการทดลองดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

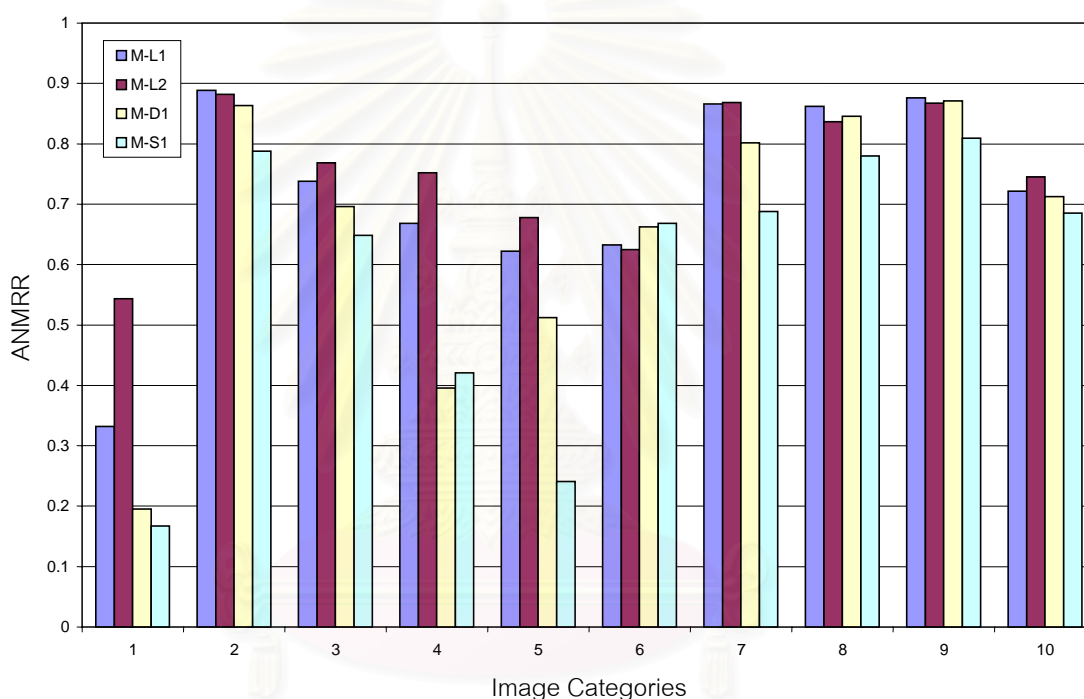
ตารางที่ 4.7 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โมเมนต์ของ แผนที่ นัยสำคัญ (M)	L_1	0.3318	0.8888	0.7380	0.6681	0.6222	0.6325	0.8656	0.8623	0.8760	0.7217
	L_2	0.5438	0.8816	0.7685	0.7520	0.6775	0.6250	0.8685	0.8365	0.8671	0.7449
	D_1	0.1953	0.8631	0.6959	0.3956	0.5125	0.6627	0.8019	0.8457	0.8709	0.7127
	S_1	0.1674	0.7878	0.6485	0.4211	0.2410	0.6684	0.6876	0.7799	0.8091	0.6854

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
โมเมนต์ของแผนที่ นัยสำคัญ (M)	L_1	0.7207
	L_2	0.7565
	D_1	0.6556
	S_1	0.5896



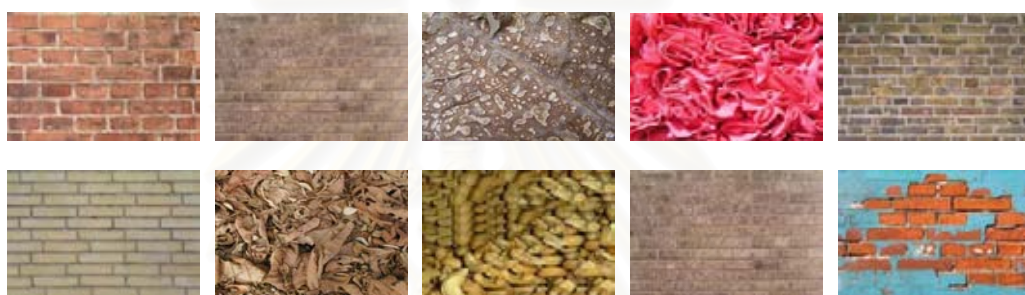
รูปที่ 4.10 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยการหาค่าโมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.4.1

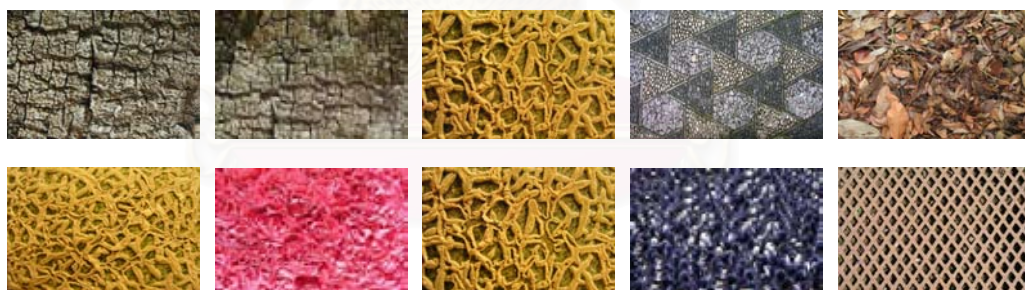
ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วยการหาโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ สำหรับผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 จากผลการทดลองพบว่าการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ ระยะ S_1 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบแบบ ระยะ L_1 ระยะ L_2 และระยะ D_1 โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ที่ต่ำที่สุดในตารางที่ 4.8

การทดลองแบบที่ 4.4.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

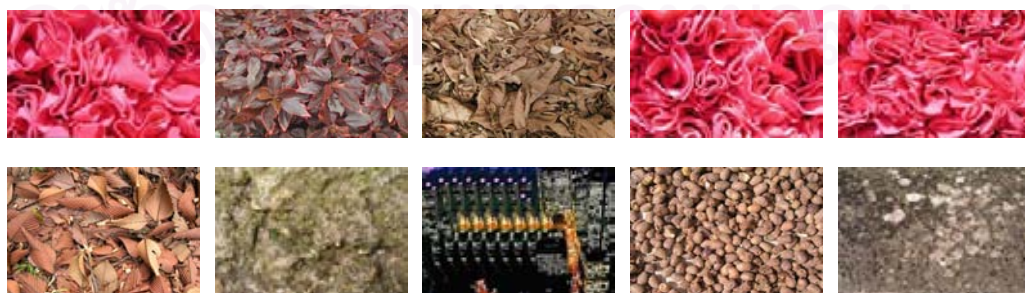
เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐบล็อค ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.11 โดยที่ภาพมุมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ S_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนที่ดีที่สุด (ตารางที่ 4.8)



(ก)



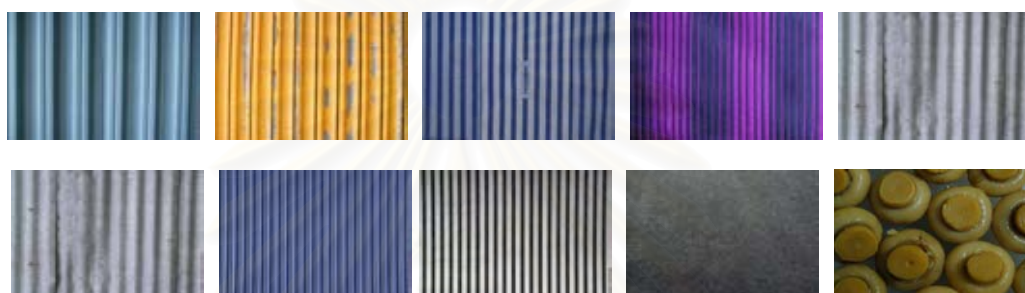
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.11 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.4.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าวิธีหาค่าโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ประกอบไปด้วยลวดลายต่างๆ คละกัน แต่ก็จะมีลักษณะทางพื้นผิวใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพราะค่าโมเมนต์ที่ได้ของภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้ แตกต่างจากภาพสอบถามไม่มากนัก และดูเหมือนว่าจะมีความสัมพันธ์ในเชิงทิศทาง แต่ที่จริงแล้วโมเมนต์ไม่ได้บอกความสัมพันธ์ในเชิงทิศทางแต่อย่างใด เพียงแต่คุณสมบัติของวิธีการหาค่าโมเมนต์นั้นมีความทนทานต่อการหมุน การสเกล และการเลื่อนไป [17] ทำให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวในรูปที่ 4.11 (ง) และ 4.11 (จ) ซึ่งเป็นภาพพื้นผิวในแนวลายขวาง และแนวตั้ง ตามลำดับ มีลวดลายที่ไม่ซับซ้อนนัก ทำให้โมเมนต์ตามแนวแกนของภาพสอบถามกับภาพที่ค้นคืนได้ไม่แตกต่างกันมาก

4.5 การทดลองที่ 5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยการสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ

การทดลองที่ 5 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของการแปลงเวฟเล็ต และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของการแปลงเวฟเล็ตอาศัยการสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ ซึ่งนำเสนอโดย [19]

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามด้วยเทคนิควิธีการสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิว จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง L_2 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการสร้างฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.5.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวนภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR สำหรับผลการทดลองดังแสดงอยู่ในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

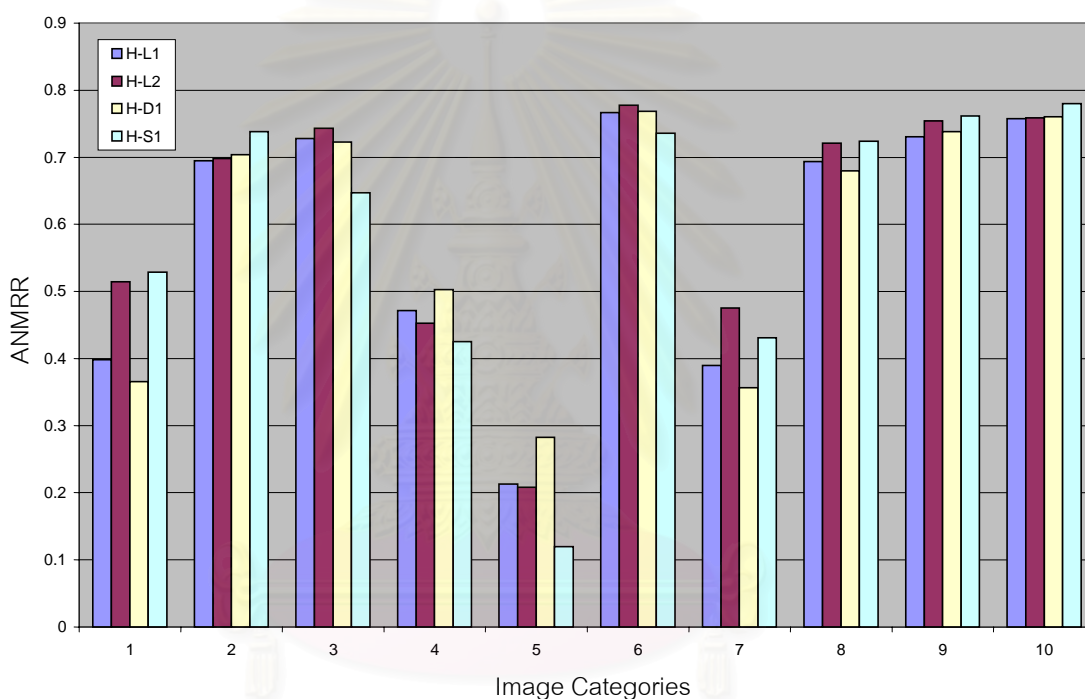
ตารางที่ 4.9 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ฮิสโตแกรม ของแผนที่ นัยสำคัญ (H)	L_1	0.3980	0.6948	0.7276	0.4712	0.2130	0.7669	0.3896	0.6935	0.7305	0.7574
	L_2	0.5145	0.6979	0.7432	0.4525	0.2083	0.7775	0.4752	0.7211	0.7542	0.7587
	D_1	0.3654	0.7038	0.7227	0.5030	0.2824	0.7685	0.3562	0.6798	0.7378	0.7602
	S_1	0.5286	0.7378	0.6471	0.4249	0.1193	0.7356	0.4311	0.7235	0.7614	0.7800

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

วิธี	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
ฮิสโตแกรมของ แผนที่นัยสำคัญ (H)	L_1	0.5842
	L_2	0.6103
	D_1	0.5880
	S_1	0.5889



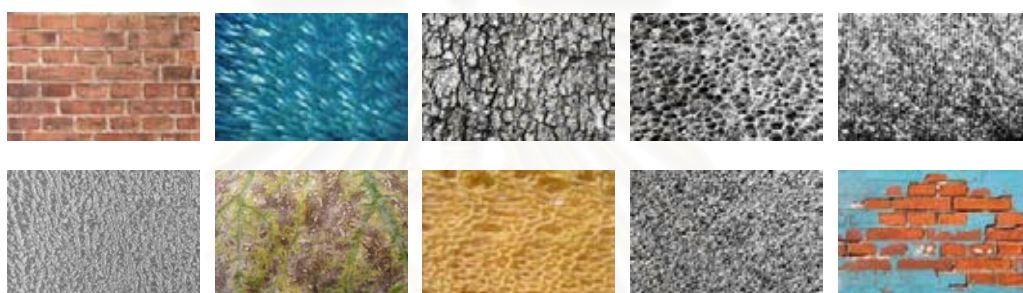
รูปที่ 4.12 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพด้วยฮิสโตแกรมจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.5.1

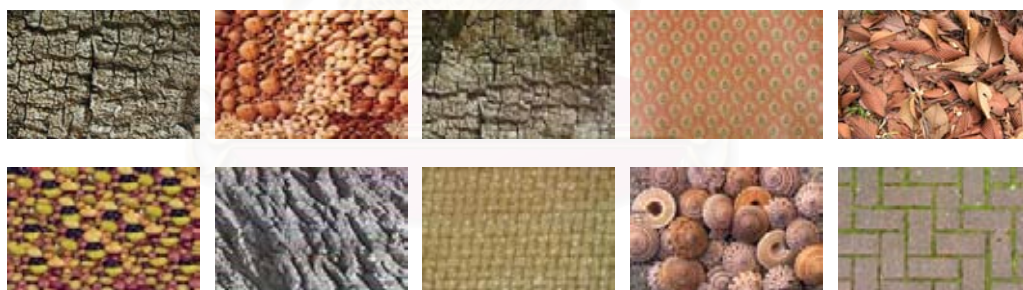
ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ จากผลการทดลองพบว่า การเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบระยะ L_1 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ การเปรียบเทียบแบบ ระยะ L_2 ระยะ D_1 และระยะ S_1 โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ที่ต่ำที่สุดใน ตารางที่ 4.10

การทดลองแบบที่ 4.5.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

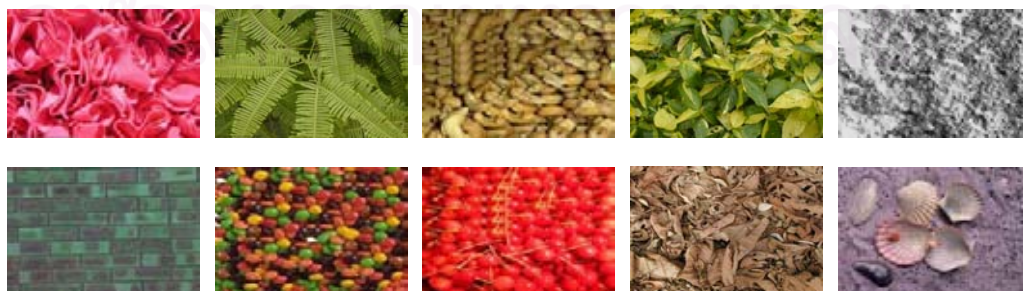
เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐบล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.13 โดยที่ภาพมุมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ L_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนดีที่สุด (ตารางที่ 4.10)



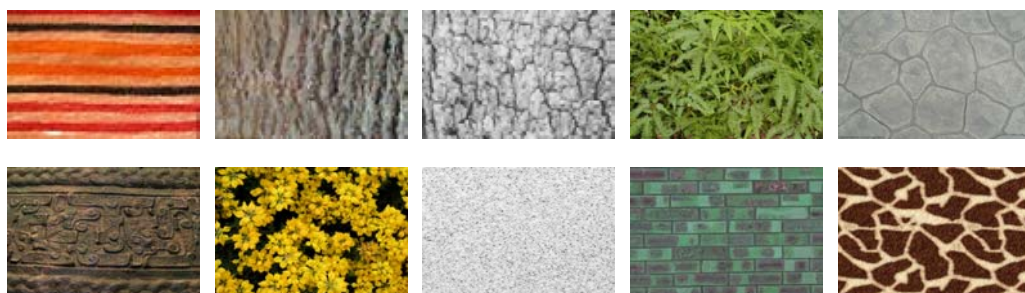
(ก)



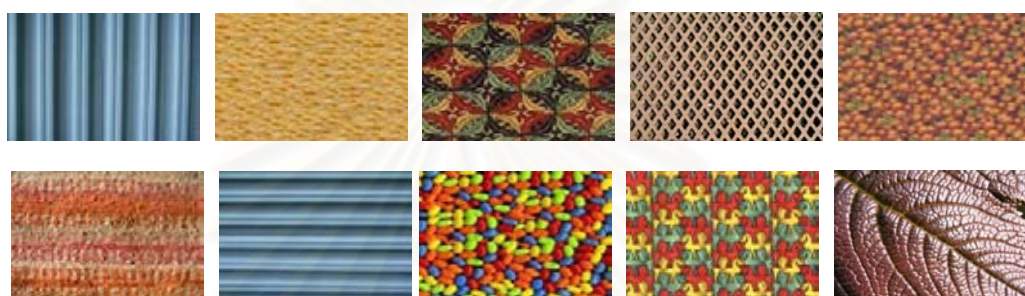
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.13 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.5.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าวิธีการหาฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ ให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ประกอบไปด้วยลวดลายต่างๆ คละกัน ซึ่งลักษณะของภาพพื้นผิวที่ค้นคืนไม่ค่อยสัมพันธ์กับภาพสอบถาม และไม่สัมพันธ์กันในเชิงทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ง) และ 4.13 (จ) จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้ ไม่สัมพันธ์กันในเชิงทิศทางของข้อมูล

4.6 การทดลองที่ 6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยอาศัยเวฟเล็ตอโตคอรรีโลแกรม

การทดลองที่ 6 เป็นการศึกษาศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งก็คือข้อมูลพื้นผิวของภาพ และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของการแปลงเวฟเล็ตอาศัยเวฟเล็ตอโตคอรรีโลแกรม ซึ่งนำเสนอโดย [20-22]

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามด้วยเวฟเล็ตอโตคอรรีโลแกรม และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิว จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา L_2 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการทำเวฟเล็ตอโตคอรรีโลแกรมจากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.6.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR โดยที่มีการเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ (k) ต่างๆ

เซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพที่ใช้ในการคำนวณค่าเวฟเล็ตอโตคอรรีโลแกรม หรือเซตของค่า k เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความซับซ้อนในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล รวมถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีอโตคอรรีโลแกรม ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการค้นคืนภาพด้วยวิธีอโตคอรรีโล-

แกรม โดยใช้เซตของค่า k ต่างๆ กัน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่ใช้เซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ (ค่า k) ต่างๆ กัน

กำหนดเซตของค่า k ต่างๆ กัน ($k = \{1, 2, \dots, k_{\max}\}$) ดังนี้

- $k = \{1, 2, 3\}$
- $k = \{1, 2, 3, 4\}$
- $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
- $k = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
- $k = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$

วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวนภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR ดังตารางที่ 4.11 และตารางที่ 4.12

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

ระยะห่าง ระหว่างจุดภาพ (ค่า k_{max})	วิธีการ เปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (1 – 5)				
		1	2	3	4	5
$k_{max} = 3$	L_1	0.3027	0.6161	0.5649	0.2346	0.1424
	L_2	0.4215	0.5983	0.5611	0.2351	0.1794
	D_1	0.2632	0.6188	0.5781	0.2377	0.1164
	S_1	0.2222	0.6417	0.5922	0.2540	0.0767
$k_{max} = 4$	L_1	0.2959	0.6121	0.5737	0.2393	0.1301
	L_2	0.4227	0.5928	0.5675	0.2343	0.1675
	D_1	0.2587	0.6168	0.5848	0.2415	0.1068
	S_1	0.2024	0.6466	0.5974	0.2593	0.0618
$k_{max} = 5$	L_1	0.2913	0.6118	0.5829	0.2434	0.1243
	L_2	0.4225	0.5898	0.5743	0.2335	0.1615
	D_1	0.2557	0.6163	0.5924	0.2451	0.1038
	S_1	0.1930	0.6546	0.6034	0.2631	0.0566
$k_{max} = 6$	L_1	0.2913	0.6128	0.5903	0.2477	0.1232
	L_2	0.4232	0.5907	0.5803	0.2349	0.1588
	D_1	0.2580	0.6166	0.5992	0.2513	0.1053
	S_1	0.1865	0.6586	0.6075	0.2685	0.0569
$k_{max} = 7$	L_1	0.2936	0.6101	0.5967	0.2528	0.1218
	L_2	0.4271	0.5870	0.5845	0.2350	0.1571
	D_1	0.2611	0.6138	0.6047	0.2557	0.1051
	S_1	0.1876	0.6663	0.6124	0.2734	0.0567

ตารางที่ 4.11 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ต่อ)

ระยะห่าง ระหว่างจุดภาพ (ค่า k_{max})	วิธีการ เปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (6 – 10)				
		6	7	8	9	10
$k_{max} = 3$	L_1	0.6868	0.2888	0.4636	0.6599	0.6187
	L_2	0.7232	0.3811	0.5027	0.6528	0.6492
	D_1	0.6811	0.3104	0.4620	0.6618	0.6184
	S_1	0.6721	0.3589	0.5066	0.6941	0.6224
$k_{max} = 4$	L_1	0.6785	0.2545	0.4598	0.6655	0.6195
	L_2	0.7166	0.3525	0.4955	0.6578	0.6465
	D_1	0.6719	0.2737	0.4604	0.6662	0.6197
	S_1	0.6701	0.3458	0.5085	0.6989	0.6219
$k_{max} = 5$	L_1	0.6746	0.2249	0.4577	0.6668	0.6171
	L_2	0.7156	0.3243	0.4912	0.6587	0.6441
	D_1	0.6693	0.2409	0.4601	0.6665	0.6178
	S_1	0.6706	0.3191	0.5121	0.6990	0.6206
$k_{max} = 6$	L_1	0.6708	0.2116	0.4593	0.6690	0.6164
	L_2	0.7131	0.3111	0.4889	0.6599	0.6424
	D_1	0.6659	0.2250	0.4633	0.6683	0.6169
	S_1	0.6702	0.3072	0.5148	0.6993	0.6205
$k_{max} = 7$	L_1	0.6677	0.2089	0.4596	0.6716	0.6139
	L_2	0.7103	0.3063	0.4860	0.6617	0.6400
	D_1	0.6637	0.2227	0.4653	0.6713	0.6145
	S_1	0.6711	0.3014	0.5160	0.7017	0.6215

ตารางที่ 4.12 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

ระยะห่างระหว่างจุดภาพ (ค่า $k \max$)	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
$k \max = 3$	L_1	0.4579
	L_2	0.4904
	D_1	0.4548
	S_1	0.4641
$k \max = 4$	L_1	0.4529
	L_2	0.4854
	D_1	0.4500
	S_1	0.4613
$k \max = 5$	L_1	0.4495
	L_2	0.4815
	D_1	0.4468
	S_1	0.4592
$k \max = 6$	L_1	0.4492
	L_2	0.4803
	D_1	0.4470
	S_1	0.4590
$k \max = 7$	L_1	0.4497
	L_2	0.4795
	D_1	0.4478
	S_1	0.4608

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.6.1

ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนคุณภาพ จากผลการทดลองพบว่าเซตของ $k \max$ เท่ากับ 5 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด (เทียบจากการวัดระยะทางแบบ D_1) เมื่อเทียบกับการเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพเซตอื่นๆ โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ในตารางที่ 4.12 และมีแนวโน้มของค่า

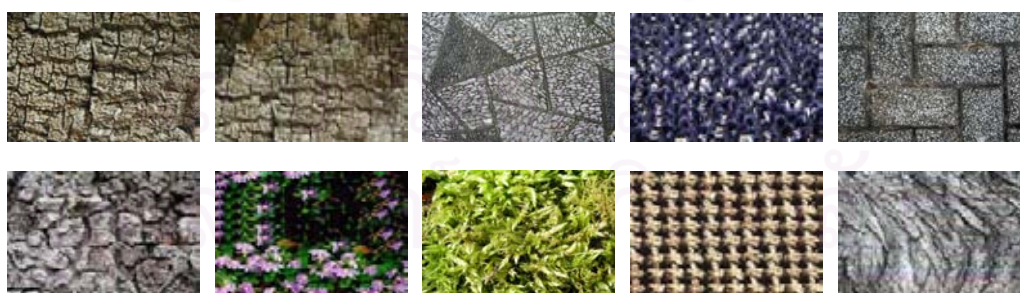
ANMRR ที่เพิ่มขึ้นที่ k_{max} มากกว่า 5 ขึ้นไป ดังนั้นจึงกำหนดให้ใช้ k_{max} เท่ากับ 5 อีกทั้งยังใช้ เวลาประมวลผลน้อยกว่า จึงกำหนดให้การทดลองในครั้งต่อไป กำหนดให้ใช้เซตระยะห่าง ระหว่างจุดภาพ k_{max} เท่ากับ 5 จากผลการทดลองพบว่า การเปรียบเทียบระยะทางแบบ D_1 ให้ ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับการเปรียบเทียบระยะแบบ L_1 ระยะ L_2 และระยะ S_1

การทดลองแบบที่ 4.6.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืน ภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

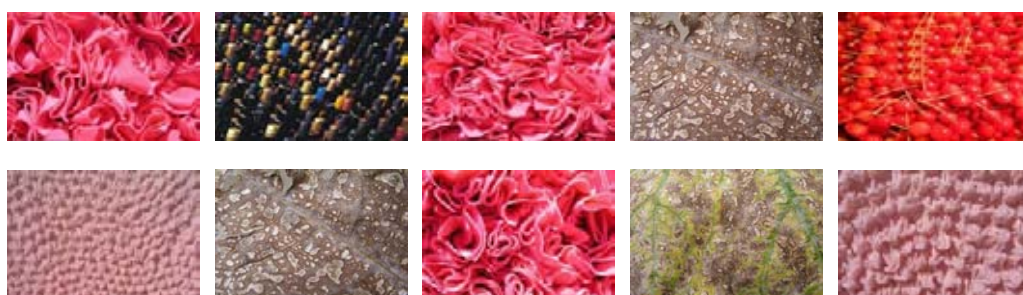
เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพ พื้นลายอิฐบดล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.14 โดยที่ภาพมูมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้าย กับภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการ เปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ D_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนดีที่สุด (ตารางที่ 4.12)



(ก)



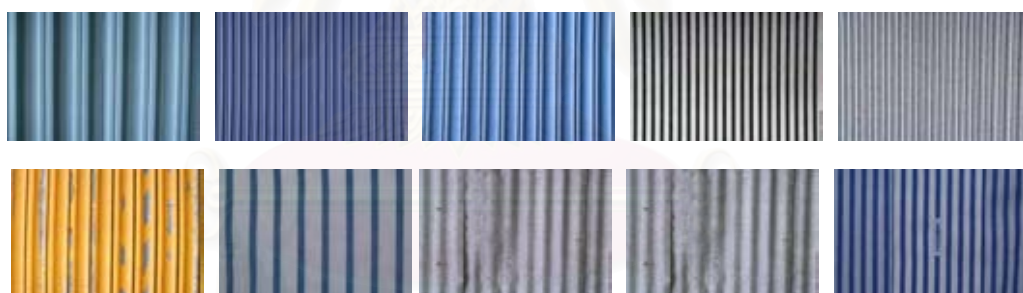
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.14 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.6.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าเวฟเล็ต
ออโตคอร์รีโลแกรมให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้มีปริมาณข้อมูลใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังให้ผลการ
ค้นคืนได้ของภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.14
(ง)

4.7 การทดลองที่ 7 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพของเทคนิคการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญของ JPEG2000

การทดลองที่ 7 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพที่ผู้เขียนวิทยานิพนธ์นำเสนอขึ้นเองด้วยการสร้างลักษณะเฉพาะจากการแปลงเวฟเล็ต และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลของการแปลงเวฟเล็ตอาศัยวิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ และการกำหนดบริบทจากวิธีเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญที่ใช้อยู่ในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 [1] เริ่มต้นแบ่งแต่ละแถบย่อยของภาพเวฟเล็ตออกเป็นบล็อกย่อยขนาด $k \times k$ จุดภาพ จากนั้นทำการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โดยกำหนดให้บล็อกที่เป็นนัยสำคัญมีค่าเป็น 1 และบล็อกที่ไม่เป็นนัยสำคัญกำหนดให้เป็น 0 หลังจากนั้นทำการกำหนดบริบททั้ง 9 แบบให้กับแต่ละบล็อก โดยอ้างอิงมาจากวิธีการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญของมาตรฐานแบบ JPEG2000 จากนั้นทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นในการพบบริบทในแต่ละแถบย่อยนั้นๆ ซึ่งความน่าจะเป็นของแต่ละบริบทที่ได้สำหรับแถบย่อยๆนั้นก็คือเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะสำหรับการค้นคืนภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วยเทคนิควิธีการกำหนดบริบทสำหรับการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ จากค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง L_2 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1 และอาศัยการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- อาศัยเทคนิคการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญของ JPEG2000 เริ่มต้นทำการแบ่งออกเป็นบล็อกเล็กๆ ในแต่ละแถบย่อย จากนั้นทำการนับจำนวนค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นแบบมีนัยสำคัญในทุกๆ บล็อกเล็กๆ ในแถบย่อยนั้นๆ และทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ที่เป็นแบบมีนัยสำคัญต่อบล็อก โดยมีเงื่อนไขว่าถ้าค่าสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญในบล็อกๆ นั้นมากกว่าค่าเฉลี่ยจะทำการกำหนดให้บล็อกนั้น เป็นแอ็กทิฟบล็อกหรือบล็อกที่มีนัยสำคัญซึ่งจะกำหนดให้เป็น 1 แต่ถ้าบล็อกที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขก็จะกำหนดให้เป็นบล็อกที่ไม่มีนัยสำคัญซึ่งจะกำหนดเป็น 0 ค่าตัวเลขเหล่านี้ที่ได้จะใช้แทนเป็นเลขโดด (Digit Number)

สำหรับการกำหนดบริบท จากนั้นก็นำเอาแอ็กทิฟบล็อกนี้ไปกำหนดบริบทพื้นผิว เพื่อที่จะทำการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะจากความน่าจะเป็นในการพบบริบท

- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพ สอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆดังนี้

การทดลองแบบที่ 4.7.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถามด้วย ANMRR และทำการปรับเปลี่ยนขนาดบล็อกสำหรับการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่

ขนาดบล็อกสำหรับการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ (รายละเอียดดูได้จากบทสรุปของการทดลองที่ 4.3.1) สำหรับการทดลองนี้จะทำการปรับขนาดบล็อกสำหรับการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โดยกำหนดขนาดบล็อกสำหรับการทดลองที่ขนาด 4×4 , 8×8 , และ 16×16 จุดภาพ

และเพื่อที่จะวิเคราะห์ขนาดบล็อกที่มีขนาดแตกต่างกันว่าจะมีผลกับประสิทธิภาพการค้นคืนมากน้อยเพียงใด และขนาดบล็อกที่ขนาดไหนให้ประสิทธิภาพและความเหมาะสมที่ดีกว่ากัน รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเปรียบเทียบเวกเตอร์ในแต่ละแบบ

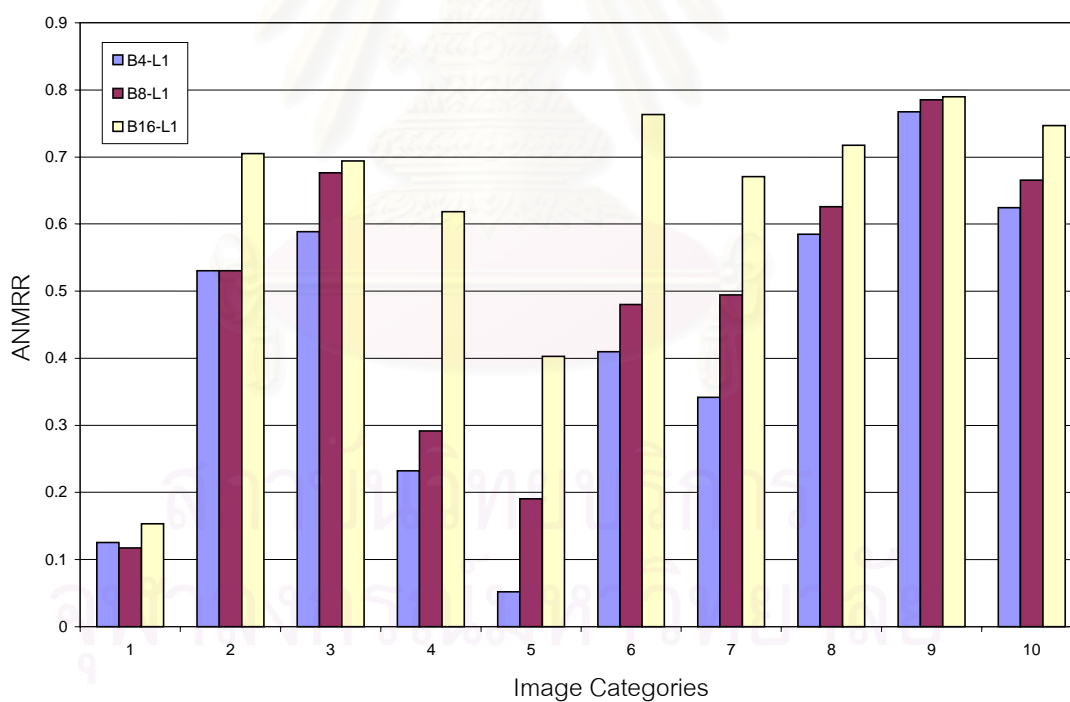
วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มภาพ โดยอาศัยจำนวนภาพ 10 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR สำหรับผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.13 และตารางที่ 4.14

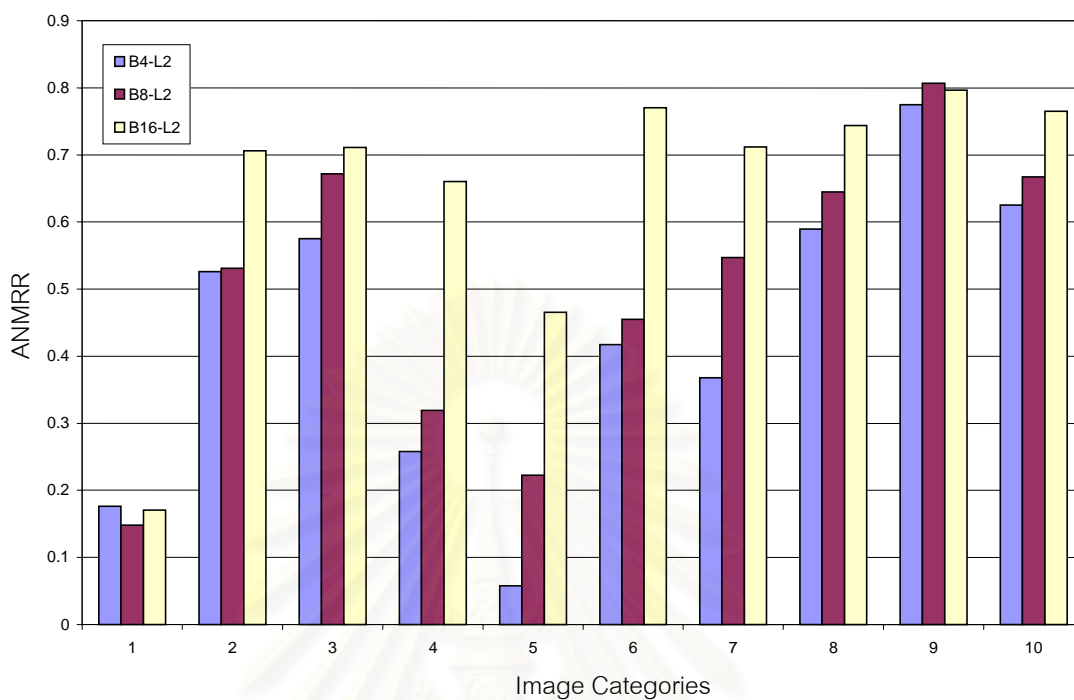
ตารางที่ 4.13 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR

ขนาดบล็อก	วิธีการเปรียบเทียบ	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4x4 (B4)	L ₁	0.4471	0.5306	0.5886	0.2324	0.0522	0.4096	0.3414	0.5850	0.7674	0.6243
	L ₂	0.1765	0.5256	0.5752	0.2579	0.0576	0.4169	0.3679	0.5893	0.7745	0.6253
	D ₁	0.1261	0.5340	0.5961	0.2347	0.0382	0.4135	0.3100	0.5824	0.7670	0.6281
	S ₁	0.1264	0.4967	0.6284	0.2200	0.0483	0.5214	0.4803	0.6602	0.7578	0.6164
8x8 (B8)	L ₁	0.1171	0.5306	0.6762	0.2919	0.1905	0.4799	0.4946	0.6258	0.7848	0.6655
	L ₂	0.1481	0.5307	0.6719	0.3194	0.2225	0.4551	0.5470	0.6451	0.8068	0.6673
	D ₁	0.1132	0.5382	0.6824	0.3063	0.1760	0.4892	0.4781	0.6245	0.7817	0.6725
	S ₁	0.1266	0.5736	0.7011	0.3728	0.1604	0.6282	0.5439	0.6562	0.7775	0.6752
16x16 (B16)	L ₁	0.1534	0.7049	0.6939	0.6187	0.4030	0.7631	0.6708	0.7174	0.7896	0.7469
	L ₂	0.1703	0.7063	0.7114	0.6602	0.4653	0.7701	0.7115	0.7438	0.7963	0.7652
	D ₁	0.1430	0.7094	0.7014	0.6168	0.4073	0.7656	0.6655	0.7131	0.7923	0.7524
	S ₁	0.1619	0.7029	0.7303	0.6022	0.3156	0.7842	0.6632	0.7092	0.7991	0.7346

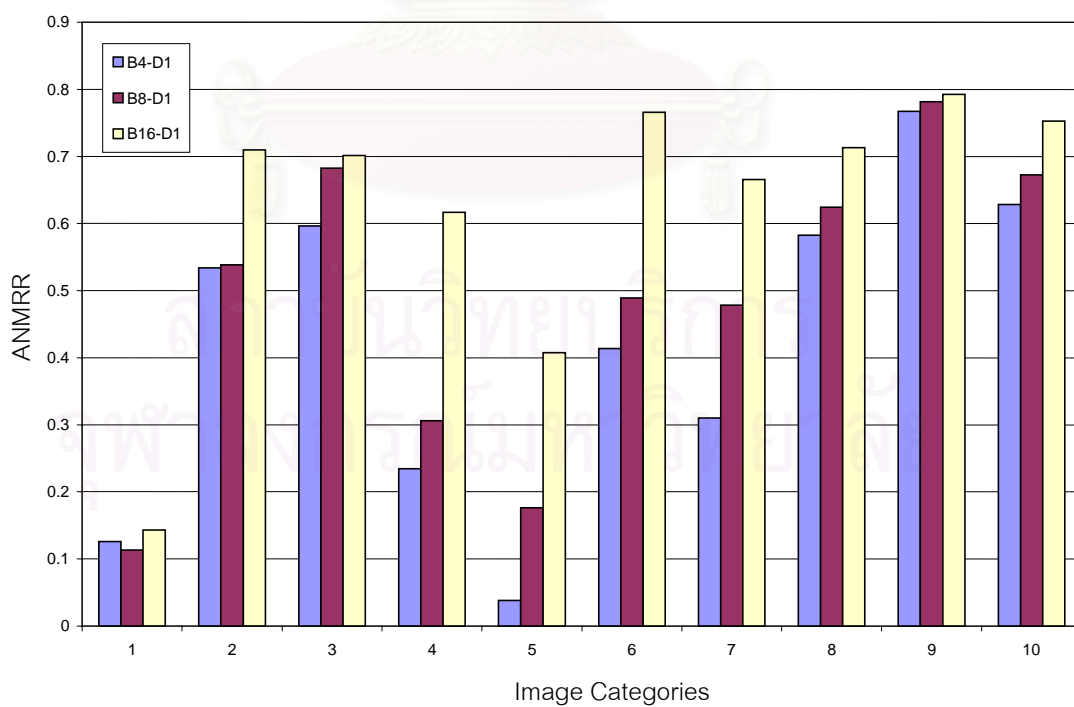
ตารางที่ 4.14 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

ขนาดบล็อก	วิธีการเปรียบเทียบ	ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม
4x4 (B4)	L_1	0.4257
	L_2	0.4367
	D_1	0.4230
	S_1	0.4556
8x8 (B8)	L_1	0.4857
	L_2	0.5014
	D_1	0.4862
	S_1	0.5216
16x16 (B16)	L_1	0.6262
	L_2	0.6500
	D_1	0.6267
	S_1	0.6203

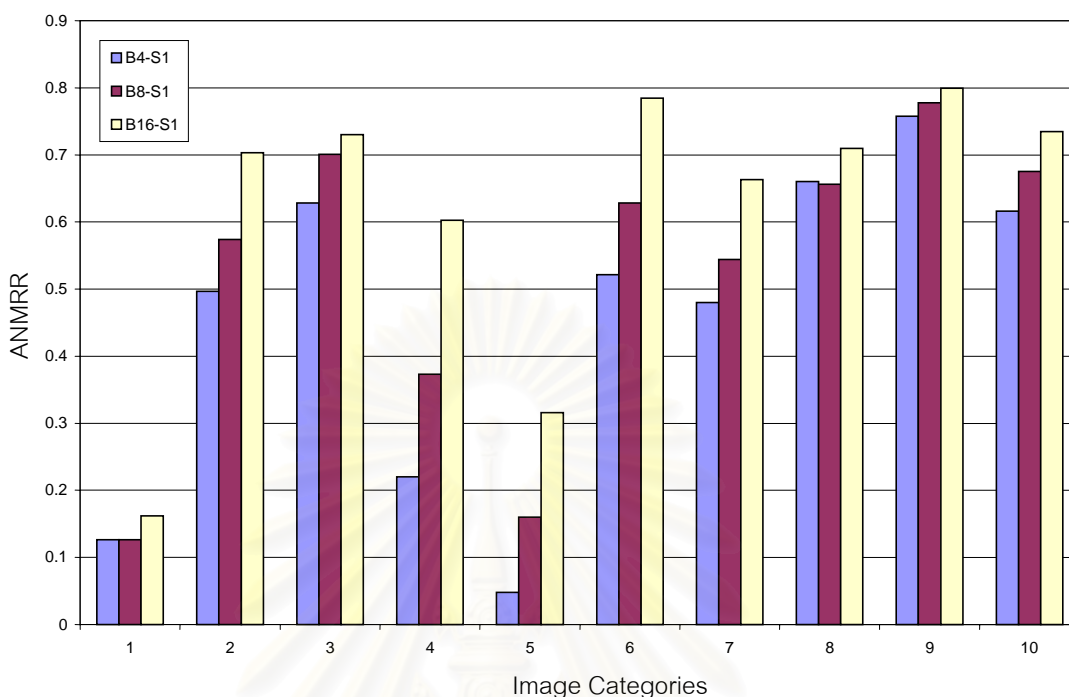
รูปที่ 4.15 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_1



รูปที่ 4.16 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ L_2



รูปที่ 4.17 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ D_1



รูปที่ 4.18 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพที่ขนาดบล็อกต่างๆ โดยอาศัยระยะ S_1

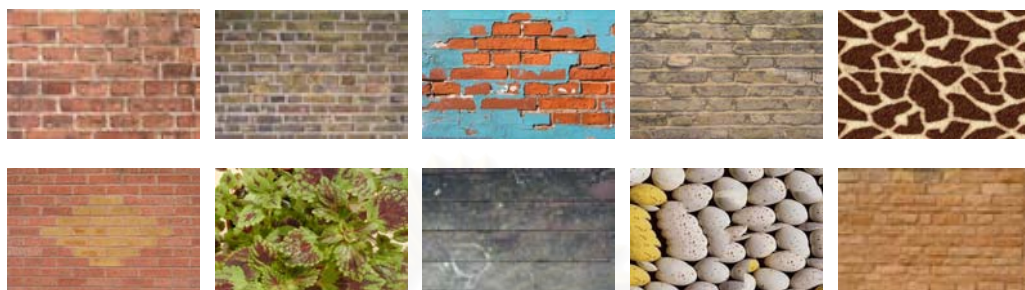
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.7.1

ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดบล็อกสำหรับทำแผนที่นัยสำคัญ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ จากผลการทดลองพบว่าขนาดบล็อกที่ 4×4 จุดภาพ ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (เทียบจากการวัดระยะทางแบบ D_1) เมื่อเทียบกับการวัดระยะทางและขนาดบล็อกแบบอื่นๆ โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ในตารางที่ 4.14 จึงกำหนดให้การทดลองในครั้งต่อไป กำหนดให้ใช้บล็อกขนาด 4×4 เพราะที่ใช้เวลาในการประมวลผลใกล้เคียงกับบล็อกขนาดอื่นๆ และให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยดูจากในรูปที่ 4.15 ถึง 4.18 จะเห็นได้ชัดถึงความแตกต่างของกราฟแสดงค่า ANMRR ว่ามีระยะห่างกันมาก เมื่อเทียบกับกราฟแสดงค่า ANMRR ในรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 ที่เห็นได้ชัดว่ามีความแตกต่างกันไม่เท่าไรนัก (ในการทดลองที่ 4.3.1)

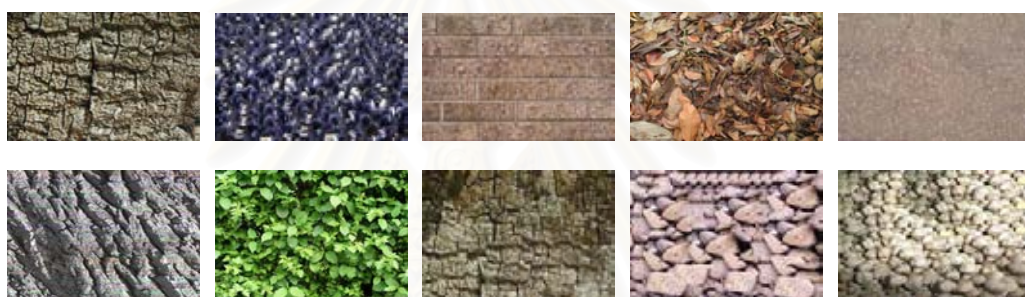
การทดลองแบบที่ 4.7.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐรูปบล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.19 โดยที่ภาพมูมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสอบถาม ลำดับที่ค้นคืนได้เรียงจากภาพที่คล้าย

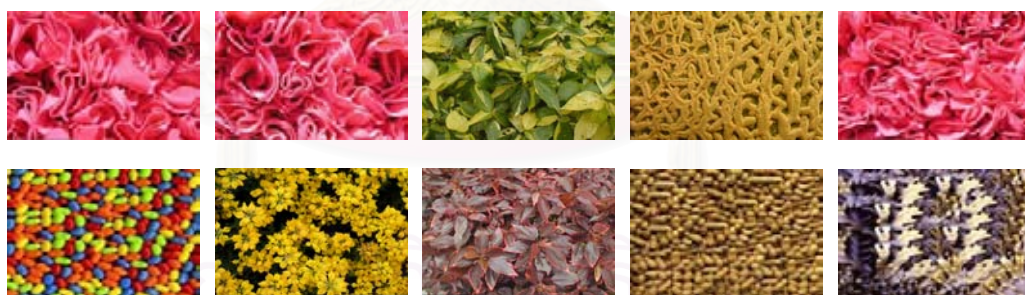
กับภาพสอบถามมากที่สุด ไปน้อยที่สุด จากซ้ายไปขวา บนลงล่าง และกำหนดให้ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ D_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนดีที่สุด (ตารางที่ 4.14)



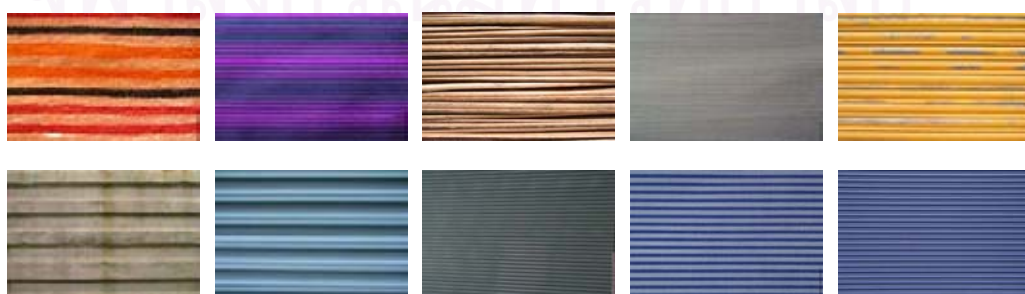
(ก)



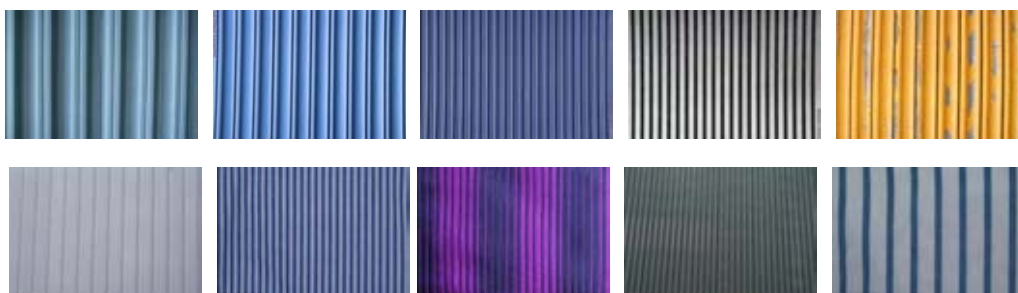
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.19 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.7.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอ (การกำหนดบริบท) ให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ประกอบไปด้วยลวดลายต่างๆ คละกัน ซึ่งลักษณะของภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้ค่อนข้างที่จะสัมพันธ์กับภาพสอบถาม และสัมพันธ์กันในเชิงทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.19 (ง) และ 4.19 (จ) จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าภาพพื้นผิวที่ค้นคืนได้สัมพันธ์กันในเชิงทิศทางของข้อมูล สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการค้นคืนข้อมูลแบบมีทิศทางอธิบายอยู่ในหัวข้อการทดลองที่ 4.12

4.8 การทดลองที่ 8 ทดสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการค้นคืนภาพของแต่ละเทคนิค จากฐานข้อมูลภาพ

การทดลองที่ 8 เป็นการทดลองวัดเวลาที่ใช้ในการประมวลผลการค้นคืนภาพของแต่ละเทคนิควิธี จากฐานข้อมูลภาพทั้งหมด 1000 ภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อจับเวลาในการประมวลผลการค้นคืนภาพโดยเฉลี่ยของแต่ละเทคนิควิธี

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (กำหนดขนาดบล็อก 8×8 จุดภาพ) โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม (โดยกำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ $k =$

{1, 2, 3, 4, 5}) และการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสที่สำคัญของ JPEG2000 (กำหนดขนาดบล็อก 4x4 จุดภาพ)

- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดเวลาในการประมวลผลเป็นหน่วยวินาที ด้วยเครื่อง Intel Pentium (R) M 2.8 GHz และหน่วยความจำรอง (RAM) เท่ากับ 512 MB

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.15 เวลาโดยเฉลี่ยในการประมวลผลของแต่ละวิธี

เทคนิควิธี	เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย (± 5 วินาที)
พลังงาน	92.15
ค่าความแปรปรวน	115.50
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	89.63
โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ	200.05
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ	125.21
เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม	99.91
การกำหนดบริบท	104.77

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ใช้เวลาในการสร้างลักษณะเฉพาะและค้นคืนภาพเร็วที่สุด (จากจำนวนภาพที่ใช้ในฐานข้อมูลทั้งหมด 1000 ภาพ ที่ขนาด 256x384 จุดภาพ) รองลงมาคือ การหาค่าพลังงาน ถัดมาคือ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม และวิธีที่น่าเสนาห (การกำหนดบริบท) สำหรับการหาค่าโมเมนต์นั้นใช้เวลายาวนานมากที่สุด เนื่องจากการคำนวณเยอะ เพื่อให้ได้มาซึ่งโมเมนต์ทั้ง 7 แบบ ทำให้เวลาในการประมวลผลยาวนานกว่าวิธีอื่นๆ

สรุปผลจากการทดลองที่ 1 ถึง 8

1. การหาค่าพลังงาน

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาค่าพลังงานเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว การคำนวณไม่ซับซ้อน และปราศจากบัพเฟออร์สำหรับเก็บค่าข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต ส่งผลให้มีความรวดเร็วในการสร้างเวกเตอร์พื้นผิวของข้อมูลภาพในฐานข้อมูล และมีจำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ใช้แทนภาพมีจำนวนไม่มาก แต่เทคนิคการวิธีการหาค่าพลังงานเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทาง โดยที่ทิศทางได้มาจากการแปลงเวฟเล็ตไม่ดีเท่าที่ควร เพราะมีความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลภาพสอบถามและภาพที่ถูกค้นคืนอยู่มาก โดยดูได้จากการทดลองในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลการค้นคืนภาพพื้นผิวในแต่ละแบบ แสดงให้เห็นว่าการหาค่าพลังงานเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลในเชิงปริมาณ แถบย่อยที่มีพลังงานมากแสดงว่าแถบย่อยนั้นๆ มีจำนวนข้อมูล หรือขนาดของข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตมาก กลับกันถ้าค่าพลังงานน้อย ก็แสดงให้เห็นว่าแถบย่อยนั้นๆ มีจำนวนข้อมูล หรือขนาดข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตน้อย ยกตัวอย่างในรูปที่ 4.2 (ง) และ 4.2 (จ) ซึ่งเป็นรูปที่มีทิศทางในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้งตามลำดับ ผลลัพธ์จากการค้นคืนได้ด้วยเทคนิคการหาค่าพลังงาน เป็นภาพพื้นผิวที่มีลวดลายที่ไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถาม ผลการค้นคืนได้ไม่สัมพันธ์กันในเชิงทิศทาง (รายละเอียดข้อสรุปอยู่ในการทดลองที่ 4.12)

สำหรับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพดูได้จากค่าเฉลี่ย ANNRR ในตารางที่ 4.2 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ D_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANMRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.4739 หรือก็คือให้ประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_1 , L_2 และ S_1

2. การหาค่าความแปรปรวน

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาค่าความแปรปรวนเป็นวิธีที่มีการคำนวณไม่ซับซ้อนมาก ปราศจากบัพเฟออร์เก็บค่าข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต จำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ใช้แทนภาพมีจำนวนไม่มาก และสามารถพิจารณารกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลในแต่ละแถบย่อย แต่ว่าเทคนิคการหาค่าความแปรปรวนยังไม่ใช่เครื่องมือที่ดีที่สุดที่ใช้อธิบายข้อมูลทิศทางของแต่ละแถบย่อยได้ดี เนื่องจากมีความไม่อิสระต่อกันของภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืน ทำให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายแบบมีทิศทางไม่สอดคล้องกับภาพสอบถามเท่าใดนัก ดังเห็นได้จากตัวอย่างการค้นคืนภาพพื้นผิวในรูปที่ 4.4 (ง) และ 4.4 (จ) ซึ่งเป็นภาพ

พื้นผิวในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้งตามลำดับ เพราะค่าความแปรปรวนเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงข้อมูลในเชิงสถิติเท่านั้น (รายละเอียดข้อสรุปอยู่ในการทดลองที่ 4.12)

สำหรับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพได้จากค่าเฉลี่ย ANNRR ในตารางที่ 4.4 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ D_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANMRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.5246 เมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_1 , L_2 และ S_1

3. แผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาแผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่เป็นวิธีที่มีการคำนวณไม่ซับซ้อน จำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ใช้แทนภาพมีจำนวนไม่มาก และสามารถค้นหาเฉพาะส่วนข้อมูลการแปลงเวฟเล็ตที่สำคัญภายในแต่ละแถบย่อยได้ โดยอาศัยการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ เพื่อกำหนดความสำคัญให้กับข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตภายในแต่ละบล็อกย่อยในแถบย่อยนั้นๆ ภายหลังจากสร้างแผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่แล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ จะได้บล็อกย่อยที่เป็นบล็อกสำคัญในแถบย่อย ทำให้ข้อมูลที่ได้เป็นส่วนที่สำคัญๆ เท่านั้น และด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้การค้นคืนภาพ สนใจแต่ข้อมูลที่เป็นส่วนสำคัญ แต่แผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่เป็นเครื่องมือที่ใช้อธิบายความมีทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร จากตัวอย่างการค้นคืนภาพพื้นผิวในรูปที่ 4.9 (ง) ซึ่งเป็นภาพพื้นผิวในแนวแกนนอน จากรูป ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ ไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามเท่าใดนัก ทั้งนี้เป็นเพราะยังมีความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนเท่าที่ควร

สำหรับขนาดของบล็อกสำหรับทำแผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่ กำหนดให้ใช้บล็อกขนาด 8×8 จุดภาพ (จากข้อสรุปผลการทดลองที่ 4.31) และประสิทธิภาพการค้นคืนภาพได้จากค่าเฉลี่ย ANNRR ของแต่ละกลุ่มภาพ ในตารางที่ 4.6 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ S_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANMRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.5224 เมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_1 , L_2 และ D_1

4. โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ คือ มีการคำนวณที่ซับซ้อน ใช้เวลานานในการประมวลผล และโดยทั่วไป ภาพประกอบไปด้วยข้อมูลที่มีหลากหลายทิศทาง และไม่มีความสนใจเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ข้อมูลสำคัญที่ได้นั้นอาจจะปะปนไปกับส่วนที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจก็ได้ แม้จะเป็น

ภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ และสำหรับการค้นคืนภาพพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ดูเหมือนว่าจะเป็นเครื่องมือที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในเชิงทิศทางข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตได้ แต่ก็ยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะทำให้เกิดความอิสระต่อกันของข้อมูลภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนมากนัก เพียงแต่โมเมนต์เป็นวิธีทางสถิติ (Statistical) ของภาพ ที่ใช้หาจุดศูนย์กลางมวลของภาพ และการกระจายตัวของจุดภาพที่เกี่ยวข้องกับจุดศูนย์กลางมวลของภาพ จากรูปที่ 4.11 (ง) และ 4.11 (จ) โมเมนต์ทั้ง 7 แบบของภาพที่ค้นคืนได้ แตกต่างจากภาพสอบถามไม่มากนัก ทำให้ผลการค้นคืนได้ ส่วนใหญ่เป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าวิธีการหาโมเมนต์ของแผนที่น้อยสำคัญยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะทำให้เกิดความอิสระต่อกันของข้อมูลทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตของภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืน

สำหรับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพดูได้จากค่าเฉลี่ย ANNRR ในตารางที่ 4.8 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ S_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANNRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.5896 เมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_1 , L_2 และ D_1

5. ฮิสโตแกรมจากแผนที่น้อยสำคัญ

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาฮิสโตแกรมจากแผนที่น้อยสำคัญนั้นเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน แต่ไม่สามารถบ่งบอกลักษณะที่แตกต่างกันของพื้นผิวได้ ดูได้จากผลการค้นคืนภาพพื้นผิวในรูปที่ 4.13 พบว่าเทคนิคการหาค่าฮิสโตแกรมเป็นเครื่องมือที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะอธิบายทิศทางข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต เนื่องจากการหาฮิสโตแกรมเป็นการดูปริมาณกลุ่มข้อมูลที่ตกอยู่ในแต่ละถังเก็บค่า ซึ่งเป็นค่าทางสถิติ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางไม่ดีเท่าที่ควร เป็นเพราะเกิดความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนมาก ทำให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวไม่สัมพันธ์กับภาพสอบถามเท่าใดนัก ดูได้จากตัวอย่างในรูปที่ 4.13 (ง) และ 4.13 (จ) (รายละเอียดข้อสรุปดูได้จากการทดลองที่ 4.12) โดยทั่วไปภาพประกอบไปด้วยข้อมูลที่มีหลากหลายทิศทาง และไม่มีวัตถุที่สนใจเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ข้อมูลสำคัญที่ได้นั้นอาจจะปะปนไปกับส่วนที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจก็ได้ แม้จะเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อตรงต่อการใช้ฮิสโตแกรมจากแผนที่น้อยสำคัญในการค้นคืนกลุ่มภาพเป้าหมาย

สำหรับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพได้จากค่าเฉลี่ย ANNRR ในตารางที่ 4.10 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ L_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANMRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.5842 เมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_2 D_1 และ S_1

6. เวก์เล็ตอโตคออริโลแกรม

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพโดยอาศัยเวก์เล็ตอโตคออริโลแกรมเป็นวิธีที่ใช้อธิบายถึงความน่าจะเป็นในการค้นพบข้อมูลในแต่ละถึงเก็บค่าที่ระยะใดๆ ในแนวแกนนอน และแกนตั้งของแต่ละแถบย่อย LH และ HL ได้ หรือสหสัมพันธ์ในแนวแกนของข้อมูลการแปลงเวก์เล็ต และใช้จำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมากในการแทนข้อมูลภาพนั้นๆ มากกว่าเทคนิคอื่นๆ จากภาพเป้าหมาย และในรูปที่ 4.14 (ง) และ 4.14 (จ) ซึ่งเป็นภาพพื้นผิวในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้งตามลำดับ ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้ สำหรับภาพสอบถามที่มีพื้นผิวในทิศทางแกนนอน สัมพันธ์กับภาพสอบถามอยู่บ้าง แต่ก็ไม่ใช่ภาพพื้นผิวในกลุ่มเดียวกันทั้งหมด แต่สำหรับภาพพื้นผิวในทิศทางแกนตั้ง ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้สัมพันธ์กับภาพสอบถาม จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้สรุปได้ว่าเวก์เล็ตอโตคออริโลแกรมเป็นเครื่องมือที่ใช้อธิบายข้อมูลทิศทางที่ได้จากการแปลงเวก์เล็ตได้บ้าง แต่ก็ยังมีความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนอยู่ โดยที่ประสิทธิภาพในการค้นคืนอาจจะขึ้นอยู่กับการแบ่งถึงเก็บค่าหรือการกำหนดเซตของระยะทางใดๆ ที่เหมาะสมด้วย จึงจะทำให้มีประสิทธิภาพในการอธิบายข้อมูลในเชิงทิศทางของแถบย่อยความถี่สูงได้ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ

สำหรับระยะทาง k ใดๆ กำหนดให้ใช้เซต $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ (รายละเอียดดูได้จากข้อสรุปผลการทดลองที่ 4.61) และสำหรับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพได้จากค่าเฉลี่ย ANNRR ในตารางที่ 4.12 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ D_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANMRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.4468 เมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_2 L_1 และ S_1

7. การกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญของ JPEG2000

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญของ JPEG2000 เป็นวิธีที่มีการคำนวณไม่ซับซ้อนมากนัก และยังค้นพบว่าสามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงทิศทางของข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวก์เล็ตได้ ทั้งนี้เป็นเพราะวิธีกำหนดบริบททำให้เกิดความอิสระต่อกัน

ของข้อมูลภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนมากขึ้น ทำให้การอธิบายความเป็นทิศทางมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิคอื่นๆ (รายละเอียดอยู่ในการทดลองที่ 4.12) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่ได้จากการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ทำให้ได้บล็อกย่อยที่เป็นบล็อกสำคัญในแต่ละแถบย่อย ในรูปที่ 4.19 (ง) และ 4.19 (จ) ซึ่งเป็นภาพสอบถามที่มีพื้นผิวในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้งตามลำดับ จากการทดลองพบว่าผลการค้นคืนภาพพื้นผิวที่ได้อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นการค้นคืนภาพพื้นผิวในแนวแกนนอน หรือการค้นคืนภาพพื้นผิวในแนวแกนตั้ง ทำให้สรุปได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดความอิสระต่อกันของข้อมูลภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนมากกว่าวิธีอื่นๆ ที่ได้นำเสนอ ทำให้การอธิบายการค้นคืนภาพที่มีทิศทางให้ประสิทธิภาพที่ดีมาก ทั้งนี้การแปลงเวฟเล็ตสามารถจำแนกทิศทางของข้อมูลตามแนวแกนได้อยู่แล้ว เพียงแต่การอธิบายทิศทางข้อมูลจำต้องอาศัยเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้อธิบายข้อมูลทิศทาง ซึ่งวิธีที่นำเสนอแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพที่ดีในการใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายความมีทิศทางข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต สำหรับข้อเสีย คือ อาศัยจำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมาก และในบางครั้งกลุ่มภาพข้อมูลบางกลุ่มอาจจะมีข้อมูลที่มีหลากหลายทิศทางไม่ชัดเจน และไม่มีวัตถุที่สนใจเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ข้อมูลสำคัญที่ได้นั้นอาจจะปะปนไปกับส่วนที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจก็ได้ แม้จะเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ

สำหรับขนาดบล็อกที่ใช้สร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ กำหนดให้ใช้ขนาดบล็อกที่ 4×4 จุดภาพ (จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.71) และสำหรับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพดูได้จากค่าเฉลี่ย ANRR ในตารางที่ 4.14 โดยที่การวัดระยะทางเวกเตอร์แบบ D_1 ให้ค่าเฉลี่ย ANMRR ต่ำที่สุด โดยมีค่าอยู่ที่ 0.4230 เมื่อเทียบกับการวัดประสิทธิภาพแบบ L_2 , L_1 และ S_1

จากการที่ได้วิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียของแต่ละเทคนิควิธี และจากผลการทดลองแบบที่ 1 ถึง การทดลองแบบที่ 8 ทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญใน JPEG2000 ซึ่งเป็นวิธีที่ได้นำเสนอ ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีกว่าทุกเทคนิควิธีที่ได้นำเสนอ โดยมีค่า ANMRR เฉลี่ยอยู่ที่ 0.4230 (ด้วยการวัดระยะแบบ D_1) เนื่องจากวิธีที่ได้นำเสนอทำให้เกิดความอิสระต่อกันของข้อมูลมากขึ้นโดยการจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มซึ่งกำหนดโดยบริบท อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่ได้จากการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ทำให้ได้ส่วนข้อมูลที่เป็นจุดสำคัญ ทำให้การอธิบายถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละแถบย่อยทำได้ดีขึ้น สำหรับวิธีการหาค่าพลังงาน และการหาค่าความแปรปรวน

เป็นวิธีที่บ่งบอกถึงเฉพาะกลุ่มข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ต แต่ก็ยังไม่เป็นเครื่องมือที่ดีเพียงพอที่จะอธิบายความมีทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่สามารถบ่งบอกถึงกลุ่มข้อมูลที่สำคัญๆ ในแต่ละแถบย่อย แต่ก็ยังไม่เป็นเครื่องมือที่ดีมากพอที่จะอธิบายความมีทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ได้เช่นเดียวกันกับวิธีการหาค่าพลังงาน และความแปรปรวน สำหรับการหาโมเมนต์จากแผนที่นี้ที่สำคัญ ใช้เวลานานในการประมวลผล จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในกระบวนการค้นคืนภาพที่ต้องการความรวดเร็ว การหาฮิสโตแกรมจากแผนที่นี้ที่สำคัญ เป็นการบ่งบอกถึงปริมาณข้อมูลเชิงสถิติที่เป็นแบบมีนัยสำคัญ ในแต่ละช่วงของดั่งเก็บค่าที่ได้แบ่งไว้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ถึงโอกาสในการพบข้อมูลที่สำคัญในแต่ละแถบค่าว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร แต่ก็ยังไม่เป็นเครื่องมือที่ดีเพียงพอที่จะอธิบายความมีทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต และสำหรับเวฟเล็ตอโตคอรีโวลูแกรมเป็นวิธีที่สามารถอธิบายถึงสหสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นในการพบกลุ่มข้อมูลเดียวกันในทิศทางตามแนวแกนนอน และแนวแกนตั้ง แต่ไม่สามารถแยกแยะข้อมูลที่เป็นส่วนสำคัญ และใช้เป็นเครื่องมือในการอธิบายความสัมพันธ์ของทิศทางข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตไม่ดีเท่าที่ควร

2. การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะขึ้นอยู่กับข้อมูลของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของแต่ละเทคนิควิธี สำหรับวิธีการหาค่าความแปรปรวน เวฟเล็ตอโตคอรีโวลูแกรม และการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสนัยสำคัญใน JPEG2000 วิธีการเปรียบเทียบแบบ D_1 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด การหาฮิสโตแกรมจากแผนที่นี้ที่สำคัญ วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ L_1 ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สำหรับวิธีค่าพลังงาน การหาโมเมนต์จากแผนที่นี้ที่สำคัญ และการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ S_1 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ดังนั้นสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบเวกเตอร์แต่ละวิธี มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ที่เหมาะสมกับข้อมูลเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะนั้นๆ ด้วย

3. แต่ละเทคนิควิธีให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนกลุ่มภาพแต่ละกลุ่มไม่เหมือนกัน บางวิธีก็ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนของกลุ่มภาพบางกลุ่มดี แต่กลุ่มอื่นๆ ไม่ดี ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่ดีที่สุดสำหรับการค้นคืนภาพทุกกลุ่มภาพ แต่ละเทคนิควิธีก็จะเหมาะสมกับแต่ละกลุ่มภาพที่แตกต่างกันไป

4.9 การทดลองที่ 9 ตัวอย่างการค้นคืนภาพในฐานะข้อมูลด้วยภาพสอบถาม โดยอาศัยเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย การหาค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ เวฟเล็ตฮอโตคอร์รีโลแกรม และเทคนิคที่นำเสนอ (การกำหนดบริบท)

การทดลองที่ 9 เป็นการยกตัวอย่างการค้นคืนภาพในฐานะข้อมูลด้วยภาพสอบถาม พร้อมทั้งสรุปผลและวิเคราะห์ผลการค้นคืนภาพในกลุ่มต่างๆ

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ผลการค้นคืนได้ของภาพในแต่ละกลุ่ม และเพื่อที่จะวิเคราะห์ผลให้เห็นภาพรวมของประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ ในแต่ละเทคนิควิธี

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (กำหนดขนาดบล็อก 8x8 จุดภาพ) โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ เวฟเล็ตฮอโตคอร์รีโลแกรม (โดยกำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$) และการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสนัยสำคัญของ JPEG2000 (กำหนดขนาดบล็อก 4x4 จุดภาพ)
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานะข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม

ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 4.16 ถึง 4.19

ตารางที่ 4.16 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L_1)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พลังงาน	0.1401	0.6639	0.5913	0.4153	0.4739	0.5978	0.2982	0.7194	0.7786	0.6962
ค่าความแปรปรวน	0.4148	0.7247	0.5941	0.4430	0.5347	0.7355	0.3733	0.4422	0.7795	0.6431
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	0.4426	0.6977	0.6419	0.3578	0.2668	0.6141	0.2292	0.7695	0.8110	0.6991
โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ	0.3318	0.8888	0.7380	0.6681	0.6222	0.6325	0.8656	0.8623	0.8760	0.7217
ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ	0.3980	0.6948	0.7276	0.4712	0.2130	0.7669	0.3896	0.6935	0.7305	0.7574
เวฟเล็ตฮอ-โตคอรีโดแกรม	0.2913	0.6118	0.5829	0.2434	0.1243	0.6746	0.2249	0.4577	0.6668	0.6171
การกำหนดบริบท	0.1252	0.5306	0.5886	0.2324	0.0522	0.4096	0.3414	0.5850	0.7674	0.6243

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L_2)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พลังงาน	0.1806	0.6911	0.6177	0.4413	0.5156	0.6542	0.2975	0.7535	0.8007	0.7166
ค่าความแปรปรวน	0.6004	0.7600	0.6442	0.5401	0.6016	0.7514	0.5106	0.4505	0.7826	0.6716
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	0.4926	0.7267	0.6728	0.4030	0.3032	0.6223	0.2419	0.7847	0.8258	0.7057
โมเมนต์จากแผนที่ นัยสำคัญ	0.5438	0.8816	0.7685	0.7520	0.6775	0.6250	0.8685	0.8365	0.8671	0.7449
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ นัยสำคัญ	0.5145	0.6979	0.7432	0.4525	0.2083	0.7775	0.4752	0.7211	0.7542	0.7587
เวฟเล็ตคอ- โตะคอร์รีโล แกรม	0.4225	0.5898	0.5743	0.2335	0.1615	0.7156	0.3243	0.4912	0.6587	0.6441
การกำหนด ปริบท	0.1765	0.5256	0.5752	0.2579	0.0576	0.4169	0.3679	0.5893	0.7745	0.6253

ตารางที่ 4.18 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ D_1)

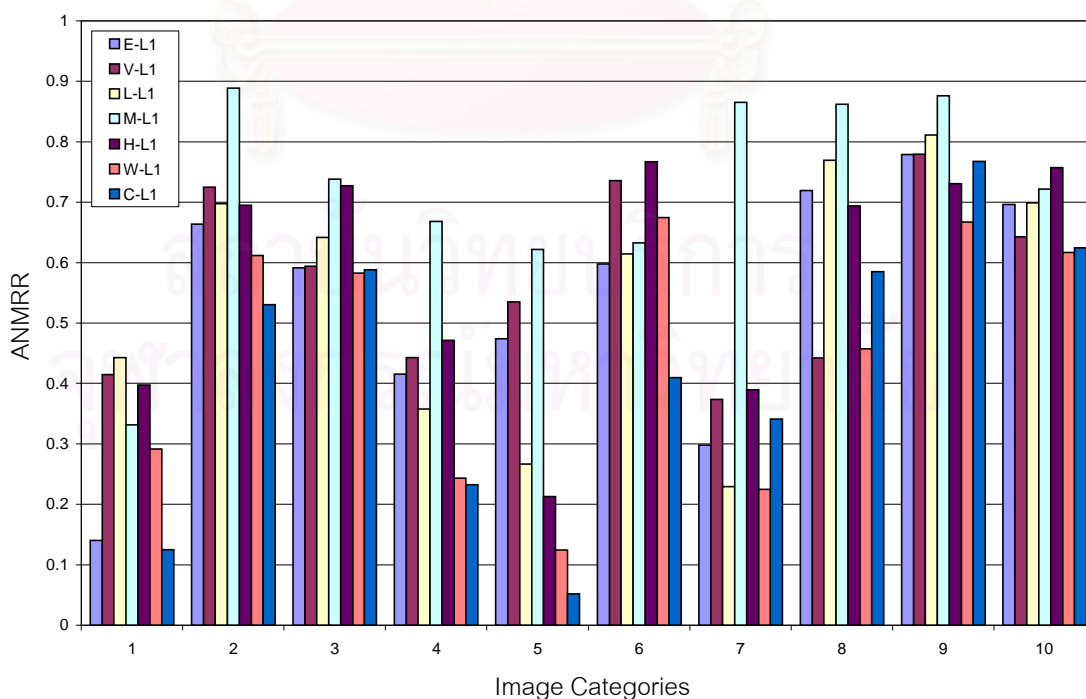
วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พลังงาน	0.2240	0.5519	0.5554	0.2827	0.1755	0.5920	0.2756	0.6659	0.7497	0.6665
ค่าความแปรปรวน	0.2386	0.6631	0.5437	0.2739	0.5371	0.6990	0.2508	0.5612	0.7922	0.6864
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	0.3789	0.6879	0.6245	0.3271	0.2513	0.6150	0.2156	0.7642	0.7993	0.6928
โมเมนต์จากแผนที่ นัยสำคัญ	0.1953	0.8631	0.6959	0.3956	0.5125	0.6627	0.8019	0.8457	0.8709	0.7127
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ นัยสำคัญ	0.3654	0.7038	0.7227	0.5030	0.2824	0.7685	0.3562	0.6798	0.7378	0.7602
เวฟเล็ตคอ- โตะคอร์รีโด แกรม	0.2557	0.6163	0.5924	0.2451	0.1038	0.6693	0.2409	0.4601	0.6665	0.6178
การกำหนด ปริบท	0.1261	0.5340	0.5961	0.2347	0.0382	0.4135	0.3100	0.5824	0.7670	0.6281

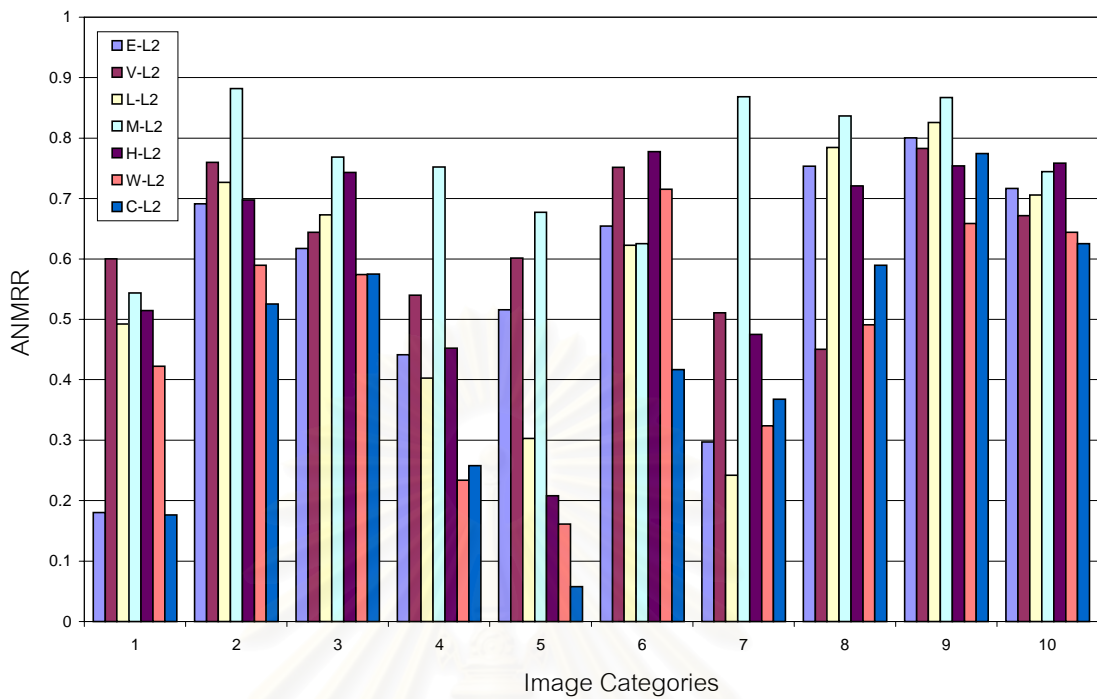
ตารางที่ 4.19 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ S_1)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พลังงาน	0.2508	0.5734	0.5653	0.3019	0.2440	0.5957	0.3006	0.6580	0.7605	0.6729
ค่าความแปรปรวน	0.2251	0.6650	0.5546	0.2942	0.5469	0.7084	0.2783	0.6843	0.8009	0.7009
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	0.5687	0.6289	0.5668	0.2530	0.0878	0.5091	0.3696	0.7655	0.7990	0.6753
โมเมนต์จากแผนที่ นัยสำคัญ	0.1674	0.7878	0.6485	0.4211	0.2410	0.6684	0.6876	0.7799	0.8091	0.6854
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ นัยสำคัญ	0.5286	0.7378	0.6471	0.4249	0.1193	0.7356	0.4311	0.7235	0.7614	0.7800
เวฟเล็ตคอ- โตะคอร์รีโล แกรม	0.1930	0.6546	0.6034	0.2631	0.0566	0.6706	0.3191	0.5121	0.6990	0.6206
การกำหนด ปริบท	0.1264	0.4967	0.6284	0.2200	0.0483	0.5214	0.4803	0.6602	0.7578	0.6164

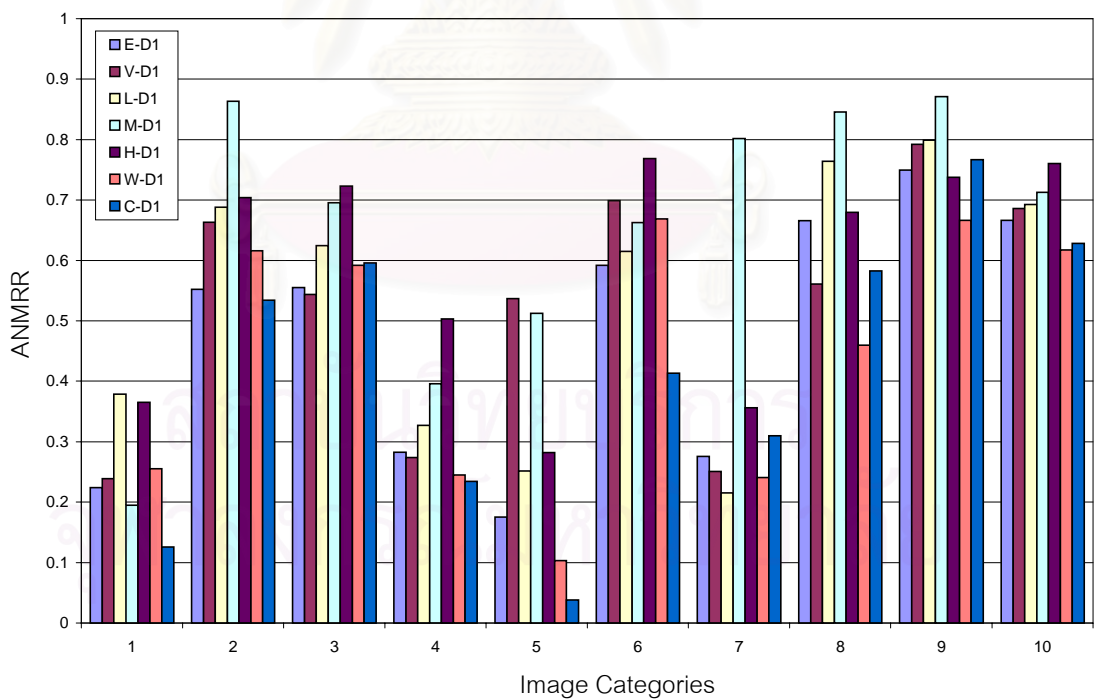
ตารางที่ 4.20 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

เทคนิควิธี	ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ			
	L_1	L_2	D_1	S_1
พลังงาน (E)	0.5375	0.5669	0.4739	0.4923
ค่าความแปรปรวน (V)	0.5685	0.6313	0.5246	0.5459
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (L)	0.5530	0.5779	0.5357	0.5224
โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ (M)	0.7207	0.7565	0.6556	0.5896
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ (H)	0.5842	0.6103	0.5880	0.5889
เวฟเล็ตออกโตคอรรีโกลแกรม (W)	0.4495	0.4815	0.4468	0.4592
การกำหนดบริบท (C)	0.4257	0.4367	0.4230	0.4556

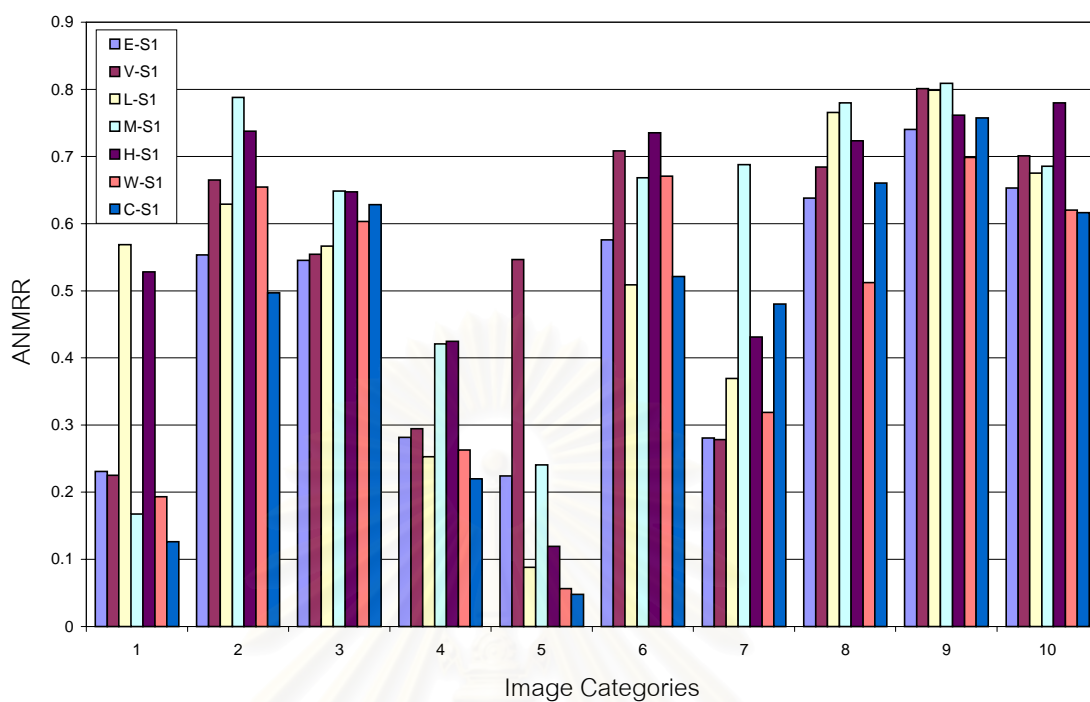
รูปที่ 4.20 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ L_1



รูปที่ 4.21 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ L_2



รูปที่ 4.22 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ D_1



รูปที่ 4.23 ค่า ANMRR ของแต่ละเทคนิควิธีด้วยระยะ S_1

ผลการค้นคืนภาพเรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากไปน้อย จากซ้ายไปขวา และจากแถวบนลงล่าง แสดงดังรูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.26 โดยภาพที่อยู่แถวบนและซ้ายมือสุด คือ ภาพสอบถาม



(ก) ผลการค้นคืนภาพรดด้วยพลังงาน (ระยะ D_1)



(ข) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยความแปรปรวน (ระยะ D_1)



(ค) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยแผนที่ยกทรงแบบเฉพาะที่ (ระยะ S_1)



(ง) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยโมเมนต์แผนที่นัยสำคัญ (ระยะ S_1)



(๑) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยฮิสโตแกรมของแผนทีน้อยสำคัญ (ระยะ L_1)

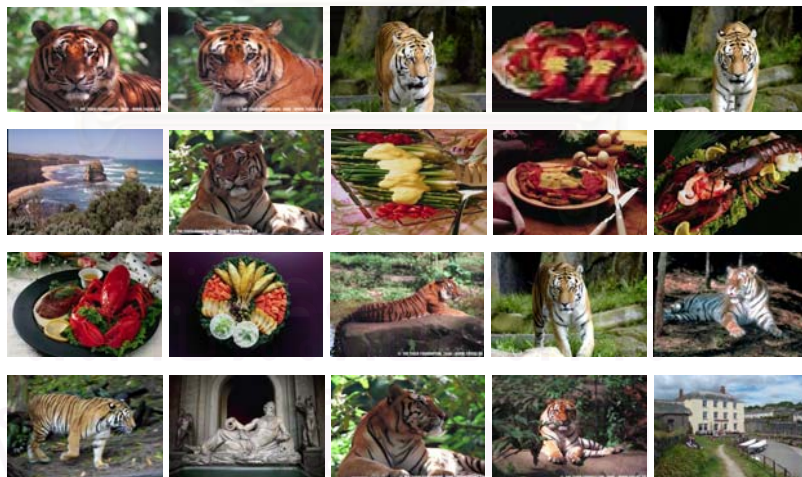


(๒) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยเวฟเล็ตออกโตคอรรีโกลแกรม (ระยะ D_1)

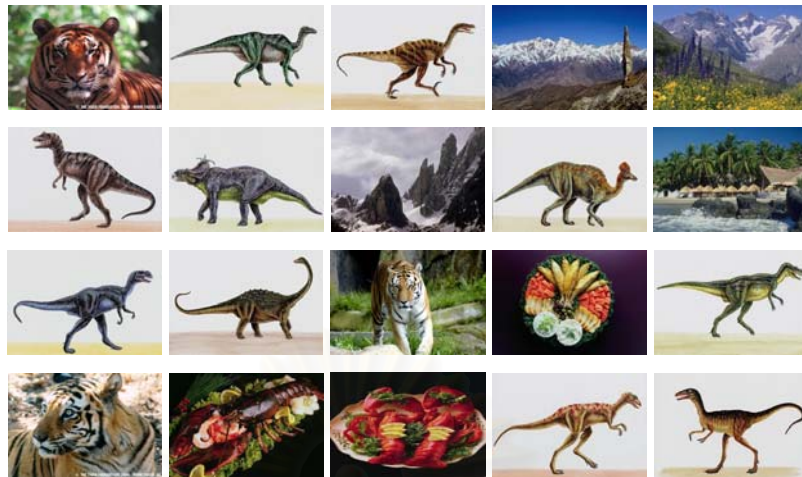


(ข) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยการกำหนดบริบท (ระยะ D_1)

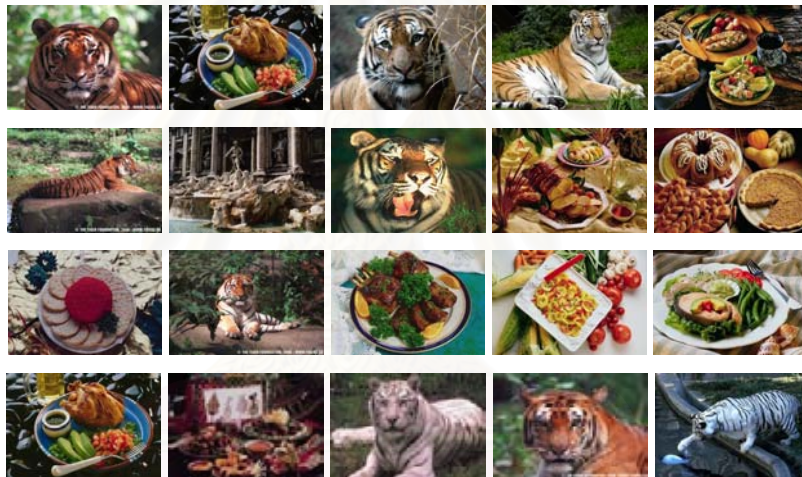
รูปที่ 4.24 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยวิธีต่างๆ (ก) พลังงาน (ข) ความแปรปรวน
 (ค) แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ง) โมเมนต์ของแผนที่ที่สำคัญ
 (จ) ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ (ฉ) เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม
 (ช) การกำหนดบริบท (เทคนิคที่นำเสนอ)



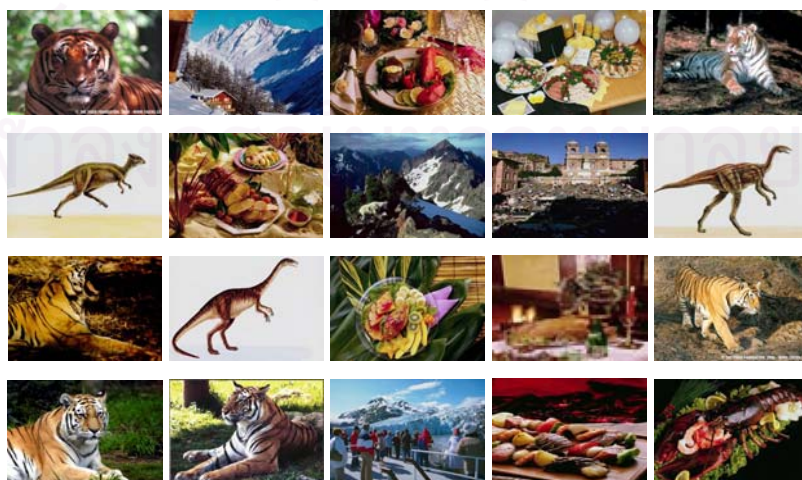
(ก) ผลการค้นคืนภาพเสือด้วยพลังงาน (ระยะ D_1)



(ข) ผลการค้นคืนภาพเสื่อด้วยความแปรปรวน (ระยะ D_1)



(ค) ผลการค้นคืนภาพเสื่อด้วยแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ระยะ S_1)



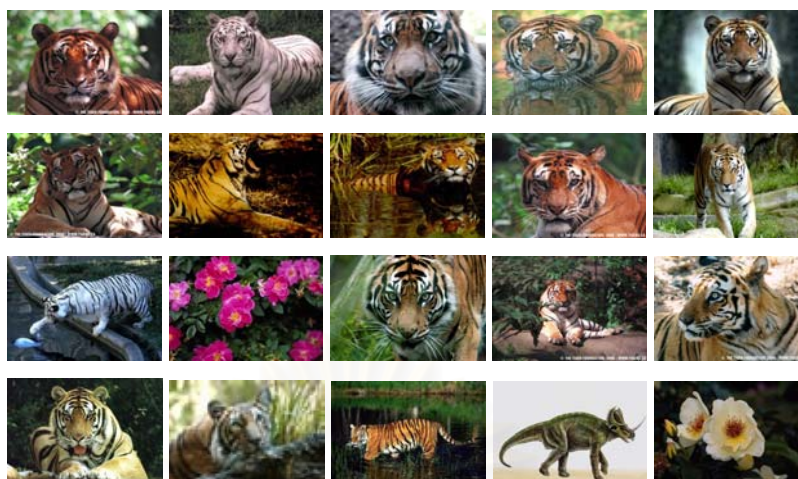
(ง) ผลการค้นคืนภาพเสื่อด้วยโมเมนต์แผนที่น้อยสำคัญ (ระยะ S_1)



(จ) ผลการค้นคืนภาพเสือด้วยฮิสโตแกรมของแผนทีน้อยสำคัญ (ระยะ L_1)

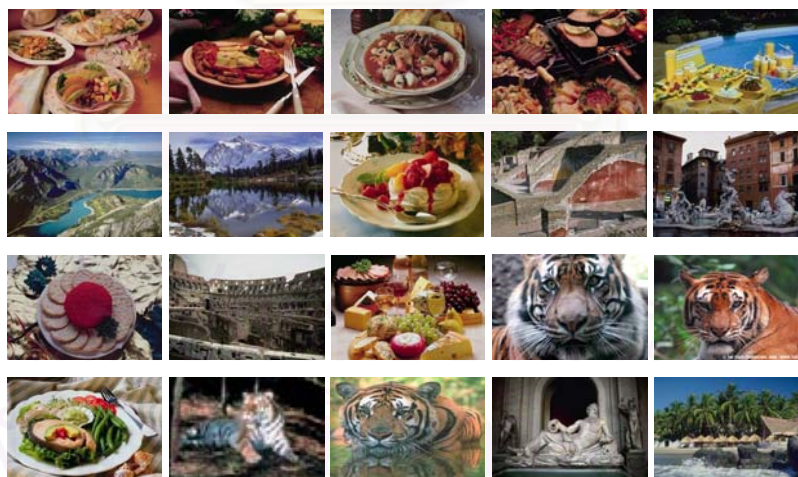


(ข) ผลการค้นคืนภาพเสือด้วยเวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม (ระยะ D_1)

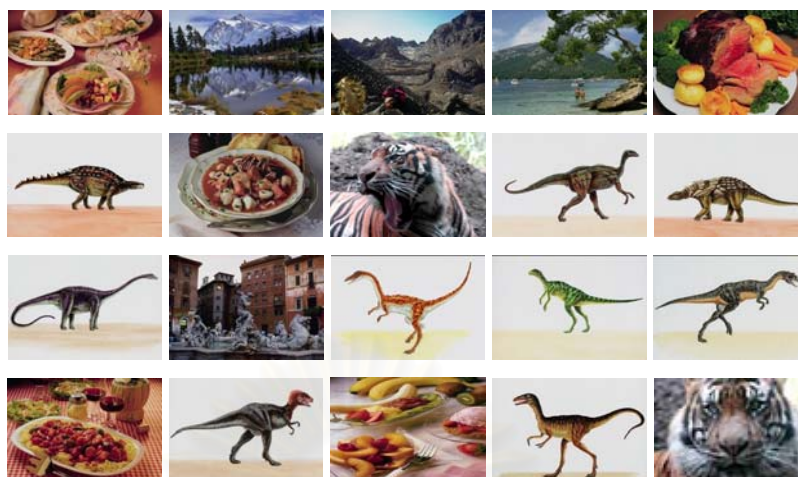


(ข) ผลการค้นคืนภาพเสือด้วยการกำหนดบริบท (ระยะ D_1)

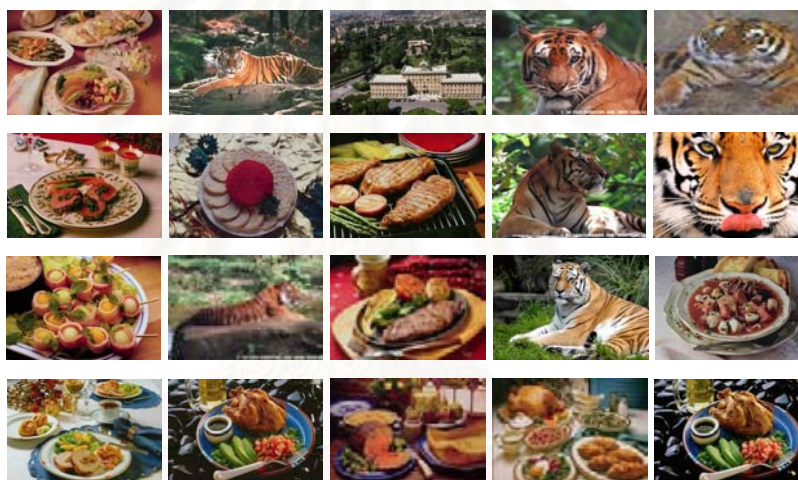
รูปที่ 4.25 ผลการค้นคืนภาพเสือด้วยวิธีต่างๆ (ก) พลังงาน (ข) ความแปรปรวน
 (ค) แผนที่ยกริดแบบเฉพาะที่ (ง) โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ
 (จ) ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ (ฉ) เวฟเล็ตฮอโตคอรีโโลแกรม
 (ช) การกำหนดบริบท (เทคนิคที่นำเสนอ)



(ก) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยพลังงาน (ระยะ D_1)



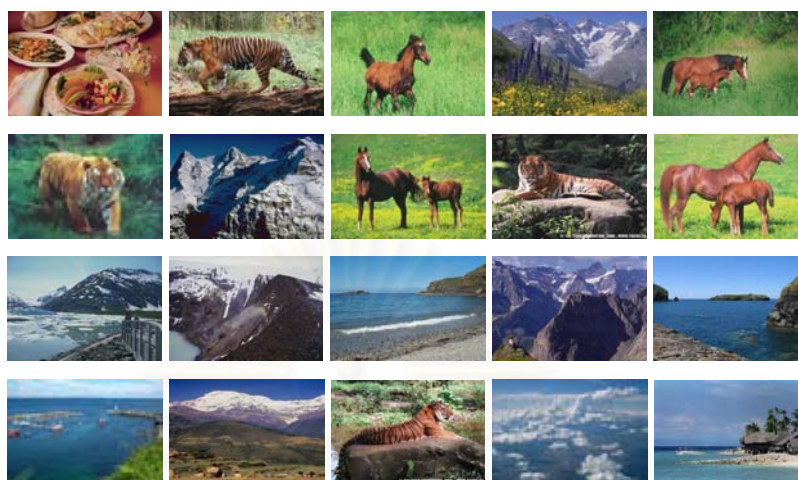
(ข) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยความแปรปรวน (ระยะ D_1)



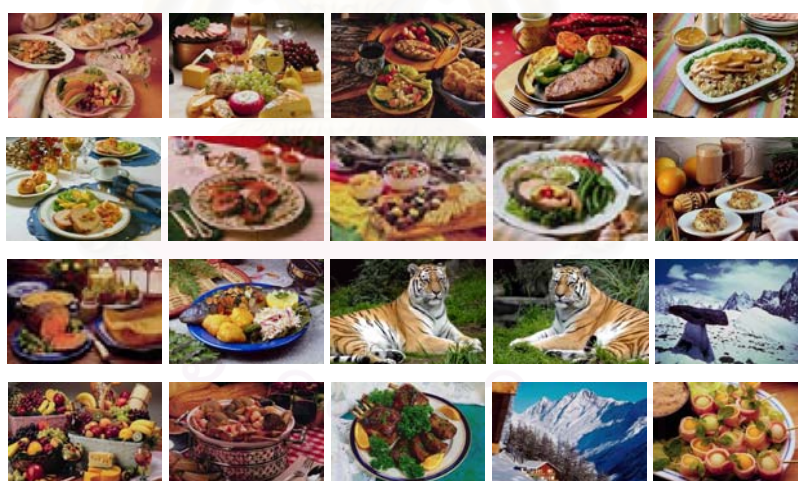
(ค) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (ระยะ S_1)



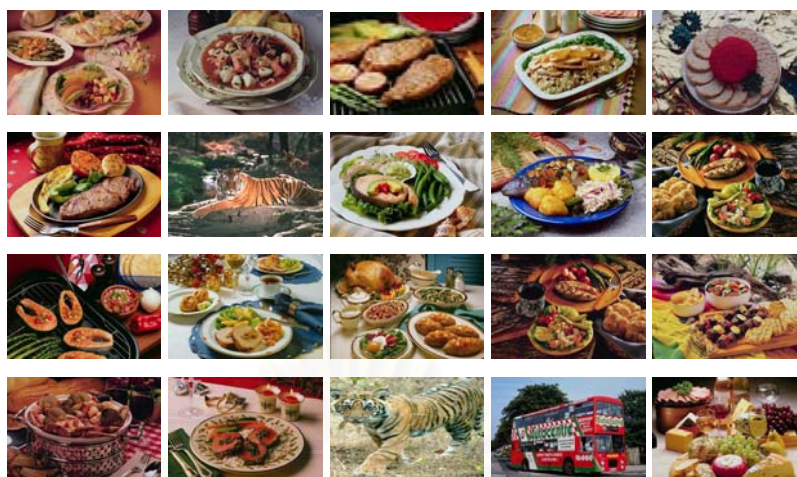
(ง) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยโมเมนต์แผนที่นัยสำคัญ (ระยะ S_1)



(จ) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยฮิสโตแกรมของแผนทีน้อยสำคัญ (ระยะ L_1)



(ข) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยเวฟเล็ตออโตคอรัลโดแกรม (ระยะ D_1)



(ข) ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยการกำหนดบริบท (ระยะ D_1)

รูปที่ 4.26 ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยวิธีต่างๆ (ก) พลังงาน (ข) ความแปรปรวน

(ค) แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ (ง) โมเมนต์ของแผนที่นัยสำคัญ

(จ) ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ (ฉ) เวฟเล็ตอโตคอรีโลแกรม

(ช) การกำหนดบริบท (เทคนิคที่นำเสนอ)

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 9

จากตารางที่ 4.20 พบว่าวิธีที่นำเสนอ (การกำหนดบริบท) ให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพกลุ่มที่ 1 ถึง 6 โดยรวมได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ แต่สำหรับภาพในกลุ่มที่ 7 ถึง 10 วิธีเวฟเล็ตอโตคอรีโลแกรมให้ประสิทธิภาพการค้นคืนโดยรวมดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ จากรูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่า วิธีที่นำเสนอกับเวฟเล็ตอโตคอรีโลแกรมให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ และแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน เพราะภาพแต่ละชนิดประกอบไปด้วยข้อมูลที่แตกต่างกัน บ้างก็เป็นภาพที่มีวัตถุสนใจใหญ่กว่าพื้นหลัง บ้างก็เป็นภาพพื้นผิวเรียบๆ บ้างก็เป็นภาพที่มีพื้นผิวหลายแบบคละกัน สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพของแต่ละวิธี เพราะแต่ละเทคนิควิธีมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่ดีที่สุดสำหรับการค้นคืนภาพทุกกลุ่มภาพ เทคนิคการค้นคืนภาพที่เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มภาพจะแตกต่างกันออกไป

4.10 การทดลองที่ 10 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน

การทดลองที่ 10 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับการรวมลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน เนื่องจากการค้นคืนภาพด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งนั้น อาจทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เป็นเพราะว่ามีข้อมูลเฉพาะที่ใช้จำแนกภาพไม่เพียงพอ จึงส่งผลให้การค้นคืนภาพอาจจะไม่ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะคล้ายกันก็มีมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดในการนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพต่างๆ มาใช้ร่วมกัน เพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มให้ผลที่ดียิ่งขึ้น

ในการทดลองนี้ใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน และวิธีการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะมีด้วยกันทั้งหมด 7 วิธี ประกอบไปด้วย การหาค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม และเทคนิคที่น่าเสนอ (การกำหนดบริบท) ซึ่งแต่ละวิธีจะทำการจับคู่กัน ซึ่งจะได้วิธีรวมลักษณะเฉพาะทั้งหมด 21 แบบ ดังนี้ คือ การจับคู่กันของวิธี พลังงาน (E) กับ ความแปรปรวน (V), พลังงาน กับ แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (L), พลังงาน กับ การกำหนดบริบท (C), พลังงาน กับ โมเมนต์ (M), พลังงาน กับ ฮิสโตแกรม (H), พลังงาน กับ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม (W), ความแปรปรวน กับ แผนที่กริดแบบเฉพาะที่, ความแปรปรวน กับ การกำหนดบริบท, ความแปรปรวน กับ โมเมนต์, ความแปรปรวน กับ ฮิสโตแกรม, ความแปรปรวน กับ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม, แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ กับ การกำหนดบริบท, แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ กับ โมเมนต์, แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ กับ ฮิสโตแกรม, แผนที่กริดเฉพาะที่ กับ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม, การกำหนดบริบท กับ โมเมนต์, การกำหนดบริบท กับ ฮิสโตแกรม, การกำหนดบริบท กับ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม, โมเมนต์ กับ ฮิสโตแกรม, โมเมนต์ กับ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม และ ฮิสโตแกรม กับ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการรวมลักษณะเฉพาะของภาพทั้ง 21 แบบ โดยที่การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่กำหนดให้ใช้บล็อกขนาด 8×8 จุดภาพ สำหรับเวฟเล็ตออกโตคอริรีโลแกรม กำหนดให้เซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ และการกำหนดบริบท กำหนดให้ใช้บล็อกขนาด 4×4 จุดภาพ
- อาศัยฐานข้อมูลภาพเดียวกันกับการทดลองที่ 4.1
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR โดยใช้จำนวนภาพสอบถามเท่ากับร้อยละ 1 ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองที่ 4.10.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพของ 2 วิธีร่วมกัน

ตารางที่ 4.21 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L_1)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E และ V	0.0882	0.6304	0.5578	0.3843	0.4268	0.5609	0.2220	0.6567	0.7413	0.6516
E และ L	0.1211	0.6431	0.5713	0.3950	0.4528	0.5776	0.2755	0.6993	0.7583	0.6761
E และ C	0.1174	0.6402	0.5700	0.3923	0.4407	0.5719	0.2736	0.6956	0.7580	0.6737
E และ M	0.1474	0.7678	0.5803	0.4479	0.2996	0.4871	0.5481	0.7617	0.8418	0.6508
E และ H	0.1217	0.6413	0.5709	0.3937	0.4440	0.5763	0.2735	0.6978	0.7570	0.6755
E และ W	0.1211	0.6397	0.5672	0.3887	0.4290	0.5743	0.2361	0.6869	0.7503	0.6695
V และ L	0.4033	0.7162	0.5909	0.4347	0.5115	0.7270	0.3621	0.4438	0.7760	0.6399
V และ C	0.2995	0.6829	0.5638	0.3938	0.3972	0.6777	0.3364	0.4233	0.7710	0.6202
V และ M	0.2484	0.8540	0.6584	0.5871	0.4314	0.6066	0.7624	0.7135	0.8739	0.6322
V และ H	0.3838	0.7039	0.5812	0.4150	0.4381	0.7106	0.3536	0.4276	0.7677	0.6354
V และ W	0.2913	0.6118	0.5829	0.2434	0.1243	0.6746	0.2249	0.4577	0.6668	0.6171
L และ C	0.1434	0.5097	0.5821	0.2211	0.0469	0.4156	0.3011	0.6098	0.7648	0.6207
L และ M	0.3257	0.8862	0.7309	0.6641	0.5967	0.6214	0.8605	0.8623	0.8749	0.7181
L และ H	0.3643	0.6273	0.6985	0.3372	0.1382	0.7079	0.2872	0.7225	0.7227	0.7485
L และ W	0.2820	0.6031	0.5779	0.2300	0.1154	0.6675	0.1933	0.4897	0.6595	0.6068
C และ M	0.2580	0.8640	0.6956	0.6422	0.4584	0.5448	0.8333	0.8467	0.8758	0.6918
C และ H	0.1721	0.5307	0.6176	0.1753	0.0349	0.4704	0.2913	0.5761	0.7131	0.6636
C และ W	0.2051	0.5522	0.5640	0.1804	0.0762	0.5278	0.1915	0.4389	0.6724	0.5841
M และ H	0.3178	0.8838	0.7196	0.6517	0.5358	0.6052	0.8521	0.8573	0.8720	0.7144
M และ W	0.2639	0.8712	0.6510	0.6002	0.4046	0.5495	0.8218	0.8247	0.8474	0.6459
H และ W	0.2679	0.6043	0.5869	0.2235	0.0919	0.6557	0.1736	0.4790	0.6498	0.6295

ตารางที่ 4.22 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ L_2)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E และ V	0.1265	0.6552	0.5801	0.4040	0.4570	0.6047	0.2142	0.6741	0.7584	0.6535
E และ L	0.1621	0.6708	0.5976	0.4211	0.4946	0.6339	0.2733	0.7331	0.7804	0.6962
E และ C	0.1589	0.6689	0.5970	0.4202	0.4906	0.6308	0.2738	0.7317	0.7802	0.6951
E และ M	0.1798	0.7670	0.6050	0.4826	0.3979	0.5480	0.5055	0.7802	0.8455	0.6800
E และ H	0.1623	0.6698	0.5975	0.4199	0.4882	0.6318	0.2738	0.7327	0.7794	0.6958
E และ W	0.1599	0.6700	0.5961	0.4195	0.4906	0.6328	0.2634	0.7311	0.7787	0.6945
V และ L	0.5919	0.7528	0.6426	0.5319	0.5793	0.7428	0.5016	0.4511	0.7802	0.6684
V และ C	0.5644	0.7413	0.6287	0.5193	0.5484	0.7279	0.4919	0.4414	0.7804	0.6583
V และ M	0.5212	0.8638	0.7032	0.6589	0.5393	0.6397	0.7444	0.6394	0.8497	0.6491
V และ H	0.5925	0.7474	0.6367	0.5176	0.5367	0.7385	0.4990	0.4461	0.7782	0.6692
V และ W	0.4225	0.5898	0.5743	0.2335	0.1615	0.7156	0.3243	0.4912	0.6587	0.6441
L และ C	0.2581	0.5153	0.5783	0.2376	0.0552	0.4418	0.2777	0.6507	0.7718	0.6234
L และ M	0.5304	0.8782	0.7636	0.7471	0.6470	0.6088	0.8575	0.8391	0.8666	0.7393
L และ H	0.4766	0.6400	0.7189	0.3012	0.1166	0.6978	0.3088	0.7659	0.7478	0.7496
L และ W	0.4032	0.5827	0.5646	0.2080	0.1325	0.6820	0.2008	0.6057	0.6533	0.6099
C และ M	0.4404	0.8638	0.7435	0.7394	0.5879	0.5631	0.8356	0.8283	0.8674	0.7221
C และ H	0.2991	0.5747	0.6726	0.2147	0.0541	0.5815	0.3499	0.6499	0.7259	0.7189
C และ W	0.2632	0.5218	0.5461	0.1756	0.0883	0.5182	0.2514	0.4884	0.6759	0.5893
M และ H	0.5300	0.8749	0.7562	0.7367	0.5883	0.6008	0.8515	0.8353	0.8646	0.7388
M และ W	0.5061	0.8724	0.7303	0.7267	0.6018	0.5961	0.8447	0.8225	0.8503	0.7096
H และ W	0.4342	0.6153	0.6551	0.2287	0.1135	0.6734	0.2798	0.5948	0.6399	0.7070

ตารางที่ 4.23 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ D_1)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E และ V	0.2144	0.5802	0.5256	0.2582	0.2830	0.5870	0.2414	0.5842	0.7423	0.6429
E และ L	0.1987	0.5265	0.5319	0.2482	0.1438	0.5714	0.2330	0.6620	0.7254	0.6438
E และ C	0.1688	0.5010	0.5382	0.2064	0.0536	0.4566	0.2508	0.5908	0.7286	0.6184
E และ M	0.3955	0.7757	0.7766	0.6773	0.7071	0.8248	0.6249	0.7677	0.8218	0.8174
E และ H	0.1989	0.5511	0.5661	0.2359	0.0877	0.6040	0.2245	0.6294	0.7059	0.6772
E และ W	0.1981	0.5674	0.5625	0.2266	0.0736	0.6296	0.1764	0.4939	0.6802	0.6059
V และ L	0.2312	0.6472	0.5366	0.2594	0.4510	0.6703	0.2250	0.5731	0.7841	0.6758
V และ C	0.1959	0.5927	0.5281	0.2147	0.1643	0.5428	0.2386	0.5445	0.7639	0.6287
V และ M	0.3701	0.7916	0.7767	0.6640	0.7400	0.8223	0.5972	0.7711	0.8304	0.8142
V และ H	0.2320	0.6442	0.5550	0.2360	0.2898	0.6417	0.2129	0.5486	0.7608	0.6860
V และ W	0.2557	0.6163	0.5924	0.2451	0.1038	0.6693	0.2409	0.4601	0.6665	0.6178
L และ C	0.1388	0.5164	0.5865	0.2211	0.0353	0.4193	0.2767	0.6062	0.7636	0.6240
L และ M	0.6020	0.8415	0.8661	0.8095	0.8321	0.8698	0.7881	0.8360	0.8430	0.8640
L และ H	0.3181	0.6378	0.6844	0.3486	0.1907	0.7020	0.2616	0.7092	0.7217	0.7483
L และ W	0.2482	0.6091	0.5869	0.2306	0.0964	0.6635	0.2093	0.4881	0.6613	0.6082
C และ M	0.3505	0.7836	0.8000	0.6980	0.7199	0.8183	0.6882	0.7857	0.8301	0.8325
C และ H	0.1626	0.5369	0.6097	0.1845	0.0374	0.4636	0.2638	0.5554	0.7156	0.6556
C และ W	0.1887	0.5536	0.5741	0.1841	0.0561	0.5341	0.1850	0.4296	0.6742	0.5911
M และ H	0.5438	0.8379	0.8481	0.7694	0.7935	0.8631	0.7651	0.8120	0.8357	0.8573
M และ W	0.3699	0.7701	0.7337	0.5801	0.6199	0.7984	0.5964	0.6918	0.7809	0.7876
H และ W	0.2371	0.6117	0.5875	0.2314	0.0817	0.6576	0.1784	0.4672	0.6555	0.6334

ตารางที่ 4.24 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วยค่า ANMRR (ระยะ S_1)

วิธี	ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E และ V	0.2146	0.5984	0.5342	0.2736	0.3450	0.5962	0.2686	0.6569	0.7645	0.6580
E และ L	0.1774	0.5487	0.5282	0.2154	0.0961	0.5146	0.2918	0.6736	0.7261	0.6372
E และ C	0.1601	0.5143	0.5437	0.2184	0.0839	0.5326	0.3186	0.6282	0.7252	0.6193
E และ M	0.1527	0.5994	0.5497	0.2407	0.0747	0.5841	0.3751	0.6739	0.7397	0.6213
E และ H	0.1913	0.6146	0.5244	0.2899	0.2711	0.6172	0.2254	0.5525	0.7396	0.6778
E และ W	0.1735	0.5742	0.5519	0.2434	0.0888	0.5976	0.2317	0.5369	0.7176	0.6313
V และ L	0.1754	0.6118	0.5230	0.2150	0.1893	0.5340	0.2660	0.6846	0.7594	0.6468
V และ C	0.2287	0.6152	0.5371	0.2334	0.2192	0.6275	0.2528	0.6704	0.7790	0.6363
V และ M	0.7842	0.9291	0.9037	0.9225	0.8892	0.8963	0.9116	0.8576	0.8580	0.8591
V และ H	0.2290	0.6549	0.5419	0.2620	0.2762	0.6718	0.2434	0.6820	0.7966	0.7077
V และ W	0.7533	0.4911	0.5201	0.2364	0.0566	0.6536	0.3381	0.5944	0.6720	0.6555
L และ C	0.4879	0.5649	0.5563	0.1788	0.0231	0.4735	0.3255	0.7398	0.7714	0.6389
L และ M	0.8509	0.9306	0.9062	0.9238	0.8878	0.8954	0.9157	0.8597	0.8586	0.8603
L และ H	0.5209	0.6148	0.5492	0.1880	0.0315	0.5147	0.3365	0.7618	0.7867	0.6882
L และ W	0.6370	0.5240	0.5178	0.1892	0.0234	0.4905	0.2691	0.6963	0.7146	0.6429
C และ M	0.8574	0.9315	0.9069	0.9248	0.8904	0.8970	0.9173	0.8586	0.8587	0.8611
C และ H	0.4272	0.5489	0.6027	0.1617	0.0129	0.5329	0.3406	0.7136	0.7604	0.6537
C และ W	0.5881	0.4355	0.5256	0.1584	0.0142	0.5366	0.2723	0.6270	0.6732	0.5804
M และ H	0.8685	0.9328	0.9083	0.9260	0.8937	0.8984	0.9175	0.8594	0.8585	0.8623
M และ W	0.8800	0.9305	0.9063	0.9249	0.8907	0.8977	0.9166	0.8580	0.8578	0.8615
H และ W	0.6717	0.5145	0.5215	0.2024	0.0222	0.6003	0.2453	0.6099	0.6781	0.6642

ตารางที่ 4.25 ผลรวมค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

เทคนิควิธี	ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ			
	L_1	L_2	D_1	S_1
E และ V	0.4920	0.5128	0.4659	0.4910
E และ L	0.5175	0.5463	0.4485	0.4409
E และ C	0.5175	0.5447	0.4113	0.4344
E และ M	0.5175	0.5792	0.7189	0.4611
E และ H	0.5175	0.5451	0.4481	0.4704
E และ W	0.5175	0.5437	0.4214	0.4347
V และ L	0.5685	0.6243	0.5054	0.4605
V และ C	0.5685	0.6102	0.4414	0.4800
V และ M	0.5685	0.6809	0.7178	0.8811
V และ H	0.5685	0.6162	0.4807	0.5065
V และ W	0.4495	0.4815	0.4468	0.4971
L และ C	0.4215	0.4410	0.4188	0.4760
L และ M	0.7141	0.7478	0.8152	0.8889
L และ H	0.5354	0.5523	0.5322	0.4992
L และ W	0.4425	0.4643	0.4402	0.4705
C และ M	0.6711	0.7191	0.7307	0.8904
C และ H	0.4245	0.4841	0.4185	0.4755
C และ W	0.3993	0.4118	0.3971	0.4412
M และ H	0.7010	0.7377	0.7926	0.8925
M และ W	0.6480	0.7260	0.6729	0.8924
H และ W	0.4362	0.4942	0.4341	0.4730

ตารางที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าผลการรวมวิธีการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโดแกรมให้ประสิทธิภาพการค้นคืนดีที่สุด (ระยะ D_1) เมื่อเทียบกับทุกๆ วิธีที่ทำการรวมกัน ผลการค้นคืนภาพเรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากไปน้อย จากซ้ายไปขวา และจากแถวบนลงล่าง แสดงดังรูปที่ 4.27 ถึงรูปที่ 4.29 (เฉพาะวิธีการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโดแกรม) โดยภาพที่อยู่แถวบนและซ้ายมือสุด คือ ภาพสอบถาม



รูปที่ 4.27 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโดแกรม



รูปที่ 4.28 ผลการค้นคืนภาพเสือด้วยการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโดแกรม



รูปที่ 4.29 ผลการค้นคืนภาพอาหารด้วยการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโดแกรม

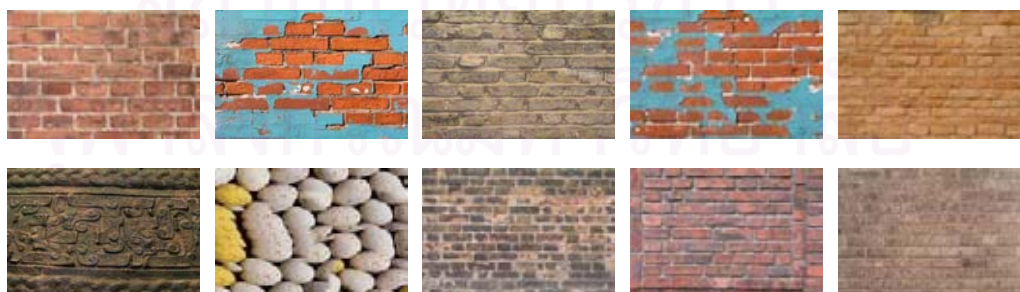
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.25 จะสังเกตเห็นว่าการใช้วิธีการกำหนดบริบทร่วมกับวิธีเวฟเล็ต ออโตคอรีโโลแกรมมีประสิทธิภาพการค้นคืนภาพมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่า ANMRR เฉลี่ยต่ำที่สุด (ด้วยการเปรียบเทียบระยะทางแบบ D_1) นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีนี้สามารถค้นคืนภาพในหลายๆ กลุ่มได้ดี ซึ่งจะทำให้สามารถขยายการรองรับชนิดและขนาดของข้อมูลภาพ รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น

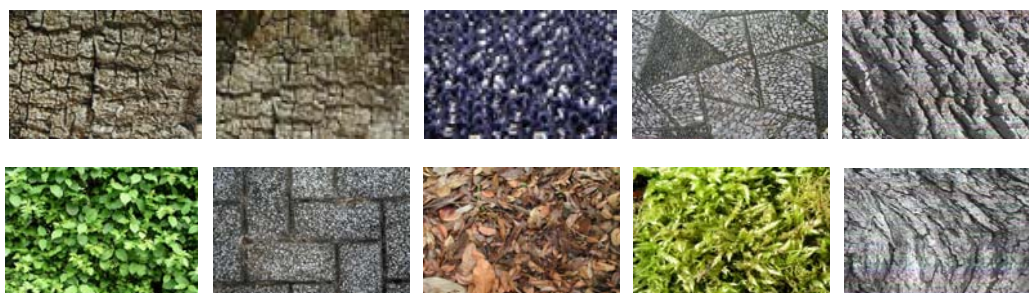
เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธี ร่วมกัน จากตารางที่ 4.23 พบว่าการจับคู่กันโดยส่วนใหญ่ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพดีกว่าที่จะใช้แต่ละวิธีแยกกัน แต่ในบางกรณีการรวมลักษณะเฉพาะก็ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนด้อยกว่าวิธีใดวิธีหนึ่งที่น่ามาจับคู่กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะร่วมกัน จะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน และยังสามารถรองรับการค้นคืนภาพที่มีความหลากหลายขึ้นอีกด้วย

การทดลองแบบที่ 4.10.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern)

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจำแนกชนิดภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ อาทิเช่น ภาพพื้นลายอิฐบล็อก ภาพลายไม้ ภาพลายซีเมนต์ ภาพลายผ้า และภาพลายผ้าแถบแนวขวาง เป็นต้น ดังรูปที่ 4.30 โดยที่ภาพมูมบน ซ้ายสุด คือ ภาพสออบถาม และกำหนดให้ใช้วิธีที่น่าเสนอ (การกำหนดบริบท) ร่วมกับเวฟเล็ตออโตคอรีโโลแกรม ด้วยการเปรียบเทียบเวกเตอร์แบบ D_1 เนื่องจากให้ประสิทธิภาพค้นคืนดีที่สุด (ตารางที่ 4.33)



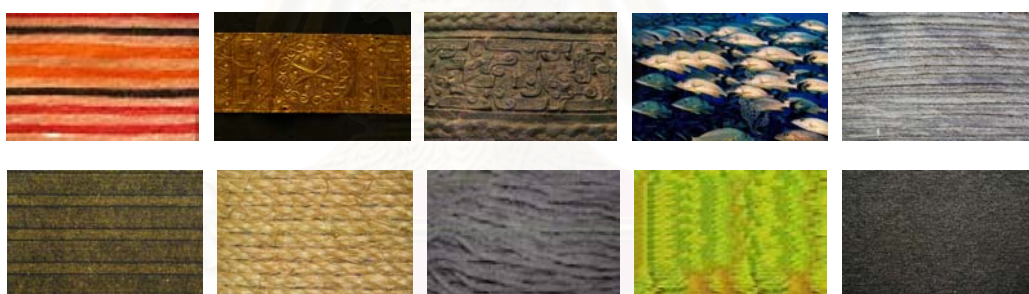
(ก)



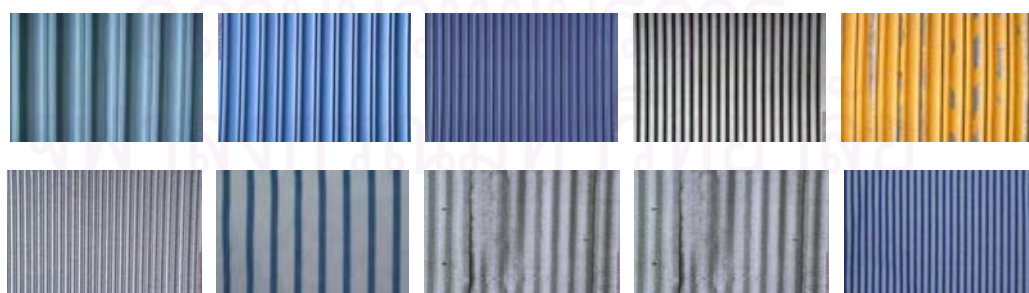
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.30 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (ก) แบบผิวที่ 1 (ข) แบบผิวที่ 2
(ค) แบบผิวที่ 3 (ง) แบบผิวที่ 4 (จ) แบบผิวที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 4.10.2

ในกรณีนี้ได้ทำการทดสอบการค้นคืนภาพพื้นผิว จากผลการทดลองพบว่าวิธีการจับคู่กันระหว่างการกำหนดบริบทและเวฟเล็ตอโคอร์รีโลแกรม ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด ให้ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวเชิงทิศทางด้วยประสิทธิภาพลง ดังแสดงในรูปที่ 4.30 (ง) เมื่อเทียบกับการใช้วิธีกำหนดบริบทเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเวฟเล็ตอโคอร์รีโลแกรมถึงความสำคัญของการค้นคืนภาพพื้นผิวของการกำหนดบริบทให้ต่ำลง จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายแบบมีทิศทางด้วยประสิทธิภาพลงตามไปด้วย

4.11 การทดลองที่ 11 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางด้วยวิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสสำคัญของ JPEG2000

การทดลองที่ 11 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการค้นคืนภาพแบบมีทิศทางด้วยวิธีการกำหนดบริบทซึ่งภาพที่ใช้ทดลองประกอบไปด้วยภาพ ในทิศทางตามแนวแกนนอน, แนวแกนตั้ง, และแนวทแยงมุม

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพพื้นผิวด้วยการกำหนดบริบท เพื่อวิเคราะห์การค้นหาทิศทางของข้อมูลภาพพื้นผิว ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ว่ามีความแตกต่างไปจากเทคนิคอื่นๆ อย่างไร ทำให้ไม่ถึงให้ประสิทธิภาพที่ดีในการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทาง

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ (กำหนดขนาดบล็อก 8x8 จุดภาพ) โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ เวฟเล็ตอโคอร์รีโลแกรม (โดยกำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$) และวิธีการกำหนดบริบท (กำหนดขนาดบล็อก 4x4 จุดภาพ)
- ในการทดลองอาศัยภาพฐานข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดด้วยมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบีบอัดให้มีค่า Rate เป็น 1.0 และระดับการแปลงเวฟเล็ตเป็น 3
- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะแบบ ระยะทาง L_1 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1

- จำนวนฐานข้อมูลภาพพื้นผิวที่ใช้เท่ากับ 445 ภาพ (เพิ่มภาพพื้นผิวลายแนวทแยง) ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มภาพพื้นผิวหลายประเภทคละกัน ซึ่งในฐานข้อมูลจะมีภาพพื้นผิวในแนวแกนต่างๆ ด้วย อาทิเช่น ภาพพื้นผิวลายแนวขวาง, ภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง, และภาพพื้นผิวลายแนวทแยง เป็นต้น โดยภาพที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 384x256 จุดภาพ

ผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1) วิเคราะห์ข้อมูลเวฟเล็ตหลังจากผ่านการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่

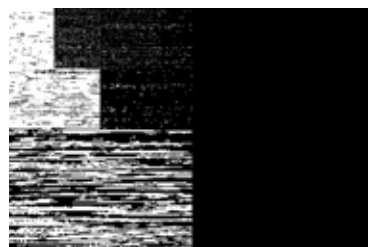
ขั้นตอนของวิธีการกำหนดบริบท เริ่มต้นทำการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่เพื่อกำหนดบล็อกข้อมูลสำคัญ เพื่อที่จะทำการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยบริบท และมีรูปแบบการจัดกลุ่มบล็อกข้อมูลเป็นไปตามตารางที่ 3.1 ประกอบไปด้วยทั้ง 9 บริบทที่มีความสัมพันธ์ในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยอ้างอิงมาจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญในมาตรฐาน JPEG2000 โดยที่ความสัมพันธ์ของแต่ละบริบทได้มาจากการทดลองใน [1] ซึ่งบริบทที่ได้นั้น จะใช้สำหรับคำนวณหาความน่าจะเป็นในการเข้ารหัสเลขคณิต สำหรับในรูปที่ 4.31 คือตัวอย่างภาพพื้นผิวในฐานข้อมูล และรูปที่ 4.32 ถึง รูปที่ 4.34 คือ ตัวอย่างภาพเวฟเล็ตของภาพพื้นผิวที่ผ่านการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างฐานข้อมูลภาพพื้นผิว



(ก)

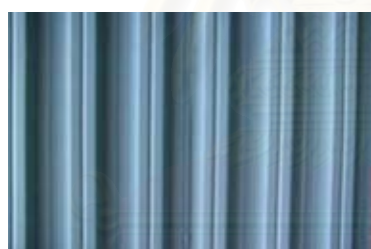


(ข)



(ค)

รูปที่ 4.32 ตัวอย่างภาพพื้นผิวลายแนวขวางหลังผ่านการทำแผนทีกริดแบบเฉพาะที่
(ก) ภาพพื้นผิวลายขวาง (ข) ข้อมูลเวฟเล็ตของภาพ (ค) ข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนทีกริด



(ก)



(ข)

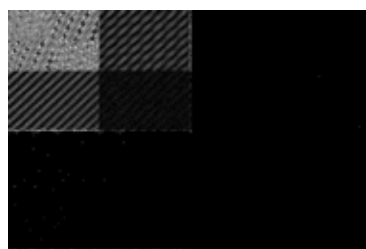


(ค)

รูปที่ 4.33 ตัวอย่างภาพพื้นผิวลายแนวตั้งหลังผ่านการทำแผนทีกริดแบบเฉพาะที่
(ก) ภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง (ข) ข้อมูลเวฟเล็ตของภาพ (ค) ข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนทีกริด



(ก)



(ข)



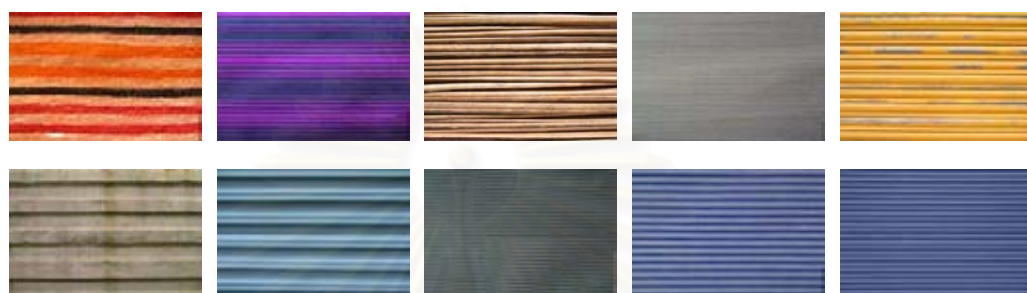
(ค)

รูปที่ 4.34 ตัวอย่างภาพพื้นผิวลายแนวทแยงหลังผ่านการทำแผนทีกริตแบบเฉพาะที่
(ก) ภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง (ข) ข้อมูลเวฟเล็ตของภาพ (ค) ข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนทีกริต

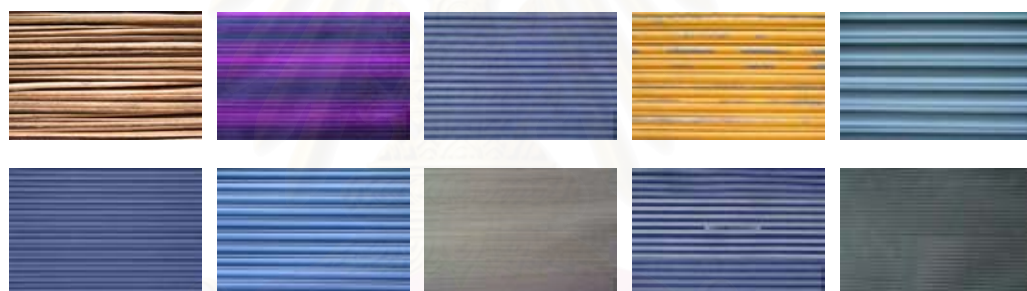
ในกรณีนี้ได้ทำการแสดงผลข้อมูลเวฟเล็ตหลังผ่านการทำแผนทีกริตแบบเฉพาะที่จากรูปที่ 4.32 ถึง 4.34 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตกับภาพพื้นผิวในแนวแกนต่างๆ แสดงให้เห็นถึงการจำแนกข้อมูลความถี่ของแต่ละแถบย่อย จากรูปที่ 4.32 ซึ่งเป็นภาพพื้นผิวลายแนวขวาง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลความถี่ในแนวตั้ง ดังนั้นผลลัพธ์ข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ในแถบย่อย LH ซึ่งเป็นแถบย่อยของความถี่ในแนวตั้งจากรูปที่ 4.33 ซึ่งเป็นภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลความถี่ในแนวนอน ดังนั้นผลลัพธ์ข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเวฟเล็ตส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ในแถบย่อย HL ซึ่งเป็นแถบย่อยของความถี่ในแนวนอน และสำหรับรูปที่ 4.34 ซึ่งเป็นภาพพื้นผิวลายแนวทแยง ข้อมูลความถี่ที่ได้จะปรากฏให้เห็นอยู่ในทุกแถบย่อย หลังจากทีผ่านการทำแผนทีกริตแบบเฉพาะที่ ข้อมูลเวฟเล็ตบางส่วนที่ได้จะหายไป คงเหลือไว้แต่ข้อมูลที่สำคัญๆ สำหรับนำไปใช้ในการสร้างดัชนีการค้นคืนภาพด้วยวิธีการกำหนดบริบท

2) วิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวภาพด้วยการกำหนดบริบท

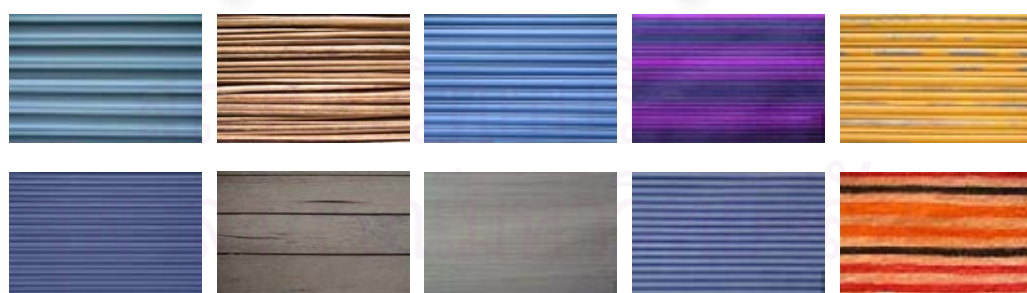
ผลการค้นคืนภาพพื้นผิวด้วยวิธีการกำหนดบริบทเรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากไปน้อย จากซ้ายไปขวา และจากแถวบนลงล่าง แสดงดังรูปที่ 4.35 ถึงรูปที่ 4.37 โดยภาพที่อยู่แถวบนและซ้ายมือสุด คือ ภาพสอบถาม



(ก)



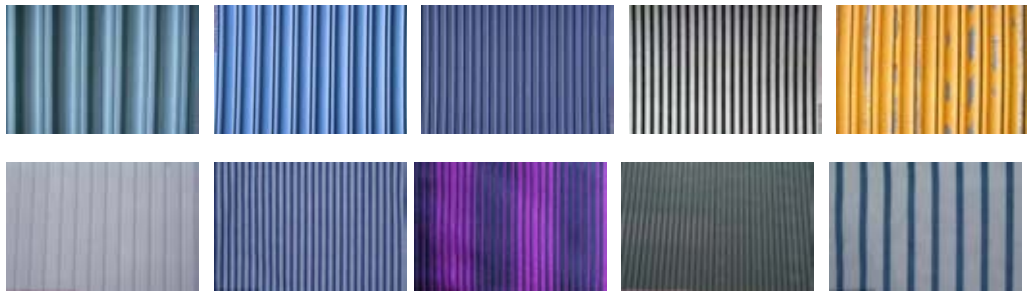
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.35 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวลายขวาง (ก) แบบผิวที่ 1

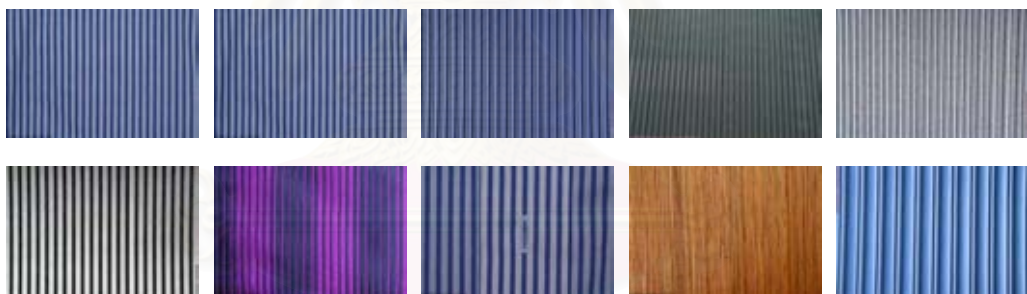
(ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3



(ก)

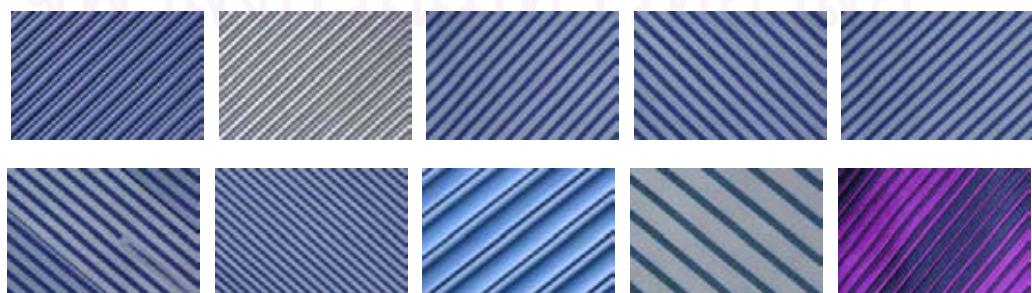


(ข)

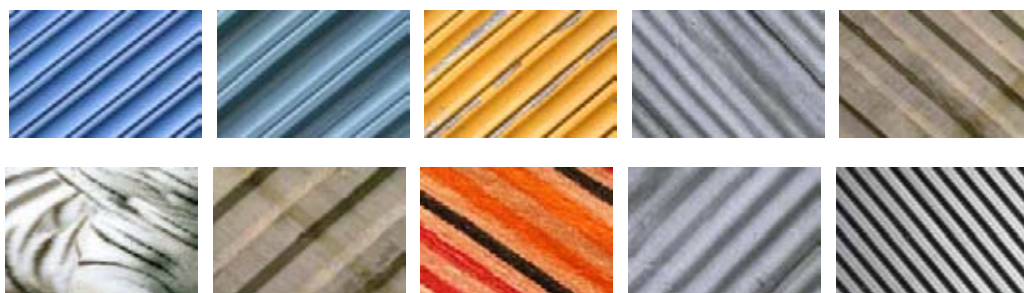


(ค)

รูปที่ 4.36 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวลายแนวตั้ง (ก) แบบผิวที่ 1
(ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.37 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวลายแนวทแยง (ก) แบบผิวที่ 1

(ข) แบบผิวที่ 2 (ค) แบบผิวที่ 3

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.35 ถึง 4.37 วิธีการกำหนดบริบทเป็นเครื่องมือที่ให้ประสิทธิภาพในการสร้างรูปแบบที่ใช้แทนข้อมูลทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตได้ดี เพื่อที่จะอธิบายถึงความแตกต่างของวิธีการกำหนดบริบทกับเทคนิควิธีอื่นๆ ที่ได้นำเสนอนั้น จะยกตัวอย่างในรูปที่ 4.35 (ก), รูปที่ 4.36 (ก) และรูปที่ 4.37 (ก) ในการนำมาเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่าง และภาพในรูปที่ 4.35 (ก) และรูปที่ 4.36 (ก) ก็เป็นรูปที่ใช้ในการทดลองการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางสำหรับแต่ละเทคนิควิธีอยู่แล้ว ในการทดลองจะทำการวิเคราะห์อันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับภาพที่ถูกค้นคืนโดยวิธีการกำหนดบริบท ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ เพื่อที่แสดงให้เห็นว่าผลการค้นคืนภาพเดียวกันกับภาพที่ถูกค้นคืนได้โดยวิธีการกำหนดบริบทมีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด สำหรับตารางที่ 4.26 แสดงให้เห็นถึงอันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับในรูปที่ 4.35 (ก) ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ ตารางที่ 4.27 แสดงให้เห็นถึงอันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับในรูปที่ 4.36 (ก) ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ และสำหรับตารางที่ 4.28 แสดงให้เห็นถึงอันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับในรูปที่ 4.37 (ก) ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ (ไม่นับภาพแรกที่เป็นภาพสอบถาม)

ตารางที่ 4.26 อันดับการค้นคืนภาพลายขวาง

เทคนิควิธี	อันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับภาพที่ค้นคืนได้ด้วยวิธีการกำหนดบริบท									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
พลังงาน	250 th	301 st	277 th	298 th	338 th	319 th	307 th	102 nd	410 th	
ความแปรปรวน	346 th	371 st	352 nd	210 th	294 th	312 th	362 nd	297 th	423 rd	
แผนที่กริดเฉพาะที่	22 nd	13 th	27 th	35 th	34 th	99 th	178 th	3 rd	79 th	
โมเมนต์	6 th	11 th	8 th	23 rd	4 th	7 th	28 th	17 th	22 nd	
ฮิสโตแกรม	52 nd	42 nd	32 nd	24 th	22 nd	44 th	23 rd	2 nd	36 th	
เวฟเล็ตออกโตคอร์.	410 th	393 rd	420 th	421 st	339 th	438 th	424 th	408 th	434 th	

ตารางที่ 4.27 อันดับการค้นคืนภาพลายแนวตั้ง

เทคนิควิธี	อันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับภาพที่ค้นคืนได้ด้วยวิธีการกำหนดบริบท									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
พลังงาน	3 rd	2 nd	142 nd	192 nd	93 rd	42 nd	61 st	9 th	26 th	
ความแปรปรวน	4 th	3 rd	55 th	224 th	314 th	7 th	9 th	6 th	5 th	
แผนที่กริดเฉพาะที่	2 nd	3 rd	4 th	8 th	169 th	6 th	5 th	21 st	26 th	
โมเมนต์	18 th	7 th	8 th	2 nd	40 th	23 rd	24 th	16 th	12 th	
ฮิสโตแกรม	68 th	377 th	282 nd	219 th	387 th	139 th	135 th	193 rd	146 th	
เวฟเล็ตออกโตคอร์.	3 rd	2 nd	4 th	6 th	17 th	12 th	13 th	20 th	7 th	

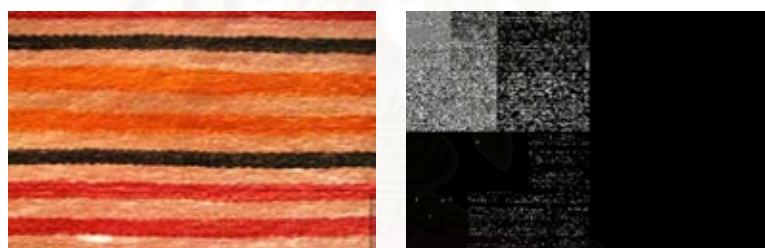
ตารางที่ 4.28 อันดับการค้นคืนภาพลายแนวแยง

เทคนิควิธี	อันดับที่ค้นคืนได้ของภาพเดียวกันกับภาพที่ค้นคืนได้ด้วยวิธีการกำหนดบริบท									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
พลังงาน	4 th	7 th	11 th	5 th	12 th	14 th	15 th	16 th	9 th	
ความแปรปรวน	41 st	150 th	145 th	155 th	96 th	12 th	296 th	346 th	61 st	
แผนที่กริดเฉพาะที่	4 th	5 th	2 nd	8 th	7 th	3 rd	9 th	11 th	23 rd	
โมเมนต์	3 rd	229 th	380 th	301 st	247 th	153 rd	404 th	412 th	306 th	
ฮิสโตแกรม	3 rd	28 th	16 th	38 th	5 th	14 th	32 nd	7 th	36 th	
เวฟเล็ตออกโตคอร์.	7 th	13 th	5 th	12 th	11 th	165 th	39 th	9 th	29 th	

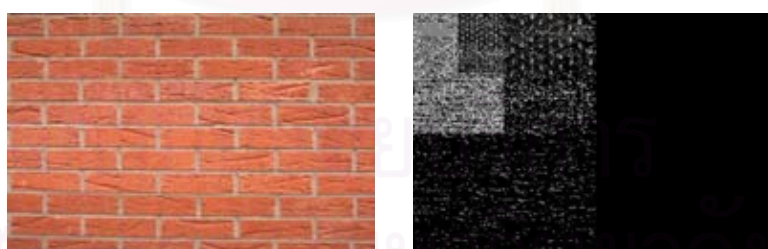
จากผลการทดลองในตารางที่ 4.26 ถึง 4.28 แสดงให้เห็นว่าเทคนิควิธีเหล่านี้ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายไม่ดีไปกว่าทุกภาพพื้นผิวในทิศทางต่างๆ บางวิธีให้ประสิทธิภาพดีกับภาพลายแนวขวาง บางวิธีให้ประสิทธิภาพที่ดีกับภาพลายแนวตั้ง ยกตัวอย่างภาพพื้นผิวที่ถูกค้นคืนด้วยวิธีโมเมนต์ จะเห็นได้ว่าภาพพื้นผิวลายแนวตั้ง ลายแนวขวาง ให้

ประสิทธิภาพการค้นคืนเป้าหมายดี แต่จะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนกรณีภาพลายแนวทแยงจะเห็นว่าอันดับที่ค้นคืนได้มีความแตกต่างมากเมื่อเทียบกับภาพพื้นผิวลายแนวนอน และแนวตั้ง สำหรับภาพพื้นผิวที่ถูกค้นคืนด้วยการหาค่าพลังงาน จากตารางที่ 4.26 จะเห็นได้ชัดว่าให้ความผิดพลาดในการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีลายแนวขวางอยู่มาก (ดูได้จากตัวอย่างในรูปที่ 4.2 (ง)) ภาพในลายแนวตั้งก็ให้ผลการค้นคืนที่ผิดพลาดอยู่บ้าง แต่จากตารางที่ 4.28 ซึ่งเป็นภาพลายแนวทแยงให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีกว่าภาพพื้นผิวในแบบอื่นๆ

ในการทดลองต่อไปจะยกตัวอย่างภาพพื้นผิวที่ถูกค้นคืนด้วยค่าพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ง) โดยที่ภาพสอบถามคือภาพพื้นผิวลายแนวขวาง และภาพพื้นผิวที่ถูกค้นคืนได้เป็นอันดับที่ 2 คือ ภาพลายอิฐบล็อก โดยจะนำมาเปรียบเทียบกับการค้นหาพื้นผิวด้วยวิธีการกำหนดบริบท ว่าภาพลายอิฐบล็อกที่ถูกค้นคืนได้ด้วยค่าพลังงานนั้น อันดับจะแตกต่างไปจากวิธีการกำหนดบริบทอย่างไร ในรูปที่ 4.38 แสดงให้เห็นข้อมูลเวฟเล็ตของภาพสอบถามกับภาพที่ถูกค้นคืนได้อันดับที่ 2 ในรูปที่ 4.2 (ง) ของวิธีการหาค่าพลังงาน



(ก)



(ข)

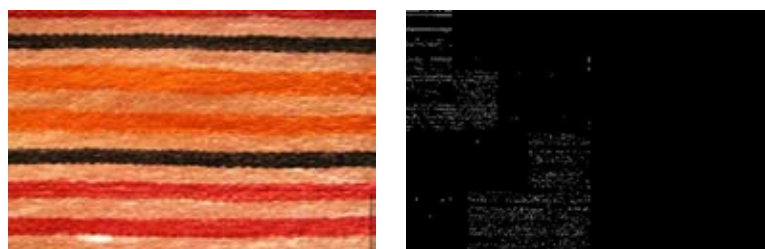
รูปที่ 4.38 ตัวอย่างข้อมูลเวฟเล็ตของภาพพื้นผิวลายแนวขวางที่ค้นคืนได้
(ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพที่ค้นคืนได้อันดับ 2

จากรูปที่ 4.38 ค่าพลังงานของแต่ละแถบย่อยของภาพที่ 4.38 (ก) และ 4.38 (ข) แสดงอยู่ในตารางที่ 4.29 ซึ่งจะแสดงให้เห็นค่าพลังงานของทุกแถบย่อย ยกเว้นแถบย่อย LL

ตารางที่ 4.29 ค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อย

แถบย่อยที่	ค่าพลังงาน	
	รูปที่ 4.38 (ก)	รูปที่ 4.38 (ข)
HL_1	265236	396146
LH_1	3583334	2170856
HH_1	534792	169629
HL_2	299559	373408
LH_2	4590497	4899721
HH_2	627933	488022
HL_3	0	0
LH_3	7260768	10629819
HH_3	0	0

จากตารางที่ 4.29 แสดงให้เห็นถึงค่าพลังงาน ซึ่งค่าพลังงานในแต่ละแถบย่อยมีความใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายผิดพลาด กลับกันกรณีถ้าใช้วิธีการค้นคืนภาพด้วยวิธีการกำหนดบริบท พบว่า ภาพอิฐบล็อกในรูปที่ 4.38 (ข) นั้นให้อันดับการค้นคืนอยู่ที่ 174th ซึ่งเป็นอันดับที่ค้นคืนได้แตกต่างไปจากวิธีการหาค่าพลังงานอยู่มาก ทั้งนี้เป็นเพราะในขั้นตอนวิธีการกำหนดบริบทนั้น อาศัยการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ในการกำหนดบล็อกข้อมูลสำคัญ ซึ่งจะช่วยลดทอนข้อมูลสัญญาณรบกวนออกไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.39 จึงทำให้การจำแนกทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตนั้น ทำได้ดีกว่าเดิม ส่งผลให้การค้นคืนภาพเป้าหมายแบบมีทิศทางมีความถูกต้องมากขึ้น จากกรณีดังกล่าวแสดงว่าการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่นั้นให้ประสิทธิภาพดีในการจำแนกข้อมูลทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต แต่ทว่าทำไมการค้นคืนภาพพื้นผิวในแนวลายขวางในรูปที่ 4.9 (ง) (รูปเดียวกันกับรูปที่ 4.38 (ก)) ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายไม่อยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมด แต่วิธีการกำหนดบริบทให้ผลการค้นคืนที่ถูกต้องมากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะในขั้นตอนของการสร้างเวกเตอร์นั้นวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ทำการพิจารณาจากข้อมูลเวฟเล็ตโดยตรง โดยทำการนับจำนวนข้อมูลเวฟเล็ตที่เป็นข้อมูลสำคัญ แต่การกำหนดบริบทนั้นไม่ได้พิจารณาจากข้อมูลเวฟเล็ตโดยตรง เพียงแต่อาศัยข้อมูลเวฟเล็ตในการบ่งบอกว่าบล็อกข้อมูลไหนสำคัญ จากนั้นจึงนำมากำหนดบริบทให้กับบล็อกนั้น โดยอาศัยตารางที่ 3.1 ในการกำหนดความสัมพันธ์ จึงทำให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ได้แตกต่างกัน จากรูปที่ 4.9 (ง) ภาพพื้นผิวที่ถูกค้นคืนได้เป็นอันดับที่ 2 คือ ภาพลายอิฐบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 4.40 และภาพที่ค้นคืนได้เป็นอันดับ 1 ก็คือภาพเดียวกันกับภาพสอบถาม ในรูปที่ 4.39 (ก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.39 ผลลัพธ์ของข้อมูลเวฟเล็ตหลังจากการสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่

(ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพที่ถูกค้นคืน



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.40 ภาพที่ถูกค้นคืนได้อันดับที่ 2 ของการค้นคืนด้วยวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่

(ก) ภาพที่ถูกค้นคืน (ข) ภาพเวฟเล็ตหลังจากการทำแผนที่กริดแบบเฉพาะที่

จากรูปที่ 4.39 (ก) และ รูปที่ 4.40 ข้อมูลเวกเตอร์พื้นผิวด้วยวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ของแต่ละแถบย่อยแสดงอยู่ในตารางที่ 4.30 ดังนี้

ตารางที่ 4.30 ข้อมูลเวกเตอร์ในแต่ละแถบย่อย

แถบย่อยที่	เวกเตอร์พื้นผิว	
	รูปที่ 4.39 (ก)	รูปที่ 4.40
LL	0.0897	0.1081
HL ₁	0.0000	0.0212
LH ₁	0.0540	0.0468
HH ₁	0.0004	0.0000
HL ₂	0.0082	0.0514
LH ₂	0.2855	0.2469
HH ₂	0.0054	0.0058
HL ₃	0.0000	0.0000
LH ₃	0.5565	0.5194
HH ₃	0.0000	0.0000

จากตารางที่ 4.30 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลที่ได้จากวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ซึ่งให้ค่าข้อมูลเวกเตอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นเพราะ จากสมการที่ (2.56) ขั้นตอนในการสร้างเวกเตอร์พื้นผิวสำหรับการคั่นคุณภาพ อาศัยข้อมูลจำนวนค่าสัมประสิทธิ์น้อยสำคัญ ในทุกๆ แถบย่อยมาวิเคราะห์ร่วมกัน ทำให้เกิดความไม่อิสระต่อกันของข้อมูลในแต่ละแถบย่อย จึงส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการคั่นคุณภาพเป้าหมาย กลับกันกรณีใช้วิธีการกำหนด พบว่า ภาพอิฐบล็อกในรูปที่ 4.40 นั้นให้อันดับการคั่นคุณภาพที่ลำดับ 51st ซึ่งอันดับคั่นคุณภาพได้แตกต่างไปจากวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการกำหนดบริบทเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ดได้ ทั้งนี้เป็นเพราะวิธีการกำหนดบริบทเป็นวิธีที่ทำการจัดกลุ่มของข้อมูลสำคัญโดยอาศัยการจัดรูปแบบในแต่ละบริบท ซึ่งมีรูปแบบการพิจารณาอยู่ในตารางที่ 3.1 ซึ่งกระทำการจัดรูปแบบอย่างอิสระต่อกันในแต่ละแถบย่อย ด้วยข้อสมมติที่ว่าภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกันควรมีรูปแบบกลุ่มข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน และจากการทดลองในข้างต้น ก็เป็นสิ่งที่ยืนยันได้ว่าการกำหนดบริบทให้ประสิทธิภาพการคั่นคุณภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางดีกว่าเทคนิควิธีอื่นๆ

4.12 สรุปการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงการทดลองคั่นคุณภาพโดยใช้เทคนิคต่างๆ รวมทั้งเทคนิคที่น่าเสนอ (การกำหนดบริบท) โดยการทดลองที่ 1 ถึง 7 เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความถูกต้องในการคั่นคุณภาพของเทคนิคการคั่นคุณภาพในแต่ละวิธี ซึ่งเป็นสิ่งที่คำนึงถึงและให้

ความสำคัญเป็นอันดับแรกในการทดลอง ในบางเทคนิคได้มีการทดลองปรับพารามิเตอร์เพื่อความเหมาะสมที่สุด ที่จะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้ทำการทดลองการค้นคืนภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ รวมทั้งภาพพื้นผิวแบบมีทิศทาง เพื่อที่จะทดสอบความสามารถของแต่ละวิธีว่ามีคุณสมบัติเป็นอย่างไรกับการค้นคืนภาพพื้นผิวในแบบต่างๆ สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ โดยในการทดลองจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละวิธีเช่นเดียวกับค่าที่ใช้ในงานวิจัยโดยส่วนใหญ่ จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพในแต่ละกลุ่มไม่เหมือนกัน ซึ่งจะแตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกๆ กลุ่มภาพที่แต่ละวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ พบว่าเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การกำหนดบริบทที่การเปรียบเทียบระยะแบบ D_1 อีกทั้งยังใช้เป็นเครื่องมือในการอธิบายทิศทางของข้อมูลจากการแปลงเวฟเล็ตได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ ดูได้จากการทดลองที่ 4.7.2 และ 4.12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการกำหนดบริบทนอกจากจะให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุดแล้ว ยังมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลทิศทางที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต

สำหรับการค้นคืนภาพพื้นผิวโดยอาศัยวิธีเวฟเล็ตออกโตคอรีโวลแกรมร่วมกับวิธีการกำหนดบริบท พบว่าความสามารถในการค้นคืนภาพพื้นผิวแบบมีทิศทางด้วยประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้วิธีการกำหนดบริบทเพียงวิธีเดียว ในวิทยานิพนธ์นี้จะให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพเชิงความถูกต้องเป็นหลัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้วิธีร่วมกันระหว่างเวฟเล็ตออกโตคอรีโวลแกรมและการกำหนดบริบทให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีที่สุด สามารถรองรับกลุ่มข้อมูลได้หลากหลายกว่าวิธีอื่น แม้ว่าสมรรถนะในการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ การค้นหาทิศทางข้อมูลลดทอนลงไปบ้างเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีเวฟเล็ตออกโตคอรีโวลแกรม และการกำหนดบริบทแยกกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองกรณีภาพมีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง การทดลองค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ เช่น กรณีที่ภาพมีการปรับความส่องสว่าง กรณีที่ภาพมีการปรับความเปรียบต่าง กรณีที่ภาพมีการเปลี่ยนไปของพื้นหลัง ภาพมีการสเกล ภาพมีการหมุน และภาพที่มีการเลือน ด้วยเทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะต่างๆ โดยอาศัยลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพซึ่งก็คือ พื้นผิว โดยที่พื้นผิวของภาพได้มาจากการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งได้มาโดยตรงจากบีพีเฟอริในโดเมนบีบอัดของภาพแบบ JPEG2000 เทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะต่างๆ ประกอบด้วย การหาค่าพลังงาน, การหาค่าความแปรปรวน, การสร้างแผนที่กริดแบบเฉพาะที่, การหาค่าโมเมนต์, ฮิสโตแกรมจากแผนที่นี้ที่สำคัญ, เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม และเทคนิคที่นำเสนอ (การหาฉลากบริบท) โดยใช้การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 4 วิธี คือ ระยะทาง L_1 , ระยะทาง L_2 , ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ในเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพของแต่ละวิธีว่ามีความทนทานต่อการค้นคืนภาพเป้าหมาย ในกรณีที่ภาพมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างไร และทำการทดสอบการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยวิธีการรวมลักษณะเฉพาะในแต่ละแบบอีกด้วย แต่ละการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย (Target Image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ เป็นภาพสอบถาม

การทดลองที่ 1 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ด้วยการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของแต่ละเทคนิควิธีที่ได้นำเสนอ โดยแต่ละเทคนิคนี้มีคุณสมบัติในการค้นคืนที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ ของเทคนิคการหา ค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โมเมนต์จากแผนที่นี้ที่สำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่นี้ที่สำคัญ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม และการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสที่สำคัญของ JPEG2000

ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะเวลาทาง L_1 ระยะเวลาทาง L_2 ระยะเวลาทาง D_1 และระยะเวลาทาง S_1

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

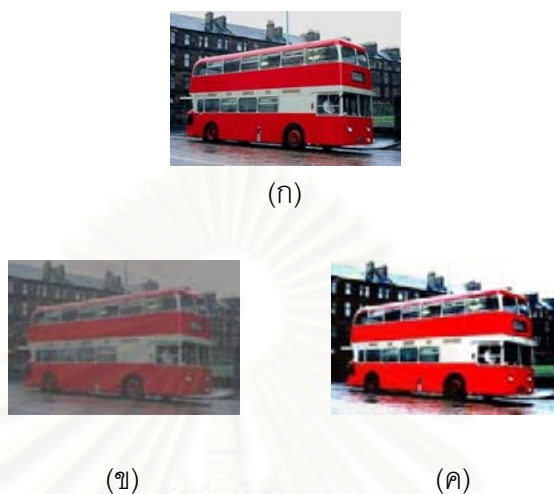
- เทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ (กำหนดขนาดบล็อก 8×8 จุดภาพ) โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม (โดยกำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ $k = \{1, 2, 3, 4, 5\}$) และการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสนัยสำคัญของ JPEG2000 (กำหนดขนาดบล็อก 4×4 จุดภาพ)
- ในการทดลองอาศัยภาพฐานข้อมูลที่ผ่านการบีบอัดด้วยมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบีบอัดให้มีค่า Rate เป็น 1.0 และระดับการแปลงเวฟเล็ตเป็น 3
- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 4 วิธี คือ ระยะเวลาทาง L_1 ระยะเวลาทาง L_2 ระยะเวลาทาง D_1 และระยะเวลาทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลที่ใช้เท่ากับ 1000 ภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยกลุ่มภาพหลายประเภท คละกัน ซึ่งแบ่งออกเป็น 10 กลุ่มๆ ละ 100 ภาพ คือ ภาพท้องฟ้า ภาพวิวทะเล ภาพตึก สถาปัตยกรรมยุโรป ภาพรถบัส ภาพไดโนเสาร์ ภาพเสือ ภาพกุหลาบ ภาพม้า ภาพภูเขา หิมะ และภาพอาหารนานาชาติ สำหรับภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ อาศัยภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูล และภาพอื่นๆ ที่ได้จากกล้องถ่ายรูป และภาพจากวิดีโอ โดยนำไปคละกับภาพในฐานข้อมูล และภาพที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 384×256 จุดภาพ

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

การทดลองแบบที่ 5.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย (Target Image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีความเปรียบต่าง (Contrast) ของภาพแตกต่างกัน 2 ภาพ เป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับความเปรียบต่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความเปรียบต่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพ

สอบถามที่สองมีความเปรียบต่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีความเปรียบต่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ภาพที่มีความเปรียบต่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย
(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2

ตารางที่ 5.1 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความเปรียบต่าง

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้							
	ภาพสอบถามที่มีความเปรียบต่างต่ำ				ภาพสอบถามที่มีความเปรียบต่างสูง			
	L_1	L_2	D_1	S_1	L_1	L_2	D_1	S_1
พลังงาน	756 th	667 th	806 th	810 th	998 th	998 th	601 st	663 rd
ค่าความแปรปรวน	887 th	876 th	862 nd	877 th	999 th	940 th	662 nd	710 th
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	9 th	9 th	12 th	63 rd	2 nd	3 rd	2 nd	3 rd
โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ	922 nd	932 nd	385 th	622 nd	2 nd	11 th	1 st	6 th
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ	87 th	62 nd	763 rd	153 rd	779 th	824 th	97 th	299 th
เวฟเล็ตออกโตคอรรีโโลแกรม	652 nd	308 th	679 th	490 th	1 st	31 st	2 nd	57 th
การกำหนดบริบท	46 th	74 th	40 th	35 th	2 nd	3 rd	1 st	2 nd

การทดลองแบบที่ 5.1.2 ใช้ภาพเป้าหมายที่มีความส่องสว่าง (Brightness) ของภาพแตกต่างกัน 2 ภาพเป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับความส่องสว่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความส่องสว่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความส่องสว่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีความส่องสว่าง ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ภาพที่มีความส่องสว่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2

ตารางที่ 5.2 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความส่องสว่าง

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้							
	ภาพสอบถามที่มีความส่องสว่างต่ำ				ภาพสอบถามที่มีความส่องสว่างสูง			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
พลังงาน	6 th	3 rd	9 th	13 th	1 st	1 st	1 st	1 st
ค่าความแปรปรวน	142 nd	382 nd	25 th	39 th	2 nd	2 nd	1 st	2 nd
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	20 th	16 th	20 th	58 th	4 th	3 rd	2 nd	2 nd
โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ	62 nd	168 th	2 nd	30 th	496 th	500 th	18 th	52 nd
ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ	499 th	618 th	476 th	336 th	533 rd	653 rd	486 th	236 th
เวฟเล็ตออกโตคอร์วีโลแกรม	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st
การกำหนดบริบท	69 th	201 st	33 rd	18 th	3 rd	6 th	2 nd	2 nd

การทดลองแบบที่ 5.1.3 ใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (background) ของภาพเป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงพื้นหลังของภาพเป้าหมายเพื่อใช้เป็นภาพสอบถาม โดยนำภาพเป้าหมายที่ต้องการไปคละกับภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง ดังรูปที่ 5.3



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.3 ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (ก) ภาพเป้าหมาย

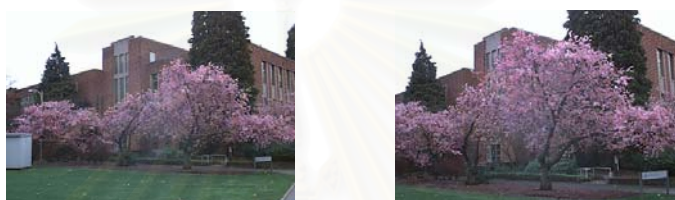
(ข) ภาพสอบถาม

ตารางที่ 5.3 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นหลัง			
	L_1	L_2	D_1	S_1
พลังงาน	308 th	340 th	558 th	543 rd
ค่าความแปรปรวน	80 th	91 st	190 th	139 th
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	580 th	565 th	577 th	553 rd
โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ	522 nd	644 th	28 th	205 th
ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ	344 th	250 th	457 th	315 th
เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม	325 th	232 nd	261 th	134 th
การกำหนดบริบท	73 rd	121 st	64 th	224 th

การทดลองแบบที่ 5.1.4 ใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของวัตถุในแบบต่างๆ เป็นภาพสอบถาม

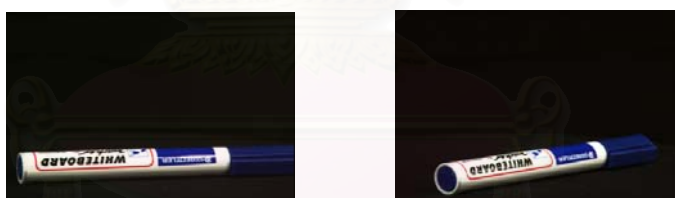
ในกรณีนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงวัตถุแบบต่างๆ ภายในภาพเป้าหมาย เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถาม และนำภาพเป้าหมายที่ต้องการไปคละกับภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของวัตถุในแบบต่างๆ ดังนี้ ภาพที่มีการสเกล (Scaling) การหมุนของวัตถุ (Rotation) และการเลื่อนของวัตถุ (Shifting) ดังรูปที่ 5.4 ถึงรูปที่ 5.6



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.4 ภาพที่มีการสเกล (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) ภาพสอบถาม



(ก)

(ข)

รูปที่ 5.5 ภาพที่มีการหมุนของวัตถุแบบไม่มีพื้นหลัง (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.6 ภาพที่มีการเลื่อนไปของวัตถุ (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม

ตารางที่ 5.4 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการสเกล

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการสเกล			
	L_1	L_2	D_1	S_1
พลังงาน	56 th	51 st	41 st	44 th
ค่าความแปรปรวน	18 th	19 th	45 th	50 th
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	343 rd	408 th	324 th	72 nd
โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ	21 st	13 th	103 rd	27 th
ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ	4 th	4 th	4 th	26 th
เวฟเล็ตฮอโตคอร์รีโลแกรม	13 th	106 th	18 th	34 th
การกำหนดบริบท	2 nd	4 th	2 nd	2 nd

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการหมุน

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการหมุน			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
พลังงาน	12 th	20 th	1 st	1 st
ค่าความแปรปรวน	1 st	2 nd	5 th	3 rd
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	19 th	25 th	14 th	6 th
โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ	1 st	2 nd	1 st	24 th
ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ	5 th	6 th	5 th	1 st
เวฟเล็ตฮอโตคอรัลไจแกรม	975 th	977 th	900 th	327 th
การกำหนดบริบท	1 st	1 st	1 st	1 st

ตารางที่ 5.6 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเลื่อน

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการเลื่อน			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
พลังงาน	1 st	1 st	1 st	1 st
ค่าความแปรปรวน	12 th	35 th	13 th	13 th
แผนที่กริดแบบเฉพาะที่	60 th	93 rd	53 rd	63 rd
โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ	40 th	74 th	12 th	33 rd
ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ	4 th	5 th	3 rd	5 th
เวฟเล็ตฮอโตคอรัลไจแกรม	1 st	1 st	1 st	1 st
การกำหนดบริบท	36 th	75 th	35 th	32 nd

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 1

เกณฑ์ในการตัดสินใจถึงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเป้าหมายคิดได้จากอันดับที่ค้นคืนได้ของภาพ ถ้าอันดับที่ค้นคืนได้อยู่ในช่วงอันดับที่ 1 ถึง 30 ถือได้ว่าเทคนิควิธีนั้นมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ สำหรับค่าอันดับที่ใช้ในการพิจารณาได้มาจากอันดับความเหมาะสมที่ใช้งานจริงในระบบค้นหาภาพ สำหรับการทดลองภาพที่มีการเปลี่ยนไปของความเปรียบต่าง และความส่องสว่างอาศัยภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพเป้าหมาย โดยทำการปรับที่

60 เปอร์เซนต์จากภาพเป้าหมาย สำหรับความเปรียบต่างเป็นความแตกต่างระหว่างสีและแสงของข้อมูลในภาพ ทำให้ส่งผลกระทบต่อข้อมูลพื้นผิวของภาพโดยตรง ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองในตารางที่ 5.1 สำหรับการหาค่าพลังงาน ซึ่งเป็นการหาผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ด และสำหรับค่าความแปรปรวนซึ่งเกี่ยวข้องกับการหาโมเมนต์ที่หนึ่ง และโมเมนต์ที่สอง เนื่องจากภาพที่มีความเปรียบต่างมีข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดแตกต่างไปจากภาพเป้าหมายอยู่มาก ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนด้วยการหาค่าพลังงานและค่าความแปรปรวนให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายที่ไม่ค่อยดีนัก สำหรับการแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ เป็นการคำนวณหาบล็อกที่มีข้อมูลสำคัญ ซึ่งได้มาจากการเข้ารหัสแผนที่นัยสำคัญ ถึงแม้ว่าข้อมูลพื้นผิวที่แตกต่างไปจากภาพเป้าหมายจะมีอยู่มาก แต่บล็อกข้อมูลสำคัญแตกต่างไปจากภาพเป้าหมายไม่มากนัก ทำให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายกับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างสูง อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ก็จะมีปัญหาอยู่บ้างกับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างต่ำ สำหรับวิธีการหาโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายกับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างค่าสูง อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ค่อนข้างจะมีปัญหากับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างต่ำ วิธีฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ ให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายไม่ดีเท่าที่ควร เพราะข้อมูลมีความแตกต่างระหว่างภาพเป้าหมายกับภาพสอบถาม วิธีเวฟเล็ดออโตคอรีโรโลแกรมอาศัยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละถึงเก็บค่าที่ระยะต่างๆ สำหรับภาพความเปรียบต่างต่ำ เนื่องจากมีข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดที่แตกต่างไปจากภาพเป้าหมายอยู่มาก อาจจะมีข้อมูลเพิ่มขึ้น หรือขาดหายไปจากภาพเป้าหมาย จึงส่งผลกระทบต่อวิธีเวฟเล็ดออโตคอรีโรโลแกรม ทำให้การค้นคืนภาพเป้าหมายได้ อันดีการค้นคืนที่ไม่ดีนัก แต่สำหรับภาพความเปรียบต่างสูงอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับเทคนิคที่นำเสนอ (การกำหนดบริบท) ให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายอยู่ในเกณฑ์ดี ทั้งนี้เป็นเพราะความสัมพันธ์ของบล็อกข้อมูลสำคัญที่เกิดขึ้นแตกต่างไปจากภาพเป้าหมายไม่มากนัก แต่ก็มีปัญหาอยู่บ้างกับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างต่ำ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาพที่มีการปรับความเปรียบต่าง ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเป้าหมาย สำหรับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างต่ำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเป้าหมายต่ำกว่าภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างสูง

สำหรับภาพที่มีการปรับความส่องสว่าง เป็นการปรับความสว่างและความมืดของภาพ ถ้ามีการปรับความส่องสว่างขึ้น จะทำให้สีของภาพสว่างขึ้น กลับกันถ้าปรับความส่องสว่างลงจะทำให้สีของภาพดูมืดลง จากการทดลองพบว่าภาพที่มีการปรับความสว่างส่งผลกระทบต่อข้อมูลพื้นผิวน้อยกว่าการปรับค่าความเปรียบต่าง ดูได้จากการค้นคืนภาพเป้าหมายด้วยการหาค่า

พลังงานและความแปรปรวน พบว่าให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายได้ดีกว่าภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างอยู่มาก และจากผลการทดลองในตารางที่ 5.2 พบว่าวิธีเวฟเล็ตออโตคอร์ริโลแกรมมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของความส่องสว่างภายในภาพมากที่สุด สำหรับวิธีแผนที่กริดแบบเฉพาะที่ และเทคนิคที่นำเสนอให้ประสิทธิภาพการค้นคืนอยู่ในเกณฑ์ดี จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าภาพที่มีการปรับความส่องสว่างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย สำหรับภาพที่มีการปรับความส่องสว่างต่ำ ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายต่ำกว่าภาพที่มีการปรับความส่องสว่างสูง

สำหรับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นหลัง จากผลการทดลองในตารางที่ 5.3 พบว่าภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นหลังมีผลกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพกับทุกเทคนิควิธี วิธีการหาค่าโมเมนต์ มีความทนทานต่อภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังมากกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือวิธีการกำหนดบริบท

สำหรับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่าง อาทิเช่น ภาพที่มีการสเกล การหมุน และเลื่อนไป ของวัตถุ จากผลการทดลองในตารางที่ 5.4 ถึง 5.6 พบว่าการเปลี่ยนไปในแต่ละแบบส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย ซึ่งแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายที่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าแต่ละเทคนิควิธีมีข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกัน และไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่ดีไปหมดทุกการทดลอง ซึ่งจากข้อสรุปทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางที่ 5.7 เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 5.7 ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายในแบบต่างๆ

Techniques	Contrast		Brightness		Background change	Scale	Rotate	shift
	Low	High	Low	High				
Energy	X	X	✓	✓	X	X	✓	✓
Variance	X	X	✓	✓	X	✓	✓	✓
Local. Grid Map	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	X
Moment	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Histogram	X	X	X	X	X	✓	✓	✓
Wavelet auto.	X	✓	✓	✓	X	✓	X	✓
Context labels	X	✓	✓	✓	X	✓	✓	X

5.2 การทดลองที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย (Target Image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนไปในแบบต่างๆ เป็นภาพสอบถาม ด้วยการรวมเทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะแบบต่างๆ

การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ด้วยการรวมลักษณะเฉพาะของแต่ละเทคนิควิธีที่ได้นำเสนอ โดยแต่ละเทคนิคนี้มีคุณสมบัติในการค้นคืนที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปแบบต่างๆ ของการรวมลักษณะเฉพาะด้วยการจับคู่กันของวิธี พลังงาน (E) กับ ความแปรปรวน (V), พลังงาน กับ แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ (L), พลังงาน กับ การกำหนดบริบท (C), พลังงาน กับ โมเมนต์ (M), พลังงาน กับ ฮิสโตแกรม (H), พลังงาน กับ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม (W), ความแปรปรวน กับ แผนทีกริดแบบเฉพาะที่, ความแปรปรวน กับ การกำหนดบริบท, ความแปรปรวน กับ โมเมนต์, ความแปรปรวน กับ ฮิสโตแกรม, ความแปรปรวน กับ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม, แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ กับ การกำหนดบริบท, แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ กับ โมเมนต์, แผนทีกริดแบบเฉพาะที่ กับ ฮิสโตแกรม, แผนทีกริดเฉพาะที่ กับ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม, การกำหนดบริบท กับ โมเมนต์, การกำหนดบริบท กับ ฮิสโตแกรม, การกำหนดบริบท กับ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม, โมเมนต์ กับ ฮิสโตแกรม, โมเมนต์ กับ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม และ ฮิสโตแกรม กับ เวฟเล็ตออกโตคอรรีโลแกรม ด้วยวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 4 วิธีคือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา L_2 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็นรายละเอียดต่างๆดังนี้

ผลการทดลองที่ 5.2.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย (Target Image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีความเปรียบต่าง (Contrast) ของภาพแตกต่างกัน 2 ภาพ เป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับความเปรียบต่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความเปรียบต่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความเปรียบต่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีความเปรียบต่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5.8 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความเปรียบต่าง

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้							
	ภาพสอบถามที่มีความเปรียบต่างต่ำ				ภาพสอบถามที่มีความเปรียบต่างสูง			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
E และ V	766 th	712 th	837 th	849 th	999 th	999 th	638 th	706 th
E และ L	756 th	664 th	788 th	578 th	999 th	999 th	515 th	183 rd
E และ C	748 th	659 th	503 rd	589 th	999 th	999 th	149 th	250 th
E และ M	921 st	928 th	658 th	797 th	997 th	922 nd	26 th	284 th
E และ H	753 rd	662 nd	719 th	644 th	999 th	999 th	638 th	546 th
E และ W	752 nd	665 th	629 th	746 th	999 th	999 th	120 th	339 th
V และ L	877 th	873 rd	831 st	652 nd	999 th	939 th	600 th	196 th
V และ C	823 rd	856 th	617 th	669 th	998 th	936 th	176 th	260 th
V และ M	931 st	942 nd	707 th	835 th	251 st	191 st	48 th	284 th
V และ H	865 th	864 th	779 th	732 nd	999 th	940 th	685 th	576 th
V และ W	397 th	308 th	442 nd	490 th	20 th	31 st	30 th	57 th
L และ C	37 th	39 th	34 th	54 th	1 st	1 st	1 st	1 st
L และ M	922 nd	932 nd	325 th	179 th	2 nd	11 th	1 st	1 st
L และ H	40 th	17 th	45 th	57 th	548 th	421 st	505 th	22 nd
L และ W	359 th	212 th	411 th	212 th	15 th	13 th	25 th	3 rd
C และ M	921 st	932 nd	141 st	180 th	2 nd	11 th	1 st	1 st
C และ H	41 st	44 th	33 rd	1 st	105 th	196 th	85 th	29 th
C และ W	222 nd	173 rd	255 th	233 rd	3 rd	8 th	4 th	4 th
M และ H	922 nd	932 nd	229 th	356 th	3 rd	11 th	4 th	32 nd
M และ W	921 st	932 nd	378 th	546 th	2 nd	11 th	1 st	13 th
H และ W	297 th	156 th	356 th	406 th	81 st	183 rd	81 st	107 th

การทดลองแบบที่ 5.2.2 ใช้ภาพเป้าหมายที่มีความส่องสว่าง (Brightness) ของภาพแตกต่างกัน 2 ภาพเป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับความสว่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความสว่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความสว่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีความส่องสว่าง ดังรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.9 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความส่องสว่าง

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้							
	ภาพสอบถามที่มีความส่องสว่างต่ำ				ภาพสอบถามที่มีความส่องสว่างสูง			
	L_1	L_2	D_1	S_1	L_1	L_2	D_1	S_1
E และ V	5 th	5 th	13 th	18 th	1 st	1 st	1 st	1 st
E และ L	6 th	3 rd	9 th	22 nd	1 st	1 st	1 st	1 st
E และ C	6 th	3 rd	20 th	11 th	1 st	1 st	1 st	1 st
E และ M	5 th	3 rd	2 nd	9 th	2 nd	1 st	3 rd	2 nd
E และ H	6 th	3 rd	60 th	41 st	1 st	1 st	17 th	5 th
E และ W	6 th	3 rd	17 th	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st
V และ L	158 th	389 th	22 nd	30 th	2 nd	1 st	1 st	1 st
V และ C	140 th	379 th	34 th	28 th	2 nd	2 nd	1 st	1 st
V และ M	60 th	193 rd	3 rd	24 th	217 th	145 th	5 th	4 th
V และ H	173 rd	430 th	88 th	77 th	5 th	7 th	23 rd	6 th
V และ W	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st
L และ C	62 nd	114 th	51 st	35 th	2 nd	2 nd	1 st	1 st
L และ M	70 th	174 th	2 nd	28 th	494 th	493 rd	11 th	3 rd
L และ H	324 th	273 rd	301 st	110 th	308 th	244 th	250 th	12 th
L และ W	1 st	1 st	1 st	8 th	1 st	1 st	1 st	1 st
C และ M	61 st	184 th	3 rd	21 st	456 th	485 th	2 nd	5 th
C และ H	228 th	404 th	180 th	147 th	41 st	180 th	23 rd	26 th
C และ W	1 st	8 th	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st	1 st
M และ H	93 rd	202 nd	13 th	127 th	500 th	501 st	43 rd	85 th
M และ W	7 th	123 rd	1 st	1 st	367 th	473 rd	1 st	1 st
H และ W	5 th	111 th	4 th	24 th	3 rd	102 nd	3 rd	9 th

การทดลองแบบที่ 5.2.3 ใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (background) ของภาพเป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงพื้นหลังของภาพเป้าหมายเพื่อใช้เป็นภาพสอบถาม โดยนำภาพเป้าหมายที่ต้องการไปคละกับภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง ดังรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.10 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นหลัง			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
E และ V	259 th	274 th	335 th	222 nd
E และ L	308 th	342 nd	567 th	281 st
E และ C	299 th	337 th	325 th	217 th
E และ M	230 th	315 th	445 th	160 th
E และ H	305 th	341 st	582 nd	223 rd
E และ W	302 nd	339 th	377 th	252 nd
V และ L	90 th	90 th	224 th	189 th
V และ C	58 th	79 th	90 th	69 th
V และ M	229 th	358 th	394 ^t	83 rd
V และ H	78 th	86 th	202 nd	70 th
V และ W	290 th	232 nd	219 th	134 th
L และ C	129 th	252 nd	125 th	435 th
L และ M	523 rd	644 th	25 th	392 nd
L และ H	387 th	302 nd	510 th	415 th
L และ W	300 th	319 th	233 rd	325 th
C และ M	486 th	641 st	3 rd	169 th
C และ H	102 nd	135 th	114 th	213 th
C และ W	136 th	116 th	116 th	148 th
M และ H	513 th	643 rd	22 nd	178 th
M และ W	448 th	639 th	9 th	89 th
H และ W	253 rd	170 th	239 th	122 nd

การทดลองแบบที่ 5.2.4 ใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของวัตถุในแบบต่างๆ เป็นภาพสอบถาม

ในกรณีนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงวัตถุแบบต่างๆ ภายในภาพเป้าหมาย เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถาม และนำภาพเป้าหมายที่ต้องการไปคละกับภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยที่ภาพสอบถามเป็นภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของวัตถุในแบบต่างๆ ดังนี้ ภาพที่มีการสเกล (Scaling) การหมุนของวัตถุ (Rotation) และการเลื่อนของวัตถุ (Shifting) ดังรูปที่ 5.4 ถึงรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.11 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการสเกล

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้				เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการสเกล					ภาพสอบถามที่มีการสเกล			
	L_1	L_2	D_1	S_1		L_1	L_2	D_1	S_1
E และ V	35 th	19 th	29 th	39 th	L และ C	4 th	22 nd	2 nd	13 th
E และ L	56 th	51 st	50 th	49 th	L และ M	31 st	23 rd	91 st	22 nd
E และ C	51 st	51 st	2 nd	9 th	L และ H	5 th	21 st	2 nd	16 th
E และ M	13 th	5 th	36 th	17 th	L และ W	25 th	161 st	28 th	20 th
E และ H	53 rd	51 st	5 th	13 th	C และ M	29 th	23 rd	15 th	4 th
E และ W	52 nd	51 st	19 th	25 th	C และ H	1 st	2 nd	1 st	2 nd
V และ L	18 th	20 th	46 th	38 th	C และ W	3 rd	9 th	4 th	4 th
V และ C	8 th	14 th	2 nd	9 th	M และ H	30 th	22 nd	34 th	3 rd
V และ M	16 th	12 th	35 ^t	9 th	M และ W	27 th	23 rd	25 ^t	9 ^t
V และ H	10 th	13 th	7 th	12 th	H และ W	3 rd	3 rd	5 th	13 th
V และ W	20 th	106 th	30 th	34 th					

ตารางที่ 5.12 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการหมุน

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้				เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการหมุน					ภาพสอบถามที่มีการหมุน			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁		L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
E และ V	2 nd	3 rd	1 st	1 st	L และ C	1 st	1 st	1 st	1 st
E และ L	10 th	20 th	1 st	1 st	L และ M	1 st	1 st	1 st	5 th
E และ C	5 th	18 th	1 st	1 st	L และ H	1 st	1 st	1 st	1 st
E และ M	1 st	1 st	1 st	1 st	L และ W	960 th	911 th	819 th	26 th
E และ H	8 th	16 th	1 st	1 st	C และ M	1 st	1 st	1 st	1 st
E และ W	37 th	22 nd	376 th	13 th	C และ H	1 st	1 st	1 st	1 st
V และ L	1 st	1 st	1 st	1 st	C และ W	571 st	330 th	347 th	1 st
V และ C	1 st	1 st	1 st	1 st	M และ H	1 st	1 st	1 st	1 st
V และ M	1 st	1 st	1 st	1 st	M และ W	20 th	7 th	88 ^t	78 ^t
V และ H	1 st	1 st	1 st	1 st	H และ W	880 th	279 th	535 th	18 th
V และ W	970 th	977 th	882 nd	327 th					

ตารางที่ 5.13 การค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเลื่อน

เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้				เทคนิควิธี	อันดับภาพเป้าหมายที่ค้นคืนได้			
	ภาพสอบถามที่มีการเลื่อน					ภาพสอบถามที่มีการเลื่อน			
	L ₁	L ₂	D ₁	S ₁		L ₁	L ₂	D ₁	S ₁
E และ V	1 st	1 st	2 nd	2 nd	L และ C	36 th	72 nd	34 th	43 rd
E และ L	1 st	1 st	1 st	8 th	L และ M	38 th	74 th	9 th	27 th
E และ C	1 st	1 st	3 rd	2 nd	L และ H	3 rd	3 rd	2 nd	8 th
E และ M	1 st	1 st	1 st	2 nd	L และ W	1 st	1 st	1 st	3 rd
E และ H	1 st	1 st	1 st	1 st	C และ M	37 th	71 st	2 nd	12 th
E และ W	1 st	1 st	1 st	1 st	C และ H	3 rd	5 th	4 th	1 st
V และ L	10 th	31 st	9 th	13 th	C และ W	1 st	1 st	1 st	1 st
V และ C	8 th	26 th	10 th	7 th	M และ H	32 nd	67 th	2 nd	1 st
V และ M	14 th	21 st	2 nd	5 th	M และ W	21 st	64 th	1 ^t	1 ^t
V และ H	5 th	20 th	2 nd	1 st	H และ W	1 st	1 st	1 st	1 st
V และ W	1 st	1 st	1 st	1 st					

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ 2

การจับคู่กันของแต่ละเทคนิควิธี ส่งผลกระทบต่อการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ถ้าการจับคู่กันเหมาะสมก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเป้าหมายดี กลับกันถ้าจับคู่ไม่เหมาะสมแล้วก็จะส่งผลให้การค้นคืนภาพเป้าหมายไม่ดีตามไปด้วย เพราะแต่ละเทคนิควิธีมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละแบบแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ค่าพลังงานและค่าความแปรปรวน นั้นให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพที่ไม่ดีสำหรับภาพที่มีการปรับความเบี่ยงต่าง (ตารางที่ 5.8) ไม่ว่าจะนำเทคนิคใดๆ มาจับคู่กับกับเทคนิควิธีการหาค่าพลังงาน หรือวิธีการหาค่าความแปรปรวน ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายแย่งลงตามไปด้วย แม้ว่าวิธีที่นำมาจับคู่ด้วยนั้นให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีกับภาพที่มีการปรับความเบี่ยงต่าง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการจับคู่กันของแต่ละเทคนิคส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ การจับคู่ที่เหมาะสม ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายของภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบนี้ๆ ดีตามไปด้วย

5.3 สรุปผลจากการทดลอง

ทำการทดสอบการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปแบบต่างๆ ได้แก่ ภาพที่มีการปรับความเบี่ยงต่าง ภาพที่มีการปรับความส่องสว่าง ภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง ภาพที่มีการสเกล ภาพที่มีการหมุน และภาพที่มีการเลือน เพื่อที่จะวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของแต่ละเทคนิควิธีว่ามีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของภาพในแบบต่างๆ เป็นเช่นไร ซึ่งแต่ละวิธีให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้

1. การหาค่าพลังงาน

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการหาค่าพลังงานให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายของภาพสอบถามที่มีการปรับความสว่าง ภาพสอบถามที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของวัตถุ โดยการหมุน และเลือนได้ดี เพราะผลรวมกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ดเปลี่ยนไปจากภาพเป้าหมายไม่มากนัก และสำหรับข้อเสียของเทคนิคการหาค่าพลังงานเกิดขึ้นจากผลรวมกำลังสองของข้อมูลการแปลงเวฟเล็ดทั้งภาพ โดยไม่ได้คำนึงถึงวัตถุที่สนใจกับพื้นหลัง ตัวอย่างในตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 ซึ่งเป็นผลการค้นคืนภาพเป้าหมายของภาพวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง และภาพที่มีการสเกล ตามลำดับ ทำให้ไม่สามารถจำแนกภาพ

เป้าหมาย หรือภาพในกลุ่มภาพบางกลุ่มซึ่งอาจมีค่าพลังงานใกล้เคียงกับภาพสอบถามของอีกกลุ่ม ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ส่งผลกับประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพได้เหมือนกัน และสำหรับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่าง ดังแสดงในตารางที่ 5.1 ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายที่ได้ไม่ดีนัก เนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตระหว่างภาพสอบถามกับภาพเป้าหมายแตกต่างกันมาก ส่งผลให้ผลรวมกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตแตกต่างจากภาพเป้าหมายมากขึ้นตามไปด้วย

2. การหาค่าความแปรปรวน

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาค่าความแปรปรวนให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายของภาพสอบถามที่มีการปรับความสว่าง ภาพสอบถามที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของวัตถุโดยการหมุน และเลื่อนได้ค่อนข้างดี จากรูปที่ 5.3 เป็นภาพที่มีวัตถุสนใจขนาดใหญ่กว่าภาพพื้นหลัง เมื่อทำการตัดทอนพื้นหลังออกไป จะส่งผลให้กระจายตัวข้อมูลเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะกลุ่มข้อมูลการกระจายตัวส่วนใหญ่เป็นของวัตถุที่สนใจภายในภาพ ทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังให้ผลดีกว่าการหาค่าพลังงาน เพราะว่าการหาค่าพลังงานเป็นการหาผลรวมกำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตทำให้ข้อมูลที่ได้ของภาพที่เปลี่ยนไปของพื้นหลังแตกต่างไปจากข้อมูลของภาพดั้งเดิมมากส่งผลให้การค้นคืนภาพเป้าหมายไม่ดี และด้วยเหตุนี้เองจึงส่งผลให้การค้นคืนภาพที่มีการสเกลด้วยการหาค่าความแปรปรวนมีประสิทธิภาพดีกว่าการหาค่าพลังงาน และสำหรับข้อเสียของเทคนิคการหาค่าความแปรปรวนเกิดจากการหาค่ากระจายตัวด้วยเช่นกัน เพราะภาพข้อมูลโดยส่วนใหญ่ไม่ได้ประกอบไปด้วยวัตถุที่สนใจเพียงอย่างเดียว อาจประกอบไปด้วยวัตถุอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ และสำหรับภาพที่มีการปรับความเปรียบต่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายที่ได้ไม่ดีนัก เนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตระหว่างภาพสอบถามกับภาพเป้าหมายแตกต่างกันมาก ส่งผลให้การกระจายตัวของข้อมูลเวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อยแตกต่างกันไปจากภาพเป้าหมาย ทำให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร

3. แผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาแผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่ให้การค้นคืนภาพที่มีการทำการเปรียบเทียบ ปรับความสว่าง และการหมุนนั้น มีประสิทธิภาพการค้นคืนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สำหรับข้อเสียของเทคนิคการหาแผนที่ยกวิธีแบบเฉพาะที่ คือ ในบางครั้ง

ข้อมูลที่สำคัญของภาพไม่ใช่วัตถุที่สนใจเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ข้อมูลสำคัญที่ได้นั้นอาจจะปะปนไปกับส่วนที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจก็ได้ แม้จะเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ยกตัวอย่าง ในรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง ข้อมูลสำคัญอาจเป็นไปได้ที่ไปปะปนอยู่ในส่วนของพื้นหลัง ทำให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังทำได้ไม่ดีนัก ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ

4. โมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ

จากการทดลอง พบว่าข้อดีของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญนั้นเป็นวิธีที่มีความทนทานต่อภาพที่มีการปรับความสว่าง ภาพที่มีการปรับความเปรียบต่างค่าสูง และมีความสามารถในการทนทานต่อภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง การหมุน การสเกล และการเลื่อนของวัตถุ ดี สำหรับข้อเสียของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาโมเมนต์จากแผนที่นัยสำคัญ คือ มีการคำนวณที่ซับซ้อน และโดยทั่วไป ภาพประกอบไปด้วยข้อมูลที่มีหลากหลายทิศทาง และไม่มีวัตถุที่สนใจเพียงอย่างเดียว อาจจะเป็นส่วนอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ข้อมูลสำคัญที่ได้นั้นอาจจะปะปนไปกับส่วนที่ไม่ใช่วัตถุที่สนใจก็ได้ แม้จะเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ

5. ฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญมีความทนทานต่อการหมุน การสเกล และการเลื่อนของวัตถุ เพราะข้อมูลที่เป็นนัยสำคัญส่วนใหญ่ยังคงอยู่ และไม่แตกต่างไปจากภาพเป้าหมายมากนัก สำหรับข้อเสียของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการหาฮิสโตแกรมจากแผนที่นัยสำคัญ คือ ให้ประสิทธิภาพกับภาพที่มีการปรับความสว่าง ปรับความเปรียบต่าง และภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังไม่ค่อยดี เพราะมีข้อมูลที่เป็นนัยสำคัญขาดหาย ทำให้ข้อมูลที่ตกอยู่ในแต่ละถังเก็บค่า แตกต่างไปจากภาพเป้าหมาย ส่งผลให้ค่าของฮิสโตแกรมแตกต่างกันไปด้วย

6. เวฟเล็ตฮอโตคอรรีโลแกรม

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพโดยอาศัยเวฟเล็ตฮอโตคอรรีโลแกรมมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของความสว่าง และการเลื่อนของวัตถุ สำหรับข้อเสียคือ มีจำนวนเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมาก และกรณีภาพมีการสเกล และการหมุน ข้อมูลที่ได้จะ

แตกต่างไปจากภาพเป้าหมาย ทำให้การอธิบายสหสัมพันธ์ของเวฟเล็ตอโคอร์รีโลแกรมที่ระยะ k ต่างๆ ผิดเพี้ยนไปจากภาพเป้าหมาย

7. การกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญของ JPEG2000

จากการทดลอง พบว่าเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยการสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยการประยุกต์วิธีการกำหนดบริบทจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญของ JPEG2000 ให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายที่มีการปรับความเปรียบต่างสูง ความส่องสว่าง การสเกล และการหมุนนั้น มีประสิทธิภาพการค้นคืนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สำหรับการค้นคืนภาพเป้าหมายที่ภาพสอบถามมีการปรับความสว่างต่ำนั้น ให้ผลการค้นคืนภาพเป้าหมายไม่ดีเมื่อเทียบกับวิธีเวฟเล็ตอโคอร์รีโลแกรม ทั้งนี้เป็นเพราะว่าบล็อกข้อมูลสำคัญที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากภาพเป้าหมายมาก จึงส่งผลให้การกำหนดบริบทแตกต่างไปจากภาพเป้าหมายเดิม

และได้ทำการทดลองการค้นคืนกับภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปในแบบต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพกรณีการใช้ 2 เทคนิคพร้อมกัน จากการทดลองที่ 5.2 พบว่าประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการค้นคืนภาพเป้าหมายของเทคนิคที่นำมาใช้ร่วมกัน กรณีถ้าวิธีหนึ่งให้ประสิทธิภาพการค้นคืนไม่ดี แต่อีกวิธีหนึ่งให้ประสิทธิภาพดี เมื่อนำมารวมกัน จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาด้วยประสิทธิภาพกว่าที่ใช้แต่ละวิธีแยกกัน

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพ JPEG2000 อาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นผิวของภาพโดยใช้วิธีการหาค่าพลังงาน ค่าความแปรปรวน แผนที่กริดแบบเฉพาะที่ โมเมนต์จากแผนที่ที่สำคัญ ฮิสโตแกรมจากแผนที่ที่สำคัญ เวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม และการกำหนดบริบท ซึ่งวิธีที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ การกำหนดบริบท

อย่างไรก็ตามเทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธีก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพเท่านั้น เนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพแต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ อีกทั้งภาพที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกันโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กัน หรือคล้ายคลึงกันมากกว่าลักษณะเฉพาะอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลให้การค้นคืนภาพนั้นล้มเหลวหรือไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้น โอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะมีความคล้ายคลึงกันก็มีมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอเทคนิคการค้นคืนภาพโดยใช้วิธีเวฟเล็ตออกโตคอร์รีโลแกรม ร่วมกับวิธีการกำหนดบริบท ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีขึ้นในหลายกลุ่มภาพ จึงทำให้สามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบฐานข้อมูลภาพ JPEG2000 ทั่วๆ ไปได้

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ปัจจุบันข้อมูลภาพบีบอัดส่วนใหญ่ถูกจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์บีบอัด และมาตรฐานที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันคือ มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG และในอนาคตอันใกล้คาดว่าจะมีการนำมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบใหม่มาใช้ โดยมาตรฐานนี้มีชื่อว่า มาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 ทำให้ในปัจจุบัน ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนภาพ เริ่มมีการพัฒนาให้ใช้ได้กับภาพที่มีการบีบอัดด้วยมาตรฐาน JPEG2000 สำหรับมาตรฐาน JPEG2000 อาศัยการแปลงเวฟเล็ตในการเปลี่ยนโดเมนภาพ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้อาศัยข้อมูลภาพพื้นผิวที่

ได้จากการแปลงเวฟเล็ต มาสร้างเป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิคการสร้างลักษณะเฉพาะของภาพด้วยวิธีต่างๆ โดยอาศัยลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ ซึ่งก็คือ พื้นผิว และสามารถดึงข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเล็ตได้โดยตรงจากบัฟเฟอร์ของภาพในโดเมนบีบอัด ด้วยเหตุที่ว่ามาตรฐาน JPEG2000 อาศัยการแปลงเวฟเล็ต จึงทำให้สามารถที่จะประยุกต์งานวิจัยอื่นๆ ที่กระทำในเวฟเล็ตโดเมน (Wavelet Domain) มาประยุกต์ใช้ได้ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลอื่นๆ ที่สามารถที่จะนำมาใช้ได้อีก โดยไม่ต้องทำการถอดรหัสภาพออกมาทั้งหมด ในงานวิจัยต่อไป อาจจะมีการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพ JPEG2000 โดยอาศัยข้อมูลโดยตรงจากแพ็คเกจเฮดเดอร์ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการค้นคืนภาพมากยิ่งขึ้น หรือไม่ก็อาศัยข้อมูลจากการเข้ารหัสระนาบบิตได้อีกด้วย สำหรับเทคนิควิธีการกำหนดบริบทนั้นจะสามารถพัฒนาศักยภาพเพิ่มขึ้นได้อีก โดยการเปลี่ยนรูปแบบการกำหนดฉากบริบท (Context labels) ที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 นั้น ให้มีรูปแบบใหม่ๆ เพราะว่ารูปแบบบริบทที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีทั้งหมด 256 แบบ เพราะสมาชิกข้อมูลที่เป็นไปได้ในหน้าต่างบริบท คือ 0 กับ 1 และมีทั้งหมด 8 บิตกรอบข้าง เพราะฉะนั้นรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ $2^8 = 256$ แบบรูป ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปอาจทำการกำหนดความสัมพันธ์ของรูปแบบการวางตัวของข้อมูลสำคัญกับบริบทใหม่ ซึ่งอาจทำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นก็เป็นได้

รายการอ้างอิง

- [1] M. W. Marcellin and D. S. Taubman. Jpeg2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice. Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, (2002).
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1/N1646R. JPEG 2000 Part I final committee draft version 1.0. <http://www.jpeg.org/public/fcd15444-1.pdf>. (March 2000).
- [3] A. Skodras, C. Christopoulos, and T. Ebrahimi. The JPEG 2000 Still Image Compression Standard. IEEE Signal Processing Magazine (September 2001) : 36-60.
- [4] J. Li. Image Compression: The Mathematics of JPEG2000. Modern Signal Processing MSRI Publications (2003).
- [5] G. Impoco. JPEG2000 – A short tutorial. Visual Computing Lab – ISTI – CNR. Pisa, Italy : (April 2004).
- [6] K. L. Gray and E. S. Andrea Bor. The JPEG2000 Standard. <http://www.lkn.ei.tum.de/studium/mmprog/jpeg2000/content.pdf> : (May 2004).
- [7] M.D. Adams. The JPEG-2000 Still Image Compression Standard. ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 (ITU-T SG8) : (2001).
- [8] M.W. Marcellin, M.J. Gormish, A. Bilgin, M.P. Boliek. An Overview of JPEG-2000. Proc. Of IEEE Data Compression Conference (2000) : 523-541.
- [9] D. Taubman, E. Ordentlich, and I. Ueno. Embedded Block Coding. Proc. Int. Conf. on Image Processing (ICIP2000) (2000) : 33-36.
- [10] K. Andra, C. Chakrabarti, and T. Acharya. A High-Performance JPEG2000 Architecture. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY : (March 2003).
- [11] พิริยะ กิตติวรรณกุล. การเข้ารหัสบริเวณที่สนใจหลายบริเวณสำหรับมาตรฐาน JPEG2000. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [12] Colin C. Venters and Matthew Cooper. A Review of Content-Based Image Retrieval System. Manchester Visualization Centre Manchester Computing, University of Manchester, 1982.

- [13] ภาสวรรณ สกุลสุจิราภา. การพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ฮอตโตคอร์รีโโลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [14] R. F. Chang, W. J. Kuo, and H. C. Tsai. Image retrieval on uncompressed and Compressed Domains. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (September 2000) : 546-549.
- [15] Z. Xiong and T. S. Huang. Wavelet Based Texture Feature Can be Extracted Efficiently from Compressed Domain for JPEG2000 Coded Images. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (September 2002) : 481-484.
- [16] G. Voulgaris and J. Jiang. Texture Based Image Retrieval in Wavelets Compressed Domain. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, (October 2001) : 125-128.
- [17] K. M. Au, N. F. Law, and W. C. Siu. Direct Image Retrieval in JPEG and JPEG2000. Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (October 2005) : 125-128.
- [18] R. C. Gonzalez and R. E. Woods. Digital Image Processing. 2 nd Ed. New Jersey, United States of America: Prentice Hall, 2001.
- [19] C. Liu and M. Mandal. Multiresolution Image Indexing Based on Embedded Zerotree Wavelet Coding. Electrical and Computer Engineering, Canadian Conference (March 2000) : 430 – 434.
- [20] H. Abrishami-Moghadam, T. T. Khajoie, and A. H. Rouhi. A New Algorithm for Image Indexing and Retrieval Using Wavelet Correlogram. Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing ICIP2003 (September 2003) : 497-500.
- [21] M. Saadatmand-T, and H.A. Moghaddam. Enhanced wavelet correlogram methods for image indexing and retrieval. IEEE Int. Conf. Image Processing, ICIP2005 (September 2005) : 541-544.
- [22] H. A. Moghaddam, T. T. Khajoie, A. H. Rouhi, and M. S. Tarzjan. Wavelet Correlogram: A New Approach for Image Indexing and Retrieval. Pattern Recognition (December 2005) : 2506-2518.
- [23] C. Liu and M. Mandal. Fast Image Indexing Based on JPEG2000 Packet Header. Proceedings of 3rd Intl workshop on Multimedia Information Retrieval (October 2001).

- [24] A. Tabesh et al. JPEG2000 and Motion JPEG2000 Content Analysis Using Codestream Length Information [Online] : Available from:
<http://www.spacl.ece.arizona.edu/~tabesh/papers/tabesh-dcc05-final.pdf>.
- [25] G. K. Wallace. The JPEG Still Picture Compression Standard. Communication of the ACM (April 1991).
- [26] C. W. Brown, and B. J. Shepherd. Graphics File Format Reference and Guide. Manning Publications (1995).
- [27] J. Z. Wang. Content Based Image Retrieval - Image Database Search Engine [Online] : J. Z. Wang. Available from: <http://wang.ist.psu.edu/docs/related> [2003, March 27].
- [28] www2.lib.udel.edu/eresources/digitalimages/.
- [29] <http://fohn.net/tiger-pictures-facts/index.html>.
- [30] W. Smith. Texture Image [Online] : Available from:
<http://www.mayang.com/textures/>.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

1. นาวิน อังกูระ, สุภาวดี อร่ามวิทย์ และศุภกร สิทธิไชย, “การค้นคืนภาพบนโดเมนบีบอัดโดยการสร้างบริบทของภาพจากการเข้ารหัสที่สำคัญ” ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29 (EECON 29th, พัทยา, ประเทศไทย).



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การค้นคืนภาพบนโดเมนบีบอัดโดยการสร้างบริบทของภาพจากการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญ

Compressed Domain Image Retrieval by Using Context Labels of Significance Coding

นาวิณ อังกูระ[†], สุภาวดี อร่ามวิทย์[†], และศุภกร สิทธิไชย^{*}

[†] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กทม. 10330
โทร. 0-2218-6909 โทรสาร 0-2218-6912
E-mail : supavadee.a@chula.ac.th

^{*} ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
112 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร. 0-2564-6900 ต่อ 2241 โทรสาร : 0-2564-6873
E-mail: yai@nectec.or.th

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปภาพดิจิทัลเป็นภาพที่มีการบีบอัดด้วยมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG แต่เนื่องมาจากข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพของภาพที่อัตราบิตต่ำ ให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี จึงทำให้มีการพัฒนาการบีบอัดภาพขึ้นใหม่ โดยให้ชื่อว่า JPEG2000 บทความนี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีการบีบอัดด้วย JPEG2000 โดยมีขั้นตอนวิธีการในการค้นหาภาพที่กระทำโดยตรงบนโดเมนบีบอัด และนำข้อมูลสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่ได้ มาสร้างดัชนีการค้นคืนภาพ โดยนำวิธีการเข้ารหัสแผนที่สัญญาณสำคัญ มาคำนวณเพื่อกำหนดบริบทของภาพ การทดลองอาศัยการเปรียบเทียบระยะทางแบบ L_1 , D_1 และ S_1 และวัดประสิทธิภาพด้วยค่า ANMRR จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอขึ้นให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีกว่าการหาค่าพลังงาน และค่าความแปรปรวน

คำสำคัญ: JPEG2000, การแปลงเวฟเลต, ระยะทาง L_1 , ระยะทาง D_1 , ระยะทาง S_1 , ANMRR

Abstract

JPEG has been a widely recognized standard image compression. However, it has its limitation, namely, the poor image quality when compressed at low bit rates. This paper proposes a novel image retrieval technique in JPEG2000 compressed domain using image significance map to compute an image context in order to construct image index for retrieval purposes. Experimental result showed that, with ANMRR index, the proposed technique achieved better retrieval results than those using energy or variance.

Keywords : JPEG2000, wavelet transform, L_1 distance, D_1 distance, S_1 distance, ANMRR

1. บทนำ

ในปัจจุบันข้อมูลภาพถูกจัดเก็บในรูปของภาพบีบอัด เพื่อที่จะลดพื้นที่การจัดเก็บ และมาตรฐานการบีบอัดภาพที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ JPEG และ JPEG2000 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การพัฒนากระบวนการค้นคืนภาพให้มีความสำคัญกับการค้นคืนภาพในโดเมนบีบอัด และในอนาคตอันใกล้มีมาตรฐาน JPEG2000 จะถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เพราะให้ประสิทธิภาพการบีบอัดที่อัตราบิตต่ำกว่า JPEG ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีการบีบอัดด้วย JPEG2000 ซึ่งกระทำโดยตรงบนโดเมนบีบอัด โดยปราศจากการถอดรหัสออกมาทั้งหมด

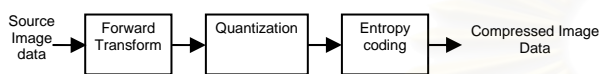
เนื่องมาจากมาตรฐาน JPEG2000 อาศัยการแปลงคิสรัดเวฟเลตในระบบการบีบอัด ทำให้สามารถที่จะวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลการแปลงเวฟเลต ในเวฟเลตโดเมนได้ และในหลายๆ บทความได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลต อาทิเช่น ใน [1] อาศัยข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตมาจัดทำเวกเตอร์พื้นผิว โดยอาศัยการเข้ารหัสแผนที่สัญญาณสำคัญ (Significance map encoding) ใน [2] อาศัยการหาค่าพลังงาน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และให้ประสิทธิภาพดี แต่ไม่สามารถแยกส่วนสำคัญในภาพและทิศทางของวัตถุได้ และใน [3] ใช้การหาค่าความแปรปรวนในแต่ละแถบย่อยเวฟเลต แต่ก็ไม่สามารถวิเคราะห์ทิศทางวัตถุได้เช่นกัน

ในบทความนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีใหม่ในการสร้างเวกเตอร์พื้นผิวโดยอาศัยคุณสมบัติของการเข้ารหัสแผนที่สัญญาณสำคัญ และนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการเข้ารหัสสัญญาณสำคัญ (Significance Coding) ใน JPEG2000 ซึ่งวิธีที่นำเสนอขึ้นสามารถที่จะวิเคราะห์ส่วนสำคัญและทิศทางของข้อมูลความถี่ได้

2. ภาพรวมของ JPEG2000

แผนผังแสดงขั้นตอนของตัวเข้ารหัส JPEG2000 [4] แสดงอยู่ในรูปที่ 1 โดยในส่วนแรกจะเกี่ยวข้องกับการแบ่งภาพขาเข้าออกเป็น

บล็อกสี่เหลี่ยม (Image tiling) การแปลงองค์ประกอบของสี (Color component transform) การเลื่อนระดับดีซี (DC level shift) และการแปลงดีสครีตเวฟเลต (Discrete wavelet transform) จากนั้นจะเกี่ยวข้องกับการควอนไทซ์ข้อมูล (Quantization) ก่อนที่จะส่งไปกระทำการเข้ารหัสเอนโทรปี (Entropy coding) ซึ่งจะกระทำอย่างอิสระในแต่ละบล็อกย่อยในส่วนการเข้ารหัสเอนโทรปีประกอบไปด้วยการเข้ารหัสระนาบิต (bit plane coding) เพื่อกำหนดบริบท (Context) สำหรับการเข้ารหัสเลขคณิต (Arithmetic Coding) แบบ MQ [5] และการจัดรูปแบบของสายรหัสข้อมูล โดยมีการจัดให้อยู่ในรูปแบบของการมีขอบเขต และกลุ่มข้อมูล (Precinct and Packet)



รูปที่ 1 แผนผังตัวเข้ารหัส JPEG2000

3. การแยกลักษณะเฉพาะ

ในส่วนนี้ ทำการดึงลักษณะเฉพาะใน JPEG2000 โดยการดึงข้อมูลที่เป็นสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตได้ตรงจากโดเมนบีบอัด โดยปราศจากการถอดรหัสออกมาทั้งหมด และอาศัยข้อมูลพื้นผิวที่ได้จากสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลต มาจัดให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์พื้นผิว โดยอาศัยคุณสมบัติของการเข้ารหัสแผนที่นี้สำคัญ [1] และการกำหนดบริบทสำหรับการเข้ารหัสที่สำคัญที่อยู่ในมาตรฐาน JPEG2000 [5]

ต่อไปจะกล่าวถึงสาระสำคัญโดยย่อของขั้นตอนการเข้ารหัสแผนที่นี้สำคัญ และขั้นตอนการกำหนดบริบทสำหรับการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญ

3.1 การเข้ารหัสแผนที่นี้สำคัญ (SME)

การเข้ารหัสแผนที่นี้สำคัญทำให้ได้สัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลตที่มีคุณลักษณะที่เด่นชัด (Dominant Feature) ในขั้นตอนเริ่มต้นกำหนดให้ w_0, w_1, \dots, w_n เป็นขนาดของสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการแปลงดีสครีตเวฟเลตของภาพ จากนั้นทำการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนดังสมการที่ (1)

$$T_0 = \frac{\max(w_n)}{2} \text{ และ } T_l = \frac{T_{l-1}}{2} \quad (1)$$

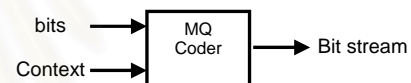
โดยที่ $l=1,2,\dots,L$ และ L คือ ระดับการแปลงเวฟเลต

สำหรับการสร้างแผนที่นี้สำคัญ $S_j(x, y)$ ของแต่ละแถบย่อย (subband) ที่ j^{th} หาได้จากสมการที่ (2) ถ้าสัมประสิทธิ์การแปลงเวฟเลต มีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนก็จะกำหนดให้เป็นสัมประสิทธิ์ที่มีนัยสำคัญ หรือกำหนดเป็นบิต 1 กลับกันถ้ามีค่าน้อยกว่าก็จะกำหนดให้เป็นสัมประสิทธิ์ที่ไม่มีนัยสำคัญ หรือบิต 0

$$S_j(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } w_j(x, y) > T_l \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

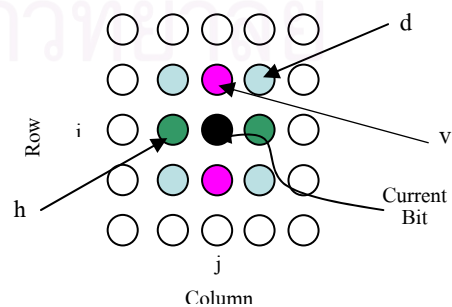
3.2 การกำหนดบริบทสำหรับการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญ

ในมาตรฐานการบีบอัดภาพแบบ JPEG2000 หลังจากผ่านการควอนไทซ์ แล้วจะทำการแบ่งแต่ละแถบย่อยออกเป็นบล็อกย่อยๆ เรียกว่า โค้ดบล็อก (Code block) ซึ่งเป็นหน่วยมูลฐานที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสระนาบิต โดยเริ่มทำการเข้ารหัสแบบเรียงลำดับจากระนาบิตที่สำคัญที่สุด ไปยังระนาบิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด แต่ละระนาบิตจะมีการวาดกราดแบบเรสเตอร์ (Raster scan) โดยเริ่มจากมุมบนซ้ายและกราดตรวจลงมาในแถวแรกไป 4 บิต จากนั้นก็กลับขึ้นไปในหลักที่ 2 และทำเช่นนี้ไปเรื่อยจนสุดระนาบิต ในขณะที่มีการกราดตรวจก็จะทำการเข้ารหัสระนาบิตไปด้วย โดยอาศัยการเข้ารหัสทั้ง 3 รูปแบบ (Three coding pass) คือ Significance propagation pass, Magnitude refinement pass และ Clean up pass ผลลัพธ์ที่ได้จากการเข้ารหัสทั้ง 3 รูปแบบนี้ จะได้รับบริบทของแต่ละบิตที่ใช้สำหรับการเข้ารหัสเลขคณิต ดังรูปที่ 2 โดยที่บริบทที่ได้นั้นจะใช้เป็นตัวกำหนดความน่าจะเป็นในการเข้ารหัสเลขคณิต



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของ MQ Coder

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะการเข้ารหัสแบบ Significance propagation pass สำหรับขั้นตอนการกำหนดบริบท เริ่มแรกทำการพิจารณาบริบทรอบข้างในขอบเขตของหน้าต่างบริบท (Context Window) ดังรูปที่ 3 ถ้าพบว่าบิตที่มีสถานะสำคัญ อย่างน้อยที่สุด 1 ตัว ก็จะทำการเข้ารหัสโดยอาศัยตารางการกำหนดบริบทในตารางที่ 1 โดยใช้เฉพาะสำหรับกรณีที่มีบิตปัจจุบันเป็น 0 และจะไม่ทำการกำหนดสถานะสำคัญให้กับบิต 0 แต่ถ้าบิตปัจจุบันเป็นบิต 1 และพบว่าบริบทรอบข้างมีบิตที่มีสถานะสำคัญ ก็จะทำการเข้ารหัสแบบคิดเครื่องหมาย (Sign Coding) [5] และเขตสถานะตัวเองให้เป็นบิตที่มีสถานะสำคัญ



รูปที่ 3 หน้าต่างบริบทสำหรับกำหนดบริบท

4. การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ ทำได้โดยการคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งสอง ซึ่งความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองจะแปรตามระยะทาง ในบทความนี้ใช้การเปรียบเทียบเวกเตอร์ทั้ง 3 แบบ คือระยะทาง L_1 , D_1 และ S_1 [6] ดังสมการที่ (7) ถึง (9) ตามลำดับ

$$|I - I'|_{x,L_1} = \sum_{i=0}^{K-1} |X_i(I) - X_i(I')| \tag{7}$$

$$|I - I'|_{x,D_1} = \sum_{i=0}^{K-1} \frac{|X_i(I) - X_i(I')|}{1 + X_i(I) + X_i(I')} \tag{8}$$

$$|I - I'|_{x,S_1} = 1 - \frac{1}{K} \times \sum_{i=0}^{K-1} \frac{\min(X_i(I), X_i(I'))}{\max(X_i(I), X_i(I'))} \tag{9}$$

โดยที่ $X_i(I)$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I

$X_i(I')$ คือ เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ I'

K คือ จำนวนของแถบย่อยทั้งหมด

5. การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองใช้ฐานข้อมูลภาพจำนวน 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ อาทิเช่น ภาพท้องฟ้า, ภาพวิวทะเล, ภาพรถบัส, ภาพตึก และภาพไดโนเสาร์ เป็นต้น โดยผ่านการบีบอัดด้วยตัวเข้ารหัส JPEG2000 รุ่น 2.2 (Kakadu J2k Codec V. 2.2) [5]

สำหรับการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ อาศัยการหาค่า ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank) [7] โดยที่การวัดประสิทธิภาพแบบ ANMRR ค่าแสดงประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 0 - 1 ถ้าค่า ANMRR มีค่าต่ำ หมายความว่าประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพดี กลับกัน ถ้าค่า ANMRR มีค่าสูง หมายความว่าประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพต่ำ และในการทดลองจะใช้ภาพสอบถามทั้งหมด 100 ภาพ กลุ่มละ 10 ภาพ (จำนวนการสอบถามเท่ากับ 1 เปอร์เซนต์ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล ต่อ 1 กลุ่ม)

ในการทดลองจะทำการพิจารณาประสิทธิภาพการค้นคืนภาพด้วยเทคนิคที่นำเสนอ กับวิธีการหาค่าพลังงาน [2] และการหาค่าความแปรปรวน [3] ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบระยะทางในทุกๆแบบ วิธีที่นำเสนอให้ประสิทธิภาพการค้นคืนภาพที่ดีกว่าทั้ง 2 วิธีที่นำมาเปรียบเทียบ โดยดูจากค่าเฉลี่ย ANMRR ซึ่งมีค่าต่ำกว่าวิธีการหาค่าพลังงาน และค่าความแปรปรวน

ตารางที่ 2 ผลเฉลี่ยค่า ANMRR ของทุกกลุ่ม

วิธี	ระยะทาง L_1	ระยะทาง D_1	ระยะทาง S_1
วิธีที่นำเสนอ	0.4257	0.4230	0.4885
พลังงาน	0.5375	0.4739	0.5094
ความแปรปรวน	0.5685	0.5246	0.5459

6. สรุปผลการทดลองและงานที่จะทำต่อไป

ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างดัชนีการค้นคืนภาพโดยอาศัยการกำหนดบริบทซึ่งประยุกต์มาจากการเข้ารหัสแบบมีนัยสำคัญใน JPEG2000 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่นำเสนอให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ดีกว่าวิธีการหาค่าพลังงานและค่าความแปรปรวน โดยในการพัฒนาต่อเนือง จะใช้เทคนิคที่นำเสนอร่วมกับลักษณะเฉพาะของภาพแบบอื่น เพื่อให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

เอกสารอ้างอิง

[1] G. Voulgaris and J. Jiang, "Texture Based Image Retrieval in Wavelets Compressed Domain", *IEEE Image Processing, Proceedings International Conference on Volume 2*, PP. 125 - 128, 7-10 Oct. 2001.

[2] Rucy-Feng Chang, Wen-Jia Kuo and Hung-Chi Tsai, "Image retrieval on uncompressed and Compressed Domains", *IEEE Image Processing, Proceedings 2000 International Conference on Volume 2*, PP. 546 - 549, 10-13 Sept. 2000.

[3] Ziyou Xiong and Thomas S. Huang, "Wavelet Based Texture Feature Can be Extracted Efficiently from Compressed Domain for JPEG2000 Coded Images", *IEEE Image Processing, Proceedings International Conference on Volume 1*, PP.481 - 484, 22-25 Sept. 2002.

[4] A. Skodras, C. Christopoulos, T. Ebrahimi, "The JPEG 2000 Still Image Compression Standard", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 36-60, September 2001.

[5] M. W. Marcellin and D. S. Taubman, "Jpeg2000: Image Compression Fundamentals, Standards, and Practice", *Kluwer International Series in Engineering and Computer Science*, Secs 642.

[6] P. Skulsujirapa, S. Aramvith and S. Siddhichai, "Performance Analysis of Image Retrieval System Using Color Histogram and Color Correlogram", *EECON-26th*, November 2003, pp.1087-1092.

[7] P. Skulsujirapa, S. Aramvith and S. Siddhichai, "Development of Digital Image Retrieval Technique Using Autocorrelogram and Wavelet Based Texture", in the proceeding of the 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuit and Systems, July 2004, pp.273-276.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนาวิน อังกระ เกิดวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2542 ซึ่งสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 โดยได้รับทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยจากสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย