

การพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ฮอตคอร์รีโลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต



นางสาวภาสวรรณ สกุลสุจิราภา

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6172-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF DIGITAL IMAGE RETRIEVAL TECHNIQUE USING AUTOCORRELOGRAM
AND WAVELET TRANSFORM

Miss Passawan Skulsujirapa



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

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6172-4

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ฮอตโคจรีไลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต |
| โดย | นางสาวภาสวรรณ สกุลสุจิราภา |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมไฟฟ้า |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ดร.ศุภกร สิทธิไชย |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... 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)

นางสาวภาสวรรณ สุกุลสุจิราภา : การพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ออโตคอร์รีโวลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต. (DEVELOPMENT OF DIGITAL IMAGE RETRIEVAL TECHNIQUE USING AUTOCORRELOGRAM AND WAVELET TRANSFORM)
 อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อร่ามวิทย์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ศุภกร สิทธิไชย,
 162 หน้า. ISBN 974-17-6172-4.

ปัจจุบันข้อมูลสื่อประสม เช่น ภาพดิจิทัลและวีดิทัศน์ดิจิทัล มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบการค้นคืนภาพจึงมีบทบาทสำคัญในงานประยุกต์หลาย ๆ ด้าน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้การค้นคืนภาพจากชื่อแฟ้มหรือคำอธิบายเกี่ยวกับรูปภาพ ซึ่งไม่ใช่ลักษณะเฉพาะของภาพจริง ๆ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ ประกอบด้วยสี, รูปร่างและพื้นผิว อย่างไรก็ตาม การใช้ลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งจะมีประสิทธิภาพที่ดีในการค้นคืนภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพเท่านั้น เนื่องจากมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพแต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี, ออโตคอร์รีโวลแกรม, ฮิสโตแกรมของขอบและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต และได้นำเสนอเทคนิคการค้นคืนภาพโดยใช้ออโตคอร์รีโวลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ ซึ่งประเมินได้จากค่า ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank) จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอมีประสิทธิภาพเชิงความถูกต้องในการค้นคืนภาพดีกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน โดยเทคนิคการค้นคืนภาพที่นำเสนอนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการที่จำเป็นเพื่อการพัฒนา ระบบการค้นคืนภาพต่อไป

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570468121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: IMAGE RETRIEVAL / AUTOCORRELOGRAM / WAVELET TRANSFORM / S_1 DISTANCE / ANMRR

PASSAWAN SKULSUJIRAPA : DEVELOPMENT OF DIGITAL IMAGE RETRIEVAL TECHNIQUE USING AUTOCORRELOGRAM AND WAVELET TRANSFORM THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUPAVADEE ARAMVITH, Ph.D., THESIS COADVISOR : SUPAKORN SIDDHICHAI, Ph.D., 162 pp. ISBN 974-17-6172-4.

Presently the demand of multimedia information such as digital images rapidly increases. Thus, image retrieval plays a vital role in several applications. Typically the basic representation of images is by using text, such as file name or image caption, which may not necessarily represent the specific feature of that image. In this regard, there is a development of image retrieval techniques by representing specific low level image features such as color, texture, and shape. Nevertheless, each feature offers the best performance in retrieving only some image categories. Using only a single image feature for retrieval may lack sufficiently discriminatory information to distinguish among different image categories. Thus it results in the inability to retrieve the correct image according to the needs of the users. In this thesis, we have investigated and analyzed the performance of color histogram, autocorrelogram, edge histogram, and wavelet based texture methods. We then propose a feature integration of the autocorrelogram and wavelet based texture to improve the performance of the image retrieval technique evaluated by ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank). Experimental results suggest that the proposed integration technique offers much better performance in term of retrieval accuracy than using each feature separately. The proposed technique will be considered as a necessary step toward the development of image retrieval system.

Department..... Electrical EngineeringStudent's signature.....
 Field of study..... Electrical EngineeringAdvisor's signature.....
 Academic year... 2004Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบคุณ สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้ความสนับสนุนในส่วนของทุนสำหรับทำงานวิจัย ซึ่งทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยความราบรื่น รวมถึงคุณวิภาดาและคุณจันทริกา ผู้ซึ่งให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการติดต่อประสานงานเรื่องต่าง ๆ กับทางสถาบัน

กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ผู้ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้รับแต่สิ่งดี ๆ เสมอมา ขอบพระคุณสำหรับความรัก ความห่วงใยที่ไม่เคยลดน้อยลงเลย

ขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคน ผู้วิจัยได้รู้จักไม่ว่าจะเป็นภายในห้องปฏิบัติการ วรรณวิธีสัญญาณดิจิทัลหรือที่ใดก็ตาม สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำและกำลังใจที่มีค่า ทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จสิ้นได้ในที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง | ฎ |
| สารบัญภาพ..... | ฏ |
| ดัชนีคำศัพท์..... | ด |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 แนวเหตุผลและความเป็นมา | 1 |
| 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 2 |
| 1.2.1 ระบบ QBIC (Query By Image Content) | 2 |
| 1.2.2 ระบบ WebSEEk..... | 3 |
| 1.2.3 ระบบ VisualSEEk | 3 |
| 1.2.4 ระบบ MIT's Photobook | 3 |
| 1.2.5 ระบบ BlobWorld | 4 |
| 1.2.6 ระบบ NETRA..... | 4 |
| 1.2.7 ระบบ Chabot..... | 4 |
| 1.2.8 ระบบ SaFe (Spatial and Feature Query System) | 4 |
| 1.3 ระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ | 5 |
| 1.4 เทคนิคที่น่าสนใจ..... | 5 |
| 1.5 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... | 6 |
| 1.6 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... | 6 |
| 1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน | 6 |
| 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 6 |
| 2. ความรู้พื้นฐาน..... | 7 |
| 2.1 ภาพดิจิทัล (Digital Image)..... | 7 |
| 2.1.1 รูปแบบของภาพ (Image Format)..... | 7 |

| บทที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1.2 ความละเอียดของภาพ (Image Resolution)..... | 8 |
| 2.2 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ..... | 9 |
| 2.2.1 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ | 9 |
| 2.2.2 การสร้างดัชนีภาพ..... | 10 |
| 2.2.3 การค้นคืนภาพ..... | 10 |
| 2.2.4 การสอบถาม (Querying) | 11 |
| 2.3 ลักษณะเฉพาะของภาพ..... | 12 |
| 2.3.1 สี..... | 12 |
| 2.3.1.1 แบบจำลองสี (color model) | 13 |
| 2.3.1.2 ฮิสโตแกรมของสี..... | 14 |
| 2.3.1.3 Color set..... | 16 |
| 2.3.1.4 CCVs (Color Coherence Vectors) | 17 |
| 2.3.1.5 คอรีโวลูแกรมของสี | 20 |
| 2.3.1.6 ออโตคอรีโวลูแกรม | 23 |
| 2.3.2 รูปร่าง (Shape)..... | 24 |
| 2.3.2.1 การตรวจหาขอบวัตถุภายในภาพ | 26 |
| 2.3.2.2 ตัวกรองขอบวัตถุ (edge filter) | 29 |
| 2.3.2.3 ฮิสโตแกรมของขอบ | 36 |
| 2.3.3 พื้นผิว (Texture) | 39 |
| 2.3.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิว | 40 |
| 2.3.3.2 การแปลงเวฟเล็ต..... | 41 |
| 2.3.3.3 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 53 |
| 2.4 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Feature vector comparison) | 55 |
| 2.4.1 ระยะทาง L_1 (L_1 distance) | 55 |
| 2.4.2 ระยะทาง D_1 (D_1 distance)..... | 56 |
| 2.4.3 ระยะทาง S_1 (S_1 distance)..... | 58 |
| 2.5 การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ | 61 |
| 2.5.1 r -measure และ p_1 -measure | 62 |

สารบัญ (ต่อ)

ณ

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.5.2 Precision และ recall | 63 |
| 2.5.3 ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank)..... | 64 |
| 3. เทคนิคที่นำเสนอ | 66 |
| 3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีอโตคอรี่โลแกรม | 66 |
| 3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 68 |
| 3.3 การรวมลักษณะเฉพาะ (Feature integration)..... | 69 |
| 4. ผลการทดลอง | 71 |
| 4.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรี่โลแกรม รวมทั้งวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ | 71 |
| 4.2 การทดลองที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของวิธีฮิสโตแกรมของสี และอโตคอรี่โลแกรม ด้วย Precision และ recall | 78 |
| 4.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของวิธีฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรี่โลแกรมด้วย ANMRR | 88 |
| 4.4 การทดลองที่ 4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ..... | 92 |
| 4.5 การทดลองที่ 5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของวิธีฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรี่โลแกรมที่พิจารณาเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ | 94 |
| 4.6 การทดลองที่ 6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรมของสี, อโตคอรี่โลแกรม, ฮิสโตแกรมของขอบและการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 98 |
| 4.7 การทดลองที่ 7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน | 106 |
| 4.8 การทดลองที่ 8 วิเคราะห์ถึงผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนักที่มีต่อประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพของเทคนิคที่ใช้ฮิสโตแกรมของสีร่วมกับวิธีการแปลงเวฟเล็ต..... | 116 |
| 4.9 การทดลองที่ 9 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ ของวิธีอโตคอรี่โลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 118 |

สารบัญ (ต่อ)

ญ

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.10 การทดลองที่ 10 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern) ของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีออกโตคอร์รีโลแกรม และวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต..... | 122 |
| 4.11 การทดลองที่ 11 วิเคราะห์ถึงผลกระทบของจำนวนฐานข้อมูลภาพและจำนวนการสอบถามที่มีต่อค่า ANMRR..... | 126 |
| 4.12 การทดลองที่ 12 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีออกโตคอร์รีโลแกรมที่เซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ (k) ต่าง ๆ..... | 130 |
| 4.13 การทดลองที่ 13 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดต่าง ๆ | 133 |
| 4.14 การทดลองที่ 14 ปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้เทคนิคการค้นคืนภาพที่ใช้วิธีออกโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด..... | 135 |
| 4.15 สรุปการทดลอง..... | 139 |
| 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 141 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 141 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต | 142 |
| รายการอ้างอิง | 143 |
| ภาคผนวก..... | 146 |
| บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่..... | 147 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 162 |

สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่เชื่อมติดกันของจุดภาพในภาพ / | 19 |
| ตารางที่ 2.2 ค่า และ ของแต่ละถังสี..... | 19 |
| ตารางที่ 2.3 ฮิสโตแกรมของสีของภาพ..... | 59 |
| ตารางที่ 4.1 ค่า r -measure และ p_1 -measure ของแต่ละวิธี (การทดลองที่ 1)..... | 77 |
| ตารางที่ 4.2 ค่า Precision เฉลี่ยจากจำนวนการสอบถาม 20 ภาพ ที่จำนวนภาพที่ค้นคืน มาเท่ากับ 100 ภาพของวิธีฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรม..... | 87 |
| ตารางที่ 4.3 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR (การทดลองที่ 3) | 89 |
| ตารางที่ 4.4 ค่า ANMRR ของวิธีฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรม (การทดลองที่ 3)..... | 91 |
| ตารางที่ 4.5 ค่า r -measure เฉลี่ยจากจำนวนภาพสอบถาม 50 ภาพเปรียบเทียบระหว่าง วิธีที่คำนวณทั้งภาพกับวิธีที่คำนวณเฉพาะตรงกลางภาพ | 93 |
| ตารางที่ 4.6 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR (การทดลองที่ 6) | 99 |
| ตารางที่ 4.7 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพด้วย ANMRR (การทดลองที่ 6) | 100 |
| ตารางที่ 4.8 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR (การทดลองที่ 7) | 107 |
| ตารางที่ 4.9 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพของแต่ละวิธี (การทดลองที่ 7) | 109 |
| ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า ANMRR ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าต่าง ๆ (การทดลองที่ 8)..... | 117 |
| ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่า ANMRR ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าต่าง ๆ (การทดลองที่ 14)..... | 137 |

สารบัญภาพ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ | 9 |
| รูปที่ 2.2 ฮิสโตแกรมของสีของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพตัวอย่าง (ข) ฮิสโตแกรมของสีแดง (ค) ฮิสโตแกรมของสีเขียว (ง) ฮิสโตแกรมของสีน้ำเงิน | 15 |
| รูปที่ 2.3 สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างจุดภาพ p_1 และ p_2 | 20 |
| รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการพิจารณาจุดภาพที่ระยะ k เท่ากับ 1 | 22 |
| รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการพิจารณาจุดภาพที่ระยะ k เท่ากับ 2 | 22 |
| รูปที่ 2.6 ภาพตัวอย่างที่มีฮิสโตแกรมของสีเหมือนกัน (ก) ภาพที่ 1 (image 1) (ข) ภาพที่ 2 (image 2) | 24 |
| รูปที่ 2.7 ออกโตคอร์รีโลแกรมของภาพตัวอย่างในรูปที่ 2.6 | 24 |
| รูปที่ 2.8 ขอบของภาพในแนวนอน (ก) ภาพอุดมคติ (ideal image) (ข) ภาพจริง (real image) (ค) ขอบภาพอุดมคติ (ideal edge) (ง) ขอบภาพจริง (real edge) | 25 |
| รูปที่ 2.9 อนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองของฟังก์ชันใน 1 มิติ | 26 |
| รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการตรวจหาขอบวัตถุ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพขอบวัตถุ | 29 |
| รูปที่ 2.11 ภาพขอบวัตถุที่ได้จากตัวกรองขอบวัตถุแบบต่าง ๆ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพขอบวัตถุแบบ Roberts (ค) ภาพขอบวัตถุแบบ Sobel (ง) ภาพขอบวัตถุแบบ Prewitt (จ) ภาพขอบวัตถุแบบ LoG (ฉ) ภาพขอบวัตถุแบบ Canny | 36 |
| รูปที่ 2.12 ฮิสโตแกรมของขอบของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพตัวอย่าง (ข) ฮิสโตแกรมของขอบ | 37 |
| รูปที่ 2.13 ชนิดของขอบวัตถุ (ก) ขอบแนวตั้ง (ข) ขอบแนวนอน (ค) ขอบแนว 45 องศา (ง) ขอบแนว 135 องศา (จ) ขอบแบบไม่กำหนดทิศทาง | 37 |
| รูปที่ 2.14 ภาพขอบวัตถุแต่ละชนิดของภาพรถประจำทาง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพขอบ วัตถุแนวตั้ง (ค) ภาพขอบวัตถุแนวนอน (ง) ภาพขอบวัตถุแนว 45 องศา (จ) ภาพขอบวัตถุแนว 135 องศา (ฉ) ภาพขอบวัตถุแบบไม่กำหนดทิศทาง | 38 |
| รูปที่ 2.15 พื้นผิวของภาพ (ก) ภาพที่มี 1 พื้นผิว (ข) ภาพที่มี 2 พื้นผิว (ค) ภาพที่มี 3 พื้นผิว | 39 |
| รูปที่ 2.16 ลักษณะของฟังก์ชันเวฟเล็ตชนิด Daubechies8 | 41 |
| รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ | 43 |
| รูปที่ 2.18 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ | 43 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

ฐ

| | หน้า |
|--|------|
| ภาพประกอบ | หน้า |
| รูปที่ 2.19 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตของภาพ | 43 |
| รูปที่ 2.20 กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ตของภาพ | 44 |
| รูปที่ 2.21 การแปลงเวฟเล็ต 1 ระดับ (level) ความละเอียดของภาพ..... | 45 |
| รูปที่ 2.22 การแปลงเวฟเล็ตของภาพตัวอย่างโดยใช้เวฟเล็ตชนิด Daubechies (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต (ค) ภาพย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต | 46 |
| รูปที่ 2.23 การแปลงกลับเวฟเล็ตของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพสังเคราะห์ (PSNR = 314.44 dB, MSE = 2.02e-027) | 48 |
| รูปที่ 2.24 โครงสร้างภาพพีระมิด | 49 |
| รูปที่ 2.25 ตัวอย่างภาพพีระมิดที่มี 4 ระดับความละเอียด | 49 |
| รูปที่ 2.26 การแปลงเวฟเล็ตของภาพแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียด..... | 50 |
| รูปที่ 2.27 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด | 50 |
| รูปที่ 2.28 กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบพีระมิด | 51 |
| รูปที่ 2.29 การแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียดของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต (ค) ภาพย่อยที่ได้จาก การแปลงเวฟเล็ต..... | 52 |
| รูปที่ 2.30 การแปลงกลับเวฟเล็ตแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียดของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพสังเคราะห์ (PSNR =305.08 dB, MSE = 1.74e-026).... | 53 |
| รูปที่ 2.31 ฮิสโตแกรมของสีของภาพ 2 ภาพ..... | 59 |
| รูปที่ 4.1 ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮิสโตแกรมของสีและอโตคอร์รีโลแกรม (ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพที่ค้นคืนมาได้จากทั้งสองวิธี | 72 |
| รูปที่ 4.2 ผลการค้นคืนภาพที่มีความเปรียบต่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2 | 73 |
| รูปที่ 4.3 ผลการค้นคืนภาพที่มีความสว่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2 | 74 |
| รูปที่ 4.4 ผลการค้นคืนภาพที่มีพื้นหลังเปลี่ยนแปลงไป (ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพเป้าหมาย | 75 |

| | |
|---|------|
| ภาพประกอบ | หน้า |
| รูปที่ 4.5 ผลการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการหมุน รวมถึงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ (การทดลองที่ 1)..... | 76 |
| รูปที่ 4.6 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มด้วยวิธี Precision และ recall (ก) ภาพคน (ข) ภาพทะเล (ค) ภาพอาคาร (ง) ภาพรถ (จ) ภาพไดโนเสาร์ (ฉ) ภาพช้าง (ช) ภาพอวกาศ (ซ) ภาพดวงอาทิตย์ (ณ) ภาพดอกไม้ (ญ) ภาพผีเสื้อ..... | 79 |
| รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย Precision และ recall จากจำนวนการสอบถาม 20 ภาพ..... | 86 |
| รูปที่ 4.8 กราฟค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (การทดลองที่ 3)..... | 90 |
| รูปที่ 4.9 ผลการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการหมุน รวมถึงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ (การทดลองที่ 4)..... | 93 |
| รูปที่ 4.10 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (การทดลองที่ 5) | 95 |
| รูปที่ 4.11 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่คำนวณทั้งภาพ กับวิธีที่คำนวณเฉพาะตรงกลางภาพ | 96 |
| รูปที่ 4.12 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพของแต่ละวิธี (การทดลองที่ 6)..... | 99 |
| รูปที่ 4.13 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสี (ข) ออโตคอรัลโแกรม (ค) ฮิสโตแกรมของขอบ (ง) การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (การทดลองที่ 6) | 100 |
| รูปที่ 4.14 ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยวิธีต่าง ๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสี (ข) ออโตคอรัลโแกรม (ค) ฮิสโตแกรมของขอบ (ง) การวิเคราะห์พื้นผิวด้วย เวฟเล็ต (การทดลองที่ 6) | 102 |
| รูปที่ 4.15 ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยวิธีต่าง ๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสี (ข) ออโตคอรัลโแกรม (ค) ฮิสโตแกรมของขอบ (ง) การวิเคราะห์พื้นผิวด้วย เวฟเล็ต (การทดลองที่ 6) | 103 |
| รูปที่ 4.16 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพของแต่ละวิธี (การทดลองที่ 7)..... | 108 |
| รูปที่ 4.17 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยวิธีต่าง ๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสีและฮิสโตแกรมของขอบ (ข) ออโตคอรัลโแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ (ค) ฮิสโตแกรมของสีและการ วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (ง) ออโตคอรัลโแกรมและการวิเคราะห์พื้นผิว ด้วยเวฟเล็ต (การทดลองที่ 7) | 109 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

ตม

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.18 ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยวิธีต่าง ๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสีและฮิสโตแกรมของขอบ (ข) ฮอโตคอรีโโลแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ (ค) ฮิสโตแกรมของสีและการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (ง) ฮอโตคอรีโโลแกรมและการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (การทดลองที่ 7) | 111 |
| รูปที่ 4.19 ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยวิธีต่าง ๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสีและฮิสโตแกรมของขอบ (ข) ฮอโตคอรีโโลแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ (ค) ฮิสโตแกรมของสีและการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (ง) ฮอโตคอรีโโลแกรมและการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (การทดลองที่ 7) | 113 |
| รูปที่ 4.20 ผลการค้นคืนภาพที่มีความเปรียบต่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2 (การทดลองที่ 9) | 118 |
| รูปที่ 4.21 ผลการค้นคืนภาพที่มีความสว่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย (ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2 (การทดลองที่ 9) | 119 |
| รูปที่ 4.22 ผลการค้นคืนภาพที่มีพื้นหลังเปลี่ยนแปลงไป (ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพเป้าหมาย (การทดลองที่ 9) | 121 |
| รูปที่ 4.23 ผลการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ (การทดลองที่ 9) | 121 |
| รูปที่ 4.24 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 1 (ก) วิธีฮอโตคอรีโโลแกรม (ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 123 |
| รูปที่ 4.25 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 2 (ก) วิธีฮอโตคอรีโโลแกรม (ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 123 |
| รูปที่ 4.26 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 3 (ก) วิธีฮอโตคอรีโโลแกรม (ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 124 |
| รูปที่ 4.27 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 4 (ก) วิธีฮอโตคอรีโโลแกรม (ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 125 |
| รูปที่ 4.28 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 5 (ก) วิธีฮอโตคอรีโโลแกรม (ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต | 125 |
| รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า ANMRR กับจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับภาพสอบถามกลุ่มที่ 1 | 127 |

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ณ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่า ANMRR กับจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับ ภาพสอบถามกลุ่มที่ 2..... | 128 |
| รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบค่า ANMRR กับจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับ ภาพสอบถามกลุ่มที่ 3..... | 128 |
| รูปที่ 4.32 การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR สำหรับ จำนวนการสอบถามเท่ากับ 5% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ..... | 129 |
| รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบค่า ANMRR ของวิธีที่ใช้ขอโตคอรรีโกลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์ พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต สำหรับจำนวนการสอบถามที่แตกต่างกัน..... | 130 |
| รูปที่ 4.34 การวัดประสิทธิภาพของวิธีขอโตคอรรีโกลแกรมที่ใช้เซตของค่า k ต่าง ๆ กัน ด้วย ANMRR..... | 132 |
| รูปที่ 4.35 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ สำหรับเซตของค่า k ต่าง ๆ | 132 |
| รูปที่ 4.36 การวัดประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับ ความละเอียดต่าง ๆ..... | 134 |
| รูปที่ 4.37 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ สำหรับการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับ ความละเอียดต่าง ๆ..... | 135 |
| รูปที่ 4.38 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพสำหรับวิธีที่ใช้ขอโตคอรรีโกลแกรมร่วมกับ วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่าง ๆ | 137 |
| รูปที่ 4.39 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ สำหรับวิธีที่ใช้ขอโตคอรรีโกลแกรมร่วมกับ วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่าง ๆ | 138 |
| รูปที่ 4.40 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพเปรียบเทียบระหว่างวิธีขอโตคอรรีโกลแกรมที่ ใช้ $k_{\max} = 9$ กับการแปลงเวฟเล็ต 3 ระดับความละเอียดและวิธีขอโตคอรรีโกล แกรมที่ใช้ $k_{\max} = 5$ กับการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียดที่ค่าถ่วง น้ำหนักซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุด | 138 |

ดัชนีคำศัพท์

| | |
|---------------------------|--------------------------------|
| augmented color histogram | ฮิสโตแกรมของสีที่มีการปรับปรุง |
| autocorrelogram | ออโตคอรีโลแกรม |
| bin | ถังสี |
| binary image | ภาพลักษณะฐานสอง |
| binary masks | ตัวพรางฐานสอง |
| bit | บิต |
| brightness | ความสว่าง |
| caption | คำบรรยายภาพ |
| channel | แชนเนล |
| coherent pixel | จุดภาพที่เชื่อมติดกัน |
| color correlogram | คอรีโลแกรมของสี |
| color histogram | ฮิสโตแกรมของสี |
| color manipulation | การจัดการสี |
| color model | แบบจำลองสี |
| color space | ปริภูมิสี |
| connected component | องค์ประกอบที่เชื่อมติดกัน |
| contrast | ความเปรียบต่าง |
| convolution | คอนโวลูชัน |
| D_1 distance | ระยะทาง D_1 |
| digital image library | ห้องสมุดภาพดิจิทัล |
| digital image retrieval | การค้นคืนภาพดิจิทัล |
| dominant color | สีที่เด่น |
| downsampling | การลดการชักตัวอย่าง |
| edge filter | ตัวกรองขอบวัตถุ |
| edge histogram | ฮิสโตแกรมของขอบ |
| feature extraction | การแยกลักษณะเฉพาะ |
| feature integration | การรวมลักษณะเฉพาะ |
| feature vector | เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ |

| | |
|----------------------------|--|
| feature vector comparison | การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ |
| filter | ตัวกรอง |
| filter banks | ฟิลเตอร์แบงก์ |
| gradient image | ภาพเกรเดียนต์ |
| grayscale image | ภาพระดับเทา |
| hysteresis thresholding | การกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบฮิสเทอรีซิส |
| ideal edge | ขอบภาพอุดมคติ |
| ideal image | ภาพอุดมคติ |
| image feature | ลักษณะเฉพาะของภาพ |
| image format | รูปแบบของภาพ |
| image indexing | การสร้างดัชนีภาพ |
| image processing algorithm | ขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพ |
| image resolution | ความละเอียดของภาพ |
| image segmentation | การแยกส่วนภาพ |
| incoherent pixel | จุดภาพที่ไม่เชื่อมติดกัน |
| kernel | เคอร์เนล |
| L_1 distance | ระยะทาง L_1 |
| mask | ตัวพราง |
| mask coefficient | สัมประสิทธิ์ตัวพราง |
| mother wavelet | เวฟเล็ตแม่ |
| multimedia information | ข้อมูลสื่อประสม |
| multiresolution analysis | การวิเคราะห์หลายระดับความละเอียด |
| non-homogeneous regions | บริเวณที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน |
| non-maximum suppression | การกำจัดค่าที่ไม่สูงสุด |
| normalize | ทำให้เป็นบรรทัดฐาน |
| pixel | จุดภาพ |
| preprocessing | การประมวลผล(ผล)ก่อนหน้า |

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| pyramidal wavelet transform | การแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด |
| quantization | การควอนไทซ์ |
| query | สอบถาม |
| query image | ภาพสอบถาม |
| rank | ลำดับที่ |
| real edge | ขอบภาพจริง |
| real image | ภาพจริง |
| relevance feedback | การป้อนกลับจากผู้ใช้ |
| S_1 distance | ระยะทาง S_1 |
| sampling rate | อัตราการชักตัวอย่าง |
| spatial correlation | สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ |
| spatial information | ข้อมูลเชิงพื้นที่ |
| spatial layout | ผังเชิงพื้นที่ |
| subband | แถบย่อย |
| subimage | ภาพย่อย |
| subset | เซตย่อย |
| subspace | ปริภูมิย่อย |
| target image | ภาพเป้าหมาย |
| texture | พื้นผิว |
| texture pattern | แบบพื้นผิว |
| threshold | ขีดเริ่มเปลี่ยน |
| wavelet coefficient | สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต |
| wavelet decomposition | การกระจายเวฟเล็ต |
| wavelet reconstruction | การสร้างกลับเวฟเล็ต |
| wavelet transform | การแปลงเวฟเล็ต |
| weighted value | ค่าถ่วงน้ำหนัก |
| weighting | การถ่วงน้ำหนัก |
| zero-crossing | จุดผ่านศูนย์ |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและความเป็นมา

ในปัจจุบันนี้ ข้อมูลสื่อประสม (Multimedia Information) เช่น ภาพดิจิทัลและวีดิทัศน์ดิจิทัล เริ่มมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย จึงส่งผลให้ฐานข้อมูลสื่อประสมมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย การค้นคืนข้อมูลภาพที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับผู้ใช้งาน

เทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะเป็นการค้นคืนภาพจากชื่อแฟ้ม (file name) หรือใช้คำอธิบายเกี่ยวกับรูปภาพ (image caption) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่ใช่ลักษณะเฉพาะของภาพจริง ๆ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับระบบที่มีฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เนื่องด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ ประการแรก การให้คำจำกัดความภาพขึ้นอยู่กับผู้ใช้แต่ละคน ซึ่งอาจจะไม่ตรงกันเสมอไป ประการที่สอง เมื่อฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้น การให้คำจำกัดความภาพแต่ละภาพโดยใช้คำเพียงไม่กี่คำนั้นเป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ในฐานข้อมูลบางประเภทอาจประกอบด้วยภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันหลายภาพ เช่น ฐานข้อมูลภาพทางชีววิทยา ซึ่งประกอบด้วยภาพผีเสื้อหลาย ๆ ชนิด เป็นต้น และประการสุดท้าย คือ วิธีการดังกล่าวยังต้องอาศัยมนุษย์ช่วยในส่วนของการให้คำจำกัดความของภาพ ซึ่งต้องใช้เวลาค่อนข้างมากสำหรับฐานข้อมูลขนาดใหญ่

เนื่องจากอุปสรรคดังกล่าวข้างต้น จึงได้มีผู้เสนอแนวความคิดในการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพจากลักษณะเฉพาะของภาพ [3] เช่น ลักษณะของสี (color), รูปร่าง (shape) และพื้นผิว (texture) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ ทำให้สามารถค้นคืนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันระบบค้นคืนภาพดิจิทัลเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญในงานหลาย ๆ ด้าน [10] เช่น

- งานด้านการศึกษา ใช้ในการค้นหาข้อมูลภาพหรือวีดิทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในสาขาวิชาต่าง ๆ
- งานด้านสถาปัตยกรรม และการตกแต่งภายใน เช่น การหาภาพวาดเพื่อใช้ในการตกแต่งห้อง โดยอาจใช้สีของห้องในการค้นคืนภาพ เป็นต้น

- งานด้านการแพทย์ ใช้ในการจัดเก็บและค้นคืนภาพถ่ายทางการแพทย์ เช่น ภาพจากการฉายรังสีเอ็กซ์ (X-ray image), เอ็มอาร์ไอ (Magnetic Resonance Imaging : MRI) ซึ่งเป็นภาพที่ถูกสร้างขึ้นด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็ก รวมถึงการใช้เพื่อค้นหาตำราทางการแพทย์ซึ่งส่วนใหญ่จะบรรจุภาพส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเอาไว้
- ห้องสมุดภาพดิจิทัล (digital image library) เป็นต้น

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะทางสีที่นิยมใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ [2], [4] ,[8] ได้แก่ ฮิสโตแกรมของสี (color histogram) เนื่องจากสามารถคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว แต่จะมีเฉพาะข้อมูลการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้น และเพื่อให้สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้นจึงได้มีการนำเสนอ color set [12] ซึ่งเป็นตัวพรางฐานสอง (binary masks) ของฮิสโตแกรมของสี นอกจากนี้ในงานวิจัย [15] ได้นำเสนอ CCVs (Color Coherence Vectors) ซึ่งเป็นฮิสโตแกรมของสีที่มีการเพิ่มข้อมูลเชิงพื้นที่เข้ามา ทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ก็ยังด้อยกว่าคอคอริโลแกรมของสีและฮิสโตแกรมเชิงเส้นโดย [7] สำหรับรูปร่างสามารถอธิบายได้ด้วยฮิสโตแกรมของขอบซึ่งเสนอโดย [28] ส่วนพื้นผิวของภาพนิยมวิเคราะห์โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ต [10], [21], [22] เนื่องจากสามารถวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงความถี่และระดับความละเอียดที่สนใจได้ โดยสามารถพิจารณารายละเอียดต่าง ๆ ได้ในบทที่ 2

ปัจจุบันได้มีการคิดค้นและพัฒนาระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพกันอย่างแพร่หลาย ทั้งที่เป็นระบบเชิงพาณิชย์และระบบเชิงวิจัยต้นแบบ (prototype research system) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงบางระบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1.2.1 ระบบ QBIC (Query By Image Content)

ระบบ QBIC [3] 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 [3], [16] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ซึ่งเป็นระบบค้นคืนภาพและวิดิทัศน์ด้วยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้งานบนเว็บ (World Wide Web) โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี (ฮิสโตแกรมของสี) , ผังเชิงพื้นที่ (spatial layout) และพื้นผิวนอกจากนี้ยังสนับสนุนการป้อนกลับจากผู้ใช้ (relevance feedback) เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพและวิดิทัศน์ให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

1.2.3 ระบบ VisualSEEk

ระบบ VisualSEEk [3], [17] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบอีกระบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี และตำแหน่งเชิงพื้นที่ (spatial location) ของบริเวณสี (color region) ซึ่งสามารถใช้ในการสอบถามได้หลายวิธี เช่น การระบุสี, ขนาดหรือผังเชิงพื้นที่ของบริเวณสี โดยผู้ใช้สามารถร่างแบบภาพเพื่อใช้ในการสอบถามได้ จากนั้นระบบจะทำการค้นคืนภาพที่มีการจัดเรียงบริเวณสีคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา

1.2.4 ระบบ MIT's Photobook

ระบบ MIT's Photobook [3], [18] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยห้องปฏิบัติการสื่อเทคโนโลยีแห่งสถาบันแมสซาชูเซตส์ (The Massachusetts Institute of Technology Media Laboratory) มีการใช้เครื่องมือเชิงโต้ตอบ (interactive tool) ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการค้นดู (browsing) และค้นคืนภาพและวิดิทัศน์ โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบประกอบด้วย สี, รูปร่างและพื้นผิว

1.2.5 ระบบ BlobWorld

ระบบ BlobWorld [3], [19] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย, เบิร์กลีย์ (The University of California, Berkeley) ระบบสามารถ แยกส่วนภาพแต่ละภาพออกเป็นบริเวณหลาย ๆ บริเวณ ซึ่งสมนัย (correspond) โดยประมาณ กับวัตถุหรือส่วนต่าง ๆ ของวัตถุภายในภาพนั้น โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบ ประกอบด้วย สี, รูปร่าง และพื้นผิว

1.2.6 ระบบ NETRA

ระบบ NETRA [3] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (University of California Santa Barbara) สนับสนุนการใช้สี, รูปร่าง, ผังเชิงพื้นที่ และพื้นผิวเป็น ลักษณะเฉพาะของภาพในการแยกส่วนบริเวณภาพเพื่อใช้ในการค้นหาและค้นคืนภาพที่ต้องการ จากฐานข้อมูลภาพ

1.2.7 ระบบ Chabot

ระบบ Chabot [3] เป็นระบบค้นคืนภาพที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย แคลิฟอร์เนีย, เบิร์กลีย์ (The University of California, Berkeley) มีการใช้ระบบจัดการ ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational DataBase Management System : RDBMS) ในการจัดเก็บ และจัดการภาพในฐานข้อมูล เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานสำหรับฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในระบบ คือ ฮิสโตแกรมของสี การพัฒนาระบบ Chabot นี้มี วัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้ง่ายยิ่งขึ้น, สามารถจัดเก็บฐานข้อมูลภาพที่มี ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มความยืดหยุ่นสำหรับวิธีการสอบถาม

1.2.8 ระบบ SaFe (Spatial and Feature Query System)

ระบบ SaFe [3], [20] เป็นระบบเชิงวิจัยต้นแบบที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคณะ วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ระบบจะทำการค้นหาและ เปรียบเทียบความแตกต่างของภาพโดยใช้การจัดเรียงเชิงพื้นที่ของวัตถุหรือบริเวณภายในภาพ ซึ่ง ผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่, ขนาดและสีของวัตถุหรือบริเวณแต่ละส่วนภายในภาพเพื่อ ใช้ในการสอบถามได้

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

1.3 ระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ

ระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นระบบค้นคืนภาพที่อาศัยลักษณะเฉพาะของภาพ เช่น สี, รูปร่างหรือพื้นผิวของวัตถุภายในภาพ ในการจัดเก็บและค้นคืนภาพ โดยระบบจะทำการแยกลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพในฐานข้อมูลออกมา ซึ่งจะอยู่รูปของค่าที่เป็นตัวเลขที่เรียกว่า เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (feature vector) เพื่อใช้เป็นดัชนีภาพสำหรับการจัดเก็บภาพในฐานข้อมูล เมื่อต้องการค้นคืนภาพ ผู้ใช้จะทำการเลือกภาพสอบถาม จากนั้นระบบจะทำการดึงเอาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามออกมา และนำไปเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพในฐานข้อมูล เพื่อค้นคืนภาพที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา

1.4 เทคนิคที่นำเสนอ

การค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งนั้น จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพเท่านั้น เนื่องจากมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพแต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะคล้ายกันก็มากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีมาใช้ร่วมกัน โดยมีการถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละวิธี ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอประกอบด้วยออกโตคอร์รีโดแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

1.5 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยภาพ โดยการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของภาพ (image feature) ซึ่งประกอบด้วย สี (color) และพื้นผิว (texture)

1.6 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

ออกแบบและพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลด้วยลักษณะเฉพาะของภาพซึ่งประกอบด้วยออกโตคอร์รีโลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ฐานข้อมูลภาพจำนวน 1000 ภาพ และใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ โดยวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank)

1.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. สํารวจและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลที่ผ่านมา เพื่อได้แนวความคิดโดยรวมของการวิจัย
2. ศึกษาโครงสร้างโดยรวมของระบบ, ลักษณะเฉพาะของภาพ, การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ
3. จำลองการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละวิธี
4. ออกแบบและพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลที่น่าเสนอ
5. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่ได้พัฒนาขึ้น
6. สรุปงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัล
2. สามารถนำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในงานค้นคืนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. เทคนิคที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นสามารถนำมาใช้ในการประยุกต์ระบบการค้นคืนภาพและวีดิทัศน์ต่อไป

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาการคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับภาพดิจิทัล, โครงสร้างของระบบคั่นคั้นภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ, ลักษณะเฉพาะของภาพ ซึ่งประกอบด้วย สี, รูปร่างและพื้นผิว, การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการคั่นคั้นภาพ

2.1 ภาพดิจิทัล (Digital Image)

ภาพดิจิทัล คือ กลุ่มของจุดสีที่เล็กที่สุดขนาดที่เรียกว่า “จุดภาพ” (pixel) ซึ่งเรียงตัวกันตามแนวตั้งและแนวนอนในลักษณะของสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยแต่ละจุดภาพจะมีระดับค่าสีต่างๆ กันทำให้เกิดเป็นภาพที่เรามองเห็นขึ้น

2.1.1 รูปแบบของภาพ (Image Format)

รูปแบบของภาพที่เป็นมาตรฐานแต่ละประเภท จะเหมาะสมสำหรับลักษณะของภาพที่แตกต่างกัน โดยรูปแบบของภาพที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

- 1) JPEG (Joint Photographic Experts Group) เป็นรูปแบบที่สามารถใช้สีได้มากถึง 16.7 ล้านสี (สำหรับความลึกของสี 24 บิต) จึงเหมาะสำหรับภาพถ่าย, ภาพกราฟิกส์หรือภาพที่มีการไล่ระดับสีอย่างต่อเนื่องและมีจำนวนมาก โดยสามารถกำหนดให้ภาพแสดงแบบเบลอก่อนแล้วค่อยๆ ชัดเจนขึ้น (progressive) ได้ แต่ไม่สามารถใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหวหรือกำหนดให้ฉากหลังโปร่งใสได้ JPEG เป็นมาตรฐานการบีบอัดข้อมูลภาพที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ภาพส่วนใหญ่สามารถบีบอัดได้ถึง 1:10 โดยคุณภาพของภาพอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ลักษณะการบีบอัดข้อมูลสามารถทำได้หลายระดับ ยิ่งบีบอัดให้ข้อมูลมีขนาดเล็กลงเท่าใด ก็จะส่งผลให้คุณภาพของภาพที่ได้ลดลงเท่านั้น

- 2) GIF (Graphic Interchange Format) เป็นรูปแบบที่มีการจำกัดจำนวนสีที่ใช้ โดยมีค่าสูงสุดเพียง 256 สี จึงเหมาะสำหรับภาพวาดลายเส้น, ภาพการ์ตูน หรือภาพตัวอักษรที่มีสีที่บ, มีขอบคมชัดและไม่มีการไล่ระดับสี นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดให้พื้นที่บางส่วนของภาพโปร่งใส และใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหวได้อีกด้วย
- 3) BMP (Bitmap) เป็นรูปแบบของภาพประเภทบิตแมพพื้นฐานในระบบปฏิบัติการดอส (DOS) และระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมอื่น ๆ เกือบทุกโปรแกรม นิยมใช้กันมากสำหรับภาพถ่ายหรือภาพวาด เนื่องจากสามารถไล่ระดับสีและแสงเงาได้เหมือนจริงที่สุด โดยสามารถกำหนดความลึกของสีซึ่งขึ้นอยู่กับแบบจำลองสีของภาพนั้น (ความลึกของสีในแต่ละภาพ คือ จำนวนข้อมูลสีที่ปรากฏในจุดภาพของภาพจากทุกเซนเนลรวมกัน โดยมีหน่วยเป็นบิต (bit))
- 4) WBMP (Wireless Bitmap) เป็นรูปแบบของภาพที่ใช้กับอุปกรณ์ไร้สายต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือพีดีเอ (PDA) เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้ไม่สูงนัก และมีความสามารถในการแสดงสีได้จำกัด โดยภาพรูปแบบนี้จะมีข้อมูลสีขนาดเพียง 1 บิต ซึ่งแต่ละจุดภาพสามารถแสดงสีได้เพียง 2 สี คือ สีขาวหรือสีดำเท่านั้น

การบันทึกภาพไว้ในรูปแบบที่ไม่เหมาะสมกับลักษณะของภาพนั้น ๆ จะส่งผลทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพต่ำและมีขนาดแฟ้มข้อมูล (file) ภาพที่ใหญ่เกินความจำเป็นอีกด้วย

2.1.2 ความละเอียดของภาพ (Image Resolution)

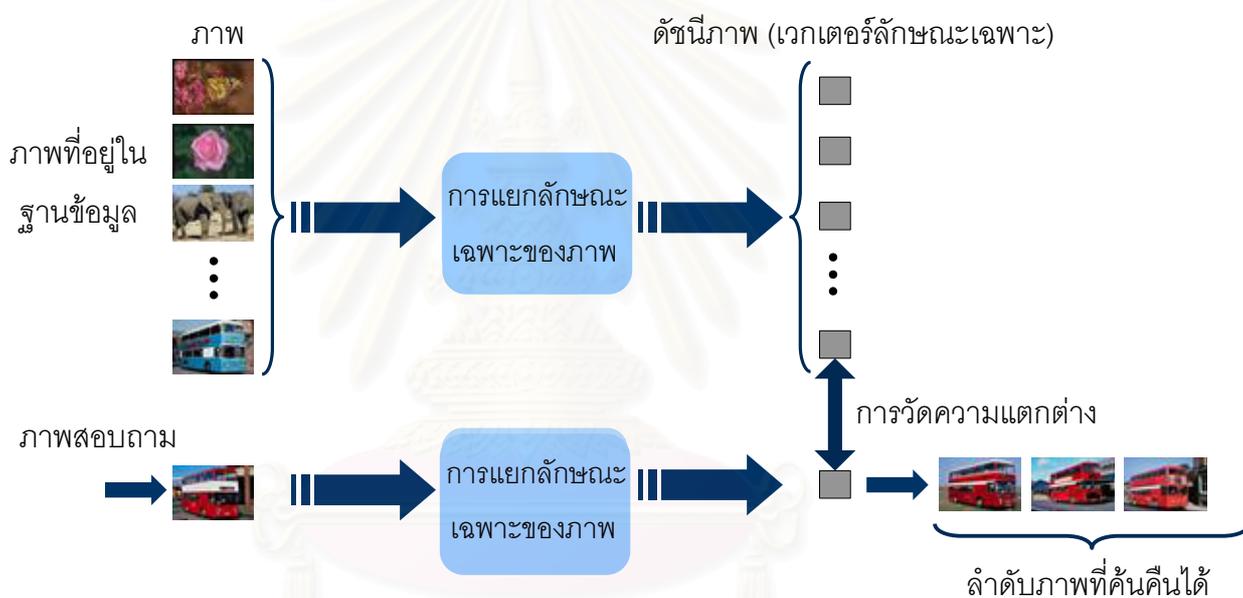
ความละเอียดของภาพเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพของรูปภาพ การใช้รูปภาพในงานแต่ละประเภทรูปนั้นต้องการค่าความละเอียดของภาพที่แตกต่างกันออกไป เช่น ภาพที่ใช้ในการตกแต่งเว็บหรืองานกราฟิกต่าง ๆ อาจมีค่าความละเอียดน้อยกว่าภาพถ่ายหรือภาพที่ต้องการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ เป็นต้น ค่าความละเอียดของภาพ คือ จำนวนจุดภาพต่อนิ้ว (pixel per inch (ppi) หรืออาจเรียกว่า dot per inch (dpi)) ซึ่งก็คือจำนวนจุดภาพในความกว้าง 1 นิ้ว หรืออีกนัยหนึ่งก็คือจำนวนจุดภาพทั้งหมด (กว้าง x ยาว) ต่อ 1 ภาพ

2.2 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ

ระบบค้นคืนภาพดิจิทัลส่วนใหญ่ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ๆ ได้แก่

- การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (image feature extraction)
- การสร้างดัชนีภาพ (image indexing)
- การค้นคืนภาพ (image retrieval)

โดยโครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ

2.2.1 การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ

ลักษณะเฉพาะของภาพเป็นคุณสมบัติที่สามารถหาได้โดยอาศัยขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพ (image processing algorithm)

ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ [3] ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ สี รูปร่าง และ พื้นผิว

- สี เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เนื่องจากสีเป็นสิ่งที่ค่อนข้างโดดเด่นและเป็นสิ่งแรกที่สามารถสังเกตเห็น

ได้จากการมองภาพ นอกจากนี้สียังสามารถใช้ในการแยกแยะสิ่งต่างๆ ที่มีสีเฉพาะได้เป็นอย่างดี เช่น สีฟ้าของท้องฟ้า และสีเขียวของต้นไม้ เป็นต้น

- **รูปร่าง** เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้อธิบายถึงรูปร่างและลักษณะ รวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพ ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้
- **พื้นผิว** เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบ ความละเอียดหรือ ความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพ ซึ่งภาพแต่ละภาพอาจประกอบด้วย วัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น เช่น การแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพเสือดาวซึ่งมีลายเป็นจุด กับเสือดาวชนิดอื่นซึ่งมีลายเป็นริ้วหรือแถบยาว เป็นต้น

ลักษณะเฉพาะของภาพที่เหมาะสมในการค้นคืนภาพแต่ละภาพจะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการค้นคืนภาพแต่ละประเภทจึงต้องเลือกใช้ลักษณะเฉพาะของภาพที่เหมาะสมกับภาพประเภทนั้น ๆ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.2.2 การสร้างดัชนีภาพ

การสร้างดัชนีภาพ คือ การนำเอาลักษณะเฉพาะของภาพ เช่น ฮิสโตแกรมของสี มาสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพในฐานข้อมูลและจัดเก็บไว้

ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพที่แยกออกมาจะอยู่ในรูปของค่าที่เป็นตัวเลขจำนวน n ค่า (ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละวิธี) หรือเวกเตอร์ขนาด n มิติ ซึ่งก็คือเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพนั้น ๆ โดยเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเหล่านี้ จะนำมาใช้เป็นดัชนีภาพซึ่งแทนด้วยจุดในปริภูมิ n มิติ

2.2.3 การค้นคืนภาพ

ขั้นตอนแรกของกระบวนการค้นคืนภาพ คือ การเลือกภาพสอบถาม (query image) จากนั้นจึงทำการดึงเอาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามออกมา และนำไป

เปรียบเทียบกับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพในฐานข้อมูล เพื่อค้นคืนภาพที่มีลักษณะคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ ทำได้โดยการคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งสอง ซึ่งความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองจะแปรตามระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

2.2.4 การสอบถาม (Querying)

วิธีการสอบถามหาภาพจะขึ้นอยู่กับการออกแบบของแต่ละระบบ ซึ่งการสอบถามหาภาพภาพเดียวกันด้วยวิธีการสอบถามที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ภาพผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป ตัวอย่างของวิธีการสอบถามที่ใช้ในระบบค้นคืนภาพดิจิทัล ได้แก่

- **การสอบถามด้วยลักษณะเฉพาะอย่างง่ายที่มองเห็น** (Simple Visual Feature Query) เป็นการสอบถามโดยการระบุค่าลักษณะเฉพาะของภาพที่ต้องการเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น ต้องการหาภาพที่มีองค์ประกอบสีแดง 25% สีน้ำเงิน 50 % และสีเหลือง 25%
- **การสอบถามด้วยลักษณะเฉพาะหลายแบบร่วมกัน** (Feature Combination Query) ผู้ใช้สามารถใช้ลักษณะเฉพาะของภาพมากกว่า 1 แบบในการสอบถาม โดยการถ่วงน้ำหนัก (weighting) ให้กับแต่ละแบบ เช่น ต้องการหาภาพที่มีสีฟ้า (75%) และมีพื้นผิวเป็นท้องฟ้า (25%)
- **การสอบถามด้วยลักษณะเฉพาะเชิงตำแหน่ง** (Localized Feature Query) เป็นการสอบถามโดยการระบุลักษณะเฉพาะของภาพที่ต้องการพร้อมทั้งระบุตำแหน่งในภาพด้วย เช่น ต้องการหาภาพท้องฟ้าที่ครึ่งบนของภาพมีสีฟ้าและครึ่งล่างเป็นสีเขียว
- **การสอบถามด้วยภาพตัวอย่าง** (Query By Example) เป็นการสอบถามโดยการให้ผู้ใช้เลือกภาพสอบถามและลักษณะเฉพาะของภาพที่ต้องการสอบถาม จากนั้นระบบจะนำลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามไปเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูล เพื่อค้นคืนภาพที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา
- **การสอบถามด้วยลักษณะเฉพาะของวัตถุภายในภาพ** (Object VS Image) เป็นการสอบถามโดยการระบุลักษณะเฉพาะและตำแหน่งของวัตถุ

ที่อยู่ภายในภาพ เช่น ต้องการหาภาพที่มีรหัสสีแดงอยู่ตรงกลางของภาพ เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการสอบถามด้วยภาพตัวอย่าง ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานของผู้ใช้ได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย และสะดวกในการใช้งาน โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบหรือลักษณะเฉพาะของภาพแต่อย่างใด

2.3 ลักษณะเฉพาะของภาพ

ลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบค้นคืนภาพ เนื่องจากการเลือกใช้ลักษณะเฉพาะของภาพที่เหมาะสมสำหรับการค้นคืนภาพแต่ละภาพ นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะหากเลือกใช้ลักษณะเฉพาะของภาพที่ไม่เหมาะสมก็อาจทำให้ผลการค้นคืนภาพที่ต้องการผิดพลาดได้

ลักษณะเฉพาะของภาพในระดับต่ำ (low-level features) ประกอบด้วย สี, รูปร่างและพื้นผิว โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 สี

การใช้สีในการประมวลผลภาพมีสาเหตุมาจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก เนื่องจากสีเป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้ในการบรรยายรูปร่างหรือลักษณะของสิ่งต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้สามารถระบุและแยกวัตถุออกจากฉากได้ง่ายยิ่งขึ้น และ ประการที่สอง เนื่องจากมนุษย์มีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของระดับสีได้เป็นอย่างดีในระดับหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพสีขนาด 24 บิตต่อจุดภาพ (bits/pixel) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (pixel) สามารถแสดงสีได้มากถึง 16.7 ล้านสีโดยประมาณ และภาพระดับเทาขนาด 8 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งแต่ละจุดภาพสามารถแสดงสีได้เพียง 256 สีเท่านั้น ดังนั้นปัจจัยที่สองนี้จึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์ภาพโดยมนุษย์

2.3.1.1 แบบจำลองสี (color model)

แบบจำลองสี (color model) หรือปริภูมิสี (color space) ถูกนิยามขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการอ้างอิงและเป็นมาตรฐานเดียวกัน แบบจำลองสี คือ ระบบพิกัด (coordinate system) และปริภูมิย่อย (subspace) ภายในระบบนั้นซึ่งถูกกำหนดขึ้น โดยแต่ละสีจะถูกแทนด้วยจุดๆ หนึ่งๆ ในปริภูมิสีนั้น

ปัจจุบันแบบจำลองสีถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น จอมอนิเตอร์สี และเครื่องพิมพ์ รวมถึงงานประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดดำเนินการสี (color manipulation) เช่น การสร้างภาพกราฟิกส์สำหรับการทำภาพเคลื่อนไหว (animation) เป็นต้น

แบบจำลองสีที่นิยมใช้กับภาพดิจิทัล ได้แก่ แบบจำลองสี RGB, แบบจำลองสี HSI และแบบจำลองสี YUV โดยแบบจำลองสีดังกล่าวจะมีความเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันออกไป

1) **แบบจำลองสี RGB** เป็นระบบที่เกิดจากการผสมแสงสีหลัก 3 สี คือ สีแดง (Red), สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นสีต่าง ๆ ขึ้น ซึ่งนิยมนำมาใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัล และฮาร์ดแวร์หรืออุปกรณ์แสดงผลต่าง ๆ เช่น จอมอนิเตอร์สี และกล้องวิดีโอสี เป็นต้น เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้จะมีความทำงานโดยใช้แบบจำลองสี RGB กล่าวคือ จุดสีแต่ละจุดบนหน้าจอแสดงผลจะเกิดจากการยิงประจุไฟฟ้าให้เกิดการเปล่งแสงทั้ง 3 สีดังกล่าวข้างต้นมาผสมกันนั่นเอง

2) **แบบจำลองสี HSI** เป็นแบบจำลองสีที่มีความใกล้เคียงกับระบบการมองเห็นสีของสายตามนุษย์ ซึ่งมีองค์ประกอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Hue, Saturation และ Intensity โดยค่า Hue คือ สีต้นที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตามนุษย์ ส่วนค่า Saturation คือ ความสดหรือความบริสุทธิ์ของสี ซึ่งจะบอกถึงสัดส่วนของสีขาวที่ผสมอยู่ในสีหลัก (Hue) และสุดท้ายค่า Intensity คือ ระดับความสว่างของสี ดังนั้นแบบจำลองสีนี้จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลในงานประยุกต์บางอย่าง เช่น การติดตามวัตถุ (object tracking) และการประชุมสัมมนาทางวิดีโอ (video conferencing) เนื่องจากมีการแยกองค์ประกอบของความสว่างและค่าสีออกจากกัน [10] ทำให้สามารถตรวจพบความเปลี่ยนแปลงของแต่ละองค์ประกอบได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน

3) **แบบจำลองสี YUV** เป็นแบบจำลองสีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ในระบบโทรทัศน์แบบ PAL (Phase Alternation Line) และ SECAM (Sequential Color And Memory) โดยมีการแยกองค์ประกอบของความสว่าง (Y) และองค์ประกอบทางสี (U และ V) ออกจากกันอย่างเป็นอิสระ

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบบจำลองสี RGB ในการประมวลผลภาพ เนื่องจากภาพดิจิทัลโดยทั่วไปใช้แบบจำลองสี RGB ซึ่งสำหรับภาพสีขนาด 24 บิตต่อจุดภาพ แต่ละแชนเนล คือ แดง, เขียวและน้ำเงิน จะมีระดับค่าสีได้ 256 ระดับ (ตั้งแต่ 0 ถึง 255) โดยค่าสีของแต่ละจุดภาพเกิดจากการรวมกันของข้อมูลทั้ง 3 แชนเนล ทำให้สามารถแสดงสีได้มากถึง 16.7 ล้านสี (2^{24}) ดังนั้นในการนำภาพมาประมวลผลจึงจำเป็นต้องทำการควอนไทซ์สีให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำภาพไปประมวลผลต่อไป ทั้งนี้เพื่อลดความซับซ้อนและเวลาในการทำดัชนีภาพ

สีเป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะที่โดดเด่นและเป็นสิ่งแรกที่สังเกตเห็นได้จากการมองภาพ ลักษณะเฉพาะทางสีของภาพที่จะกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี, Color set, CCVs (Color Coherence Vectors), คอฮีเรนซ์เวกเตอร์ของสีและฮิสโตแกรมของสี

2.3.1.2 ฮิสโตแกรมของสี

ฮิสโตแกรมของสี เป็นกราฟแสดงความถี่หรือจำนวนจุดภาพที่ระดับค่าสีแต่ละค่า โดยแกนนอนแทนระดับสีค่าต่าง ๆ ส่วนแกนตั้งแทนจำนวนจุดภาพที่ระดับค่าสีนั้น ๆ ซึ่งพิจารณาได้จากภาพตัวอย่างในรูปที่ 2.2

สำหรับภาพ RGB ขนาด 24 บิตต่อจุดภาพ แต่ละแชนเนล คือ แดง, เขียวและน้ำเงิน จะมีค่าความสว่าง 8 บิต หรือ 256 ระดับ โดยมีค่าตั้งแต่ 0 – 255 ดังนั้นจุดภาพแต่ละจุดจึงสามารถแสดงสีได้มากถึง 16.7 ล้านสี



(ก)



(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 2.2 ฮิสโตแกรมของสีของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพตัวอย่าง (ข) ฮิสโตแกรมของสีแดง (ค) ฮิสโตแกรมของสีเขียว (ง) ฮิสโตแกรมของสีน้ำเงิน

ในการคำนวณค่าฮิสโตแกรมของสี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีภายในภาพเพื่อลดมิติ (dimension) ของเวกเตอร์ และลดความซับซ้อนในการคำนวณค่าฮิสโตแกรมของแต่ละสี โดยการแบ่งกลุ่มสีออกเป็น m ถังสี (bin) ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้ 64 หรือ 256 ถังสี โดยในงานวิจัยนี้เลือกการควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี เนื่องจากการแยกแยะความแตกต่างของระดับค่าสีของสายตามนุษย์นั้นมีความละเอียดไม่มากนัก ตัวอย่างเช่น สีแดงที่มีระดับค่าสี (R,G,B) เท่ากับ (255,0,0) กับ (255,40,40) สายตามนุษย์จะรับรู้ว่าเป็นสีแดงที่เหมือนกันทั้งสองค่าโดยไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างสองสีนี้ได้ [10]

กำหนดให้ ภาพ I มีขนาด $n_1 \times n_2$ จุดภาพ และ $H_{C_i}(I)$ แทน จำนวนจุดภาพที่มีสี C_i ของภาพ I ดังนั้นจะสามารถคำนวณฮิสโตแกรมของสีได้ดังสมการที่ (2.1)

$$h_{C_i}(I) = \frac{H_{C_i}(I)}{n_1 \times n_2} \quad (2.1)$$

โดยที่ $h_{C_i}(I)$ คือ ฮิสโตแกรมของสี C_i ของภาพ I
 m คือ จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สี

n_1 คือ ความกว้างของภาพ

n_2 คือ ความสูงของภาพ

การหารด้วยค่า $n_1 \times n_2$ หรือจำนวนจุดภาพทั้งหมดภายในภาพจากสมการที่ (2.1) นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าฮิสโตแกรมของสีเป็นบรรทัดฐาน และเพื่อให้สามารถนำฮิสโตแกรมของสีของภาพซึ่งมีขนาดของภาพแตกต่างกันมาเปรียบเทียบกันได้

ดังนั้นจะได้เวกเตอร์แทนฮิสโตแกรมของสีของภาพ I ดังสมการที่ (2.2)

$$H(I) = (h_{C_1}, h_{C_2}, \dots, h_{C_m}) \quad (2.2)$$

ฮิสโตแกรมของสี เป็นลักษณะเฉพาะทางสีของภาพที่นิยมใช้ในระบบค้นคืนภาพส่วนใหญ่ เนื่องจากสามารถคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว กระบวนการไม่ซับซ้อน แต่ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือจะมีเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้น

2.3.1.3 Color set

Color set [12] คือ ตัวพรางฐานสองของฮิสโตแกรมของสี ซึ่งประกอบด้วยค่าที่เป็นตัวเลข 2 ค่า คือ 0 หรือ 1 โดยที่ค่า 1 จะแสดงถึงการมีอยู่ของสีนั้นภายในภาพ ส่วนค่า 0 จะแสดงถึงการไม่มีอยู่ของสีนั้นภายในภาพ

กำหนดให้ I คือ เวกเตอร์แทน color set ของภาพ I ดังสมการที่ (2.3) และ CS_{C_i} คือ color set ของสี C_i ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) โดยค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ที่ใช้ในงานวิจัย [12] คำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$I = (CS_{C_1}, CS_{C_2}, \dots, CS_{C_m}) \quad (2.3)$$

$$CS_{C_i} = \begin{cases} 1, & h_{C_i} > c_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$c_i = \frac{1}{c_i} \quad (2.5)$$

โดยที่ c_i คือ ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของสี C_i
 c_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนของสี C_i ภายในภาพซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่าง
 m คือ จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สี

ตัวอย่างของ color set ของภาพ I เช่น $(I) = (1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0)$ แสดงว่าภายในภาพ ประกอบด้วยสีจำนวน 3 สี คือ สีที่ 1, 4 และ 6 จากจำนวนสีทั้งหมด 8 สี ส่วนสีที่เหลือจะถือว่าไม่มีอยู่ในภาพ เนื่องจากฮิสโตแกรมของสีหรือจำนวนจุดภาพของสีที่เหลือแต่ละสีมีค่าต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ของสีนั้น

ข้อดีของ color set คือ ช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 ภาพที่นำมาเปรียบเทียบกัน แต่มีข้อเสีย คือ มีเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้น

2.3.1.4 CCVs (Color Coherence Vectors)

CCVs คือ ฮิสโตแกรมของสีที่มีการปรับปรุง (augmented color histogram) โดยการเพิ่มเติมในส่วนข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial information) เข้ามา หลักการของ CCVs [8] คือ การแบ่งจุดภาพภายในภาพออกเป็น 2 กลุ่ม คือ จุดภาพที่เชื่อมติดกัน (coherent pixel) และจุดภาพที่ไม่เชื่อมติดกัน (incoherent pixel) โดยจุดภาพใด ๆ จะเป็นจุดภาพที่เชื่อมติดกันก็ต่อเมื่อองค์ประกอบที่เชื่อมติดกัน (connected component) ของจุดภาพนั้นมีค่ามากกว่าค่าคงที่ที่กำหนดไว้ค่าหนึ่ง () ซึ่งในงานวิจัย [15] กำหนดให้มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1% ของจำนวนจุดภาพทั้งหมดภายในภาพ ส่วนจุดภาพที่เหลือก็จะเป็นจุดภาพที่ไม่เชื่อมติดกัน การแบ่งกลุ่มของจุดภาพนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดจุดภาพที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบสำคัญของภาพทิ้งไปหลังจากที่ได้แบ่งกลุ่มของจุดภาพแล้วจึงนำภาพมาคำนวณค่าฮิสโตแกรมของสี

CCVs ของภาพใด ๆ คือ ฮิสโตแกรมของสีของจุดภาพในกลุ่มจุดภาพที่เชื่อมติดกันของภาพนั้น กำหนดให้ $H_{CCV}(I)$ คือ เวกเตอร์ขนาด m มิติ แทน CCVs ของภาพ I ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$H_{CCV}(I) = \langle (1, 1), (2, 2), \dots, (m, m) \rangle \quad (2.6)$$

โดยที่ m คือ จำนวนสีภายในภาพหลังจากการควอนไทซ์สี

j คือ จำนวนจุดภาพภายในองค์ประกอบที่เชื่อมติดกันของสี j

h_j คือ ฮิสโตแกรมของสี j

$$j = h_j - j$$

พิจารณาการคำนวณ CCVs ของภาพได้จากตัวอย่างต่อไปนี้ โดยกำหนดให้ค่าเท่ากับ 4 จุดภาพ และสมมติให้ภาพ I มีค่าสีในแต่ละจุดภาพหลังการควอนไทซ์สีออกเป็น 3 ถึงสี ดังนี้

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |

ขั้นตอนต่อมา คือ การหาองค์ประกอบที่เชื่อมติดกันของจุดภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยการกำหนดสัญลักษณ์ (A,B,C,...) ให้กับแต่ละองค์ประกอบที่เชื่อมติดกัน ดังนี้

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| B | C | C | B | B | A | A |
| B | F | B | C | B | A | A |
| B | F | C | D | B | A | A |
| B | C | B | B | A | A | E |
| B | C | B | A | A | E | E |
| B | B | B | A | A | E | E |

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่เชื่อมติดกันของจุดภาพในภาพ /

| สัญลักษณ์ | A | B | C | D | E | F |
|----------------------------------|----|----|---|---|---|---|
| ถึงสี | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 |
| ขนาด(จำนวนจุดภาพที่เชื่อมติดกัน) | 12 | 16 | 6 | 1 | 5 | 2 |

จากตารางที่ 2.1 จะได้ว่าองค์ประกอบ A, B, C และ E มีขนาดหรือจำนวนจุดภาพที่เชื่อมติดกันมากกว่า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4 จุดภาพ ส่วนองค์ประกอบ D และ F มีขนาดน้อยกว่า ดังนั้นจุดภาพที่อยู่ในองค์ประกอบ A, B, C และ E จะถูกกำหนดให้เป็นจุดภาพที่เชื่อมติดกัน ในขณะที่จุดภาพที่อยู่ในองค์ประกอบ D และ F จะถูกกำหนดให้เป็นจุดภาพที่ไม่เชื่อมติดกัน

ตารางที่ 2.2 ค่า และ ของแต่ละถึงสี

| ถึงสี | 1 | 2 | 3 |
|-------|----|----|---|
| | 18 | 21 | 0 |
| | 0 | 0 | 3 |

ค่า และ ของแต่ละถึงสีแสดงดังตารางที่ 2.2 ซึ่งจะได้เวกเตอร์ CCVs ของภาพ / ดังนี้

$$H_{CCV}(I) = (18,0), (21,0), (0,3) >$$

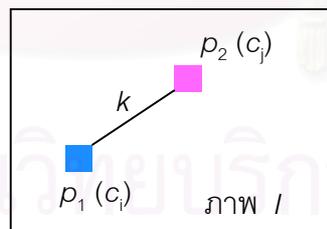
ข้อดีของ CCVs เมื่อเปรียบเทียบกับฮิสโตแกรมของสี คือ มีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมากกว่า เนื่องจากมีการกำจัดจุดภาพที่ไม่ได้เป็นองค์ประกอบสำคัญของภาพทิ้งไป แต่จะใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าฮิสโตแกรมของสี

2.3.1.5 คอร์ริโลแกรมของสี

คอร์ริโลแกรมของสี ซึ่งนิยามโดย [7] คือ กราฟหรือตารางที่แสดงสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของคู่สีที่แตกต่างกันกับระยะห่างระหว่างคู่สีนั้น ซึ่งจะแตกต่างจากฮิสโตแกรมของสีที่สามารถอธิบายได้เฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้น

ลักษณะเด่นของคอร์ริโลแกรมของสี [7] คือ

1. สามารถอธิบายสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial correlation) ระหว่างคู่สีต่าง ๆ ภายในภาพ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างระหว่างจุดภาพของคู่สีนั้น ๆ รวมถึงการกระจายตัวของสีภายในภาพได้
2. การคำนวณทำได้ง่าย
3. ขนาดของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะค่อนข้างเล็ก
4. สามารถใช้ในการค้นคืนภาพสำหรับระบบฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะและรูปร่างของวัตถุภายในภาพ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและทิศทางในการมอง (viewing position) รวมถึงภาพที่มีการซูมจากกล้อง (camera zoom) และภาพที่มีสี, ความสว่าง และความเปรียบต่างเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม



รูปที่ 2.3 สหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างจุดภาพ p_1 และ p_2

คอร์ริโลแกรมของสีระหว่างสี C_i กับ C_j ของภาพ I ที่ระยะห่างระหว่างจุดภาพของทั้งสองสีเท่ากับ k คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะพบจุดภาพที่มีสี C_j ที่ระยะห่างเท่ากับ k จากจุดภาพที่มีสี C_i ดังแสดงในรูปที่ 2.3

การคำนวณคอรัลโลแกรมของสี กำหนดให้

I คือ ภาพสี ขนาด $n_1 \times n_2$ จุดภาพ

$p(x, y)$ คือ จุดภาพที่พิกัด (x, y)

m คือ จำนวนสีภายในภาพ หลังจากการควอนไทซ์สี โดยมีเซตของสีเป็น

$\{C_1, \dots, C_m\}$

$I(p)$ คือ ค่าสีของจุดภาพ $p = (x, y) \in I$

$I_c = \{p \mid I(p) = c\}$ ดังนั้น $p \in I_c$ จะสมมูลกับ $p \in I, I(p) = c$

$[n]$ คือ เซตของ $\{1, 2, \dots, n\}$, $d \in [n]$

p_1 คือ จุดภาพที่มีสี C_i

p_2 คือ จุดภาพซึ่งอยู่ในภาพ I

I_{C_j} คือ เซตของจุดภาพที่มีสี C_j ของภาพ I

ดังนั้นจะได้คอรัลโลแกรมของสีของภาพ I สำหรับ $i, j \in [m]$ และ $k \in [d]$ ดังสมการที่ (2.7)

$$\gamma_{C_i, C_j}^{(k)}(I) \equiv \Pr[p_2 \in I_{C_j} \mid |p_1 - p_2| = k] \quad (2.7)$$

โดยที่ $\gamma_{C_i, C_j}^{(k)}(I)$ คือ เวกเตอร์แทนคอรัลโลแกรมของสีของภาพ I

k คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ

สำหรับระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ (k) คำนวณได้จาก L -norm ซึ่งเสนอโดย [7] โดยกำหนดให้จุดภาพ $p_1 = (x_1, y_1)$ และ $p_2 = (x_2, y_2)$ จะได้ว่าระยะห่างระหว่างจุดภาพทั้งสองมีค่าดังสมการที่ (2.8)

$$|p_1 - p_2| = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\} \quad (2.8)$$

ซึ่งการคำนวณด้วยวิธีนี้ เรียกว่า chessboard distance [6] โดยที่ระยะ k เท่ากับ 1 สำหรับจุดภาพใด ๆ จะมีจำนวนจุดภาพรอบ ๆ จุดภาพนั้นเท่ากับ 8 จุดภาพ ดังนั้นที่

ระยะ k สำหรับจุดภาพใด ๆ จะมีจำนวนจุดภาพรอบ ๆ เท่ากับ $8k$ จุดภาพ ดังพิจารณาได้จากรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 |
| 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 |
| 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 |
| 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,8 |
| 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,8 |
| 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,7 | 6,8 |
| 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,7 | 7,8 |
| 8,1 | 8,2 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,6 | 8,7 | 8,8 |

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการพิจารณาจุดภาพที่ระยะ k เท่ากับ 1

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,8 |
| 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 |
| 3,1 | 3,2 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,6 | 3,7 | 3,8 |
| 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,6 | 4,7 | 4,8 |
| 5,1 | 5,2 | 5,3 | 5,4 | 5,5 | 5,6 | 5,7 | 5,8 |
| 6,1 | 6,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,7 | 6,8 |
| 7,1 | 7,2 | 7,3 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,7 | 7,8 |
| 8,1 | 8,2 | 8,3 | 8,4 | 8,5 | 8,6 | 8,7 | 8,8 |

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการพิจารณาจุดภาพที่ระยะ k เท่ากับ 2

โดยที่ ■ คือ จุดภาพอ้างอิง

■ คือ จุดภาพที่ระยะ k รอบ ๆ จุดภาพอ้างอิง

จากรูปที่ 2.4 จะได้ว่าจำนวนจุดภาพที่ระยะ k เท่ากับ 1 รอบจุดภาพที่พิกัด (2,2) มีจำนวนเท่ากับ 8 จุดภาพ และจากรูปที่ 2.5 จำนวนจุดภาพที่ระยะ k เท่ากับ 2 รอบจุดภาพที่พิกัด (3,3) มีจำนวนเท่ากับ 16 จุดภาพ โดยในการคำนวณจะไม่สนใจจุดภาพที่อยู่นอกเหนือบริเวณภาพ ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2.4 ค่าคอร์ดโคจรของสี่ระหว่างสีฟ้ากับสีฟ้า (คอร์ดโคจรระหว่างสีเดียวกันหรือออกโตคอร์ดโคจรซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป) ของจุดภาพที่พิกัด (1,1) ที่ระยะ k เท่ากับ 1 จะเท่ากับ $2/8$ และสำหรับจุดภาพที่พิกัด (1,2) จะมีค่าเท่ากับ $4/8$ เป็นต้น

2.3.1.6 ออโตคอรีโโลแกรม

ออโตคอรีโโลแกรม เป็นเซตย่อย (subset) ของคอรีโโลแกรมของสี โดยออโตคอรีโโลแกรมของภาพ I ที่ระยะ k คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะพบจุดภาพที่มีสีเดียวกันที่ระยะห่างระหว่างจุดภาพเท่ากับ k ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.9)

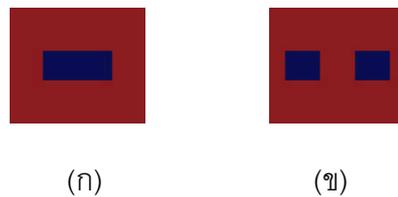
$$\gamma_{c_i, c_i}^{(k)}(I) \equiv \Pr[p_2 \in I_{c_i} \mid p_1 - p_2 = k] \quad (2.9)$$

โดยกำหนดให้ $\gamma_{c_i, c_i}^{(k)}(I)$ คือ เวกเตอร์แทนออโตคอรีโโลแกรมของภาพ I สำหรับ $i \in [m]$ และ $k \in [d]$ ดังสมการที่ (2.10)

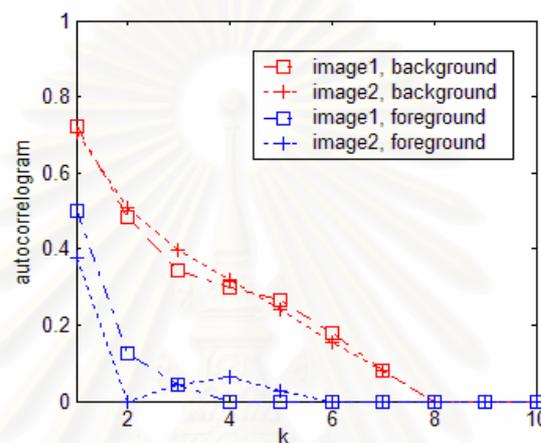
$$\gamma_{c_i, c_i}^{(k)}(I) = \begin{matrix} \gamma_{c_1, c_1}^{(1)} & \gamma_{c_1, c_1}^{(2)} & \cdots & \gamma_{c_1, c_1}^{(k)} \\ \gamma_{c_2, c_2}^{(1)} & \gamma_{c_2, c_2}^{(2)} & \cdots & \gamma_{c_2, c_2}^{(k)} \\ \gamma_{c_m, c_m}^{(1)} & \gamma_{c_m, c_m}^{(2)} & \cdots & \gamma_{c_m, c_m}^{(k)} \end{matrix} \quad (2.10)$$

ข้อดีของออโตคอรีโโลแกรมเมื่อเทียบกับคอรีโโลแกรมของสี คือ มีขนาดของเวกเตอร์ที่เล็กกว่า และความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าทำให้สามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งความซับซ้อนในการคำนวณออโตคอรีโโลแกรมของภาพจะแปรตามจำนวนสีภายในภาพ และเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ (k)

ข้อดีของออโตคอรีโโลแกรมเมื่อเทียบกับฮิสโตแกรมของสี พิจารณาได้จากภาพตัวอย่าง 2 ภาพในรูปที่ 2.6 ซึ่งทั้งสองภาพมีฮิสโตแกรมของสีที่เหมือนกัน กล่าวคือ จำนวนจุดภาพที่มีสีแดงและสีน้ำเงินของทั้งสองภาพนั้นมีจำนวนที่เท่ากัน ดังนั้นในกรณีนี้จึงไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพนี้ได้โดยการนำฮิสโตแกรมของสี



รูปที่ 2.6 ภาพตัวอย่างที่มีฮิสโตแกรมของสีเหมือนกัน (ก) ภาพที่ 1 (image 1)
(ข) ภาพที่ 2 (image 2)



รูปที่ 2.7 ออโตคอรรีโลแกรมของภาพตัวอย่างในรูปที่ 2.6

จากรูปที่ 2.7 จะสังเกตเห็นว่าค่าออโตคอรรีโลแกรมของแต่ละสีที่ระยะ k ค่าต่าง ๆ ของทั้งสองภาพมีค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองภาพนี้ได้

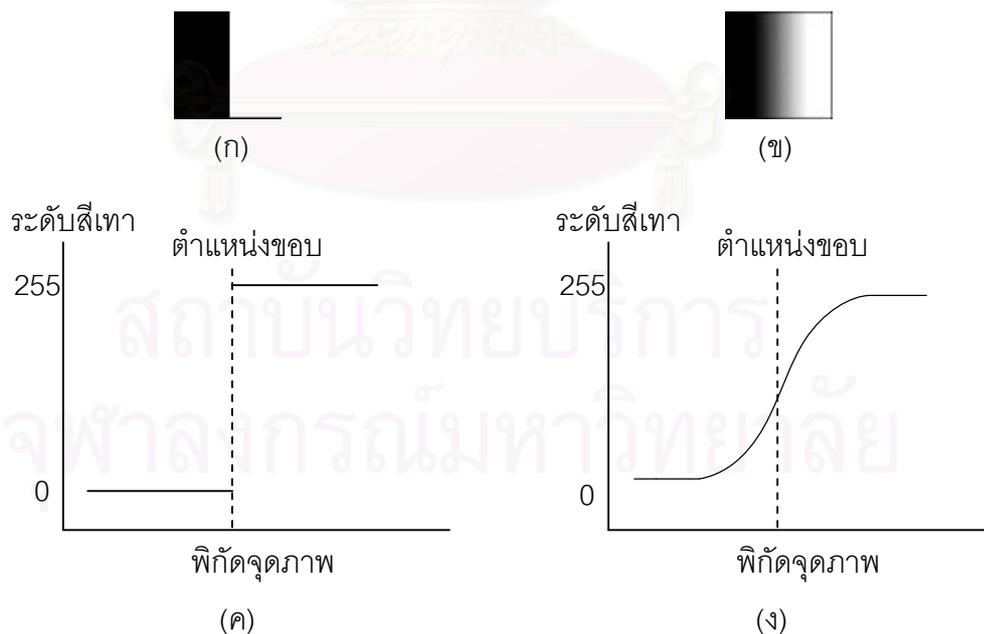
เนื่องจากออโตคอรรีโลแกรม สามารถอธิบายสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างคู่สีที่เหมือนกันภายในภาพได้ ทำให้ออโตคอรรีโลแกรมมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของภาพมากกว่าวิธีอื่น ดังนั้นจึงสามารถสร้างดัชนีและค้นคืนข้อมูลภาพ ซึ่งอยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมอง รวมไปถึงภาพที่มีการซูมจากกล้อง, ภาพที่มีสี, ความสว่างและความเปรียบต่างเปลี่ยนแปลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.2 รูปร่าง (Shape)

รูปร่างเป็นลักษณะเฉพาะของภาพอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับการสร้างดัชนีภาพและค้นคืนภาพ รูปร่าง ในที่นี้หมายถึงรูปร่างของวัตถุภายในภาพ [11] โดยการหารูปร่าง

ของวัตถุนั้นต้องอาศัยการประมวลผลก่อนหน้า (preprocessing) หรือตัวกรอง (filter) ในการหาขอบของวัตถุที่สนใจภายในภาพ ซึ่งการตรวจหาขอบวัตถุภายในภาพนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการแยกส่วนภาพ (image segmentation) ปัญหาสำคัญ 2 ประการสำหรับการตรวจหาขอบรูปร่างของวัตถุ คือ การที่วัตถุถูกปิดบัง (occlusion) และผลกระทบจากแสง (lighting effect) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจหาขอบรูปร่างของวัตถุได้

ภาพขอบวัตถุ คือ กลุ่มของจุดภาพที่วางต่อ ๆ กันบนเส้นแบ่งเขตระหว่างพื้นที่สองส่วนของวัตถุภายในภาพ ซึ่งจะช่วยอธิบายถึงรูปร่างและลักษณะ รวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพ ขอบของวัตถุนิยามด้วยการเปลี่ยนแปลง ความไม่ต่อเนื่องหรือความไม่สม่ำเสมอ (discontinuity) ของระดับความเข้มสีของภาพระดับเทา (grayscale image) ดังนั้นในการตรวจหาขอบของวัตถุจึงทำได้โดยอาศัยตัวดำเนินการอนุพันธ์ (derivative operator) โดยที่อนุพันธ์ของฟังก์ชันก็คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน ดังนั้นบริเวณขอบของวัตถุควรเป็นบริเวณที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทา (gray levels) มาก ส่วนบริเวณซึ่งมีระดับสีเทาสม่ำเสมอก็มักมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มสีเทาน้อย ภาพโดยส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มสีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งตรงกันข้ามกับภาพอุดมคติ ดังพิจารณาได้จากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขอบของภาพในแนวนอน (ก) ภาพอุดมคติ (ideal image) (ข) ภาพจริง (real image)
 (ค) ขอบภาพอุดมคติ (ideal edge) (ง) ขอบภาพจริง (real edge)

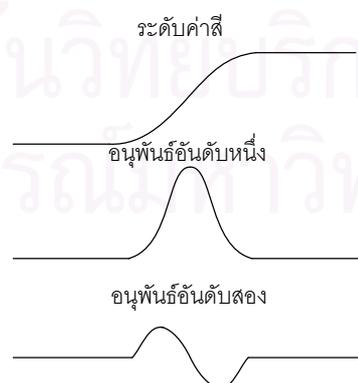
2.3.2.1 การตรวจหาขอบวัตถุภายในภาพ

ในทางเทคนิค การตรวจหาขอบวัตถุ คือ กระบวนการตรวจหาตำแหน่งหรือที่ตั้งของจุดภาพซึ่งเป็นขอบ (edge pixels) ของวัตถุภายในภาพ โดยส่วนใหญ่บริเวณขอบของวัตถุจะเป็นบริเวณที่มีความถี่สูง (high frequencies) ดังนั้นในทางทฤษฎีเราจึงสามารถตรวจหาขอบวัตถุได้ 2 วิธี [1] คือ

1. การกรองด้วยตัวกรองผ่านความถี่สูง (high pass frequency filter) ในโดเมนความถี่ (frequency domain)
2. การคอนโวลูชัน (convolution) ภาพด้วยเคอร์เนล (kernel) ในโดเมนเชิงพื้นที่ (spatial domain)

การตรวจหาขอบวัตถุในโดเมนเชิงพื้นที่โดยอาศัยการอนุพันธ์แบ่งออกเป็น 2 วิธี ประกอบด้วย อนุพันธ์อันดับหนึ่ง (first order derivative) และอนุพันธ์อันดับสอง (second order derivative)

- อนุพันธ์อันดับหนึ่ง นำมาใช้ในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับค่าสี เพื่อตรวจหาตำแหน่งขอบของวัตถุภายในภาพ โดยที่ตำแหน่งขอบจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับค่าสีมากกว่าบริเวณอื่น
- อนุพันธ์อันดับสอง ใช้ในการตรวจหาขอบของวัตถุ โดยจุดภาพขอบจะอยู่ ณ ตำแหน่ง ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับค่าสีที่คงที่ค่าหนึ่ง (มากกว่าศูนย์) ซึ่งก็คือจุดผ่านศูนย์ของอนุพันธ์อันดับสอง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 อนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองของฟังก์ชันใน 1 มิติ

จากรูปที่ 2.9 เราสามารถประมาณตำแหน่งของขอบได้จากจุดสูงสุดของอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และจุดผ่านศูนย์ (zero-crossing) ของอนุพันธ์อันดับสอง

เนื่องจากภาพมีลักษณะเป็น 2 มิติ ดังนั้นในการตรวจหาขอบวัตถุจึงต้องอาศัยตัวดำเนินการที่เรียกว่า “เกรเดียนต์ (gradient operator)” ซึ่งนิยามดังสมการที่ (2.11) โดยกำหนดให้ $f(x,y)$ เป็นฟังก์ชันของภาพ

$$G = \begin{pmatrix} G_x \\ G_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f / x \\ f / y \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

ขนาดของเกรเดียนต์คำนวณได้จากสมการที่ (2.12)

$$|G| = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (2.12)$$

โดยทิศทางของการตรวจหาขอบวัตถุคำนวณได้จากสมการที่ (2.13)

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_y}{G_x} \right) \quad (2.13)$$

เนื่องจากภาพเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง (discrete function) ดังนั้นจึงต้องใช้การคำนวณผลต่างแทนการอนุพันธ์ โดยค่า G_x และ G_y ในสมการที่ (2.11) สามารถคำนวณได้จาก F_x และ F_y ดังสมการที่ (2.14) และ (2.15) ตามลำดับ

$$F_x = f(x,y) - f(x-1,y) \quad (2.14)$$

$$F_y = f(x,y) - f(x,y-1) \quad (2.15)$$

โดยที่ขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.16) และ (2.17) ตามลำดับ

$$|F| = [F_x^2 + F_y^2]^{1/2} \quad (2.16)$$

$$F(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right) \quad (2.17)$$

ยกตัวอย่างการคำนวณค่า G_x และ G_y ในสมการที่ (2.11) ของจุดภาพ z_5 ได้ดังสมการที่ (2.18) และ (2.19) ตามลำดับ [27] โดยกำหนดค่าของจุดภาพ, ตัวพรางสำหรับแนวแกน x และตัวพรางสำหรับแนวแกน y ดังนี้

| | | |
|-------|-------|-------|
| z_1 | z_2 | z_3 |
| z_4 | z_5 | z_6 |
| z_7 | z_8 | z_9 |

ค่าของจุดภาพ

| | |
|----|---|
| -1 | 0 |
| 0 | 1 |

ตัวพรางสำหรับแนวแกน x

| | |
|---|----|
| 0 | -1 |
| 1 | 0 |

ตัวพรางสำหรับแนวแกน y

$$G_x = (z_9 - z_5) \quad (2.18)$$

$$G_y = (z_8 - z_6) \quad (2.19)$$

ผลรวมสัมประสิทธิ์ตัวพรางจะส่งผลกระทบต่อระดับความสว่างตลอดทั้งภาพ ซึ่งโดยทั่วไปผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ตัวพรางจะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์

ตัวพรางมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 ภาพจะมีความมืดมากขึ้น ซึ่งจะพบได้ในการตรวจหาขอบวัตถุ การตรวจหาขอบวัตถุโดยใช้ตัวพรางที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ภาพขอบวัตถุที่แตกต่างกัน ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.3.2.2 ตัวกรองขอบวัตถุ (edge filter)

ตัวกรองขอบวัตถุ มีหลายรูปแบบ ได้แก่ Roberts, Sobel, Prewitt, Laplacian, Laplacian of Gaussian (LoG) และ Canny เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะใช้ตัวพรางที่แตกต่างกัน แต่มีขั้นตอนหลัก ๆ คล้ายกัน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณหาภาพเกรเดียนต์ (gradient image)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (thresholding) ของภาพเกรเดียนต์ เพื่อหาตำแหน่งขอบของวัตถุภายในภาพ โดยจุดภาพที่มีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะถูกกำหนดให้เป็นจุดภาพขอบ

ภาพขอบวัตถุที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 นี้จะมีลักษณะเป็นภาพลักษณะฐานสอง (binary image) ซึ่งแต่ละจุดภาพสามารถแสดงสีได้ 2 ระดับ (สี) คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) โดยจุดภาพขอบจะถูกแทนด้วยสีขาว ส่วนจุดภาพที่เหลือจะถูกแทนด้วยสีดำ ดังตัวอย่างในรูปแบบที่ 2.10



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการตรวจหาขอบวัตถุ (ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพขอบวัตถุ

1) ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Roberts

การตรวจหาขอบวัตถุด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด และสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ตัวพราง (mask) สำหรับการคำนวณหาภาพเกรเดียนต์ ดังนี้ [27]

$$M_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad M_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าตัวพรางทั้งสองนี้จะใช้สำหรับการหาขอบวัตถุที่มีทิศทางตั้งฉากกัน โดยค่า G_x และ G_y ในสมการที่ (2.11) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.20) และ (2.21) ตามลำดับ

$$G_x = I * M_x \quad (2.20)$$

$$G_y = I * M_y \quad (2.21)$$

โดยที่ M_x คือ ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนว 45 องศา

M_y คือ ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนว 135 องศา

G_x คือ เกรเดียนต์ของภาพ I ในแนว 45 องศา

G_y คือ เกรเดียนต์ของภาพ I ในแนว 135 องศา

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ แทนการคำนวณหาภาพเกรเดียนต์

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ มีความไวต่อสัญญาณรบกวน (sensitive to noise) มาก เนื่องจากตัวพรางที่ใช้มีขนาดเล็ก คือ 2×2 ทำให้จุดศูนย์กลางในการคำนวณหาภาพเกรเดียนต์ไม่ชัดเจน นอกจากนี้การตรวจพบขอบซึ่งเป็นขอบของวัตถุจริง ๆ จะทำได้ก็ต่อเมื่อจุดภาพนั้นมีลักษณะของขอบที่ชัดเจน ซึ่งในกรณีนี้ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Sobel จะสามารถทำงานได้ดีกว่า

2) ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Sobel

การตรวจหาขอบวัตถุของภาพด้วยวิธีนี้สามารถคำนวณค่า G_x และ G_y ได้จากสมการที่ (2.20) และ (2.21) ตามลำดับ เช่นเดียวกับแบบ Roberts แต่ทิศทางการตรวจหาขอบวัตถุของตัวพรางที่ใช้จะแตกต่างกัน ดังนี้

ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวอนหรือแนว 0 องศา คือ

$$M_x = \begin{matrix} & -1 & -2 & -1 & & 1 & 2 & 1 \\ & 0 & 0 & 0 & \text{หรือ} & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & 2 & 1 & & -1 & -2 & -1 \end{matrix}$$

ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวตั้งหรือแนว 90 องศา คือ

$$M_y = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 & & 1 & 0 & -1 \\ -2 & 0 & 2 & \text{หรือ} & 2 & 0 & -2 \\ -1 & 0 & 1 & & 1 & 0 & -1 \end{matrix}$$

โดยที่ M_x คือ ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวอนหรือแนว 0 องศา

M_y คือ ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวตั้งหรือแนว 90 องศา

G_x คือ เกรเดียนต์ของภาพ / ในแนวอนหรือแนว 0 องศา

G_y คือ เกรเดียนต์ของภาพ / ในแนวแนวตั้งหรือแนว 90 องศา

วิธีนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าตัวกรองขอบวัตถุแบบ Roberts แต่จะมีประสิทธิภาพมากกว่าและช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า เนื่องจากมีขนาดของตัวพรางใหญ่กว่า คือ 3×3

3) ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Prewitt

การตรวจหาขอบวัตถุของภาพด้วยวิธีนี้สามารถคำนวณค่า G_x และ G_y ได้จากสมการที่ (2.20) และ (2.21) เช่นเดียวกับแบบ Roberts และ Sobel โดยทิศทางการตรวจหาขอบวัตถุของตัวพรางที่ใช้จะเหมือนกับแบบ Sobel แต่จะมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้

ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวอนหรือแนว 0 องศา คือ

$$M_x = \begin{matrix} -1 & -1 & -1 & & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \text{หรือ} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & & -1 & -1 & -1 \end{matrix}$$

ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวตั้งหรือแนว 90 องศา คือ

$$M_y = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 & & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & \text{หรือ} & 1 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & & 1 & 0 & -1 \end{matrix}$$

โดยที่ M_x คือ ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวอนหรือแนว 0 องศา

M_y คือ ตัวพรางสำหรับการหาขอบวัตถุแนวตั้งหรือแนว 90 องศา

G_x คือ เกรเดียนต์ของภาพ / ในแนวอนหรือแนว 0 องศา

G_y คือ เกรเดียนต์ของภาพ / ในแนวแนวตั้งหรือแนว 90 องศา

ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถตรวจหาขอบวัตถุของภาพได้อย่างรวดเร็ว แต่จะมีโอกาสได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนได้ง่ายกว่าวิธีอื่น

4) ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Laplacian

วิธีนี้เป็นการตรวจหาขอบวัตถุของภาพโดยอาศัยการหาอนุพันธ์อันดับสอง ดังสมการที่ (2.22) โดยกำหนดให้ $f(x,y)$ คือ ฟังก์ชันของภาพ

$$\Delta^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (2.22)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำการคำนวณหาภาพเกรเดียนต์ด้วยตัวพราง Laplacian แทนการหาอนุพันธ์อันดับสองของภาพ โดยตัวพราง Laplacian ที่นิยมใช้ คือ

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{หรือ} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

หลังจากการคำนวณหาภาพเกรเดียนต์ด้วยตัวพราง Laplacian แล้วจึงตรวจหาตำแหน่งขอบวัตถุของภาพโดยพิจารณาจากจุดผ่านศูนย์

วิธีนี้จะมีโอกาสได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนค่อนข้างมาก แต่ก็สามารถลดองค์ประกอบสัญญาณรบกวนความถี่สูง (high frequency noise components) ได้ โดยการใช้ตัวกรองปรับเรียบแบบเกาส์เซียน (Gaussian smoothing filter) ในกระบวนการก่อนหน้า

5) ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Laplacian of Gaussian (LoG)

การตรวจหาขอบวัตถุของภาพด้วยวิธีนี้จะช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน โดยตัวพรางที่ใช้ได้จากการคอนโวลูชันระหว่างตัวกรองปรับเรียบแบบเกาส์เซียนและตัวกรองลาปลาเซียน (Laplacian filter)

กำหนดให้ $LoG(x,y)$ คือ ฟังก์ชัน 2D-LoG ดังสมการที่ (2.23) และ
คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบเกาส์เซียน (Gaussian standard deviation)

$$LoG(x,y) = -\frac{1}{4} \left(1 - \frac{x^2 + y^2}{2}\right) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2}} \quad (2.23)$$

ซึ่งจากการประมาณฟังก์ชันในสมการที่ (2.23) โดยกำหนดให้ $\sigma = 1.4$ จะ
ได้ตัวพรางดังนี้ [1]

| | | | | | | | | |
|---|---|---|-----|-----|-----|---|---|---|
| 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 |
| 0 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 2 | 0 |
| 3 | 3 | 5 | 3 | 0 | 3 | 5 | 3 | 3 |
| 2 | 5 | 3 | -12 | -23 | -12 | 3 | 5 | 2 |
| 2 | 5 | 0 | -23 | -40 | -23 | 0 | 5 | 2 |
| 2 | 5 | 3 | -12 | -23 | -12 | 3 | 5 | 2 |
| 3 | 3 | 5 | 3 | 0 | 3 | 5 | 3 | 3 |
| 0 | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 2 | 0 |
| 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 |

การตอบสนอง LoG (LoG response) จะมีค่าเป็นศูนย์สำหรับบริเวณซึ่งมี
ระดับความเข้มสีเทาคงที่ โดยบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มสีเทาคงที่ จะ
สามารถตรวจพบขอบวัตถุ 2 ขอบ ซึ่งการตอบสนอง LoG จะมีค่าเป็นบวกสำหรับขอบด้านที่มืด
กว่า (darker side) และจะมีค่าเป็นลบสำหรับขอบด้านที่สว่างกว่า (lighter side) โดยวิธีนี้จะ
สามารถตรวจหาตำแหน่งของขอบวัตถุจากจุดผ่านศูนย์

6) ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Canny

การตรวจหาขอบวัตถุของภาพด้วยวิธีนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ใช้ตัวกรองปรับเรียบแบบเกาส์เซียน เพื่อลดสัญญาณรบกวนภายในภาพโดยการคอนโวลูชันภาพด้วยตัวพรางแบบเกาส์เซียน (Gaussian mask) ซึ่งมีค่า $\sigma = 1.4$ ดังนี้

$$\frac{1}{115} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix}$$

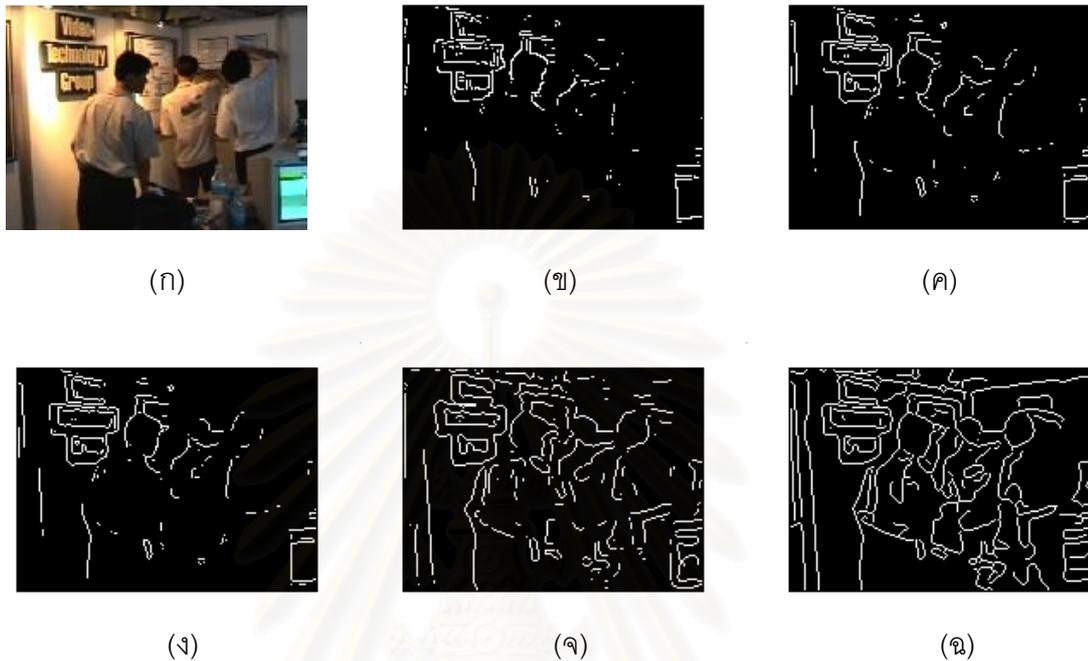
ขั้นตอนที่ 2 หาเกรเดียนต์ของภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 โดยใช้ตัวพรางแบบ Sobel โดยที่ขนาดและทิศทางของเกรเดียนต์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.12) และ (2.13) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 การกำจัดค่าที่ไม่สูงสุด (Non-maximum Suppression) เป็นการกำหนดให้จุดภาพซึ่งไม่ได้เป็นค่าสูงสุดเฉพาะที่ (local maxima) มีค่าเป็นศูนย์ โดยจากภาพเกรเดียนต์ที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 จุดภาพที่เป็นขอบวัตถุจะมีค่ามากกว่าจุดภาพบริเวณรอบ ๆ ในทิศทางของเกรเดียนต์ รวมถึงในทิศทางตรงกันข้ามด้วย

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบฮิสเทอรีซิส (Hysteresis thresholding) เป็นการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนของจุดภาพ 2 ค่า คือ T_h (high threshold) และ T_l (low threshold) โดยจุดภาพใดที่มีค่ามากกว่า T_h ก็จะถูกกำหนดให้เป็นจุดภาพขอบ (edge pixel) และถ้าจุดภาพที่อยู่ติดกับจุดภาพขอบมีค่ามากกว่า T_l จุดภาพนั้นก็จะถูกกำหนดให้เป็นจุดภาพขอบและต้องพิจารณาจุดภาพที่อยู่ติดกับจุดภาพขอบนั้นด้วยเช่นกัน การใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนแบบฮิสเทอรีซิสนี้จะช่วยทำให้เส้นขอบที่ได้มีลักษณะที่ต่อเนื่องกัน

พิจารณาภาพขอบวัตถุที่ได้จากการกรองด้วยตัวกรองขอบวัตถุแบบต่าง ๆ ได้ดัง

รูปที่ 2.11



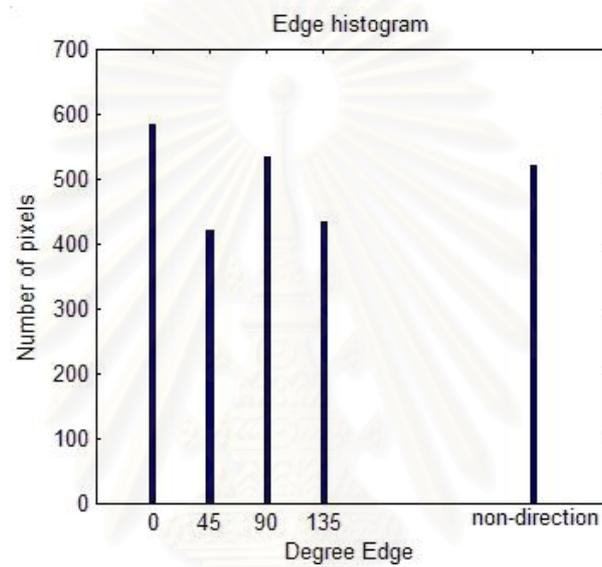
รูปที่ 2.11 ภาพขอบวัตถุที่ได้จากตัวกรองขอบวัตถุแบบต่าง ๆ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพขอบวัตถุแบบ Roberts (ค) ภาพขอบวัตถุแบบ Sobel (ง) ภาพขอบวัตถุแบบ Prewitt (จ) ภาพขอบวัตถุแบบ LoG (ฉ) ภาพขอบวัตถุแบบ Canny

2.3.2.3 ฮิสโตแกรมของขอบ

ข้อมูลรูปร่าง (Shape information) หรือเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ใช้แทนรูปร่างของวัตถุภายในภาพ ในที่นี้คือ ฮิสโตแกรมของขอบ (Edge histogram) ซึ่งเป็นกราฟแสดงจำนวนจุดภาพที่เป็นขอบของวัตถุในแต่ละทิศทาง โดยแทนนอนแทนทิศทางหรือชนิดของขอบ ส่วนแกนตั้งแทนจำนวนจุดภาพ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.12 ชนิดของขอบที่นิยมใช้แบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ ขอบแนวตั้ง (vertical edge), ขอบแนวนอน (horizontal edge), ขอบแนว 45 องศา (45 degree edge), ขอบแนว 135 องศา (135 degree edge) และขอบแบบไม่กำหนดทิศทาง (non-directional edge) ซึ่งเป็นขอบที่มีทิศทางนอกเหนือไปจากขอบทั้ง 4 ชนิดข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.13



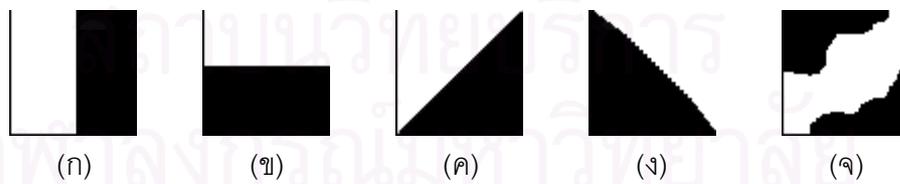
(ก)



(ข)

รูปที่ 2.12 ฮิสโตแกรมของขอบของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพตัวอย่าง

(ข) ฮิสโตแกรมของขอบ



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

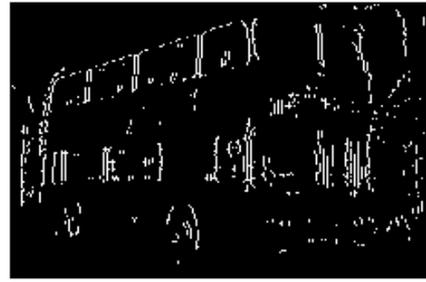
รูปที่ 2.13 ชนิดของขอบวัตถุ (ก) ขอบแนวตั้ง (ข) ขอบแนวนอน (ค) ขอบแนว 45 องศา

(ง) ขอบแนว 135 องศา (จ) ขอบแบบไม่กำหนดทิศทาง

การหาขอบวัตถุแต่ละชนิดของภาพทำได้โดยการใช้ตัวกรองที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาภาพขอบวัตถุแต่ละชนิดได้จากภาพตัวอย่างในรูปที่ 2.14



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 2.14 ภาพขอบวัตถุแต่ละชนิดของภาพรถประจำทาง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพขอบวัตถุแนวตั้ง (ค) ภาพขอบวัตถุแนวนอน (ง) ภาพขอบวัตถุแนว 45 องศา (จ) ภาพขอบวัตถุแนว 135 องศา (ฉ) ภาพขอบวัตถุแบบไม่กำหนดทิศทาง

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Roberts ในการตรวจหาขอบแนว 45 องศา และขอบแนว 135 องศา และใช้ตัวกรองขอบวัตถุแบบ Sobel ในการตรวจหาขอบแนวตั้ง, ขอบแนวนอน และขอบแบบไม่กำหนดทิศทาง

กำหนดให้ $F_E(I)$ คือ เวกเตอร์แทนฮิสโตแกรมของขอบของภาพ I

E_h คือ จำนวนจุดภาพของขอบแนวนอน

E_{45} คือ จำนวนจุดภาพของขอบแนว 45 องศา

E_v คือ จำนวนจุดภาพของขอบแนวตั้ง

E_{135} คือ จำนวนจุดภาพของขอบแนว 135 องศา

E_{non} คือ จำนวนจุดภาพของขอบแบบไม่กำหนดทิศทาง

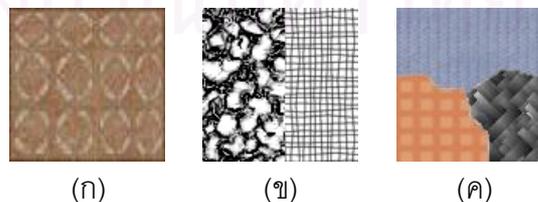
ดังนั้นจะได้เวกเตอร์แทนฮิสโตแกรมของขอบของภาพ / ดังสมการที่ (2.24)

$$F_E(I) = (E_h \ E_{45} \ E_v \ E_{135} \ E_{non}) \quad (2.24)$$

2.3.3 พื้นผิว (Texture)

พื้นผิวของภาพเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญประการหนึ่งสำหรับการสร้างดัชนีภาพ และค้นคืนภาพ ภายในพื้นผิวจะมีการแปรผันของระดับความเข้มสีที่มีนัยสำคัญระหว่างจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยแต่ละพื้นผิวของภาพจะมีคุณสมบัติเป็นเอกพันธ์หรือเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous property) ในบางสเกลเชิงพื้นที่ที่ใหญ่กว่าความละเอียดของภาพนั้น

พื้นผิวของภาพ คือ บริเวณซึ่งประกอบด้วยรูปร่างที่มีความเข้มของสีเท่ากัน (uniform intensity) ในลักษณะที่ซ้ำกันเป็นช่วง ๆ (periodic) หรือแบบสุ่ม (random) ซึ่งภาพแต่ละภาพอาจประกอบด้วยหลาย ๆ พื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยที่ลักษณะของพื้นผิวจะแตกต่างกัน ตามระดับความละเอียดของภาพที่พิจารณา ตัวอย่าง เช่น ภาพผีเสื้อ ที่ระดับความละเอียดต่ำหรือสเกลใหญ่ (large scale) จะพิจารณาพื้นผิวออกเป็น 2 ส่วน คือตัวผีเสื้อกับพื้นหลัง ในขณะที่ที่ระดับความละเอียดสูงขึ้นหรือสเกลที่ละเอียดขึ้น (finer scale) จะพิจารณาถึงลวดลายบนตัวผีเสื้อ



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 2.15 พื้นผิวของภาพ (ก) ภาพที่มี 1 พื้นผิว (ข) ภาพที่มี 2 พื้นผิว

(ค) ภาพที่มี 3 พื้นผิว

การใช้พื้นผิวเป็นลักษณะเฉพาะในการค้นคืนภาพจะมีประสิทธิภาพดี สำหรับ ภาพแบบพื้นผิว (texture pattern) ซึ่งมีลักษณะของพื้นผิวที่เป็นเนื้อเดียวกัน [10] แต่สำหรับ ภาพธรรมชาติหรือภาพซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non-homogeneous regions) จะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพลดลง

2.3.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิว

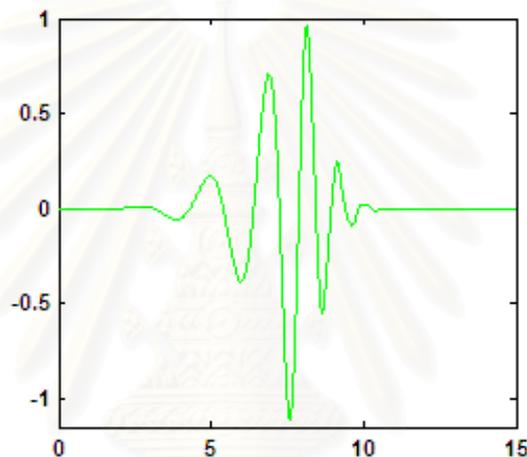
การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิว [8] แบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical approach), การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง (Structural approach) และการวิเคราะห์เชิงสเปกตรัม (Spectral approach)

- การวิเคราะห์เชิงสถิติ ทำได้โดยการนำค่าความเข้มสีของจุดภาพในภาพมา คำนวณค่าทางสถิติ เช่น คอรีเลชัน (correlation), พลังงาน (energy) หรือ เอนโทรปี (entropy) เพื่อใช้อธิบายลักษณะของพื้นผิวของภาพ
- การวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงตำแหน่ง ระหว่างพื้นผิวแต่ละส่วนภายในภาพ
- การวิเคราะห์เชิงสเปกตรัม เป็นการวิเคราะห์ภาพในโดเมนความถี่ ซึ่งวิธีที่ นิยมใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ [10], [21], [22] คือ การแปลงเวฟเล็ต (wavelet transform) โดยจะนำค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต (wavelet coefficients) มาใช้อธิบายคุณสมบัติทางความถี่ของพื้นผิว

ในงานวิจัยนี้ได้้นำการแปลงเวฟเล็ตมาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายลักษณะของพื้นผิว ด้วยเหตุผลที่ว่าภายในภาพแต่ละภาพอาจประกอบด้วย วัตถุที่มีขนาดและ/หรือความเบี่ยงต่าง ที่แตกต่างกันออกไปอยู่รวมกัน โดยวัตถุที่มีขนาดใหญ่หรือความเบี่ยงต่างสูงจะมีพื้นผิวที่หยาบ จึงสามารถนำมาวิเคราะห์ที่ระดับความละเอียดต่ำได้ ส่วนวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือความเบี่ยงต่าง ต่ำจะมีพื้นผิวที่ละเอียดซึ่งจะต้องวิเคราะห์ที่ระดับความละเอียดสูง ดังนั้นการใช้การวิเคราะห์ ภาพแบบหลายระดับความละเอียด (multiresolution) จะทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ต

2.3.3.2 การแปลงเวฟเล็ต

การแปลงเวฟเล็ต เป็นการแปลงที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงความถี่ และระดับความละเอียดที่สนใจได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้อธิบายโครงสร้างของระบบสัญญาณที่ประกอบด้วยกลุ่มของสัญญาณเฉพาะมารวมกันเป็นสัญญาณนั้น ๆ ได้ โดยสัญญาณเฉพาะนี้ จะเป็นคลื่นเล็ก ๆ ที่เรียกว่า เวฟเล็ต ซึ่งจะมีลักษณะเป็นคลื่นที่มีการแกว่งกวัด (oscillate) หรือเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ขนาดของคลื่นจะลดลงสู่ศูนย์อย่างรวดเร็วทั้งสองด้าน ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะของฟังก์ชันเวฟเล็ตชนิด Daubechies8

การนำการแปลงเวฟเล็ตมาใช้เพื่ออธิบายโครงสร้างของสัญญาณใด ๆ สามารถทำได้โดยการกระจายสัญญาณนั้นให้อยู่ในรูปของคลื่นเวฟเล็ตหลาย ๆ คลื่น ซึ่งมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันฐานหลัก (basis function) เดียวกัน โดยฟังก์ชันนี้จะเป็นเวฟเล็ตต้นกำเนิดที่เรียกว่า เวฟเล็ตแม่ (mother wavelet) คลื่นเวฟเล็ตแต่ละคลื่นจะอยู่ภายในเขตของเวฟเล็ตแม่และเกิดจากการสเกล (scaling) และการเลื่อนตำแหน่ง (translation) ไปของเวฟเล็ตแม่ กระบวนการนี้เรียกว่า การกระจายเวฟเล็ต (wavelet decomposition) ซึ่งก็คือการแปลงเวฟเล็ตนั่นเอง ในทำนองเดียวกันการสร้างกลับเวฟเล็ต (wavelet reconstruction) จะเป็นการนำคลื่นเวฟเล็ตเหล่านี้มารวมกันเพื่อประกอบเป็นสัญญาณเดิม เรียกกระบวนการนี้ว่า การแปลงกลับเวฟเล็ต (inverse wavelet transform) ถ้ากำหนดให้ (t) คือ ฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการทั่วไปของเวฟเล็ตที่ถูกสเกลเท่ากับ a และเลื่อนตำแหน่งไปเท่ากับ b ดังสมการที่ (2.25)

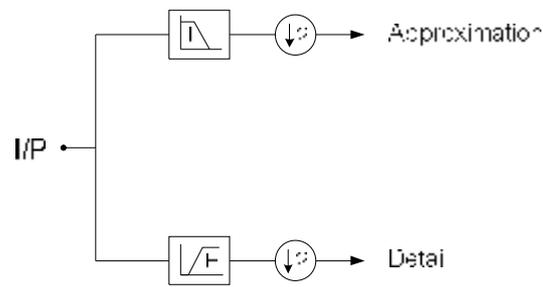
โดยที่ช่วงเวลาและความถี่ในการแปลงจะสัมพันธ์กันและเพื่อให้พลังงานของเวฟเล็ตที่ถูกสเกลไปแล้วมีค่าเท่ากับพลังงานของเวฟเล็ตแม่ จึงต้องทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalize) โดยการคูณด้วย $1/\sqrt{a}$

$$b,a(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (2.25)$$

1) การแปลงเวฟเล็ตของภาพ

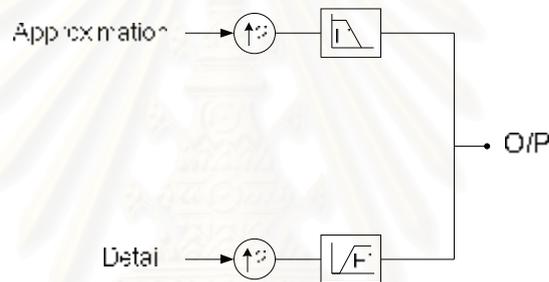
การแปลงเวฟเล็ตแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การแปลงเวฟเล็ตแบบต่อเนื่อง (continuous wavelet transform) และการแปลงเวฟเล็ตแบบเต็มหน่วย (discrete wavelet transform) แต่เนื่องจากภาพเป็นฟังก์ชันไม่ต่อเนื่องและมีลักษณะข้อมูลที่เป็น 2 มิติ ดังนั้นในการแปลงเวฟเล็ตของภาพจึงต้องใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่องใน 2 มิติ โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ตใน 1 มิติของข้อมูลในแนวตั้ง (column) ของภาพ และการแปลงเวฟเล็ตใน 1 มิติของข้อมูลในแนวนอน (row) ของภาพ ซึ่งมีความเป็นอิสระต่อกัน

ในทางปฏิบัติเราสามารถนำหลักการของฟิลเตอร์แบงก์ (filter banks) มาใช้ในการแปลงเวฟเล็ตได้โดยอาศัยตัวกรองดิจิทัล (digital filters) และตัวลดการซักร้อยอย่าง (down samplers) หลักการพื้นฐานของฟิลเตอร์แบงก์แบบสองช่องสัญญาณ (two channel filter banks) จะเป็นการแยกสัญญาณอินพุตออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของข้อมูลความถี่ต่ำและส่วนของข้อมูลความถี่สูง โดยใช้ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ (low pass frequency filter) และตัวกรองผ่านความถี่สูง จากนั้นจึงทำการลดการซักร้อยอย่างของข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากตัวกรองทั้งสองลง 2 เท่า เพื่อให้ผลรวมของข้อมูลเอาต์พุตมีค่าเท่ากับข้อมูลอินพุตที่ป้อนเข้ามา โดยเมื่อกรองสัญญาณอินพุตด้วยตัวกรองผ่านความถี่ต่ำและลดการซักร้อยอย่างลง 2 เท่าก็จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนของการประมาณ (approximation) และเมื่อกรองสัญญาณอินพุตด้วยตัวกรองผ่านความถี่สูงและลดการซักร้อยอย่างลง 2 เท่าก็จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ในส่วนของการละเอียด (detail) ดังแสดงในรูปที่ 2.17 การลดการซักร้อยอย่าง (downsampling) นี้เป็นการลดจำนวนข้อมูลของภาพลงเพื่อให้ได้ภาพที่มีความละเอียดต่ำกว่าภาพอินพุต



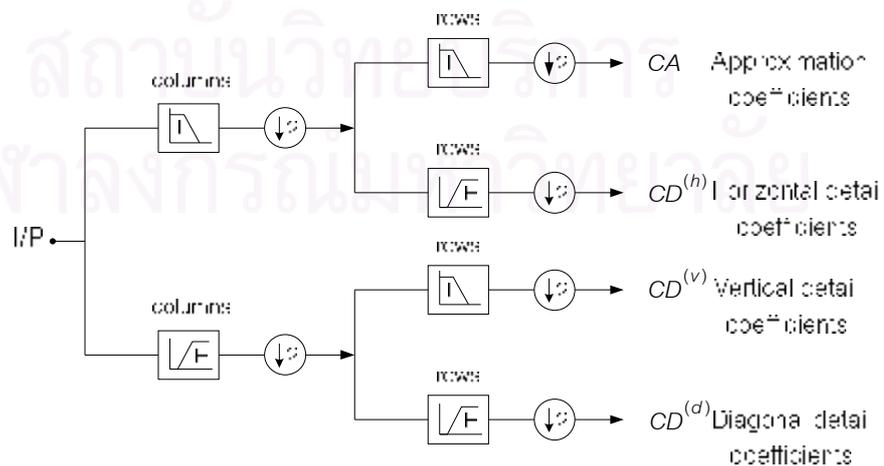
รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์ฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

โดยกระบวนการสังเคราะห์ฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.18

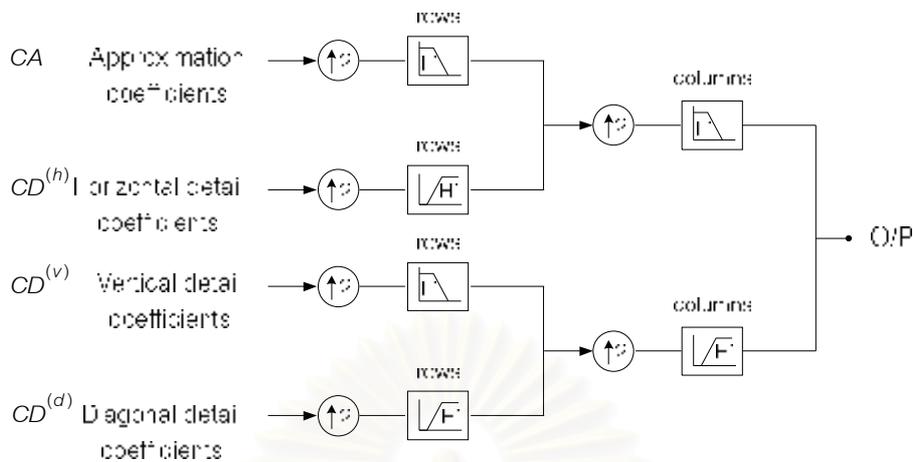


รูปที่ 2.18 การสังเคราะห์ฟิลเตอร์เบงก์แบบสองช่องสัญญาณ

ดังนั้นกระบวนการแปลงเวฟเล็ต และการแปลงกลับเวฟเล็ตของภาพจึงสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตของภาพ



รูปที่ 2.20 กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ตของภาพ

จากกระบวนการแปลงเวฟเล็ตของภาพในรูปที่ 2.19 เมื่อนำสัญญาณอินพุตหรือภาพไปผ่านตัวกรองผ่านความถี่ต่ำและตัวกรองผ่านความถี่สูง เพื่อแยกสัญญาณอินพุตออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของข้อมูลความถี่ต่ำและส่วนของข้อมูลความถี่สูง และทำการลดอัตราการสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) ข้อมูลในแนวตั้งของเอาต์พุตที่ได้จากตัวกรองทั้งสองด้วยแฟกเตอร์ 2 โดยการเก็บเฉพาะค่าที่ตำแหน่งดัชนีคู่ของข้อมูลในแนวตั้ง ก็จะได้ภาพย่อย (subimage) 2 ภาพที่มีความละเอียดในแนวตั้งลดลง 2 เท่า ในขณะที่ความละเอียดในแนวนอนยังคงเท่าเดิม โดยภาพหนึ่งจะเป็นส่วนของข้อมูลความถี่ต่ำ ส่วนอีกภาพหนึ่งจะเป็นส่วนของข้อมูลความถี่สูง จากนั้นจึงนำภาพย่อยทั้งสองภาพไปผ่านตัวกรองผ่านความถี่ต่ำและตัวกรองผ่านความถี่สูง เพื่อแยกส่วนของข้อมูลความถี่ต่ำและส่วนของข้อมูลความถี่สูงอีกครั้ง และทำการลดอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูลในแนวนอนของเอาต์พุตที่ได้จากตัวกรองทั้งสองด้วยแฟกเตอร์ 2 โดยการเก็บเฉพาะค่าที่ตำแหน่งดัชนีคู่ของข้อมูลในแนวนอน ก็จะได้ภาพย่อยทั้งหมด 4 ภาพที่มีความละเอียดในแนวนอนลดลง 2 เท่า โดย CA คือ สัมประสิทธิ์ค่าประมาณที่ได้จากการกรองข้อมูลในแนวตั้งและแนวนอนของภาพด้วยตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ $CD^{(h)}$ คือ สัมประสิทธิ์รายละเอียดในแนวนอนที่ได้จากการกรองข้อมูลในแนวตั้งด้วยตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ และการกรองข้อมูลในแนวนอนด้วยตัวกรองผ่านความถี่สูง $CD^{(v)}$ คือ สัมประสิทธิ์รายละเอียดในแนวตั้งที่ได้จากการกรองข้อมูลในแนวตั้งด้วยตัวกรองผ่านความถี่สูงและการกรองข้อมูลในแนวนอนด้วยตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ และ $CD^{(d)}$ คือ สัมประสิทธิ์รายละเอียดในแนวทแยงมุมที่ได้จากการกรองข้อมูลในแนวตั้งและแนวนอนของภาพด้วยตัวกรองผ่านความถี่สูง

ดังนั้นเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการก็จะได้ภาพย่อยจำนวน 4 ภาพ ซึ่งแต่ละภาพจะมีความละเอียดลดลง 4 เท่าของภาพอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การแปลงเวฟเล็ต 1 ระดับ (level) ความละเอียดของภาพ

โดยที่ LL คือ แถบย่อย (subband) ความถี่ต่ำผ่านทั้งในแนวตั้งและแนวนอน
 LH คือ แถบย่อยความถี่ต่ำผ่านในแนวตั้งและความถี่สูงผ่านในแนวนอน
 HL คือ แถบย่อยความถี่สูงผ่านในแนวตั้งและความถี่ต่ำผ่านในแนวนอน
 HH คือ แถบย่อยความถี่สูงผ่านทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

ตัวกรองสำหรับการแปลงเวฟเล็ตแต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป ในที่นี้จะขอ ยกตัวอย่างตัวกรองที่ใช้ในการแปลงเวฟเล็ต 2 ชนิด คือ Daubechies และ Haar [23]

- ตัวกรองเวฟเล็ตชนิด Haar

$$\text{ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ: } \frac{1}{\sqrt{2}} [1 \ 1]$$

$$\text{ตัวกรองผ่านความถี่สูง: } \frac{1}{\sqrt{2}} [1 \ -1]$$

- ตัวกรองเวฟเล็ตชนิด Daubechies

ตัวกรองผ่านความถี่ต่ำ:

$$\frac{1}{4\sqrt{2}} [1 + \sqrt{3} \quad 3 + \sqrt{3} \quad 3 - \sqrt{3} \quad 1 - \sqrt{3}]$$

ตัวกรองผ่านความถี่สูง :

$$\frac{1}{4\sqrt{2}}[1-\sqrt{3} \quad \sqrt{3}-3 \quad 3+\sqrt{3} \quad -1-\sqrt{3}]$$

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การแปลงเวฟเล็ตชนิด Daubechies โดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 3

ตัวอย่างภาพที่ได้ทำการแปลงเวฟเล็ตชนิด Daubechies แสดงดังรูปที่ 2.22



(ก)



(ข)



Approximations Horizontal Details Diagonal Details Vertical Details

(ค)

รูปที่ 2.22 การแปลงเวฟเล็ตของภาพตัวอย่างโดยใช้เวฟเล็ตชนิด Daubechies

(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต

(ค) ภาพย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต

จากรูปที่ 2.22 (ค) ภาพที่อยู่ทางด้านซ้ายมือสุด คือ ภาพจากแถบย่อย LL ซึ่ง เป็นภาพโครงร่างของภาพต้นฉบับ ส่วนอีกสามภาพที่อยู่ถัดมา คือ ภาพซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของภาพต้นฉบับในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการส่งข้อมูลแบบก้าวหน้า (progressive transmission) ได้ โดยเริ่มต้นจากการส่งข้อมูลของแถบย่อยความถี่ต่ำ (LL) ที่มีระดับความละเอียดต่ำสุดก่อน เพื่อให้ได้โครงร่างของภาพต้นฉบับที่ ปลายทาง จากนั้นจึงค่อย ๆ ส่งข้อมูลของแถบย่อยซึ่งเป็นรายละเอียดของภาพต้นฉบับในทิศทางต่าง ๆ ที่มีระดับความละเอียดสูงขึ้น เพื่อให้ภาพที่ปลายทางมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ

สำหรับการสร้างกลับเวฟเล็ดหรือการแปลงกลับเวฟเล็ด สามารถทำได้โดยการนำสัมประสิทธิ์เวฟเล็ดของแถบย่อยแต่ละแถบมาใช้ในการสังเคราะห์เวฟเล็ด ซึ่งภาพเอาต์พุตที่ได้จากการแปลงกลับเวฟเล็ดนี้จะมีค่าประมาณเท่ากับภาพอินพุตของการแปลงเวฟเล็ด เนื่องจากได้มีการสูญเสียข้อมูลบางส่วนไปในขั้นตอนการลดและเพิ่มอัตราการชักตัวอย่าง โดยพิจารณาตัวอย่างการแปลงกลับเวฟเล็ดได้จากรูปที่ 2.23

หลังจากทำการแปลงกลับเวฟเล็ดของภาพแล้ว เราสามารถวัดคุณภาพของภาพสังเคราะห์ (x_j^*) เมื่อเทียบกับภาพต้นฉบับ (x_j) ได้จากค่า PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) ซึ่งสำหรับภาพขนาด 8 บิตต่อจุดภาพ สามารถคำนวณค่า PSNR ได้จากสมการที่ (2.26) โดยคุณภาพของภาพจะแปรตามค่า PSNR

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right) \text{ dB} \quad (2.26)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - x_i^*)^2}{n}} \quad (2.27)$$



(ก)



(ข)

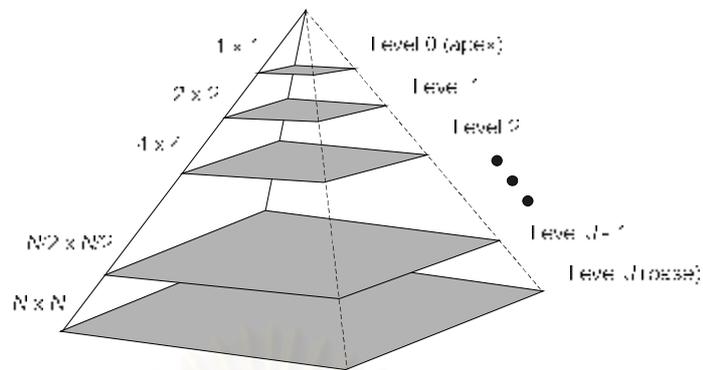
รูปที่ 2.23 การแปลงกลับเวฟเล็ตของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพต้นฉบับ

(ข) ภาพสังเคราะห์ (PSNR = 314.44 dB, MSE = 2.02e-027)

2) การแปลงเวฟเล็ตของภาพแบบหลายระดับความละเอียด

การวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียด (Multiresolution Analysis : MRA) เป็นการวิเคราะห์สัญญาณที่สามารถเลือกระดับความละเอียดที่สนใจได้ โดยการนำสัญญาณเล็ก ๆ ที่ระดับความละเอียดที่สนใจมารวมกันเกิดเป็นสัญญาณที่ระดับความละเอียดนั้น และเมื่อนำสัญญาณจากทุกระดับความละเอียดมารวมกันก็จะเกิดเป็นสัญญาณอินพุตขึ้น

ภาพพีระมิต (image pyramid) คือ กลุ่มของภาพที่มีความละเอียดลดลงเรื่อย ๆ ตามลักษณะรูปร่างของพีระมิต ดังรูปที่ 2.24 โดยภาพที่อยู่ฐานของพีระมิตจะเป็นภาพที่มีความละเอียดสูงสุด ส่วนภาพที่ปลายพีระมิตจะมีความละเอียดต่ำสุด และเมื่อเลื่อนระดับพีระมิตขึ้นแต่ละระดับ ภาพจะมีความละเอียดทั้งในแนวตั้งและแนวนอนลดลง 2 เท่า



รูปที่ 2.24 โครงสร้างภาพพีระมิด

ตัวอย่างภาพพีระมิดที่มี 4 ระดับความละเอียดแสดงดังรูปที่ 2.25



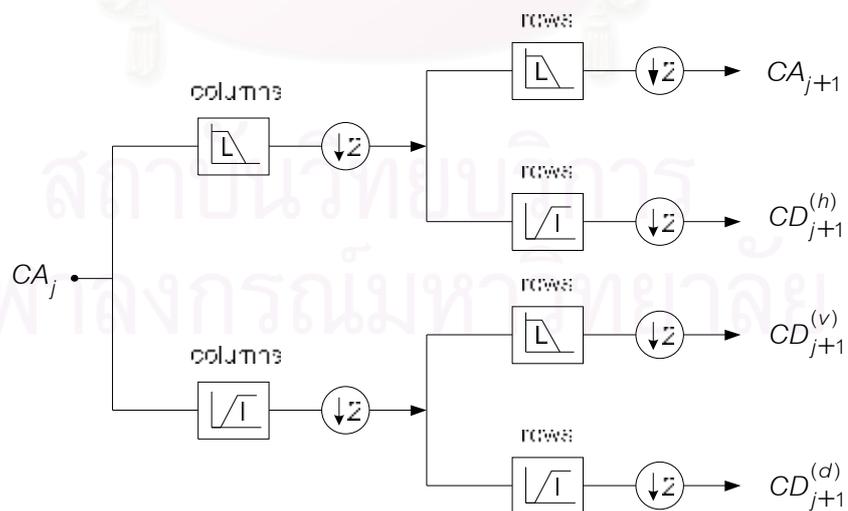
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างภาพพีระมิดที่มี 4 ระดับความละเอียด

การแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด (pyramidal wavelet transform) เป็นการแปลงเวฟเล็ตของภาพแบบหลายระดับความละเอียดวิธีหนึ่ง ซึ่งมีการแปลงซ้ำในแถบย่อย LL โดยจำนวนครั้งในการแปลงเวฟเล็ตขึ้นอยู่กักระดับความละเอียดที่ต้องการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 2.26

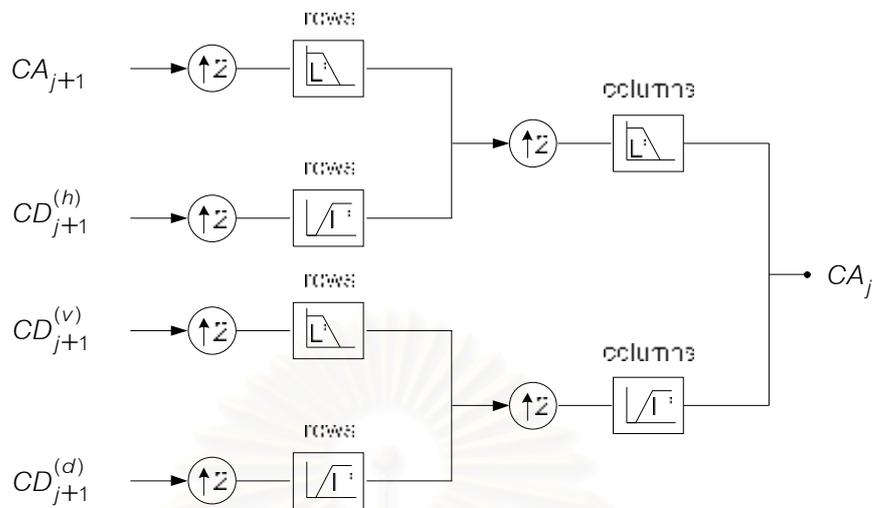
| | | | |
|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Approx | H.D. $j = 2$ | H.D. | Horizontal Details $j = 0$ |
| V.D. $j = 2$ | D.D. $j = 2$ | $j = 1$ | |
| V.D. $j = 1$ | D.D. $j = 1$ | | |
| Vertical Details $j = 0$ | | Diagonal Details $j = 0$ | |

รูปที่ 2.26 การแปลงเวฟเล็ตของภาพแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียด

โดยกระบวนการแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิดและการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบพีระมิด สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.27 และรูปที่ 2.28 ตามลำดับ



รูปที่ 2.27 กระบวนการแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด



รูปที่ 2.28 กระบวนการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบพีระมิด

โดยที่ j คือ ระดับความละเอียด

CA_0 คือ สัญญาณอินพุต

CA_j คือ สัมประสิทธิ์ค่าประมาณที่ระดับความละเอียด j

CA_{j+1} คือ สัมประสิทธิ์ค่าประมาณที่ระดับความละเอียด $j+1$

$CD_{j+1}^{(h)}$ คือ สัมประสิทธิ์รายละเอียดในแนวนอนที่ระดับความละเอียด $j+1$

$CD_{j+1}^{(v)}$ คือ สัมประสิทธิ์รายละเอียดในแนวตั้งที่ระดับความละเอียด $j+1$

$CD_{j+1}^{(d)}$ คือ สัมประสิทธิ์รายละเอียดในแนวทแยงมุมที่ระดับความละเอียด $j+1$

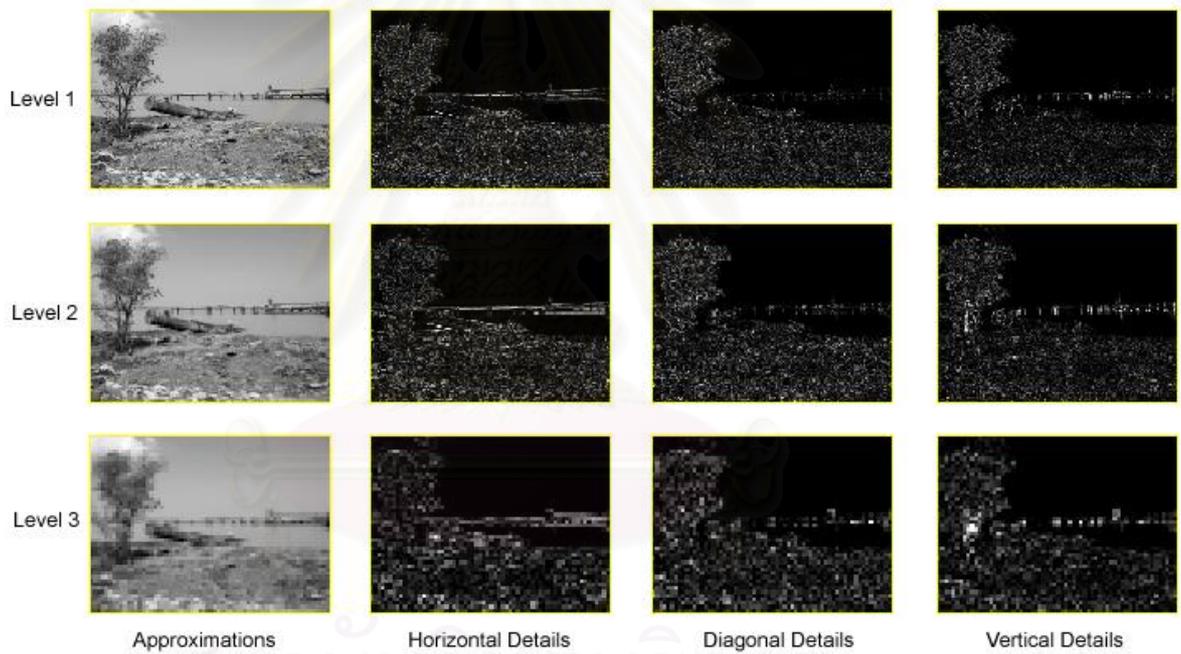
ตัวอย่างภาพที่ได้ทำการแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียด แสดง
ดังรูปที่ 2.29



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.29 การแปลงเวฟเล็ตแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียดของภาพตัวอย่าง (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต (ค) ภาพย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต

โดยพิจารณาตัวอย่างการแปลงกลับเวฟเล็ตแบบพีระมิดได้จากรูปที่ 2.30



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.30 การแปลงกลับเวฟเล็ตแบบพีระมิด 3 ระดับความละเอียดของภาพตัวอย่าง
(ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพสังเคราะห์ (PSNR =305.08 dB, MSE = 1.74e-026)

2.3.3.3 การวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

ทฤษฎีเวฟเล็ตสามารถนำมาใช้ในการอธิบายลักษณะของภาพได้ โดยการกระจายภาพออกเป็นส่วนประกอบเล็ก ๆ ในรูปของเวฟเล็ตที่ถูกสเกลและเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งแต่ละส่วนมีโครงสร้างมาจากฟังก์ชันเวฟเล็ตแม่ โดยข้อมูลที่เป็นพื้นผิววัตถุจะอยู่ที่สัมประสิทธิ์ที่แถบย่อยความถี่ต่ำ และข้อมูลที่เป็นขอบหรือลายเส้นของวัตถุจะอยู่ที่สัมประสิทธิ์ที่แถบย่อยความถี่สูง [24] การแปลงเวฟเล็ตนี้จะทำให้ได้ทั้งข้อมูลเชิงความถี่ (frequency information) และข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial information) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีนัยสำคัญต่อการวิเคราะห์และแยกแยะลักษณะเฉพาะของภาพอย่างมาก

การนำการแปลงเวฟเล็ตมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิว ทำได้โดยการนำภาพมาแปลงเวฟเล็ต จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต คือ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ต มาอธิบายคุณสมบัติทางความถี่ของพื้นผิวภายในภาพ โดยที่ภาพขนาด $n \times n$ จุดภาพ จะมีจำนวนสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตเท่ากับ n^2 ค่า ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำการกระจายพลังงาน (energy distribution) ของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อย มาอธิบายลักษณะของพื้นผิวแทนการอธิบายด้วยสัมประสิทธิ์เวฟเล็ต เพื่อลดขนาดของเวกเตอร์, ความจุของฐานข้อมูล รวมทั้งความ

ซับซ้อนและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยที่พลังงานในแต่ละแถบย่อยและพลังงานรวมของแถบย่อยทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.28) และ (2.29) ตามลำดับ

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{K_i} x_{i,j}^2}{E_{Total}} \quad (2.28)$$

$$E_{Total} = \sum_{i=0}^{K-1} E_i \quad (2.29)$$

โดยที่ E_i คือ พลังงานในแถบย่อยที่ i -th

E_{Total} คือ พลังงานรวมของแถบย่อยทั้งหมด

K คือ จำนวนแถบย่อย

K_i คือ จำนวนสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแถบย่อยที่ i -th

$x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,K_i}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแถบย่อยที่ i -th

ดังนั้นจะได้เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะแทนลักษณะของพื้นผิว ดังสมการที่ (2.30)

$$E(I) = (E_0, E_1, \dots, E_{K-1}) \quad (2.30)$$

ข้อดีของการแปลงเวฟเล็ต คือ สามารถวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายระดับความละเอียดได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้ง่ายขึ้น โดยจำนวนระดับความละเอียดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับขนาดของแถบย่อยที่เล็กที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัย [13] พบว่า แถบย่อยที่เล็กที่สุดควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 16×16 จุดภาพ จึงจะทำให้การวิเคราะห์ภาพด้วยค่าพลังงานหรือตัวแปรในทางสถิติมีความทนทานมากที่สุด

2.4 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Feature vector comparison)

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ ทำได้โดยการคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งสอง ซึ่งความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองจะแปรตามระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

กำหนดให้ I และ I' แทนภาพ 2 ภาพที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างกัน

k คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ

m คือ จำนวนสีภายในภาพ หลังการควอนไทซ์สี โดยมีเซตของสีเป็น $\{C_1, \dots, C_m\}$

$h_{C_i}(I)$ และ $h_{C_i}(I')$ คือ เวกเตอร์แทนฮิสโตแกรมของสี C_i ของภาพ I และ I' ตามลำดับ

$\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I)$ และ $\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')$ คือ เวกเตอร์แทนฮิสโตแกรมของสี C_i ของภาพ I และ I' ตามลำดับ

วิธีการคำนวณสามารถแบ่งเป็น 3 วิธี ดังนี้

2.4.1 ระยะทาง L_1 (L_1 distance) คือ ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์ใด ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่คำนวณได้ง่าย รวดเร็วและไม่ซับซ้อน

ระยะทาง L_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.31)

$$\|I - I'\|_{h, L_1} = \sum_{i \in [m]} |h_{C_i}(I) - h_{C_i}(I')| \quad (2.31)$$

ระยะทาง L_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.32)

$$\|I - I'\|_{\gamma, L_1} = \sum_{i \in [m], k \in [d]} |\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) - \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')| \quad (2.32)$$

ระยะทาง L_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.33)

$$\begin{aligned} \|I - I'\|_{E, L_1} = & |E_h(I) - E_h(I')| + |E_{45}(I) - E_{45}(I')| + |E_v(I) - E_v(I')| \\ & + |E_{135}(I) - E_{135}(I')| + |E_{non}(I) - E_{non}(I')| \end{aligned} \quad (2.33)$$

ระยะทาง L_1 สำหรับวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.34)

$$\|I - I'\|_{E, L_1} = \sum_{i=0}^{K-1} |E_i(I) - E_i(I')| \quad (2.34)$$

2.4.2 ระยะทาง D_1 (D_1 distance) เป็นวิธีที่ประยุกต์มาจากระยะทาง L_1 โดยการแทนที่ค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์ใด ๆ ด้วยค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์ใด ๆ หารด้วย 1 บวกกับผลรวมของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 2 เวกเตอร์นั้น (ค่า 1 ในส่วนของสมการ เพิ่มเข้ามาเพื่อป้องกันการหารด้วยศูนย์) ตัวอย่างเช่น สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสีจะมีการแทนที่ $|h_{C_i}(I) - h_{C_i}(I')|$

ด้วย $\frac{|h_{C_i}(I) - h_{C_i}(I')|}{1 + h_{C_i}(I) + h_{C_i}(I')}$ และในทำนองเดียวกันสำหรับวิธีฮิสโตแกรมสี, ฮิสโตแกรม

ของขอบและวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญของค่าความแตกต่างที่เท่ากันของค่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน [7] โดยพิจารณาตัวอย่างจากภาพ 2 คู่ คือ (I_1, I_2) และ (I_3, I_4) ซึ่งมีฮิสโตแกรมของสีดังนี้ $h_{C_i}(I_1) = 1000$, $h_{C_i}(I_2) = 1050$, $h_{C_i}(I_3) = 100$ และ $h_{C_i}(I_4) = 150$ จะสังเกตเห็นว่าค่าสัมบูรณ์ความแตกต่างของจำนวนจุดภาพสำหรับสี C_i ของทั้งสองกรณีมีค่าเท่ากันคือ 50 แต่ค่าความแตกต่างของภาพคู่ที่สองนั้นมี นัยสำคัญมากกว่าเมื่อเทียบกับภาพคู่แรก เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของภาพคู่แรก จะเห็นว่ามีเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดภาพน้อยมาก เมื่อเทียบกับผลรวมของจำนวนจุดภาพ ของภาพทั้งสอง ($|1000 - 1050| / (1000 + 1050)$) ในขณะที่ภาพคู่ที่สองนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดภาพมากกว่าเมื่อเทียบกับผลรวมของจำนวนจุดภาพของภาพทั้งสอง ($|100 - 150| / (100 + 150)$)

เมื่อนำภาพทั้งสองคู่มาคำนวณค่าระยะทาง L_1 จะได้ค่าดังนี้

$$|I_1 - I_2|_{h,L_1} = |1000 - 1050| = 50$$

$$|I_3 - I_4|_{h,L_1} = |100 - 150| = 50$$

จากผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าภาพทั้งสองคู่นั้นมีค่าระยะทาง L_1 เท่ากัน คือ 50 ดังนั้นในกรณีนี้ถ้าใช้ระยะทาง L_1 ในการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งสองคู่อีกจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้

ซึ่งเมื่อนำภาพทั้งสองคู่มาคำนวณค่าระยะทาง D_1 จะได้ค่าดังนี้

$$|I_1 - I_2|_{h,D_1} = \frac{|1000 - 1050|}{1 + 1000 + 1050} = 0.024$$

$$|I_3 - I_4|_{h,D_1} = \frac{|100 - 150|}{1 + 100 + 150} = 0.199$$

จากผลลัพธ์ที่ได้จะสังเกตเห็นว่าภาพทั้งสองคู่นั้นมีค่าระยะทาง D_1 ที่แตกต่างกัน โดยภาพคู่อีกสองจะมีค่าระยะทาง D_1 มากกว่าภาพคู่อีก ซึ่งหมายความว่าภาพคู่อีกสองนั้นมีความแตกต่างกันมากกว่าภาพคู่อีก ดังนั้นในกรณีนี้การเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยระยะทาง D_1 จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าระยะทาง L_1

- ระยะทาง D_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.35)

$$|I - I'|_{h,D_1} = \sum_{i \in [m]} \frac{|h_{C_i}(I) - h_{C_i}(I')|}{1 + h_{C_i}(I) + h_{C_i}(I')} \quad (2.35)$$

ระยะทาง D_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.36)

$$|I - I'|_{\gamma,D_1} = \sum_{i \in [m], k \in [d]} \frac{|\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) - \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')|}{1 + \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) + \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')} \quad (2.36)$$

ระยะทาง D_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของขอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.37)

$$\begin{aligned} \|I - I'\|_{F_E, D_1} = & \frac{|E_h(I) - E_h(I')|}{1 + E_h(I) + E_h(I')} + \frac{|E_{45}(I) - E_{45}(I')|}{1 + E_{45}(I) + E_{45}(I')} + \frac{|E_v(I) - E_v(I')|}{1 + E_v(I) + E_v(I')} \\ & + \frac{|E_{135}(I) - E_{135}(I')|}{1 + E_{135}(I) + E_{135}(I')} + \frac{|E_{non}(I) - E_{non}(I')|}{1 + E_{non}(I) + E_{non}(I')} \end{aligned} \quad (2.37)$$

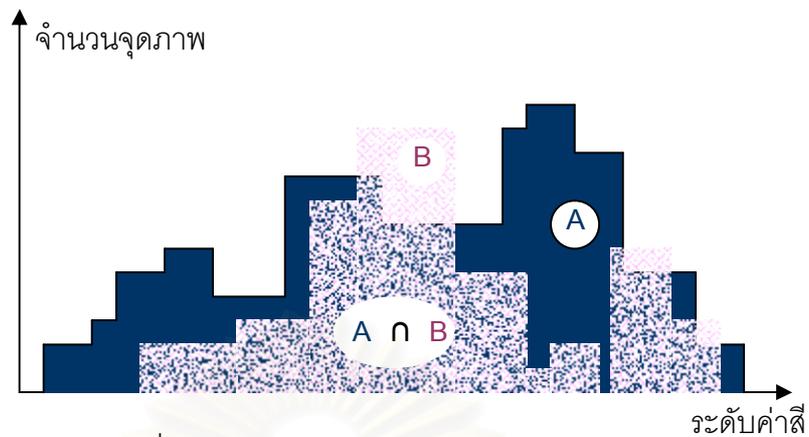
ระยะทาง D_1 สำหรับวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.38)

$$\|I - I'\|_{E, D_1} = \sum_{i=0}^{K-1} \frac{|E_i(I) - E_i(I')|}{1 + E_i(I) + E_i(I')} \quad (2.38)$$

2.4.3 ระยะทาง S_1 (S_1 distance) เป็นวิธีที่เสนอโดย [9] ซึ่งประยุกต์มาจากส่วนร่วมฮิสโตแกรม (histogram intersection) [2],[4] ดังสมการที่ (2.39)

$$\|I - I'\|_h = 1 - \sum_{i \in [m]} \min(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I')) \quad (2.39)$$

พิจารณาจากรูปที่ 2.31 ส่วนที่ตัดกัน (intersect) ของฮิสโตแกรมของสีของภาพ 2 ภาพ คือ ส่วนที่ภาพ 2 ภาพ นั้นมีความเหมือนกันอยู่ เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้ส่วนที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับการคำนวณระยะทาง L_1 และระยะทาง D_1 ดังนั้นในการคำนวณจึงต้องนำค่าส่วนที่ตัดกันมาลบออกจากค่า 1 ดังสมการที่ (2.39)



รูปที่ 2.31 ฮิสโตแกรมของสีของภาพ 2 ภาพ

พิจารณาตัวอย่างดังต่อไปนี้ โดยกำหนดให้ภาพ I_1 , I_2 และ I_3 ประกอบด้วยสีจำนวน 3 สี ได้แก่ สีแดง, เขียวและน้ำเงิน ซึ่งแต่ละสีมีค่าฮิสโตแกรมของสี ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ฮิสโตแกรมของสีของภาพ [9]

| ภาพ | ฮิสโตแกรมของสี | | |
|-------|----------------|---------|-----------|
| | สีแดง | สีเขียว | สีน้ำเงิน |
| I_1 | 0.3 | 0.2 | 0.5 |
| I_2 | 0.6 | 0.2 | 0.2 |
| I_3 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |

เมื่อนำค่าฮิสโตแกรมของสีของภาพจากตารางที่ 2.3 มาคำนวณตามสมการที่ (2.39) จะได้ค่าดังนี้

$$|I_1 - I_2|_h = 1 - (0.3 + 0.2 + 0.2) = 0.3$$

$$|I_1 - I_3|_h = 1 - (0.3 + 0.2 + 0.2) = 0.3$$

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างระหว่างภาพ I_1 กับ I_2 และ I_1 กับ I_3 นั้นมีค่าเท่ากัน เนื่องมาจากการให้สีแต่ละสีของภาพทั้งคู่อมีความแตกต่างอย่างเท่า ๆ กัน กล่าวคือ I_2 และ I_3 มีส่วนที่ซ้ำกับ I_1 เหมือนกัน ดังนั้นจึงต้องประยุกต์สมการที่ (2.39) โดยการ

ถ่วงน้ำหนักค่า $\min(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I'))$ ด้วย $\max(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I'))$ สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสี ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการกระจายของสีแต่ละสีระหว่างภาพทั้งสองมากยิ่งขึ้น

- ระยะทาง S_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.40)

$$|I - I'|_{h, S_1} = 1 - \frac{1}{m} \times \sum_{i \in [m]} \frac{\min(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I'))}{\max(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I'))} \quad (2.40)$$

เมื่อนำค่าฮิสโตแกรมของสีของภาพจากตารางที่ 2.3 มาคำนวณระยะทาง S_1 จะได้อัตราค่าดังนี้

$$|I_1 - I_2|_{h, S_1} = 1 - (0.3/0.6 + 0.2/0.2 + 0.2/0.5) / 3 = 0.37$$

$$|I_1 - I_3|_{h, S_1} = 1 - (0.3/0.5 + 0.2/0.3 + 0.2/0.5) / 3 = 0.44$$

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าภาพ I_1 มีลักษณะที่คล้ายกับภาพ I_2 มากกว่าภาพ I_3 เนื่องจากภาพ I_1 กับ I_2 มีค่าระยะทาง S_1 น้อยกว่าภาพ I_1 กับ I_3 ซึ่งการเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพด้วยระยะทาง S_1 นี้จะทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างภาพ I_1 กับ I_2 และ I_1 กับ I_3 ได้ดียิ่งขึ้น และทำให้สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสามนี้ได้

การคำนวณระยะทาง S_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสี, ฮิสโตแกรมของขอบและวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต สามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันกับฮิสโตแกรมของสี ดังนี้

- ระยะทาง S_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของสีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.41)

$$|I - I'|_{\gamma, S_1} = 1 - \frac{1}{md} \times \sum_{i \in [m], k \in [d]} \frac{\min(\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I), \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I'))}{\max(\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I), \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I'))} \quad (2.41)$$

- ระยะทาง S_1 สำหรับวิธีฮิสโตแกรมของขอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.42)

$$|I - I'|_{F_E, S_1} = 1 - \frac{1}{5} \times \left(\begin{aligned} & \frac{\min(E_h(I), E_h(I'))}{\max(E_h(I), E_h(I'))} + \frac{\min(E_{45}(I), E_{45}(I'))}{\max(E_{45}(I), E_{45}(I'))} \\ & + \frac{\min(E_v(I), E_v(I'))}{\max(E_v(I), E_v(I'))} + \frac{\min(E_{135}(I), E_{135}(I'))}{\max(E_{135}(I), E_{135}(I'))} \\ & + \frac{\min(E_{non}(I), E_{non}(I'))}{\max(E_{non}(I), E_{non}(I'))} \end{aligned} \right) \quad (2.42)$$

ระยะทาง S_1 สำหรับวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.43)

$$|I - I'|_{E, S_1} = 1 - \frac{1}{K} \times \sum_{j=0}^{K-1} \frac{\min(E_j(I), E_j(I'))}{\max(E_j(I), E_j(I'))} \quad (2.43)$$

สำหรับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะอื่น ๆ ก็สามารถคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ 2 เวกเตอร์ใด ๆ ได้ในลักษณะเดียวกัน โดยการเปรียบเทียบระหว่างภาพสอบถามกับภาพในฐานข้อมูล ภาพที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายหรือเหมือนกับภาพสอบถามมากที่สุด จะมีระยะทางน้อยที่สุด

ในงานวิจัยนี้จะใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 ภาพ เนื่องจากผลการทดลองใน [14] พบว่าระยะทาง S_1 มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะทาง L_1 และระยะทาง D_1

2.5 การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ

วิธีวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่ใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ วิธี r -measure และ p_1 -measure, Precision และ recall และ ANMRR

2.5.1 r -measure และ p_1 -measure

r -measure และ p_1 -measure เป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจากลำดับที่ของภาพ (Ranking Measures) วิธีหนึ่ง ซึ่งใช้ในงานวิจัยของ [7] โดยวัดจากลำดับที่ของภาพซึ่งคล้ายคลึงกับภาพสอบถามที่ค้นคืนมาได้

กำหนดให้ $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_q\}$ เป็นเซตของภาพสอบถาม โดย Q_i คือภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องสำหรับภาพสอบถาม Q_i (ซึ่งก็คือภาพที่คล้ายกับภาพสอบถาม Q_i มากที่สุดและเป็นภาพที่ผู้ใช้ต้องการค้นคืนมา) และ q คือ จำนวนการสอบถาม

1) r -measure คือ ผลรวมของลำดับที่ (rank) ของภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องสำหรับการสอบถามทั้งหมด ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2.44) โดยค่าเฉลี่ยของ r -measure สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.45)

$$r\text{-measure} = \sum_{i=1}^q \text{rank}(Q'_i) \quad (2.44)$$

$$\text{avg } r\text{-measure} = \frac{r\text{-measure}}{q} \quad (2.45)$$

2) p_1 -measure คือ ผลรวมของค่า precision ณ จุดที่มีค่า recall เท่ากับ 1 ของการสอบถามทั้งหมด ซึ่งหมายถึงค่าความเที่ยงที่ลำดับที่ซึ่งสามารถค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับกับภาพสอบถามได้ทั้งหมด โดยค่า p_1 -measure และค่าเฉลี่ยของ p_1 -measure สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.46) และ (2.47) ตามลำดับ

$$p_1\text{-measure} = \sum_{i=1}^q \frac{1}{\text{rank}(Q'_i)} \quad (2.46)$$

$$\text{avg } p_1\text{-measure} = \frac{p_1\text{-measure}}{q} \quad (2.47)$$

เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะมีค่า r -measure ต่ำที่สุด และมีค่า p_1 -measure สูงที่สุด

2.5.2 Precision และ recall

การวัดค่า Precision และ recall เป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ ซึ่งใช้ในงานวิจัย [11] โดยมีนิยามดังนี้

1) **precision** เป็นการวัดความแม่นยำในการค้นคืนภาพของระบบ โดยพิจารณาจากจำนวนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับภาพสอบถามจากภาพที่ค้นคืนมาทั้งหมด ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.48)

$$precision = \frac{\text{No. of relevant images retrieved}}{\text{Total no. of images retrieved}} \quad (2.48)$$

2) **recall** เป็นการวัดความสามารถในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามจากภาพทั้งหมดในฐานข้อมูลของระบบ ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.49)

$$recall = \frac{\text{No. of relevant images retrieved}}{\text{Total no. of relevant images in database}} \quad (2.49)$$

การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีนี้ ทำได้โดยการวิเคราะห์จากกราฟระหว่าง precision และ recall ซึ่งการคำนวณค่าทั้งสองนี้ต้องพิจารณาที่ จำนวนภาพทั้งหมดที่ค้นคืนมาเท่านั้น โดยจำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับ n ภาพ จะประกอบด้วยภาพลำดับที่ 1 ถึงภาพลำดับที่ n ซึ่งกราฟระหว่าง precision และ recall แต่ละจุดได้จากการคำนวณค่าทั้งสองที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาต่าง ๆ กัน เช่น จุดแรกได้จากการคำนวณค่าที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับ 10 ภาพ จุดที่สองและจุดต่อ ๆ มาได้จากการคำนวณที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับ 20, 30, 40 เพิ่มจำนวนไปจนกระทั่งค่า recall เท่ากับ 1 หรือ 100 % กล่าวคือ เมื่อสามารถค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับภาพสอบถามได้ทั้งหมด โดยค่า precision จะแปรผกผันกับค่า recall

2.5.3 ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank)

ในวิทยานิพนธ์นี้จะวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR ซึ่งใช้ในงานวิจัย [5] เนื่องจากสามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปผลได้อย่างชัดเจน โดยพิจารณาได้จากผลการทดลองในบทที่ 4 ANMRR เป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจากลำดับที่ของภาพซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถาม ซึ่งนิยามขึ้นโดยกลุ่มวิจัย MPEG-7

กำหนดให้ Q คือ จำนวนการสอบถาม (1% ของจำนวนภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล [5])

$NG(q)$ 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 (2.50)

$$Rank(k) = \begin{cases} R(k) & , \text{if } R(k) \leq K(q) \\ (K + 1) & , \text{if } R(k) > K(q) \end{cases} \quad (2.50)$$

$AVR(q)$ คือ ค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของภาพ (Average Rank) สำหรับสอบถาม q ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.51)

$$AVR(q) = \sum_{k=1}^{NG(q)} \frac{Rank(k)}{NG(q)} \quad (2.51)$$

เนื่องจากแต่ละกลุ่มภาพอาจมีจำนวนภาพที่แตกต่างกัน จึงทำให้ $AVR(q)$ มีค่าขึ้นอยู่กับค่า $NG(q)$ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงค่า $AVR(q)$ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่า $NG(q)$ เรียกว่า $MRR(q)$ (Modified Retrieval Rank) โดยคำนวณได้ดังสมการที่ (2.52)

$$MRR(q) = AVR(q) - 0.5 - \frac{NG(q)}{2} \quad (2.52)$$

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 (2.53)

$$NMRR(q) = \frac{MRR(q)}{K + 0.5 - 0.5 * NG(q)} \quad (2.53)$$

ดังนั้นจะได้ค่า $ANMRR$ ดังสมการที่ (2.54)

$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q NMRR(q) \quad (2.54)$$

ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจะแปรผกผันกับค่า $ANMRR$ กล่าวคือเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีค่า $ANMRR$ ต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีค่า $ANMRR$ สูงกว่า

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ ได้แก่

- ขนาดของฐานข้อมูลภาพ (จำนวนภาพภายในฐานข้อมูล)
- ลักษณะหรือประเภทของภาพในฐานข้อมูล
- ลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้ในการจัดเก็บและค้นคืนภาพ
- ขนาดหรือมิติของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- วิธีการสอบถาม
- จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์ (ในกรณีที่ใช้ลักษณะเฉพาะทางสี)
- วิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีต่าง ๆ รวมถึงเทคนิคการค้นคืนภาพที่ได้ศึกษา ส่วนเทคนิคการค้นคืนภาพที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงในบทถัดไป

บทที่ 3

เทคนิคที่นำเสนอ

ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ สี, รูปร่างและพื้นผิว โดยส่วนใหญ่ภาพที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกันจะมีลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กันหรือคล้ายคลึงกันมากกว่าลักษณะเฉพาะอื่น ๆ จึงทำให้การค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิคอย่างใดอย่างหนึ่งนั้นมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพแต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ ซึ่งจะส่งผลให้ไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะมีความคล้ายคลึงกันก็มีมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้มีแนวคิดในการนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันและถ่วงน้ำหนักให้แต่ละวิธี โดยเทคนิคที่นำเสนอ คือ วิธีที่ใช้อัตนคติอรรถวิไลกรรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งวิธีนี้ทำให้ได้ข้อมูลลักษณะเฉพาะทั้งสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของสีและลักษณะพื้นผิวของภาพ

ข้อดีของวิธีอรรถวิไลกรรม คือ มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของสี, ความสว่างและความเปรียบต่างของภาพ รวมถึงภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการหมุน ส่วนวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพที่ดี สำหรับการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern) แต่จะมีปัญหาสำหรับภาพธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non-homogeneous regions) ดังนั้นการนำวิธีอรรถวิไลกรรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมาใช้ร่วมกัน ก็จะทำให้การค้นคืนภาพจากหลายกลุ่มภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.1 การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีอรรถวิไลกรรม

นอกจากความสามารถในการค้นคืนภาพได้อย่างถูกต้อง และตรงตามความต้องการของผู้ใช้แล้ว เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพต้องสามารถค้นคืนภาพได้อย่างรวดเร็ว และ

คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะได้ง่าย มีความซับซ้อนในการคำนวณไม่มาก และมีขนาดของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ค่อนข้างเล็ก เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการทำดัชนีและจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล

การปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ สำหรับวิธีออตคอรรีโลแกรมสามารถทำได้โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณค่าออตคอรรีโลแกรมของภาพให้เหมาะสม ซึ่งได้แก่จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สี และเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะส่งผลต่อขนาดของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และความซับซ้อนรวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณออตคอรรีโลแกรมของภาพเพื่อสร้างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

$\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I)$ คือ เวกเตอร์แทนออตคอรรีโลแกรมของภาพ I ดังสมการที่ (3.1)

$$\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) = \begin{matrix} \gamma_{c_1, c_1}^{(1)} & \gamma_{c_1, c_1}^{(2)} & \cdots & \gamma_{c_1, c_1}^{(k)} \\ \gamma_{c_2, c_2}^{(1)} & \gamma_{c_2, c_2}^{(2)} & \cdots & \gamma_{c_2, c_2}^{(k)} \\ \gamma_{c_m, c_m}^{(1)} & \gamma_{c_m, c_m}^{(2)} & \cdots & \gamma_{c_m, c_m}^{(k)} \end{matrix} \quad (3.1)$$

ขนาดของเวกเตอร์แทนออตคอรรีโลแกรมจะเท่ากับ $m \times d$

โดยที่ m คือ จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สี

k คือ ระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ

d คือ จำนวนสมาชิกของเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ

ส่วนความซับซ้อนและระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณออตคอรรีโลแกรมของภาพจะแปรตามขนาดของภาพและเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบบจำลองสี RGB ในการประมวลผลภาพ เนื่องจากภาพดิจิทัลโดยทั่วไปใช้แบบจำลองสี RGB โดยจำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สีที่ใช้ คือ 64 ถึงสี

ลดลงมาจาก 2^{24} สีหรือประมาณ 16.7 ล้านสี สำหรับภาพสีขนาด 24 บิตต่อจุดภาพ ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ เนื่องจากการแยกแยะความแตกต่างของระดับค่าสีของสายตามนุษย์นั้นมีความละเอียดไม่มากนัก

และสำหรับการคำนวณค่าออกโคโครีโโลแกรมของภาพในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ เท่ากับ $k = \{1, 3, 5\}$ เนื่องจากในการทดลองพบว่าวิธีนี้มีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพใกล้เคียงกับวิธีที่ใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำที่สุด โดยมีค่า ANMRR มากกว่าเพียง 0.0015 แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะน้อยกว่ามาก เพราะมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าถึง $2n^2$ สำหรับภาพขนาด $n \times n$ จุดภาพ และทำให้สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้นเนื่องจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมีขนาดเล็กกว่าถึง $2m$ โดยที่ m คือ จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สี

3.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

การปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต สามารถทำได้โดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะแทนพื้นผิวของภาพให้เหมาะสม ซึ่งเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายพื้นผิวของภาพที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือ ค่าพลังงานของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อย โดยขนาดของเวกเตอร์นี้จะเท่ากับจำนวนแถบย่อยที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ดังสมการที่ (3.2) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับความละเอียดที่ใช้ในการแปลงเวฟเล็ต

$$\text{จำนวนแถบย่อย} = 4 + (3 \times (\text{ระดับความละเอียด} - 1)) \quad (3.2)$$

เมื่อเพิ่มระดับความละเอียดที่ใช้ในการแปลงเวฟเล็ตขึ้น 1 ระดับ จำนวนแถบย่อยจะเพิ่มขึ้น 3 แถบย่อย ดังนั้นขนาดของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะจึงเพิ่มขึ้น 3 มิติ

ชนิดของเวฟเล็ต เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เวฟเล็ตชนิด Daubechies ซึ่งฐานหลักเชิงตั้งฉากปกติของ Daubechies (Daubechies' orthonormal basis) มีคุณสมบัติดังนี้

- r หรือเวฟเล็ตแม่ มีลักษณะที่กะชับ (compact) อยู่ในช่วง $[0, 2r + 1]$
- r มีอนุพันธ์ที่ต่อเนื่อง (continuous derivatives)
- $\int_{-\infty}^{\infty} \psi_r(x) dx = 0 = \int_{-\infty}^{\infty} x^r \psi_r(x) dx = 0$

โดยที่ r คือ จำนวนเต็มใด ๆ

จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้เวฟเล็ตชนิดนี้มีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการวิเคราะห์และการสังเคราะห์ภาพ รวมถึงการประมวลผลภาพด้วย นอกจากนี้ฟังก์ชันเวฟเล็ตที่มีลักษณะกะชับจะสามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น โดยการใช้ตัวกรองที่มีความยาวจำกัด (finite length filters) และเนื่องจาก r เป็นฟังก์ชันที่มีอนุพันธ์ที่ต่อเนื่องจึงทำให้สามารถวิเคราะห์ฟังก์ชันต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพและหลีกเลี่ยงการเกิดเส้นขอบ (edge artifacts)

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกเวฟเล็ตชนิด Daubechies สำหรับการแปลงเวฟเล็ตเพื่อวิเคราะห์พื้นผิวของภาพ โดยใช้การแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียด ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 พบว่า เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับฐานข้อมูลภาพซึ่งมีขนาดภาพเท่ากับ 128×85 จุดภาพ เนื่องจากมีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำที่สุด

3.3 การรวมลักษณะเฉพาะ (Feature integration)

การนำลักษณะเฉพาะต่าง ๆ มาใช้ร่วมกัน สามารถทำได้โดยการหาผลรวมของระยะทางที่มีการถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละวิธี ดังสมการที่ (3.3)

$$S_1 = \sum_{i=1}^n w_i S_1(i) \quad (3.3)$$

โดยที่ w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวิธี ($0 \leq w_i \leq 1$ และ $\sum_{i=1}^n w_i = 1$) [26]

$S_1(i)$ คือ ระยะทาง S_1 ของแต่ละวิธี

การนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่าง ๆ ของภาพมาใช้ร่วมกัน จะทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะของภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพดีขึ้นในหลายกลุ่มภาพ

โดยเทคนิคการค้นคืนภาพที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ คือ การใช้วิธีออโตคออร์โวลแกรมโดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5\}$ ร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียด ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยสามารถพิจารณาได้จากผลการทดลองในบทที่ 4

ในบทถัดไปจะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธี รวมถึงเทคนิคการค้นคืนภาพที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง การทดลองค้นคืนภาพดิจิทัลด้วยเทคนิคต่าง ๆ ประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี, ออโตคอรัลโแกรม, ฮิสโตแกรมของขอบ และการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต โดยใช้การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 , ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละวิธี รวมทั้งการทดลองวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ r -measure และ p_1 -measure, Precision และ recall และวิธีสุดท้ายคือ ANMRR โดยแต่ละการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิสโตแกรมของสีและออโตคอรัลโแกรม รวมทั้งวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

การทดลองแรกจะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะทางสีซึ่งมีบทบาทสำคัญสำหรับระบบการค้นคืนภาพในปัจจุบัน ประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะทางสีที่นิยมใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ [2] และออโตคอรัลโแกรมซึ่งเสนอโดย [6] นอกจากนี้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ อย่างมาก

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรมของสีและออโตคอรัลโแกรม รวมทั้งวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 , ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี และออโตคอรัลโแกรม ซึ่งในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้งสองวิธี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณ

อโตคอรรีโลแกรมของภาพ ซึ่งใช้ในงานวิจัย [6]

- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ [25] ประกอบด้วย ภาพหลายประเภทคละกัน ได้แก่ ภาพคน, ฝึ่เสื้อ, ดอกไม้, ภูเขา, ทิวทัศน์, อวกาศและภาพจากวีดิทัศน์ ซึ่งภาพในฐานข้อมูลมีขนาดภาพเท่ากับ 128×85 จุดภาพ
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า r -measure และ p_1 -measure

ผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็น 5 กรณี ดังนี้

- 1) ค้นคืนภาพโดยใช้ภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเป็นภาพสอบถาม



1st ถึง 10th

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรม

(ก) ภาพสอบถาม (ข) ภาพที่ค้นคืนมาได้จากทั้งสองวิธี

จากรูปที่ 4.1 ภาพที่ค้นคืนมาได้เรียงลำดับจากภาพที่มีความคล้ายคลึงกับภาพสอบถามมากที่สุดไปน้อยที่สุด 10 ลำดับแรกจากซ้ายไปขวา ซึ่งในกรณีนี้ทั้งวิธีฮิสโตแกรมของสีและออโตคออรัลโกรมจะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีทั้งคู่ โดยจะสังเกตเห็นว่า ภาพที่ค้นคืนมาได้ใน 10 ลำดับแรกนั้นเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับภาพสอบถามทั้งหมด และแต่ละวิธีจะมีภาพที่แต่ละลำดับที่แตกต่างกันออกไป โดยในลำดับแรก ๆ อาจจะมีภาพที่เหมือนกันสำหรับบางวิธี

2) ค้นคืนภาพเป้าหมาย (target image) โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีความเปรียบเทียบต่างของภาพแตกต่างกัน 2 ภาพเป็นภาพสอบถาม ดังรูปที่ 4.2



(ก)

hist S_1 : 44thhist D_1 : 969thhist L_1 : 282ndauto S_1 : 39thauto D_1 : 984thauto L_1 : 971sthist S_1 : 414thhist D_1 : 979thhist L_1 : 616thauto S_1 : 3rdauto D_1 : 945thauto L_1 : 898th

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.2 ผลการค้นคืนภาพที่มีความเปรียบเทียบต่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับความเปรียบต่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถามในการค้นคืนภาพเป้าหมายนั้น โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความเปรียบต่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความเปรียบต่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย ถ้าภาพสอบถามมีความเปรียบต่างสูงหรือต่ำกว่าภาพเป้าหมายมาก จะทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพต่ำลง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า วิธีออตคอรรีโลแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 ในการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมีลำดับที่ของภาพเป้าหมายต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออตคอรรีโลแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเปรียบต่างของภาพได้ดีกว่าวิธีอื่น

3) ค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีความสว่างแตกต่างกัน 2 ภาพ เป็นภาพสอบถาม ดังรูปที่ 4.3



(ก)



hist S_1 : 82nd

hist D_1 : 987th

hist L_1 : 401st

auto S_1 : 3rd

auto D_1 : 666th

auto L_1 : 576th

(ข)

hist S_1 : 22nd

hist D_1 : 960th

hist L_1 : 515th

auto S_1 : 12nd

auto D_1 : 816th

auto L_1 : 754th

(ค)

รูปที่ 4.3 ผลการค้นคืนภาพที่มีความสว่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับค่าความสว่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถามในการค้นคืนภาพเป้าหมายนั้น โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความสว่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความสว่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย ถ้าภาพสอบถามมีความสว่างสูงหรือต่ำกว่าภาพเป้าหมายมาก จะทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพต่ำลง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าวิธีออโตคอรัลไจแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 ในการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมีลำดับที่ของภาพเป้าหมายต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออโตคอรัลไจแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความสว่างของภาพได้ดีกว่าวิธีอื่น

4) ค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลัง (background) ของภาพเป็นภาพสอบถาม ดังรูปที่ 4.4



(ก)



(ข)

hist S_1 : 42nd

auto S_1 : 1st

hist D_1 : 278th

auto D_1 : 242nd

hist L_1 : 17th

auto L_1 : 228th

รูปที่ 4.4 ผลการค้นคืนภาพที่มีพื้นหลังเปลี่ยนแปลงไป (ก) ภาพสอบถาม
(ข) ภาพเป้าหมาย

ในกรณีนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงพื้นหลังของภาพเป้าหมาย เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถามในการค้นคืนภาพเป้าหมายนั้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าวิธีออโตคอรัลไจแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 ในการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ มีลำดับที่ของภาพเป้าหมายต่ำที่สุด โดยสามารถค้นคืนภาพเป้าหมายได้ในลำดับแรก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออโตคอรัลไจแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสีภายในภาพได้ดีกว่าวิธีอื่น

5) คำนึงภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการซูม (zoom) รวมถึงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.5



hist L_1 : 95th

auto L_1 : 9th

hist L_1 : 16th

auto L_1 : 4th

hist D_1 : 10th

auto D_1 : 4th

hist D_1 : 2nd

auto D_1 : 2nd

hist S_1 : 151st

auto S_1 : 10th

hist S_1 : 2nd

auto S_1 : 1st



hist L_1 : 83rd

auto L_1 : 6th

hist L_1 : 23rd

auto L_1 : 2nd

hist D_1 : 7th

auto D_1 : 3rd

hist D_1 : 2nd

auto D_1 : 2nd

hist S_1 : 4th

auto S_1 : 5th

hist S_1 : 2nd

auto S_1 : 2nd

รูปที่ 4.5 ผลการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการซูม รวมถึงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.5 ภาพที่อยู่ทางซ้าย คือ ภาพสอบถาม ส่วนภาพที่อยู่ทางขวา คือ ภาพเป้าหมาย ซึ่งจากผลการทดลองจะสังเกตเห็นว่าโดยรวมแล้ววิธีออกโตคอร์รีโลแกรมมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีฮิสโตแกรมของสี พิจารณาได้จากลำดับที่ของภาพเป้าหมายที่ได้ โดยประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจะแปรผกผันกับลำดับที่ของภาพเป้าหมาย กล่าวคือ วิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าจะมีลำดับที่ของภาพเป้าหมายต่ำกว่าวิธีอื่น ดังนั้นในกรณีนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออกโตคอร์รีโลแกรมมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกัน แต่ต่างมุมมอง และภาพที่มีการซูม รวมถึงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ ได้ดีกว่าวิธีฮิสโตแกรมของสี

สำหรับการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพในการทดลองนี้ ใช้วิธี r -measure และ p_1 -measure โดยคำนวณค่าจากจำนวนภาพสอบถามทั้งหมด 50 ภาพ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่า r -measure และ p_1 -measure ของแต่ละวิธี

| วิธี | ฮิสโตแกรมของสี | | | ออคโตคอร์รีโลแกรม | | |
|---------------------|----------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|
| | L_1 | D_1 | S_1 | L_1 | D_1 | S_1 |
| r -measure | 12860 | 12582 | 3541 | 11127 | 11083 | 1368 |
| avg. r -measure | 257.20 | 251.64 | 70.82 | 222.54 | 221.66 | 27.36 |
| p_1 -measure | 1.675 | 10.460 | 15.444 | 10.381 | 13.313 | 26.028 |
| avg. p_1 -measure | 0.033 | 0.209 | 0.309 | 0.208 | 0.266 | 0.521 |

เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะมีค่า r -measure ต่ำที่สุด และมีค่า p_1 -measure สูงที่สุด จากตารางที่ 4.1 สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 ของวิธีฮิสโตแกรมของสีและออคโตคอร์รีโลแกรม พบว่า การใช้ระยะเวลา S_1 มีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งวิธีฮิสโตแกรมของสีและออคโตคอร์รีโลแกรม เนื่องจากมีค่า r -measure ต่ำที่สุดและมีค่า p_1 -measure สูงที่สุด

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพด้วยวิธีฮิสโตแกรมของสีและออคโตคอร์รีโลแกรม โดยพิจารณาที่วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเหมือนกัน พบว่า วิธีออคโตคอร์รีโลแกรมมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพดีกว่าวิธีฮิสโตแกรมของสี เนื่องจากมีค่า r -measure ต่ำกว่าและมีค่า p_1 -measure สูงกว่าวิธีฮิสโตแกรมของสี

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีออคโตคอร์รีโลแกรม โดยการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยระยะเวลา S_1 มีประสิทธิภาพมากที่สุด

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในกรณีทั่ว ๆ ไป ทั้งวิธีฮิสโตแกรมของสี และอโตคอรรีโลแกรมมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีพอ ๆ กัน แต่จะมีภาพที่แต่ละลำดับที่แตกต่างกันออกไป ข้อดีของฮิสโตแกรมของสี คือ สามารถประมวลผลได้เร็วกว่า และมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าอโตคอรรีโลแกรม แต่จะได้เฉพาะข้อมูลการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้น ในขณะที่อโตคอรรีโลแกรมสามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างสีที่เหมือนกันได้ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกัน แต่ต่างมุมมอง, ภาพที่มีการหมุน รวมถึงภาพที่มีสี, ความสว่างหรือความเปรียบต่างเปลี่ยนแปลงไปได้ดีกว่าวิธีฮิสโตแกรมของสี และระยะทาง S_1 มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง L_1 และระยะทาง D_1

4.2 การทดลองที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของวิธีฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรมด้วย Precision และ recall

ภาพแต่ละภาพย่อมมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป ส่วนใหญ่ภาพที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกันจะมีลักษณะเฉพาะที่คล้ายกันหรือมีความสัมพันธ์กันมากกว่าภาพกลุ่มอื่น ดังนั้นเทคนิคการค้นคืนภาพที่เหมาะสมกับภาพแต่ละกลุ่มจึงแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกันกับภาพสอบถามของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรม รวมทั้งวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1

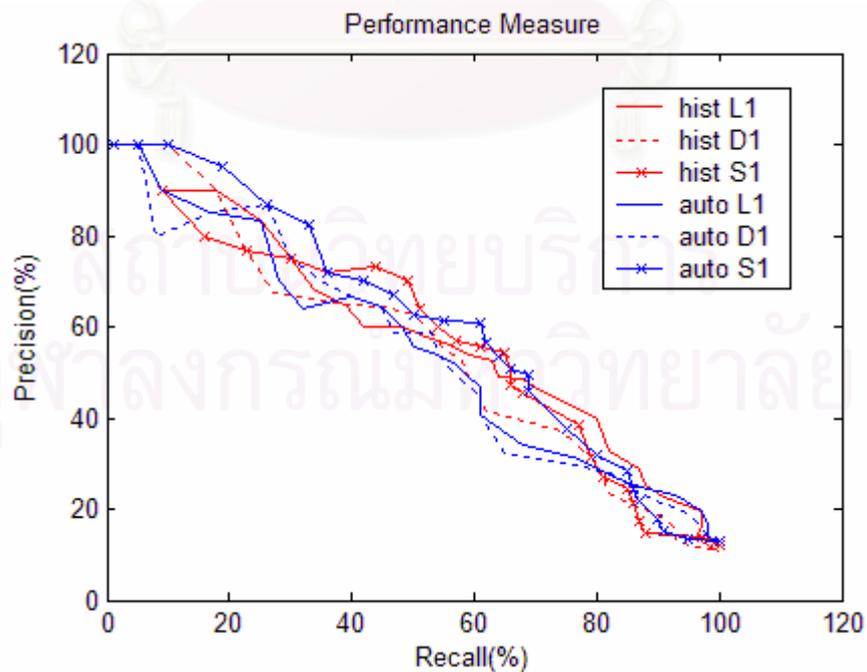
ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี และอโตคอรรีโลแกรม ซึ่งในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้งสองวิธี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถึงสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณอโตคอรรีโลแกรมของภาพ

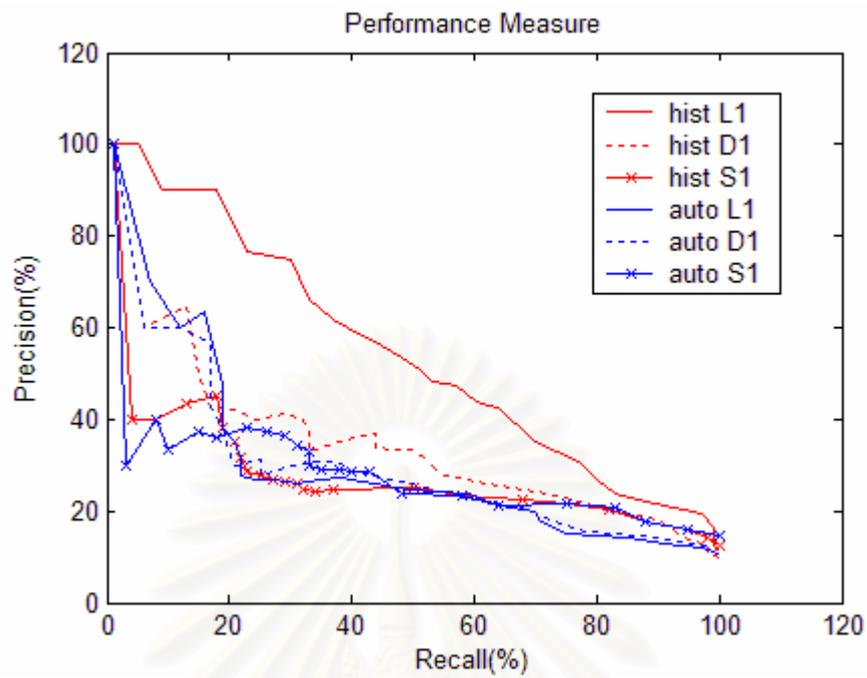
- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ [25] โดยมีขนาดภาพเท่ากับ 128×85 จุดภาพ และใช้ภาพส่วนใหญ่จากฐานข้อมูลภาพ Corel ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ ได้แก่
 - ภาพคน
 - ภาพทะเล
 - ภาพอาคาร
 - ภาพรถ
 - ภาพไดโนเสาร์
 - ภาพช้าง
 - ภาพอวกาศ
 - ภาพดวงอาทิตย์
 - ภาพดอกไม้
 - ภาพผีเสื้อ
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธี Precision และ recall

ผลการทดลอง

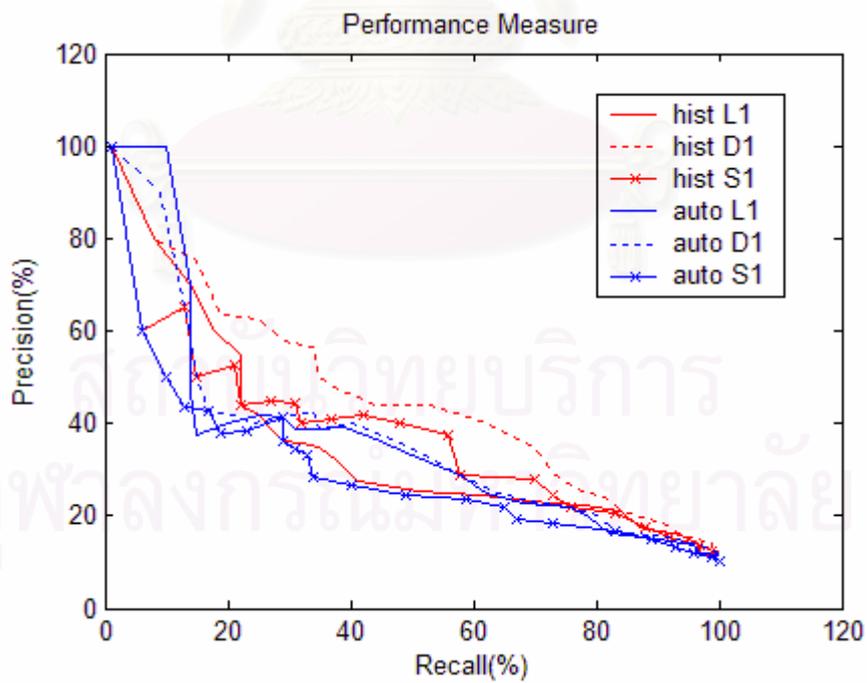
กราฟ Precision และ recall ที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพแต่ละกลุ่ม แสดงดังรูปที่ 4.6 โดยค่า Precision และ recall สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.48) และ (2.49) ตามลำดับ



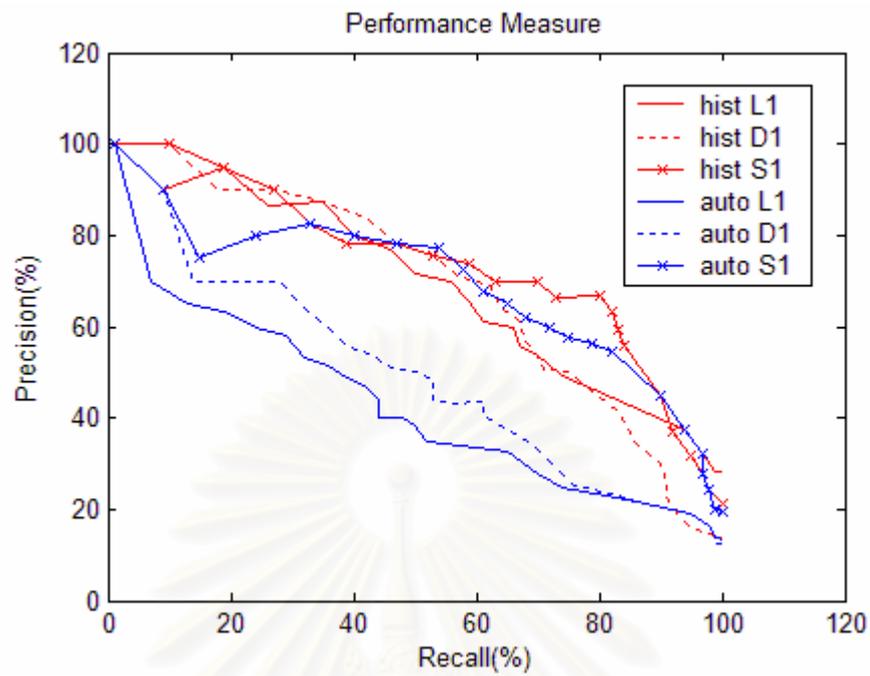
(ก) สอบถามด้วยภาพคน



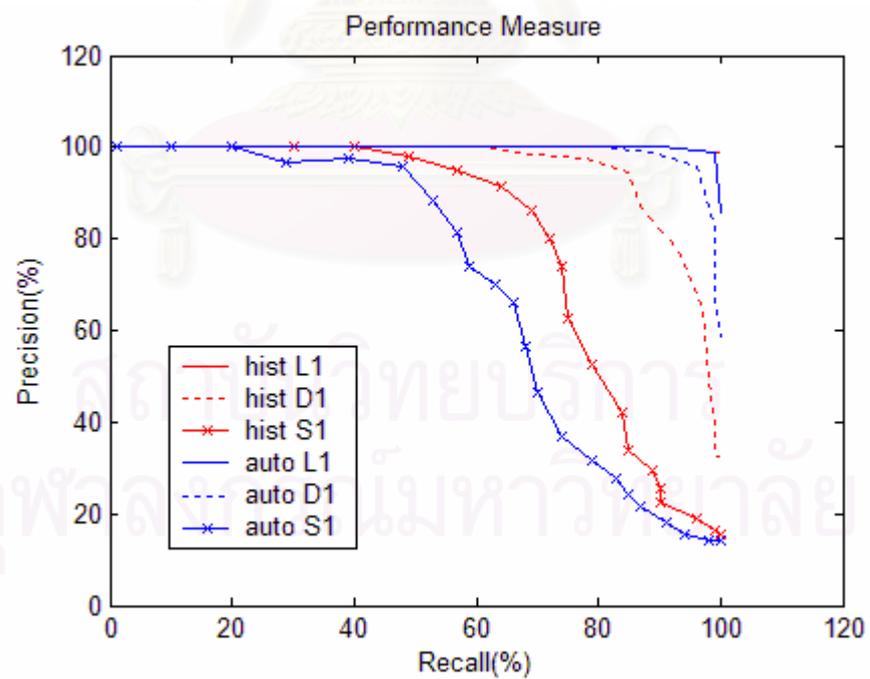
(ข) สอบถามด้วยภาพทะเล



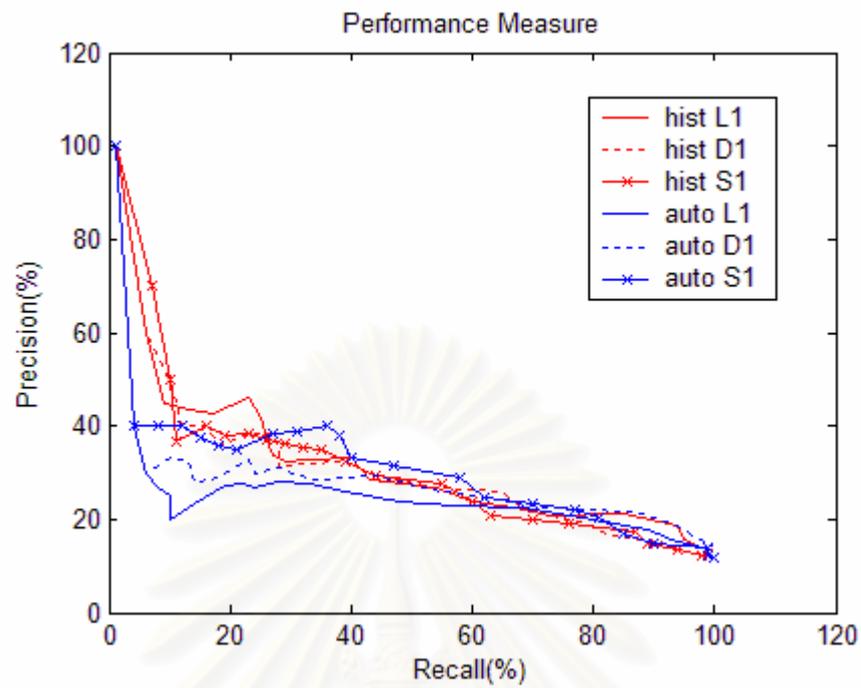
(ค) สอบถามด้วยภาพอาคาร



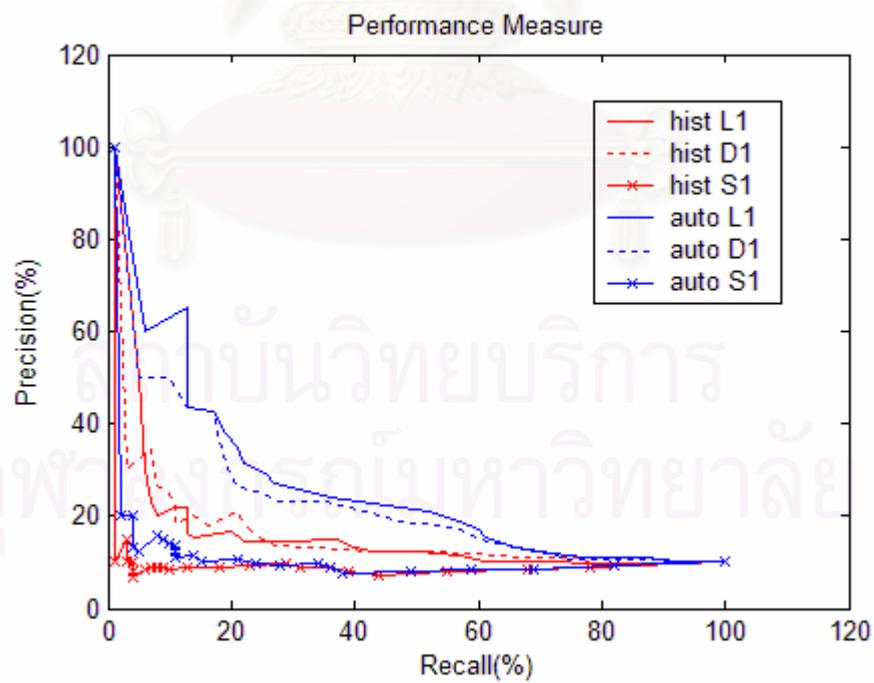
(ง) สอบถามด้วยภาพพรถ



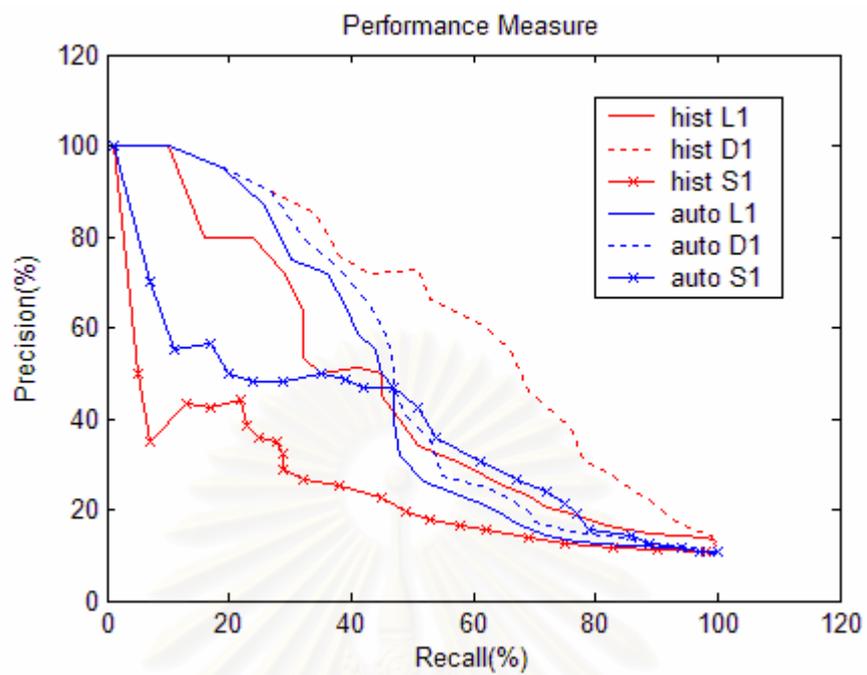
(จ) สอบถามด้วยภาพไดโนเสาร์



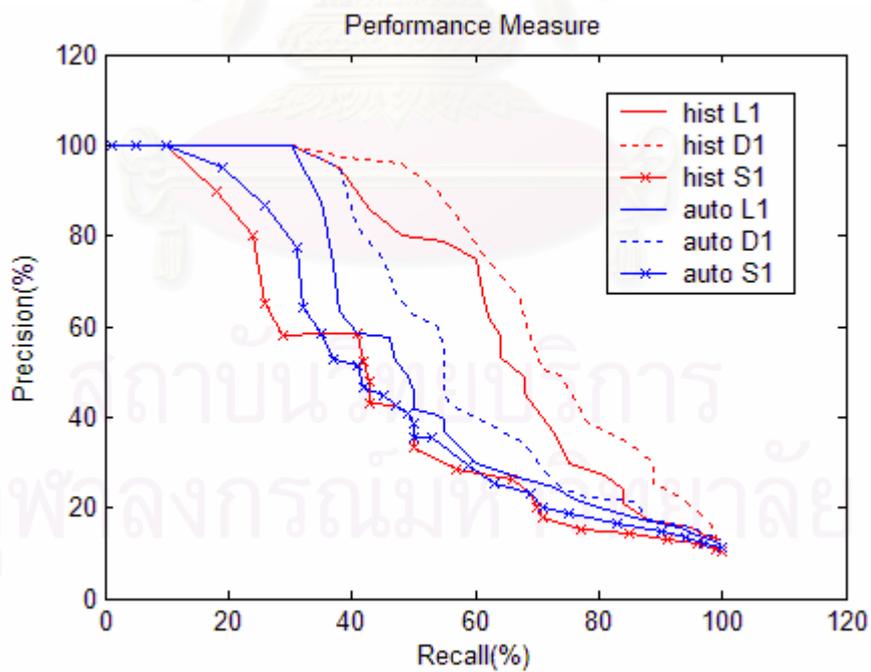
(จ) สอบถามด้วยภาพข้าง



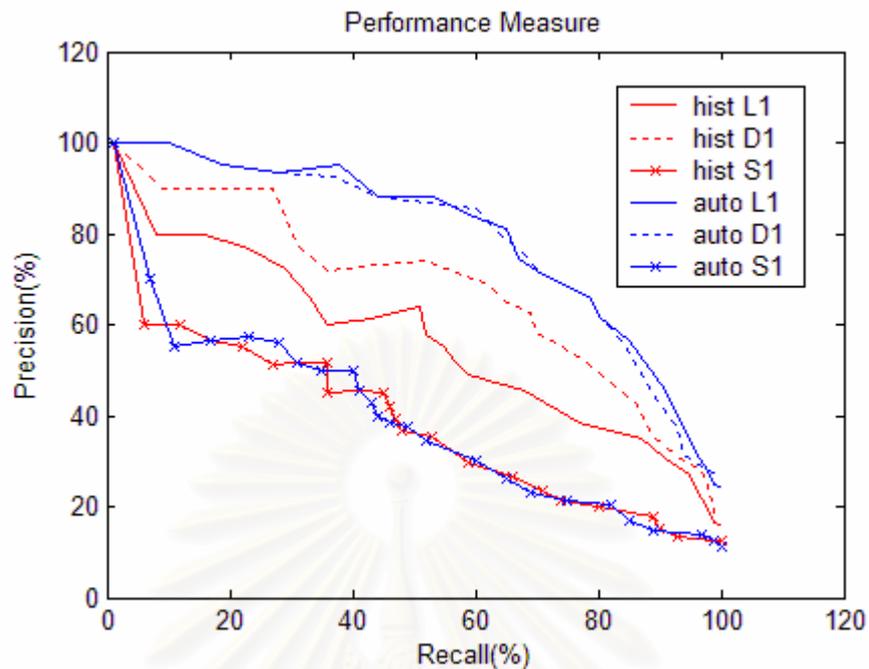
(ช) สอบถามด้วยภาพอวกาศ



(จ) สอบถามด้วยภาพดวงอาทิตย์



(ฉ) สอบถามด้วยภาพดอกไม้



(ญ) สอบถามด้วยภาพผีเสื้อ

รูปที่ 4.6 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มด้วยวิธี Precision และ recall
 (ก) ภาพคน (ข) ภาพทะเล (ค) ภาพอาคาร (ง) ภาพรถ (จ) ภาพไดโนเสาร์ (ฉ) ภาพช้าง
 (ช) ภาพอวกาศ (ซ) ภาพดวงอาทิตย์ (ฌ) ภาพดอกไม้ (ญ) ภาพผีเสื้อ

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟระหว่าง Precision และ recall ที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพจากแต่ละกลุ่มภาพ โดยเริ่มพิจารณาที่ค่า recall เท่ากับ 1% ซึ่งค่า Precision นี้จะแปรผกผันกับค่า recall โดยเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะมีค่า Precision มากที่สุด หรือมีเส้นกราฟอยู่บนสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น

รูปที่ 4.6 (ก) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพคน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ทุกวิธีมีประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกัน เนื่องจากลักษณะของภาพในกลุ่มนี้มีจำนวนสีภายในภาพค่อนข้างมาก วัตถุภายในภาพมีความหลากหลายทั้งทางด้านรูปร่าง, สีและความสว่าง

รูปที่ 4.6 (ข) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพทะเล โดยสีที่เด่น (dominant color) ของภาพในกลุ่มนี้ คือ สีเขียว, ฟ้ำหรือน้ำเงิน (สีของท้องฟ้า, ทะเลและต้นไม้) และน้ำตาล (สีของพื้นทราย) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสีอื่น ๆ ในภาพ ดังนั้นในกรณีนี้วิธีฮิสโตแกรม

ของสีจะมีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากวัตถุภายในภาพมีสีที่คล้ายกันมาก เช่น ส่วนของทะเลจะมีสีโทนฟ้าหรือเขียว และพื้นทรายจะมีสีโทนน้ำตาลเหมือนกัน

รูปที่ 4.6 (ค) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพอาคาร ดังนั้นวิธีฮิสโตแกรมของสีจะมีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากวัตถุภายในภาพหรือตัวอาคารมีสีที่คล้ายกันแต่ระดับความสว่างแตกต่างกันทำให้ระยะทาง D_1 ให้ผลดีกว่าวิธีอื่น

รูปที่ 4.6 (ง) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพรถ ซึ่งวัตถุภายในภาพหรือตัวรถมีรูปร่างที่ชัดเจนและคล้ายกันกับภาพในกลุ่มเดียวกัน ส่วนสีของรถจะแตกต่างกันบ้าง แต่โดยส่วนใหญ่จะมีสีแดงเหมือนกัน ดังนั้นจึงส่งผลให้วิธีฮิสโตแกรมของสีมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพในกลุ่มนี้ดีกว่าวิธีฮิสโตแกรม

รูปที่ 4.6 (จ) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพไดโนเสาร์ ภาพในกลุ่มนี้มีสีที่ค่อนข้างแตกต่างจากภาพกลุ่มอื่นในฐานข้อมูลอย่างเห็นได้ชัด และวัตถุภายในภาพของภาพกลุ่มนี้มีสีที่คล้ายกันมาก โดยเฉพาะพื้นหลังของภาพที่มีสีและความสว่างที่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้วิธีฮิสโตแกรมของสี ที่ใช้ระยะทาง L_1 มีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพในกลุ่มนี้ดีกว่าวิธีอื่น

รูปที่ 4.6 (ฉ) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพช้าง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟพบว่าทุกวิธีมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน แต่โดยรวมแล้ววิธีฮิสโตแกรมของสีจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีฮิสโตแกรม เนื่องจากจำนวนสีภายในภาพมีน้อยและวัตถุภายในภาพมีสีที่คล้ายกันมาก เช่น สีของตัวช้าง, ต้นไม้ และพื้นดิน

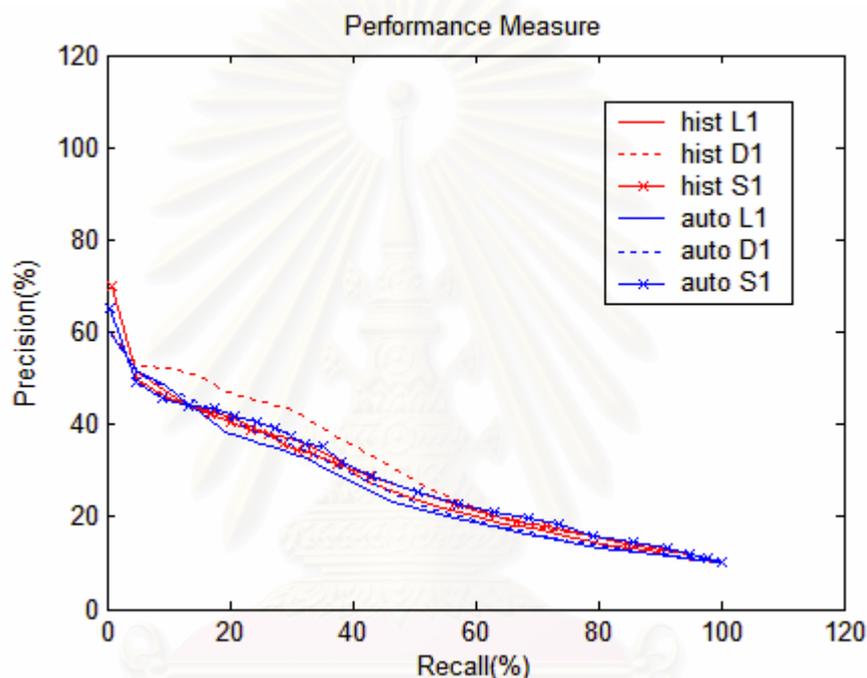
รูปที่ 4.6 (ช) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพอวกาศ ซึ่งภาพในกลุ่มนี้มีสีและรูปร่างของวัตถุภายในภาพที่ค่อนข้างแตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพไม่ดีเท่าที่ควร โดยวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือวิธีฮิสโตแกรมที่ใช้ระยะทาง L_1

รูปที่ 4.6 (ซ) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพดวงอาทิตย์ เนื่องจากภาพในกลุ่มนี้มีจำนวนสีน้อยและมีน้ำหนักสีที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน เช่น สีเหลืองและสีส้มของท้องฟ้าและดวงอาทิตย์ โดยบางภาพอาจมีความสว่างที่แตกต่างกันบ้าง ดังนั้นการค้นคืนภาพด้วยวิธี ฮิสโตแกรมของสีที่ใช้ระยะทาง D_1 จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่น

รูปที่ 4.6 (ด) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพดอกไม้ ในกรณีนี้วิธีฮิสโตแกรมของสีจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากวัตถุภายในภาพ เช่น ส่วนของดอกไม้ และใบไม้

หรือพื้นหลังของภาพในกลุ่มนี้มีสีที่ใกล้เคียงกันมาก แต่บางภาพจะมีความสว่างที่แตกต่างกัน ดังนั้นการใช้ระยะทาง D_1 จึงมีประสิทธิภาพมากที่สุด

รูปที่ 4.6 (ญ) เป็นกราฟที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพผีเสื้อ ซึ่งภาพในกลุ่มนี้มีสีที่ค่อนข้างหลากหลายและวัตถุภายในภาพมีรูปร่างที่คล้ายกัน คือ ตัวผีเสื้อ แต่สีจะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงทำให้การค้นคืนภาพด้วยวิธีอโตคอรรีโลแกรมมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่น



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย Precision และ recall จากจำนวนการสอบถาม 20 ภาพ

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ยของ Precision และ recall ที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพ 20 ภาพ โดยที่ 10 ภาพแรกเป็นภาพจาก 10 กลุ่มภาพๆ ละ 1 ภาพซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพทั้งหมด ส่วนอีก 10 ภาพที่เหลือเป็นภาพจากแต่ละกลุ่มภาพที่มีความสว่างและความเบี่ยงเบนเปลี่ยนแปลงไป โดยเริ่มพิจารณาที่ค่า recall เท่ากับ 1% ถ้าพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่า Precision ที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับ 100 ภาพ (ซึ่งเท่ากับจำนวนภาพของแต่ละกลุ่มภาพ) การใช้ระยะทาง S_1 สำหรับวิธีอโตคอรรีโลแกรมจะให้ผลดีที่สุด เพราะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ระยะทาง D_1 และระยะทาง L_1 ตามลำดับ ส่วนวิธีฮิสโตแกรมของสีการใช้ระยะทาง D_1 จะให้ผลดีที่สุด เพราะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ระยะทาง L_1 และ

ระยะทาง S_1 ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของค่า Precision จากจำนวนการสอบถาม 20 ภาพ ที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับ 100 ภาพ ของแต่ละวิธีมีค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่า Precision เฉลี่ยจากจำนวนการสอบถาม 20 ภาพ ที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับ 100 ภาพของวิธีฮิสโตแกรมของสีและฮอโตคอรรีโโลแกรม

| วิธี | | ค่า Precision (%) |
|------------------|-------|-------------------|
| ฮิสโตแกรมของสี | L_1 | 34.30 |
| | D_1 | 37.35 |
| | S_1 | 33.45 |
| ฮอโตคอรรีโโลแกรม | L_1 | 32.50 |
| | D_1 | 33.60 |
| | S_1 | 35.25 |

ถ้าเลือกพิจารณาที่ค่านี้จะสังเกตเห็นว่าวิธีฮิสโตแกรมของสีที่ใช้ระยะทาง D_1 มีค่า Precision มากที่สุด รองลงมาคือ วิธีฮอโตคอรรีโโลแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 ซึ่งผลที่ได้นี้ขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกพิจารณาที่จำนวนภาพที่ค้นคืนมาเท่ากับเท่าไร จากกราฟในรูปที่ 4.7 จะสังเกตเห็นว่าแต่ละวิธีมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกัน วิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจะต้องมีเส้นกราฟอยู่เหนือเส้นกราฟของวิธีอื่น กล่าวคือ วิธีนั้นจะต้องมีค่า precision มากที่สุดที่ทุกๆ ค่า recall ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าวิธีใดมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมากกว่ากัน

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพดี สำหรับภาพแต่ละกลุ่มจะแตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) วิธีฮิสโตแกรมของสี จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพที่มีจำนวนสีภายในภาพน้อย และวัตถุภายในภาพแต่ละภาพของภาพในกลุ่มเดียวกันมีสีที่คล้ายกัน หรืออยู่ในช่วงของค่าสีที่ใกล้เคียงกัน เช่น ภาพดอกไม้ ส่วนที่เป็นดอกไม้จะมีสีแดงหรือชมพู และส่วนพื้นหลังที่เป็นใบไม้จะมีสีเขียวเหมือนกัน

2) วิธีอโตคอรรีโลแกรม จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพที่วัตถุภายในภาพมีรูปร่างที่คล้ายกันแต่มีสีที่แตกต่างกันไป เช่น ภาพผีเสื้อ ตัวผีเสื้อจะมีรูปร่างที่คล้ายกันแต่มีสีที่แตกต่างกัน

3) ระยะเวลา L_1 จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพในกลุ่มที่มีระดับสี, ความสว่างและความเปรียบต่างใกล้เคียงกัน เช่น ภาพไดโนเสาร์ ซึ่งในกรณีนี้ ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 จะมีประสิทธิภาพที่ดิ่งลงมา ตามลำดับ

4) ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพในกลุ่มที่มีระดับสีใกล้เคียงกัน แต่มีความสว่างและความเปรียบต่างที่แตกต่างกัน เช่น ภาพรถและภาพดวงอาทิตย์ เป็นต้น

ข้อเสียของการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธี Precision และ recall คือ ทำให้วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร เนื่องจากในผลการทดลองพบว่า ไม่มีเส้นกราฟของวิธีใดอยู่เหนือเส้นกราฟของวิธีอื่น หรือมีค่า precision มากกว่าวิธีอื่นที่ทุกๆ ค่า recall

4.3 การทดลองที่ 3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของวิธีฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรมด้วย ANMRR

วิธีการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง จากการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นถึงข้อเสียของวิธี Precision และ recall ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้มีการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับวิธีการวัดประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง คือ การวัดค่า ANMRR โดยประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจะแปรผกผันกับค่า ANMRR

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรมของสีและอโตคอรรีโลแกรม รวมทั้งวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทั้ง 3 วิธี คือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 โดยวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี และออตคอรรีโลแกรม ซึ่งในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้งสองวิธี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณออตคอรรีโลแกรมของภาพ
- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 10 ภาพ (1% ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล)

ผลการทดลอง

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพ โดยใช้ภาพสอบถามจำนวน 10 ภาพ ซึ่งเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมด เพื่อดำเนินการค่า ANMRR ดังตารางที่ 4.3

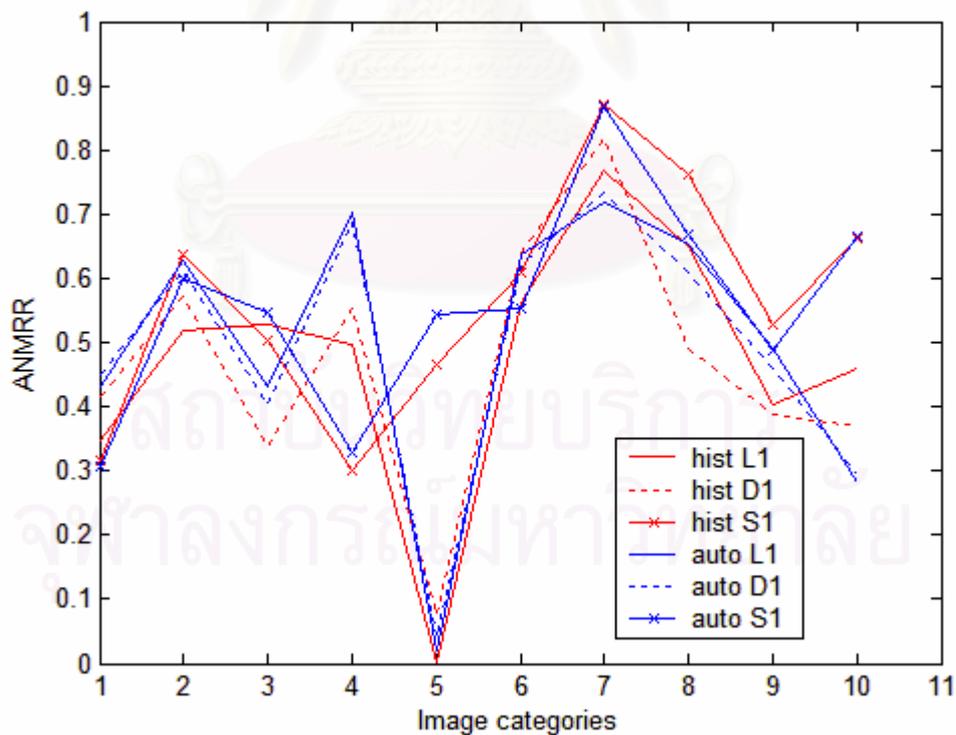
ตารางที่ 4.3 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR

| วิธี | | ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (1-5) | | | | |
|----------------|-------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ฮิสโตแกรมของสี | L_1 | 0.3463 | 0.5187 | 0.5282 | 0.4968 | 0.0028 |
| | D_1 | 0.4151 | 0.5723 | 0.3372 | 0.5532 | 0.0750 |
| | S_1 | 0.3171 | 0.6381 | 0.5042 | 0.3009 | 0.4670 |
| ออตคอรรีโลแกรม | L_1 | 0.4302 | 0.6275 | 0.4304 | 0.7036 | 0.0203 |
| | D_1 | 0.4498 | 0.6132 | 0.4035 | 0.6860 | 0.0421 |
| | S_1 | 0.3072 | 0.5999 | 0.5478 | 0.3294 | 0.5429 |

ตารางที่ 4.3 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR (ต่อ)

| วิธี | | ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (6-10) | | | | |
|-------------------|----------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ฮิสโตแกรมของสี | L ₁ | 0.5630 | 0.7694 | 0.6509 | 0.4027 | 0.4584 |
| | D ₁ | 0.6387 | 0.8180 | 0.4908 | 0.3880 | 0.3692 |
| | S ₁ | 0.6088 | 0.8693 | 0.7613 | 0.5288 | 0.6628 |
| ออกโตคอเรียโดแกรม | L ₁ | 0.6361 | 0.7176 | 0.6533 | 0.4892 | 0.2825 |
| | D ₁ | 0.6210 | 0.7337 | 0.6078 | 0.4601 | 0.2941 |
| | S ₁ | 0.5534 | 0.8680 | 0.6684 | 0.4877 | 0.6647 |

เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีค่า ANMRR ต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่าเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีค่า ANMRR สูงกว่า



รูปที่ 4.8 กราฟค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ โดยใช้ภาพสอบถามจำนวน 10 ภาพ จาก 10 กลุ่มภาพ ๆ ละ 1 ภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า ANMRR ของวิธีฮิสโตแกรมของสีและออโตคอรรีโลแกรม

| วิธี | | ค่า ANMRR |
|-----------------|-------|---------------|
| ฮิสโตแกรมของสี | L_1 | 0.5111 |
| | D_1 | 0.5082 |
| | S_1 | 0.5306 |
| ออโตคอรรีโลแกรม | L_1 | 0.5370 |
| | D_1 | 0.5396 |
| | S_1 | 0.4987 |

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.8 จะสังเกตเห็นว่าวิธีที่ให้ค่า ANMRR ต่ำสุดของแต่ละกลุ่มภาพจะแตกต่างกันออกไป โดยวิธีฮิสโตแกรมของสีจะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับการค้นคืนภาพธรรมชาติ หรือภาพที่มีสีที่เด่นอยู่น้อย เช่น ภาพทะเล, ไดโนเสาร์, ดอกไม้และภาพดวงอาทิตย์ ส่วนวิธีออโตคอรรีโลแกรมจะมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับการค้นคืนภาพที่มีจำนวนสีภายในภาพมาก หรือภาพที่วัตถุภายในภาพมีรูปร่างที่คล้ายกันแต่มีสีที่แตกต่างกัน เช่น ภาพคนและภาพผีเสื้อ ดังนั้นในกรณีนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพดีสำหรับการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มจะแตกต่างกันออกไป

เมื่อพิจารณาโดยรวมจากการสุ่มเลือกภาพสอบถาม 10 ภาพ จาก 10 กลุ่มภาพ ๆ ละ 1 ภาพ จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 พบว่าวิธีที่มีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมากที่สุด คือ วิธีออโตคอรรีโลแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 เนื่องจากมีค่า ANMRR ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออโตคอรรีโลแกรมที่ใช้ระยะทาง S_1 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการค้นคืนภาพโดยทั่ว ๆ ไป ซึ่งการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR นี้ ทำให้สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้อย่างชัดเจน และง่ายขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ Precision และ recall และวิธี r -measure และ p_1 -measure

4.4 การทดลองที่ 4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ

โดยส่วนใหญ่ภาพแต่ละภาพมักจะมีวัตถุที่สนใจอยู่ตรงกลางของภาพ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้เลือกคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ ซึ่งมีขนาดความกว้างและยาวเท่ากับร้อยละ 60 ของขนาดภาพ เพื่อสร้างดัชนีภาพและจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล รวมทั้งการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามในกระบวนการค้นคืนภาพด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพระหว่างเทคนิคการค้นคืนภาพที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพกับวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสี และอโตคอรีโลแกรม ซึ่งในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้งสองวิธี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถึงสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณอโตคอรีโลแกรมของภาพ
- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 , ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วย ภาพหลายประเภทคละกัน ได้แก่ ภาพคน, ฝี่เสื้อ, ดอกไม้, ภูเขา, ทิวทัศน์, อวกาศและภาพจากวีดิทัศน์
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยค่า r -measure

ผลการทดลอง

hist L_1 : 60thauto L_1 : 21sthist L_1 : 1stauto L_1 : 1sthist D_1 : 42ndauto D_1 : 13thhist D_1 : 1stauto D_1 : 1sthist S_1 : 166thauto S_1 : 208thhist S_1 : 4thauto S_1 : 1sthist L_1 : 11thauto L_1 : 13thhist L_1 : 57thauto L_1 : 2ndhist D_1 : 10thauto D_1 : 6thhist D_1 : 25thauto D_1 : 2ndhist S_1 : 4thauto S_1 : 2ndhist S_1 : 2ndauto S_1 : 2nd

รูปที่ 4.9 ผลการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการชุมนุม รวมถึงภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ

จากการสอบถาม 50 ภาพ สามารถคำนวณค่า r -measure เฉลี่ยได้ดังตารางที่

4.5

ตารางที่ 4.5 ค่า r -measure เฉลี่ยจากจำนวนภาพสอบถาม 50 ภาพเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่คำนวณทั้งภาพกับวิธีที่คำนวณเฉพาะตรงกลางภาพ

| วิธี | ฮิสโตแกรมของสี | | | ออโตคอร์รีโลแกรม | | |
|----------------------|----------------|--------|-------|------------------|--------|-------|
| | L_1 | D_1 | S_1 | L_1 | D_1 | S_1 |
| คำนวณทั้งภาพ | 257.20 | 251.64 | 70.82 | 222.54 | 221.66 | 27.36 |
| คำนวณเฉพาะตรงกลางภาพ | 213.76 | 224.36 | 93.74 | 241.48 | 244.86 | 48.46 |

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 พบว่า เทคนิคการค้นคืนภาพที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ จะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่มีวัตถุที่สนใจอยู่ตรงกลางของภาพได้ดีกว่าวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพ แต่เมื่อ

พิจารณาโดยรวมจากจำนวนการสอบถาม 50 ภาพ พบว่าวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากมีค่า r -measure เฉลี่ยต่ำกว่า ส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากภาพสอบถามบางภาพมีวัตถุที่สนใจอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างไปจากภาพที่อยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งอาจจะไม่ได้อยู่ตรงกลางของภาพเสมอไป

4.5 การทดลองที่ 5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถามของวิธีฮิสโตแกรมของสีและออคโตคอร์รีโลแกรมที่พิจารณาเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 4 โดยใช้ฐานข้อมูลภาพซึ่งประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่มภาพ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มด้วย ANMRR

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถาม ระหว่างเทคนิคการค้นคืนภาพที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพกับวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ

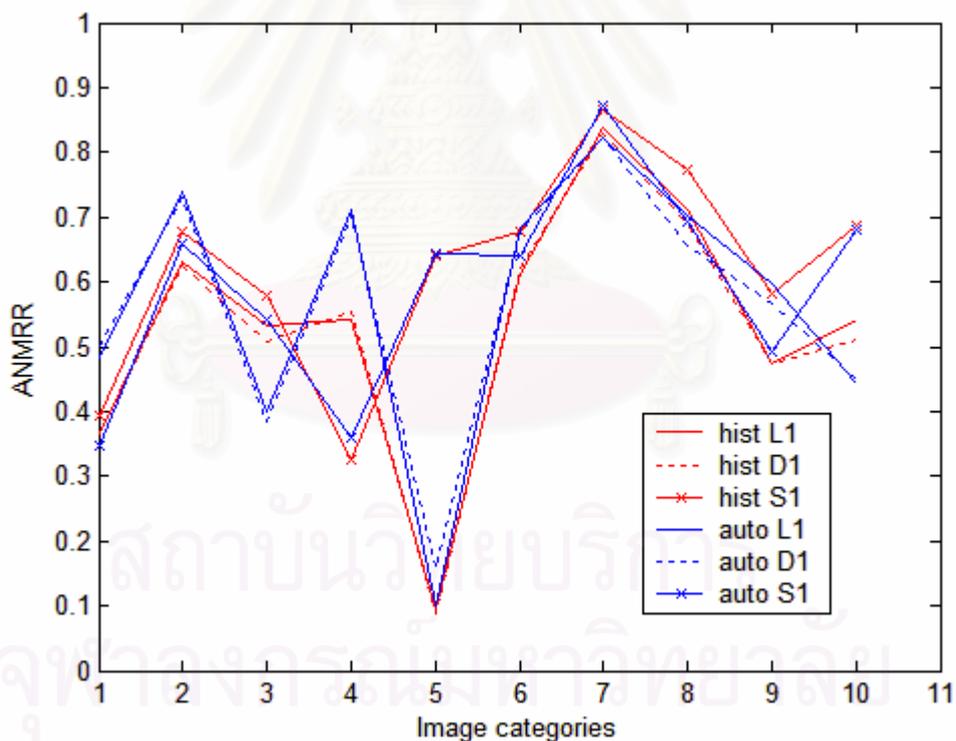
ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพประกอบด้วยฮิสโตแกรมของสี และออคโตคอร์รีโลแกรม ซึ่งในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของทั้งสองวิธี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณออคโตคอร์รีโลแกรมของภาพ

- ใช้วิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะทาง L_1 ระยะทาง D_1 และระยะทาง S_1
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 10 ภาพ (1% ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล)

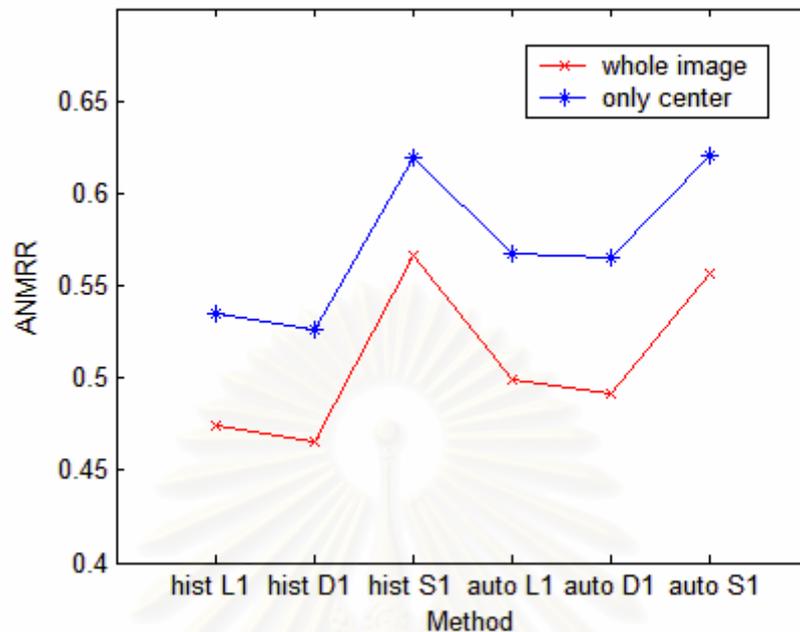
ผลการทดลอง

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพ โดยใช้ภาพสอบถามจำนวน 10 ภาพ ซึ่งเป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมด เพื่อคำนวณค่า ANMRR ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ โดยใช้ภาพสอบถามจำนวน 10 ภาพ จาก 10 กลุ่มภาพ ๆ ละ 1 ภาพ เพื่อคำนวณค่า ANMRR



รูปที่ 4.11 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่คำนวณทั้งภาพ กับวิธีที่คำนวณเฉพาะตรงกลางภาพ

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.10 จะสังเกตเห็นว่าวิธีที่ให้ค่า ANMRR ต่ำสุดของแต่ละกลุ่มภาพจะแตกต่างกันออกไป โดยวิธีฮิสโตแกรมของสีจะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพธรรมชาติหรือภาพที่มีสีที่เด่นอยู่น้อย เช่น ภาพทะเล, ไดโนเสาร์, ช้าง, ดอกไม้และรถ ส่วนวิธีฮิสโตแกรมสีจะมีความมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพที่มีจำนวนสีภายในภาพมาก หรือภาพที่วัตถุภายในภาพมีรูปร่างที่คล้ายกันแต่มีสีที่แตกต่างกัน เช่น ภาพคนและภาพผีเสื้อ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะคล้ายกับวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพ ในการทดลองที่ 3 แต่ค่า ANMRR ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพกับวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ จากรูปที่ 4.11 พบว่าวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพมีประสิทธิภาพมากกว่าทุกวิธี เนื่องจากมีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำกว่าทุกวิธี สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะวัตถุที่สนใจภายในภาพของภาพในกลุ่มเดียวกันไม่ได้อยู่ตรงกลางของภาพเสมอไป เช่น ภาพคน, ช้างและทะเล เป็นต้น ซึ่งหากสามารถแยกส่วน (segment) วัตถุที่สนใจภายในภาพ เพื่อนำมาคำนวณเวกเตอร์ลักษณะ

เฉพาะในการสร้างดัชนีและคั่นคืนภาพได้ ก็น่าจะทำให้การคั่นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในกรณีทั่ว ๆ ไป วิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งภาพมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีที่คำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพเฉพาะส่วนตรงกลางของภาพ

สรุปผลจากการทดลองที่ 1 ถึง 5

การทดลองที่ 1,2,3,4 และ 5 เป็นการทดลองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการคั่นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะทางสี ประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสีและฮอโตคอร์รีโลแกรม และวิธีการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ 3 วิธี คือ ระยะเวลา L_1 ระยะเวลา D_1 และระยะเวลา S_1 รวมถึงวิธีการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการคั่นคืนภาพ ประกอบด้วย วิธี r -measure และ p_1 -measure, Precision และ recall และสุดท้ายคือ ANMRR ซึ่งจากผลการทดลองทั้งห้าทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. วิธีฮอโตคอร์รีโลแกรมมีประสิทธิภาพดีกว่าฮิสโตแกรมของสี เนื่องจากมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของภาพด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น ภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมอง, ภาพที่มีการซูม รวมถึงภาพที่มีสี, ความสว่างหรือความเปรียบต่างเปลี่ยนแปลงไป
2. การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะด้วยระยะเวลา S_1 เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้ระยะเวลา S_1 สำหรับการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
3. เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเทคนิคการคั่นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพในการคั่นคืนภาพในกลุ่มเดียวกันกับภาพสอบถาม ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการคั่นคืนภาพด้วย ANMRR จึงเป็นวิธีที่ดีและเหมาะสมที่สุด ในขณะที่วิธี r -measure และ p_1 -measure เป็นการวัดประสิทธิภาพในการคั่นคืนภาพที่ถูกต้องหรือภาพเป้าหมาย จากลำดับที่ของภาพเป้าหมายเท่านั้น

4.6 การทดลองที่ 6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรมของสี, ฮอโตคอร์รีโลแกรม, ฮิสโตแกรมของขอบและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

นอกจากสีแล้ว รูปร่างและพื้นผิวก็เป็นลักษณะเฉพาะของภาพอีก 2 ประการที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบการค้นคืนภาพ ในการทดลองนี้จะศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรมของขอบซึ่งใช้อธิบายถึงรูปร่างของวัตถุภายในภาพ และวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ฮิสโตแกรมของขอบและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต เปรียบเทียบกับวิธีฮิสโตแกรมของสีและฮอโตคอร์รีโลแกรมจากการทดลองที่ผ่านมา

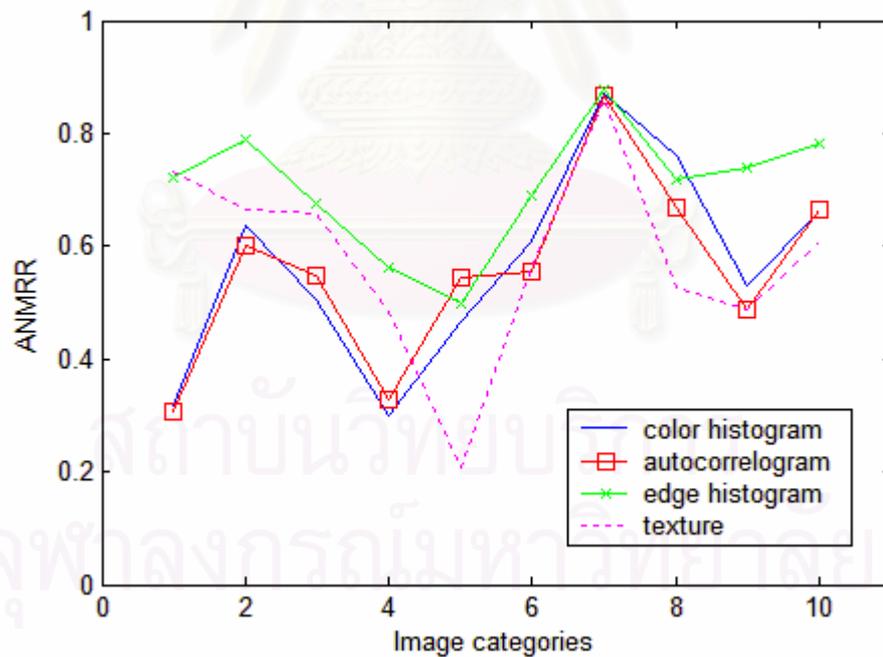
ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพประกอบด้วยฮิสโตแกรมของสี, ฮอโตคอร์รีโลแกรม, ฮิสโตแกรมของขอบและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต สำหรับการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทางสี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณฮอโตคอร์รีโลแกรมของภาพ
- สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 10 แถบย่อย (3 ระดับความละเอียด)
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 100 ภาพ กลุ่มภาพละ 10 ภาพ

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.6 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR

| วิธี | ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ฮิสโตแกรม ของสี | 0.3171 | 0.6381 | 0.5042 | 0.3009 | 0.4670 | 0.6088 | 0.8693 | 0.7613 | 0.5288 | 0.6628 |
| ออโตคอร์ รีโลแกรม | 0.3072 | 0.5999 | 0.5478 | 0.3294 | 0.5429 | 0.5534 | 0.8680 | 0.6684 | 0.4877 | 0.6647 |
| ฮิสโตแกรม ของขอบ | 0.7228 | 0.7887 | 0.6761 | 0.5624 | 0.4983 | 0.6900 | 0.8787 | 0.7198 | 0.7405 | 0.7826 |
| วิธีวิเคราะห์ พื้นผิวด้วย เวฟเล็ต | 0.7321 | 0.6646 | 0.6590 | 0.4853 | 0.2063 | 0.5627 | 0.8604 | 0.5275 | 0.4892 | 0.6087 |



รูปที่ 4.12 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพของแต่ละวิธี

ผลการค้นคืนภาพเรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากไปน้อย จากซ้ายไปขวาและจากแถวบนลงล่าง แสดงดังรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.15 โดยภาพที่อยู่แถวบนและซ้ายมือสุด คือ ภาพสอบถาม

ตารางที่ 4.7 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

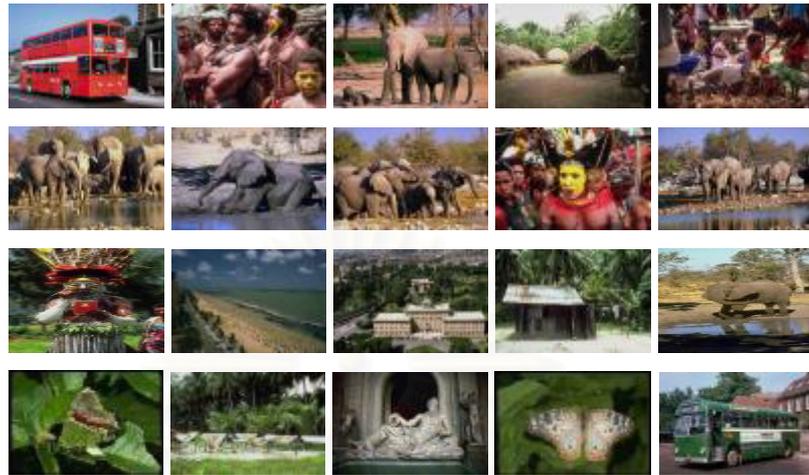
| วิธี | ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| ฮิสโตแกรมของสี | 0.5658 |
| ฮอโตคอรีโโลแกรม | 0.5569 |
| ฮิสโตแกรมของขอบ | 0.7060 |
| วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.5796 |



(ก) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยฮิสโตแกรมของสี



(ข) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยฮอโตคอรีโโลแกรม



(ค) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยฮิสโตแกรมของขอบ



(ง) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

รูปที่ 4.13 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสี (ข) ออกโตคอรีโลแกรม

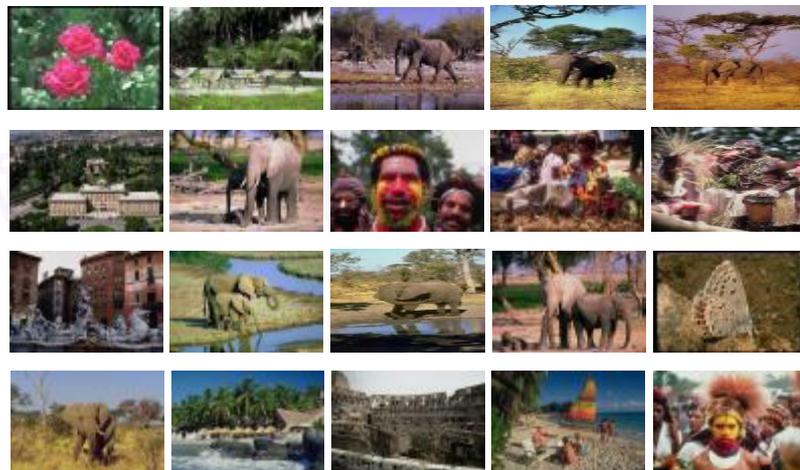
(ค) ฮิสโตแกรมของขอบ (ง) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต



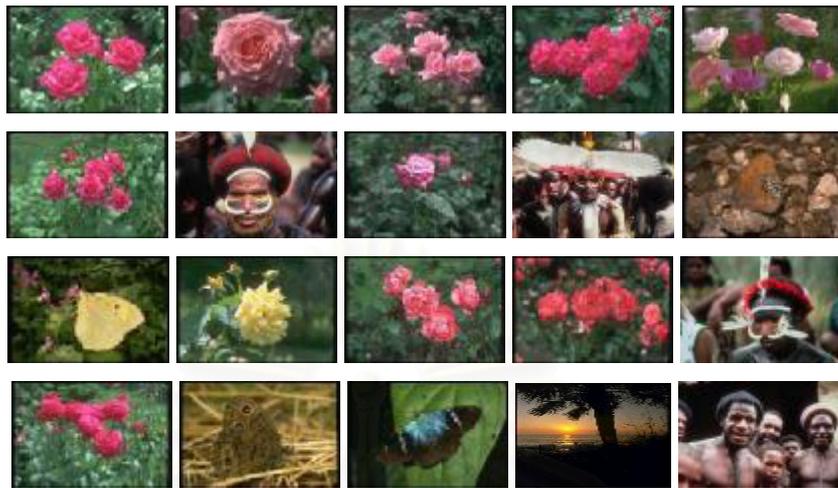
(ก) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮิสโตแกรมของสี



(ข) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮอโตคอร์รีโลแกรม

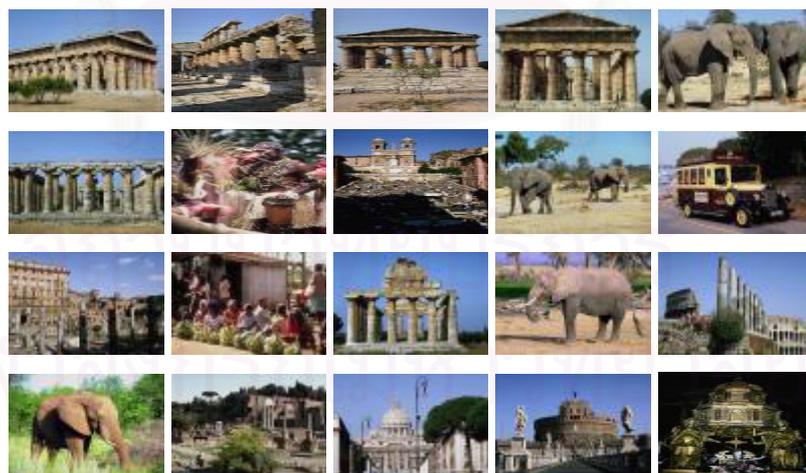


(ค) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮิสโตแกรมของขอบ

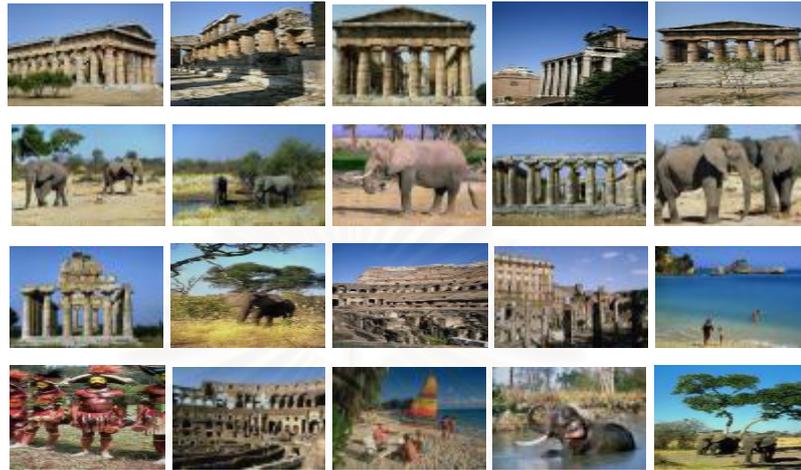


(ง) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

รูปที่ 4.14 ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสี (ข) ออกโตคอร์รีโลแกรม (ค) ฮิสโตแกรมของขอบ (ง) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต



(ก) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยฮิสโตแกรมของสี



(ข) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยอโตคอรี่โลแกรม



(ค) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยฮิสโตแกรมของขอบ



(ง) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

รูปที่ 4.15 ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสี (ข) ออโตคอรีโลแกรม

(ค) ฮิสโตแกรมของขอบ (ง) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า แต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีที่สุดสำหรับกลุ่มภาพบางกลุ่มเท่านั้น โดยกลุ่มภาพที่มีจำนวนสีที่เด่นภายในภาพเพียงไม่กี่สี เช่น ภาพดอกไม้ ทั้งวิธีฮิสโตแกรมของสีและออโตคอรีโลแกรมจะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีพอๆ กัน แต่ออโตคอรีโลแกรมจะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่มีสี, ความเปรียบต่าง และความสว่างที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดีกว่าวิธีฮิสโตแกรมของสี ส่วนฮิสโตแกรมของขอบจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธีอื่น เนื่องจากมีเฉพาะข้อมูลของขอบวัตถุเพียง 5 ชนิดเท่านั้น ซึ่งภาพที่แตกต่างกันอาจมีฮิสโตแกรมของขอบที่เหมือนกันได้ ส่วนพื้นผิวนั้นจะเหมาะสำหรับการค้นคืนภาพที่ให้ความสำคัญกับพื้นผิวของวัตถุภายในภาพมากกว่าลักษณะเฉพาะอื่นๆ โดยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพดี สำหรับการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว แต่จะมีปัญหาสำหรับภาพธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จากตารางที่ 4.6 จะสังเกตเห็นว่าวิธีออโตคอรีโลแกรมและการวิเคราะห์พื้นผิวโดยใช้เวฟเล็ตนั้นมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีพอๆ กัน โดยทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพสูงสุดในการค้นคืนภาพ 4 กลุ่มภาพเท่ากัน ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่า ANMRR เฉลี่ยของภาพทั้ง 10 กลุ่มภาพ จากตารางที่ 4.7 จะพบว่าวิธีออโตคอรีโลแกรมมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสามวิธีที่เหลือ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้ทำให้

สรุปได้ว่า ไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่ดีที่สุดสำหรับการค้นคืนภาพทุกกลุ่มภาพ เทคนิคการค้นคืนภาพที่เหมาะสมกับแต่ละกลุ่มภาพจะแตกต่างกันออกไป

4.7 การทดลองที่ 7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน

การค้นคืนภาพโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น อาจทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแบ่งแยกภาพไม่เพียงพอที่จะส่งผลให้การค้นคืนภาพนั้นล้มเหลวได้ โดยเฉพาะเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะคล้ายกันก็มีมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดในการนำวิธีวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะต่างๆ มาใช้ร่วมกัน โดยการถ่วงน้ำหนักให้แต่ละวิธี ซึ่งจะทำได้ข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะของภาพเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพดีขึ้นในหลายกลุ่มภาพ

ในการทดลองนี้จะใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน ประกอบด้วย ฮิสโตแกรมของสีและขอบ, ฮอโตคอร์รีโลแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ, ฮิสโตแกรมของสีและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต และสุดท้ายคือ ฮอโตคอร์รีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวิธีเท่ากัน คือ 0.5

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- สำหรับการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะทางสี ภาพแต่ละภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ สำหรับการคำนวณฮอโตคอร์รีโลแกรมของภาพ
- สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 10 แถบย่อย (3 ระดับความละเอียด)

- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่ม ๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 100 ภาพ กลุ่มภาพละ 10 ภาพ

ผลการทดลอง

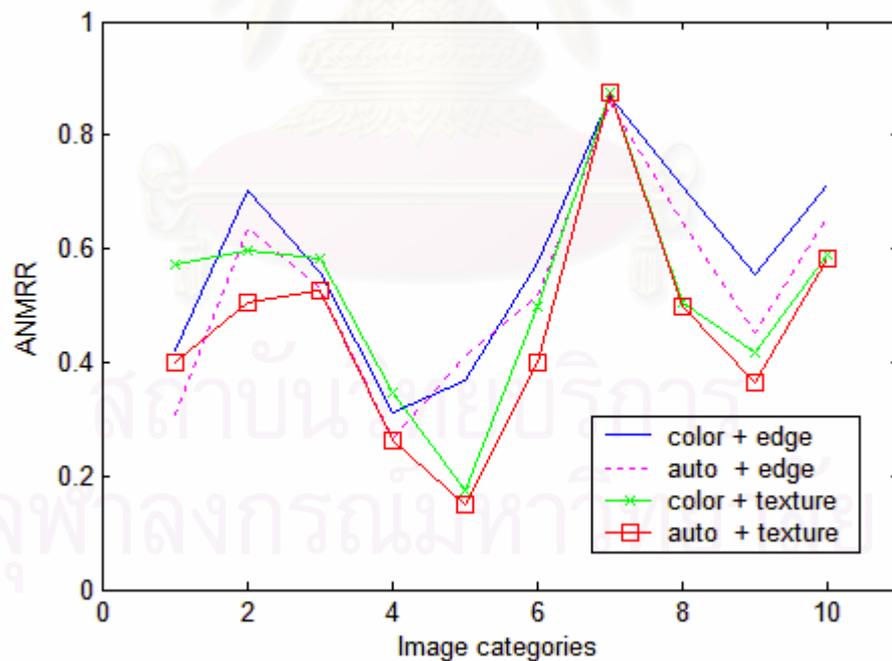
ตารางที่ 4.8 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR

| วิธี | ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (1-5) | | | | |
|---|----------------------------------|---------------|---------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ฮิสโตแกรมของสี และฮิสโตแกรมของขอบ | 0.4209 | 0.7016 | 0.5583 | 0.3130 | 0.3692 |
| ฮอโตคอร์รีโลแกรม และฮิสโตแกรมของขอบ | 0.3094 | 0.6367 | 0.5314 | 0.2665 | 0.4115 |
| ฮิสโตแกรมของสีและการ วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.5716 | 0.5977 | 0.5827 | 0.3458 | 0.1749 |
| ฮอโตคอร์รีโลแกรมและการ วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.4010 | 0.5039 | 0.5255 | 0.2631 | 0.1501 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 การวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแต่ละกลุ่มภาพด้วย ANMRR (ต่อ)

| วิธี | ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ (6-10) | | | | |
|---|-----------------------------------|---------------|--------|--------|--------|
| | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ฮิสโตแกรมของสี และฮิสโตแกรมของขอบ | 0.5744 | 0.8695 | 0.7102 | 0.5539 | 0.7117 |
| ฮอโตคอร์รีโลแกรม และฮิสโตแกรมของขอบ | 0.5144 | 0.8572 | 0.6478 | 0.4526 | 0.6577 |
| ฮิสโตแกรมของสีและการ วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.4966 | 0.8738 | 0.5063 | 0.4160 | 0.5900 |
| ฮอโตคอร์รีโลแกรมและการ วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.3985 | 0.8761 | 0.4983 | 0.3642 | 0.5844 |



รูปที่ 4.16 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพของแต่ละวิธี

ตารางที่ 4.9 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพของแต่ละวิธี

| วิธี | ค่า ANMRR เฉลี่ย จากทุกกลุ่มภาพ |
|---|------------------------------------|
| ฮิสโตแกรมของสี และฮิสโตแกรมของขอบ | 0.5783 |
| ฮอโตคอรีโโลแกรม และฮิสโตแกรมของขอบ | 0.5285 |
| ฮิสโตแกรมของสีและวิธี วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.5155 |
| ฮอโตคอรีโโลแกรมและวิธี วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | 0.4565 |

ผลการค้นคืนภาพเรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากไปน้อย จากซ้ายไปขวาและจากแถวบนลงล่าง แสดงดังรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.19 โดยภาพที่อยู่แถวบนและซ้ายมือสุดคือ ภาพสอบถาม



(ก) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยฮิสโตแกรมของสีและ
ฮิสโตแกรมของขอบ



(ข) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยขอโตคอร์รีโดแกรมและ
ฮิสโตแกรมของขอบ



(ค) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยฮิสโตแกรมของสีและ
วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต



(ง) ผลการค้นคืนภาพรถด้วยอโตคอรรีโลแกรมและ
วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

รูปที่ 4.17 ผลการค้นคืนภาพรถด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสีและฮิสโตแกรมของขอบ
(ข) อโตคอรรีโลแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ (ค) ฮิสโตแกรมของสีและวิธีวิเคราะห์
พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (ง) อโตคอรรีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต



(ก) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮิสโตแกรมของสีและ
ฮิสโตแกรมของขอบ



(ข) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยอโตคอรรีโลแกรมและ
ฮิสโตแกรมของขอบ

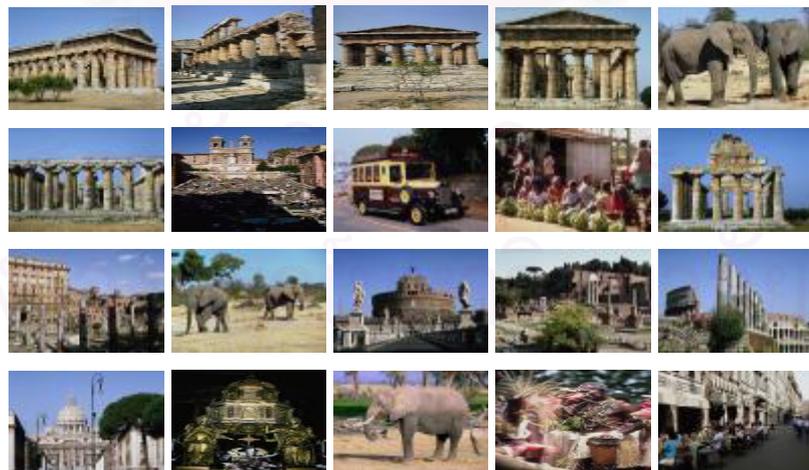


(ค) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยฮิสโตแกรมของสีและ
วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

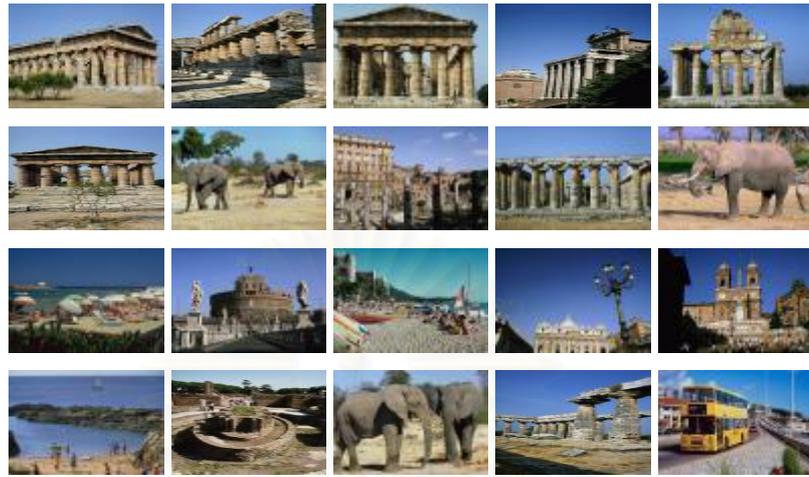


(ง) ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยอโตคอรรีโลแกรมและ
วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

รูปที่ 4.18 ผลการค้นคืนภาพดอกไม้ด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสีและฮิสโตแกรมของขอบ
(ข) อโตคอรรีโลแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ (ค) ฮิสโตแกรมของสีและวิธีวิเคราะห์
พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (ง) อโตคอรรีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต



(ก) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยฮิสโตแกรมของสีและ
ฮิสโตแกรมของขอบ



(ข) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยอโตคอร์ริโลแกรมและ
ฮิสโตแกรมของขอบ



(ค) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยฮิสโตแกรมของสีและ
วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต



(ง) ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยอโตคอรรีโลแกรมและ
วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

รูปที่ 4.19 ผลการค้นคืนภาพอาคารด้วยวิธีต่างๆ (ก) ฮิสโตแกรมของสีและฮิสโตแกรมของขอบ
(ข) อโตคอรรีโลแกรมและฮิสโตแกรมของขอบ (ค) ฮิสโตแกรมของสีและการวิเคราะห์
พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต (ง) อโตคอรรีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.9 จะสังเกตเห็นว่าการใช้อโตคอรรีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพมากที่สุด โดยพิจารณาได้จากค่า ANMRR เฉลี่ยต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีนี้สามารถค้นคืนภาพในหลายๆ กลุ่มภาพได้ดีกว่าวิธีอื่น ซึ่งจะทำให้สามารถขยายการรองรับชนิดและขนาดของข้อมูลภาพ รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการค้นคืนภาพด้วยวิธีนี้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงหรือลักษณะของภาพมากกว่าวิธีอื่น

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะของภาพ 2 วิธีร่วมกัน จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่า ANMRR โดยรวมของกลุ่มภาพส่วนใหญ่มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ลักษณะเฉพาะของภาพวิธีใดวิธีหนึ่งจากตารางที่ 4.6 ในการทดลองที่ 6 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะหลายวิธีร่วมกัน จะทำให้การค้น

คืนภาพมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน และยังสามารถรองรับการคืนคืนภาพที่มีความหลากหลายได้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย

4.8 การทดลองที่ 8 วิเคราะห์ถึงผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนักที่มีต่อประสิทธิภาพในการคืนคืนภาพของเทคนิคที่ใช้ฮอโตคอรีโโลแกรมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต

จากการทดลองที่ 7 ทำให้ได้ข้อสรุปว่า เทคนิคการคืนคืนภาพที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การใช้ฮอโตคอรีโโลแกรมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากัน คือ 0.5 ดังนั้นการทดลองนี้จะศึกษาถึงผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนักที่มีต่อประสิทธิภาพในการคืนคืนภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพในการคืนคืนภาพของค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการรวมลักษณะเฉพาะ 2 วิธี คือ ฮอโตคอรีโโลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- สำหรับวิธีฮอโตคอรีโโลแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$
- สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 10 แถบย่อย (3 ระดับความละเอียด)
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่มๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการคืนคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 100 ภาพ กลุ่มภาพละ 10 ภาพ

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า ANMRR ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าต่างๆ

| ค่าถ่วงน้ำหนัก ออกโตคอร์รีโลแกรม | ค่าถ่วงน้ำหนักวิธีวิเคราะห์ พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต | ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 0.9 | 0.1 | 0.5250 |
| 0.8 | 0.2 | 0.4948 |
| 0.7 | 0.3 | 0.4717 |
| 0.6 | 0.4 | 0.4581 |
| 0.5 | 0.5 | 0.4565 |
| 0.4 | 0.6 | 0.4660 |
| 0.3 | 0.7 | 0.4855 |
| 0.2 | 0.8 | 0.5120 |
| 0.1 | 0.9 | 0.5449 |

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.6 ในการทดลองที่ 6 ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่า ANMRR ของวิธีออกโตคอร์รีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ตสำหรับกลุ่มภาพที่วิธีออกโตคอร์รีโลแกรมมีค่า ANMRR น้อยกว่า มีค่าเท่ากับ 0.1279 และสำหรับกลุ่มภาพที่วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ตมีค่า ANMRR น้อยกว่า มีค่าเท่ากับ 0.1353 ซึ่งทั้งสองค่านี้นี้แตกต่างกันเพียง 0.0074 ดังนั้นในกรณีนี้การถ่วงน้ำหนักให้แต่ละวิธีเท่ากันจึงทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุด จากตารางที่ 4.10 พบว่าการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของทั้งสองวิธีเท่ากัน คือ 0.5 จะทำให้ได้ค่า ANMRR ต่ำที่สุด คือ 0.4565 และเมื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักลดลงหรือเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า ANMRR มีค่าสูงขึ้น โดยค่า ANMRR จะเพิ่มขึ้นเมื่อผลต่างระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักของทั้งสองวิธีมีค่าเพิ่มขึ้น

ดังนั้นในกรณีนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ออกโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากัน คือ 0.5 จะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.9 การทดลองที่ 9 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่างๆ ของวิธีอโตคอร์รีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีการต่างๆ ของวิธีอโตคอร์รีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- สำหรับวิธีอโตคอร์รีโลแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$
- สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 10 แถบย่อย (3 ระดับความละเอียด)
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วย ภาพหลายประเภทคละกัน ได้แก่ ภาพคน, ฝึเสื้อ, ดอกไม้, ภูเขา, ทิวทัศน์, อวกาศและภาพจากวีดิทัศน์

ผลการทดลอง

การทดลองและผลการทดลองแบ่งออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

- 1) ค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีความเปรียบเทียบต่างแตกต่างกัน 2 ภาพเป็นภาพสอบถาม ดังรูปที่ 4.20



(ก)



ฮอโตคอรีโโลแกรม :

39th

3rd

วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต :

761st

341st

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.20 ผลการค้นคืนภาพที่มีความเปรียบเทียบต่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับความเปรียบเทียบต่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถามในการค้นคืนภาพเป้าหมายนั้น โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความเปรียบเทียบต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความเปรียบเทียบสูงกว่าภาพเป้าหมาย ถ้าภาพสอบถามมีความเปรียบเทียบสูงหรือต่ำกว่าภาพเป้าหมายมาก จะทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพต่ำลง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า วิธีฮอโตคอรีโโลแกรมสามารถค้นคืนภาพเป้าหมายได้ในลำดับที่ต่ำกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีฮอโตคอรีโโลแกรมสามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเปรียบเทียบต่างของภาพได้ดีกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

2) ค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีความสว่างแตกต่างกัน 2 ภาพ เป็นภาพสอบถาม ดังรูปที่ 4.21



(ก)



ออโตคอรรีโลแกรม :

3rd

12nd

วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต :

331st

724th

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.21 ผลการค้นคืนภาพที่มีความสว่างแตกต่างกัน (ก) ภาพเป้าหมาย

(ข) ภาพสอบถาม 1 (ค) ภาพสอบถาม 2

ในกรณีนี้ได้ทำการปรับค่าความสว่างของภาพเป้าหมาย ซึ่งเป็นภาพที่มีอยู่ในฐานข้อมูลภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถามในการค้นคืนภาพเป้าหมายนั้น โดยที่ภาพสอบถามแรกมีความสว่างต่ำกว่าภาพเป้าหมาย ส่วนภาพสอบถามที่สองมีความสว่างสูงกว่าภาพเป้าหมาย ถ้าภาพสอบถามมีความสว่างสูงหรือต่ำกว่าภาพเป้าหมายมาก จะทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพต่ำลง จากผลการทดลองพบว่า วิธีออโตคอรรีโลแกรมสามารถค้นคืนภาพเป้าหมายได้ในลำดับที่ต่ำกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออโตคอรรีโลแกรมมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความสว่างของภาพได้ดีกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

3) ค้นคืนภาพเป้าหมาย โดยใช้ภาพเป้าหมายที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของพื้นหลังของภาพเป็นภาพสอบถาม ดังรูปที่ 4.22



(ก)



(ข)

อัตราคอนทราสต์ : 1st

วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต : 484th

รูปที่ 4.22 ผลการค้นคืนภาพที่มีพื้นหลังเปลี่ยนแปลงไป (ก) ภาพสอบถาม
(ข) ภาพเป้าหมาย

ในกรณีนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงพื้นหลังของภาพเป้าหมาย เพื่อนำมาใช้เป็นภาพสอบถามในการค้นคืนภาพเป้าหมายนั้น จากผลการทดลองพบว่าวิธีอัตราคอนทราสต์สามารถค้นคืนภาพเป้าหมายได้ในลำดับที่ต่ำกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยสามารถค้นคืนภาพเป้าหมายได้ในลำดับแรก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีอัตราคอนทราสต์มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสีภายในภาพได้ดีกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

4) ค้นคืนภาพซึ่งอยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมอง และภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.23



อัตราคอนทราสต์ :

10th1st

วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเวฟเล็ต :

620th9th

รูปที่ 4.23 ผลการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมองและภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.23 ภาพที่อยู่ทางซ้าย คือ ภาพสอบถาม ส่วนภาพที่อยู่ทางขวา คือ ภาพเป้าหมาย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า วิธีออตคอรรีโลแกรมสามารถค้นคืนภาพเป้าหมายได้ในลำดับที่ต่ำกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นในกรณีนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีออตคอรรีโลแกรมมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมอง และภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีต่างๆ ได้ดีกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า วิธีออตคอรรีโลแกรมจะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมอง, ภาพที่มีสี, ความสว่างหรือความเบี่ยงต่างเปลี่ยนแปลงไปได้ดีกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

4.10 การทดลองที่ 10 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (texture pattern) ของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีออตคอรรีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีออตคอรรีโลแกรม และวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- สำหรับวิธีออตคอรรีโลแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$
- สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 10 แถบย่อย (3 ระดับความละเอียด)
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

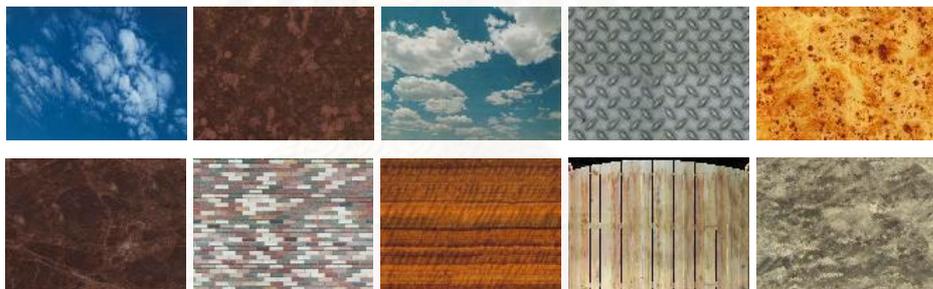
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 400 ภาพ ประกอบด้วยภาพแบบพื้นผิวทั้งหมด

ผลการทดลอง

รูปที่ 4.24 ถึงรูปที่ 4.28 เป็นตัวอย่างผลการค้นคืนภาพบางส่วน โดยภาพที่อยู่แถวบนและซ้ายมือสุด คือ ภาพสอบถาม ส่วนภาพที่เหลือคือภาพที่ค้นคืนมาได้เรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพสอบถามมากไปน้อย จากซ้ายไปขวาและจากแถวบนลงล่าง



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.24 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 1 (ก) วิธีอโตคอร์รีโลแกรม

(ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.25 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 2 (ก) วิธีอโตคอรีโโลแกรม
(ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวดำวยการแปลงเวฟเล็ต



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.26 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 3 (ก) วิธีอโตคอรีโโลแกรม
(ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวดำวยการแปลงเวฟเล็ต



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.27 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 4 (ก) วิธีออกโตคอร์รีโลแกรม

(ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.28 ผลการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวที่ 5 (ก) วิธีฮอโตคอร์รีโลแกรม
(ข) วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงจิตวิสัย (subjective) โดยพิจารณาจากลักษณะของภาพที่ค้นคืนมาได้ พบว่าภาพที่ค้นคืนมาได้จากวิธีฮอโตคอร์รีโลแกรมจะมีสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของสีที่คล้ายกับภาพสอบถามมากกว่าลักษณะของพื้นผิว ในขณะที่ภาพที่ค้นคืนมาได้จากวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต จะมีลักษณะของพื้นผิวที่คล้ายกับภาพสอบถามมากกว่าลักษณะของสีซึ่งอาจจะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพแบบพื้นผิวมากกว่าวิธีฮอโตคอร์รีโลแกรม แต่ทั้งนี้การเลือกใช้เทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้เป็นสำคัญ

4.11 การทดลองที่ 11 วิเคราะห์ถึงผลกระทบของจำนวนฐานข้อมูลภาพและจำนวนการสอบถามที่มีต่อค่า ANMRR

จำนวนฐานข้อมูลภาพและจำนวนการสอบถามเป็นปัจจัยสำคัญอีก 2 ประการที่ส่งผลกระทบต่อการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

วัตถุประสงค์

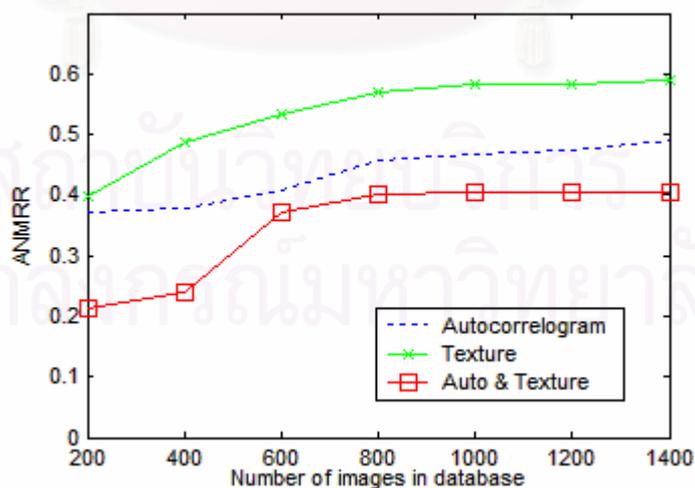
เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของจำนวนฐานข้อมูลภาพและจำนวนการสอบถามที่มีต่อการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

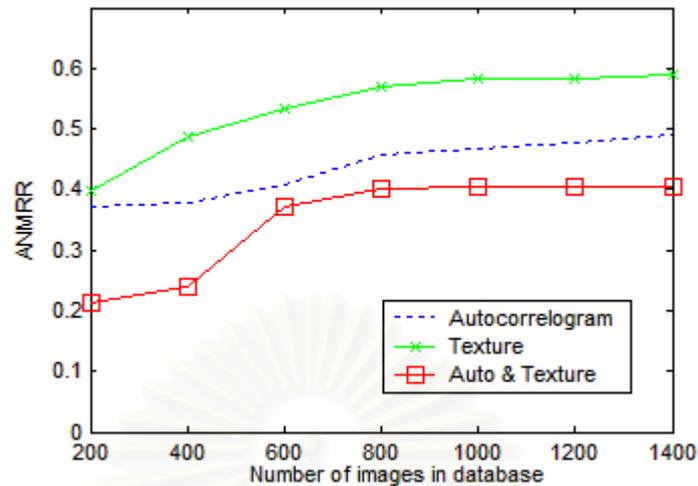
- สำหรับวิธีออโตคอร์รีโลแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถังสี โดยกำหนดเซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$
- สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 10 แถบย่อย (3 ระดับความละเอียด)
- วิธีที่ใช้ออโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากัน คือ 0.5
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

ผลการทดลอง

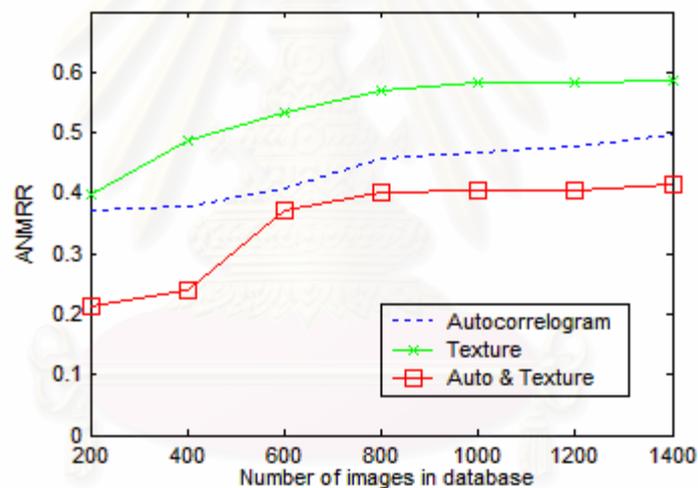
กรณีที่ 1 ค้นคืนภาพ โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 1% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ และแบ่งภาพสอบถามในการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วยภาพหลายประเภท คละกัน เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของค่า ANMRR ที่ได้จากการสอบถามด้วยภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งค่า ANMRR ที่ได้จากภาพสอบถามแต่ละกลุ่มแสดงดังรูปที่ 4.29 ถึง รูปที่ 4.31



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบค่า ANMRR กับจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับภาพสอบถามกลุ่มที่ 1



รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบค่า ANMRR กับจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับภาพสอบถามกลุ่มที่ 2



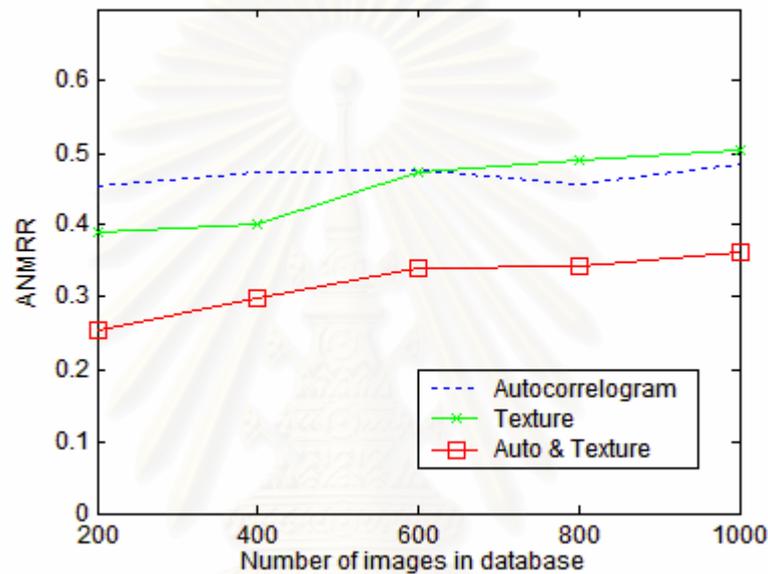
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบค่า ANMRR กับจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับภาพสอบถามกลุ่มที่ 3

จากผลการทดลองพบว่า ค่า ANMRR เริ่มจะคงที่ตั้งแต่จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพขึ้นไป โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งจะขึ้นอยู่กับภาพสอบถามที่ใช้ในการค้นคืนภาพ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนฐานข้อมูลภาพ 1000 ภาพเหมาะสมและเพียงพอสำหรับการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพที่น่าเสนอ โดยวิธีที่ใช้ฮอโตคอรรีโอดแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดและไม่ขึ้นกับจำนวนฐานข้อมูลภาพ

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า ANMRR ที่ได้จากการค้นคืนด้วยภาพสอบถาม 3 กลุ่ม พบว่าแต่ละกลุ่มมีค่า ANMRR ที่ใกล้เคียงกันมาก โดยมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

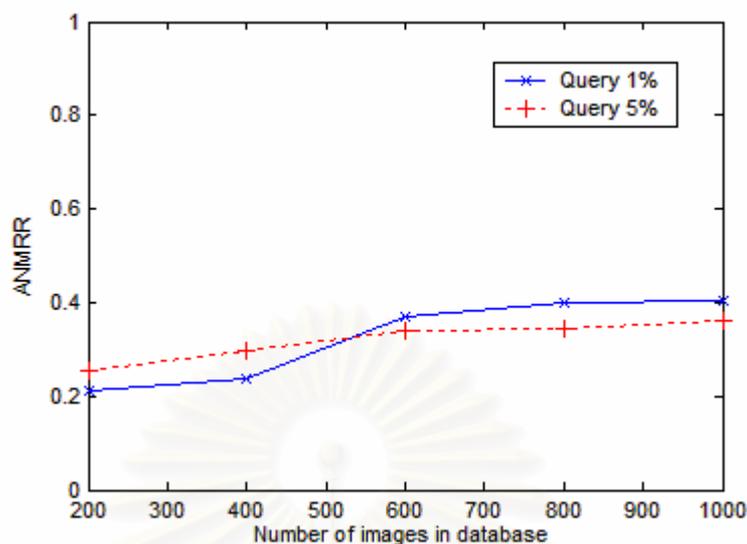
และการเปลี่ยนแปลงของค่า ANMRR เมื่อจำนวนฐานข้อมูลภาพเพิ่มมากขึ้นจะให้ผลในลักษณะเดียวกัน คือ จะมีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่ตั้งแต่จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ภาพสอบถามที่แตกต่างกันไม่มีผลกระทบต่อการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR

กรณีที่ 2 ค้นคืนภาพ โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 5% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ



รูปที่ 4.32 การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR สำหรับจำนวนการสอบถามเท่ากับ 5% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ

จากผลการทดลองพบว่า วิธีที่ใช้ฮอโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่นเดียวกับผลที่ได้จากการทดลองค้นคืนภาพโดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 1% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ โดยที่ ANMRR มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.0308 ถึง 0.0580 ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบค่า ANMRR ของวิธีที่ใช้ฮอโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิว ด้วยการแปลงเวฟเล็ต สำหรับจำนวนการสอบถามที่แตกต่างกัน

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า จำนวนฐานข้อมูลภาพที่เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ คือ 1000 ภาพ โดยภาพสอบถามที่แตกต่างกันและจำนวนภาพสอบถามไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ

4.12 การทดลองที่ 12 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีฮอโตคอร์รีโลแกรมที่เซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ (k) ต่างๆ

เซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพที่ใช้ในการคำนวณค่าฮอโตคอร์รีโลแกรม หรือเซตของค่า k เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความซับซ้อนในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ, ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล รวมถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีฮอโตคอร์รีโลแกรม ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการค้นคืนภาพด้วยวิธีฮอโตคอร์รีโลแกรม โดยใช้เซตของค่า k ต่างๆ กัน

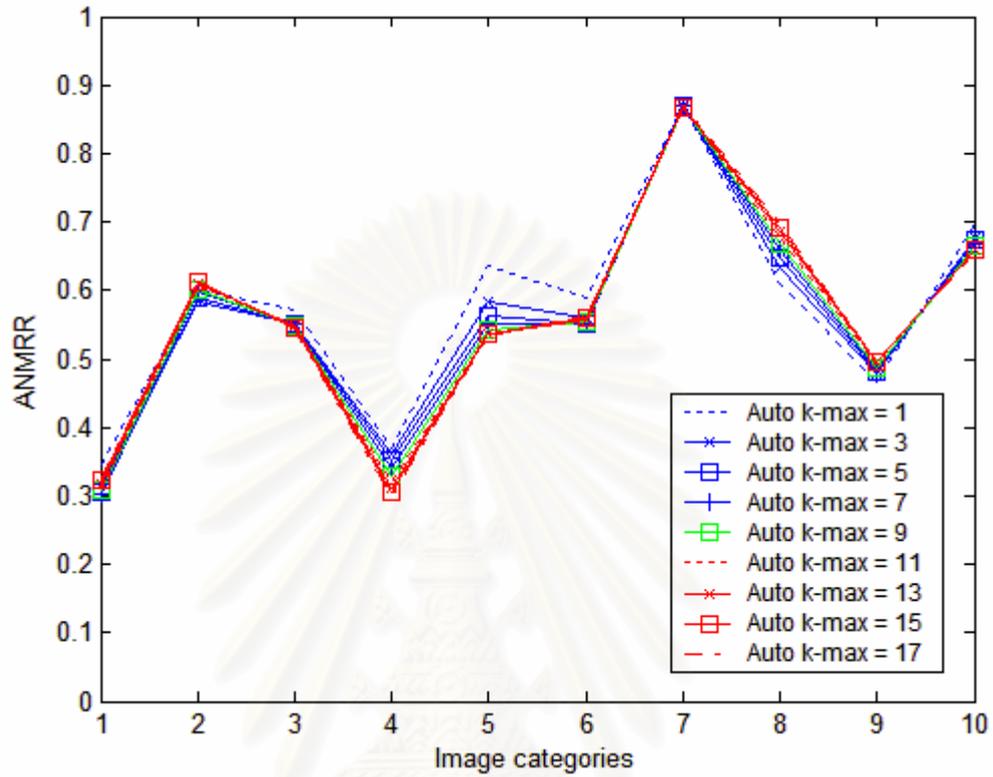
วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีอโตคอรรีโแกรมที่ใช้เซตของค่า k ต่างๆ กัน

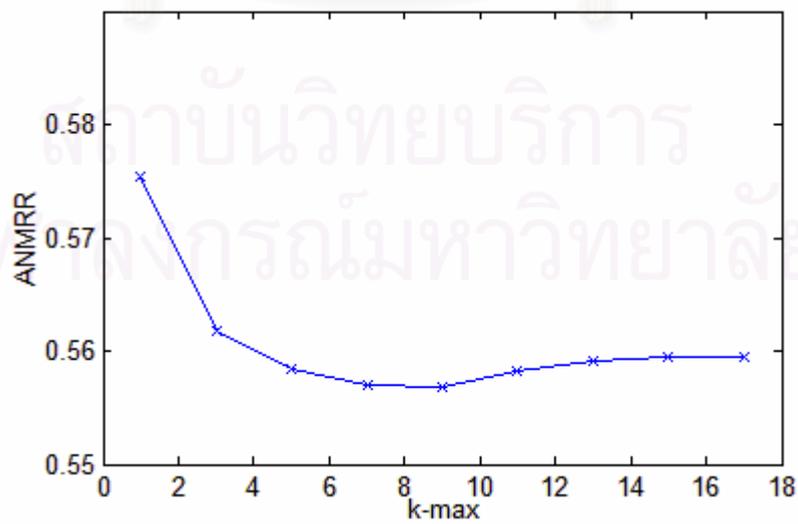
ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- ในการคำนวณค่าอโตคอรรีโแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 ถึงสี โดยกำหนดเซตของค่า k ต่างๆ กัน ($k = \{1, 3, \dots, k_{\max}\}$) ดังนี้
 - $k = \{1\}$
 - $k = \{1, 3\}$
 - $k = \{1, 3, 5\}$
 - $k = \{1, 3, 5, 7\}$
 - $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$
 - $k = \{1, 3, 5, 7, 9, 11\}$
 - $k = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13\}$
 - $k = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15\}$
 - $k = \{1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17\}$
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่มๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 100 ภาพ กลุ่มภาพละ 10 ภาพ (1% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับภาพสอบถามแต่ละกลุ่ม)

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.34 การวัดประสิทธิภาพของวิธีออโตคอรรีไลแกรมที่ใช้
เซตของค่า k ต่างๆ กัน ด้วย ANMRR



รูปที่ 4.35 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ สำหรับเซตของค่า k ต่างๆ

จากรูปที่ 4.34 จะสังเกตเห็นว่าค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ สำหรับวิธีออตโตคอรวิโดแกรมที่ใช้เซตของค่า k ต่างๆ กันนั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ถ้าพิจารณาจากค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพในรูปที่ 4.35 พบว่า วิธีที่ใช้เซตของค่า $k = 1, 3, 5, 7, 9$ มีค่า ANMRR ต่ำที่สุด คือ 0.5569 โดย ANMRR จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มหรือลดค่า k_{\max}

สำหรับกลุ่มภาพที่วัตถุที่สนใจภายในภาพมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับขนาดของภาพ เช่น ภาพตึก, รถและโดโนเสาร์ พบว่าประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพจะมากขึ้นเมื่อ k_{\max} มีค่ามากขึ้น

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีออตโตคอรวิโดแกรมที่ใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5\}$ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากมีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพใกล้เคียงกับวิธีที่ใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ ซึ่งเป็นวิธีที่มีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำที่สุด โดยมีค่า ANMRR มากกว่าเพียง 0.0015 แต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะน้อยกว่ามาก เพราะมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าถึง $2n^2$ สำหรับภาพขนาด $n \times n$ จุดภาพ และทำให้สามารถประมวลผลได้เร็วขึ้นเนื่องจากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะมีขนาดเล็กกว่าถึง $2m$ โดยที่ m คือ จำนวนสีภายในภาพหลังการควอนไทซ์สี

4.13 การทดลองที่ 13 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดต่างๆ

การทดลองนี้เป็นการทดลองค้นคืนภาพด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดต่างๆ กัน

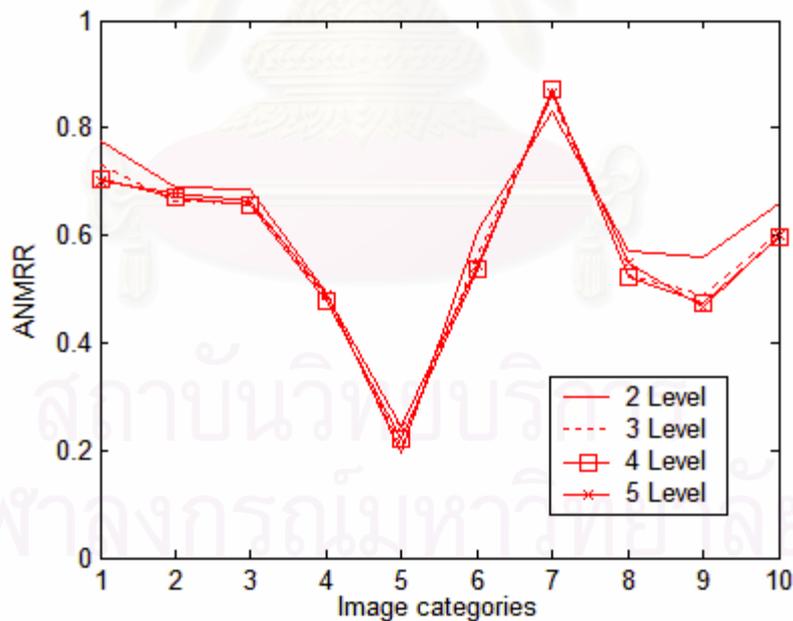
วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดต่างๆ

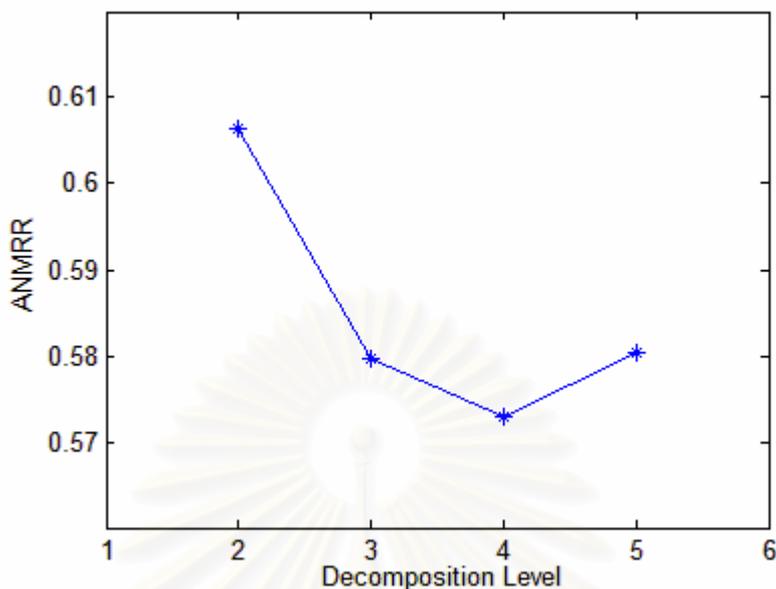
ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพ คือ วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยใช้ระดับความละเอียดเท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ระดับ
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่มๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 100 ภาพ กลุ่มภาพละ 10 ภาพ (1% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ สำหรับภาพสอบถามแต่ละกลุ่ม)

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.36 การวัดประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ระดับความละเอียดต่างๆ



รูปที่ 4.37 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ สำหรับการแปลงเวฟเล็ต ที่ระดับความละเอียดต่างๆ

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.36 จะสังเกตเห็นว่าค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพ สำหรับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่แต่ละระดับความละเอียดมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งถ้าพิจารณาจากค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพในรูปที่ 4.37 พบว่า การแปลงเวฟเล็ตที่ 4 ระดับความละเอียดจะมีค่า ANMRR ต่ำที่สุด คือ 0.5729 โดย ANMRR จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มหรือลดระดับความละเอียดในการแปลงเวฟเล็ต

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ 4 ระดับความละเอียด เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับฐานข้อมูลภาพซึ่งมีขนาดของภาพเท่ากับ 128 x 85 จุดภาพ เนื่องจากมีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำที่สุด

4.14 การทดลองที่ 14 ปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้เทคนิคการค้นคืนภาพที่ใช้วิธีฮอโตคอร์ริโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากการทดลองที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อด้อยของเทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธี โดยวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพดี สำหรับการค้นคืนภาพแบบ

พื้นผิว แต่จะมีปัญหาสำหรับภาพธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นการนำวิธีอโตคอรรีโลแกรม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่ประกอบด้วยข้อมูลสีและข้อมูลเชิงพื้นที่ของภาพมาใช้ร่วมกันจะทำให้สามารถค้นคืนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในการทดลองนี้จะทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวิธีเพื่อให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีอโตคอรรีโลแกรมที่ใช้ค่า $k = \{1, 3, 5\}$ และวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียด จากการทดลองที่ 12 และ 13 พบว่าค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่า ANMRR ของวิธีอโตคอรรีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตสำหรับกลุ่มภาพที่วิธีอโตคอรรีโลแกรมมีค่า ANMRR น้อยกว่า มีค่าเท่ากับ 0.1425 และสำหรับกลุ่มภาพที่วิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีค่า ANMRR น้อยกว่า มีค่าเท่ากับ 0.1134 โดยมีค่าแตกต่างกัน 0.0291 แสดงให้เห็นว่าวิธีอโตคอรรีโลแกรมมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นการนำทั้งสองวิธีมาใช้ร่วมกันจึงต้องถ่วงน้ำหนักให้กับวิธีอโตคอรรีโลแกรมมากกว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต

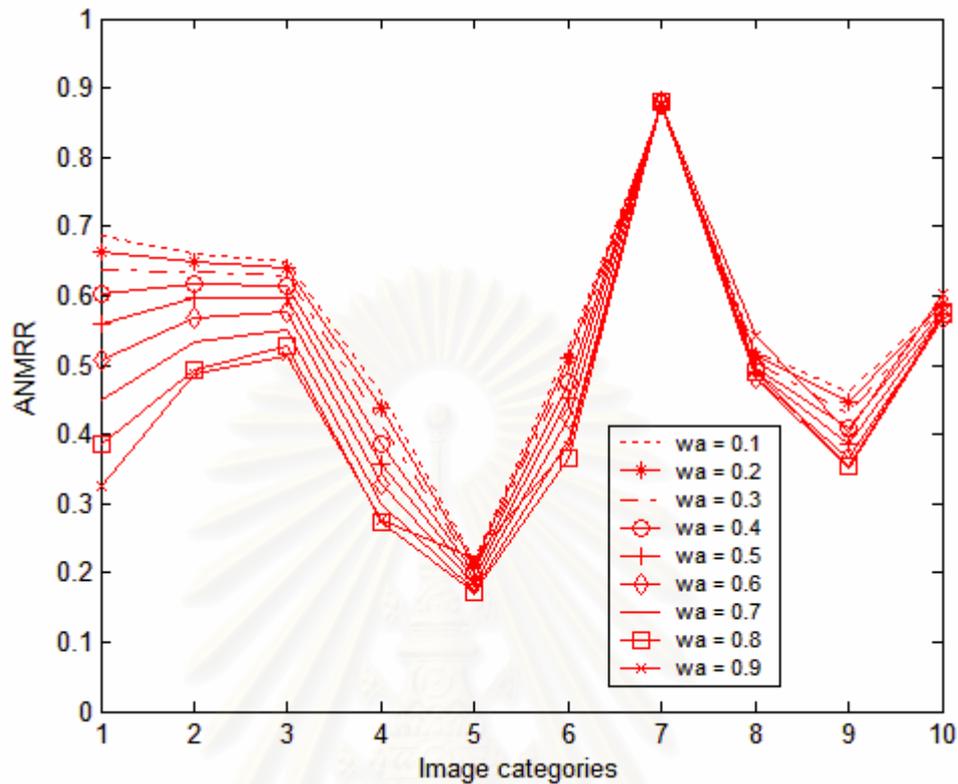
วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวิธีที่จะทำให้เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีอโตคอรรีโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ปัจจัยกำหนดในการทดลอง

- เทคนิคการค้นคืนภาพ คือ การใช้อโตคอรรีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต สำหรับการคำนวณอโตคอรรีโลแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 บิต โดยที่เซตของค่า $k = \{1, 3, 5\}$ ส่วนวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น 13 แถบย่อย (4 ระดับความละเอียด)
- ใช้ระยะทาง S_1 สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ
- จำนวนฐานข้อมูลภาพเท่ากับ 1000 ภาพ ประกอบด้วยภาพ 10 กลุ่มๆ ละ 100 ภาพ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- วัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย ANMRR โดยใช้จำนวนการสอบถามเท่ากับ 100 ภาพ กลุ่มภาพละ 10 ภาพ (1% ของจำนวนฐานข้อมูลภาพ)

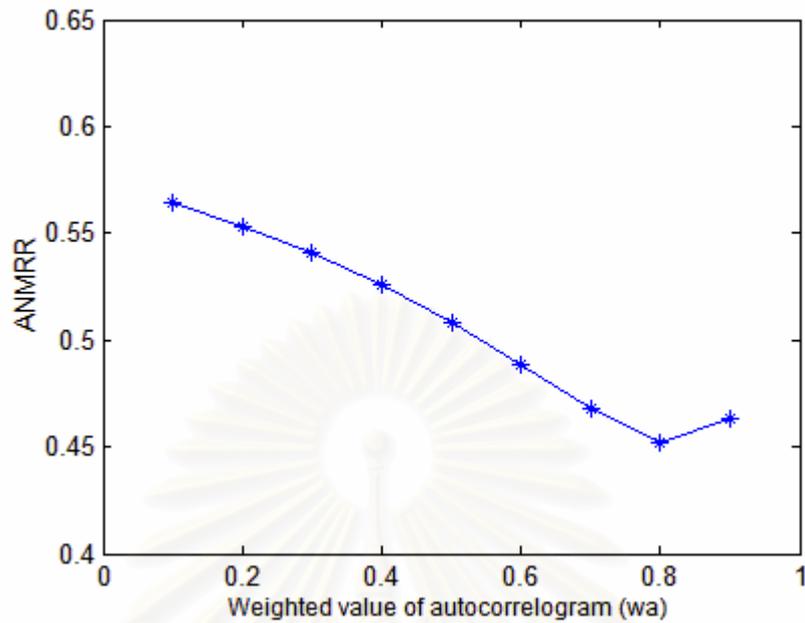
ผลการทดลอง



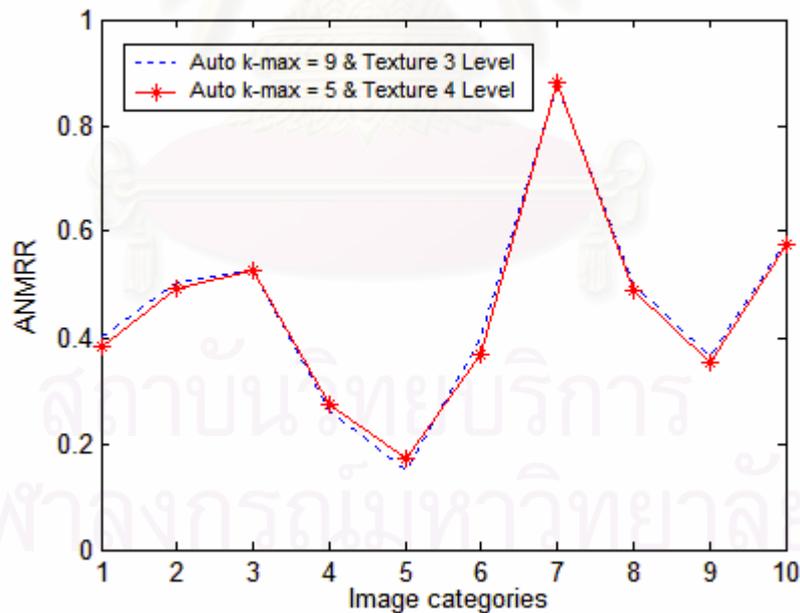
รูปที่ 4.38 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพสำหรับวิธีที่ใช้ออโตคอรัลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่า ANMRR ที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักด้วยค่าต่างๆ

| ค่าถ่วงน้ำหนัก ออโตคอรัลแกรม (wa) | ค่าถ่วงน้ำหนักวิธี วิเคราะห์พื้นผิว ด้วยเวฟเล็ต | ค่า ANMRR เฉลี่ย จากทุกกลุ่มภาพ |
|---|---|------------------------------------|
| 0.1 | 0.9 | 0.5639 |
| 0.2 | 0.8 | 0.5535 |
| 0.3 | 0.7 | 0.5406 |
| 0.4 | 0.6 | 0.5258 |
| 0.5 | 0.5 | 0.5083 |
| 0.6 | 0.4 | 0.4886 |
| 0.7 | 0.3 | 0.4677 |
| 0.8 | 0.2 | 0.4516 |
| 0.9 | 0.1 | 0.4633 |



รูปที่ 4.39 ค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพ สำหรับวิธีที่ใช้ออโตคอรรีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ



รูปที่ 4.40 ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพเปรียบเทียบระหว่างวิธีออโตคอรรีโลแกรมที่ใช้ $k_{\max} = 9$ กับการแปลงเวฟเล็ต 3 ระดับความละเอียดและวิธีออโตคอรรีโลแกรมที่ใช้

$k_{\max} = 5$ กับการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียด

ที่ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุด

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.38 พบว่าค่า ANMRR ที่ได้จากการค้นคืนคุณภาพแต่ละกลุ่มภาพที่ค่าถ่วงน้ำหนักต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนใหญ่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนักให้วิธีออคโตคอร์รีโโลแกรม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.11 พบว่าที่ค่าถ่วงน้ำหนักออคโตคอร์รีโโลแกรมเท่ากับ 0.8 และค่าถ่วงน้ำหนักวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตเท่ากับ 0.2 มีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพต่ำที่สุด คือ 0.4516 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักออคโตคอร์รีโโลแกรมเท่ากับ 0.8 และค่าถ่วงน้ำหนักวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตเท่ากับ 0.2 จะทำให้เทคนิคการค้นคืนคุณภาพด้วย วิธีออคโตคอร์รีโโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับฐานข้อมูลภาพในการทดลองนี้ และยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพได้ถึง 8 ใน 10 กลุ่มภาพ เมื่อเทียบกับการใช้แต่ละวิธีแยกกัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีออคโตคอร์รีโโลแกรมที่ใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ กับการแปลงเวฟเล็ต 3 ระดับความละเอียด จากการทดลองที่ 7 และเทคนิคที่นำเสนอ คือ วิธีออคโตคอร์รีโโลแกรมที่ใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5\}$ กับการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียด ที่ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงสุดของแต่ละวิธี จากรูปที่ 4.40 พบว่า ค่า ANMRR ของแต่ละกลุ่มภาพของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยเทคนิคที่นำเสนอมีค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพน้อยกว่า เท่ากับ 0.0049 และมีขนาดเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะรวมทั้งความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เทคนิคที่นำเสนอมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีออคโตคอร์รีโโลแกรมที่ใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5, 7, 9\}$ กับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต 3 ระดับความละเอียด

4.15 สรุปการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดลองค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิคต่างๆ รวมทั้งเทคนิคที่นำเสนอ โดยการทดลองที่ 1 ถึง 11 เป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความถูกต้องในการค้นคืนภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธี ซึ่งเป็นสิ่งที่คำนึงถึงและให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ โดยในการทดลองจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละวิธีเช่นเดียวกับค่าที่ใช้ในงานวิจัยส่วนใหญ่ จากผลการทดลองพบว่า เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีประสิทธิภาพดีสำหรับภาพแต่ละกลุ่มจะแตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาจากค่า ANMRR เฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพพบว่าเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ ออคโตคอร์รีโโลแกรม และเพื่อให้การค้นคืนภาพมี

ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงได้ทดลองค้นคืนภาพโดยใช้เทคนิค 2 วิธีร่วมกัน จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ วิธีที่ใช้ฮอโตคอรีโโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งทำให้สามารถค้นคืนภาพจากหลายกลุ่มภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน โดยได้วิเคราะห์ถึงผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวิธีในการทดลองที่ 8 จากนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อด้อยของฮอโตคอรีโโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตในการทดลองที่ 9 และ 10

สำหรับจำนวนฐานข้อมูลภาพที่เหมาะสมและเพียงพอในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ คือ 1000 ภาพ โดยภาพสอบถามที่แตกต่างกันและจำนวนภาพสอบถามไม่ส่งผลกระทบต่อการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ ซึ่งพิจารณาได้จากการทดลองที่ 11

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความถูกต้องในการค้นคืนภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ พบว่าเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ วิธีที่ใช้ฮอโตคอรีโโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ดังนั้นในการทดลองที่ 12 และ 13 จึงได้วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพในด้านความเร็วในการประมวลผลและความซับซ้อนในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ จากผลการทดลองพบว่าการใช้เซตของค่า $k = \{1, 3, 5\}$ สำหรับการคำนวณฮอโตคอรีโโลแกรม และวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียด เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทั้งในด้านความถูกต้องในการค้นคืนภาพและความรวดเร็วในการประมวลผลรวมถึงความซับซ้อนในการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพเชิงความถูกต้องในการค้นคืนภาพเป็นหลัก จากนั้นในการทดลองที่ 14 จึงได้ทดลองเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักที่ทำให้การค้นคืนภาพด้วยวิธีที่ใช้ฮอโตคอรีโโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การใช้ค่าถ่วงน้ำหนักฮอโตคอรีโโลแกรมเท่ากับ 0.8 และค่าถ่วงน้ำหนักวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตเท่ากับ 0.2 จะทำให้เทคนิคการค้นคืนภาพด้วยวิธีฮอโตคอรีโโลแกรมและวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุด

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนคุณภาพดิจิทัลโดยใช้ฮิสโตแกรมและกราฟแปลงเวฟเล็ต ซึ่งเป็นเทคนิคการค้นคืนภาพโดยอาศัยการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ 2 ลักษณะ ประกอบด้วยสีและพื้นผิว ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ฮิสโตแกรมของสีเพื่ออธิบายลักษณะของสีภายในภาพ เนื่องจากมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าวิธีอื่น ทำให้สามารถคำนวณได้ง่ายและรวดเร็ว แต่จะอธิบายได้เฉพาะข้อมูลการกระจายของสีภายในภาพเท่านั้น ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้ในกรณีที่ภาพที่แตกต่างกันมีการกระจายของสีภายในภาพที่เหมือนกัน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับฮิสโตแกรมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะทางสีที่สามารถอธิบายสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของสีเดียวกันได้ ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของสี, ความเปรียบต่างและความสว่างของภาพ รวมถึงภาพที่อยู่ในสถานที่เดียวกันแต่ต่างมุมมอง และภาพที่มีการหมุน อีกทั้งยังสามารถใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพที่แตกต่างกันแต่มีการกระจายของสีภายในภาพหรือฮิสโตแกรมของสีที่เหมือนกันอีกด้วย สำหรับการอธิบายลักษณะของพื้นผิวของภาพ สามารถวิเคราะห์ได้จาก การกระจายของพลังงานในแต่ละแถบย่อยของภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ตซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากภายในภาพแต่ละภาพอาจประกอบด้วย วัตถุที่มีขนาดและ/หรือความเปรียบต่างที่แตกต่างกันออกไปอยู่รวมกัน โดยวัตถุที่มีขนาดใหญ่หรือความเปรียบต่างสูงจะมีพื้นผิวที่หยาบจึงสามารถนำมาวิเคราะห์ที่ระดับความละเอียดต่ำได้ ในขณะที่วัตถุที่มีขนาดเล็กหรือความเปรียบต่างต่ำจะมีพื้นผิวที่ละเอียดจึงต้องวิเคราะห์ที่ระดับความละเอียดสูง ดังนั้นการใช้การวิเคราะห์ภาพแบบหลายระดับความละเอียดจะทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพได้ง่ายขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ต

อย่างไรก็ตามเทคนิคการค้นคืนภาพแต่ละวิธีก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการค้นคืนภาพเฉพาะบางกลุ่มภาพเท่านั้น เนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างภาพแต่ละกลุ่มไม่เพียงพอ อีกทั้งภาพที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกันโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเฉพาะของภาพอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กัน หรือคล้ายคลึงกันมากกว่าลักษณะ

เฉพาะอื่น ๆ ซึ่งจะส่งผลให้การค้นคืนภาพนั้นล้มเหลวหรือไม่สามารถค้นคืนภาพที่ถูกต้องและตรงกับความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฐานข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ขึ้น โอกาสที่ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพจะมีความคล้ายคลึงกันก็มีมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอเทคนิคการค้นคืนภาพโดยใช้วิธีฮอโตคอรรีโลแกรมร่วมกับวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต โดยการถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละวิธี สำหรับการคำนวณฮอโตคอรรีโลแกรมจะกำหนดเซตของระยะห่างระหว่างจุดภาพ 2 จุดภาพใด ๆ (k) เท่ากับ $\{1, 3, 5\}$ และใช้การแปลงเวฟเล็ต 4 ระดับความละเอียดในการวิเคราะห์พื้นผิวของภาพ โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักวิธีฮอโตคอรรีโลแกรมเท่ากับ 0.8 และค่าถ่วงน้ำหนักวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตเท่ากับ 0.2 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพที่ดีขึ้นในหลายกลุ่มภาพ จึงทำให้สามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบฐานข้อมูลภาพทั่ว ๆ ไปได้ เช่น การจัดเก็บและค้นคืนภาพสินค้าต่าง ๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์หรือเครื่องตกแต่งบ้าน ในระบบขายสินค้าทางอินเทอร์เน็ต, ห้องสมุดดิจิทัลหรือพิพิธภัณฑ์ภาพศิลปะ, สถาปัตยกรรมและสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้สามารถนำไปศึกษาและประยุกต์ใช้ในระบบการค้นคืนภาพดิจิทัลและวีดิทัศน์ดิจิทัลได้ โดยการนำเทคนิคที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ในส่วนหนึ่งของเทคนิคการค้นคืนภาพ ซึ่งอาจจะสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ โดยการแยกส่วนวัตถุที่สนใจภายในภาพออกมาคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเพื่อสร้างดัชนีภาพจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล รวมทั้งการคำนวณเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามในกระบวนการค้นคืนภาพด้วย เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการค้นคืนภาพโดยส่วนใหญ่ ผู้ใช้มักจะต้องการภาพซึ่งมีวัตถุที่สนใจอยู่ในโดยไม่สนใจพื้นหลังของภาพ ดังนั้นการวิเคราะห์ภาพเฉพาะวัตถุที่สนใจภายในภาพจึงอาจทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ในฐานข้อมูลภาพส่วนใหญ่มักจะเก็บภาพซึ่งถูกบีบอัดตามมาตรฐานต่าง ๆ เช่น JPEG หรือ JPEG2000 ดังนั้นจึงอาจพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพโดยการวิเคราะห์ภาพในโดเมนการบีบอัด (compressed domain) สำหรับงานวิจัยในอนาคต

รายการอ้างอิง

1. Bob Fisher, Simon Perkins, Ashley Walker, and Erik Wolfart. Hypermedia Image Processing Reference [Online]. Department of Artificial Intelligence : University of Edinburgh UK, 1994. Available from:
http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/hipr_top.html [2004, March 30]
2. Alberto Del Bimbo. Visual Information Retrieval. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers, 1999.
3. Colin C. Venters and Matthew Cooper. A Review of Content-Based Image Retrieval System. Manchester Visualization Centre Manchester Computing, University of Manchester, 1982.
4. E. Saykol, U. Gudukbay, and O. Ulusoy. A Histogram-Based Approach for Object-Based Query-by-Shape-and-Color in Multimedia Databases. Bilkent University Computer Engineering Dept. Technical Report BU-CE-0201, January 17, 2002.
5. Gunhan Park, Yunju Baek, and Heung-Kyu Lee. A Ranking Algorithm Using Dynamic Clustering for Content-Based Image Retrieval. CIVR 2002 (July 18-19, 2002) : 328–337.
6. J.Huang. Color-Spatial Image Indexing And Applications. PhD's Thesis Cornell University , 1998.
7. J.Huang, S.Kumar, M. Mitra,W. Zhu, and R. Zabih. Image indexing using color correlogram, In Proc. IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition , San Juan, Puerto Rico, June 1997.
8. John M. Zachary and Sitharama S. Iyengar. Content Based Image Retrieval Systems, IEEE Trans. on Image Processing, (March 1999) : 136-143.
9. Juhua Shi, Mario A. Nascimento, and Tao Wang. Experimental Results Towards Content-Based Sub-Image Retrieval. International Conference on Information Technology: Coding and Computing, p.0230. Las Vegas, Nevada, April 8-10, 2002.
10. Michael S. Lew. Principles of Visual Information Retrieval. The Netherlands : Leiden Institute of Advanced Computer Science, Leiden University, 2001.

11. Ka-Man Wong, Chun-Ho Cheung, Tak-Shing Liu, and Lai-Man Po. Dominant Color Image Retrieval using Merged Histogram. IEEE (ISCAS) (June 2003) : 908-911.
12. J.R. Smith and S.F. Chang. Querying by Color Regions using the VisualSEEK Content-Based Visual Query System, Intelligent Multimedia Information, Retrieval, M.T Maybury, Ed. Menlo Park, CA: AAAI Press, 1996.
13. Minh N. Do and Martin Vetterli. Wavelet-based Texture Retrieval using Generalized Gaussian Density and Kullback-Leibler Distance, IEEE Trans. on Image Processing, December, 1999.
14. P. Skulsujirapa, S. Aramvith, and S. Siddhichai. Performance Analysis of Image Retrieval System Using Color Histogram and Color Correlogram. EECON-26th, 6-7 November, 2003, Cha-am, Thailand, pp.1087-1092.
15. Greg Pass, Ramin Zabih, and Justin Miller. Comparing Images Using Color Coherence Vectors. International Multimedia Conference archive Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia table of contents Boston, pp.65-73. Massachusetts : United States, 1997.
16. J. R. Smith and S.-F. Chang. Visually searching the Web for content. IEEE Trans. on Multimedia. 4, No.3 (July-Sept. 1997) : 12-20.
17. J. R. Smith and S.-F. Chang. VisualSEEK : a fully automated content--based image query system. In The Fourth ACM International Multimedia Conference and Exhibition, Boston, MA, USA, November 1996.
18. A. Pentland, W. Picard, and S. Sclaroff. Photobook: Content-based Manipulation of Image Databases. International Journal of Computer Vision, vol.18, (June 1996) : 233-254.
19. C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and J. Malik. Blobworld : Color- and Texture-Based Image Segmentation Using EM and Its Application to Image Querying and Classification. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 24, No. 8 (August 2002) : 1026-1038.
20. J. R. Smith, and S.-F. Chang. SaFe: A General Framework for Integrated Spatial and Feature Image Search. IEEE 1997 Workshop on Multimedia Signal Processing. 1997.

21. T. Chang, and C. Kuo. Texture analysis and classification with tree-structured wavelet transform. IEEE Trans. on Image Processing. 2, No.4 (October 1993) : 429-441.
22. A. Laine and J. Fan. Texture Classification by Wavelet Packet Signatures. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 15, No.11 (November 1993) : 1186-1191.
23. S. E. Umbaugh. Computer Vision and Image Processing : A Practical Approach Using CVIPtools. United States of America : Prentice-Hall International, 1998.
24. ณัฐนันท์ ทัดพิทักษ์กุล, กิตติ อัครถกิจมงคล และสราวุฒิ สุจิตจร. การบีบอัดภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบดีสครีท. วารสารวิชาการเนคเทค. 3, 11 (July-October 2001) : 89-97.
25. 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]
26. Kwok-Wah Hung and Aw-Yong M. A content-based image retrieval system integrating color, shape and spatial analysis. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2000. 2, 8-11 October, 2000, pp.1484-1488.
27. R. C. Gonzalez and R. E. Woods. Digital Image Processing. 2 nd ed. New Jersey, United States of America : Prentice Hall, 2001.
28. A.K. Jain and A. Vailaya. Image Retrieval using Color and Shape. Second Asian Conference on Computer Vision. 5-8 December, 1995, Singapore, pp.529-533.

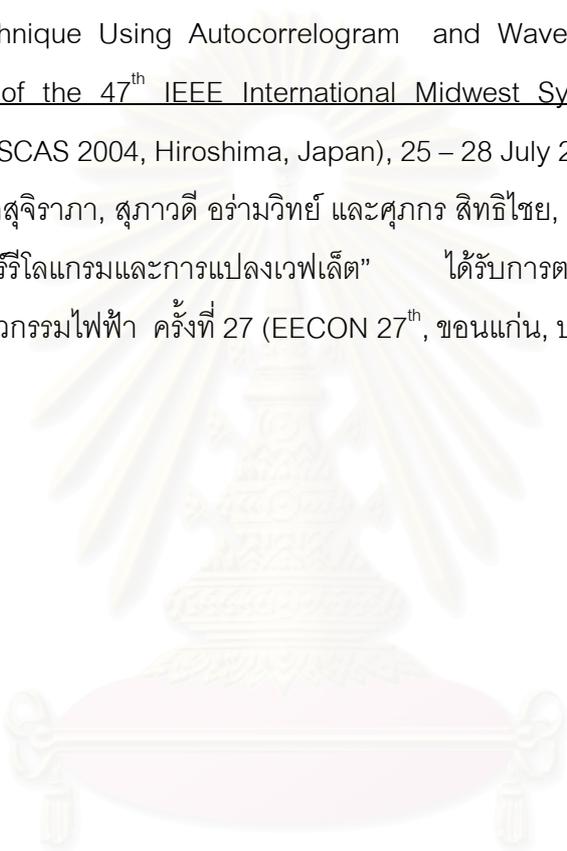


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

1. P. Skulsujirapa, S. Aramvith and S. Siddhichai, "Performance Analysis of Image Retrieval System Using Color Histogram and Color Correlogram", EECON-26th, 6-7 November, 2003, Cha-am, Thailand, pp.1087-1092.
2. P. Skulsujirapa, S. Aramvith and S. Siddhichai, "Development of Digital Image Retrieval Technique Using Autocorrelogram and Wavelet based texture" in the Proceedings of the 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuit and Systems (MWSCAS 2004, Hiroshima, Japan), 25 – 28 July 2004, pp. 273–276.
3. ภาสวรรณ สกุลสุจิราภา, สุภาวดี อร่ามวิทย์ และศุภกร สิทธิไชย, "เทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ฮิสโตแกรมสีและการแปลงเวฟเล็ต" ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27 (EECON 27th, ขอนแก่น, ประเทศไทย).



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Performance Analysis of Image Retrieval System Using Color Histogram and Color Correlogram

Passawan Skulsujirapa[†], Supavadee Aramvith[†], and Supakorn Siddhichai^{*}

[†]Digital Signal Processing Research Laboratory
Department of Electrical Engineering, Faculty of
Engineering
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
Tel: (66-2) 218-6909, Fax: (66-2) 218-6912
E-mail: supavadee.a@chula.ac.th

^{*} National Electronics and Computer Technology
Center (NECTEC)
Pathumthani 12120, Thailand
Tel: (66-2) 564-6900 ext. 2267, Fax: (66-2) 564-6873
E-mail: yai@nectec.or.th

Abstract

In this paper, we present performance analysis of two color features for image indexing and retrieval, namely color histogram and color correlogram. Color histogram is commonly used as feature vectors for images because it has low computational complexity. However, it captures only the distribution of color in image. Color correlogram is able to incorporate the spatial correlation of colors and is more tolerant than the color histogram method to large changes in appearance, color, contrast and brightness. We implement an image retrieval system using color histogram and autocorrelogram methods and use three different types of distance measure for feature comparison. Experimental results suggest that the correlogram approach offers much better performance than the color histogram in term of the tolerant to large changes in color, contrast and brightness. Results also suggest that S_1 distance measure is the most effective measure in terms of feature comparison.

Keywords: image retrieval, color histogram, color correlogram, autocorrelogram, query image, L_1 distance, D_1 distance S_1 distance

1. Introduction

Presently the requirement of multimedia information such as digital images and video rapidly increase. Image Retrieval plays a significant role in many application areas, such as education, entertainment, art history, digital library, diagnostic medical image databases, journalism data management and general consumer use.

There are several content-based image retrieval systems that have been developed and provide satisfactory retrieval performance such as MIT's Photobook, etc. [1]. In general, an image retrieval system consists of the followings:

- **Feature extraction and representation.** The three most common image features are color, texture, and shape. These features are properties of the image extracted with image processing techniques. However, a feature that is most suitable for each image category is different.

- **Image indexing.** Feature vectors of each image in the database are extracted and the essential properties of the image is computed and stored as index keys in a metadatabase.
- **Retrieval engine.** This step, user enters a query image. The system then analyses a query and extracts appropriate feature vector and searches the database. The searching process is done by computing the "similarity" between the feature vector and those of the candidate image stored in the database. The retrieved image are presented to the user in the descending order of similarity to the query.

In this paper, we present performance analysis of two color features for image indexing and retrieval, namely color histogram and color correlogram. We implement image retrieval system using color histogram and autocorrelogram methods and use three different types of distance measure for feature comparison. The organization of the paper is as follows. In section 2, we describe two color features for image indexing and retrieval, which are color histogram and color correlogram. Section 3 presents the implementations of color histogram and autocorrelogram methods with three distance measures, L_1 distance, D_1 distance and S_1 distance. Finally, conclusions are drawn in section 4.

2. Image Feature Extraction using Color Histogram and Color Correlogram

Color plays a vital role in image retrieval system. It is one of the most prominent perceptual features. Each color model performs differently. There are several color feature methods that have been employed, such as color histogram, CCVs, CCV-TEV, color correlogram, color set and SCCM. Their methods are summarized as follows:

- **Color histogram [2],[6],[7].** The color histogram is commonly used for image retrieval. It is obtained by quantizing colors in an image and counting how many pixels belong to each bin.
- **Color Coherence Vector (CCVs) [6].** CCVs are augments color histograms with spatial information.

- Disadvantage of this method is that it does not capture the shape of the connected component.
- **CCV-TEV [6].** CCV-TEV is augments CCVs with Threshold Edge Vector (TEV) that contain edge information.
 - **Color correlogram [4],[5].** Color correlogram is a table indexed by color pairs of an image. It contains the spatial correlation of colors and robustly tolerates large changes in appearance and shape.
 - **Color sets [2].** The color sets are binary masks on color histograms and they store the presence of colors as 1 without considering their amounts. Then, it reduce the complexity of computation.
 - **Spatial Color Component Matching of Images (SCCM) [3].** SCCM is a new method for comparing pairs of images based on color layout.

In this paper, we choose two color features, namely, color histogram and color correlogram for performance analysis of image indexing and retrieval.

2.1 Color histogram

The color histogram is one of the most important techniques in image retrieval. It is an efficient to compute and effective in retrieval results. In order to compute the color histogram of an image, the color model of the images must be quantized into n colors to reduce complexity of computation, as shown in eq. (1).

$$H(M) = \langle h_1, h_2, \dots, h_n \rangle \quad (1)$$

The vector $H(M)$ is the n -dimensional feature vector representation of the color histogram for image M where h_j is the number of pixels of color j divided by total number of pixels in M for using arbitrary sized images

We describe how to compare two color histograms, $H_1 = H(M_1)$ and $H_2 = H(M_2)$ in section 2.3

The computational complexity of the color histogram method is directly related to the dimension of the feature vector and the number of images in database.

Color histogram does not provide spatial information of the content in an image as it captures only the distribution of color in image. Thus, shape, texture and other image information are lost. Furthermore, color histogram is sensitive to changes in brightness, contrast, and compression artifacts. It is suitable for retrieving images based on overall color impression.

2.2 Color correlogram

Color correlogram is a new color feature for image indexing and retrieval. The highlights of color correlogram are as follows [5]:

- It represents the spatial correlation of pair of colors that changes with distance.
- It can be used to describe the global distribution of local spatial correlation of colors.

- It robustly tolerates large changes in appearance and shape caused by changes in viewing positions, camera zoom, etc.
- It is easy to compute.
- The size of the feature is fairly small.

A color correlogram of an image is a table indexed by color pairs, where the k -th entry for (i,j) specifies the probability of finding a pixel of color j at a distance k from a pixel of color i in the image.

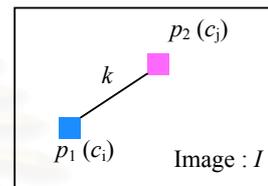


Fig.1 color correlogram for p_1 and p_2 at distance k

The concept of color correlogram is illustrated in fig. 1. In the image I , pick any pixel p_1 of color c_i and another pixel p_2 at distance k away from p_1 , what is the probability that p_2 is of color c_j ?

Let I be an $m \times n$ image. The colors in I are quantized into m colors c_1, \dots, c_m . For pixels $p_1 = (x_1, y_1)$ and $p_2 = (x_2, y_2)$, we use the L_∞ -norm to measure the distance between pixels (k) as in eq. (2).

$$\|p_1 - p_2\|_\infty = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\} \quad (2)$$

Let $p_1 \in I_{c_i}, p_2 \in I$, the color correlogram of I is defined for $i, j \in [m], k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$ as in eq. (3).

$$\gamma_{c_i, c_j}^{(k)} \equiv \Pr[p_2 \in I_{c_j} \mid \|p_1 - p_2\|_\infty = k] \quad (3)$$

The autocorrelogram of image I captures spatial correlation between identical colors only and is defined by eq. (4).

$$\alpha_c^{(k)}(I) \equiv \gamma_{c,c}^{(k)}(I) \quad (4)$$

The computation complexity of the autocorrelogram method is directly related to the pixel distance selection (k).

One advantage of color correlogram, if compared to color histogram, can be illustrated in the following example. Two sample images in fig. 2 have the same color histograms. Thus, it is difficult to distinguish these two images using histogram.

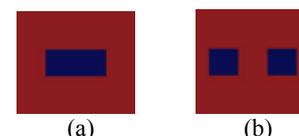


Figure 2. Sample images: (a) image1. (b) image2.

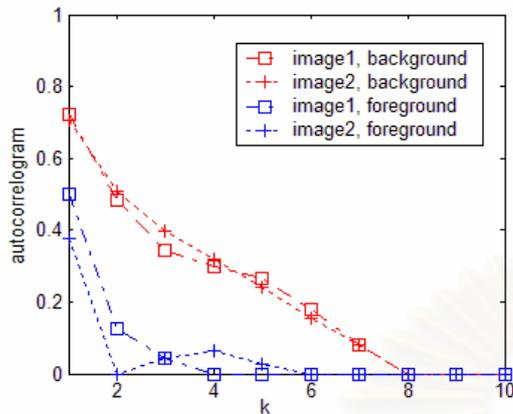


Figure 3. Comparison of Autocorrelograms for image1 and image2 from figure 2.

From fig. 3, the change of autocorrelograms of both color with distance is different for these images so that we can distinguish between these two images using autocorrelation.

2.3 Distance computation

Given two images, the difference between the two features measures the similarity of these two images. The features are often treated as vectors, so the difference turns to be the distance between these two vectors. We used three distance measures [8]: L_1 , D_1 and S_1 . All the distance measures are defined as follows.

2.3.1 L_1 Distance Measure

The color histogram L_1 distance is the sum of color histogram differences between two images, as shown in eq. (5).

$$|I - I'|_{h, L_1} = \sum_{i \in [m]} |h_{C_i}(I) - h_{C_i}(I')| \quad (5)$$

The autocorrelogram L_1 distance is the sum of autocorrelogram differences between two images, color-by-color, as shown in eq. (6).

$$|I - I'|_{\gamma, L_1} = \sum_{i \in [m], k \in [d]} |\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) - \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')| \quad (6)$$

2.3.2 D_1 Distance Measure

The color histogram D_1 distance is the sum of normalized color histogram difference between two images as shown in eq. (7).

$$|I - I'|_{h, D_1} = \sum_{i \in [m]} \frac{|h_{C_i}(I) - h_{C_i}(I')|}{1 + h_{C_i}(I) + h_{C_i}(I')} \quad (7)$$

The autocorrelogram D_1 distance is the sum of normalized autocorrelogram difference between two images, as shown in eq. (8).

$$|I - I'|_{\gamma, D_1} = \sum_{i \in [m], k \in [d]} \frac{|\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) - \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')|}{1 + \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I) + \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I')} \quad (8)$$

2.3.3 S_1 Distance Measure

The formula to compute color histogram S_1 distance is shown, as in eq. (9):

$$|I - I'|_{h, S_1} = 1 - \frac{1}{m} * \sum_{i \in [m]} \frac{\min(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I'))}{\max(h_{C_i}(I), h_{C_i}(I'))} \quad (9)$$

The formula to compute autocorrelogram S_1 distance is shown, as in eq. (10):

$$|I - I'|_{\gamma, S_1} = 1 - \frac{1}{m} * \sum_{i \in [m], k \in [d]} \frac{\min(\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I), \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I'))}{\max(\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I), \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I'))} \quad (10)$$

3. Experimental Results

In the experiment, we use 1000 color images for our test database which consist of different categories (butterfly, flower, video frame, human and mountain). We first de-quantize the images into 64 colors and compute color histogram and autocorrelogram of each image.

In autocorrelogram method, we choose distance $k = 1, 3, 5, 7, 9$ and use D_8 distance (also called chessboard distance) between pixels $p_1 = (x_1, y_1)$ and $p_2 = (x_2, y_2)$ that is defined as eq. (11).

$$D_8(p_1, p_2) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (11)$$

Experimental results are shown and discussed in four categories to demonstrate the effectiveness of both schemes.

3.1 Query with the target image using histogram and autocorrelogram with L_1 , D_1 , and S_1 distance measures



(a)

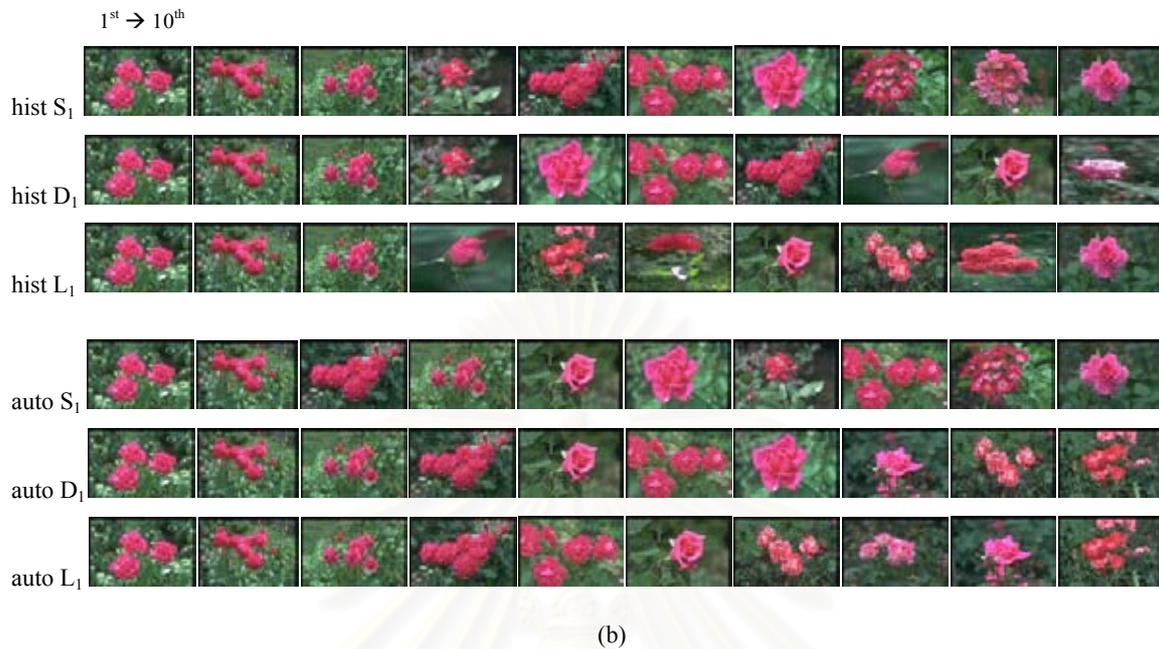


Fig.4 (a) Query image (b) Results of both methods

The similarity image to the query image decreased from left to right. Both methods have good performance in this case. The target image is in rank 1st of results of both methods.

3.2 Query with the target image with different contrast



| Query Image 1 | Query Image 2 |
|--------------------------------|--------------------------------|
| hist S_1 : 44 th | hist S_1 : 414 th |
| hist D_1 : 969 th | hist D_1 : 979 th |
| hist L_1 : 282 nd | hist L_1 : 616 th |
| auto S_1 : 39 th | auto S_1 : 3 rd |
| auto D_1 : 984 th | auto D_1 : 945 th |
| auto L_1 : 971 st | auto L_1 : 898 th |

Fig.5 (a) Target image (b) Query images and result of both methods with ranks (Lower ranks are better)

In this experiment, the target image is in the database. We then changed the levels of contrast to get

the two query images: a low contrast query image 1, and a high contrast query image 2. From the results, the autocorrelogram with S_1 distance measure yields the satisfactory results of both query images. Thus, the results suggest that the autocorrelogram method with S_1 distance measure is more stable to contrast change than other methods.

3.3 Query with the target image with different levels of brightness



| Query Image 1 | Query Image 2 |
|--------------------------------|--------------------------------|
| hist S_1 : 82 nd | hist S_1 : 22 nd |
| hist D_1 : 987 th | hist D_1 : 960 th |
| hist L_1 : 401 st | hist L_1 : 515 th |
| auto S_1 : 3 rd | auto S_1 : 12 nd |
| auto D_1 : 666 th | auto D_1 : 816 th |
| auto L_1 : 576 th | auto L_1 : 754 th |

Fig.6 (a) Target image (b) Query images and result of both methods with ranks (Lower ranks are better)

In this experiment, the target image is in the database. We then changed the levels of brightness to get the two query images: a darkened query image 1, and a brightened query image 2. From the results, the autocorrelogram with S_1 distance measure yields the satisfactory results of both query images. Thus, the results suggest that the autocorrelogram method with S_1 distance measure is more stable to brightness change than other methods.

3.4 Query with the same target image with the change of color in the background

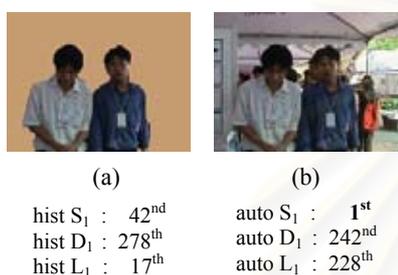


Fig.7 Result of both methods with ranks (Lower ranks are better) (a) Query image (b) Target image

In this experiment, the target image is in the database. We then changed the background color to orange, and use this as a query image. From the results, the autocorrelogram with S_1 distance measure yields the first rank of a query image. Thus, the results suggest that the autocorrelogram with S_1 distance measure is more stable to color change than other methods.

From the experimental results in four categories, we can draw several concluded statements regarding the retrieval performance of histogram and autocorrelogram with three different distance measures, as mentioned before. When there are few dominant colors in the image, the histogram method performs as good as using the autocorrelogram method. However, the autocorrelogram method outperforms the histogram method when query images have different levels of contrast, brightness, and has background color changes, especially when using S_1 distance measure. These results suggest that autocorrelogram method is robust to contrast, brightness, and has background color changes. The results also suggest that the S_1 distance measure is the most effective measure in terms of feature comparison.

4. Conclusions

Two different color features for image indexing and retrieval were presented, namely color histogram and color correlogram. From experimental results, the autocorrelogram method is more tolerant than the color histogram method to large changes in color, contrast

and brightness. The results suggest that the S_1 distance measure is most effective in terms of feature comparison in both methods.

5. Acknowledgements

This research is supported by Thailand Graduate Institute of Science and Technology (TGIST), National Science and Technology Development Agency (NSTDA).

References

- [1] Colin C. Venters and Dr. Matthew Cooper, "A Review of Content-Based Image Retrieval System", *Manchester Visualization Centre Manchester Computing*, University of Manchester.
- [2] Ediz Şaykol, Uğur Güdükbay and Özgür Ulusoy, "A Histogram-Based Approach for Object-Based Query-by-Shape-and-Color in Multimedia Databases", *Department of Computer Engineering*, Bilkent University, January 17, 2002.
- [3] J.Hu, and E. Hadjidemetriou, "Spatial Color components Matching of Images," *Technical Report, Avaya Labs*, November 2001.
- [4] J.Huang, "Color-Spatial Image Indexing And Applications", PhD thesis. Cornell University, 1998.
- [5] J. Huang, S. Kumar, M. Mitra, W. Zhu, and R. Zabih, "Image indexing using color correlogram", *In Proc. IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition*, San Juan, Puerto Rico, June 1997.
- [6] John M. Zachary and Sitharama S. Iyengar, "Content Based Image Retrieval Systems", Louisiana State University.
- [7] John.R. Smith and S.F. Chang, "Single Color Extraction and Image Query", *Proc. IEEE Intl. Conf. Image Proc (ICIP-95)*, October 1995.
- [8] Juhua Shi, Mario A. Nascimento and Tao Wang, "Experimental Results Towards Content-Based Sub-Image Retrieval", *Department of Computing Science University of Alberta, Canada*.



Passawan Skulsujirapa received the B.Eng. degree in electrical engineering from Prince of Songkhla University, Songkhla, Thailand, in 2002. She is currently working toward the M.Eng. degree at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. Her research

interests is in the field of image and video retrieval system.



Supavadee Aramvith received the B.S. (first class honors) degree in computer science from Mahidol University, Bangkok, Thailand, in 1993. She received the M.S. and Ph.D. degrees in electrical

engineering from the University of Washington, Seattle, USA, in 1996 and 2001, respectively. She is currently with Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. Her research interests include image processing, rate-control, low bit-rate video coding, video transmission over wireless and heterogeneous networks, and development of multimedia communication applications such as video conferencing system and E-learning based courseware.



Supakorn Siddhichai is a research scientist at NECTEC. His main research focus is on Image Retrieval, Image Restoration, and Digital Image Processing techniques in general. He completed studies in UK where he obtained BEng (Hons) in Computing (1996) and Ph.D. in

Digital Image Processing (2000) from Imperial College of Science, Technology, and Medicine in London and MSc in Remote Sensing and Image Processing (1997) from University of Dundee.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Development of Digital Image Retrieval Technique Using Autocorrelogram and Wavelet based texture

Passawan Skulsujirapa[†], Supavadee Aramvith[†], and Supakorn Siddhichai^{*}

[†]Digital Signal Processing Research Laboratory
Department of Electrical Engineering, Faculty of
Engineering
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
Tel: (66-2) 218-6909, Fax: (66-2) 218-6912
E-mail: supavadee.a@chula.ac.th

^{*} National Electronics and Computer Technology
Center (NECTEC)
Thailand Science Park, Pathumthani 12120
Tel: (66-2) 564-6900 ext. 2267, Fax: (66-2) 564-6873
E-mail: yai@nectec.or.th

Abstract

In this paper, we present the development of a digital image retrieval technique using autocorrelogram and wavelet based texture feature. Autocorrelogram is a color feature that is able to incorporate the spatial correlation of alike color and is tolerant to large changes in appearance, color, contrast, and brightness. A wavelet transform is used to analyze the textures that are characterized by their energy distribution in each sub-band. We propose an integration of the autocorrelogram and wavelet based texture to improve performance of the image retrieval system. Experimental results suggest that the proposed integration offers much better performance than using the features separately.

Keywords: Autocorrelogram, texture, wavelet transform, S_1 distance, ANMRR.

1. Introduction

Presently the demand of multimedia information such as digital images and video rapidly increase. Image Retrieval plays a vital role in many application areas, such as education, entertainment, art history, digital library, diagnostic medical image databases, journalism data management and general consumer use.

There are several content based image retrieval systems that have been developed and provide satisfactory retrieval performance such as WebSEEK, QBIC, MIT's Photobook, etc. [1]. In general, an image retrieval system consists of the followings:

- **Feature extraction and representation.** The three most common low level image features are color, texture, and shape. These features are properties of the image extracted with image processing techniques. However, a feature that is most suitable for each image category is different.
- **Image indexing.** Feature vectors of each image in the database are extracted and the essential properties of the image is computed and stored as index keys in a meta database.
- **Image Retrieval.** This step, user enters a query image. The system then analyses the query and extracts appropriate feature vector and searches the

database. The searching process is done by computing a "similarity" between the feature vector and those of the candidate image stored in the database. The retrieved images are presented to the user in the descending order of similarity.

In this paper, we present the development of digital image retrieval technique using autocorrelogram and wavelet based texture feature. We implement an image retrieval system using three approaches which are autocorrelogram, wavelet based texture and an integration of the autocorrelogram and wavelet based texture. S_1 distance measure is used for feature vector comparison. The organization of the paper is as follows. In Section 2, we describe two features for image indexing and retrieval, which are autocorrelogram and wavelet based texture feature. Section 3 presents the implementations of each method with S_1 distance. We then evaluate the performance of each image retrieval approach in Section 4. Finally, conclusions are drawn in Section 5.

2. Image feature extraction using autocorrelogram and wavelet transform

Color plays a vital role in image retrieval system. It is one of the most prominent perceptual features of images. Each color model performs differently. There are several color feature methods that have been employed, such as color histogram, color set, CCVs and color correlogram. These methods are summarized as follows:

- **Color histogram [2],[6],[7].** The color histogram is commonly used for image retrieval. It is obtained by quantizing colors in an image and counting how each quantized frequently color occurs.
- **Color sets [2].** The color sets are binary masks on color histograms and they store the presence of colors as 1 without considering their amounts. Then, it reduces the complexity of computation.
- **Color Coherence Vector (CCVs) [6].** CCVs are augments color histograms with spatial information.
- **Color correlogram [4],[5].** Color correlogram is a table indexed by color pairs of an image. It contains the spatial correlation of colors and robustly tolerates large changes in appearance and shape.

Texture is an important characteristic for image indexing and retrieval. There is significant variation in intensity levels between nearby pixels within a texture. Texture is a homogeneous property at some spatial scale larger than the resolution of the image [3]. Periodicity, coarseness and degree of complexity are some of the most perceptually salient attributes of a texture. The three primary approaches for texture representation are statistical, structural and spectral approach. Wavelet transform is one of most recently popular method for texture description and classification.

In this paper, we choose two features, namely, autocorrelogram and wavelet based texture to improve performance of the image retrieval system.

2.1 Autocorrelogram

Color correlogram is a new color feature for image indexing and retrieval. The highlights of color correlogram are as follows [5]:

- It represents the spatial correlation of pair of colors that changes with distance.
- It robustly tolerates large changes in appearance and shape caused by changes in viewing positions, camera zoom, etc.
- It is easy to compute.
- The size of the feature is fairly small.

A color correlogram of an image is a table indexed by color pairs, where the k -th entry for (i, j) specifies the probability of finding a pixel of color j at a distance k from a pixel of color i in the image.

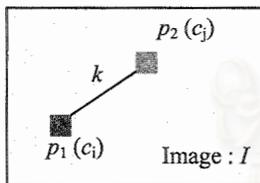


Fig.1 The concept of color correlogram

The concept of color correlogram is illustrated in Fig. 1. In the image I , pick any pixel p_1 of color c_1 and another pixel p_2 at distance k away from p_1 , what is the probability that p_2 is of color c_j ?

Let I be an $n_1 \times n_2$ image. The colors in I are quantized into m colors c_1, \dots, c_m . For pixels $p_1 = (x_1, y_1)$ and $p_2 = (x_2, y_2)$, we use the L_∞ -norm to measure the distance between pixels (k) as in Eq. (1).

$$\|p_1 - p_2\| = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\} \quad (1)$$

Let $p_1 \in I_{c_i}, p_2 \in I$, the color correlogram of I is defined for $i, j \in [m], k \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$ as in Eq. (2).

$$\gamma_{c_i, c_j}^{(k)} \equiv \Pr[p_2 \in I_{c_j} \mid \|p_1 - p_2\| = k] \quad (2)$$

Autocorrelogram is a subset of the color correlogram. It captures spatial correlation between identical colors only and is defined by Eq. (3).

$$\gamma_{c_i, c_i}^{(k)} \equiv \Pr[p_2 \in I_{c_i} \mid \|p_1 - p_2\| = k] \quad (3)$$

The computation complexity of the autocorrelogram method is directly related to the pixel distance selection (k).

2.2 Wavelet transform

Since a single image may contain different textures at varying scales, wavelet transform can be used to analyze and describe textures of the image with multiresolution. We consider that a texture is characterized by the energy of its wavelet coefficients in each subband of the decomposition.

Let an image I be decomposed into K subbands and $E(I)$ is a feature vector representing the texture characteristics of the image I that is defined by Eq. (4).

$$E(I) = (E_0, E_1, \dots, E_{K-1}) \quad (4)$$

Then the energy in the i -th subband and total energy are defined by Eq. (5) and Eq. (6), respectively,

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{K_i} x_{i,j}^2}{E_{Total}} \quad (5)$$

$$E_{Total} = \sum_{i=0}^{K-1} E_i \quad (6)$$

, where $x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,K_i}$ are the wavelet coefficients in the i -th subband and K_i is the number of the wavelet coefficients in the i -th subband.

For the number of decomposition levels, the size of the smallest subimages should not be less than 16×16 so the estimated energy values would be robust [8].

2.3 Feature vector comparison

Given two images, the difference between the two features measures the similarity of these two images. The features are often treated as vectors, so the difference becomes the distance between the two vectors. We used S_1 distance as a reference measure. It is defined as follows.

S_1 Distance measure

The formula to compute autocorrelogram S_1 distance [9] is shown, as in Eq. (7).

$$\|I - I'\|_{\gamma, S_1} = 1 - \frac{1}{m} \sum_{i \in [m], j \in [m]} \frac{\min(\gamma_{c_i, c_j}^{(k)}(I), \gamma_{c_i, c_j}^{(k)}(I'))}{\max(\gamma_{c_i, c_j}^{(k)}(I), \gamma_{c_i, c_j}^{(k)}(I'))} \quad (7)$$

The formula to compute S_1 distance for texture feature is shown, as in Eq. (8).

$$|I - I'|_{E, S_1} = 1 - \frac{1}{K} * \sum_{i=0}^{K-1} \frac{\min(E_i(I), E_i(I'))}{\max(E_i(I), E_i(I'))} \quad (8)$$

From the experimental results in [11], S_1 distance measure is the most effective measure in terms of feature comparison.

2.4 Feature integration

There is no single best feature that gives accurate results in any general setting. Using a single image feature may lack sufficient discriminatory information to retrieve relevant images.

In order to integrate multiple features, each feature distance is combined to form the overall distance value as in Eq. (9),

$$S_1 = \sum_{i=1}^n w_i S_1(i) \quad (9)$$

,where w_i is a weighted value which has range $0 \leq w_i \leq 1$ and $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

3. Performance measurement

The retrieval performance is evaluated by utilizing a kind of ranking measure, ANMRR (Average Normalized Modified Retrieval Rank) that is defined by MPEG-7 research group. This value is defined as follows [10].

First, we denote $NG(q)$ as the number of the ground truth images for a query q , $R(k)$ is rank of an image k in retrieval results and $K(q) = \min(4 * NG(q), 2 * GTM)$, where $GTM = \max\{NG(q)\}$ for all q 's. Rank (k) is defined as Eq. (10).

$$R_{rank}(k) = \begin{cases} R(k) & , \text{if } R(k) \leq K(q) \\ (K+1) & , \text{if } R(k) > K(q) \end{cases} \quad (10)$$

AVR (Average Rank) for query q is defined as Eq.(11)

$$AVR(q) = \sum_{k=1}^{NG(q)} \frac{R_{rank}(k)}{NG(q)} \quad (11)$$

MRR (Modified Retrieval Rank) is defined in Eq.(12). This minimizes the influence of variations in $NG(q)$.

$$MRR(q) = AVR(q) - 0.5 - \frac{NG(q)}{2} \quad (12)$$

Normalized Modified Retrieval Rank (NMRR) is defined as in Eq. (13).

$$NMRR(q) = \frac{MRR(q)}{K + 0.5 - 0.5 * NG(q)} \quad (13)$$

$NMRR(q)$ value ranges between 0 (perfect retrieval) and 1 (nothing found). $ANMRR$ can then be computed as in Eq. (14).

$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q NMRR(q) \quad (14)$$

Note that the lower the $ANMRR$ value, the better the performance of the retrieval system.

4. Experimental results

In the experiment, we use 1000 color images for our test database which consist of 10 different categories (human, beach, building, bus, dinosaur, elephant, space, sunset, flower and butterfly).

In autocorrelation method, images are de-quantized into 64 colors and distances, $k = 1, 3, 5, 7, 9$, are used.

In wavelet based texture method, images are decomposed into 10 subbands (3 levels).

In the integrated features method, we use equally weighted values of 0.5 which offer the best performance as can be observed from the experimental results.

The evaluation of the retrieval performance is achieved by utilizing the ANMRR. Our query set consists of 10 queries (1% of the number of images in the database).

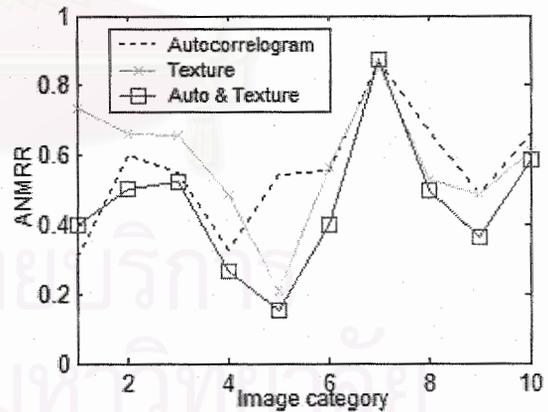


Fig. 2 ANMRR results for each method

From Fig.2, the combination of autocorrelation and wavelet based texture method has the lowest ANMRR values for most of image categories. Thus, the results suggest that the combination of autocorrelation and

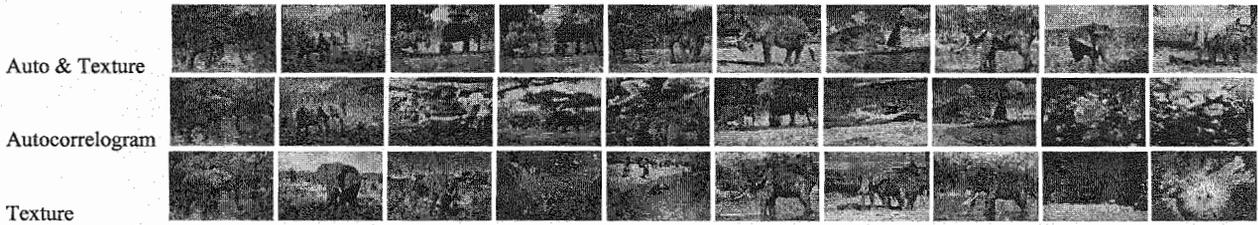


Fig. 3 Retrieval results of elephant images

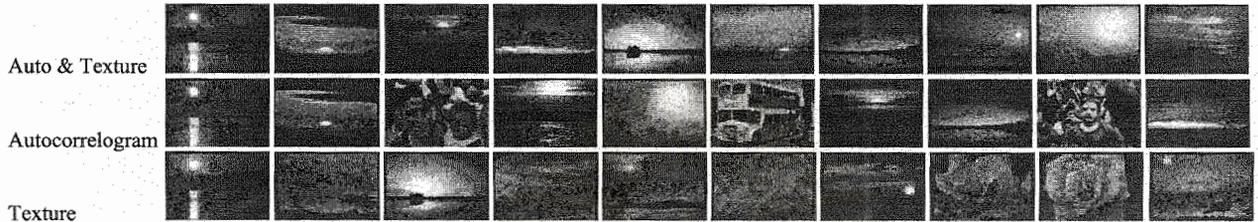


Fig. 4 Retrieval results of sunset images

wavelet based texture approach offers much better performance than autocorrelogram approach and wavelet based texture approach.

Fig.3 and Fig.4 demonstrate retrieval results for some query images of elephant and sunset scenes. The leftmost images are query images and retrieved images are ranked from second left (being most similar to the query) to the right (less similar to the query).

From experimental results, it has been observed that wavelet based texture method are effective in retrieving texture patterns but are problematic with non-homogeneous regions in natural scenes. Integration of both color and texture features allows us to strike the right balance and improve on the retrieval performance.

5. Conclusions

Two image features for image indexing and retrieval were presented, namely autocorrelogram and wavelet based texture. We proposed an integration of the autocorrelogram and wavelet based texture approach. Experimental results suggest that the combination of autocorrelogram and wavelet based texture approach offers much better performance than single feature approaches. It can be concluded that image retrieval using the multiple features can achieve better retrieval accuracy than using the single feature separately.

6. Acknowledgements

This research is supported by Thailand Graduate Institute of Science and Technology (TGIST), National Science and Technology Development Agency (NSTDA).

References

[1] Colin C. Venters and Dr. Matthew Cooper, "A Review of Content-Based Image Retrieval System",

Manchester Visualization Centre Manchester Computing, University of Manchester.

- [2] Ediz Şaykol, Uğur Güdükbay and Özgür Ulusoy, "A Histogram-Based Approach for Object-Based Query by Shape and Color in Multimedia Databases", *Department of Computer Engineering*, Bilkent University, January 17, 2002.
- [3] Michael S. Lew (Ed.), "Principles of Visual Information Retrieval", Leiden Institute of Advanced Computer Science, Leiden University, The Netherlands.
- [4] J.Huang, "Color-Spatial Image Indexing And Applications", PhD thesis, Cornell University, 1998.
- [5] J. Huang, S. Kumar, M. Mitra, W. Zhu and R. Zabih "Image indexing using color correlogram", *In Proc. IEEE Conf. On Computer Vision and Pattern Recognition*, San Juan, Puerto Rico, June 1997.
- [6] John M. Zachary and Sitharama S. Iyengar, "Content Based Image Retrieval Systems", Louisiana State University.
- [7] John R. Smith and S.F. Chang, "Single Color Extraction and Image Query", *Proc. IEEE Intl. Conf. Image Proc (ICIP-95)*, October 1995.
- [8] Minh N. Do and M.Vetterli, "Wavelet-based Texture Retrieval using Generalized Gaussian Density and Kullback-Leibler Distance", *IEEE Trans. On Image Processing*, December, 1999.
- [9] Juhua Shi, Mario A. Nascimento and Tao Wang, "Experimental Results Towards Content-Based Sub-Image Retrieval", *Department of Computing Science University of Alberta*, Canada.
- [10] Gunhan Park, Yunju Baek and Heung-Kyu Lee, "A Ranking Algorithm Using Dynamic Clustering for Content-Based Image Retrieval", *CIVR 2002, LNCS 2383*, pp.328-337.
- [11] P. Skulsujirapa, S. Aramvith and S. Siddhichai, "Performance Analysis of Image Retrieval System Using Color Histogram and Color Correlogram", *EECON-26, Cha-am, Thailand*, 6-7 November 2003, pp.1087-1092.

เทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ออโตคอร์รีโลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต

Digital Image Retrieval Technique Using Autocorrelogram and Wavelet Transform

ศาสตราจารย์ ดร.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 2267 โทรสาร : 0-2564-6873

E-mail: yai@nectec.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิคการค้นคืนภาพดิจิทัลโดยใช้ออโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต โดยออโตคอร์รีโลแกรมเป็นลักษณะเฉพาะทางสี ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของสีเดียวกันได้ ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงไปของสี, คอนทราสต์และความสว่างของภาพได้ดี ส่วนพื้นผิวของภาพสามารถวิเคราะห์ได้จาก การกระจายของพลังงานในแต่ละแถบย่อยของภาพที่ได้จากการแปลงเวฟเล็ต ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการใช้เทคนิคทั้งสองวิธีนี้ร่วมกันจะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน

คำสำคัญ ออโตคอร์รีโลแกรม, การแปลงเวฟเล็ต, ระยะทาง

Abstract

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ข้อมูลคือประสม เช่น ภาพดิจิทัลและวีดิทัศน์ดิจิทัล เริ่มมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย จึงส่งผลกระทบต่อข้อมูลคือประสมมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการค้นคืน

ข้อมูลภาพที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับผู้ใช้

ระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ

ที่ได้รับการพัฒนาขึ้น ได้แก่ ระบบ

และเป็นต้น ซึ่งโครงสร้างของระบบโดยส่วน

ใหญ่ประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก ๆ คือ

- การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Feature extraction)

สามารถทำได้โดยอาศัยกรรมวิธีประมวลผลภาพ โดยลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ ประกอบด้วย สี รูปร่างและพื้นผิว ซึ่งลักษณะเฉพาะของภาพที่เหมาะสมในการค้นคืนภาพแต่ละภาพจะแตกต่างกันออกไป

- การสร้างดัชนีภาพ (Image indexing) คือ การดึงเอา

เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพในฐานข้อมูลออกมาและจัดเก็บไว้

- การค้นคืนภาพ (Image retrieval) เริ่มต้นจากการเลือก

ภาพคิวรี (ของผู้ใช้) จากนั้นระบบจึงทำการดึงเอาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพคิวรีออกมา และนำไปเปรียบเทียบกับภาพในฐานข้อมูล เพื่อค้นคืนภาพที่มีลักษณะคล้ายกับภาพคิวรีมากที่สุดออกมา

ในบทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคการค้นคืนภาพ โดยใช้ออโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพ ซึ่งได้ทำการทดลองและเปรียบเทียบผลที่ได้กับการค้นคืนภาพด้วยแต่ละวิธีแยกกัน โดยใช้ระยะทาง สำหรับการเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ และวัดประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพด้วยค่า

2. การแยกลักษณะเฉพาะของภาพโดยใช้ออโตคอร์รีโลแกรมและการแปลงเวฟเล็ต

สีเป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะที่โดดเด่นและเป็นสิ่งแรกที่สังเกตเห็นได้จากการมองภาพ ลักษณะเฉพาะทางสีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ฮิสโตแกรมของสี

ออโตคอร์รีโลแกรมของสีและออโตคอร์รีโลแกรม โดยใน

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีออดคอรรีโลแกรม เนื่องจากเป็นวิธีที่มีทั้งข้อมูลของสีและข้อมูลเชิงพื้นที่ของภาพ

พื้นผิว (เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่มีความสำคัญในการทำดัชนีและค้นคืนภาพ พื้นผิวของภาพ คือ บริเวณซึ่งประกอบด้วยรูปร่างที่มีความเข้มของสีเท่ากัน ในลักษณะที่ซ้ำกันเป็นช่วงหรือแบบสุ่ม ภายในพื้นผิวจะมีการแปรผันของระดับความเข้มสีที่มีนัยสำคัญระหว่างจุดภาพที่อยู่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแต่ละพื้นผิวของภาพจะมีคุณสมบัติเป็นเอกพันธ์ () ในบางสเกลเชิงพื้นที่ที่ใหญ่กว่าความละเอียดของภาพนั้น การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ การวิเคราะห์ทางสถิติ การวิเคราะห์โครงสร้างและการวิเคราะห์ทางความถี่ โดยวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การแปลงเวฟเล็ต ซึ่งเป็นการแปลงที่สามารถวิเคราะห์สัญญาณเฉพาะช่วงความถี่และระดับความละเอียดที่สนใจได้

2.1 ออโตคอรรีโลแกรม

ออโตคอรรีโลแกรม คือ กราฟหรือตารางที่แสดงสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของคู่สีที่เหมือนกันกับระยะห่างระหว่างคู่สีนั้น ซึ่งเป็นเซตย่อยของคอรรีโลแกรมของสี

ลักษณะเด่นของคอรรีโลแกรมของสี คือ

สามารถอธิบายสหสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างคู่สีต่างๆ ภายในภาพ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามระยะห่างระหว่างจุดภาพของคู่สีนั้นๆ

คำนวณได้ง่ายและขนาดของเวกเตอร์ค่อนข้างเล็ก

ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะวัตถุภายในภาพ

ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งในการมอง, ภาพที่มีการหมุนจากกล้อง, ภาพที่มีสี, ความสว่างและคอนทราสต์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

กำหนดให้ I คือ ภาพขนาด $n \times n$ จุดภาพ ซึ่งถูกควอนไทซ์สีออกเป็น m สี โดยมีเซตของสีเป็น $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ คือ เซตของจุดภาพที่มีสี C_p คือ จุดภาพที่มีสี C และ $k \in C$ โดยที่ระยะห่างระหว่างจุดภาพ $p(x, y)$ และ $q(x', y')$ คำนวณได้จากสมการที่

$$|p_1 - p_2| = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$$

ดังนั้นจะได้ออโตคอรรีโลแกรม สำหรับ $i, j \in m$ ดังสมการที่ ()

$$\gamma_{c_i c_j}^k = \frac{1}{n^2} \sum_{p \in I_{c_i}} \sum_{q \in I_{c_j}} \delta(p - q - k)$$

2.2 การแปลงเวฟเล็ต

ภาพแต่ละภาพ อาจประกอบด้วยวัตถุซึ่งมีพื้นผิวที่มีสเกลแตกต่างกันหลายพื้นผิว ดังนั้นระดับความละเอียดที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวแต่ละส่วนจึงแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ภาพแบบหลาย

ระดับความละเอียด (ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยการแปลงเวฟเล็ต และใช้การกระจายพลังงาน (ของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแต่ละแถบย่อย มาอธิบายลักษณะของพื้นผิวของภาพ

กำหนดให้ภาพ I ถูกกระจายออกเป็น K แถบย่อย ดังนั้นจะได้เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายลักษณะของพื้นผิวของภาพ I ดังสมการที่ (

$$E_i = [E_{i1}, E_{i2}, \dots, E_{iK}]^T \quad (1)$$

โดยพลังงานของแต่ละแถบย่อย และพลังงานรวมของแถบย่อยทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (และ () ตามลำดับ

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{K_i} x_{ij}}{E_{Total}}$$

$$E_{Total} = \sum_{i=1}^{K-1} E_i$$

โดยที่ $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iK_i}]$ คือ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแถบย่อยที่ i และ K คือ จำนวนสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในแถบย่อยที่ i

สำหรับจำนวนระดับความละเอียดที่ใช้ในการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับขนาดของแถบย่อยที่เล็กที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัยพบว่า แถบย่อยที่เล็กที่สุดควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 16 จุดภาพ จึงจะทำให้การวิเคราะห์ภาพด้วยค่าพลังงานมีความทนทานมากที่สุด

3. การเปรียบเทียบเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ ทำได้โดยการคำนวณระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพทั้งสอง ซึ่งความแตกต่างระหว่างภาพทั้งสองนี้จะแปรตามระยะทางระหว่างเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ

จากผลการทดลองในงานวิจัย พบว่าระยะทาง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยระยะทาง สำหรับวิธีออดคอรรีโลแกรมสามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$|I - I'|_{\gamma, S_1} = 1 - \frac{1}{md} * \sum_{i \in [m], k \in [d]} \frac{\min(\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I), \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I'))}{\max(\gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I), \gamma_{C_i, C_i}^{(k)}(I'))}$$

และระยะทาง สำหรับวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต สามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$I - I_{ES} = - \frac{1}{K} \sum_{i=1}^{K-1} \frac{E_i I E_i I}{E_i I E_i I}$$

4. การรวมลักษณะเฉพาะ (Feature integration)

การค้นคืนภาพโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งอาจทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากมีข้อมูลเฉพาะที่ใช้ในการแบ่งแยกภาพไม่เพียงพอซึ่งจะส่งผลให้การค้นคืนภาพนั้นล้มเหลวได้

การนำลักษณะเฉพาะต่างๆ มาใช้ร่วมกัน สามารถทำได้โดยการหาผลรวมของระยะทางที่มีการถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละวิธี ดังสมการที่ ()

$$S = \sum_{i=1}^n w_i S_i$$

โดยที่ w_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละวิธี ($0 \leq w_i \leq 1$)

และ $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

5. วิธีวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพ

ในการทดลองจะวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพด้วย AVR ซึ่งใช้ในงานวิจัย เป็นวิธีการวัดประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจากลำดับที่ของภาพซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพควิรี ซึ่งนิยามขึ้นโดยกลุ่มวิจัย

กำหนดให้ NG_q คือ จำนวนภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพควิรี R_k คือ ลำดับที่ของภาพ k ที่ได้จากผลการค้นคืนภาพ และ K_q $min NG_q$ GTM โดยที่ $GTM = max NG_q$ ดังนั้นจะได้ ดังสมการที่

$$Rank\ k = \begin{cases} R_k & \text{if } R_k \leq K_q \\ K_q + 1 & \text{if } R_k > K_q \end{cases}$$

AVR (จำนวนได้จากสมการ ที่ ())

$$AVR_q = \frac{1}{NG_q} \sum_{k=1}^{NG_q} Rank\ k$$

MRR_q () ในสมการที่ () ถูกนิยามขึ้นเพื่อลดผลกระทบจากความแปรปรวนของค่า NG_q

$$MRR_q = AVR_q - \frac{1}{NG_q} \quad ()$$

จากนั้นจึงทำการ ค่า MRR_q โดยที่ค่า

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ ()

$$ANMRR = - \sum_{q=1}^Q \left(\frac{MRR_q}{K + \frac{1}{NG_q}} \right) \quad ()$$

เทคนิคการค้นคืนภาพที่มีค่า $ANMRR$ ต่ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคการค้นคืนภาพที่มีค่า $ANMRR$ สูงกว่า

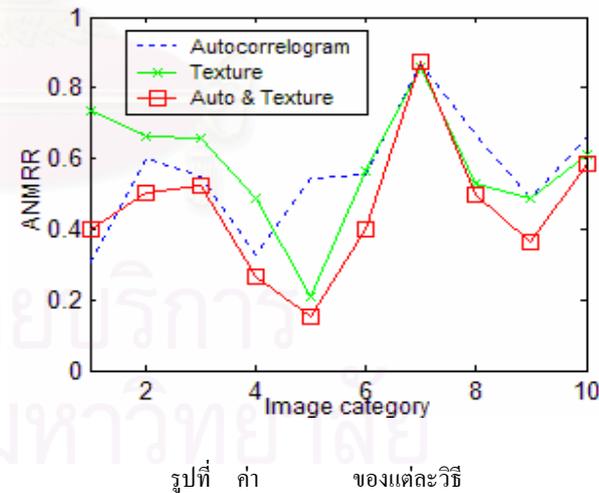
6. การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองใช้ฐานข้อมูลภาพจำนวน 10 ภาพ ประกอบด้วยภาพ กลุ่มภาพ ได้แก่ ภาพคน, ช้าง, ชายทะเล, อวกาศ, ตึก, ดอกไม้, พระอาทิตย์, รถ, ไคโนสาร์และผีเสื้อ

สำหรับวิธีออโตคอร์รีโลแกรม ภาพจะถูกควอนไทซ์สีออกเป็น 64 สี โดยกำหนดขนาดของค่า k

สำหรับวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ต ภาพจะถูกกระจายออกเป็น แถบย่อย (ระดับความละเอียด)

โดยการรวมลักษณะเฉพาะของภาพ วิธี ใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก w_i เท่ากันทั้งสองวิธี เนื่องจากในการทดลองพบว่าค่านี้เป็นค่าที่ทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการค้นคืนภาพจากค่า $ANMRR$ สำหรับจำนวนการควิรี ภาพ (ของจำนวนภาพในฐานข้อมูล)



จากผลการทดลองในรูปแบบที่ สามารถสรุปได้ว่าวิธีที่ใช้ออโตคอร์รีโลแกรมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากที่สุดเนื่องจากมีค่า $ANMRR$ ต่ำสุดเกือบทุกกลุ่มภาพ ยกเว้นกลุ่มภาพคน โดยค่าเฉลี่ยจากทุกกลุ่มภาพของวิธีนี้มีค่าต่ำกว่าวิธีออโตคอร์รีโลแกรมและวิธีการแปลงเวฟเล็ตถึง และ ตามลำดับ



รูปที่ ผลการค้นคืนภาพช้าง



รูปที่ ผลการค้นคืนภาพพระอาทิตย์

รูปที่ และรูปที่ เป็นตัวอย่างผลการค้นคืนภาพบางส่วน โดยภาพซ้ายมือสุด คือ ภาพควิรี ส่วนภาพที่เหลือคือภาพที่ค้นคืนมาได้ เรียงลำดับจากภาพที่คล้ายกับภาพควิรีมากไปน้อย จากซ้ายไปขวา

จากผลการทดลอง จะสังเกตเห็นว่าวิธีวิเคราะห์พื้นผิวด้วยการแปลงเวฟเล็ตจะมีประสิทธิภาพดี สำหรับการค้นคืนภาพแบบพื้นผิว (แต่จะมีปัญหาสำหรับภาพธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (ดังนั้นการนำวิธีออคอร์รีโแกรม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่ประกอบด้วยข้อมูลสีและข้อมูลเชิงพื้นที่ของภาพมาใช้ร่วมกัน จะทำให้สามารถค้นคืนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Manchester Visualization Centre
 Manchester Computing
 § g ü ü Ö ü
 Department of Computer Engineering

EECON-26th

7. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การค้นคืนภาพด้วยวิธีที่ใช้ออคอร์รีโแกรมร่วมกับการแปลงเวฟเล็ตมีประสิทธิภาพมากกว่าการค้นคืนภาพโดยใช้แต่ละวิธีแยกกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการค้นคืนภาพโดยใช้ลักษณะเฉพาะหลายวิธีร่วมกัน จะทำให้การค้นคืนภาพมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แต่ละวิธีแยกกัน และยังสามารถรองรับการค้นคืนภาพที่มีความหลากหลายได้มากยิ่งขึ้นอีกด้วย

IEEE Trans. On Image Processing


8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สวทช.

CIVR 2002, LNCS 2383

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภาสวรรณ สกุลสุจิราภา เกิดวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัด นครศรีธรรมราช ได้เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2541 ซึ่งสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 โดยได้รับทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยจากสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย