

การค้นคืนรูปภาพโดยใช้การอธิบายสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

IMAGE RETRIEVAL USING HAAR COLOR DESCRIPTOR  
INCORPORATING WITH PRUNING TECHNIQUES

อาริยา อุเทนพัตตันนท์  
ARIYA UTENPATTANANT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2730-1

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การค้นคืนรูปภาพโดยใช้การอธิบายสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

IMAGE RETRIEVAL USING HAAR COLOR DESCRIPTOR  
INCORPORATING WITH PRUNING TECHNIQUES



อาริยา อุเทนพัฒน์นัท

ARIYA UTENPATTANANT

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 67417

วัน,เดือน,ปี..... 15 S.A. 2549

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2786-1

**IMAGE RETRIEVAL USING HAAR COLOR DESCRIPTOR  
INCORPORATING WITH PRUNING TECHNIQUES**

**ARIYA UTENPATTANANT**

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

**2006**

**ISBN 974-15-2786-1**

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

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

**บัณฑิตวิทยาลัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การค้นคืนรูปภาพโดยใช้การอธิบายสีแบบ HAAR ร่วมกับวิธีการ Pruning Image Retrieval using HAAR Color Descriptor Incorporating with Pruning Techniques

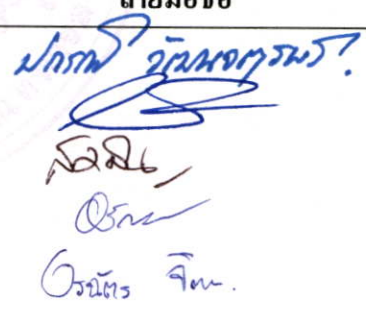
**นักศึกษา** นางสาวอาริยา อุเทนพัฒน์นันทน์

**รหัสประจำตัว** 47060837

**ปริญญา** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

**สาขาวิชา** วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผศ.ดร.อรนัตร์ จิตต์โสภักตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ปกรณ์	วัฒนจตุรพร	
ดร.วัชระ	นัตร์วิริยะ	
ดร.สมศักดิ์	วลัยรัชต์	
ดร.อรัญญา	วลัยรัชต์	
ผศ.ดร.อรนัตร์	จิตต์โสภักตร์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 3 ตุลาคม 2549 เวลา 09.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-402)

  
บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว  
(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....17.....เดือน.....ตุลาคม.....พ.ศ.....๒๕๔๙.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคันคั้นรูปภาพโดยใช้การอธิบายสี่แบบ Haar ร่วมกับ วิธีการ Pruning
นักศึกษา	นางสาวอาริยา อุเทนพัฒน์นันท
รหัสประจำตัว	47060837
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์

### บทคัดย่อ

การสร้างคำจำกัดความของภาพเป็นกระบวนการที่สำคัญก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการคันคั้นรูปภาพเพื่อให้ได้ภาพใกล้เคียงกับความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด สี่เป็นคุณลักษณะเด่นลักษณะหนึ่งที่นิยมใช้ในการการคันคั้นรูปภาพแบบอิงเนื้อหา วิทยานิพนธ์นี้จะเสนอระบบการคันคั้นรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ที่มีขนาดเล็กมากคือมีขนาดเพียง 63 บิต แต่สามารถใช้ในการคันคั้นรูปภาพได้อย่างดี และในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการปรับปรุงวิธีการคันคั้นรูปภาพให้รวดเร็วขึ้นโดยอาศัยวิธีการ Pruning มาช่วยเพื่อที่จะคัดเลือกภาพจากฐานข้อมูล นำมาพิจารณาเฉพาะภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถาม โดยตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไป จากนั้นจึงนำคำจำกัดความสี่แบบ Haar ของภาพที่ถูกคัดเลือกมาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างกับคำจำกัดความสี่ของภาพคำถาม สุดท้ายผลลัพธ์ของการคันคั้นรูปภาพจะได้จากการเรียงลำดับภาพตามค่าความแตกต่างที่ได้แล้วแสดงผลการคันคั้น การใช้วิธีที่นำเสนออยู่นอกจากจะให้ผลของการคันคั้นใกล้เคียงกันกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ในการทดลองคันคั้นรูปภาพจากฐานข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันแล้ว ยังสามารถช่วยลดเวลาที่ใช้ในการคันคั้นได้อีกด้วย ในส่วนท้ายของวิทยานิพนธ์จะแสดงตัวอย่างผลที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีการที่นำเสนอ

<b>Thesis</b>	Image Retrieval using Haar Color Descriptor Incorporating with Pruning Techniques
<b>Student</b>	Miss Ariya Utenpattananat
<b>Student ID</b>	47060837
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Computer Engineering
<b>Year</b>	2006
<b>Thesis Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Orachat Chitsobhuk

### **ABSTRACT**

Generating image descriptor is a crucial initial step before performing content-based image retrieval in a large collection of images. In this thesis, a content-based image retrieval system uses 63-bit binary Haar color descriptor incorporating with statistical pruning technique is purposed. The binary Haar color descriptor is compact and can be effectively used for fast image searching. However, the retrieval results may contain images, which are much different from the query. Therefore, statistical pruning technique is introduced to filter the candidate images similar to the query image from the database and ignore the rest that are not likely to the query image. The descriptors of the candidate images are then matched with that of the query. The most similar images will be retrieved and ordered according to their distance to the query. The experimental results show that the retrieval performance using the proposed retrieval technique is comparable to that of Haar color descriptor over a variety of image collection nevertheless can help reducing the retrieval time and the storage space.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อรรถธร จิตต์โสภักดิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีเป็นอย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบริษัทสหวิริยาสติอินดัสตรี จำกัด (มหาชน) ที่ได้ให้ทุนการศึกษา และให้เวลาในการมาศึกษาแบบเต็มเวลา ทำให้ข้าพเจ้ามีโอกาสดูแลศึกษาหาความรู้ และประสบการณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่น้องนักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณงามความดีและประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดามารดาอันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

อาริยา อุเทนพัฒน์นันท

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา .....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย .....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา .....	3
1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	4
1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ .....	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหา .....	5
2.1 การค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยคุณลักษณะสี .....	6
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ .....	6
2.2.1 ผลกระทบจากขนาดของคำจำกัดความสีต่อการค้นคืนรูปภาพ .....	6
2.2.2 ผลกระทบจากขนาดของฐานข้อมูลต่อการค้นคืนรูปภาพ .....	7
2.3 แนวทางในการลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ .....	8
2.3.1 การลดผลกระทบจากขนาดของคำจำกัดความสีต่อการค้นคืนรูปภาพ .....	8
2.3.2 การลดผลกระทบจากขนาดของฐานข้อมูลต่อการค้นคืนรูปภาพ .....	9
บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย .....	10
3.1 องค์ประกอบของภาพ .....	10
3.2 แบบจำลองสี .....	11
3.2.1 แบบจำลองสี RGB .....	11

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 แบบจำลองสี HSI .....	13
3.2.3 การแปลงสีจากแบบจำลอง RGB เป็น HSI .....	14
3.3 ฮิสโตแกรมสี .....	15
3.4 การแปลงเวฟเล็ดแบบ Haar .....	16
3.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ .....	19
3.5.1 ค่าความเหมือนและค่าความไม่เหมือน .....	19
3.5.2 Euclidean Distance .....	20
3.5.3 Hamming Distance .....	20
3.6 การวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพ .....	21
3.6.1 ANMRR .....	22
3.6.2 Recall และ Precision .....	23
<b>บทที่ 4 การสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar และการค้นคืนรูปภาพ .....</b>	<b>27</b>
4.1 บทนำ .....	27
4.2 การสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar .....	27
4.2.1 สร้างฮิสโตแกรมสี .....	27
4.2.2 การแปลงเวฟเล็ดแบบ Haar และการปรับค่าให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง .....	28
4.3 วิเคราะห์ประโยชน์ของคำจำกัดความสีแบบ Haar ที่มีผลต่อการอธิบายสีของภาพ ...	30
4.4 การค้นคืนรูปภาพ .....	32
4.4.1 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสี .....	32
4.4.2 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	33
4.4.3 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับ วิธีการ Pruning .....	34
4.4.3.1 การเลือกbinที่มีค่าฮิสโตแกรมต่ำที่สุด .....	35
4.4.3.2 การเลือกbinที่มีค่าฮิสโตแกรมสูงที่สุด .....	36
<b>บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ .....</b>	<b>37</b>
5.1 ขั้นตอนการเตรียมฐานข้อมูลรูปภาพ .....	37
5.2 ขั้นตอนการทดสอบระบบค้นคืนรูปภาพ .....	41

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ตัวอย่างผลการทดลองการคั่นคั้นรูปภาพ และการวิเคราะห์ผล .....	42
5.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการคั่นคั้นรูปภาพ โดยใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับ การใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	55
5.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการคั่นคั้นรูปภาพ โดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning .....	59
5.5.1 ความแตกต่างระหว่างการกำหนดขีดโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูง กับฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ .....	59
5.5.2 ผลของการ Pruning แต่ละวิธีที่มีต่อประสิทธิภาพการคั่นคั้นรูปภาพ .....	61
5.5.2.1 จำนวนครั้งที่ตัดผิด .....	61
5.5.2.2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของภาพ Ground Truth ที่ถูกตัด .....	62
5.5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการคั่นคั้นรูปโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar กับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning .....	62
5.6 เวลาที่ใช้ในการคั่นคั้นรูปภาพ .....	64
5.6.1 เวลาในการคั่นคั้นรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับคำจำกัด ความสีแบบ Haar .....	64
5.6.2 เวลาในการคั่นคั้นที่ลดลงเมื่อใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับ วิธีการ Pruning .....	65
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	67
6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย.....	67
6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ.....	68
เอกสารอ้างอิง .....	69
ภาคผนวก ก ตัวอย่างผลการทดลองภาพประเภทต่างๆ .....	71
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	112
ประวัติผู้เขียน .....	117

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างการหาค่า Recall และ Precision .....	25
5.1 ประเภทของรูปภาพในฐานะข้อมูลขนาดเล็ก .....	37
5.2 จำนวนของภาพแต่ละประเภทในส่วนที่ต่างจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	38
5.3 ตัวอย่างตารางและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในฐานข้อมูล .....	38
5.4 ตัวอย่างภาพในฐานข้อมูล .....	39
5.5 ตัวอย่างภาพคำถามที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพ .....	40
5.6 จำนวนภาพคำถามแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดลองค้นคืนรูปภาพ .....	40
5.7 วิธีการค้นคืนรูปภาพ .....	41
5.8 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาล .....	46
5.9 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาว .....	50
5.10 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพกังหันลม .....	55
5.11 ค่า ANMRR จากการทดลองค้นคืนภาพ .....	58
5.12 ค่า ANMRR ของการค้นคืนภาพ .....	62
5.13 เวลาที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และฮิสโตแกรมสี .....	64
5.14 เวลาที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการPruning.....	66
ก.1 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพเฮลิคอปเตอร์ .....	75
ก.2 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพรถไฟ .....	79
ก.3 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬา .....	83
ก.4 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพผู้ชาย .....	87
ก.5 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพผักสีเขียว .....	91
ก.6 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพเทียน .....	95
ก.7 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพรูปปั้น .....	99
ก.8 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพลำธาร .....	103
ก.9 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพปลา .....	107
ก.10 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วง .....	111

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลำดับชั้นของคำจำกัดความสี .....	7
2.2 ตัวอย่างผลการค้นคืน โดยใช้คำจำกัดความสีแบบไบนารี Haar .....	8
3.1 ตัวอย่างภาพดิจิทัลขนาด 600 X 400 พิกเซล .....	10
3.2 แบบจำลองสี RGB บนพิกัดคาร์ทีเซียน .....	11
3.3 แบบจำลองสี RGB 24 บิต .....	12
3.4 แบบจำลองสี HSI .....	13
3.5 ฮิสโตแกรมของภาพสี .....	16
3.6 ฟังก์ชันเวฟเล็ดแบบ Haar .....	17
3.7 ฟังก์ชันเวฟเล็ดแบบ Haar เมื่อถูก Scale ( $j = -1$ ) .....	17
3.8 ฟังก์ชันเวฟเล็ดแบบ Haar เมื่อถูก Scale และ Shift ( $j = -1, k = 1$ ) .....	18
3.9 ฟังก์ชันเวฟเล็ดแบบ Haar สำหรับแปลงข้อมูลที่มีความยาว 8 หน่วย .....	18
3.10 ตัวอย่างภาพดาว .....	19
3.11 ตัวอย่างการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี ANMRR .....	22
3.12 Precision และ Recall .....	24
3.13 ตัวอย่างหาค่า Precision ณ ระดับ Recall = 12.5% .....	24
3.14 ตัวอย่างค่า Precision = 0% เมื่อ Ground Truth Images อยู่เลยจากช่วง $ A $ ภาพแรก .....	25
4.1 ขั้นตอนการสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar .....	27
4.2 แสดงสีของฮิสโตแกรมสีขนาด 64 บิตที่ใช้แบบจำลองสี HSI .....	28
4.3 ฟังก์ชันเวฟเล็ดแบบ Haar สำหรับแปลงข้อมูลที่มีความยาว 8 หน่วย .....	28
4.4 คำจำกัดความสีแบบ Haar ในแต่ละระดับ .....	29
4.5 ตัวอย่างฮิสโตแกรมและคำจำกัดความสีแบบ Haar .....	31
4.6 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	33
4.7 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning .....	34
4.8 ตัวอย่างฮิสโตแกรมสีของภาพคำถาม .....	35
4.9 คู่ของบินในฮิสโตแกรมที่ทำให้เกิดบิตที่ 32-63 ของคำจำกัดความสีแบบ Haar .....	35
5.1 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	42
5.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	43
5.3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	44

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ....	45
5.5 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ....	45
5.6 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	47
5.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	48
5.8 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาวโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	49
5.9 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ....	49
5.10 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ....	50
5.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบค้นคืนภาพกังหันลมจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	51
5.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบค้นคืนภาพกังหันลมจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	52
5.13 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพกังหันลมโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	53
5.14 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพกังหันลมจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ....	53
5.15 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพกังหันลมจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ....	54
5.16 ภาพกังหันลมและภาพภูเขา .....	55
5.17 ฮิสโตแกรมสีของภาพ windmill-1 และ mountain-1 .....	56
5.18 ภาพกังหันลม .....	56
5.19 ฮิสโตแกรมสีของภาพ windmill-1 และ windmill-2 .....	56
5.20 ผลการ XOR คำจำกัดความสีแบบ Haar ของภาพ windmill-1 และ mountain-1 .....	57
5.21 ผลการ XOR คำจำกัดความสีแบบ Haar ของภาพ windmill-1 และ windmill-2 .....	57
5.22 กราฟค่าเฉลี่ย Precision ของการค้นคืนรูปภาพโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	58
5.23 ฮิสโตแกรมสีของภาพ windmill-1 และ windmill-2 .....	59

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.24	60
5.25	60
5.26	61
5.27	62
5.28	63
5.29	63
5.30	66
ก.1	72
ก.2	73
ก.3	74
ก.4	74
ก.5	75
ก.6	76
ก.7	77
ก.8	78
ก.9	78
ก.10	79
ก.11	80
ก.12	81

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.13 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	82
ก.14 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	82
ก.15 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	83
ก.16 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	84
ก.17 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	85
ก.18 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้ชายโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	86
ก.19 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	86
ก.20 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	87
ก.21 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	88
ก.22 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	89
ก.23 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผักสีเขียวโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	90
ก.24 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	90
ก.25 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	91
ก.26 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเทียนจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	92
ก.27 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเทียนจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	93
ก.28 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเทียนโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	94
ก.29 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเทียนจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	94

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.30 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเทียบจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	95
ก.31 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	96
ก.32 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	97
ก.33 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรูปปั้นโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	98
ก.34 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	98
ก.35 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	99
ก.36 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพลำธารจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	100
ก.37 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพลำธารจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	101
ก.38 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพลำธารโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	102
ก.39 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพลำธารจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	102
ก.40 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพลำธารจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	103
ก.41 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	104
ก.42 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	105
ก.43 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพปลาโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	106
ก.44 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	106
ก.45 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	107
ก.46 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก .....	108
ก.47 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ .....	109

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.48 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar .....	110
ก.49 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	110
ก.50 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning.....	111

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบข้อมูลข่าวสารทำให้ปริมาณของข้อมูลทั้งที่เป็นข้อความและรูปภาพมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จากการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างมหาศาลของข้อมูลเหล่านี้ ทำให้ผู้ใช้ประสบปัญหาในการค้นคืนข้อมูลที่ตรงกับความต้องการ จึงเกิดความต้องการระบบที่จะสามารถทำหน้าที่ในการค้นคืนรูปภาพให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ได้ ระบบในการค้นคืนข้อมูลรูปภาพจากฐานข้อมูลแบบเดิมนั้นใช้วิธีการให้มนุษย์ทำการเพิ่มคำอธิบายภาพเข้าไปในภาพแต่ละภาพ (Manual Image Annotation) ว่างล่วงหน้า จากนั้นเมื่อต้องการค้นหาจะสามารถทำได้โดยค้นหาจากคำที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการอธิบายภาพด้วยวิธีนี้มีข้อเสียที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกวิธีนี้ต้องอาศัยทั้งเวลา และแรงงานคนจำนวนมากในการระบุคำอธิบายภาพ ข้อเสียอีกประการที่สำคัญมากคือเนื้อหาในภาพหนึ่งภาพนั้นมีคำอธิบายได้หลากหลายขึ้นอยู่กับความนึกคิดของผู้ที่มองภาพ การค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหา (Content Based Image Retrieval: CBIR) ซึ่งเป็นการดึงลักษณะสำคัญของภาพ ได้แก่ สี (Color) พื้นผิว (Texture) และรูปร่าง (Shape) มาใช้อธิบายภาพแบบอัตโนมัติ เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการอธิบายภาพ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาของการให้มนุษย์ทำการเพิ่มคำอธิบายภาพได้ ระบบค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหาจะใช้ภาพคำถาม (Query Image) ในการค้นคืน โดยเมื่อกำหนดภาพคำถามที่ต้องการให้กับระบบแล้ว ระบบจะคัดแยกคุณลักษณะสำคัญของภาพคำถามออกมา จากนั้นจะนำคุณลักษณะสำคัญที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสำคัญของภาพแต่ละภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลหากภาพใดมีคุณลักษณะสำคัญที่เหมือนหรือใกล้เคียงกับภาพคำถามก็จะถูกแสดงเป็นผลลัพธ์ของการค้นหาให้แก่ผู้ใช้

สีเป็นลักษณะสำคัญลักษณะหนึ่งของภาพที่มักจะใช้ในการค้นคืนแบบอิงเนื้อหา ฮิสโตแกรมสีเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการอธิบายลักษณะการกระจายสีของรูปภาพได้เป็นอย่างดี แต่การแทนค่าอย่างละเอียดอาจจะไม่จำเป็นสำหรับงานบางงาน เช่น การค้นหา การกรอง และการค้นคืนรูปภาพ เนื่องจากการใช้ฮิสโตแกรมสีจะต้องใช้ข้อมูลหลายบิตสำหรับการแทนค่าภาพหนึ่งภาพ และต้องมีการคำนวณที่ซับซ้อนเพื่อที่จะเปรียบเทียบความคล้ายกันของรูปภาพ หากนำมาใช้ในการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลานาน และต้องมีทรัพยากรของระบบเพียงพอที่จะใช้ในการคำนวณ อีกทั้งยังไม่เหมาะกับการส่งค่าจำกัดความถี่ผ่านช่องทางการสื่อสารที่มี Bandwidth ที่จำกัด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว วิทยานิพนธ์นี้จะเสนอการสร้างค่าจำกัดความถี่ที่เป็นไบนารีขนาด 63 บิตซึ่งมีขนาดเล็กมาก แต่สามารถใช้ในการค้นคืนรูปภาพได้เป็นอย่างดี ซึ่งการสร้างค่าจำกัดความถี่

ก็สามารถคำนวณได้ง่าย ไม่มีการคูณที่ซับซ้อน รวมทั้งได้นำวิธีการ Pruning มาใช้เพื่อปรับปรุงวิธีการค้นหาคุณภาพจากฐานข้อมูลให้สามารถทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการค้นหาคุณภาพโดยอาศัยคุณลักษณะที่สามารถค้นหาคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น
- 1.2.2 ประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar มาใช้ในการสร้างคำจำกัดความสีของภาพ และปรับค่าให้อยู่ในรูปไบนารีเพื่อให้ได้คำจำกัดความสีที่มีขนาดเล็ก แต่สามารถใช้ในการค้นหาคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.3 ประยุกต์ใช้วิธีการ Pruning เข้ามาเพื่อช่วยในการคัดเลือกภาพจากฐานข้อมูล เพื่อนำมาพิจารณาเฉพาะภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถาม โดยตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไป ทำให้สามารถลดเวลาในการเปรียบเทียบข้อมูลของภาพคำถามกับภาพในฐานข้อมูลได้
- 1.2.4 ประเมินประสิทธิภาพและวัดคุณภาพในเชิงปริมาณ รวมทั้งสรุปวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการค้นหาคุณภาพของงานวิจัย

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับการค้นหาคุณภาพแบบอิงเนื้อหาพบว่า สีเป็นลักษณะสำคัญของภาพที่นิยมใช้ในการค้นหาคุณภาพ แต่การใช้ฮิสโตแกรมเพื่อแสดงลักษณะสีของภาพแต่ละภาพนั้นจะต้องใช้ข้อมูลหลายบิต ซึ่งไม่เหมาะสำหรับใช้งานในอุปกรณ์ที่มีทรัพยากรจำกัดเช่นอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีการวิจัยที่ได้นำคำจำกัดความสีที่เรียกว่าคำจำกัดความสีแบบ Haar (Binary Haar Descriptor) มาใช้ ซึ่งคำจำกัดความสีนี้มีขนาดเพียง 63 บิต ทำให้ลดปัญหาในการจัดเก็บและส่งข้อมูลได้รวมทั้งลดขั้นตอนการคำนวณที่ซับซ้อนลง แต่ยังคงสามารถใช้ในการค้นหาคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้คำจำกัดความสีดังกล่าวยังได้รับการยอมรับให้เป็นมาตรฐาน MPEG-7 ผู้วิจัยจึงนำคำจำกัดความสีนี้มาทดลองค้นหาคุณภาพ และจากการสังเกตพบว่า มีภาพบางภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามปรากฏอยู่ในผลการค้นหา จึงเกิดแนวความคิดในการนำวิธีการ Pruning มาใช้เพื่อจะตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงออกไป ซึ่งประโยชน์ที่ได้อีกประการจากการตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงคือ สามารถลดจำนวนการเปรียบเทียบคำจำกัดความของภาพลงได้เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมที่ต้องเปรียบเทียบคำจำกัดความของภาพคำถามกับคำจำกัดความของรูปภาพทั้งหมดในฐานข้อมูลซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการเปรียบเทียบมาก ทั้งนี้ผลจากการตัดจะต้องให้ประสิทธิภาพในการค้นหาใกล้เคียงกับเมื่อไม่ได้ใช้เทคนิคที่นำเสนอ

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ในการสร้างระบบค้นคืนรูปภาพดังกล่าว จึงได้อาศัยทฤษฎีแบบจำลองสีแบบ HSI เพื่อนำมาในการสร้างฮิสโตแกรมสีของภาพแต่ละภาพ และได้ใช้หลักการแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar (Haar Wavelet Transform) มาใช้ในแปลงค่าฮิสโตแกรมสีที่ได้มาคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Haar แล้วจึงแปลงค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปเลขฐานสองทำให้ได้ค่าจำกัดความถี่ขนาดเล็กที่เรียกว่าค่าจำกัดความถี่แบบ Haar (Binary Haar Descriptor) จากนั้นจึงนำค่าจำกัดความถี่ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างระบบค้นคืนรูปภาพขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ยังได้นำวิธีการ Pruning มาใช้ในการปรับปรุงระบบค้นคืนรูปภาพให้สามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยเพื่อพิสูจน์ว่าการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ในการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลสามารถค้นคืนรูปภาพได้รวดเร็วกว่าการใช้ฮิสโตแกรมสีในการค้นคืน ในขณะที่ให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน และพิสูจน์ว่าการนำเทคนิคการ Pruning มาใช้ร่วมกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar เพื่อการคัดเลือกภาพบางส่วนจากฐานข้อมูลมาพิจารณาจะสามารถช่วยลดเวลาที่ใช้ในการค้นคืนข้อมูลภาพได้ โดยที่ประสิทธิภาพของการค้นคืนยังคงใกล้เคียงกันกับการค้นคืนจากฐานข้อมูลรูปภาพทั้งหมด

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ว่าต้องการนำเสนอหรือศึกษางานวิจัยในหัวข้อนี้มากน้อยแค่ไหนและอย่างไร
- 1.6.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหา โดยใช้ค่าจำกัดความถี่ แล้ววิเคราะห์ ข้อดี ข้อด้อย และประเด็นที่น่าสนใจของงานวิจัยอื่นๆ ที่สามารถนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่งานวิจัยนี้ได้
- 1.6.3 ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาและกำหนดวงแนวความคิดของงานวิจัย โดยมีการอ้างอิงทฤษฎีหรือหลักการที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะสามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้
- 1.6.4 เตรียมฐานข้อมูลภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัย โดยฐานข้อมูลดังกล่าวนี้ประกอบไปด้วยภาพสีหลากหลายชนิด เพื่อที่จะทำให้สามารถนำมาใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบที่วิจัยได้อย่างเหมาะสม
- 1.6.5 พัฒนาโปรแกรมเพื่อทดลองค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล ด้วยอัลกอริทึมตามแนวคิดที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ

- 1.6.6 ทำการทดลองค้นคืนรูปภาพโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา กับฐานข้อมูลรูปภาพที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยในขณะที่ทำการทดลองนั้นจะเก็บข้อมูลและผลลัพธ์ของทุกๆ ขั้นตอนเอาไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์ปรับปรุงงานวิจัยต่อไป
- 1.6.7 นำผลลัพธ์จากการทดลองมาวิเคราะห์และประเมินงานวิจัย ทั้งในแง่ของคุณภาพและประสิทธิภาพ แล้วสรุปผลเพื่อนำเสนอผลงานวิจัย

## 1.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

- 1.7.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใช้หน่วยประมวลผลกลาง Intel Pentium 4 3 GHz หน่วยความจำ (RAM) 1 GB จำนวน 1 เครื่อง
- 1.7.2 ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP
- 1.7.3 โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7.0

## 1.8 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา รวมทั้งทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้คุณลักษณะสีในการค้นคืนรูปภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ รวมถึงแนวทางในการลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ

บทที่ 3 กล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ องค์ประกอบภาพ แบบจำลองสี ฮิสโตแกรมสี การแปลงเวฟเล็ทแบบ Haar การเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ และการวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพ

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนในการสร้างคำจำกัดความสีของงานวิจัยนี้ เริ่มจากการสร้างฮิสโตแกรมสี จากนั้นนำฮิสโตแกรมที่ได้มาสร้างเป็นคำจำกัดความสีแบบ Haar และสุดท้ายจะอธิบายถึงขั้นตอนในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้การอธิบายสีแบบต่างๆ อันได้แก่ ฮิสโตแกรมสี คำจำกัดความสีแบบ Haar และการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพต่อไปในอนาคต

## บทที่ 2

# งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหา

งานวิจัยเกี่ยวกับระบบมัลติมีเดีย และการค้นคืนรูปภาพมีการเติบโตขึ้นอย่างมากในช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมา เนื่องจากฐานข้อมูลมัลติมีเดียมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ แต่การค้นคืนรูปภาพยังคงเป็นปัญหาคอขวดสำหรับการเข้าถึงฐานข้อมูลมัลติมีเดีย เนื่องจากยังมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างความสามารถในการเข้าใจของมนุษย์กับของคอมพิวเตอร์ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนรูปภาพได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใน 2 ลักษณะ [1] คือ แบบแรกจะอาศัยการอธิบายคุณลักษณะ (Attribute Representation) ซึ่งแนวทางนี้ส่วนใหญ่ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยด้านฐานข้อมูล โดยการกำหนดกลุ่มคุณลักษณะเฉพาะของรูปภาพ ซึ่งในเพิ่มคำอธิบายคุณลักษณะแต่ละคุณลักษณะจะกระทำโดยมนุษย์ และเก็บข้อมูลไว้ในระบบจัดการฐานข้อมูลที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในการค้นหาทำได้โดยระบุคำอธิบายคุณลักษณะที่ต้องการให้กับระบบ ซึ่งการค้นคืนแบบนี้ถูกเรียกว่าการค้นคืนแบบอิงข้อความ (Text Based Retrieval) แต่การที่ให้นมนุษย์ทำการเพิ่มคำอธิบายภาพในฐานข้อมูลขนาดใหญ่จะทำให้เกิดปัญหาความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายที่สูง รวมถึงปัญหาด้านความน่าเชื่อถือของคำอธิบายภาพหรือที่เรียกกันว่าช่องว่างของภาษา (Linguistic Gap) อีกด้วย

สำหรับการค้นคืนรูปภาพแบบที่สองนั้นถูกนำเสนอโดยนักวิจัยด้านการแปลความหมายรูปภาพ โดยการใช้เทคนิคการแยกคุณลักษณะ (Feature Extraction) และการรู้จำวัตถุ (Object Recognition) แบบอัตโนมัติมาใช้ในการค้นคืน ซึ่งการค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหา (Content Based Image Retrieval: CBIR) เป็นการใช้เทคนิคการแยกคุณลักษณะสำคัญต่างๆของภาพอันได้แก่ สี (Color) พื้นผิว (Texture) และรูปร่าง (Shape) มาใช้อธิบายภาพแบบอัตโนมัติ การค้นคืนแบบอิงเนื้อหานี้เป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาใช้อธิบายภาพ โดยเฉพาะคุณลักษณะสีเป็นคุณลักษณะที่นิยมใช้ในการเป็นตัวแทนของภาพ เนื่องจากสีเป็นข้อมูลอย่างหนึ่งที่มนุษย์สามารถรับรู้และแยกความแตกต่างได้เป็นอย่างดี

ปัญหาที่สำคัญของการสร้างระบบค้นคืนรูปภาพแบบอิงเนื้อหาก็คือ การค้นหาคุณลักษณะซึ่งสามารถเป็นตัวแทนภาพได้ใกล้เคียงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โครงสร้างข้อมูลที่จะจัดการพื้นที่ที่จะเก็บข้อมูลคุณลักษณะให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการเพิ่มความเร็วให้กับกระบวนการในการค้นคืนรูปภาพ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการค้นคืนรูปภาพโดยใช้สีเพื่อนำมาเพิ่มประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยคุณลักษณะสีของภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ และแนวทางในการลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ

## 2.1 การค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยคุณลักษณะสี (Color Retrieval)

งานวิจัยหลายงานวิจัยได้นำเสนอการค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยพื้นฐานของความคล้ายคลึงกันของสี ซึ่งงานวิจัยทางด้านนี้ได้มีการพัฒนาออกมาใน 2 แนวทาง [2] คือ การค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยคุณลักษณะสีจากข้อมูลดิบของรูปภาพ (Raw Image Data) ตัวอย่างเช่น การคำนวณหาฮิสโตแกรมสีภายในภาพ ซึ่งแสดงถึงสัดส่วนของพิกเซลของแต่ละสีภายในภาพ ฮิสโตแกรมสีของแต่ละภาพจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล ในการสืบค้นผู้ใช้สามารถกำหนดสัดส่วนความต้องการของแต่ละสี (เช่น สีเขียวมะกอก 75% และสีแดง 25%) หรือให้ภาพคำถาม (Query Image) ที่สามารถคำนวณหาฮิสโตแกรมได้ โดยทั้งสองวิธีจะต้องผ่านขั้นตอนการเปรียบเทียบความต่างเพื่อค้นหาภาพที่มีฮิสโตแกรมสีใกล้เคียงกับภาพคำถามมากที่สุด เทคนิคการเปรียบเทียบความต่างส่วนใหญ่มักจะใช้การตัดกันของฮิสโตแกรม (Histogram Intersection) ซึ่งพัฒนาโดย Swain และ Ballard ในปี 1991 [3] ปัจจุบันใช้ความแตกต่างของเทคนิคนี้กันมากในระบบ CBIR มีการปรับปรุงเทคนิคเดิมของ Swain และ Ballard โดยใช้การสะสมฮิสโตแกรมสี (Stricker และ Orengo ปี 1995) [4] และในปี 1996 Stricker และ Dimai [5] ได้นำการสะสมฮิสโตแกรมสีมาใช้ร่วมกับการตัดกันของฮิสโตแกรม และในปี 1997 Carson และคณะ[6] ได้ใช้เทคนิค Region-Based Color Querying

สำหรับอีกแนวทางหนึ่งเป็นการค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยการแปลงโดเมน (Transform Domain) ซึ่งประโยชน์สำคัญที่จะได้จากการใช้วิธีการแปลงโดเมนคือ การสามารถอธิบายคุณลักษณะของภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยิ่งกว่านั้นการแปลงโดเมนยังสามารถช่วยในการบีบอัดข้อมูลรูปภาพได้อีกด้วย ซึ่งทำให้การค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พื้นที่จัดเก็บอีกด้วย สำหรับฟังก์ชันการแปลงที่ใช้กันนั้นสามารถใช้การแปลงแบบ Fourier การแปลงแบบ Discrete Cosine หรือการแปลงแบบเวฟเล็ต (Wavelet) ตัวอย่างเช่น ในปี 1995 งานวิจัยของ Jacobs และคณะ[7] เสนอการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar ซึ่งสามารถคำนวณได้รวดเร็วมาใช้ในการแปลงค่าสีของภาพเพื่อใช้แทนคุณลักษณะของรูปภาพ และในปี 1997 Wang และคณะ[8] เสนอการนำการแปลงเวฟเล็ตแบบ Daubechies มาใช้ในแปลงข้อมูลรูปภาพ เป็นต้น

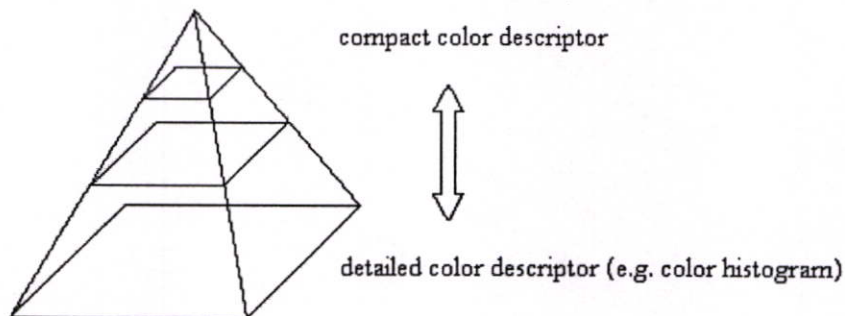
## 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ

### 2.2.1 ผลกระทบจากขนาดของคำจำกัดความสีต่อการค้นคืนรูปภาพ

การใช้ฮิสโตแกรมสีเป็นวิธีที่นิยมใช้ทั่วไปในการแทนค่าสีของรูปภาพ ซึ่งวิธีนี้สามารถอธิบายค่าสีของรูปภาพได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการแทนค่าด้วยฮิสโตแกรมสีจะต้องใช้ข้อมูลหลายบิตสำหรับแทนค่าภาพหนึ่งภาพ ซึ่งวิธีนี้อาจไม่เกิดปัญหาการใช้งานในระบบที่มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลมากๆ และมีทรัพยากรเพียงพอที่จะใช้ในการคำนวณ แต่สำหรับการใช้งานประเภทการกรองข้อมูลซึ่งข้อมูลมัลติมีเดียและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องจะถูกประมวลผลด้วยอุปกรณ์ซึ่งมี

ข้อจำกัดของทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณ และมี Bandwidth ที่จำกัด จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้คำจำกัดความที่กะทัดรัด นอกจากนี้ในการใช้คำจำกัดความสีที่มีขนาดใหญ่กับฐานข้อมูลที่มีรูปภาพจำนวนมากจะทำให้การเปรียบเทียบความต่างของภาพต้องใช้เวลาในการคำนวณนานมากอีกด้วย

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างรูปพีระมิดของคำจำกัดความสีแบบต่างๆ โดยอิงตามขนาดของคำจำกัดความสี ที่ตำแหน่งล่างสุดของรูปพีระมิดหมายถึงคำจำกัดความสีแบบละเอียด (Detailed Color Descriptors) ตัวอย่างเช่น ฮิสโตแกรมสี ขนาดของคำจำกัดความสีแบบนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่คือประมาณ 256 ไบต์ และให้ประสิทธิภาพที่ดีในด้านการค้นหา และการกรองที่อาศัยค่าสีเป็นหลัก ซึ่งคำจำกัดความแบบนี้จะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการใช้งานในระบบที่มีความสามารถในการเก็บข้อมูลขนาดใหญ่ มีรูปแบบการจัดทำตรรกะที่ซับซ้อน มีทรัพยากรสำหรับการใช้ในการคำนวณขนาดใหญ่ และไม่มีข้อจำกัดเรื่อง Bandwidth ส่วนที่อยู่บนยอดบนสุดของพีระมิดเป็นคำจำกัดความสีขนาดย่อม (Compact Color Descriptors) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก คือโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 128 บิต คำจำกัดความสีแบบนี้ใช้งานได้ดีมากถึงแม้ว่าจะจะไม่เท่ากับคำจำกัดความแบบละเอียด แต่ก็มีประโยชน์ในการใช้งานกับระบบซึ่งมีข้อจำกัดของทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณ และต้องการส่งคำจำกัดความสีผ่านช่องทางที่มี Bandwidth ที่จำกัด



รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นของคำจำกัดความสี

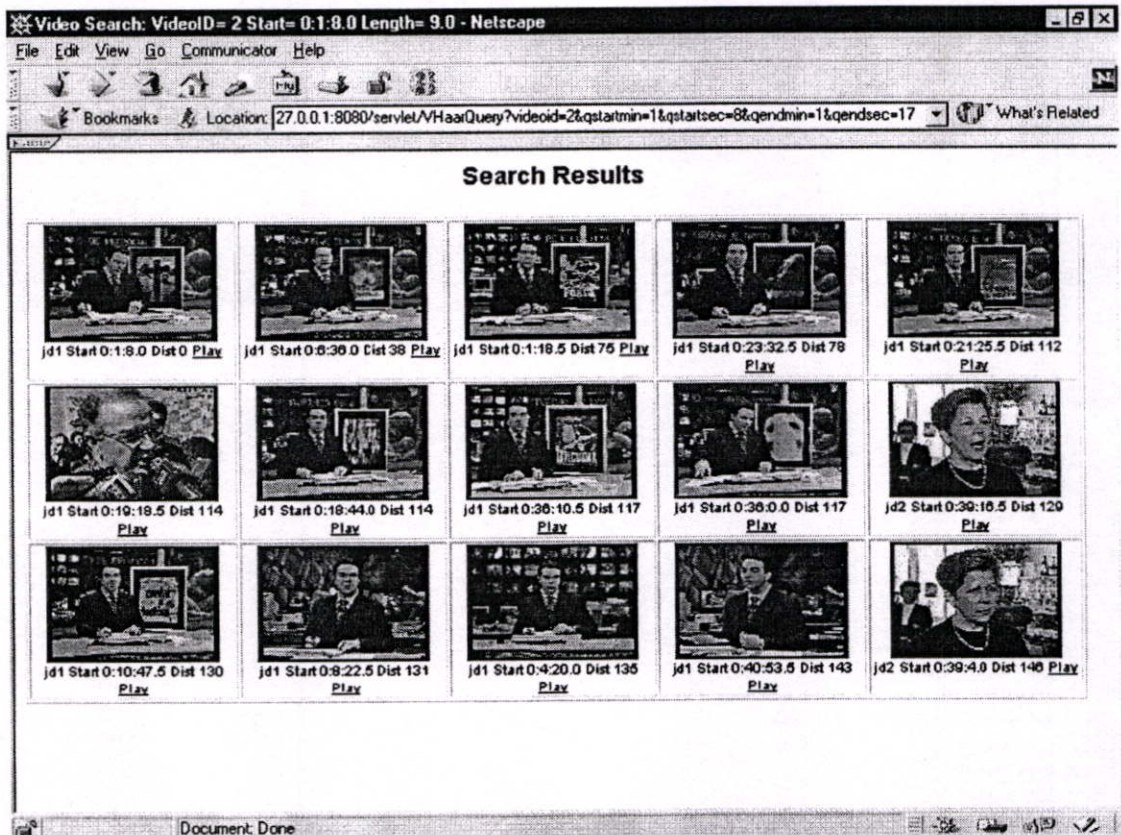
### 2.2.2 ผลกระทบจากขนาดของฐานข้อมูลต่อการค้นหาภาพ

แนวคิดพื้นฐานสำหรับการค้นหาแบบอิงเนื้อหาจะเป็นการเก็บค่าคำจำกัดความของรูปภาพซึ่งเป็นตัวแทนของภาพนั้นไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้า เมื่อมีการค้นหาภาพ คำจำกัดความของภาพคำถามจะถูกคำนวณ และนำค่าคำจำกัดความของภาพคำถามไปเปรียบเทียบกับคำจำกัดความของภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล สุดท้ายภาพที่มีคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับภาพคำถามจะถูกนำมาแสดงผลของการค้นหา ระบบการค้นหาภาพที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะมีลักษณะการทำงานดังที่ได้กล่าวมา ทำให้เวลาที่ใช้ในการค้นหาภาพจะขึ้นอยู่กับขนาดของฐานข้อมูล เมื่อฐานข้อมูลมีขนาดมากขึ้นก็จะมีผลทำให้ใช้เวลาในการค้นหาเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของ Jacobs [7] และคณะที่ได้เสนอการใช้การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar มาใช้ในการแปลงค่าสีของภาพ

เพื่อใช้เป็นคำจำกัดความสีของรูปภาพ ได้ใช้ภาพคำถามที่มีขนาด 128x128 พิกเซล ค้นหารูปภาพ จากฐานข้อมูลมีขนาด 1,093 ภาพจะใช้เวลาในการค้นคืน 47.46 วินาที และเวลาในการค้นคืนจะ เพิ่มขึ้น 892.6 วินาทีเมื่อฐานข้อมูลมีขนาด 20,558 ภาพ

## 2.3 แนวทางการลดผลกระทบจากปัจจัยที่มีผลต่อการค้นคืนรูปภาพ

### 2.3.1 การลดผลกระทบจากขนาดของคำจำกัดความสีต่อการค้นคืนรูปภาพ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผลการค้นคืนโดยใช้คำจำกัดความสีแบบไบนารี Haar

จากงานวิจัยของ Xia Wan และ C.-C. Jay Kuo [9] ปี 1998 ได้ทำการเปรียบเทียบผลการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสีในแบบจำลองสีแบบ HSI โดยการแบ่งฮิสโตแกรมสีเป็นแบบ 8 บิน, 16 บิน, 64 บิน, 128 บิน และ 256 บิน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการแบ่งสีแบบ 64 บิน ให้ผลการค้นคืนที่ดีใกล้เคียงกับการแบ่งแบบ 128 บินและ 256 บินแต่มีขนาดที่เล็กกว่ามาก

และในปี 2000 Santhana Krishnamachari และ Mohamed Abdel-Mottaleb [10] ได้เสนอคำจำกัดความสีแบบ Haar ซึ่งเป็นคำจำกัดความสีแบบไบนารี ที่สามารถค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำจำกัดความสีนี้เกิดจากการประยุกต์การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar มาใช้ในการแปลงค่าฮิสโตแกรมสี จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาปรับค่าให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง ซึ่งผลลัพธ์ที่

ได้ทำให้ได้คำจำกัดความสีที่มีขนาด 63 บิต ซึ่งมีขนาดเล็กมาก และด้วยความไม่ซับซ้อนของการแปลงแบบ Haar นี้ทำให้การคำนวณค่าของคำจำกัดความทำได้ง่ายมาก ถึงแม้ว่าคำจำกัดความนี้จะมีขนาดเล็กแต่ก็สามารถใช้ในการค้นหาและการเลือกรูปภาพได้เป็นอย่างดีดังตัวอย่างผลการค้นคืนรูปที่ 2.2 และเนื่องมาจากลักษณะของคำจำกัดความที่อยู่ในรูปเลขฐานสองนี้ทำให้สามารถทำการเปรียบเทียบแมตริกซ์อย่างง่ายได้ โดยใช้วิธีหาค่า Hamming Distance และผลจากการคำนวณแมตริกซ์แบบง่ายไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรในการคำนวณ ก็ยังทำให้คำจำกัดความแบบนี้สามารถค้นหารูปภาพได้อย่างรวดเร็วมาก ซึ่งทำให้คำจำกัดความสีแบบ Haar สามารถแก้ไขปัญหาการใช้งานในระบบค้นคืนรูปภาพด้วยอุปกรณ์ซึ่งมีข้อจำกัดของทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณ และมี Bandwidth ที่จำกัดได้ ซึ่งในปี 2004 คำจำกัดความสีแบบ Haar นี้ได้รับการยอมรับให้เป็นมาตรฐานของ MPEG-7 [11]

### 2.3.2 การลดผลกระทบจากขนาดของฐานข้อมูลต่อการค้นคืนรูปภาพ

จากที่ระบบการค้นหาข้อมูลรูปภาพที่ถูกนำเสนอที่ผ่านมามีส่วนใหญ่มุ่งเน้นในการหาลักษณะที่สามารถค้นหาภาพได้ใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด โดยความเร็วในการค้นคืนจะขึ้นอยู่กับขนาดของฐานข้อมูล เมื่อขนาดของฐานข้อมูลเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการค้นคืนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยยังไม่มีแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อลดเวลาในการค้นหารูปภาพจากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเวลาในการค้นคืนควรขึ้นอยู่กับจำนวนของรูปภาพที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม ไม่ควรขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล แนวทางในการลดเวลาในการค้นคืนอาจใช้คำจำกัดความที่ไม่ซับซ้อนซึ่งเหมาะสมกับประสิทธิภาพของการจัดเก็บ แต่โดยปกติแล้วคำจำกัดความที่ไม่ซับซ้อนมักจะทำให้ผลการค้นคืนที่ผิดพลาดจำนวนมาก ในทางตรงข้ามคำจำกัดความที่ซับซ้อนขึ้นจะให้ผลของการค้นคืนที่ดีแต่ไม่มีประสิทธิภาพในการจัดการฐานข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างความซับซ้อนของคำจำกัดความกับเวลาที่ใช้ในการค้นคืน รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างความซับซ้อนของคำจำกัดความกับคุณภาพของผลการค้นคืนล้วนมีความสำคัญ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำคำจำกัดความที่มีไม่ซับซ้อน สามารถใช้ในการค้นคืนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพอันได้แก่คำจำกัดความสีแบบ Haar มาใช้ในการค้นคืน โดยทำการศึกษา และหาแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนในการค้นคืน เพื่อที่จะช่วยลดเวลาในการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ โดยการลดเวลาในการค้นคืนนี้จะต้องยังคงให้คุณภาพของผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการใช้การค้นคืนแบบเดิมเป็นสำคัญ ซึ่งจะได้นำรายละเอียดในบทต่อไป

### บทที่ 3

## ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ได้แก่ องค์ประกอบของภาพ แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัย การหาฮิสโตแกรมสี การแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar และการเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ รวมทั้งการวัดประสิทธิภาพของระบบการค้นคืน

### 3.1 องค์ประกอบของภาพ

ภาพสามารถนิยามเป็น ฟังก์ชันสองมิติ  $f(x,y)$  โดยที่  $x$  และ  $y$  เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของ  $f$  ที่พิกัด  $(x,y)$  ใดๆภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้นๆ และเมื่อ  $x,y$  และแอมพลิจูดของ  $f$  เป็นค่าจำกัด (Finite value) เราจึงเรียกรูปภาพนี้เป็น ภาพดิจิทัล (Digital Image) และถ้ากำหนดให้ภาพ  $f(x,y)$  มีขนาด  $M$  แถวและ  $N$  คอลัมน์ และพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ของภาพคือที่ตำแหน่ง  $(x,y) = (0,0)$  แล้ว จะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปแมทริกซ์ (Matrix) ได้ดังนี้

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพดิจิทัลขนาด 600 X 400 พิกเซล

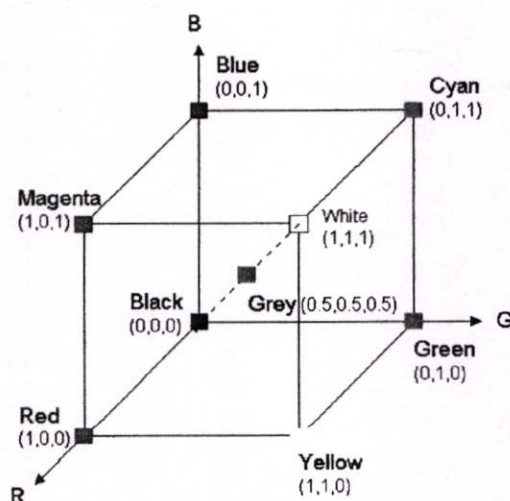
ในสมการที่ (3.1) ค่าแต่ละค่าที่อยู่ในเมทริกซ์จะเรียกว่าอิเลเมนต์ของภาพ (Picture Element) หรือพิกเซล (Pixel) โดยตำแหน่ง (0,0) จะอยู่ทางด้านซ้ายมือสุดด้านบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นภาพและจัดลำดับของเส้นภาพจะเรียงจากบนลงล่าง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.1

### 3.2 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสีได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยในการกำหนดสีให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งแบบจำลองสีที่ใช้ในปัจจุบันได้สร้างขึ้นมาเพื่อรองรับอุปกรณ์หรือโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ โดยที่แบบจำลองสีที่นิยมใช้ได้แก่แบบจำลองสี RGB ซึ่งเป็นรูปแบบสำหรับใช้ในงานแสดงผลทางมอนิเตอร์ กล้องถ่ายภาพ เป็นต้น แบบจำลองสี CMY และ CMYK เป็นรูปแบบที่ใช้ในงานพิมพ์ และแบบจำลองสี HSI เป็นแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับการรับรู้และแปลความหมายสีของมนุษย์มากที่สุด นอกจากนี้แบบจำลองสีแบบ HSI ยังมีข้อดีที่สามารถแยกองค์ประกอบของสีและค่าความเข้มแสงออกจากกันทำให้สามารถวิเคราะห์สีและค่าความเข้มแสงแยกจากกันได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบจำลองสี RGB และแบบจำลองสี HSI

#### 3.2.1 แบบจำลองสี RGB

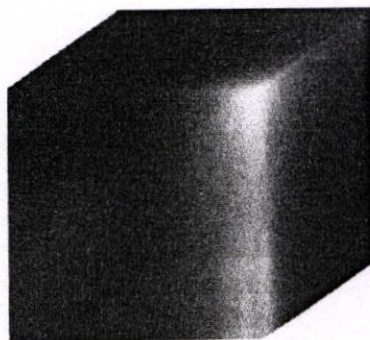
แบบจำลองสีแบบ RGB เป็นการอธิบายสีด้วยการผสมสีหลัก 3 สีได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินในอัตราส่วนต่างๆกัน ทำให้เกิดเป็นสีที่หลากหลายขึ้น ดังนั้นจึงเรียกสีทั้ง 3 สีนี้ว่าแม่สี (Primary Colors) แบบจำลองนี้ใช้ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate system) ในการสร้างแบบจำลองสีดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองสี RGB บนพิกัดคาร์ทีเซียน

จากรูปที่ 3.2 ถ้ากำหนดให้ค่าสีผ่านการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ดังนั้นลูกบาศก์ในรูปจะเป็นลูกบาศก์ขนาดหนึ่งหน่วย และค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินจะมีค่าอยู่ในช่วง  $[0,1]$  โดยที่สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินจะอยู่ที่มุมลูกบาศก์ทั้ง 3 มุม บนเส้นแกน R G และ B ตามลำดับ ส่วนสีเขียวน้ำเงิน (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลืองจะอยู่ที่มุมอีก 3 มุมที่เหลือ สำหรับที่จุดกำเนิดจะเป็นสีดำ ส่วนสีขาวจะอยู่ที่มุมที่อยู่ไกลสุดจากจุดกำเนิด ซึ่งในแบบจำลองสีนี้เส้นที่ลากระหว่างมุมที่เป็นสีดำจนถึงมุมที่เป็นสีขาวจะเป็นเส้นสเกลของสีเทา (Gray Scale) โดยในตำแหน่งพิกัดต่างๆบนเส้นสเกลสีเทานี้จะมีสัดส่วนของค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่าๆกันเสมอ ซึ่งจะไล่ระดับตั้งแต่ความเข้มแสงจากน้อยที่สุด (สีดำ) เรื่อยมาเป็นสีเทา และความเข้มแสงมากที่สุด (สีขาว) สำหรับสีอื่นๆ ของแบบจำลองนี้คือพิกัดต่างๆที่อยู่ภายในลูกบาศก์ที่ได้จากการนำเอาสีเหล่านี้มาผสมกันในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป

โดยทั่วไปแล้วภาพที่แทนด้วยแบบจำลองสี RGB นั้นในแต่ละระดับสีจะถูกแทนค่าด้วยตัวเลขขนาด 24 บิต หรือที่เรียกว่าภาพสี 24 บิต (24-bit color image) โดยจะแทนค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินสีละ 8 บิต ดังนั้นจะสามารถใช้แทนสีของภาพได้ทั้งหมด  $(2^8)^3 = 16,777,216$  สี หรือประมาณ 16.7 ล้านสี ซึ่งการผสมกันของแม่สีในรูปแบบลูกบาศก์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

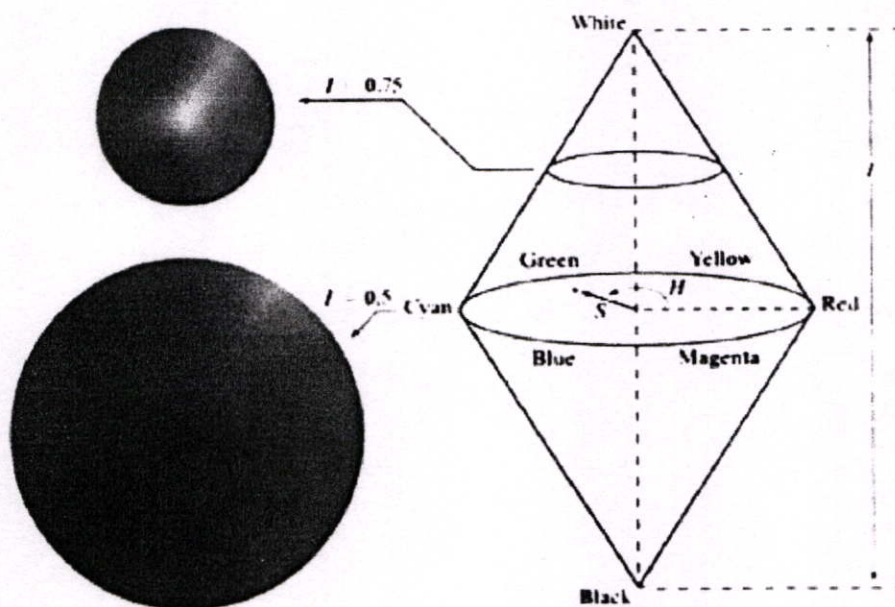


รูปที่ 3.3 แบบจำลองสี RGB 24 บิต

อย่างไรก็ตามแบบจำลองสี RGB ยังมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ประมวลผลภาพเนื่องจากแบบจำลองสีนี้ไม่ได้เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามลักษณะการรับรู้สีของมนุษย์ (Perceptual model) ซึ่งในการรับรู้สีของมนุษย์นั้นข้อมูลส่วนที่เป็นค่าสีกับข้อมูลค่าความเข้มแสงจะแยกจากกัน แต่ในแบบจำลองสี RGB ได้รวมเอาข้อมูลส่วนที่เป็นค่าสีและข้อมูลของความเข้มแสงเข้าด้วยกัน

### 3.2.2 แบบจำลองสี HSI

ในการรับรู้สีของมนุษย์ มนุษย์จะอธิบายสีด้วยค่าสี (Hue) ความอิ่มตัวของสี (Saturation) และความสว่าง (Brightness) โดยที่ค่าสีเป็นคุณลักษณะที่อธิบายสีที่แท้จริง ในขณะที่ความอิ่มตัวของสีอธิบายถึงระดับความบริสุทธิ์ของสี ส่วนความสว่างใช้อธิบายความเข้มแสง (Intensity) จากลักษณะการรับรู้สีของมนุษย์และข้อจำกัดของแบบจำลองสี RGB ดังที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้านี้ จึงได้มีการเสนอแบบจำลองสี HSI [12] ซึ่งได้แยกความเข้มแสงออกจากข้อมูลสีซึ่งได้แก่ค่าสีและความอิ่มตัวของสีออกจากกัน โดยแบบจำลองสี HSI ใช้ระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical coordinate system) ในการสร้างแบบจำลองสีซึ่งโดยปกติแล้วจะแสดงอยู่ในรูปทรงกรวยคู่ดังรูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSI



รูปที่ 3.4 แบบจำลองสี HSI

แบบจำลองสี HSI ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ H (Hue) คือค่าของสีบนระนาบวงกลม โดยสีจะเปลี่ยนแปลงตามมุมที่กวาดไปซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง  $[0, 360]$  เริ่มตั้งแต่สีแดง สีเหลือง สีเขียว สีเขียวน้ำเงิน สีน้ำเงิน สีม่วงแดง จนกระทั่งกลับมาที่สีแดง สำหรับ S (Saturation) เป็นค่าตามความยาวรัศมีของระนาบวงกลมซึ่งบอกถึงค่าความบริสุทธิ์ของสี หากความยาวของรัศมีน้อยหมายความว่าสีนั้นมีการเจือปนด้วยสีเทาค่อนข้างมาก ถ้ารัศมียาวไปจนถึงเส้นขอบของวงกลมก็จะหมายถึงสีนั้นมีความบริสุทธิ์มากขึ้นตามลำดับ สำหรับค่า B หรือ I (Brightness/Intensity) เป็นค่าที่อธิบายถึงความเข้มแสงของสี โดยถ้าค่าน้อยจะเข้าใกล้สีดำ แต่ถ้าค่านี้มากสีที่ได้ก็จะเป็นสีขาว เพราะมีค่าความเข้มแสงมาก

### 3.2.3 การแปลงค่าสีจากแบบจำลอง RGB เป็น HSI

การแปลงค่าสีที่อยู่ในรูปของแบบจำลอง RGB ให้อยู่ในรูปของแบบจำลอง HSI สามารถทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

ค่า  $H$  สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

$$H = \begin{cases} \theta & \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{if } B > G \end{cases} \quad (3.2)$$

โดยที่

$$\theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\left[ \frac{1}{4}[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)] \right]^{1/2}} \right\} \quad (3.3)$$

ค่า  $S$  สามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} [\min(R, G, B)] \quad (3.4)$$

และค่า  $I$  สามารถหาได้จากสมการที่ (3.5)

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \quad (3.5)$$

โดยกำหนดให้ค่า RGB ได้ถูกทำการนอร์มอลไลซ์ (Normalize) ให้เป็นค่าที่อยู่ในช่วง  $[0, 1]$  แล้ว ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (3.6) ถึง (3.8)

$$\text{Normalize } R = \frac{R}{R+G+B} \quad (3.6)$$

$$\text{Normalize } G = \frac{G}{R+G+B} \quad (3.7)$$

$$\text{Normalize } B = \frac{B}{R+G+B} \quad (3.8)$$

ค่า  $\theta$  เป็นมุมที่วัดเริ่มจากค่าสีแดงดังแสดงในรูปที่ 3.4 และสำหรับค่า  $H$  ในสมการที่ (3.2) สามารถทำให้อยู่ในช่วง  $[0, 1]$  ได้โดยการหารด้วย  $360^\circ$

### 3.3 ฮิสโตแกรมสี (Color Histogram)

ภายในรูปภาพจะประกอบไปด้วยสีระดับต่างๆมากมาย โดยฮิสโตแกรมสีจะใช้ในการอธิบายลักษณะการกระจายสีของภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.9)

$$h(r_k) = n_k \quad (3.9)$$

โดยที่  $r_k$  เป็นระดับสีที่กำหนด และ  $n_k$  เป็นจำนวนของพิกเซลในภาพซึ่งมีระดับสีเป็น  $r_k$  การคำนวณค่าออร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมเพื่อปรับค่าของฮิสโตแกรมให้อยู่ในช่วง  $[0,1]$  ทำได้โดยการหาร  $h(r_k)$  ด้วยจำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ  $n$  ดังสมการที่ (3.10)

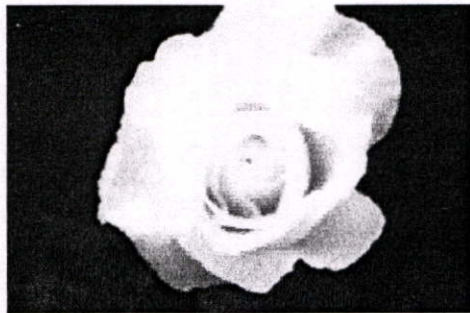
$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} \quad (3.10)$$

ฮิสโตแกรมสีจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนมุมมองของภาพ เนื่องจากการเปลี่ยนมุมมองจะไม่ได้ทำให้จำนวนพิกเซลรวมของสีเกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่สำหรับรูปร่างของภาพเมื่อมีการเปลี่ยนมุมมองแล้วรูปร่างของภาพจะเปลี่ยนแปลงไปมาก ฮิสโตแกรมเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการอธิบายความน่าจะเป็นของสีที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งค่าของสีเดียวกันจะอยู่ในระดับของสีเดียวกัน ฮิสโตแกรมสีไม่เหมาะที่จะใช้ในการจดจำ (Recognition) เนื่องจากในการจะระบุว่าภาพใดเหมือนกันนั้นจะต้องดูที่กลุ่มของสีที่ปรากฏภายในภาพว่าอยู่ในตำแหน่งเดียวกันหรือไม่ แต่จากคุณสมบัติของฮิสโตแกรมสีจะไม่สามารถบอกได้ว่าระดับสีแต่ละระดับอยู่ที่ตำแหน่งใดภายในภาพ อย่างไรก็ตามฮิสโตแกรมสีกลับได้รับความนิยมในการอธิบายคุณลักษณะของภาพ เพราะส่วนใหญ่แล้วพบว่า การที่สีที่ปรากฏในภาพมีความมัว เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ทำให้กลุ่มของสีที่ปรากฏในภาพเปลี่ยนตำแหน่งไป แต่ผลกระทบที่มีต่อฮิสโตแกรมสีจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งทำให้การค้นหาภาพยังคงมีประสิทธิภาพที่ดีได้

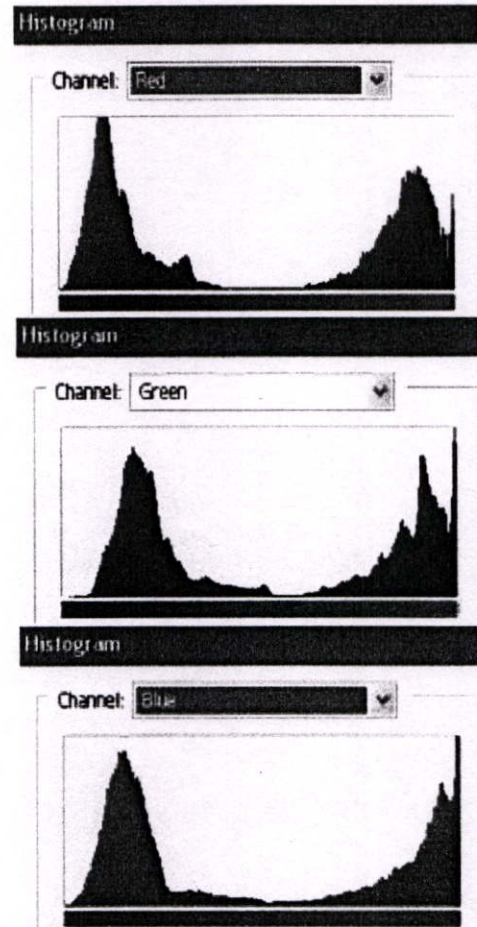
ในการหาค่าฮิสโตแกรมสีสามารถทำได้โดยการนับจำนวนพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ในระดับความเข้มแสงนั้นๆ มีขั้นตอนการทำดังนี้

1. สร้างอาร์เรย์ของฮิสโตแกรม ตามจำนวนบิน (bin) ที่ต้องการ
2. เคลียร์ค่าอาร์เรย์ทั้งหมดของฮิสโตแกรม
3. สำหรับทุกๆ พิกเซล ณ พิกัด  $x, y$  ใดๆ ให้บวกเพิ่มค่าฮิสโตแกรมที่ระดับความเข้มแสงนั้น ที่ละหนึ่งค่า

ฮิสโตแกรมสีสำหรับภาพที่ใช้แบบจำลองสี RGB จะประกอบด้วยฮิสโตแกรม 3 ฮิสโตแกรมคือ ฮิสโตแกรมสีแดง เขียว และน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 ฮิสโตแกรมของภาพสี

(ก) ภาพสีในแบบจำลองสี RGB

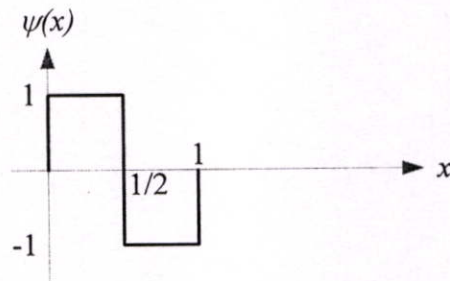
(ข) ฮิสโตแกรมของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

### 3.4 การแปลงเวฟเลิตแบบ Haar

การวิเคราะห์เวฟเลิตได้ถูกคิดค้นและพัฒนาโดยนักคณิตศาสตร์ในปี ค.ศ. 1980 หลังจากนั้นได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปี 1990 เพราะเวฟเลิตสามารถที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณต่างๆ หรือแม้กระทั่งการวิเคราะห์ภาพหรือนำไปใช้ในการบีบอัดข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการแปลงเวฟเลิตจะถูกจัดเรียงใหม่ โดยทำการแยกค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตัวกรองความถี่สูงและความถี่ต่ำออกจากกัน ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการแปลงเวฟเลิตทั้งหมดจะมีจำนวนเท่ากับข้อมูลอินพุต ตัวอย่างการนำเวฟเลิตไปประยุกต์ใช้งานด้านการประมวลผลรูปภาพเช่น การเก็บข้อมูลลายนิ้วมือของ FBI การลดสัญญาณรบกวน การบีบอัดข้อมูลรูปภาพ และการสร้างคำจำกัดความของรูปภาพ เป็นต้น

สำหรับเวฟเล็ตแบบ Haar [13] เป็นเวฟเล็ตแบบพื้นฐานที่สุดของเวฟเล็ต ได้ถูกคิดค้นขึ้นโดยนักคณิตศาสตร์ชาวฮังการีชื่อ Alfred Haar ในปี 1909 โดยฟังก์ชัน เวฟเล็ตแบบ Haar แสดงในสมการที่ (3.11) และสามารถแสดงในรูปกราฟได้ดังรูปที่ 3.6

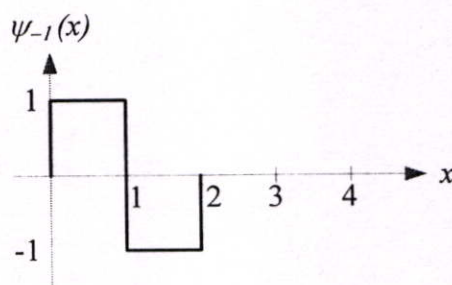
$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq x < 1 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3.11)$$



รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Haar เริ่มจากการ Scale และ Shift ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar ซึ่งสมการสำหรับ Scale ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar แสดงไว้ในสมการที่ (3.12) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าแทนค่า  $j = -1$  จะได้กราฟดังรูปที่ 3.7

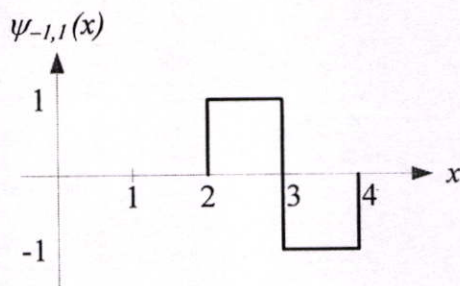
$$\psi_j(x) = \psi(2^j x) \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.7 ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar เมื่อถูก Scale ( $j = -1$ )

ส่วนการ Shift ฟังก์ชันเวฟเล็ตแบบ Haar สามารถทำได้โดยการเพิ่ม Delay  $k$  เข้าไปจะได้ดังสมการที่ (3.13) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าแทนค่า  $j = -1, k = 1$  จะได้กราฟดังรูปที่ 3.8

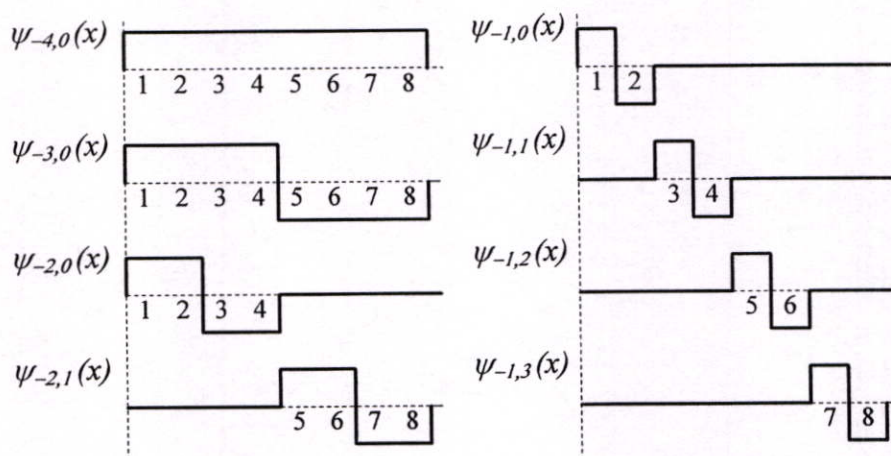
$$\psi_{j,k}(x) = \psi(2^j x - k) \quad (3.13)$$



รูปที่ 3.8 ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar เมื่อถูก Scale และ Shift ( $j = -1, k = 1$ )

ค่าสัมประสิทธิ์ของเวฟเลตแบบ Haar แต่ละค่าจะได้จากการคูณข้อมูลที่ต้องการแปลงด้วย ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar ที่ถูก Scale และ Shift ดังสมการที่ (3.14) เมื่อ  $f(x)$  คือข้อมูลที่ต้องการ แปลงและ  $N$  คือขนาดข้อมูลที่ต้องการแปลง ในรูปที่ 3.9 แสดงฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar ที่ถูก Scale และ Shift สำหรับแปลงข้อมูลที่มีขนาด 8 หน่วย

$$c_{j,k} = 2^j \sum_{x=0}^N f(x) \cdot \psi_{j,k}(x) \quad (3.14)$$



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar สำหรับแปลงข้อมูลที่มีความยาว 8 หน่วย

ยกตัวอย่างเช่น ถ้ามี  $f(x) = [9 \ 7 \ 3 \ 6 \ 8 \ 5 \ 2 \ 4]$  สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของ เวฟเลตแบบ Haar ได้ดังนี้

$$C_{-1,0} = \frac{1}{2} [9(1) + 7(-1) + 3(0) + 6(0) + 8(0) + 5(0) + 2(0) + 4(0)] = 1$$

$$C_{-1,1} = \frac{1}{2} [9(0) + 7(0) + 3(1) + 6(-1) + 8(0) + 5(0) + 2(0) + 4(0)] = -1.5$$

$$C_{-1,2} = \frac{1}{2} [9(0) + 7(0) + 3(0) + 6(0) + 8(1) + 5(-1) + 2(0) + 4(0)] = 1.5$$

$$C_{-1,3} = \frac{1}{2}[9(0) + 7(0) + 3(0) + 6(0) + 8(0) + 5(0) + 2(1) + 4(-1)] = -1$$

$$C_{-2,0} = \frac{1}{4}[9(1) + 7(1) + 3(-1) + 6(-1) + 8(0) + 5(0) + 2(0) + 4(0)] = 1.75$$

$$C_{-2,1} = \frac{1}{4}[9(0) + 7(0) + 3(0) + 6(0) + 8(1) + 5(1) + 2(-1) + 4(-1)] = 1.75$$

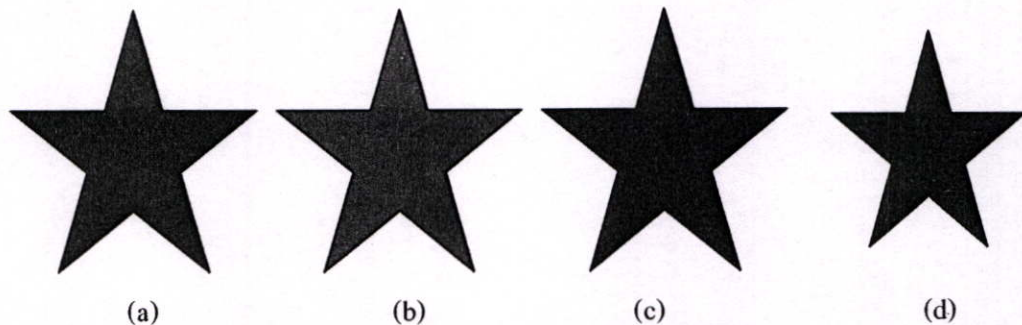
$$C_{-3,0} = \frac{1}{8}[9(1) + 7(1) + 3(1) + 6(1) + 8(-1) + 5(-1) + 2(-1) + 4(-1)] = 0.75$$

$$C_{-4,0} = \frac{1}{16}[9(1) + 7(1) + 3(1) + 6(1) + 8(1) + 5(1) + 2(1) + 4(1)] = 2.75$$

### 3.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ

#### 3.5.1 ค่าความเหมือน (Similarity) และ ค่าความไม่เหมือน (Dissimilarity) [14]

จากรูปภาพที่ 3.10 มีรูปภาพดาวอยู่ทั้งหมด 4 ภาพ เรามักได้ว่าภาพ a เหมือนกับ ภาพ c โดยภาพ a, b และ c เป็นภาพดาวที่มีขนาดเท่าๆกัน ขณะที่ a, c และ d เป็นภาพดาวที่มีสีเดียวกันจะเห็นได้ว่าขนาด และสีเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการวัดค่าความเหมือน(Similarity)ของภาพได้ แต่ค่าความเหมือนนั้นวัดได้ยาก โดยค่าความเหมือนนั้นเป็นปริมาณที่สะท้อนถึงกำลัง(Strength) ของความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุ (object) 2 วัตถุ หรือคุณลักษณะ (Feature) 2 คุณลักษณะ ถ้ากำหนดให้ค่าความเหมือนของวัตถุ  $i$  กับวัตถุ  $j$  คือ  $S_{ij}$  เราจะสามารถวัดค่าความเหมือนด้วยวิธีต่างๆ มากมายหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างภาพดาว

ส่วนค่าความต่าง (Distance) นั้นใช้สำหรับวัดค่าความไม่เหมือน (Dissimilarity) ซึ่งค่าความไม่เหมือนจะเป็นการวัดความแตกต่างกันระหว่างสองสิ่งที่จะเหมือนกัน (Discrepancy) โดยอาศัยคุณลักษณะของสิ่งนั้น นอกจากนี้ค่าความไม่เหมือนยังสามารถใช้เพื่อวัดความผิดปกติระหว่างวัตถุสองวัตถุ หรือภาพสองภาพได้อีกด้วย สำหรับวิธีวัดค่าความเหมือนและค่าความต่างนั้นมีด้วยกัน

หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีลักษณะเฉพาะของแต่ละวิธี ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Euclidean Distance และ Hamming Distance เท่านั้น

### 3.5.2 Euclidean Distance

Euclidean Distance เป็นค่าความต่างที่นิยมใช้กันมาก โดยทั่วไปเมื่อพูดถึงค่าความต่างคนส่วนใหญ่มักจะอ้างถึง Euclidean Distance โดย Euclidean Distance เป็นการพิจารณารากของผลต่างกำลังสองระหว่างพิกัดของวัตถุสองวัตถุ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (3.15)

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3.15)$$

โดยที่

$d_{ij}$  คือค่า Euclidean Distance ระหว่างวัตถุ  $i$  และวัตถุ  $j$

$x_i$  คือวัตถุ  $i$  โดยที่  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$

$x_j$  คือวัตถุ  $j$  โดยที่  $x_j = (x_{j1}, x_{j2}, x_{j3}, \dots, x_{jn})$

### 3.5.3 Hamming Distance

ให้ “คำ” (Word) คือลำดับของค่าไบนารี 0 และ 1 ที่มีขอบเขตจำกัด (Finite Binary Sequence) ถ้ามีคำ 2 คำที่มีความยาวเท่ากัน เราสามารถนับจำนวนตำแหน่งซึ่งมีค่าตัวเลขในตำแหน่งเดียวกันที่แตกต่างกันได้ คำที่ได้จะเรียกว่า Hamming Distance สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (3.16)

$$d_{ij} = q + r \quad (3.16)$$

โดยที่

$d_{ij}$  คือค่า Hamming Distance ระหว่างวัตถุ  $i$  และวัตถุ  $j$

$q$  คือจำนวนของตำแหน่งที่มีค่าในตำแหน่งนั้นๆ ของวัตถุ  $i$  เป็น 1 ส่วนวัตถุ  $j$  มีค่าเป็น 0

$r$  คือจำนวนของตำแหน่งที่มีค่าในตำแหน่งนั้นๆ ของวัตถุ  $i$  เป็น 0 ส่วนวัตถุ  $j$  มีค่าเป็น 1

ยกตัวอย่างเช่น

คุณลักษณะของผลไม้	รูปร่างกลม	หวาน	เปรี้ยว	กรอบ
แอปเปิ้ล	Yes	Yes	Yes	Yes
กล้วย	No	Yes	No	No

ถ้าแทน Yes เป็น 1 และ No เป็น 0 เราจะได้ค่าพิกัดของ แอปเปิ้ลคือ (1,1,1,1) ส่วนพิกัดของกล้วยคือ (0,1,0,0) ดังนั้น

WORD1 (แอปเปิ้ล) 1 1 1 1

WORD2 (กล้วย) 0 1 0 0

จะเห็นว่ามี 3 ตำแหน่งที่มีค่าต่างกัน ( $q = 3, r = 0$ ) นั่นคือ Hamming Distance เท่ากับ 3 นั่นเอง จะเห็นว่าการหาค่า Hamming Distance ระหว่างวัตถุ 2 วัตถุนั้นยังสามารถทำได้โดยอาศัยตัวดำเนินการ XOR โดยการนำค่าคุณลักษณะทั้ง 2 ค่ามา XOR กันแล้วนับจำนวนคิติดของผลลัพธ์ที่มีค่าเท่ากับ '1' ยกตัวอย่างเช่น

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0 \\ \text{XOR} \\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ \hline 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1 \end{array} \quad \text{จะได้ค่า Hamming Distance เท่ากับ 3}$$

### 3.6 การวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพ

การวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีวัดค่า ANMRR [15] มาใช้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ MPEG-7 ได้พัฒนาขึ้น แต่เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีนี้เป็นการรวมเอาการวัดความแม่นยำและการเรียกคืนไว้ในค่าเดียว ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์แนวโน้มผลของการค้นหาได้ จึงนำเอาวิธีการวัดประสิทธิภาพโดยใช้ความแม่นยำและการเรียกคืน (Recall and Precision) [16] มาใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลของการค้นหาให้เข้าใจได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ในการวัดประสิทธิภาพทั้ง 2 วิธีจะเริ่มจากการเลือกชุดของภาพซึ่งประกอบด้วยภาพคำถาม (Query Image) และกลุ่มภาพที่ถูกต้อง (Ground Truth Images) ซึ่งหมายถึงกลุ่มของภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถามนั้นไว้ล่วงหน้า ซึ่งการเลือกชุดของภาพนี้ทำแบบ Manual

จากนั้นในการค้นคืนรูปภาพจะเริ่มจากการเก็บค่าค่าจำกัดความของรูปภาพแต่ละภาพไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้า เมื่อมีการค้นหาภาพ ค่าจำกัดความของภาพคำถามจะถูกคำนวณ และนำค่าค่าจำกัดความของภาพคำถามไปเปรียบเทียบกับความแตกต่างกับค่าจำกัดความของภาพในฐานข้อมูล สุดท้ายภาพทั้งหมดจะถูกเรียงลำดับตามค่าความแตกต่างจากค่าที่น้อยไปค่ามาก ซึ่งภาพผลลัพธ์ที่ถูกเรียงลำดับแล้วนี้จะต้องมีการกำหนดจำนวนของภาพผลลัพธ์ที่จะพิจารณาหรือแสดงผล โดยการวัดประสิทธิภาพทั้ง 2 วิธีจะใช้วิธีการกำหนดตามวิธีวัดผลของ MPEG-7 ดังสมการที่ (3.17)

ให้  $|A|$  คือ จำนวนของภาพผลลัพธ์  $|A|$  ภาพแรกที่พิจารณา

$$|A| = \min(4 * NG(q), 2 * GTM) \quad (3.17)$$

โดยที่

$q$  คือ ภาพคำถาม  $q$

$NG(q)$  คือ จำนวนของ Ground Truth Image ของภาพคำถาม  $q$

$GTM$  คือ จำนวนของ Ground Truth Image ที่มากที่สุดของชุดภาพที่ทำการทดลอง

### 3.6.1 ANMRR

กำหนดให้

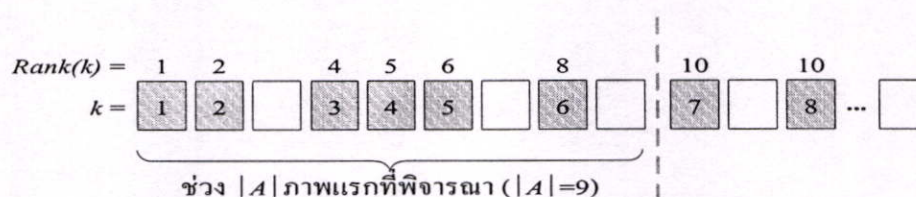
$q$  คือ ภาพคำถาม  $q$

$NG(q)$  คือ จำนวนของ Ground Truth Image ของภาพคำถาม  $q$

$|A|$  คือ จำนวนของภาพผลลัพธ์  $|A|$  ภาพที่พิจารณา

$k$  คือ Ground Truth Image ภาพที่  $k$

$Rank(k)$  คือ ตำแหน่งของ Ground Truth Image ภาพที่  $k$  ที่ถูกค้นคืนอยู่ในช่วง  $|A|$  ภาพแรก ส่วน Ground Truth Image ที่ไม่อยู่ในช่วง  $|A|$  ภาพแรกของการค้นคืนจะคิดค่าตำแหน่งเป็น  $(|A|+1)$



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี ANMRR

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าให้กับตัวแปรต่างๆ โดยสมมติให้รูปสี่เหลี่ยมแต่ละรูปแทนรูปภาพที่เป็นผลลัพธ์จากการค้นคืนโดยเรียงเป็นลำดับจากซ้ายไปขวา รูปสี่เหลี่ยมสีเข้มคือ Ground Truth Image ซึ่งเป็นภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถาม  $q$  ซึ่งในตัวอย่างนี้มีจำนวน 8 ภาพ นั่นคือ  $NG(q) = 8$  และเราจะได้  $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  และ 8 ตามลำดับ

และสมมติให้ช่วง  $|A|$  ภาพแรกที่จะพิจารณาคือ  $|A| = 9$  จะทำให้เราได้ตำแหน่งของ Ground Truth Image หรือ  $Rank(k) = 1, 2, 4, 5, 6, 8, 10$  และ 10 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าตำแหน่งของ Ground Truth Image 2 ภาพสุดท้ายเกินจากช่วง  $|A|$  จึงคิดค่าตำแหน่งเท่ากับ  $|A|+1$

จากค่าตัวแปรต่างๆตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เราสามารถหาค่า ANMRR ได้โดยขั้นแรกหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่ง  $AVR(q)$  สำหรับภาพคำถาม  $q$  ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.18)

$$AVR(q) = \sum_{k=1}^{NG(q)} \frac{Rank(k)}{NG(q)} \quad (3.18)$$

จากนั้นทำการปรับปรุงวิธีคำนวณค่าตำแหน่งของการค้นคืนได้ดังสมการที่ (3.19)

$$MRR(q) = AVR(q) - 0.5 - \frac{NG(q)}{2} \quad (3.19)$$

ตำแหน่งของการค้นคืนที่ได้ปรับปรุงแล้วนี้จะมีค่า  $MRR$  เป็น 0 เมื่อการค้นคืนสามารถทำได้  
อย่างดีเยี่ยม นั่นคือ Ground Truth Image ทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งบนสุดของการค้นคืน

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าตำแหน่งของการค้นคืนให้อยู่ในช่วงปกติ (Normalized) ดังสมการที่  
(3.20)

$$NMRR(q) = \frac{MRR(q)}{|A| + 0.5 - 0.5 * NG(q)} \quad (3.20)$$

และขั้นสุดท้ายก็คือการคำนวณค่าเฉลี่ยของ  $NMRR$  ของภาพคำถามทั้งหมด  $Q$  ภาพ ดัง  
สมการที่ (3.21)

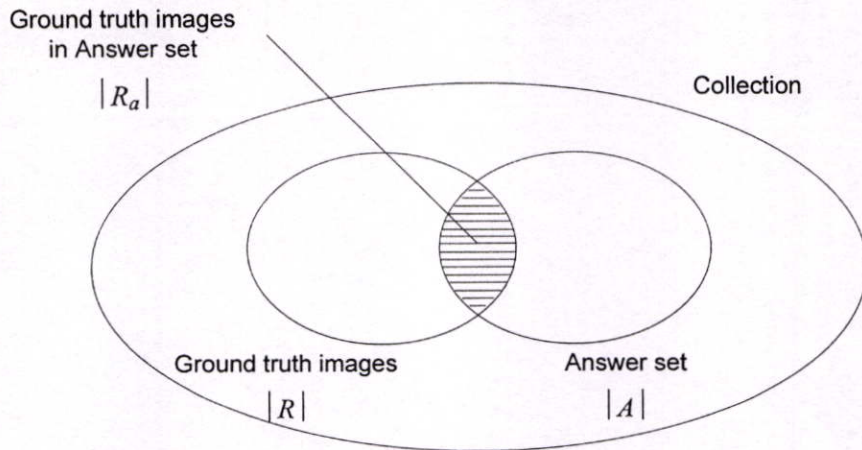
$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q NMRR(q) \quad (3.21)$$

ซึ่งค่าที่ใช้เป็นเครื่องวัดประสิทธิภาพของการค้นคืนก็คือ ค่าเฉลี่ยของการปรับปรุงตำแหน่งของ  
การค้นคืนให้อยู่ในช่วงปกติ (Average Normalized Modified Retrieval Rank: ANMRR) โดยค่า  
น้อยกว่าหมายถึงมีคุณสมบัติในการค้นคืนที่ดีกว่า

### 3.6.2 Recall และ Precision

กำหนดให้

- $R$  คือเซตของกลุ่มภาพที่ถูกต้อง (Ground Truth Images หรือ Relevant Documents)
- $|R|$  คือจำนวนภาพในเซต  $R$
- $A$  คือเซตของผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืน (Answer Set)
- $|A|$  คือจำนวนภาพในเซต  $A$  ซึ่งก็คือจำนวนของภาพผลลัพธ์  $|A|$  ภาพแรกที่พิจารณา
- $|R_a|$  คือจำนวนภาพที่อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ระหว่างเซต  $R$  และเซต  $A$



รูปที่ 3.12 Precision และ Recall

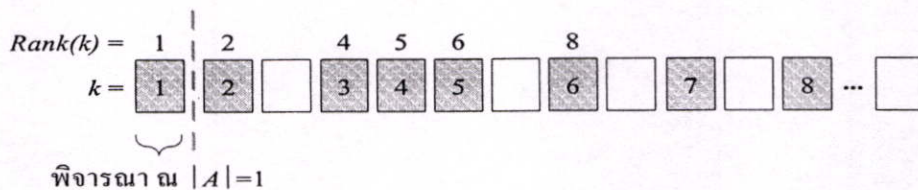
สามารถแสดงแผนภาพของตัวแปรต่างๆ ได้ดังรูปที่ 3.12 โดยค่า Recall และค่า Precision สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.22) และ (3.23)

$$Recall = \frac{|R_a|}{|R|} \tag{3.22}$$

$$Precision = \frac{|R_a|}{|A|} \tag{3.23}$$

จะเห็นว่าค่า Recall คืออัตราส่วนของจำนวน Ground Truth Images ที่อยู่ในเซตของผลลัพธ์ต่อจำนวน Ground Truth Images ทั้งหมด ส่วนค่า Precision คืออัตราส่วนของจำนวน Ground Truth Images ที่อยู่ในเซตของผลลัพธ์ต่อจำนวนภาพผลลัพธ์ทั้งหมด

แต่อย่างไรก็ตามเราไม่ต้องการวัดผลของการค้นคืนที่ปรากฏอยู่ใน Answer Set  $A$  ทั้งหมดในครั้งเดียว แต่ต้องการวัดผลของการค้นคืนโดยแสดงตามตำแหน่งของ Ground Truth Images ที่ปรากฏในผลของการค้นคืน ซึ่งจะทำให้ค่า Recall และ Precision เปลี่ยนแปลงตามการพิจารณาผลลัพธ์ใน Answer Set  $A$  ณ ระดับ Recall ต่างๆ



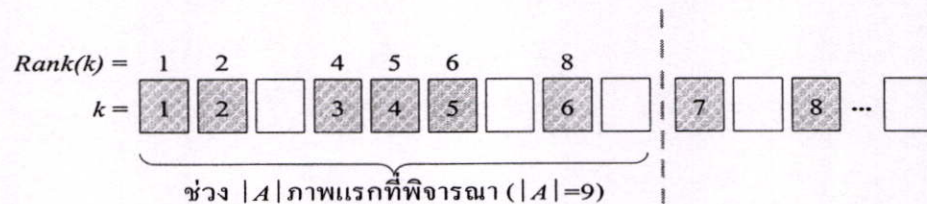
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างหาค่า Precision ณ ระดับ Recall = 12.5%

หากใช้ตัวอย่างเดียวกันกับตัวอย่างของวิธี ANMRR จะสามารถคำนวณค่า Precision ตามระดับ Recall ต่างๆ ได้โดยจะเริ่มที่ Ground Truth Image ที่  $k = 1$  จากรูปที่ 3.13 ประกอบที่ ณ ระดับ Recall =  $\frac{1}{8} = 12.5\%$  จะได้ค่า Precision =  $\frac{1}{1} = 100\%$  เมื่อเลื่อนไปพิจารณา ณ ระดับ Recall =  $\frac{2}{8} = 25.0\%$  จะได้ค่า Precision =  $\frac{2}{2} = 100\%$  และเมื่อเลื่อนไปพิจารณา ณ ระดับ Recall =  $\frac{3}{8} = 37.5\%$  จะได้ค่า Precision =  $\frac{3}{4} = 75\%$  เป็นต้น (ดูตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการหาค่า Recall และ Precision

k	Recall	Precision
1	$\frac{1}{8} = 12.5\%$	$\frac{1}{1} = 100\%$
2	$\frac{2}{8} = 25.0\%$	$\frac{2}{2} = 100\%$
3	$\frac{3}{8} = 37.5\%$	$\frac{3}{4} = 75\%$
4	$\frac{4}{8} = 50.0\%$	$\frac{4}{5} = 80\%$
5	$\frac{5}{8} = 62.5\%$	$\frac{5}{6} = 83.33\%$
6	$\frac{6}{8} = 75.0\%$	$\frac{6}{8} = 75\%$
7	$\frac{7}{8} = 87.5\%$	0%
8	$\frac{8}{8} = 100\%$	0%

แต่ที่ระดับ Recall = 87.5% และ 100% จะเห็นว่าค่า Precision จะเป็น 0% เนื่องจาก Ground Truth Images ทั้ง 2 ภาพสุดท้ายอยู่เลยจากช่วง  $|A|$  ภาพที่พิจารณา ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างค่า Precision = 0% เมื่อ Ground Truth Images อยู่เลยจากช่วง  $|A|$  ภาพแรก

ซึ่งการใช้ค่า Recall และ Precision วิธีนี้สามารถอธิบายความหมายของผลการค้นคืน ณ ระดับ Recall ต่างๆ ได้เช่น ที่ระดับ Recall = 37.5 % หมายความว่าเมื่อเราต้องการให้ Ground Truth Images ปรากฏใน Answer Set เป็น 37.5% จะทำให้โอกาสที่จะเจอภาพ Ground Truth Images ใน Answer Set เป็น 75 % ส่วนที่ระดับ Recall = 50% หมายความว่าเมื่อเราต้องการให้ Ground Truth Images ปรากฏใน Answer Set เป็น 50% จะทำให้โอกาสที่จะเจอภาพ Ground Truth Images ใน Answer Set เป็น 80 % นั่นเอง สำหรับที่ระดับ Recall = 87.5% นั้น มีค่า Precision = 0% หมายความว่าไม่มีโอกาสที่จะทำให้ Ground Truth Images ปรากฏใน Answer Set เป็น 87.5% ได้เนื่องจากภาพ Ground Truth Images 2 ภาพสุดท้ายนั้นอยู่ในตำแหน่งที่เลยจากช่วงที่เราพิจารณา

จากตัวอย่างที่ได้อธิบายมานี้เป็นการคำนวณค่า Recall และ Precision จากการค้นคืนหนึ่งครั้ง เมื่อทำการค้นคืนจำนวนหลายๆ ครั้งจะต้องมีการหาค่า Precision เฉลี่ยจากผลการทดลองค้นคืน ภาพทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.24)

$$\bar{P}(r) = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q P_q(r) \quad (3.24)$$

โดยที่

$\bar{P}(r)$  คือ ค่าเฉลี่ย Precision ที่ระดับ Recall  $r$

$P_q(r)$  คือ ค่า Precision ของภาพคำถาม  $q$  ที่ระดับ Recall  $r$

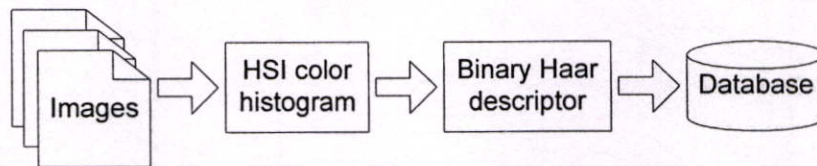
$Q$  คือ จำนวนของภาพคำถามทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

## การสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar และการค้นคืนรูปภาพ

### 4.1 บทนำ

ขั้นตอนการสร้างระบบการค้นคืนรูปภาพสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกจะเป็น ส่วนของการสร้างคำจำกัดความ ซึ่งจะทำการสร้างคำจำกัดความของภาพทั้งหมดเก็บไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้าเพื่อที่จะนำมาใช้ในการค้นคืน และส่วนที่สองคือส่วนของการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูล โดยในการค้นคืนจะเริ่มจากการกำหนดภาพที่เป็นภาพคำถามให้กับระบบ จากนั้นระบบ จะทำการคำนวณหาคำจำกัดความของภาพคำถาม เพื่อนำคำจำกัดความของภาพคำถามนั้นมาเปรียบเทียบกับความต่างกับคำจำกัดความของภาพในฐานข้อมูล และสุดท้ายจะแสดงผลของการค้นคืน โดยจัดเรียงภาพตามค่าความต่างที่ได้ ในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการในการสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าฮิสโตแกรมสี การค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar รวมถึง การปรับปรุงระบบการค้นคืนภาพโดยนำเทคนิค Pruning มาใช้กับการค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar

### 4.2 การสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar



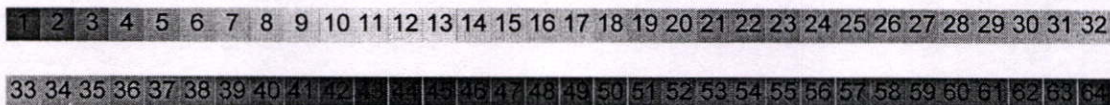
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนของการสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar โดยเริ่มจากการสร้างฮิสโตแกรมสีของภาพโดยใช้แบบจำลองสี HSI จากนั้นนำฮิสโตแกรมที่ได้ไปสร้างเป็นคำจำกัดความสีแบบ Haar แล้วเก็บคำจำกัดความสีของภาพแต่ละภาพที่ได้ไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้า ซึ่งในการคำนวณเพื่อสร้างคำจำกัดความสีแบบ Haar มีขั้นตอนดังนี้

#### 4.2.1 สร้างฮิสโตแกรมสี

ในขั้นแรกจะเป็นการสร้างฮิสโตแกรมสี โดยใช้แบบจำลองสีและตารางการแปลงฮิสโตแกรมที่เหมาะสม โดยฮิสโตแกรมนี้อาจจะเป็นฮิสโตแกรมขนาดหนึ่ง สอง หรือสามมิติก็ได้ สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองสี HSI โดยนำค่าสี (Hue) ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่อธิบายสีที่แท้จริงของภาพมาใช้ในการสร้างฮิสโตแกรมสีแบบหนึ่งมิติขนาด 64 บิต โดยทำการแบ่งระดับค่าสีออกเป็น 64 ช่วงเท่าๆกัน จากการแบ่งระดับสีดังกล่าวสามารถแสดงสีกลางของระดับสีในแต่ละบิตได้ดังรูปที่

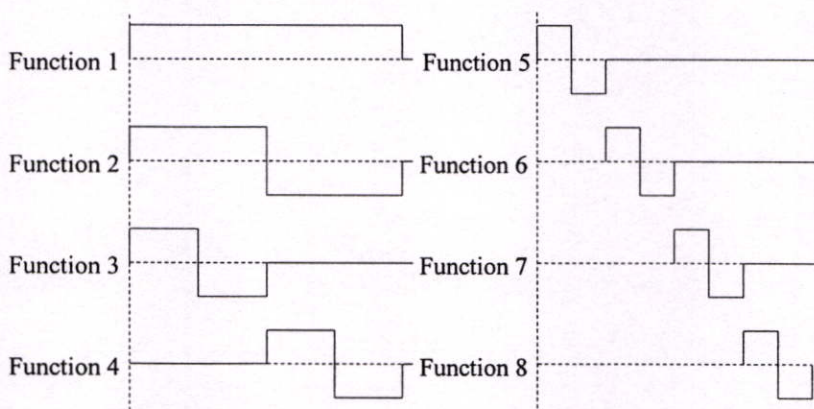
4.2 หลังจากได้ฮิสโตแกรมสีของภาพแล้ว จะนำค่าฮิสโตแกรมที่ได้มาคำนวณค่าออร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมเพื่อปรับค่าของฮิสโตแกรมให้อยู่ในช่วง [0,1] โดยค่าออร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมสีนี้จะอธิบายถึงเปอร์เซ็นต์ของสีแต่ละระดับที่มีอยู่ในภาพทำให้การเปรียบเทียบปริมาณสีไม่ขึ้นกับขนาดของภาพ



รูปที่ 4.2 แสดงสีของฮิสโตแกรมสีขนาด 64 บิตที่ใช้แบบจำลองสี HSI

4.2.2 การแปลงเวฟเลตแบบ Haar และการปรับค่าให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง

หลังจากได้ค่าออร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมสีขนาด 64 บิตแล้วจะนำค่าที่ได้มาคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตแบบ Haar โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์จะ ได้จากการคูณข้อมูลที่ต้องการกับฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar ที่ถูก Scale และ Shift

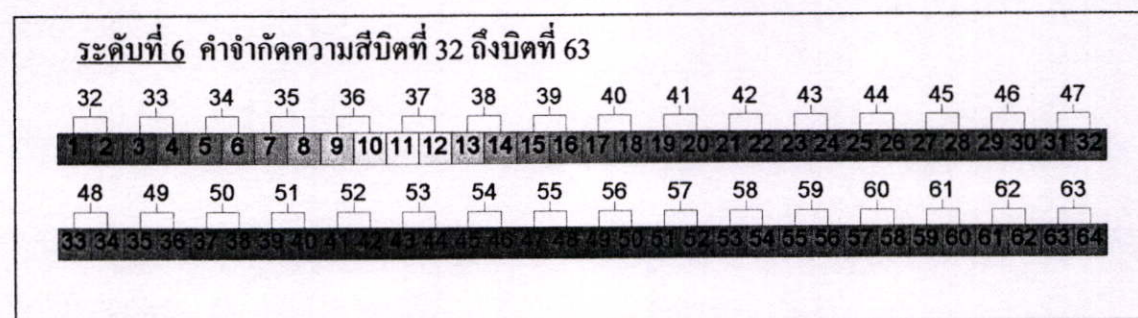
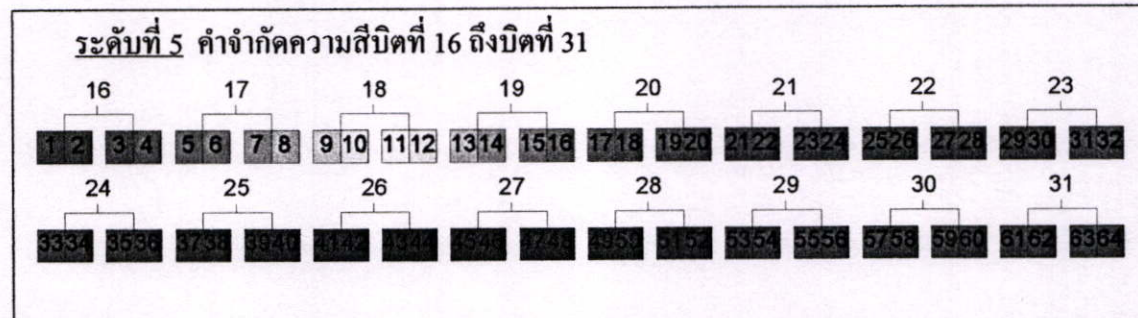
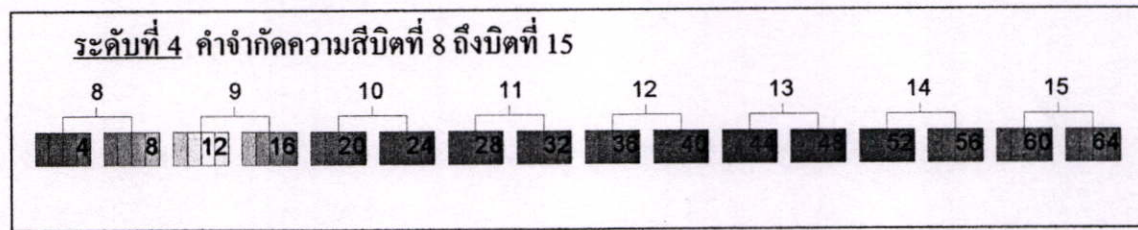
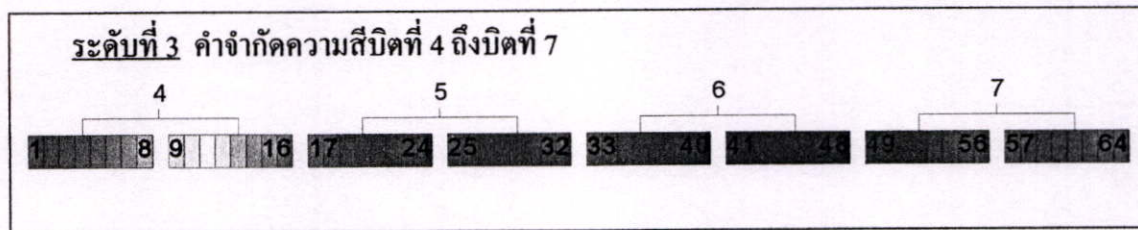
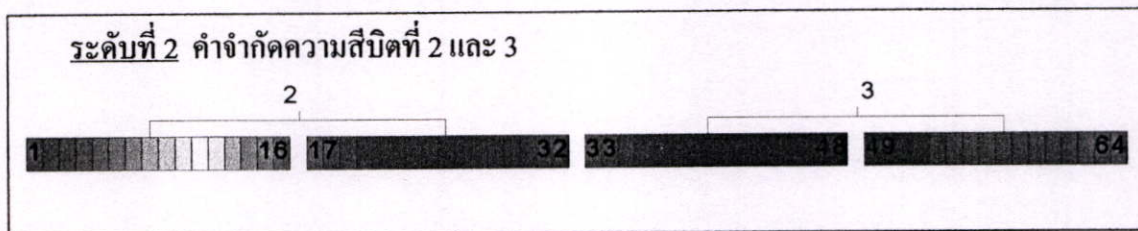
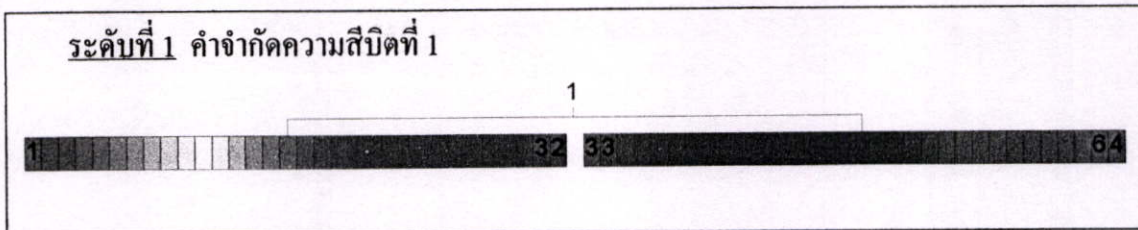


รูปที่ 4.3 ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar สำหรับแปลงข้อมูลที่มีความยาว 8 หน่วย

รูปที่ 4.3 แสดงฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Haar สำหรับแปลงข้อมูลที่มีความยาว 8 หน่วย ตัวอย่างเช่นค่าสัมประสิทธิ์ที่ 2 จะเป็นค่าบวกถ้าผลรวมของค่าฮิสโตแกรมในครึ่งซ้ายมากกว่าผลรวมของค่าฮิสโตแกรมในครึ่งขวา (จากฟังก์ชันที่ 2 ในรูปที่ 4.3) และสัมประสิทธิ์จะมีค่าเป็นลบถ้าได้ผลในทางตรงข้าม ในทำนองเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์ที่ 3 จะเป็นค่าบวกถ้าหากผลรวมของค่าฮิสโตแกรมในครึ่งแรกมากกว่าผลรวมของค่าฮิสโตแกรมในครึ่งหลัง (จากฟังก์ชันที่ 3 ในรูปที่ 4.3) และสัมประสิทธิ์จะมีค่าเป็นลบถ้าได้ผลในทางตรงข้าม แต่เนื่องจากสัมประสิทธิ์ค่าแรกจะมีค่าเป็นบวกเสมอ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์นี้จะไม่ถูกนำมาใช้ในคำจำกัดความนี้

จากนั้นจะนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาปรับค่าให้อยู่ในรูปเลขฐานสองโดยที่

- ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์ จะถูกปรับค่าให้เป็น '1'
- ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ จะถูกปรับค่าให้เป็น '0'



รูปที่ 4.4 คำจำกัดความสปีดแบบ Haar ในแต่ละระดับ

รูปที่ 4.4 แสดงการคำนวณค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยเริ่มจากการนำค่าของฮิสโตแกรมที่ได้ 64 ค่ามาเก็บไว้ในอาร์เรย์หนึ่งมิติ ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตแบบ Haar จะถูกคำนวณในลักษณะลำดับขั้น โดยในระดับแรกอาร์เรย์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน จากนั้นนำผลรวมของค่าฮิสโตแกรมในครึ่งซ้ายมาลบกับผลรวมของค่าฮิสโตแกรมในครึ่งขวา บิตแรกของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar จะมีเป็นค่า '1' ถ้าผลที่ได้เป็นค่าที่มากกว่าศูนย์ แต่ถ้าผลที่ได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar จะมีค่าเป็น '0' และจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ในระดับที่ 2, 3, 4, 5 และระดับที่ 6 ซึ่งจะทำได้ค่าสัมประสิทธิ์ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 ค่าตามลำดับ ดังนั้นจะได้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ทั้งหมด 63 บิต

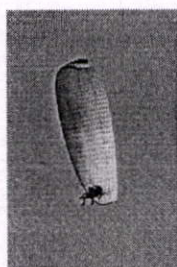
#### 4.3 วิเคราะห์ประโยชน์ของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ที่มีผลต่อการอธิบายสีของภาพ

จากขั้นตอนในการสร้างค่าจำกัดความถี่แบบ Haar จะเห็นได้ว่าแต่ละบิตของค่าจำกัดความถี่จะอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของสีจากระดับสีหนึ่ง (หรือกลุ่มของระดับสีหนึ่ง) ไปอีกระดับสีหนึ่ง (หรือกลุ่มของระดับสีอีกกลุ่ม) หรืออีกนัยหนึ่งจะหมายถึงความชันของกราฟ โดยที่ถ้าหากเป็นการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ค่าของระดับสี (หรือกลุ่มของระดับสี) ทางด้านซ้ายมีค่ามากกว่าค่าของระดับสี (หรือกลุ่มของระดับสี) ทางด้านขวา นั่นคือกราฟจะมีความชันเป็นลบ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar เป็น '1' แต่ถ้าหากเป็นการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ค่าของระดับสี (หรือกลุ่มของระดับสี) ทางด้านซ้ายมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของระดับสี (หรือกลุ่มของระดับสี) ทางด้านขวา นั่นคือกราฟจะมีความชันเป็นบวก จะทำให้ได้ค่าของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar จะเป็น '0'

รูปที่ 4.5 แสดงการสร้างค่าจำกัดความถี่ของภาพตัวอย่างรูปที่ 4.5 (a) ซึ่งเมื่อทำการคำนวณฮิสโตแกรมสี 64 บิตแล้วจะได้ค่าตามรูปที่ 4.5 (b) แล้วนำฮิสโตแกรมสีที่ได้มาสร้างเป็นกราฟจะได้ดังรูปที่ 4.5 (c) และถ้าหากพิจารณาค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ในระดับที่ 6 ซึ่งเกิดจากการเปรียบเทียบค่าของฮิสโตแกรมสีในบิตแต่ละคู่ ในตำแหน่งบิตที่ 7 และบิตที่ 8 เราจะได้ค่าในบิตที่ 35 ของค่าจำกัดความถี่เป็น '0' (ความชันของกราฟเป็นบวก) และในตำแหน่งบิตที่ 39 และบิตที่ 40 เราจะได้ค่าในบิตที่ 51 ของค่าจำกัดความถี่เป็น '1' (ความชันของกราฟเป็นลบ) ซึ่งในระดับที่ 6 นี้ค่าจำกัดความถี่จะอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าในฮิสโตแกรมบิตที่ติดกันทุกคู่ ซึ่งเป็นการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าฮิสโตแกรมอย่างละเอียด และในระดับที่ 5, 4, 3, 2 และ 1 ความละเอียดในการอธิบายกราฟก็จะลดลงไปตามลำดับ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสีของภาพ เป็นลักษณะเฉพาะที่สามารถแทนภาพได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากคุณสมบัติของฮิสโตแกรมสีที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนมุมมองของภาพ รวมถึงกรณีที่มีสีที่ปรากฏในภาพมีความมัวจากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ทำให้กลุ่มของสีที่ปรากฏในภาพเปลี่ยนตำแหน่งไป แต่ผลกระทบที่มีต่อฮิสโตแกรมสีจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ก็ได้รับคุณสมบัติเช่นเดียวกันนี้ด้วย ทำให้การใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar สามารถใช้

ในการค้นคืนภาพได้อย่างดีโดยที่มีขนาดที่เล็กกว่าการใช้ฮิสโตแกรมสีมาก ผลการทดลองในบทที่ 5 จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ในการค้นคืนภาพ



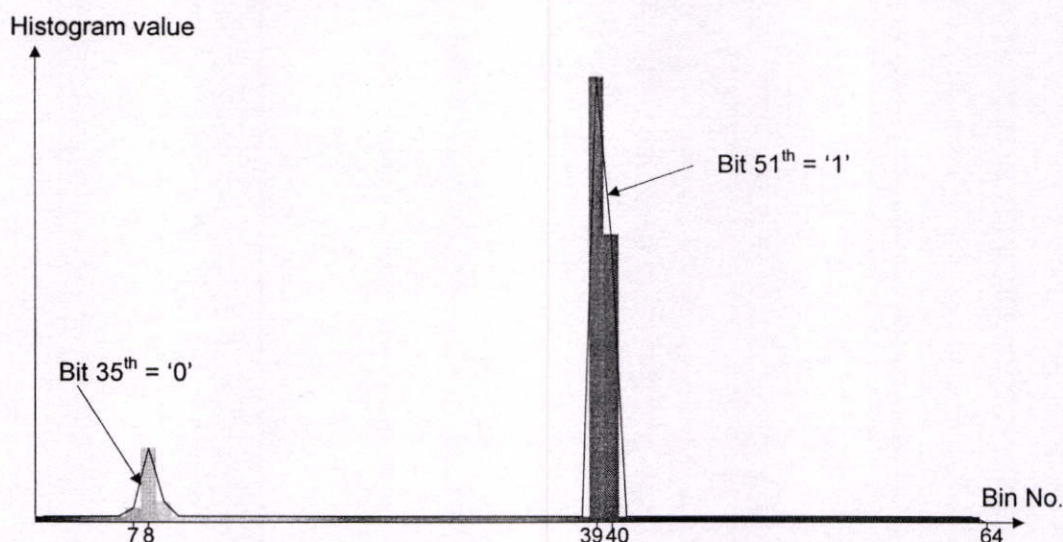
(a) ภาพตัวอย่าง

บิตที่	ค่า	บิตที่	ค่า	บิตที่	ค่า	บิตที่	ค่า
1	0.006667	17	0.004167	33	0.023750	49	0.002083
2	0.002500	18	0.007083	34	0.018750	50	0.004583
3	0.010833	19	0.011250	35	0.034167	51	0.003750
4	0.006250	20	0.003333	36	0.052549	52	0.002083
5	0.010417	21	0.006250	37	0.173330	53	0.001250
6	0.115830	22	0.004167	38	0.144170	54	0.001291
7	1.362100	23	0.001667	39*	52.57731	55	0.001667
8*	8.907530	24	0.013333	40*	33.80340	56	0.001667
9*	2.140800	25	0.00375	41	0.036667	57	0.002500
10	0.158750	26	0.00375	42	0.020833	58**	0.000201
11	0.042500	27	0.014583	43	0.030417	59	0.003754
12	0.047083	28	0.002083	44	0.012083	60**	0.000316
13	0.047500	29	0.019583	45	0.015833	61	0.006667
14	0.017083	30	0.008333	46	0.002083	62	0.000417
15	0.008333	31	0.011667	47	0.002417	63	0.002917
16	0.019167	32	0.001667	48	0.001207	64**	0.000000

(b) ตารางแสดงค่าฮิสโตแกรม 64 บิตของภาพตัวอย่าง a โดยค่าที่แสดงค่าร้อยละ

โดย \* หมายถึงบิตที่ค่าสูงที่สุด และ \*\* หมายถึงบิตที่มีค่าต่ำที่สุด

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างฮิสโตแกรมและค่าจำกัดความถี่แบบ Haar



(c) กราฟของฮิสโตแกรม 64 บินของภาพตัวอย่าง (a)

```
011101101100110001110010011110111001110011011100011111001111111
```

(d) ค่าของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ของภาพตัวอย่าง (a)

## รูปที่ 4.5(ต่อ)

## 4.4 การค้นคืนรูปภาพ

## 4.4.1 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสี

ในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสีในงานวิจัยนี้ ใช้ค่านอร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมสีมาเป็นค่าจำกัดความถี่ของภาพ ซึ่งได้ใช้แบบจำลองสีแบบ HSI โดยนำค่าสี (Hue) มาแบ่งระดับค่าสีออกเป็น 64 ช่วงเท่าๆกัน ทำให้ได้ค่าจำกัดความถี่ที่มีค่า Floating Point ทั้งหมด 64 ค่าสำหรับแทนรูปภาพหนึ่งภาพ โดยค่าฮิสโตแกรมสีของภาพแต่ละภาพในฐานะข้อมูลจะถูกคำนวณและเก็บไว้ล่วงหน้า

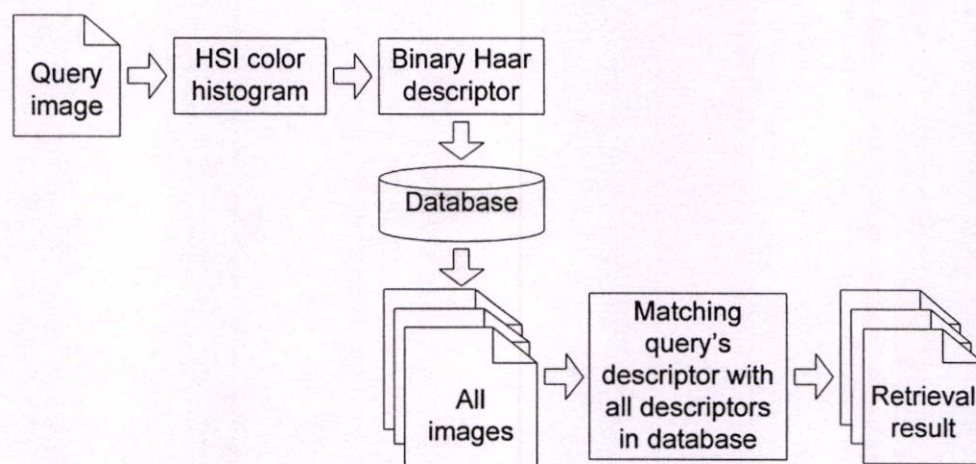
จากนั้นเมื่อมีการกำหนดภาพคำถามให้กับระบบ ระบบจะเริ่มจากการคำนวณค่านอร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมสีของภาพคำถาม จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับนอร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมสีของภาพทั้งหมดในฐานะข้อมูล โดยการเปรียบเทียบจะใช้วิธีการหาค่า Euclidean Distance สุดท้ายจะแสดงผลของการค้นคืนโดยเรียงภาพผลลัพธ์ตามค่า Euclidean Distance ที่ได้โดยเรียงจากค่าน้อยไปหาค่ามาก

ถึงแม้ว่าการใช้ฮิสโตแกรมสีมาเป็นค่าจำกัดความถี่ของภาพจะสามารถอธิบายลักษณะการกระจายของสีภายในภาพได้อย่างดี แต่ก็ต้องใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลมากด้วยเช่นกัน ซึ่งการแทนค่าอย่างละเอียดเช่นนี้อาจจะไม่จำเป็นสำหรับงานบางงานเช่น การค้นหา การกรอง อีกทั้งยังไม่

เหมาะกับการใช้งานที่ต้องส่งค่าจำกัดความผ่านช่องทางการสื่อสารที่มี Bandwidth ที่จำกัด นอกจากนี้ในขั้นตอนการเปรียบเทียบความต่างของภาพด้วยวิธี Euclidean Distance นั้นทำให้ต้องทำการคำนวณที่ซับซ้อนได้แก่การคูณ และการหารากที่สองของค่า Floating Point ซึ่งถ้าหากฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่มากขึ้นก็ยิ่งจะทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณ รวมทั้งทรัพยากรของระบบมากขึ้นด้วย

#### 4.4.2 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีแบบ Haar

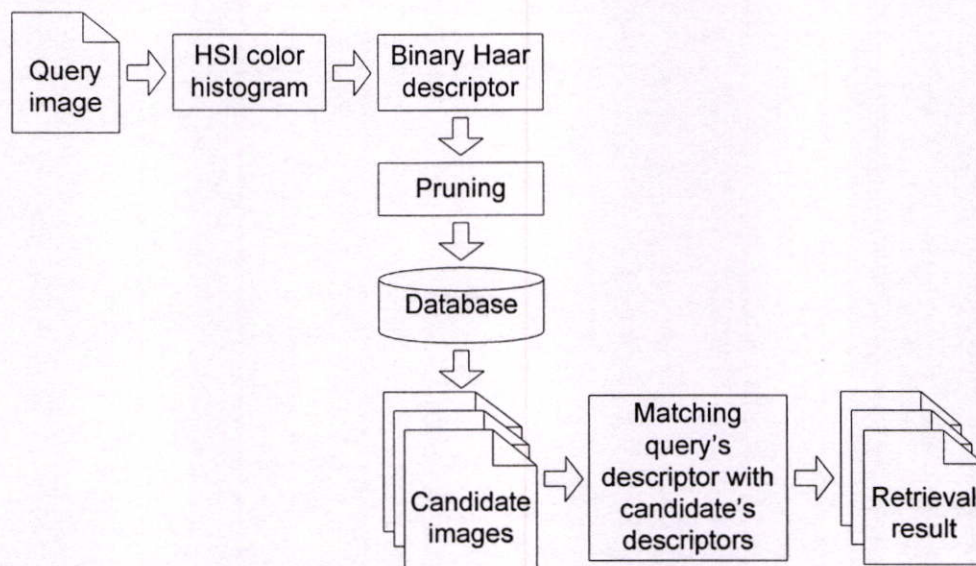
รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนของการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลโดยใช้ค่าจำกัดความสีแบบ Haar ซึ่งจะเริ่มจากการสร้างฮิสโตแกรมสีของภาพคำถาม จากนั้นนำไปคำนวณเป็นค่าจำกัดความสีแบบ Haar แล้วนำค่าจำกัดความสีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจำกัดความของภาพทั้งหมดที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล โดยการเปรียบเทียบความต่างจะใช้วิธีการหาค่า Hamming Distance และสุดท้ายจะแสดงผลของการค้นคืนโดยการเรียงลำดับภาพผลลัพธ์ตามค่า Hamming Distance ที่ได้โดยเรียงจากค่าน้อยไปหาค่ามาก



รูปที่ 4.6 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีแบบ Haar

จะเห็นได้ว่าในการแปลงค่าฮิสโตแกรมสีให้มาเป็นค่าจำกัดความสีแบบ Haar นั้นจะมีเพียงการบวกหรือลบค่าเท่านั้นไม่มีการคูณที่ซับซ้อนเลย และค่าจำกัดความสีที่ได้ก็มีขนาดเล็กมากคือมีขนาดเพียง 63 บิต จึงใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลน้อยกว่าการใช้ค่านอร์มอลไลซ์ฮิสโตแกรมสี อีกทั้งในขั้นตอนเปรียบเทียบความต่างของภาพซึ่งใช้วิธี Hamming Distance นั้นจะเป็นการคำนวณที่ใช้การดำเนินการระดับบิต ซึ่งจะสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว และไม่ต้องอาศัยทรัพยากรระบบมากมายเท่ากับการเปรียบเทียบความต่างของการใช้ค่านอร์มอลไลซ์ฮิสโตแกรมสี

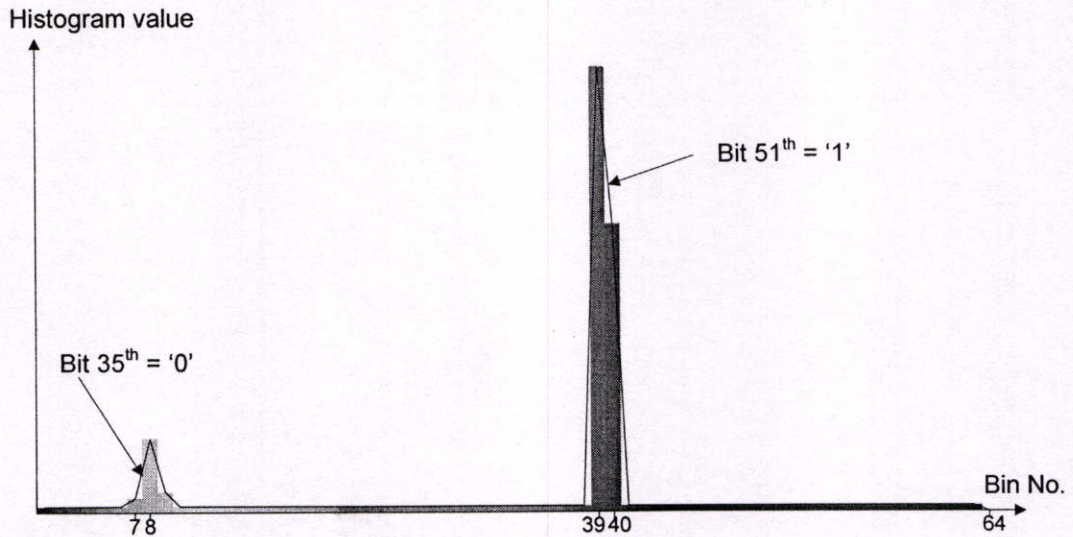
#### 4.4.3 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ 4.7 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

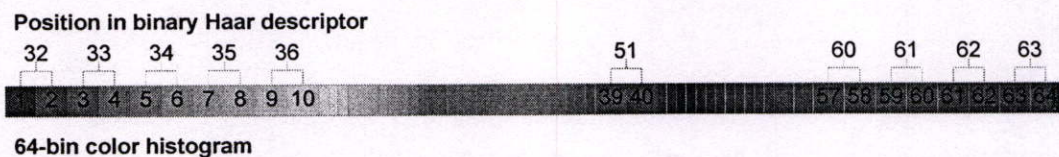
ในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning จะมีขั้นตอนคล้ายกันกับการค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar แบบเดิมแต่มีการนำเทคนิค Pruning มาใช้ (รูปที่ 4.7) เพื่อคัดเลือกรูปภาพจากฐานข้อมูลเฉพาะภาพที่คล้ายกับภาพคำถาม ดังนั้นจะทำให้ภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามถูกตัดออกไปจากการพิจารณา จากนั้นจึงนำคำจำกัดความของภาพที่ถูกเลือก (Candidate Image) มาเทียบกับคำจำกัดความของภาพคำถาม ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้ลดจำนวนการเปรียบเทียบรูปภาพลง ทำให้สามารถค้นคืนรูปภาพได้รวดเร็วขึ้น

การค้นคืนจะเริ่มจากการสร้างฮิสโตแกรมสีของภาพคำถาม จากนั้นจะมีการเลือกบิตที่เราสนใจขึ้น (จะอธิบายวิธีการเลือกบิตที่เราสนใจในรายละเอียดต่อไป) เมื่อได้บิตที่เราสนใจแล้ว จะนำตำแหน่งของบิตที่สนใจไปคำนวณเพื่อกำหนดตำแหน่งของบิตในคำจำกัดความสีแบบ Haar ซึ่งตำแหน่งของบิตนี้จะถูกนำไปใช้ในการ Pruning เพื่อเลือกภาพจากฐานข้อมูล โดยภาพที่ถูกเลือก (Candidate Image) จะต้องมีค่าในบิตนั้นเหมือนกันกับค่าในบิตเดียวกันของภาพคำถาม สำหรับการกำหนดตำแหน่งของบิตที่ใช้ในการ Pruning จะเลือกจากตำแหน่งบิตของคำจำกัดความสีแบบ Haar ในระดับที่ 6 คือตั้งแต่บิตที่ 32 ถึงบิตที่ 63 ซึ่งในระดับนี้ค่าในแต่ละบิตจะเกิดจากการเปรียบเทียบค่าของฮิสโตแกรมสีของบิตแต่ละคู่ (ดูรูปที่ 4.9 ประกอบ) เช่นบิตที่ 32 ของคำจำกัดความจะเกิดจากการนำค่าฮิสโตแกรมบิตที่ 1 ลบค่าฮิสโตแกรมบิตที่ 2 ส่วนบิตที่ 33 ของคำจำกัดความจะเกิดจากการนำค่าฮิสโตแกรมบิตที่ 3 ลบค่าฮิสโตแกรมบิตที่ 4 เป็นต้น



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างฮิสโตแกรมสีของภาพคำถาม

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าฮิสโตแกรมสีของภาพคำถามมีลักษณะดังรูปที่ 4.8 สมมุติว่าเราเลือกbinที่สนใจเป็นbinที่ 39 ซึ่งมีค่าฮิสโตแกรมสูงที่สุด เราจะสามารถคำนวณตำแหน่งบิตในคำจำกัดความสีแบบ Haar ได้เป็นบิตที่ 51 ดังนั้นภาพที่จะถูกเลือกจากฐานข้อมูลจะเป็นภาพที่มีคำจำกัดความสีแบบ Haar บิตที่ 51 มีค่าเป็น '1' เป็นต้น



64-bin color histogram

รูปที่ 4.9 กลุ่มของbinในฮิสโตแกรมที่ทำให้เกิดบิตที่ 32-63 ของคำจำกัดความสีแบบ Haar

สำหรับงานวิจัยนี้การเลือกbinที่สนใจนั้นแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

#### 4.4.3.1 การเลือกbinที่มีค่าฮิสโตแกรมต่ำที่สุด

การเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำสุดนี้ได้ทำการทดลองเลือก 3 ลักษณะคือ

- เลือกbinที่มีค่าต่ำสุด 1 bin เพื่อกำหนดบิต 1 บิต
- เลือกbinที่มีค่าต่ำสุด 2 bin เพื่อกำหนดบิต 2 บิต
- เลือกbinที่มีค่าต่ำสุด 3 bin เพื่อกำหนดบิต 3 บิต

ตัวอย่างการเลือกbinที่มีค่าต่ำสุด 3 bin เพื่อกำหนดบิต 3 บิต สำหรับภาพคำถามในรูปที่ 4.5 (a) จากค่าของฮิสโตแกรมในรูปที่ 4.5 (b) จะเห็นว่าbinที่มีค่าต่ำสุดคือbinที่ 64, 58 และ 60 ตามลำดับ ดังนั้นภาพที่จะถูกเลือกจากฐานข้อมูลจะเป็นภาพที่มีคำจำกัดความสีแบบ Haar ในแต่ละบิตมีค่าดังนี้ (ดูรูปที่ 4.9 ประกอบ)

บิตที่ 63 ต้องมีค่าเป็น '1'

บิตที่ 60 ต้องมีค่าเป็น '1'

บิตที่ 61 ต้องมีค่าเป็น '1'

#### 4.4.3.2 การเลือกบิตที่มีค่าฮิสโตแกรมสูงสุด

การเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงสุดนี้ได้ทำการทดลองเลือก 3 ลักษณะคือ

- เลือกบิตที่มีค่าสูงสุด 1 บิต เพื่อกำหนดบิต 1 บิต
- เลือกบิตที่มีค่าสูงสุด 2 บิต เพื่อกำหนดบิต 2 บิต
- เลือกบิตที่มีค่าสูงสุด 3 บิต เพื่อกำหนดบิต 3 บิต

ตัวอย่างการเลือกบิตที่มีค่าสูงสุด 3 บิตเพื่อกำหนดบิต 3 บิต สำหรับภาพคำถามในรูปที่ 4.5 (a) จากค่าของฮิสโตแกรมในรูปที่ 4.5 (b) จะเห็นว่าบิตที่มีค่าสูงสุดคือบิตที่ 39, 40, 8 และ 9 ตามลำดับ ดังนั้นภาพที่จะถูกเลือกจากฐานข้อมูลจะเป็นภาพที่มีค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ในแต่ละบิตมีค่าดังนี้

บิตที่ 51 ต้องมีค่าเป็น '1'

บิตที่ 35 ต้องมีค่าเป็น '0'

บิตที่ 36 ต้องมีค่าเป็น '1'

ในตัวอย่างนี้จะเห็นว่า เนื่องจากบิตที่มีค่าสูงสุด 2 บิตแรกคือบิตที่ 39 และบิตที่ 40 เป็นบิตที่ทำให้เกิดค่าจำกัดความถี่แบบ Haar บิตเดียวกันคือบิตที่ 51 ทำให้ในการเลือกบิตเพื่อกำหนดบิตที่ 2 ต้องเลื่อนไปดูบิตที่มีค่าสูงสุดบิตถัดมาคือบิตที่ 8 และ 9 จะได้บิตที่กำหนดบิตถัดคือบิตที่ 35 และบิตที่ 36 ตามลำดับ

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยระบบค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยคุณลักษณะของสีนี้ ได้ศึกษาการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar เพื่อใช้ในการค้นคืนรูปภาพ และได้พัฒนาปรับปรุงระบบการค้นคืนรูปภาพโดยการนำวิธีการ Pruning มาใช้เพื่อตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไปจากการพิจารณา ทำให้สามารถลดเวลาในการเปรียบเทียบคำจำกัดความของภาพคำถามกับคำจำกัดความของภาพในฐานข้อมูลลงได้ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 และได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะทดลอง โดยใช้ฐานข้อมูลรูปภาพจาก อินเทอร์เน็ต [17] ฐานข้อมูลที่น่ามาจาก Corel Stock Photo Gallery และภาพที่ได้จาก ภาพเคลื่อนไหว โดยภาพเป็นภาพสี 24 บิตซึ่งมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ขนาด  $83 \times 125$  พิกเซลจนถึงขนาด  $1,536 \times 2,048$  พิกเซล และจากนั้นวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการค้นคืน และเวลาที่ใช้ในการค้นคืนในฐานข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกัน

#### 5.1 ขั้นตอนการเตรียมฐานข้อมูลรูปภาพ

การทดลองจะเริ่มจากการเตรียมฐานข้อมูลขนาด 10,297 ภาพ โดยแบ่งชุดของภาพสำหรับการทำ การทดลองออกเป็น 2 ชุด คือแบ่งเป็นฐานข้อมูลขนาดเล็กและฐานข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อสังเกต ความแตกต่าง โดยขั้นแรกจะทดลองค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดเล็กที่มีรูปภาพจำนวน 2,997 ภาพ ซึ่งภาพในฐานข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภทตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ประเภทของรูปภาพในฐานข้อมูลขนาดเล็ก

ประเภทของภาพ			จำนวนภาพ
อาคารและสิ่งก่อสร้าง	(Building)	{Architecture, Monument}	366
สัตว์สิ่งมีชีวิต	(Creature)	{Character, Closed-up}	380
สิ่งของและอาหาร	(Foodstuff)	{ Thing , Food, Fruit, Vegetable}	720
มนุษย์	(Human)	{Face, Posing}	412
รถยนต์	(Material)	{Car, Train, Boat}	253
วิวธรรมชาติ	(Natural)	{Landscape, Shading}	479
ดอกไม้และต้นไม้	(Plant)	{Flower, Tree}	387
รวม			2,997

ส่วนในขั้นที่สองทดลองค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ซึ่งมีภาพ 10,297 ภาพ โดยมีความแตกต่างจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก 7,300 ภาพ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเภทเช่นกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 การทดลองในฐานข้อมูลขนาดใหญ่นี้ทำขึ้นเพื่อพิสูจน์ว่าเมื่อฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ยังคงสามารถค้นคืนภาพได้โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับการใช้ฮิสโตแกรมสี และการค้นคืนรูปโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning นั้นยังคงให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนใกล้เคียงกับการค้นคืนรูปภาพที่ไม่ได้ใช้วิธีการ Pruning แต่สามารถช่วยลดเวลาที่ใช้ในการค้นคืนได้

ตารางที่ 5.2 จำนวนของภาพแต่ละประเภทในส่วนที่ต่างจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก

ประเภทของภาพ			จำนวนภาพ
อาคารและสิ่งก่อสร้าง	(Building)	{Architecture, Monument}	1,100
สัตว์สิ่งมีชีวิต	(Creature)	{Character, Closed-up}	860
สิ่งของและอาหาร	(Foodstuff)	{Thing, Food, Fruit, Vegetable}	2,000
มนุษย์	(Human)	{Face, Posing}	900
รถยนต์	(Material)	{Car, Train, Boat}	400
วิวธรรมชาติ	(Natural)	{Landscape, Shading}	1,640
ดอกไม้และต้นไม้	(Plant)	{Flower, Tree}	400
<b>รวม</b>			<b>7,300</b>

สำหรับโครงสร้างของตารางที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของรูปภาพในฐานข้อมูลประกอบด้วย

1. Path ของรูปภาพ
2. ชื่อกลุ่มของภาพ
3. คำจำกัดความสีแบบ Haar

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างตารางและข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

Path ของรูปภาพ	ชื่อกลุ่มของภาพ	คำจำกัดความสีแบบ Haar
d:\PicDB\flowers\THA04001.JPG	Flower Red	100011...111110
d:\PicDB\flowers\THA04002.JPG	Flower Red	100011...111110
d:\PicDB\flowers\THA04003.JPG	Flower Red	100011...111110
d:\PicDB\flowers\THA04004.JPG	Flower Red	100011...111110
d:\PicDB\flowers\THA04005.JPG	Flower Orange	100011...111110


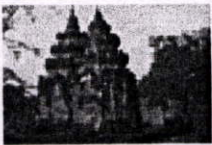

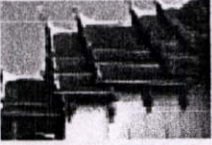

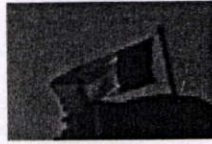














ตารางที่ 5.3 แสดงตัวอย่างของตารางที่ใช้เก็บข้อมูลรูปภาพ โดยหลังจากที่เตรียมรูปภาพแล้วจะทำการคำนวณค่าอันอร์มอลไลซ์ของฮิสโตแกรมสี และค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ของรูปภาพทั้งหมดเก็บไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้า ตารางที่ 5.4 แสดงตัวอย่างภาพในฐานข้อมูล

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างภาพในฐานข้อมูล

ประเภท	ตัวอย่างภาพในฐานข้อมูล			
สิ่งก่อสร้าง				
สิ่งมีชีวิต				
สิ่งของและอาหาร				
มนุษย์				
รถยนต์				
วิวธรรมชาติ				
ดอกไม้และต้นไม้				

จากนั้นทำการเลือกชุดของภาพซึ่งประกอบด้วยภาพคำถาม (Query Image) และกลุ่มภาพที่ถูกต้อง (Ground Truth Images) ซึ่งหมายถึงกลุ่มของภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถามนั้นไว้ล่วงหน้า โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองค้นคืนรูปภาพทั้งหมด 100 ชุด โดยภาพแต่ละชุดถูกเลือกมาจากภาพประเภทต่างๆ ดังตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างภาพคำถามที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพ

ประเภท	ตัวอย่างภาพในฐานข้อมูล			
สิ่งก่อสร้าง				
สิ่งมีชีวิต				
สิ่งของและอาหาร				
มนุษย์				
รถยนต์				
วิวธรรมชาติ				
ดอกไม้และต้นไม้				

ตารางที่ 5.6 จำนวนภาพคำถามแต่ละประเภทที่ใช้ในการทดลองค้นคืนรูปภาพ

ประเภทของภาพ			จำนวนชุด
อาคารและสิ่งก่อสร้าง	(Building)	{Architecture, Monument}	22
สัตว์สิ่งมีชีวิต	(Creature)	{Character, Closed-up}	10
สิ่งของและอาหาร	(Foodstuff)	{Thing, Food, Fruit, Vegetable}	19
มนุษย์	(Human)	{Face, Posing}	11
รถยนต์	(Material)	{Car, Train, Boat}	12
วิวธรรมชาติ	(Natural)	{Landscape, Shading}	15
ดอกไม้และต้นไม้	(Plant)	{Flower, Tree}	11
รวม			100

## 5.2 ขั้นตอนการทดสอบระบบค้นคืนรูปภาพ

ในการสร้างระบบค้นคืนรูปภาพโดยอาศัยคุณลักษณะสีเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและเวลาที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพด้วยวิธีการใช้ฮิสโตแกรมสี คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning นั้น มีขั้นตอนหลักอยู่ 2 ส่วนคือ

1. การสร้างคำจำกัดความสี โดยนำภาพแต่ละภาพในฐานะข้อมูลมาผ่านกระบวนการสร้างคำจำกัดความสี เริ่มจากการสร้างฮิสโตแกรมสีขนาด 64 บิน ค่าฮิสโตแกรมทั้ง 64 ค่านี้จะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลสำหรับการใช้ในการทดลองค้นคืนรูปภาพด้วยฮิสโตแกรมสี จากนั้นนำค่าฮิสโตแกรมที่ได้มาคำนวณหาความสัมพันธ์เวฟเลตแบบ Haar แล้วทำการแปลงค่าสัมพันธ์ที่ได้ให้อยู่ในรูปเลขฐานสองตามขั้นตอนที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4 เมื่อได้ค่าคำจำกัดความสีแบบ Haar แล้วจะเก็บเป็นค่าคำจำกัดความสีนี้ไว้ในฐานข้อมูล (สามารถดูรายละเอียดของแต่ละส่วนได้ในหัวข้อที่ 4.2)

2. การค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล (Image Retrieval) ในงานวิจัยนี้จะใช้ภาพคำถามที่ได้เลือกไว้ 100 ภาพ เพื่อนำไปเป็นภาพคำถามให้กับระบบ จากนั้นระบบจะนำไปคำนวณคำจำกัดความสีแล้วนำคำจำกัดความสีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคำจำกัดความสีที่มีอยู่ในระบบ ตามวิธีที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4 โดยได้ทำการทดลองค้นคืนรูปภาพทั้งหมด 8 วิธี ซึ่งจะกำหนดชื่อย่อของแต่ละวิธีเพื่อใช้ในการแสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 5.7

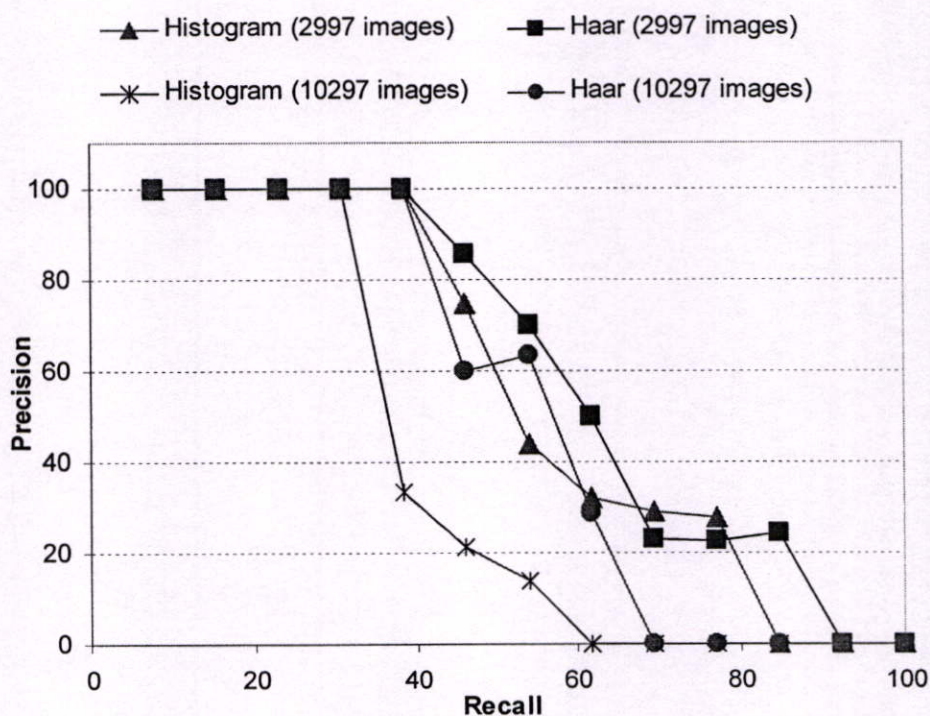
ตารางที่ 5.7 วิธีการค้นคืนรูปภาพ

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ชื่อย่อ
การใช้ฮิสโตแกรมสีขนาด 64 บิน	Histogram
การใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar	Haar
การใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning	
- เลือกบিনที่มีค่าต่ำสุด 1 บิน เพื่อกำหนดบิต 1 บิต	FixLow1
- เลือกบินที่มีค่าต่ำสุด 2 บิน เพื่อกำหนดบิต 2 บิต	FixLow2
- เลือกบินที่มีค่าต่ำสุด 3 บิน เพื่อกำหนดบิต 3 บิต	FixLow3
- เลือกบินที่มีค่าสูงสุด 1 บิน เพื่อกำหนดบิต 1 บิต	FixHigh1
- เลือกบินที่มีค่าสูงสุด 2 บิน เพื่อกำหนดบิต 2 บิต	FixHigh2
- เลือกบินที่มีค่าสูงสุด 3 บิน เพื่อกำหนดบิต 3 บิต	FixHigh3

### 5.3 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนรูปภาพ และการวิเคราะห์ผล

ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการค้นคืนรูปภาพ โดยแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการค้นคืนโดยใช้ฮิสโตแกรมสี คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนรูปภาพในฐานะข้อมูลว่าเป็นรูปภาพอยู่ในกลุ่มเดียวกันกับภาพคำถามหรือไม่ และลำดับของภาพผลลัพธ์ที่เป็นกลุ่มเดียวกันนั้นอยู่ในลำดับต้นๆ หรือไม่ โดยนำวิธี ANMRR และวิธี Recall และ Precision มาใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของการค้นคืน

รูปที่ 5.2 แสดงผลการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก(2,997 รูป) ส่วนรูปที่ 5.3 แสดงผลลัพธ์ของการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่(10,297 รูป) โดยใช้ภาพคำถามเป็นภาพโบสถ์สีน้ำตาล ในตัวอย่างนี้เมื่อพิจารณาผลของการใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ดังกราฟรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าในช่วงแรกผลของการค้นคืนทั้ง 2 วิธีให้ผลการค้นคืนที่ดีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อถึงระดับ Recall ประมาณที่ 40% การใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar สามารถค้นคืนรูปภาพได้ดีกว่าการใช้ฮิสโตแกรมสี และเมื่อฐานข้อมูลมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นผลของการค้นคืนโดยใช้ฮิสโตแกรมสีจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงมากกว่าการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar



รูปที่ 5.1 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

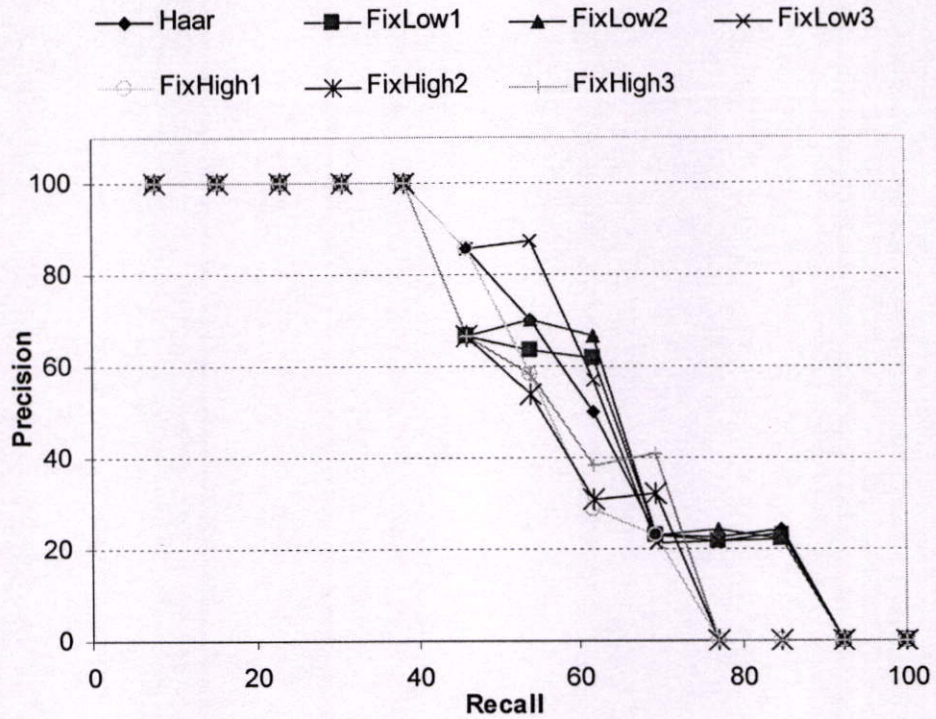
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



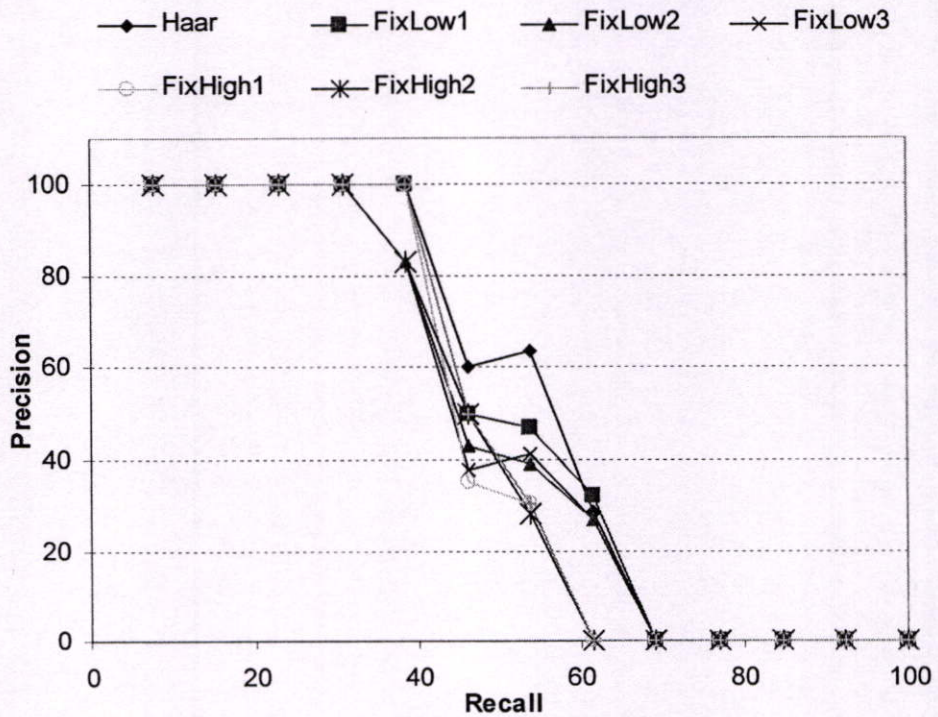
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคืนคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ 5.4 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ 5.5 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

กราฟรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าในการค้นคืนรูปภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning ให้ประสิทธิภาพของการค้นคืนรูปภาพที่ใกล้เคียงกันมาก และในกราฟรูปที่ 5.5 เมื่อทดลองกับฐานข้อมูลรูปภาพที่มีขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพของทุกวิธีจะลดลง แต่ยังคงมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากผลการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลนี้สามารถคำนวณค่า NMRR ได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาล

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.33	0.55
Haar	0.32	0.40
FixLow1	0.33	0.40
FixLow2	0.32	0.42
FixLow3	0.32	0.42
FixHigh1	0.37	0.47
FixHigh2	0.35	0.47
FixHigh3	0.34	0.46

รูปที่ 5.6 แสดงผลการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก ส่วนรูปที่ 5.7 แสดงผลลัพธ์ของการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยใช้ภาพคำถามเป็นภาพอาคารสีขาว เมื่อพิจารณาผลของการใช้ฮิสโตแกรมสี่ เมื่อเทียบกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ดังกราฟของ Recall และ Precision ในรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าในผลของการค้นคืนทั้ง 2 วิธีให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะในระดับ Recall ช่วงแรก และเมื่อถึงระดับ Recall ประมาณที่ 50% แต่ละวิธีจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

และกราฟรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าในการค้นคืนรูปภาพอาคารสีขาวโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning จากฐานข้อมูลขนาดเล็กและฐานข้อมูลใหญ่นั้นให้ผลการค้นคืนที่คล้ายคลึงกันคือ การเลือกกำหนดขีดโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าทำให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนที่ไม่ได้นำวิธี Pruning มาใช้ ในขณะที่การกำหนดขีดโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงจะให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ต่ำกว่า ซึ่งสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้อย่างชัดเจนดังตารางที่ 5.9 ซึ่งแสดงค่า NMRR ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาว



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

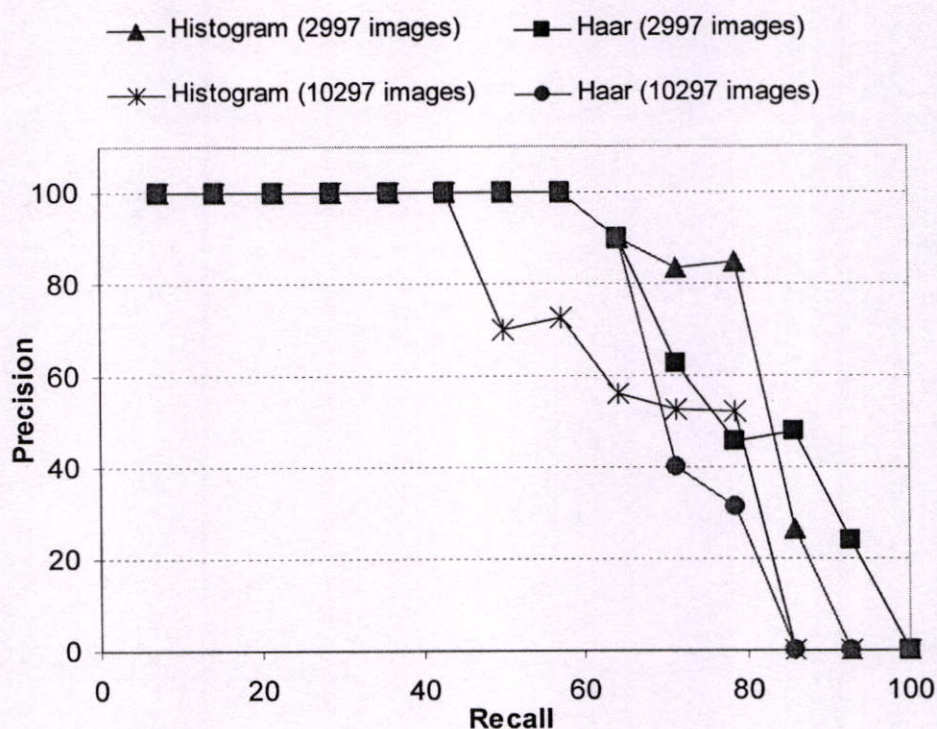
รูปที่ 5.6 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



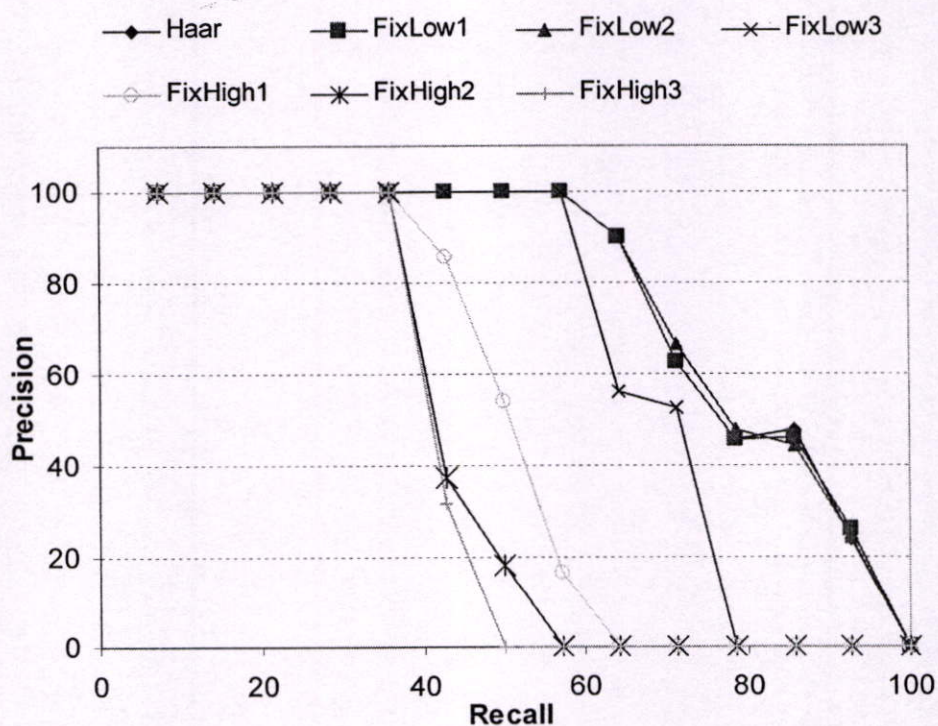
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

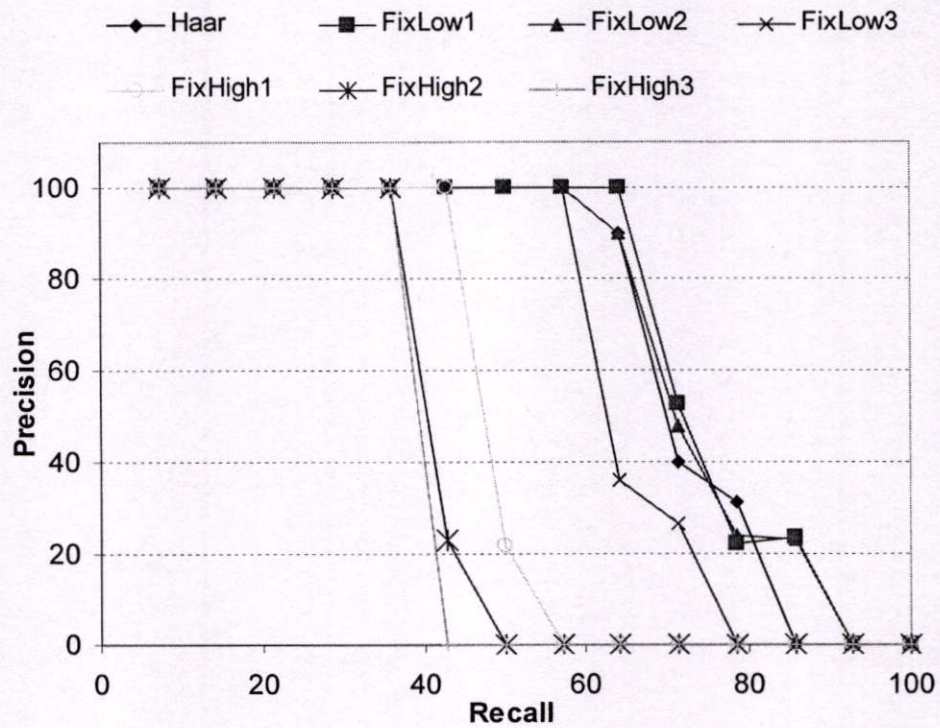
รูปที่ 5.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ 5.8 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาวโดยการใช้วิธี Histogram เปรียบกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar



รูปที่ 5.9 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาคารสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดวิธีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ 5.10 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาครสีขาวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ 5.9 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพอาครสีขาว

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.18	0.24
Haar	0.17	0.25
FixLow1	0.16	0.25
FixLow2	0.17	0.25
FixLow3	0.28	0.32
FixHigh1	0.46	0.50
FixHigh2	0.52	0.57
FixHigh3	0.56	0.61



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

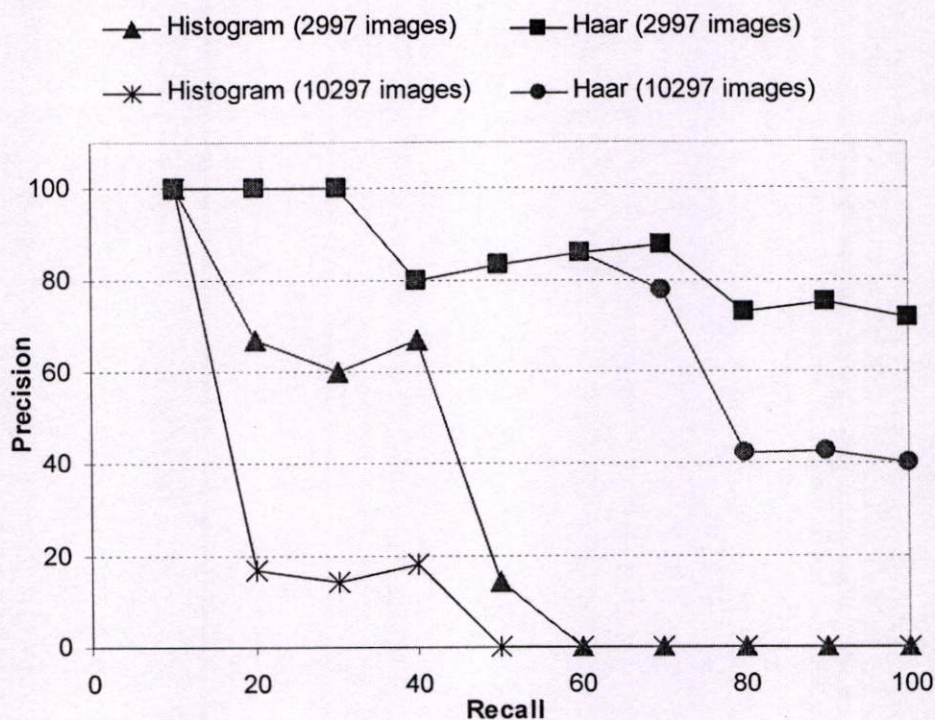
รูปที่ 5.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบค้นคืนภาพกึ่งहनลมจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



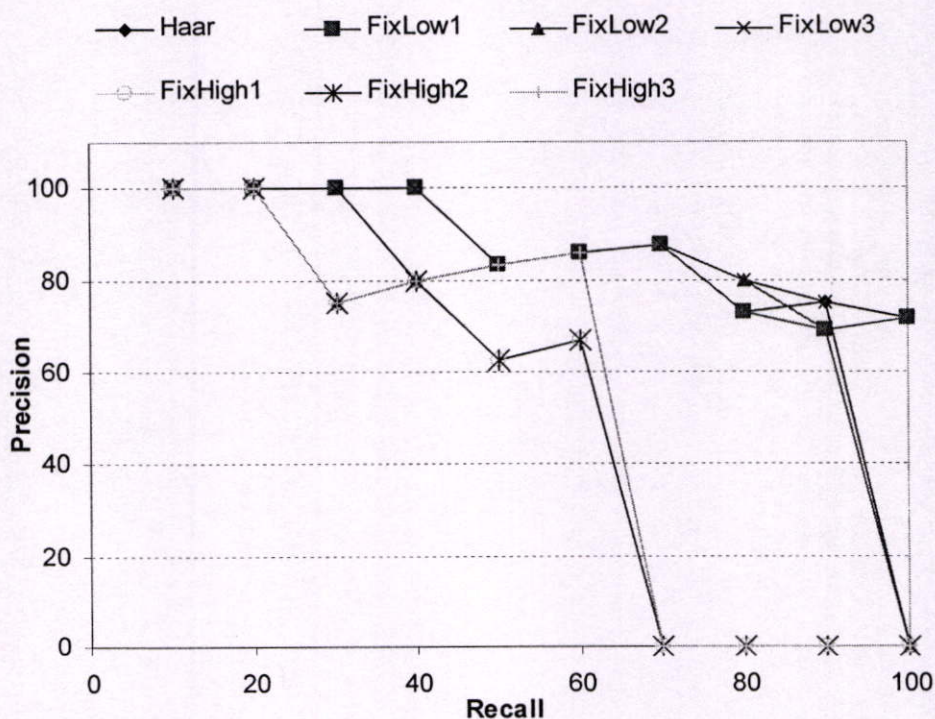
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

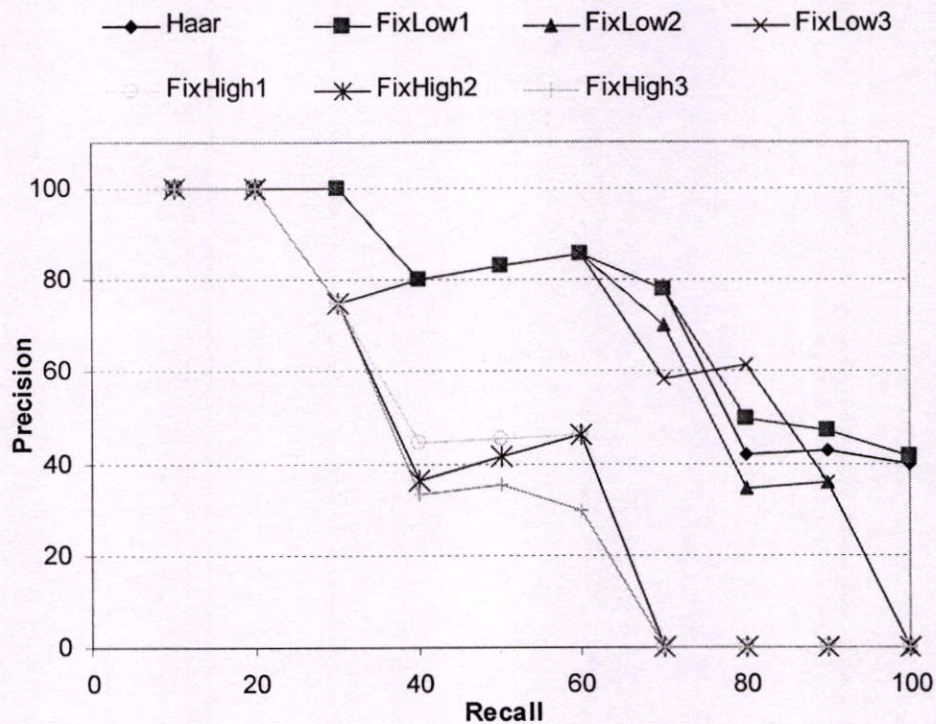
รูปที่ 5.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบค้นคืนภาพกึ่งहनตมจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ 5.13 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพกึ่งหันลมโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี่เหลี่ยมกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar



รูปที่ 5.14 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพกึ่งหันลมจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ 5.15 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพกึ่งหั่นลมจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

รูปที่ 5.11 แสดงผลการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก ส่วนรูปที่ 5.12 แสดงผลลัพธ์ของการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยใช้ภาพคำถามเป็นภาพกึ่งหั่นลม จากกราฟ Recall และ Precision รูปที่ 5.13 เมื่อพิจารณาผลของการใช้ฮิสโตแกรมสี่เทียบกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar จะเห็นว่าในตัวอย่างนี้การค้นคืนรูปภาพทั้งจากฐานข้อมูลขนาดเล็กและฐานข้อมูลขนาดใหญ่การใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ให้ผลการค้นคืนที่ดีกว่าการใช้ฮิสโตแกรมสี่ โดยเมื่อฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นประสิทธิภาพของการใช้ฮิสโตแกรมสี่จะลดลงอย่างมาก ในขณะที่การใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar มีประสิทธิภาพลดลงเพียงเล็กน้อย

จากกราฟรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าในการค้นคืนรูปภาพกึ่งหั่นลมโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning จากฐานข้อมูลขนาดเล็กและฐานข้อมูลใหญ่นั้นให้ผลการค้นคืนที่คล้ายคลึงกันคือ การเลือกการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนที่ไม่ได้นำวิธีการ Pruning มาใช้มาก ในขณะที่การกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงจะให้ประสิทธิภาพการค้นคืนที่ต่ำกว่า ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้นจากตารางที่ 5.10 ซึ่งแสดงค่า NMRR ของการค้นคืนภาพกึ่งหั่นลม

ตารางที่ 5.10 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพกึ่งห้นลม

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.56	0.70
Haar	0.04	0.12
FixLow1	0.04	0.10
FixLow2	0.12	0.19
FixLow3	0.11	0.17
FixHigh1	0.39	0.46
FixHigh2	0.39	0.43
FixHigh3	0.38	0.42

ตัวอย่างการค้นคืนรูปภาพประเภทอื่นๆ รวมถึงกราฟ Recall และ Precision และค่า NMRR ที่ได้จากการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

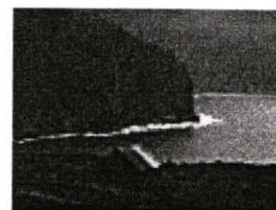
#### 5.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับการใช้ค่า

##### จำกัดความสีแบบ Haar

จากรูปที่ 5.12 ซึ่งแสดงผลการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลโดยใช้ภาพคำถามเป็นภาพกึ่งห้นลม นั้น จะเห็นว่าในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสี ผลการค้นคืนในตำแหน่งที่ 1 คือภาพ windmill-1 ซึ่งคือภาพคำถามที่ใช้ในการค้นคืน ส่วนในตำแหน่งที่ 2 คือภาพ mountain-1 จะเห็นว่าทั้ง 2 ภาพนี้แตกต่างกันมาก (รูปที่ 5.16) แต่เมื่อสร้างฮิสโตแกรมสีของทั้ง 2 ภาพนี้ จะได้กราฟดังรูปที่ 5.17 ซึ่งจะเห็นว่าฮิสโตแกรมของภาพทั้ง 2 ภาพคล้ายกันมาก และเมื่อหาค่าความต่างด้วยวิธี Euclidean distance ระหว่าง ฮิสโตแกรมของภาพ windmill-1 กับ ภาพ mountain-1 ตามสมการที่ 3.15 ในบทที่ 3 แล้วจะได้ค่าเท่ากับ 0.072

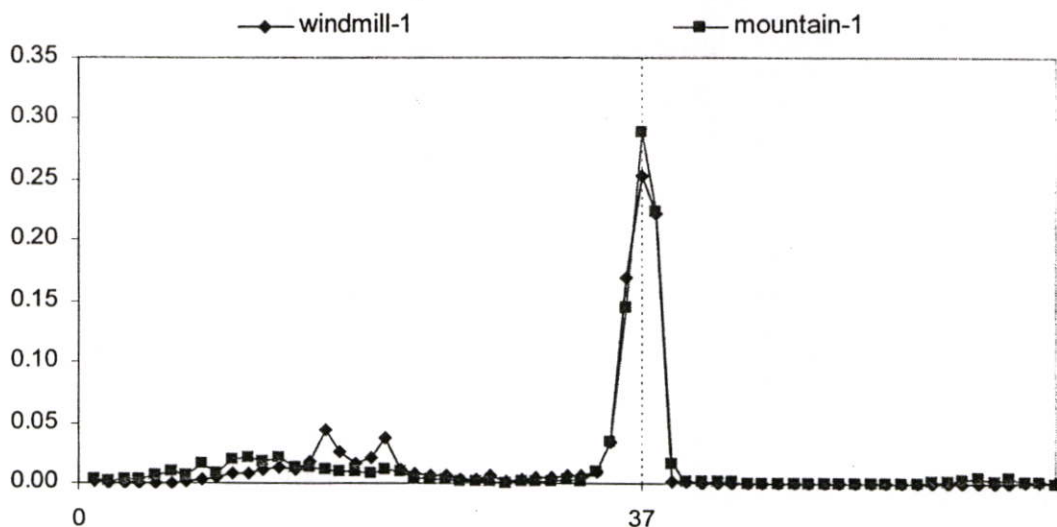


(a) windmill-1



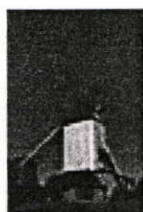
(b) mountain-1

รูปที่ 5.16 ภาพกึ่งห้นลมและภาพภูเขา

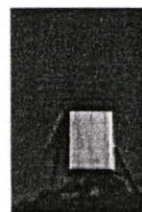


รูปที่ 5.17 ฮิสโตแกรมสเปกตรัมของภาพ windmill-1 และ mountain-1

และเมื่อลองพิจารณารูป windmill-1 และ windmill-2 (รูปที่ 5.18) จะเห็นว่าภาพทั้ง 2 คล้ายกันมากแต่ภาพ windmill-1 มีสีท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงินอ่อนกว่าภาพ windmill-2 เล็กน้อย ทำให้เมื่อสร้างฮิสโตแกรมสเปกตรัมของภาพทั้ง 2 ภาพจะได้กราฟดังรูปที่ 5.19

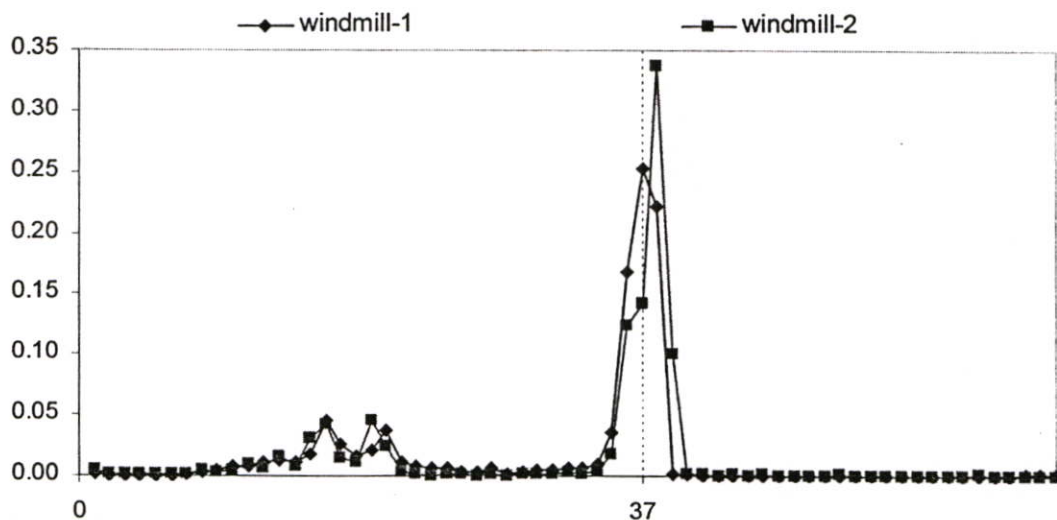


(a) windmill-1



(b) windmill-2

รูปที่ 5.18 ภาพกึ่งหันลม



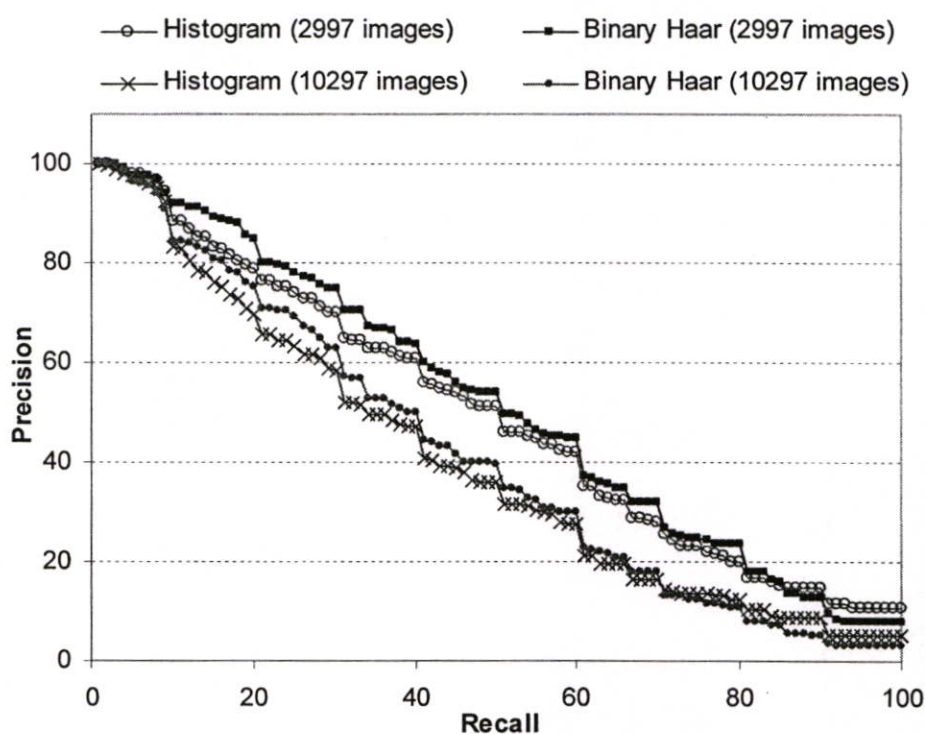
รูปที่ 5.19 ฮิสโตแกรมสเปกตรัมของภาพ windmill-1 และ windmill-2



ฐานข้อมูลขนาดเล็กและผลการทดลองค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ การใช้ฮิสโตแกรมสี และการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ให้ประสิทธิภาพของการค้นคืนที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.11 ค่า ANMRR จากการทดลองค้นคืนภาพ

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า ANMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.40	0.51
Haar	0.37	0.47



รูปที่ 5.22 กราฟค่าเฉลี่ย Precision ของการค้นคืนรูปภาพโดยการใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar

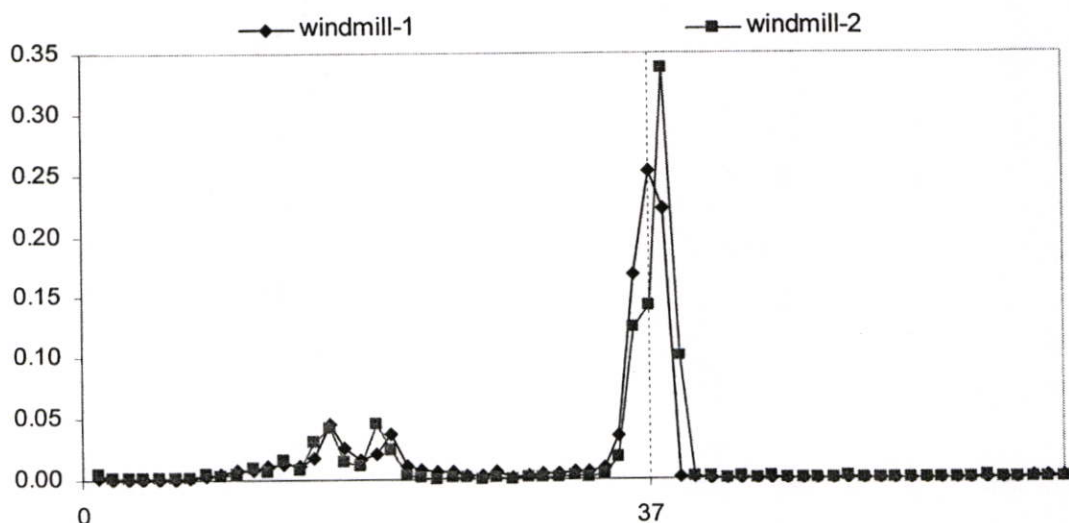
## 5.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar เทียบกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

5.5.1 ความแตกต่างระหว่างการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงกับฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ การอธิบายความแตกต่างระหว่างการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงกับฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำจะใช้ตัวอย่างการค้นคืนรูปภาพก้างหันลมเช่นกัน ในรูปที่ 5.18 ซึ่งแสดงรูป windmill-1 และ windmill-2 โดยในการค้นคืนได้ใช้รูป windmill-1 เป็นภาพคำถาม เราสามารถสร้างฮิสโตแกรมสีของภาพทั้ง 2 ได้ดังรูปที่ 5.23 โดยบิตที่มีค่าสูงสุดและมีค่าต่ำสุดของฮิสโตแกรมสีของรูปทั้งสองเป็นดังนี้

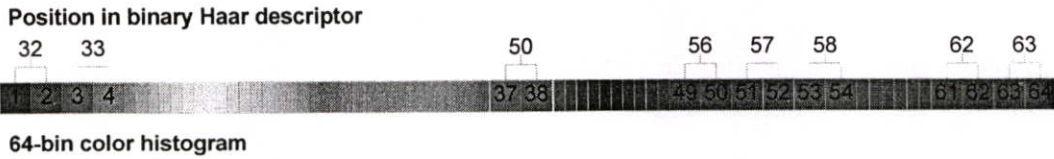
รูปภาพ	บิตที่มีค่าสูงสุด	บิตที่มีค่าต่ำสุด
windmill-1	37	49
windmill-2	38	53

### 1. กรณีกำหนดบิต 1 บิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ

เนื่องจาก windmill-1 มีฮิสโตแกรมค่าต่ำสุดอยู่ในบิตที่ 49 นั่นคือบิตที่ 49 มีค่าน้อยกว่าบิตที่ 50 ทำให้บิตที่ 56 ของค่าจำกัดความถี่แบบ Haar มีค่าเป็น '0' (ดูรูปที่ 5.24 และ 5.25 ประกอบ) ดังนั้น ภาพ windmill-2 จะไม่ถูกตัดออกไปจากการพิจารณาเพราะมีบิตที่ 56 มีค่าเป็น '0' เหมือนกันกับภาพคำถาม และเมื่อพิจารณากราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพก้างหันในรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะเห็นว่าผลของการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำจะให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ที่ไม่ได้ทำการ Pruning



รูปที่ 5.23 ฮิสโตแกรมสีของภาพ windmill-1 และ windmill-2



รูปที่ 5.24 คู่ของบิตในฮิสโตแกรมที่ทำให้เกิดบิตที่ 32-63 ของคำจำกัดความสีแบบ Haar

## 2. กรณีกำหนดบิต 1 บิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูง

ภาพ windmill-1 มีฮิสโตแกรมค่าสูงที่สุดอยู่ในบิตที่ 37 นั่นคือบิตที่ 37 มีค่ามากกว่าบิตที่ 38 ทำให้บิตที่ 50 ของคำจำกัดความสีแบบ Haar มีค่าเป็น '1' ส่วนภาพ windmill-2 มีค่าสูงที่สุดอยู่ในบิตที่ 38 นั่นคือบิตที่ 37 มีค่าน้อยกว่าบิตที่ 38 ทำให้บิตที่ 50 ของคำจำกัดความสีแบบ Haar มีค่าเป็น '0' ซึ่งเมื่อกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงนั่นคือภาพที่ถูกเลือกจะต้องมีค่าบิตที่ 50 เท่ากับ '1' เหมือนกับภาพ windmill-1 ทำให้ภาพ windmill-2 ถูกตัดออกไปจากการพิจารณา และเมื่อพิจารณากราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพทั้งหมดในรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะเห็นว่าผลของการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ เนื่องจากการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงมีการตัดภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถามออกไป

ตำแหน่งบิตที่	50	56
windmill-1	001011000100110100001000101100011000010101111000010111100001101	
windmill-2	011011000100110100001000101100011000110111011000001111100001100	

รูปที่ 5.25 คำจำกัดความสีแบบ Haar ของภาพ windmill-1 และ windmill-2

จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าการเลือกกำหนดบิตโดยใช้บิตที่มีค่าสูงจะเป็นการตัดรูปภาพที่มีสีหลักของภาพซึ่งใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไปจากการพิจารณา ส่วนการเลือกกำหนดบิตโดยใช้บิตที่มีค่าต่ำจะเป็นการตัดรูปภาพที่มีสีที่ซึ่งมีความสำคัญน้อยที่สุดต่อภาพคำถามออกไป ดังนั้นการเลือกตัดโดยใช้บิตที่มีค่าสูงจึงมีโอกาที่จะตัดภาพที่ต้องการออกไปได้มากกว่าการเลือกบิตที่มีค่าต่ำ และทำให้ประสิทธิภาพของการค้นคืนจากการเลือกบิตที่มีค่าต่ำดีกว่าการเลือกบิตที่มีค่าสูง โดยในหัวข้อ 5.5.2 จะแสดงผลการทดลองที่ยืนยันแนวคิดนี้

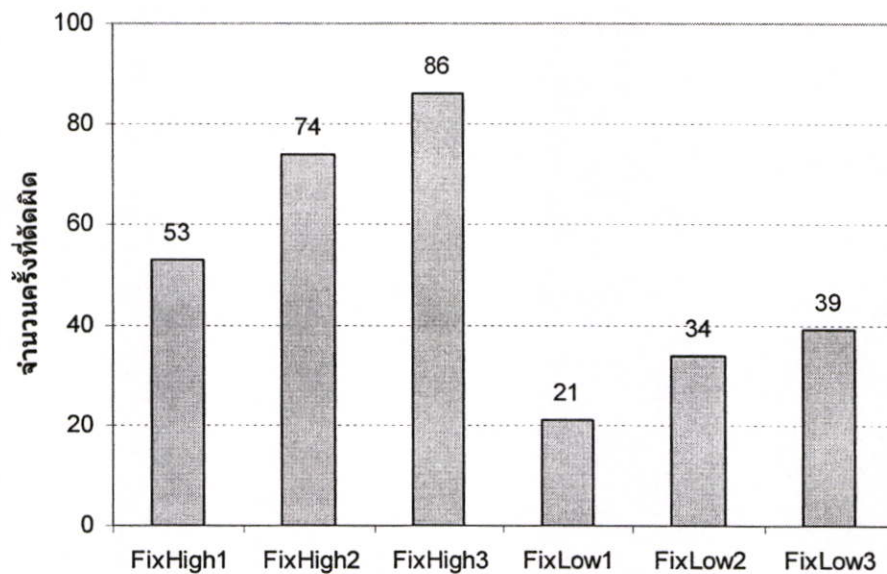
### 5.5.2 ผลของการ Pruning แต่ละวิธีที่มีต่อประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพ

การที่จะเลือกใช้วิธีการ Pruning แบบใดนั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการค้นคืนให้ใกล้เคียงกับการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ที่ไม่ได้ใช้วิธีการ Pruning เป็นสำคัญ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์วิธีการ Pruning ว่าแต่ละวิธีมีการตัดภาพ Ground Truth ที่ต้องการออกไปจากการพิจารณามากน้อยเพียงใด

จากการทดลองค้นคืนรูปภาพโดยใช้ภาพคำถาม 100 ภาพ ผู้วิจัยได้เก็บผลของการ Pruning ว่าในแต่ละชุดภาพคำถามเมื่อใช้วิธีการ Pruning แบบต่าง ๆ นั้น เกิดการตัดภาพ Ground Truth ของภาพคำถามนั้น (ตัดผิด) ออกไปจำนวนเท่าใด โดยจะนำเสนอผลการตัดผิดของวิธี Pruning แต่ละวิธีดังนี้

#### 5.5.2.1 จำนวนครั้งที่ตัดผิด

สำหรับจำนวนครั้งที่ตัดผิดจะเป็นการนับว่าในการทดลอง 100 ภาพคำถาม เกิดการตัดผิดขึ้นกี่ครั้ง ทั้งนี้การนับว่าตัดผิดนั้นจะนับโดยถือว่าการตัดภาพ Ground Truth ผิดเพียง 1 ภาพก็จะถือว่าเป็นการตัดผิด ซึ่งได้ผลดังกราฟรูปที่ 5.26

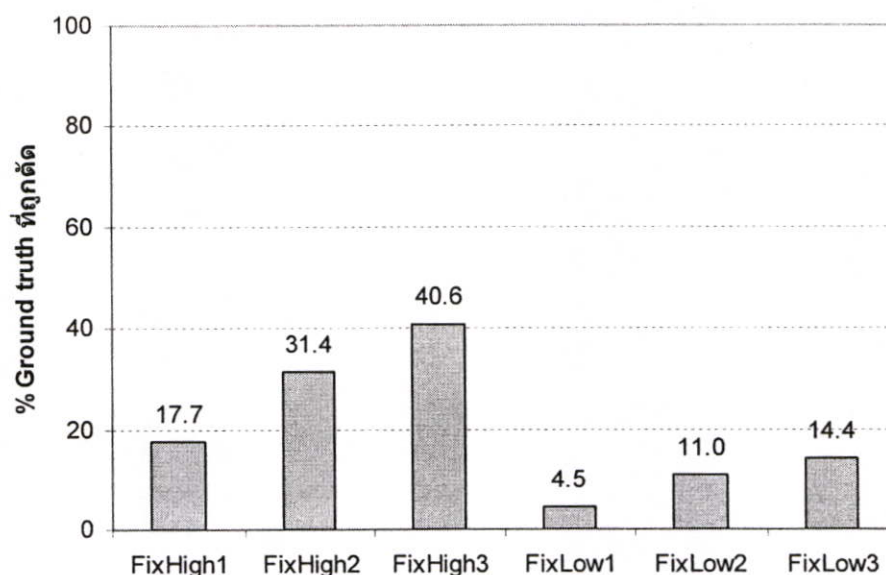


รูปที่ 5.26 กราฟแสดงจำนวนครั้งที่ตัดผิดของการ Pruning แต่ละวิธี

จากกราฟรูปที่ 5.26 เห็นได้ชัดว่าการใช้วิธีการกำหนดขีดโดยเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงนั้นจะเกิดการตัดผิดมากกว่าการกำหนดขีดโดยเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ โดยเมื่อเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำเพื่อกำหนดขีด 3 บิต การตัดผิดยังเกิดขึ้นน้อยกว่าการเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงเพื่อกำหนดขีดเพียง 1 บิต

### 5.5.2.2 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของภาพ Ground Truth ที่ถูกตัด

สำหรับค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของภาพ Ground Truth ที่ถูกตัดจะได้อาจจากการคำนวณว่าในการทดลองแต่ละภาพคำถามนั้นมีจำนวน Ground Truth ที่ถูกตัดคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของจำนวน Ground Truth ทั้งหมด จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยจากการทดลองทั้งหมด 100 ภาพคำถาม ผลที่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 5.27 ซึ่งจะเห็นว่าใช้วิธีการกำหนดขีดโดยเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงนั้นมีเปอร์เซ็นต์ของภาพ Ground Truth ที่ถูกตัดมากกว่าการกำหนดขีดโดยเลือกฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ

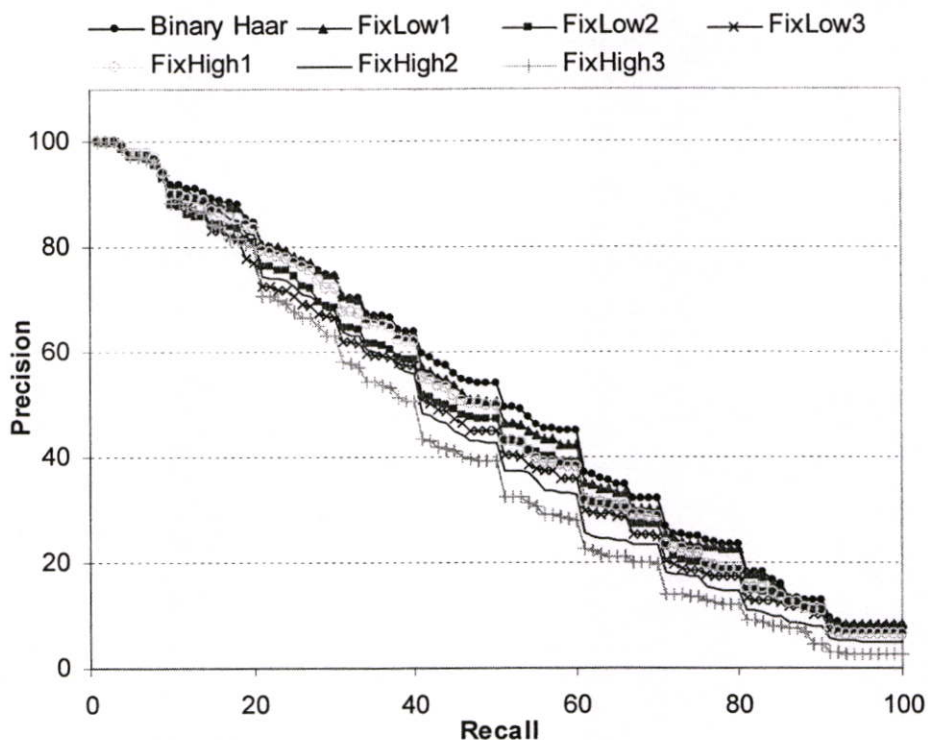


รูปที่ 5.27 กราฟค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ของภาพ Ground Truth ที่ถูกตัดจากการ Pruning แต่ละวิธี

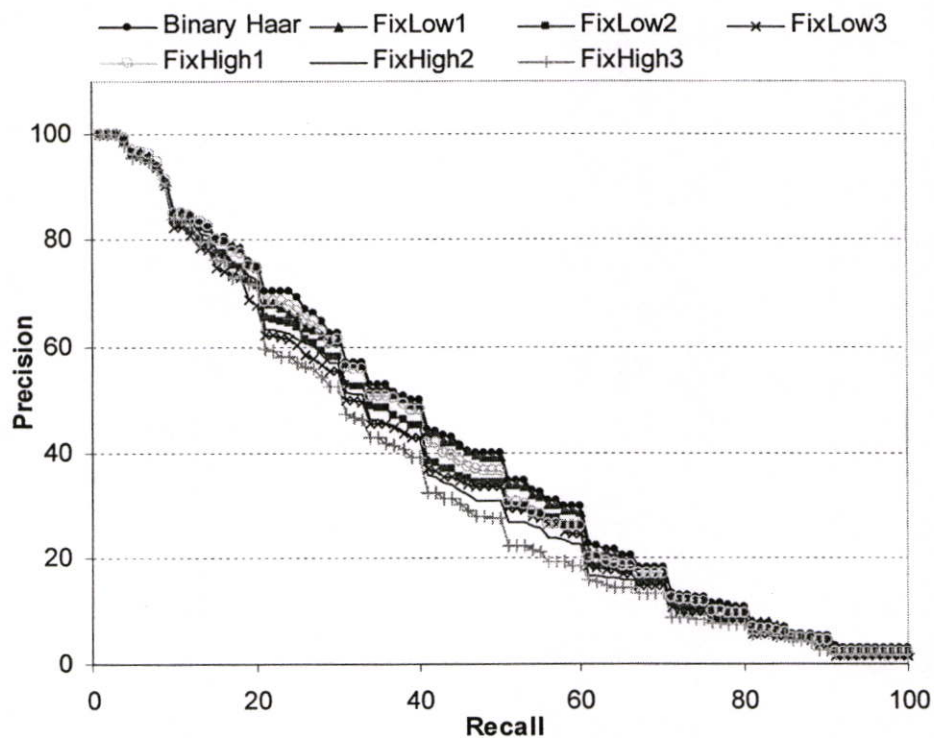
### 5.5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นคืนรูปโดยใช้ค่าจำกัดความสับสน Haar กับการใช้ค่าจำกัดความสับสน Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ 5.12 ค่า ANMRR ของการค้นคืนภาพ

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า ANMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Haar	0.37	0.47
FixLow1	0.38	0.48
FixLow2	0.41	0.51
FixLow3	0.43	0.52
FixHigh1	0.40	0.49
FixHigh2	0.45	0.53
FixHigh3	0.49	0.56



รูปที่ 5.28 กราฟค่าเฉลี่ย Precision ของการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar เทียบกับค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธี Pruning จากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



รูปที่ 5.29 กราฟค่าเฉลี่ย Precision ของการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar เทียบกับค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธี Pruning จากฐานข้อมูลขนาดใหญ่

รูปที่ 5.28 และ รูปที่ 5.29 แสดงกราฟของค่าเฉลี่ย Precision จากการทดลองค้นคืนภาพทั้ง 100 ภาพ โดยการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar เปรียบเทียบกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning จะเห็นว่าผลการทดลองค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดเล็กและผลการทดลองค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ในช่วงแรกทุกวิธีให้ประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกันมาก หลังจากนั้นที่ระดับ Recall ประมาณ 20% จะเห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้จากแต่ละวิธีจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพให้ง่ายขึ้นจากค่า ANMRR ในตารางที่ 5.12 โดยสามารถจัดลำดับวิธีที่ให้ประสิทธิภาพดีและใกล้เคียงกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ที่ไม่ได้ใช้วิธีการ Pruning เรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้

1. วิธีกำหนดบิต 1 บิต โดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ
2. วิธีกำหนดบิต 1 บิต โดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูง
3. วิธีกำหนดบิต 2 บิต โดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ
4. วิธีกำหนดบิต 3 บิต โดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ
5. วิธีกำหนดบิต 2 บิต โดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูง
6. วิธีกำหนดบิต 3 บิต โดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูง

## 5.6 เวลาที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพ

### 5.6.1 เวลาในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสี่เทียบกับคำจำกัดความสี่แบบ Haar

การทดลองเพื่อวัดเวลาที่ใช้ในการค้นคืนนั้น ในครั้งแรกผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมโดยใช้คำสั่งของ MATLAB ทั้งหมดแต่พบว่าคำสั่ง XOR ใน MATLAB นั้น ไม่ได้ทำงานแบบบิต ทำให้เวลาในการค้นคืนโดยฮิสโตแกรมสี่ที่ดีใกล้เคียงกันกับเวลาในการค้นคืนโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar

ตารางที่ 5.13 เวลาที่ใช้ในการค้นคืนโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และฮิสโตแกรมสี่

คำจำกัดความสี่ที่ใช้ค้นคืน	เวลาเฉลี่ยของการค้นคืน 100 ภาพคำถาม (ms)	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	64.10	220.38
Haar	0.94	3.21

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สร้าง Dynamic Link Library (DLL) ขึ้นโดยใช้ภาษา C โดยที่ DLL นี้จะรับข้อมูลจาก MATLAB แล้วทำการหาค่าความต่าง (Distance) ระหว่างภาพคำถามกับภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล ซึ่งได้ทำการสร้าง DLL 2 โปรแกรมคือ DLL สำหรับหาค่า Euclidean Distance และ DLL สำหรับหาค่า Hamming Distance แล้วได้ทำการทดลองค้นคืน 100 ภาพคำถามจึงได้ผลดัง

ตารางที่ 5.13 จะเห็นว่าการคันคั้นรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar สามารถคันคั้นรูปภาพได้เร็วกว่าการใช้ฮิสโตแกรมถึง 98% เนื่องจากการหาค่าความต่างของฮิสโตแกรมจะเป็นการคำนวณค่าที่เป็น Floating Point โดยต้องหาค่าผลต่าง แล้วนำค่าที่ได้มายกกำลัง 2 ซึ่งต้องทำทั้งหมด 64 ครั้ง(เนื่องจากเป็นฮิสโตแกรม 64 บิต)จากนั้นต้องหาผลรวม และสุดท้ายนำค่าที่ได้มาหารค่าที่สอง แต่สำหรับการหาค่าความต่างของคำจำกัดความสี่แบบ Haar นั้นจะเป็นการนำค่าจำกัดความมา XOR กันแล้วคำนวณซ้ำ 63 รอบเพื่อนับค่าบิตที่เป็น '1' ในผลของการ XOR ทำให้การใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar สามารถทำงานได้เร็วกว่ามาก

### 5.6.2 เวลาในการคันคั้นรูปภาพที่ลดลงเมื่อใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ

#### Pruning

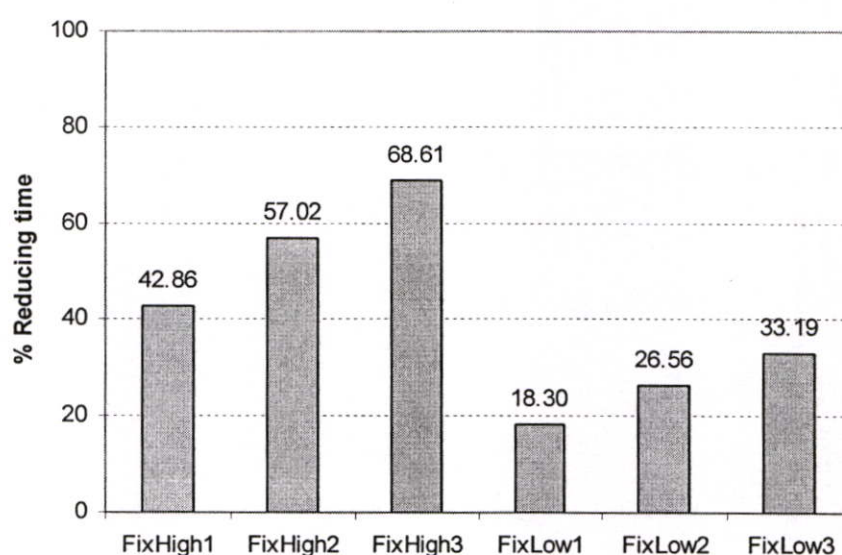
สำหรับการวัดเวลาในการคันคั้นรูปภาพที่ลดลงเมื่อใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning นั้น ใช้โปรแกรมที่เขียนโดยใช้คำสั่งของ MATLAB ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้เนื่องจากการใช้คำสั่ง XOR ของ MATLAB เหมือนกัน สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการคันคั้นรูปภาพโดยใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar มีขั้นตอนดังนี้

1. อ่านฐานข้อมูลรูปภาพรวมทั้งคำจำกัดความสี่แบบ Haar ของภาพทั้งหมดมาเก็บไว้
2. อ่านภาพคำถามแล้วสร้างฮิสโตแกรมสี่ของภาพคำถาม
3. นำฮิสโตแกรมสี่มาสร้างคำจำกัดความสี่แบบ Haar ของภาพคำถาม
4. หาค่า Hamming Distance โดยนำคำจำกัดความสี่ของภาพคำถามมา XOR กับคำจำกัดความสี่ของภาพในฐานข้อมูล แล้วนับค่าบิตที่เป็น 1 ในผลของการ XOR ซึ่งจะได้ค่า Hamming Distance โดยในขั้นตอนนี้จะทำกับภาพทุกภาพในฐานข้อมูล
5. สุดท้ายผลการคันคั้นจะเรียงภาพตามค่า Hamming Distance จากน้อยไปมาก แล้วแสดงผลส่วนโปรแกรมที่ใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning มีขั้นตอนดังนี้
  1. อ่านฐานข้อมูลรูปภาพรวมทั้งคำจำกัดความสี่แบบ Haar ของภาพทั้งหมดมาเก็บไว้
  2. อ่านภาพคำถามแล้วสร้างฮิสโตแกรมสี่ของภาพคำถาม แล้วทำการหาค่าสูงสุด/ต่ำสุดของฮิสโตแกรม(1 ค่า, 2 ค่าหรือ 3 ค่าขึ้นอยู่กับว่าเป็นการกำหนด 1 บิต, 2 บิต หรือ 3 บิต)
  3. นำฮิสโตแกรมสี่มาสร้างคำจำกัดความสี่แบบ Haar ของภาพคำถาม
  4. ตรวจสอบภาพในฐานข้อมูลที่ละภาพว่าบิตที่กำหนด (1 บิต, 2 บิต หรือ 3 บิต) ของภาพในฐานข้อมูลภาพนั้นเหมือนกันกับภาพคำถามหรือไม่
    - 4.1 ถ้าเหมือนจะทำหาค่า Hamming Distance โดยนำคำจำกัดความสี่ของภาพคำถามมา XOR กับคำจำกัดความสี่ของภาพในฐานข้อมูล แล้วนับค่าบิตที่เป็น 1 ในผลของการ XOR
    - 4.1 ถ้าไม่เหมือนจะข้ามไปตรวจสอบภาพถัดไป
  5. สุดท้ายผลการคันคั้นจะเรียงภาพตามค่า Hamming Distance จากน้อยไปมาก แล้วแสดงผล

เมื่อทำการทดลองคั่นกิ่งภาพทั้ง 100 ภาพคำถามตามขั้นตอนดังกล่าวแล้ว จึงหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการคั่นกิ่งภาพแต่ละวิธี และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ลดลงของการ Pruning แต่ละวิธีเทียบกับการคั่นกิ่งโดยใช้จำกัดความสี่แบบ Haar ที่ไม่ได้ใช้วิธีการ Pruning ได้ผลดังตารางที่ 5.14 และแสดงกราฟเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ลดลงได้ดังรูปที่ 5.30

ตารางที่ 5.14 เวลาที่ใช้ในการคั่นกิ่งภาพโดยใช้จำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

จำกัดความสี่ที่ใช้คั่นกิ่ง	เวลาเฉลี่ยของการคั่นกิ่ง 100 ภาพคำถาม (s)	% ของเวลาที่ลดลงได้เทียบกับการใช้ Haar
Haar	61.71	
FixHigh1	35.27	42.86
FixHigh2	26.52	57.02
FixHigh3	19.37	68.61
FixLow1	50.42	18.30
FixLow2	45.33	26.56
FixLow3	41.23	33.19



รูปที่ 5.30 เปอร์เซนต์ของเวลาในการคั่นกิ่งที่ลดลง

จากกราฟรูปที่ 5.30 จะเห็นว่าเมื่อกำหนดขีดหลายขีดมากขึ้นเวลาในการคั่นกิ่งจะลดลง แต่ก็ทำให้เกิดการตัดผิดที่มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเวลาที่ลดลงนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับทางเลือกที่จะกำหนดขีดโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงหรือค่าต่ำ แต่ขึ้นอยู่กับว่าภาพในฐานข้อมูลที่มีอยู่มีขีดตรงกันกับขีดที่กำหนดจำนวนมากหรือน้อย ถ้าภาพในฐานข้อมูลมีขีดที่ตรงกันกับขีดที่กำหนดจำนวนมากก็จะลดเวลาในการคั่นกิ่งได้น้อย แต่ถ้าภาพในฐานข้อมูลมีขีดที่ตรงกันกับขีดที่กำหนดจำนวนน้อยก็จะลดเวลาในการคั่นกิ่งได้มาก

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอระบบคั่นคั้นรูปภาพ โดยอาศัยคุณลักษณะสีมาใช้ในการสร้างคำจำกัดความสีของภาพ โดยนำการแปลงเวฟเล็ตแบบ Haar มาใช้ในการแปลงฮิสโตแกรมสี จากนั้นจึงนำค่าสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตแบบ Haar ที่ได้มาแปลงให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นคำจำกัดความสีที่เรียกว่า คำจำกัดความสีแบบ Haar ที่มีขนาดเพียง 63 บิต แต่คำจำกัดความนี้สามารถใช้ในการคั่นคั้นรูปภาพได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ จากนั้นได้ทำการปรับปรุงกระบวนการในการคั่นคั้นให้สามารถคั่นคั้นรูปภาพได้เร็วขึ้นโดยการนำวิธีการ Pruning มาใช้ในการตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไป ทำให้ลดจำนวนการเปรียบเทียบลงได้เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมที่จะต้องนำคำจำกัดความของภาพคำถามไปเปรียบเทียบกับคำจำกัดความของรูปภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล โดยที่วิธีการนี้ยังคงให้ประสิทธิภาพในการคั่นคั้นใกล้เคียงกับเมื่อไม่ได้นำวิธีการ Pruning มาใช้

#### 6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar สามารถคั่นคั้นรูปภาพได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการคั่นคั้นรูปภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมสี ซึ่งคำจำกัดความสีแบบ Haar มีลักษณะเด่นคือ สามารถใช้คั่นคั้นภาพซึ่งมีลักษณะที่สีของภาพแตกต่างกันไม่มากนัก แต่ฮิสโตแกรมของภาพนั้นต่างกันได้ในขณะที่ใช้ฮิสโตแกรมสีไม่สามารถคั่นคั้นภาพลักษณะนี้ได้

นอกจากนี้คำจำกัดความสีแบบ Haar ยังสามารถคั่นคั้นรูปภาพได้รวดเร็วกว่าการใช้ฮิสโตแกรมสี เนื่องจากคำจำกัดความสีแบบ Haar มีขนาดเล็กกว่ามากและจากคุณสมบัติของคำจำกัดความที่เป็นคำจำกัดความแบบไบนารี ทำให้สามารถใช้วิธีการเปรียบเทียบความต่างแบบง่ายๆ โดยที่ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ซับซ้อนได้

โดยที่คำจำกัดความสีแบบ Haar จะคั่นคั้นรูปภาพได้ดีกับภาพที่มีลักษณะสีของภาพโดยรวมที่คล้ายกัน หรือภาพที่ตัดมาจากภาพเคลื่อนไหว แต่คำจำกัดความสีนี้จะไม่เหมาะกับการคั่นคั้นภาพที่ต้องการเจาะจงวัตถุใดวัตถุหนึ่งในภาพ

และจากการทดลองปรับปรุงกระบวนการในการคั่นคั้นรูปภาพ โดยนำคำจำกัดความสีแบบ Haar มาใช้ร่วมกับวิธีการ Pruning พบว่าการ Pruning โดยวิธีการเลือกกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงจะตัดภาพที่ต้องการออกไปมากกว่าการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำ เนื่องจากการกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงจะเป็นการตัดรูปภาพที่มีสีหลักของภาพซึ่งใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไปจากการพิจารณา ส่วนการเลือกกำหนดบิตโดยใช้บิตที่มีค่าต่ำจะเป็นการตัดรูปภาพที่มีสีที่ซึ่งมีความสำคัญน้อยที่สุดต่อภาพคำถามออกไป

การปรับปรุงขั้นตอนในการค้นหาโดยนำวิธีการ Pruning มาใช้นั้นสามารถช่วยลดเวลาในการค้นหาได้ แต่การเลือกที่จะใช้วิธีการกำหนดบิตที่บิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงหรือค่าต่ำนั้นจะคำนึงถึงประสิทธิภาพในการค้นหาที่ได้ให้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการค้นหาที่ไม่ได้นำวิธีการ Pruning มาใช้ และจะต้องเกิดการตัดภาพที่ต้องการออกไปให้น้อยที่สุดเป็นสิ่งสำคัญ

แต่จะไม่ได้เลือกจากเวลาที่ลดลงได้เนื่องจากเวลาที่ลดลงได้นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับทางเลือกที่จะกำหนดบิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าสูงหรือค่าต่ำ แต่ขึ้นอยู่กับว่าภาพในฐานข้อมูลที่มีอยู่มีบิตตรงกันกับบิตที่กำหนดจำนวนมากหรือน้อย ถ้าภาพในฐานข้อมูลมีบิตที่ตรงกันกับบิตที่กำหนดจำนวนมากก็จะลดเวลาในการค้นหาได้น้อย แต่ถ้าภาพในฐานข้อมูลมีบิตที่ตรงกันกับบิตที่กำหนดจำนวนน้อยก็จะลดเวลาในการค้นหาได้มาก ดังนั้นการใช้การกำหนดบิต 1 บิตโดยใช้ฮิสโตแกรมที่มีค่าต่ำจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมจะนำไปใช้งานมากที่สุด

## 6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

เนื่องจากคำจำกัดความสีแบบ Haar นั้นมีข้อจำกัดในการนำมาใช้ค้นหารูปภาพในลักษณะที่ต้องการวัตถุในภาพซึ่งเป็นธรรมชาติของการมองภาพของมนุษย์ โดยการค้นหารูปภาพที่มีลักษณะแบบนี้จะต้องอาศัยคุณลักษณะของรูปร่าง พื้นผิว ตำแหน่งของสีภายในภาพ รวมถึงการแบ่งส่วนภาพมาใช้ในการค้นหา ดังนั้นเพื่อที่จะได้ผลของการค้นหาที่มีประสิทธิภาพ และได้ภาพที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนะแนวทางในการลดเวลาในการค้นหาโดยใช้คุณลักษณะของรูปร่าง พื้นผิว ตำแหน่งของสีภายในภาพ หรือการแบ่งส่วนภาพ มาใช้ในการค้นหา ร่วมกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning โดยในขั้นแรกจะเป็นการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning เพื่อคัดเลือกภาพที่คล้ายกันกับภาพคำถามและตัดภาพที่ไม่ใกล้เคียงกับภาพคำถามออกไปจากการพิจารณา จากนั้นจึงเปรียบเทียบคำจำกัดความสีแบบ Haar และคุณลักษณะต่างๆ ดังกล่าวของภาพคำถามกับภาพที่ถูกเลือก ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สามารถลดจำนวนการเปรียบเทียบลงได้ทำให้ลดเวลาในการค้นหาได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Deb S. and Zhang Y. "An Overview of Content-based Image Retrieval Techniques" **International Conference on Advanced Information Networking and Application**, vol.1, 2004. pp. 59-64.
- [2] Albuz, E., Kocalar, E. and Khokhar, A.A. "Scalable color image indexing and retrieval using vector wavelets" **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, vol. 13, 2001. pp. 851-861.
- [3] Swain M.J. and Ballard D.H. "Color Indexing" **International Journal of Computer Vision**, vol.7, no.1, Nov. 1991. pp. 11-32.
- [4] Stricker M.A. and Orengo M. "Similarity of Color Images" **Storage and Retrieval for Image and Video Database (SPIE)**, vol. 2420 , Feb. 1996. pp. 381-392.
- [5] Stricker M.A. and Dimai A. "Color Indexing with Weak Spatial Constraints" **Storage and Retrieval for Image and Video Database Conf.**, 1996. pp. 29-40.
- [6] Carson C., Belongie S., Greenspan H. and Malik J. "Region-Based Image Querying" **Proc. CVPR'97 Workshop on Content-Based Access of Image and Video Libraries**, 1997. pp. 1-8.
- [7] Jacobs C.E., Finkelstein A. and Salesin D.H. "Fast Multiresolution Image Querying" **Proc. SIGGRAPH 95**, Aug. 1995. pp. 277-286.
- [8] Wang J.Z., Wiederhold G., Firschein O. and Wei S.X. "Wavelet Based Image Indexing Techniques with Partial Sketch Retrieval Capability" **IEEE Research and Technology Advances in Digital Libraries**, May 1997. pp. 13-24.
- [9] Xia Wan and C.-C. Jay Kuo "A New Approach to Image Retrieval with Hierarchical Color Clustering" **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, vol. 8, no.5, Sep. 1998. pp. 628-642.
- [10] Krishnamachari S. and Mottaleb M.A., "Compact Color Descriptor for Fast Image and Video Segment Retrieval" **Proc. IS&T/SPIE Storage and Retrieval of Media Databases**, 2000.
- [11] Mottaleb M.A. and Krishnamachari S., "Multimedia Descriptor Based on MPEG-7 Extraction and Applications" **IEEE Transactions on Multimedia**, vol. 6, no.3 , June 2004. pp. 459-468.
- [12] Gong Y., Chua H.C and Guo X. "Image Indexing and Retrieval Based on Color Histograms." **Multimedia Tools and Application**, vol.2, no. 2, 1996. pp. 133-156.

- [13] Graps A. "An Introduction to Wavelets" **IEEE Computational Science and Engineering**, vol. 2, 1995. pp. 50-61.
- [14] Teknomo K. "Similarity Measurement" [Online].  
<http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/Similarity/index.html>. 2005
- [15] Manjunath B. S., Ohm J.-R., Vasudevan V.V. and Yamada A., "Color and texture descriptors" **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, vol. 11, June 2001.  
pp. 703 -715
- [16] Baeza-Yates R. and Ribeiro-Neto B. **Modern Information Retrieval**. United State : Addison-Wesley, Inc.1999
- [17] Britton I. "Free Pictures" [Online]. <http://www.freefoto.com> . 2002.

ภาคผนวก ก



ภาพคำถาม

Histogram					
Haar					
FixLow1					
FixLow2					
FixLow3					
FixHigh1					
FixHigh2					
FixHigh3					

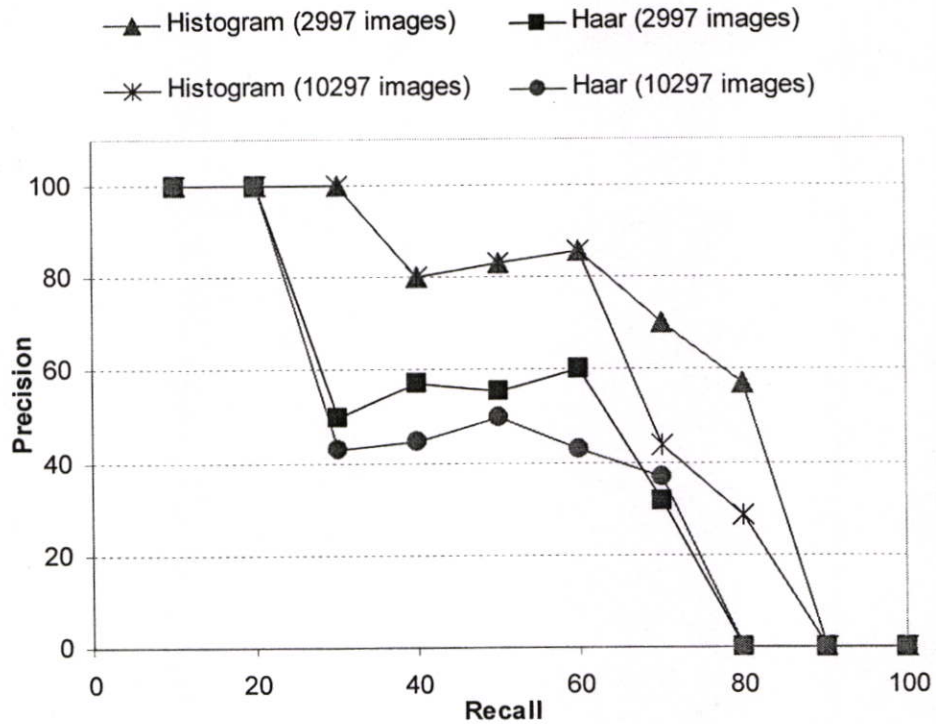
รูปที่ ก.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเฮลิคอปเตอร์จากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



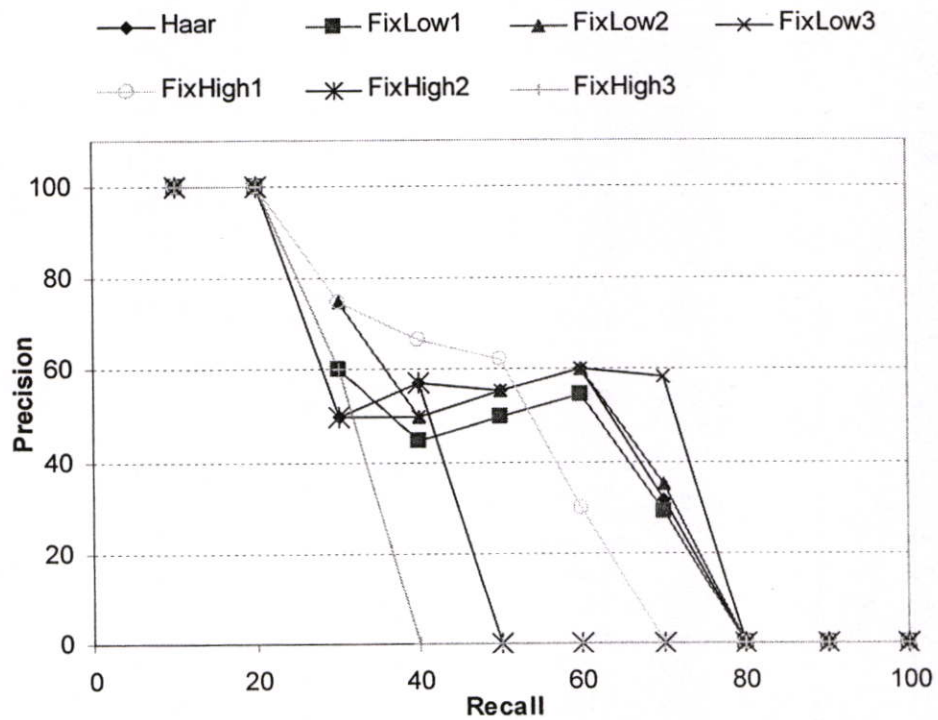
ภาพคำถาม

Histogram					
Haar					
FixLow1					
FixLow2					
FixLow3					
FixHigh1					
FixHigh2					
FixHigh3					

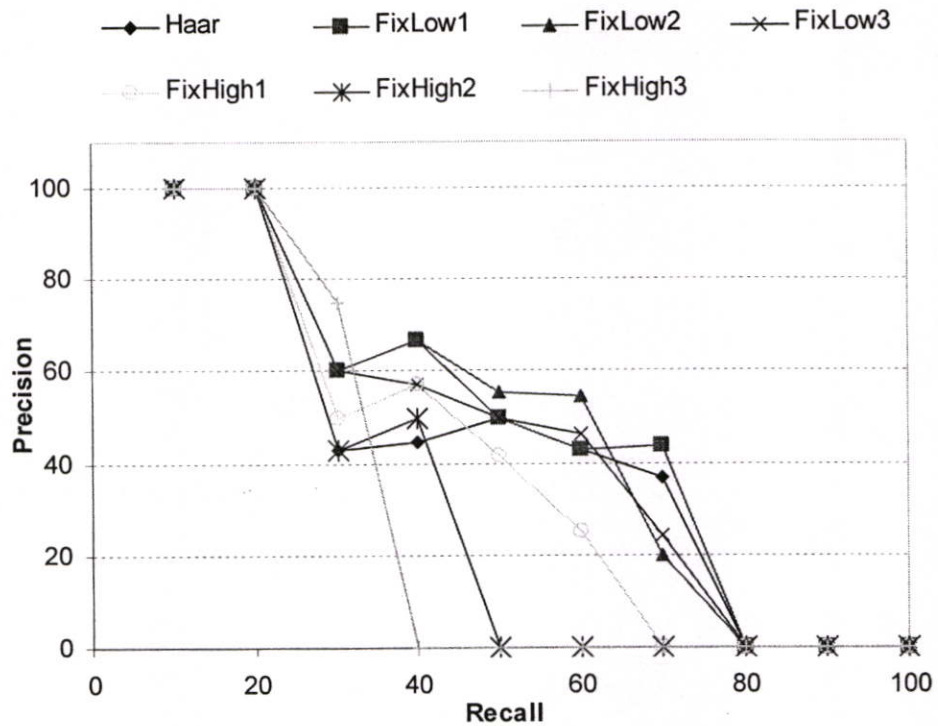
รูปที่ ก.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเสถียรภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ๓.๓ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเฮลิคอปเตอร์โดยใช้ฮิสโตแกรมสี่เหลี่ยมเทียบกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar



รูปที่ ๓.๔ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเฮลิคอปเตอร์จากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดสี่เหลี่ยมร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ๓.๕ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเฮลิคอปเตอร์จากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ๓.๑ ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพเฮลิคอปเตอร์

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.21	0.27
Haar	0.35	0.37
FixLow1	0.37	0.34
FixLow2	0.34	0.39
FixLow3	0.33	0.38
FixHigh1	0.42	0.45
FixHigh2	0.58	0.59
FixHigh3	0.68	0.67



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

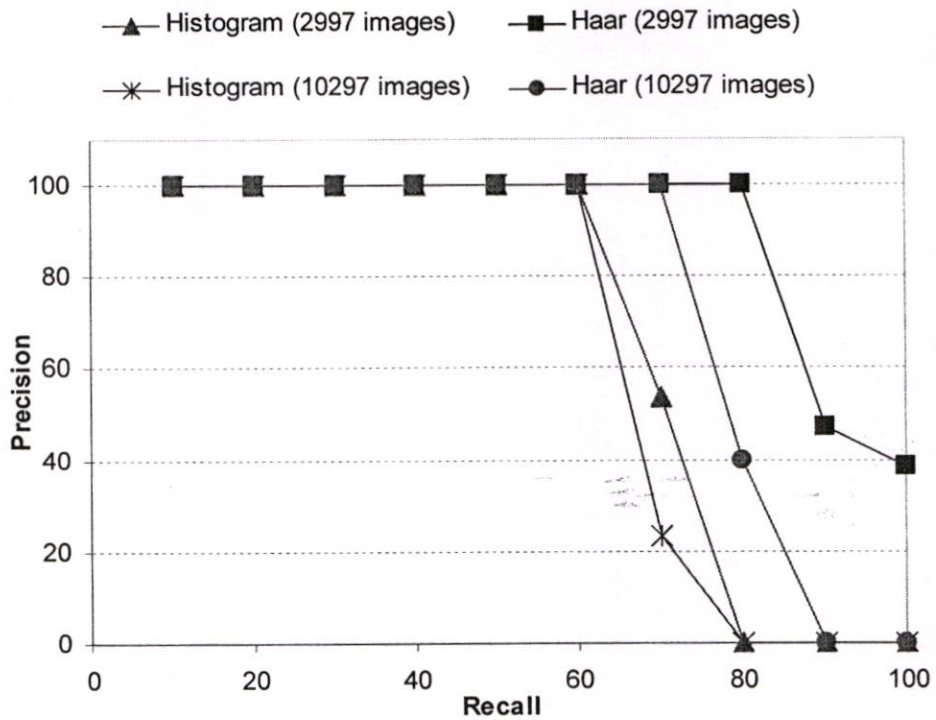
รูปที่ ก.6 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพรถไฟจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



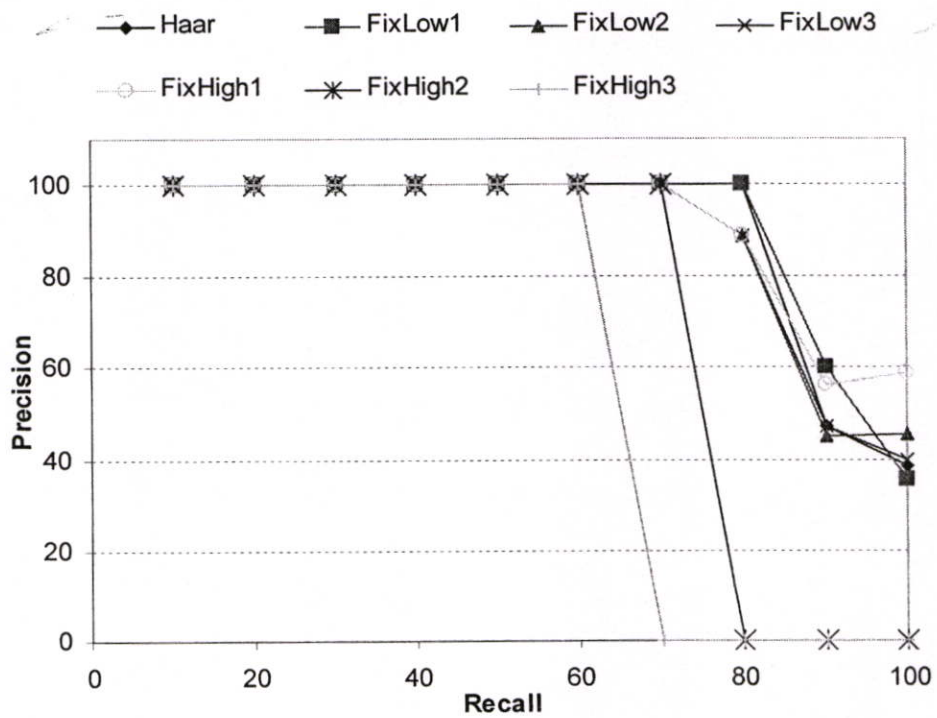
ภาพคำถาม

<p><b>Histogram</b></p>					
<p><b>Haar</b></p>					
<p><b>FixLow1</b></p>					
<p><b>FixLow2</b></p>					
<p><b>FixLow3</b></p>					
<p><b>FixHigh1</b></p>					
<p><b>FixHigh2</b></p>					
<p><b>FixHigh3</b></p>					

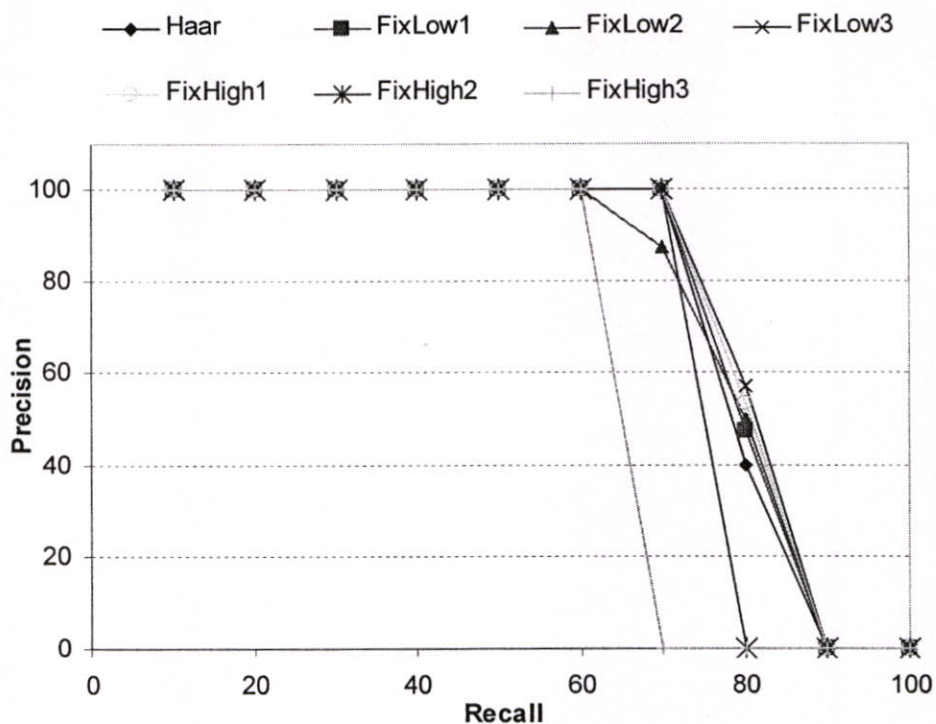
รูปที่ ก.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพรถไฟจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ๘.๘ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรถไฟโดยการใช้ฮิสโตแกรมสี่เหลี่ยมกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar



รูปที่ ๘.๙ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรถไฟจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดสี่เหลี่ยม Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ก.10 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรถไฟจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการ  
ใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ก.2 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพรถไฟ

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.29	0.34
Haar	0.07	0.21
FixLow1	0.07	0.20
FixLow2	0.07	0.20
FixLow3	0.07	0.19
FixHigh1	0.04	0.20
FixHigh2	0.27	0.27
FixHigh3	0.37	0.37



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

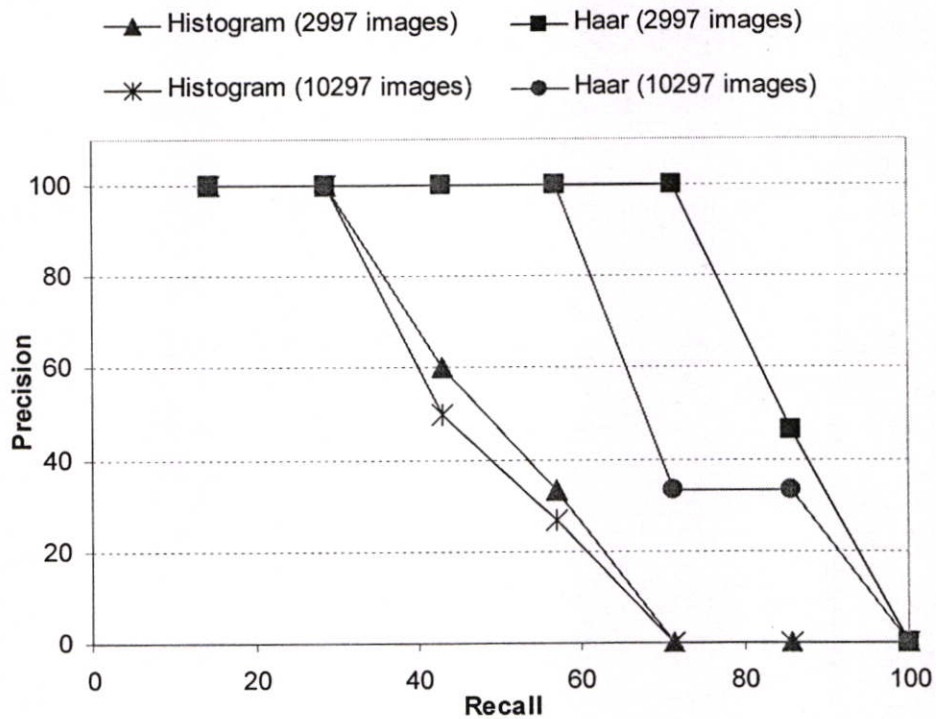
รูปที่ ก.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



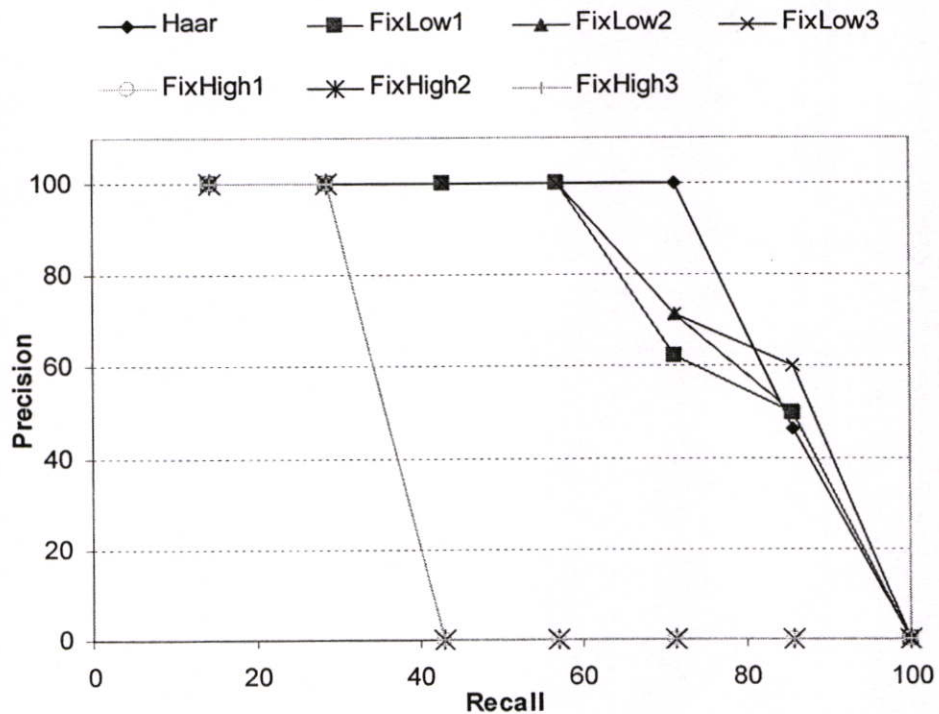
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

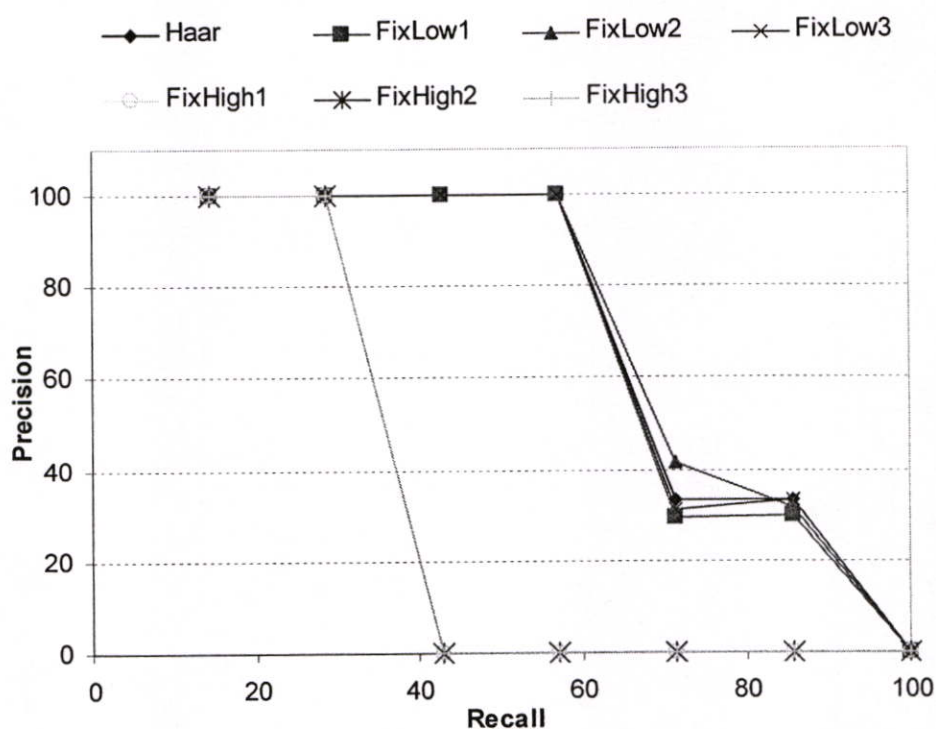
รูปที่ ก.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ก.13 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาโดยใช้ฮิสโตแกรมสี่ เทียบกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar



รูปที่ ก.14 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ๑.๑๕ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ๑.๓ ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพผู้หญิงเล่นกีฬา

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.45	0.47
Haar	0.17	0.25
FixLow1	0.18	0.27
FixLow2	0.17	0.24
FixLow3	0.16	0.26
FixHigh1	0.69	0.69
FixHigh2	0.69	0.69
FixHigh3	0.69	0.69



ภาพคำถาม

Histogram					
Haar					
FixLow1					
FixLow2					
FixLow3					
FixHigh1					
FixHigh2					
FixHigh3					

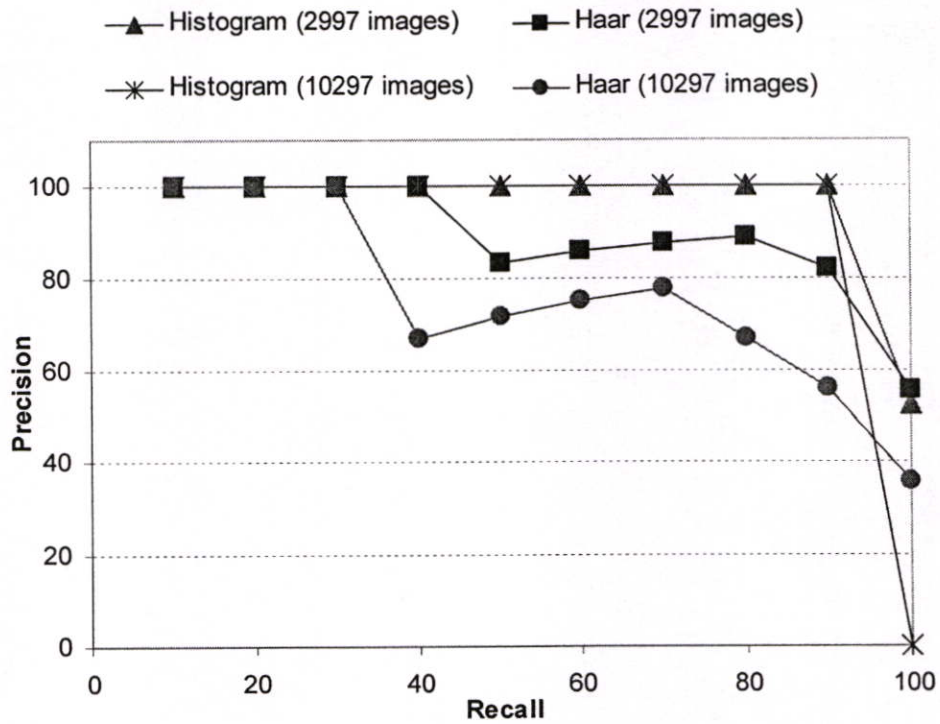
รูปที่ ก.16 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



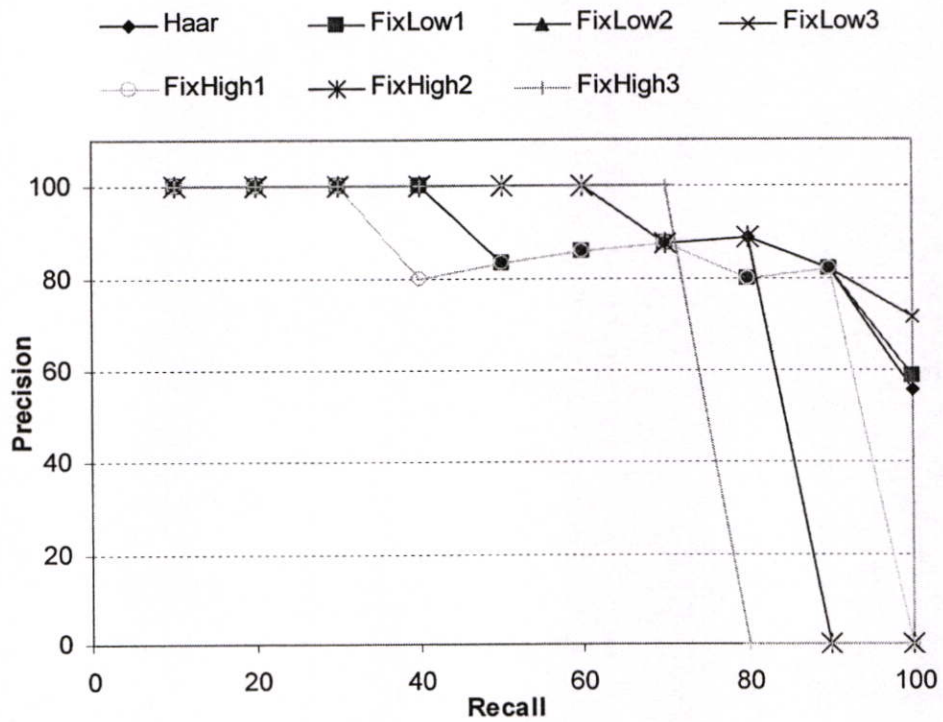
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

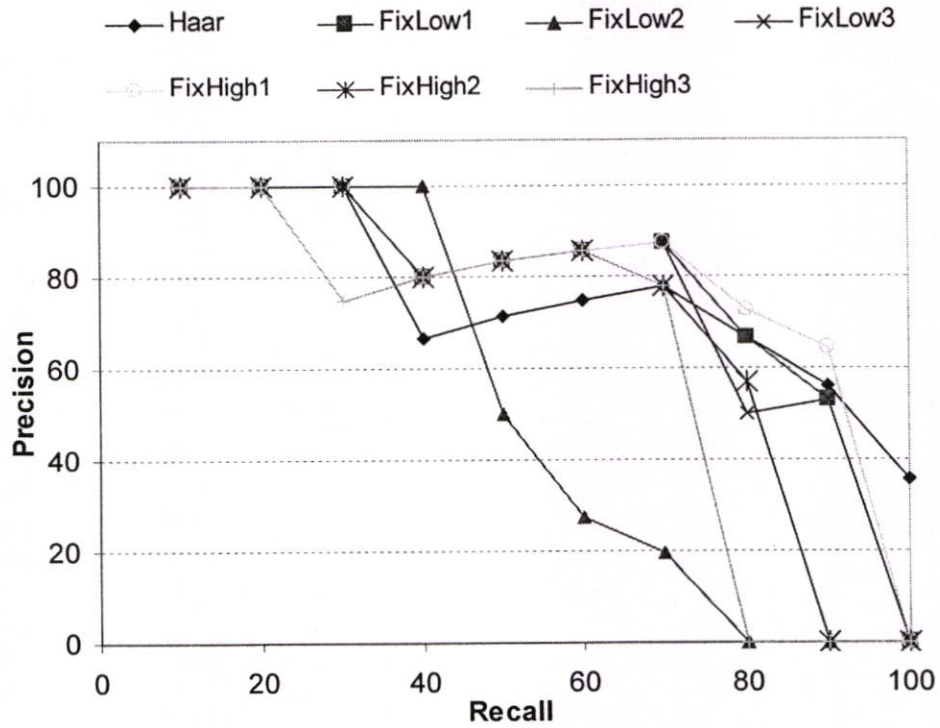
รูปที่ ก.17 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ก.18 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้ชายโดยการใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับ การใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar



รูปที่ ก.19 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยการใช้ คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ก.20 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผู้ชายจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการ  
ใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ก.4 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพผู้ชาย

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.03	0.09
Haar	0.04	0.10
FixLow1	0.04	0.13
FixLow2	0.04	0.12
FixLow3	0.03	0.14
FixHigh1	0.11	0.12
FixHigh2	0.18	0.21
FixHigh3	0.27	0.29



ภาพคำถาม

Histogram					
Haar					
FixLow1					
FixLow2					
FixLow3					
FixHigh1					
FixHigh2					
FixHigh3					

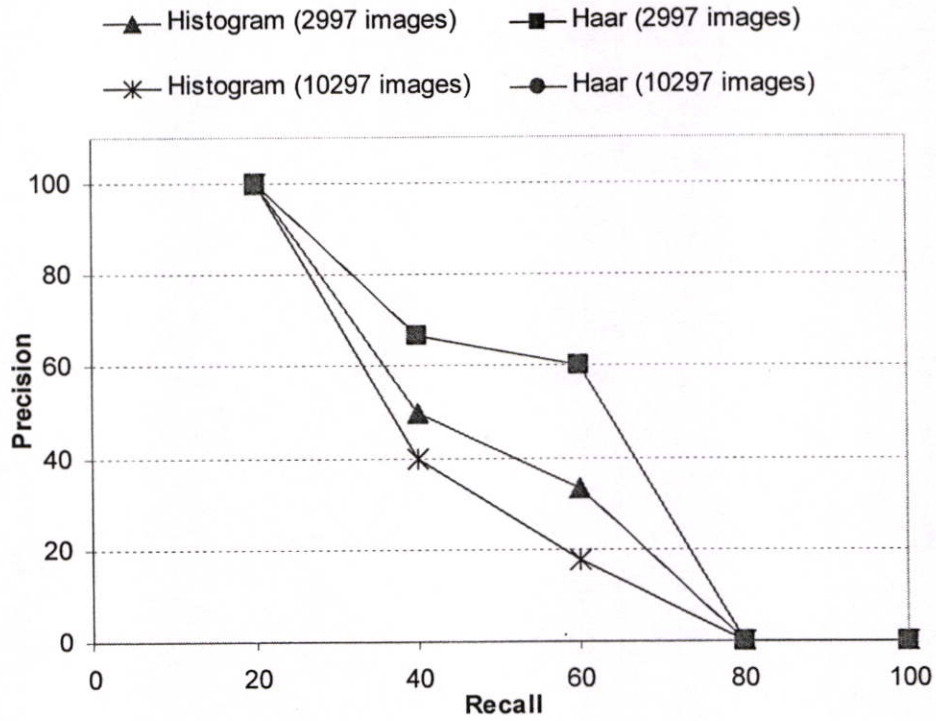
รูปที่ ก.21 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



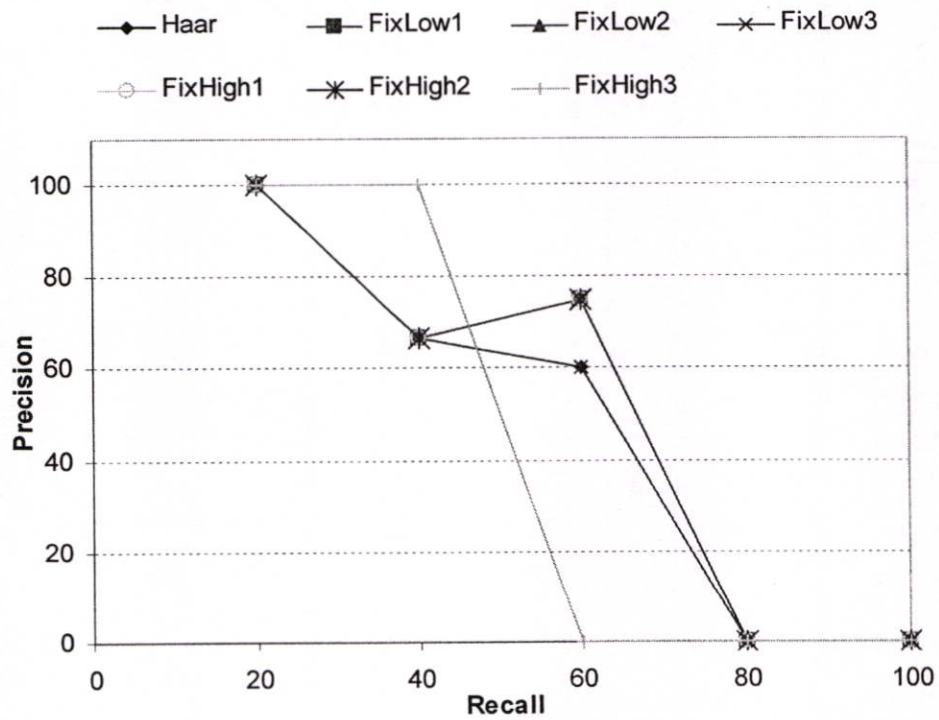
ภาพคำถาม

Histogram					
Haar					
FixLow1					
FixLow2					
FixLow3					
FixHigh1					
FixHigh2					
FixHigh3					

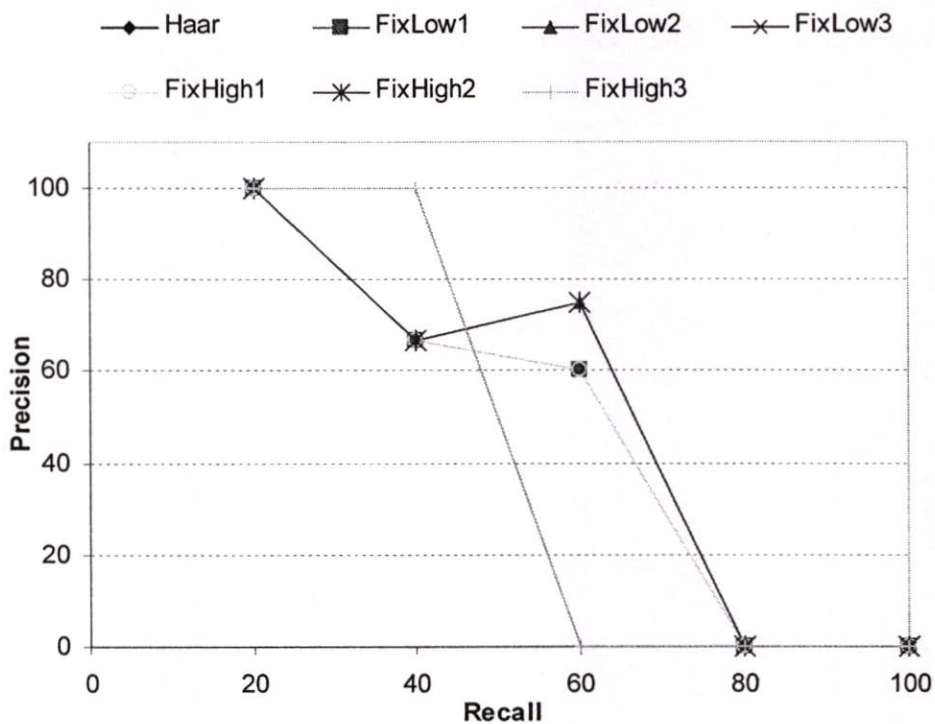
รูปที่ ก.22 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ก.23 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผักสีเขียวโดยใช้วิธี Histogram เปรียบกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar



รูปที่ ก.24 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ก.25 กราฟ Recall และ Precision ของการคัดเลือกภาพผักสีเขียวจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ก.5 ค่า NMRR ของการคัดเลือกภาพผักสีเขียว

วิธีการคัดเลือกรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.46	0.56
Haar	0.40	0.40
FixLow1	0.39	0.40
FixLow2	0.39	0.39
FixLow3	0.40	0.39
FixHigh1	0.39	0.40
FixHigh2	0.39	0.39
FixHigh3	0.57	0.57



ภาพคำถาม

Histogram						
Haar						
FixLow1						
FixLow2						
FixLow3						
FixHigh1						
FixHigh2						
FixHigh3						

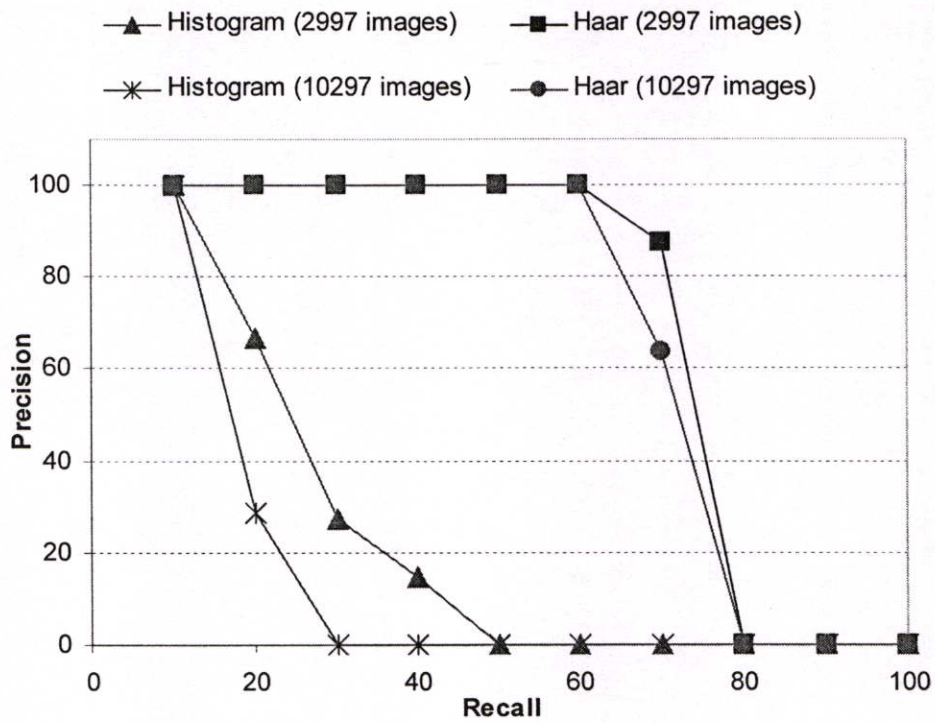
รูปที่ ก.26 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเทียบจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



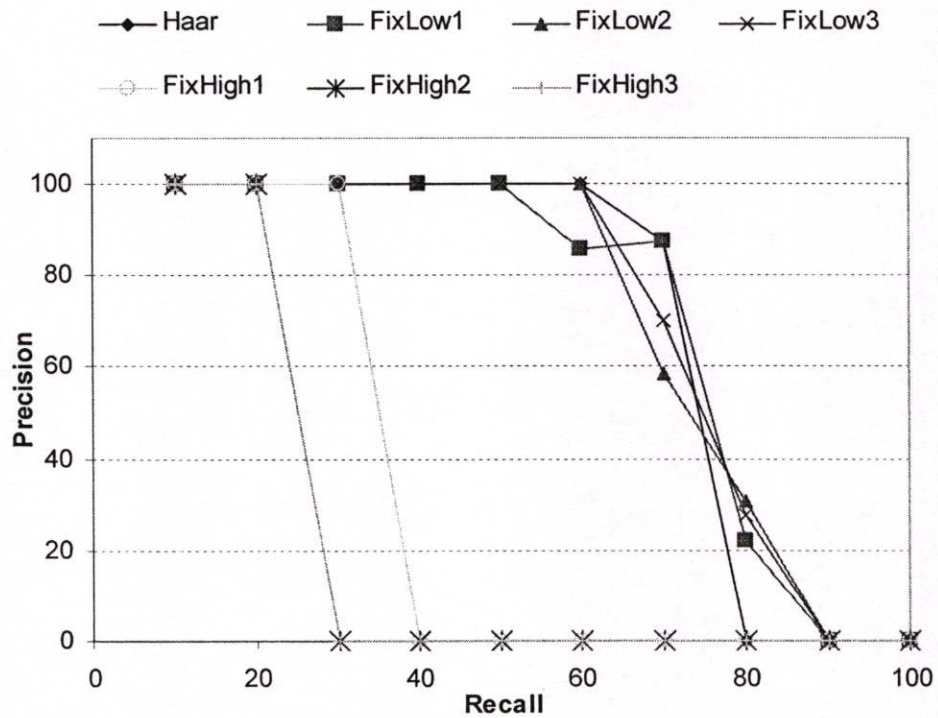
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

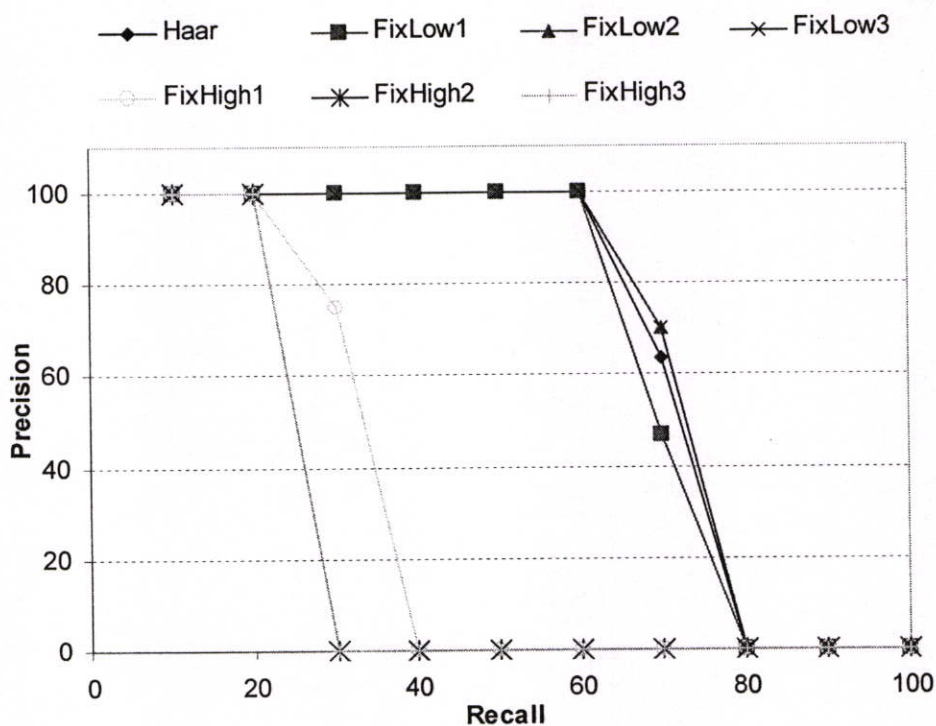
รูปที่ ก.27 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคันคืนภาพเทียบจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ก.28 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเทียบ โดยการใช้วิธี Histogram เปรียบกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar



รูปที่ ก.29 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเทียบจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ก.30 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพเทียบจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการ  
ใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ก.6 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพเทียบ

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.66	0.79
Haar	0.27	0.28
FixLow1	0.26	0.29
FixLow2	0.24	0.28
FixLow3	0.25	0.28
FixHigh1	0.67	0.67
FixHigh2	0.78	0.78
FixHigh3	0.78	0.78



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

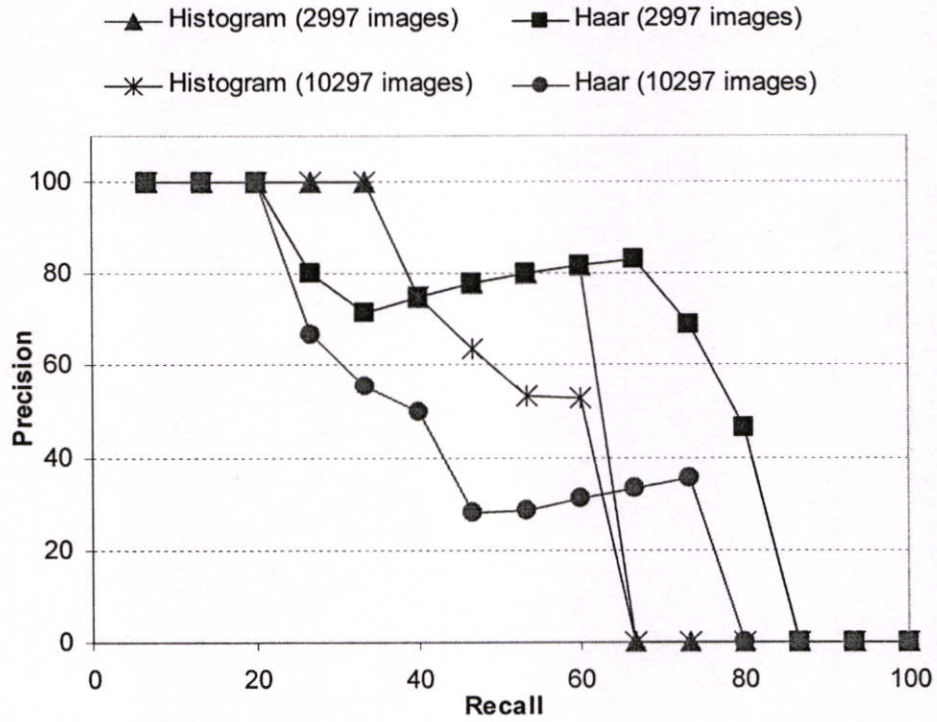
รูปที่ ก.31 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



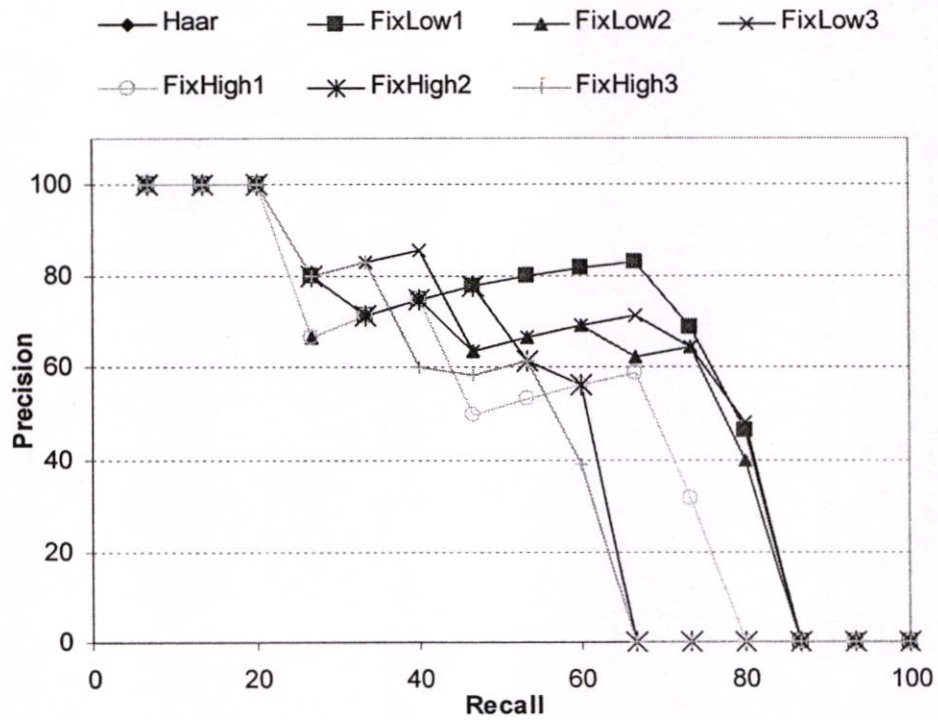
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

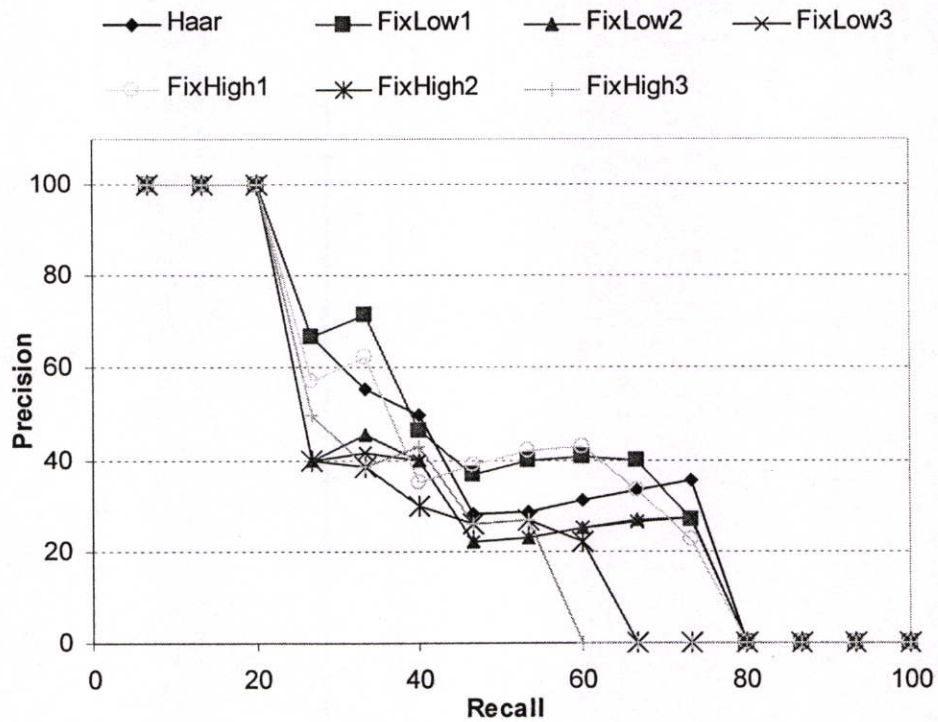
รูปที่ ก.32 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ๓.๓๓ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรูปปั้น โดยการใช้ฮิสโตแกรมสี่เหลี่ยมกับการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar



รูปที่ ๓.๓๔ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพรูปปั้นจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ๓.๓๕ กราฟ Recall และ Precision ของการคั่นคั้นภาพรูปป็นจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการ  
ใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ๓.๗ ค่า NMRR ของการคั่นคั้นภาพรูปป็น

วิธีการคั่นคั้นรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.38	0.39
Haar	0.22	0.38
FixLow1	0.22	0.36
FixLow2	0.24	0.44
FixLow3	0.23	0.44
FixHigh1	0.31	0.38
FixHigh2	0.39	0.49
FixHigh3	0.40	0.51



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

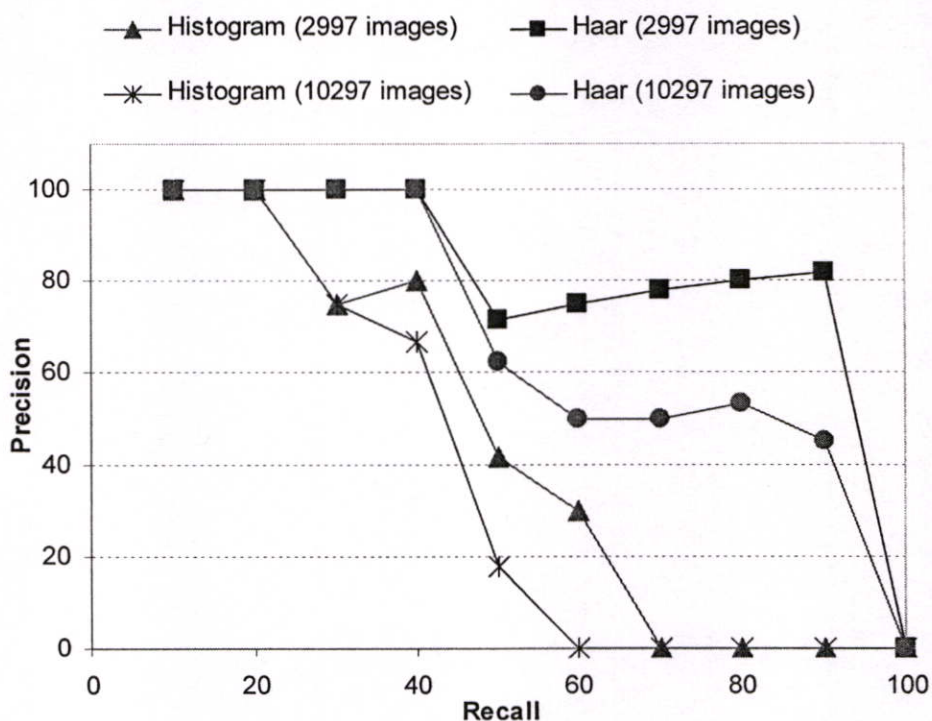
รูปที่ ก.36 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคั่นคั้นภาพคำธารจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



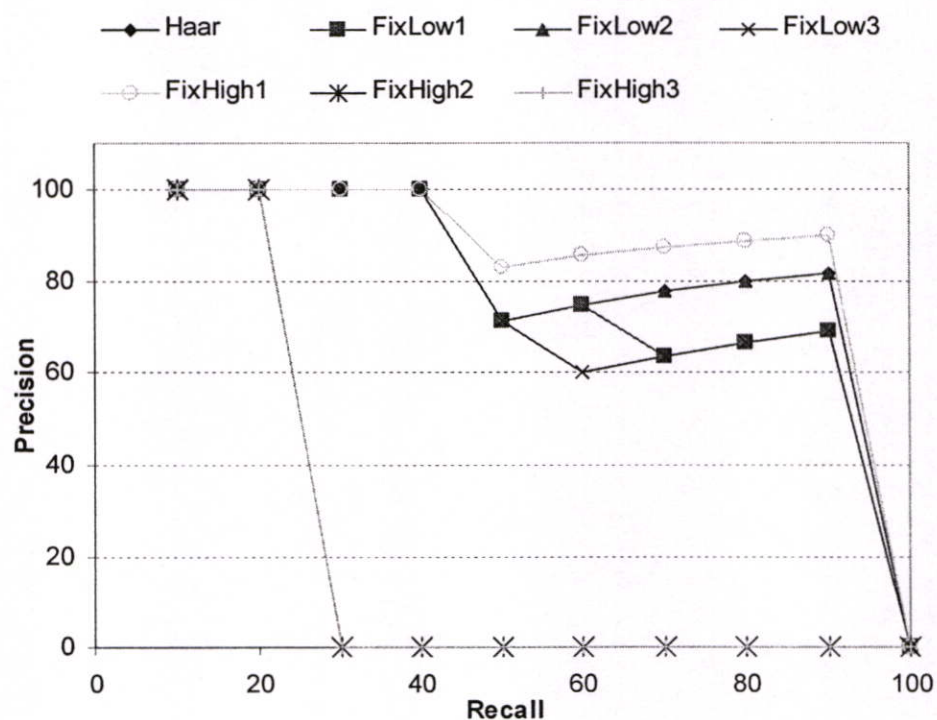
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

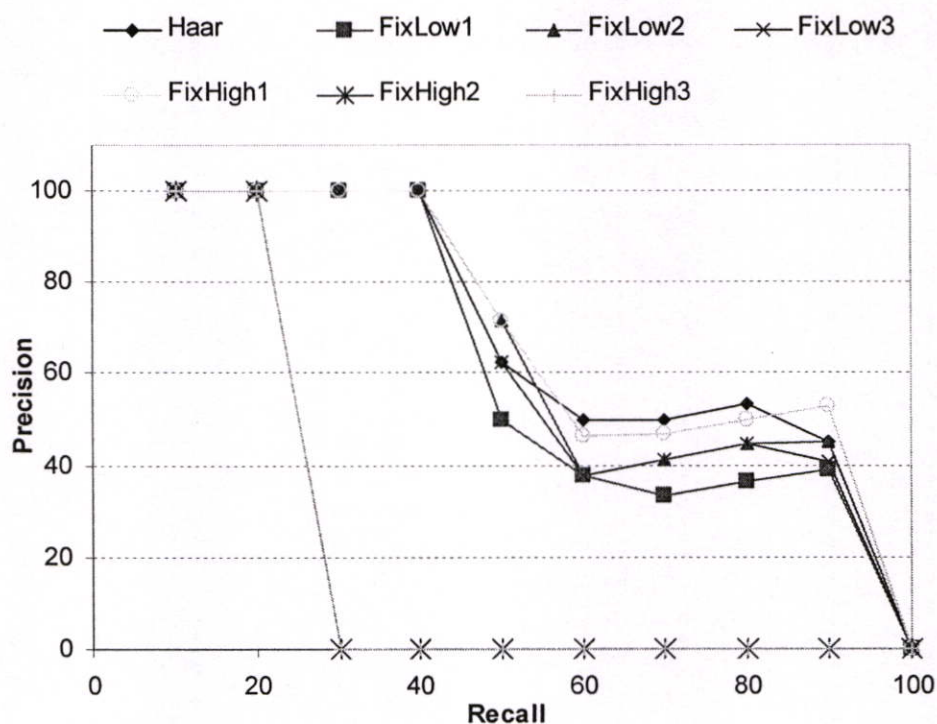
รูปที่ ก.37 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคั่นคืนภาพคำธารจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ๓.๓๘ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาหารโดยใช้ฮิสโตแกรมสีเทียบกับ  
การใช้จำกัดความถี่แบบ Haar



รูปที่ ๓.๓๙ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพอาหารจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยใช้  
ใช้จำกัดความถี่แบบ Haar และจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ก.40 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพตำราจากรฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ก.8 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพตำรา

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.43	0.54
Haar	0.12	0.18
FixLow1	0.13	0.25
FixLow2	0.12	0.21
FixLow3	0.14	0.22
FixHigh1	0.10	0.18
FixHigh2	0.78	0.78
FixHigh3	0.78	0.78



ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

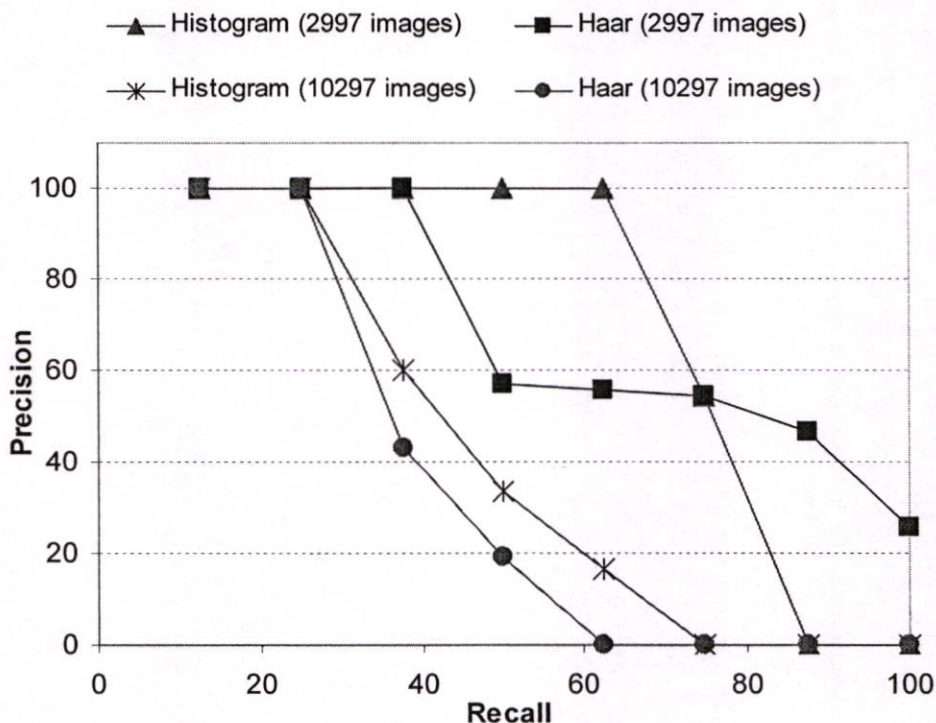
รูปที่ ก.41 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคั่นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



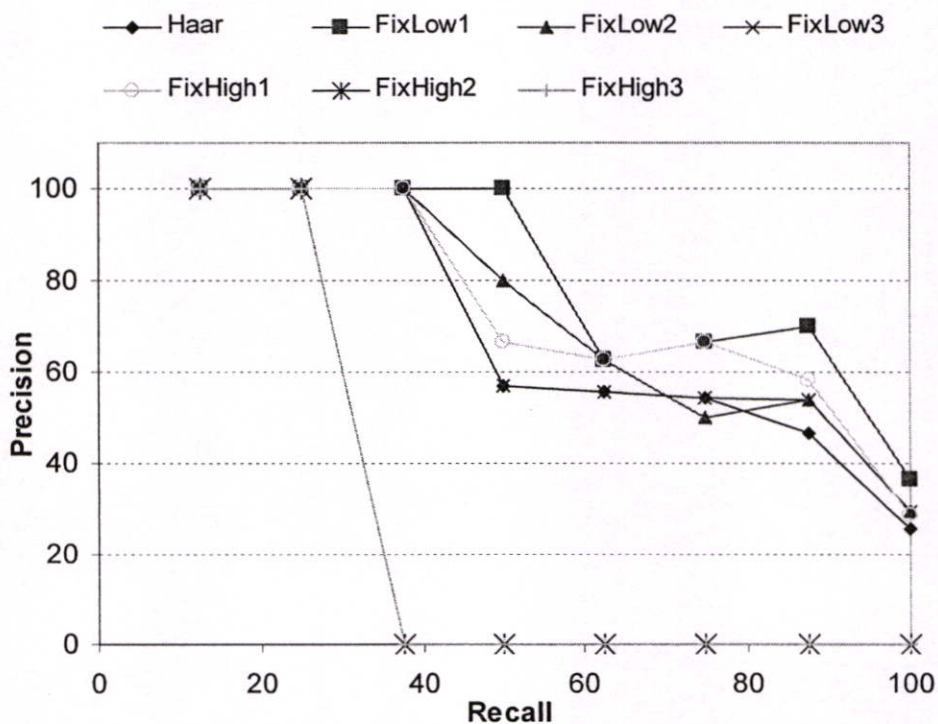
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

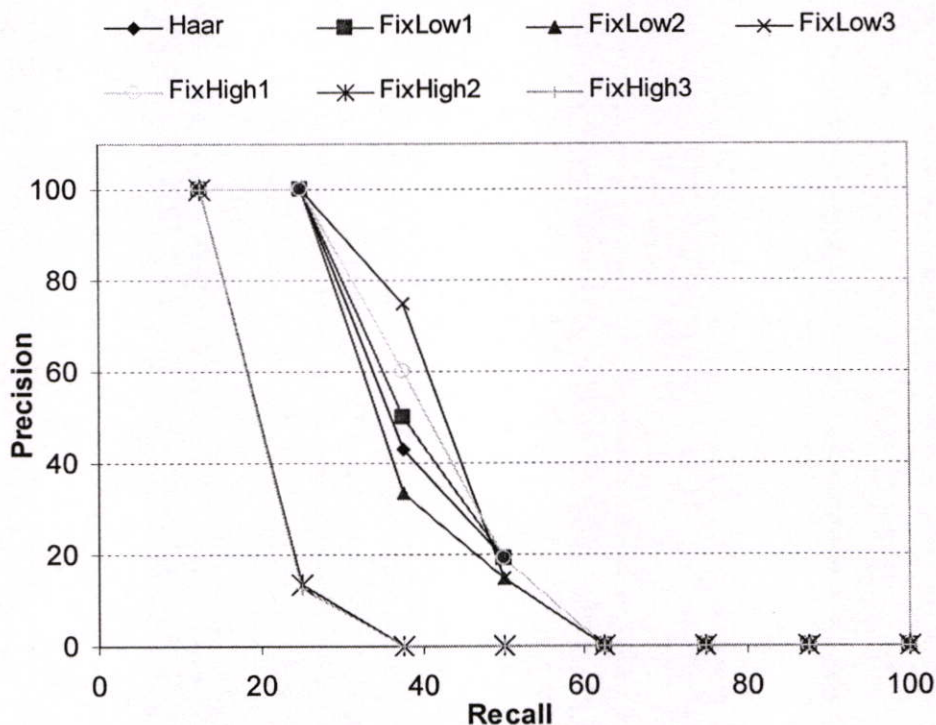
รูปที่ ก.42 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคืนคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ก.43 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพปลาโดยใช้วิธี Histogram เปรียบเทียบกับการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar



รูปที่ ก.44 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดเล็กโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Haar และค่าจำกัดความถี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ๓.๔๕ กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพปลาจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่โดยการใช้คำจำกัดความสี่แบบ Haar และคำจำกัดความสี่แบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ๓.๙ ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพปลา

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.25	0.50
Haar	0.19	0.56
FixLow1	0.10	0.55
FixLow2	0.15	0.59
FixLow3	0.16	0.57
FixHigh1	0.14	0.55
FixHigh2	0.72	0.78
FixHigh3	0.72	0.79



ภาพคำถาม

Histogram					
Haar					
FixLow1					
FixLow2					
FixLow3					
FixHigh1					
FixHigh2					
FixHigh3					

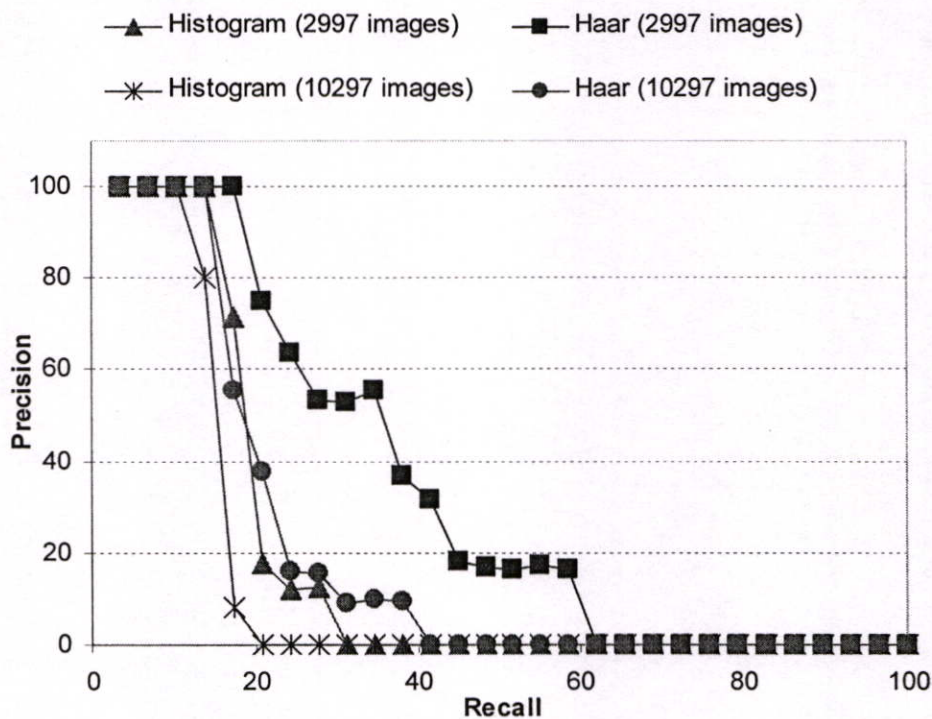
รูปที่ ก.46 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก



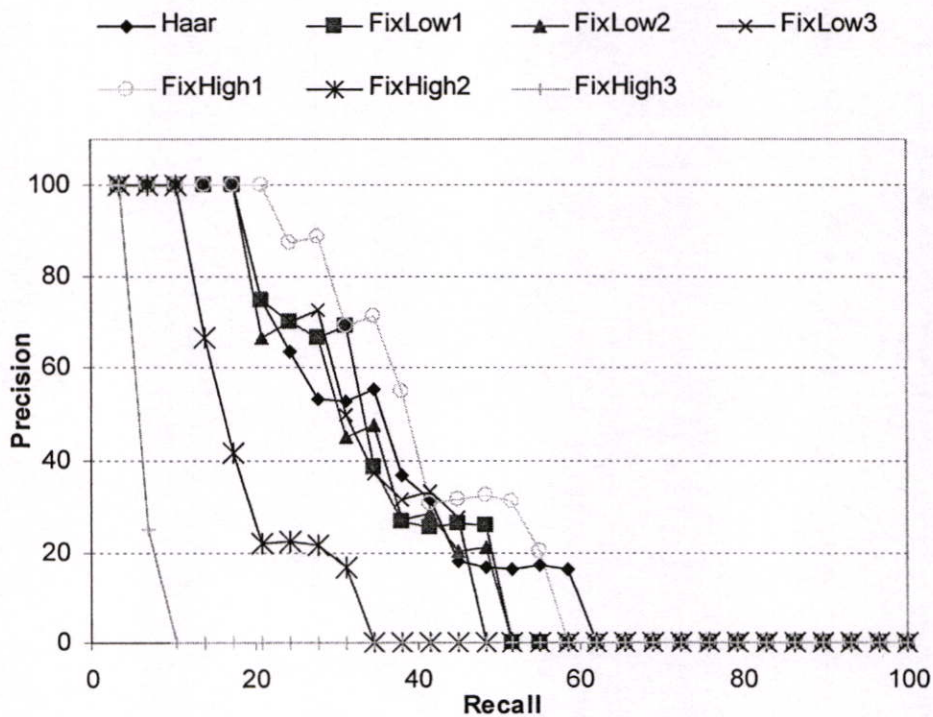
ภาพคำถาม

<b>Histogram</b>					
<b>Haar</b>					
<b>FixLow1</b>					
<b>FixLow2</b>					
<b>FixLow3</b>					
<b>FixHigh1</b>					
<b>FixHigh2</b>					
<b>FixHigh3</b>					

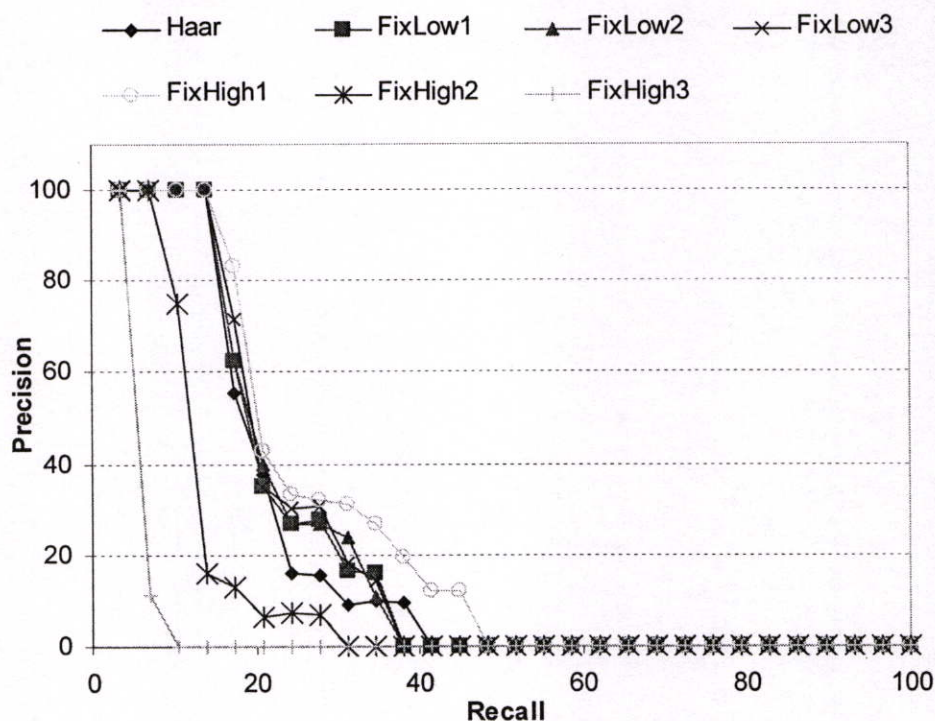
รูปที่ ก.47 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่



รูปที่ ก.48 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงโดยใช้ฮิสโตแกรมสี เทียบกับการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar



รูปที่ ก.49 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดเล็ก โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning



รูปที่ ก.50 กราฟ Recall และ Precision ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วงจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่  
โดยการใช้คำจำกัดความสีแบบ Haar และคำจำกัดความสีแบบ Haar ร่วมกับวิธีการ Pruning

ตารางที่ ก.10 ค่า NMRR ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีม่วง

วิธีการค้นคืนรูปภาพ	ค่า NMRR	
	ฐานข้อมูลขนาดเล็ก	ฐานข้อมูลขนาดใหญ่
Histogram	0.74	0.83
Haar	0.53	0.71
FixLow1	0.54	0.67
FixLow2	0.55	0.68
FixLow3	0.56	0.67
FixHigh1	0.48	0.62
FixHigh2	0.70	0.81
FixHigh3	0.92	0.93

ภาคผนวก ข

# Color Descriptor for Image Retrieval in Wavelet Domain

Ariya Utenpattanant  
Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand  
ariyau@yahoo.com

Orachat Chitsobhuk  
Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand  
kcoracha@kmitl.ac.th

Amnach Khawne  
Faculty of Engineering,  
King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand  
kkamaj@kmitl.ac.th

**Abstract** — This paper presents an approach to manage a large database using a compact color descriptor and a statistical method for accurately pruning the database. A compact color descriptor adopted in the proposed content-based image retrieval system is 63-bit binary Haar color histogram, which is very compact and can be effectively used for fast image search. In addition to fast searching using this compact descriptor, we further improve retrieval time by applying pruning technique, which looks for the candidate images similar to the query image from the database and ignore the rest that are not likely to the query image. The descriptors of the candidate images are then matched with that of the query. The most similar images will be retrieved and ordered according to their distance to the query. The proposed retrieval system can efficiently retrieve the most similar images from the database while can help reducing the retrieval time and the storage space.

**Keywords** — Compact descriptor, image retrieval, pruning.

## 1. Introduction

As the availability of images has been significantly increasing, this creates a need for efficiently organizing and managing of image storage systems. Several low-level image content descriptions are proposed [1] [2]. Among the basic low-level features used to index each image in the database, color is the most effective feature for representing visual information since it is local and independent of view and resolution. Color histogram is the most widely used color descriptor to represent the color content of an image [3]. However, it is not suitable for some tasks in image such as search, filtering and retrieval since color histogram need a large number of bits to represent color information which becomes a difficult problem and requires large amount of processing time in matching images.

This paper presents an image retrieval system using a compact color descriptor obtained from Haar transform coefficient of the color histogram [4]. Each coefficient is quantized to a binary number. This results in a color descriptor of 63 bits long, which is more compact than regular color histogram. The binary nature of the descriptor allows simple matching metric based on Hamming distance. This compact descriptor is useful for applications where the

computational resources are limited and there is a need to stream the descriptors through a bandwidth-limited channel. In addition, to further reduce the searching time, the hierarchical search using statistical pruning technique is proposed in this paper. The objective of pruning is to remove images from the database that are not likely to be of interest to the user while retaining all or most potentially candidate images [5]. This is useful since the reduced size of the pruned database makes it easier and more effective to search through the database. Then, the descriptors of the candidate images are compared to the descriptor of the query. The most similar candidate images are retrieved and ordered according to their distances to the query.

The organization of this paper is as followed. Section 2 presents a process to generate a compact binary Haar color descriptor. Section 3 details the proposed image retrieval system followed by experimental results in Section 4. Finally, summarize and conclusion is presented in Section 5.

## 2. Binary Haar descriptor

In this paper, a compact color descriptor called binary Haar descriptor [4] is adopted as an index of an image.

The algorithm used to compute the binary Haar descriptor can be expressed as followed

2.1 Obtain the color histogram using a suitable color space and quantization table. The histogram can be one, two or three dimensional histogram. (In this paper, one dimensional uniformly quantized HSV color histogram is adopted.)

2.2 Compute the Haar transform coefficients of the histogram by using Haar wavelet function (1). Since the Haar wavelet function [6] contains only values of +1 or -1. Therefore, the computation does not involve any multiplication.

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq x < 1 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (1)$$

The Haar transform coefficients are obtained by taking the inner product of the basis functions with the given histogram. For example, the second coefficient is positive if the sum of

the left half of histogram bins is greater than the right half and negative otherwise (from the basis function 2 in figure 1). Similarly, the third coefficient is positive if sum of first quarter of histogram bins is greater than the second quarter and negative otherwise (from the basis function 3 in figure 1). Also note that the first coefficient is always positive. Therefore, this coefficient is not used in similarity matching.

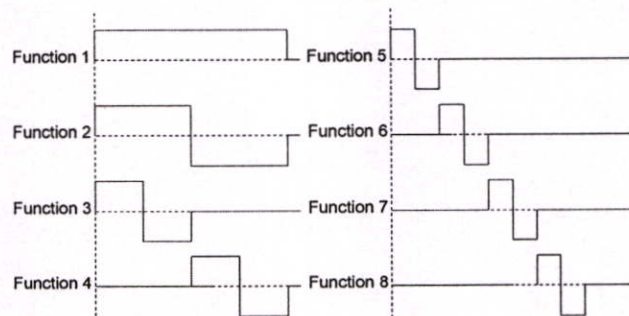


Figure 1. The basis functions for Haar wavelet transform of input 8 bits long

2.3. After that each of Haar transform coefficients is quantized to binary, the Haar coefficient is quantized to '1' if it is positive and is quantized to '0' otherwise.

The Haar transform coefficients are hierarchically computed. The first level, the 64 bins of histogram is divided into two halves. If the sum of the histogram values in the left half is greater than the sum of the histogram values in the right half then the first bit of descriptor is '1' else it is '0'. The second level, the 64 bins of histogram is divided into four halves. If the sum of histogram values in first(third) half is greater than the sum of histogram values in second(forth) half then the second(third) bit of descriptor is '1' else it is '0'. This is repeated recursively at third, fourth, fifth and sixth levels resulting in 4,8,16 and 32 coefficients. Therefore, the  $63(1+2+4+8+16+32)$  bits binary Haar descriptor is obtained. After calculating the binary Haar histogram, this descriptor will be used as an index of each image.

### 3. The Proposed Image Retrieval System

The proposed image retrieval system is presented in Fig. 3. To retrieve the similar images compared to the query from the database, first, a binary Haar histogram of the query image is computed. Then, the candidate search is performed using pruning technique. The objective of pruning is to remove images from the database that are not likely to be of interest to the user while retaining all or most potentially desirable images [5]. We look for some specific bits in the binary Haar histogram to prune the database. The specific bits from the  $32^{\text{nd}}$  -  $63^{\text{rd}}$  bits of binary Haar histogram, in the sixth level of the Haar transforms, are computed by comparing the histogram value of adjacent color histogram bin. For example, the  $32^{\text{nd}}$  bit is computed by comparing the color histogram value of  $1^{\text{st}}$  bin with  $2^{\text{nd}}$  bin. The bit  $33^{\text{rd}}$  is computed by comparing the color histogram value of  $3^{\text{rd}}$  bin with  $4^{\text{th}}$  bin and so on as shown in Fig 2.

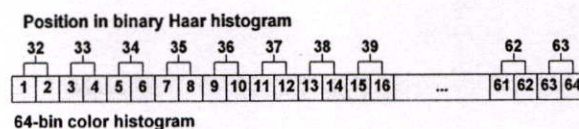


Figure 2. The bits  $32^{\text{nd}}$  -  $63^{\text{rd}}$  of binary Haar histogram

Bits used for filtering the candidate images are selected based on the most important color in the query image as follows

Let  $H$  is the binary Haar color histogram and  $j$  is the  $j^{\text{th}}$  bin of the binary histogram while  $i$  is the  $i^{\text{th}}$  bin having maximum histogram value.

$$i = \arg(j) \max(H(j)) \quad (2)$$

The rank ( $i$ ) of bin which has maximum histogram value is used to define which bit in the descriptor is fixed. For example, the  $32^{\text{nd}}$  bit of descriptor is fixed to '1' if the rank of bin is the first bin or fixed to '0' if the rank of bin is the second bin. The  $33^{\text{rd}}$  bit of descriptor is fixed to '1' if the rank of bin is the third bin or fixed to '0' if the rank of bin is the fourth bin and so on. The images in the database having the same specific bits as those of the query are defined as the candidate images. The binary Haar histogram of each candidate is then compared with that of the query. The distance between each candidate and the query is calculated using the Hamming distance. The Hamming distance is computed by taking the XOR of the two 63-bit binary Haar descriptors and counting the number of '1' bits in the result. The smaller value of the result, the closer the image to query image. The most similar images will be retrieved and ordered according to their distance to the query.

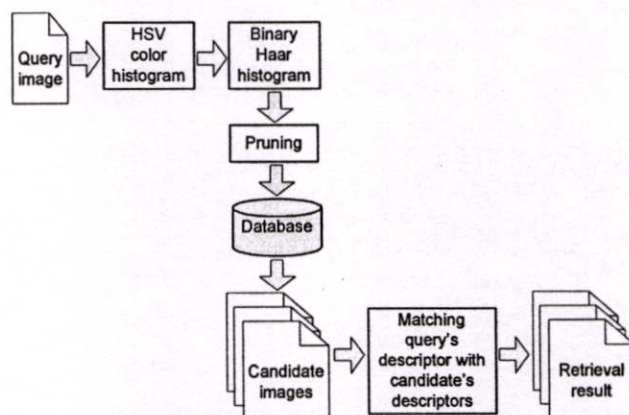


Figure 3. The process to retrieve image from the database

### 4. Experimental results

The image retrieval experiment using the binary Haar descriptor was performed using a database of 2,997 images. The images are chosen from many different sources [7] and can be categorized into 7 groups (e.g., human, animal, natural

view, etc.). The binary Haar descriptors of images in database are pre-computed and stored. In this experiment, we use a 64-bins color histogram in HSV color space. Figure 4 shows the process to compute the binary Haar descriptor then stored in the database.

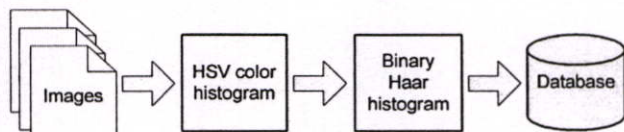


Figure 4. The process to compute the binary Haar descriptor

When an image is selected as the query image, its 64-bins color histogram is calculated. The histogram of query image is transformed to the binary Haar descriptor. The rank ( $i$ ) of bin which has maximum histogram value is used to define which bit in the descriptor is fixed as described in section 3.

Searching images from the database as candidate images is performed by considering these bit positions and values as the criteria. As a result, some images in database are pruned. After that, the descriptor of query image is compared to the descriptor of the candidate images using the Hamming distance. The retrieval results are ordered as ascending sort and presented to the user. The retrieval performance using the pruning technique is as efficient as the performance of matching the descriptor of the query to the descriptors of all the images in the database. Moreover, the proposed image retrieval system can reduce the retrieval time while saving storage space. Figure 5 shows the sample results of 2 queries.



(a) Query image I



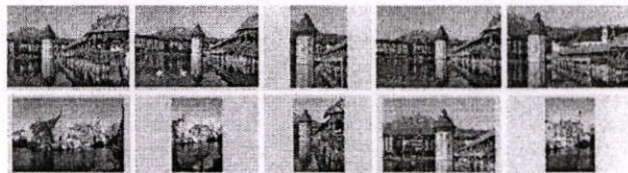
(b) A result of image retrieval using binary Haar descriptor for Query image I



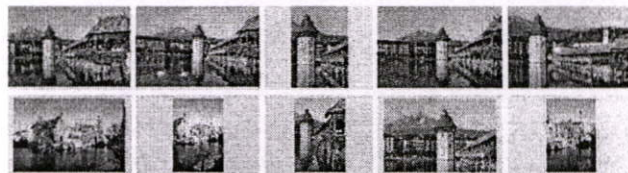
(c) A result of image retrieval using binary Haar descriptor with pruning technique for query image I



(d) Query image II



(e) A result of image retrieval using binary Haar descriptor for Query image II



(f) A result of image retrieval using binary Haar descriptor with pruning technique for query image II

Figure 5. Sample results of image retrieval

To evaluate the performance of the proposed image retrieval system, we use an objective measure called ANMRR suggested by MPEG-7 [4]. A set of ground truth images that are most relevant to query were identified. The query and ground truth sets were chosen manually. For each query a set of ground truth images were specified a rank. This measure combines the precision and recall measure to obtain a single objective value.

The average rank  $AVR(q)$  for query  $q$  is computed as follows:

$$AVR(q) = \sum_{k=1}^{NG(q)} \frac{Rank(k)}{NG(q)} \quad (3)$$

where

-  $NG(q)$  is the number of ground truth images for query  $q$

-  $Rank(k)$  is the retrieval rank of the ground truth image.

-  $K$  is the top ranked retrievals are examined

where  $K = \min(4 * NG(q), 2 * GMT)$

and  $GMT = \max\{NG(q)\}$  for all  $q$ 's of a data set.

- The ground truth images are not in the first  $K$  retrievals is assigned to  $(K+1)$

The modified retrieval rank is computed as follows:

$$MRR(q) = AVR(q) - 0.5 - \frac{NG(q)}{2} \quad (4)$$

Note that  $MRR = 0$ , when the  $NG(q)$  ground truth images are the top retrievals.

The normalized modified retrieval rank is computed as follows:

$$NMRR(q) = \frac{MRR(q)}{K + 0.5 - 0.5 * NG(q)} \quad (5)$$

Then compute average of  $NMRR$  over all queries

$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q NMRR(q) \quad (6)$$

The average normalized modified retrieval rank  $ANMRR$  is used as the objective measure to evaluate the retrieval

performances. The *ANMRR* not only indicates how many of the correct items are retrieved, but also how highly they are ranked among the retrieved items. The *ANMRR* is always in range of 0 to 1 and smaller the value of this measure is the better quality. Table 1 shows the *ANMRR* and the reducing time from the experiment (50 set of query images and ground truth images).

Table 1. The comparison of performances and reducing time

	ANMRR	% Reducing time
Binary Haar descriptor	0.41	-
Binary Haar descriptor with pruning	0.44	46.69

From the results, we have proved that using a compact binary Haar descriptor with statistical pruning technique gives the retrieval performance as close as without any pruning technique while can save searching time by 46.69 %.

## 5. Conclusion

This paper presents the image retrieval system using a binary Haar descriptor and pruning search algorithm. The proposed retrieval system performs candidate search using pruning technique, which considering the bit position and value corresponding to maximum histogram value.

Then, the binary Haar descriptors of these candidate images will be compared with that of the query using hamming distance. The most similar images will be retrieved and ordered according to their distance to the query. The experiments show that the proposed retrieval system can efficiently retrieve the most similar images from the database while can help reducing the retrieval time and the storage space.

## REFERENCES

- [1] C. Faloutsos, R. Barber, M. Flickner, J. Hafner, W. Niblack, D. Petkovic, and W. Equitz, "Efficient and effective querying by image contents," *J. Intell. Inform. Syst.*, vol. 3, 1994, pp. 231-262.
- [2] M. Swain and D. Ballard, "Color indexing," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 7, no. 1, 1991, pp. 11-32.
- [3] B. S. Manjunath, Jens-Rainer Ohm, Vinod V. Vasudevan, and Akio Yamada, "Color and Texture Descriptors", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 11, no. 6, 2001, pp. 703-715.
- [4] S. Krishnamachari, and M. Abdel-Mottaleb, "Compact color descriptor for fast image and video segment retrieval", *Proceedings of IS&T/SPIE Storage and Retrieval of Media Databases 2000*, San Jose CA, Jan. 2000.
- [5] J-Y. Chen, C.A. Bouman, and J. Dalton, "Active Browsing using Similarity Pyramids", *SPIE/ IS&T conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases VII*, San Jose CA, Jan. 26-29 1999, Vol. 3656, pp. 144-154.
- [6] Rafael C. Gonzalez, and Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Prentice Hall, 2001.
- [7] Britton I. "Free Pictures" [Online]. <http://www.freefoto.com> . 2002.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอาริยา อุเทนพัฒน์นันท
วัน เดือน ปีเกิด	10 ตุลาคม 2519
ที่อยู่	9 หมู่ 7 ต.แม่รำพึง อ.บางสะพาน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77140
ประวัติการศึกษา	2541 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประวัติการทำงาน	
2542	ตำแหน่งวิศวกรคอมพิวเตอร์ บริษัทสหวิริยาสติลอนด์สตรีจำกัด (มหาชน)
2547	รับทุนการศึกษาจากบริษัทสหวิริยาสติลอนด์สตรีจำกัด (มหาชน) เพื่อ ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปัจจุบัน	ตำแหน่งหัวหน้าแผนกคอมพิวเตอร์ บริษัทสหวิริยาสติลอนด์สตรีจำกัด (มหาชน)