

การค้นคืนภาพโดยพิจารณาสีในพื้นที่ติดกัน ร่วมกับโมเมนต์อินวาเรียนท์

IMAGE RETRIEVAL BY USING CONNECTED COLOR REGION
AND MOMENT INVARIANTS

ดวงกมล ตั้งไพณฑอง
DUANGKAMOL DONGPHONTONG

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การค้นคืนภาพโดยพิจารณาสีในพื้นที่ติดกัน ร่วมกับโมเมนต์อินวาเรียนท์

IMAGE RETRIEVAL BY USING CONNECTED COLOR REGION
AND MOMENT INVARIANTS

ดวงกมล ดังโพนทอง

DUANGKAMOL DONGPHONTONG

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 74635

วัน,เดือน,ปี..... - 8 ต.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**IMAGE RETRIEVAL BY USING CONNECTED COLOR REGION
AND MOMENT INVARIANTS**

DUANGKAMOL DONGPHONTONG

**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**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การค้นคืนภาพโดยพิจารณาสีในพื้นที่ติดกัน ร่วมกับ โมเมนต์อินวาเรียนท์
นักศึกษา	นางสาวดวงกมล ดังโพนทอง
รหัสประจำตัว	48060715
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์

บทคัดย่อ

สีเป็นลักษณะเด่นลักษณะหนึ่งที่น่าจะใช้กันอย่างกว้างขวางในการค้นคืนภาพแบบเชิงเนื้อหา (Content-based image retrieval: CBIR) โดยปรกติการค้นคืนรูปภาพที่ใช้สีส่วนมากจะใช้เทคนิคฮิสโตแกรมสี (Color histogram) เพื่ออธิบายสีของภาพ แต่อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีนั้นก็มีข้อเสียที่สำคัญคือ ฮิสโตแกรมไม่สามารถแยกแยะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (CCR) ร่วมกับ Moment Invariants ในการแยกแยะคุณลักษณะของสี โดย CCR จะให้ข้อมูลเชิงตำแหน่งของสี ซึ่งได้จากการพิจารณาค่าการปรากฏร่วมสูงสุดของสี ในขณะที่ Moment Invariant ช่วยในการแยกแยะความแตกต่างของลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือ การกระจายตัวของสีในรูปจากการทดลองพบว่าการค้นคืนภาพด้วยเทคนิค CCR เพียงอย่างเดียวนั้นผลของการค้นคืนจะขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อก โดยถ้าใช้บล็อกขนาดเล็กจะได้ผลการค้นคืนที่มีประสิทธิภาพสูงแต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาค่า CCR และทำการค้นคืนก็จะสูงตามไปด้วย จึงทำให้ต้องมีการใช้ค่า Moment Invariant ของสีร่วมพิจารณาด้วย เพื่อเปรียบเทียบหาความเหมาะสม ระหว่างประสิทธิภาพ กับ เวลาที่ใช้ในการค้นคืน ซึ่งเมื่อนำค่า Moment Invariants ของสีมาใช้พิจารณาร่วมกับ CCR 2 x 2 บล็อก จะให้ผลของการค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนภาพด้วย CCR 8 x 8 บล็อก และใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่า โดย Moment Invariants ที่ใช้ในการทดลองจะเป็นการคำนวณค่าจากการเกาะกลุ่มกันของสีที่ได้จากการพิจารณาบริเวณที่ติดกันของสี และจากตำแหน่งที่ปรากฏขึ้นจริงทั้งภาพของสี ซึ่งค่า Moment Invariants ที่คำนวณจากทั้งภาพจะสามารถแยกแยะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีได้ดีกว่า ค่า Moment Invariants ที่พิจารณาค่าจากบริเวณที่ติดกันของสี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่า Moment Invariants ของทั้งภาพร่วมกับการค้นคืนภาพด้วยเทคนิค CCR

Thesis	Image Retrieval by using Connected Color Region and Moment Invariants
Student	Miss Duangkamol Dongphontong
Student ID.	48060715
Degree	Master of Engineering
Program	Computer Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Orachat Chitsobhuk

ABSTRACT

Color is one of the most widely used features for content-based image retrieval (CBIR) systems; especially color histogram. However, color histogram fails to recognize different types of color distribution. Therefore, in this thesis, combined descriptors of Connected Color Region (CCR) and moment invariants are proposed as color features for a Content-Based Image Retrieval system. CCR provides the spatial information and maximum co-occurrence color while moment invariants help to better distinguish different distribution of colors in the image. From the experiments, the retrieval results using only CCR descriptors depend on CCR block size. The smaller the size of the block, the higher the retrieval performance. However, if the block size is small, it requires longer retrieval time. Therefore, in this paper, color moment is introduced as additional feature to CCR descriptors to help compromising between retrieval performance and time. The retrieval results using both CCR with large block size and moment descriptors are comparable to those of using only CCR with small block size while require less amount of retrieval time. However, there are several ways to calculate the moment invariants such as moment based on the distribution of the color in the whole image or in the connected color blocks. From the experiments, moment invariants calculated from the whole image prove to be superior to the moment invariants taken from the connected color blocks.

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณพระคุณบิดามารดา ที่คอยทุ่มเทกำลังกาย กำลังใจ และทุนรอนในการศึกษา มอบให้แก่ข้าพเจ้า เพื่อให้ข้าพเจ้าได้รับการศึกษาที่ดี ให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสในการศึกษา ทั้งสองท่านคอยสนับสนุนให้กำลังใจและให้ทุกสิ่งทุกอย่างแก่ข้าพเจ้า เพียงแค่หวังว่าข้าพเจ้าจะเป็นคนดี และได้มีอนาคตที่สดใสสมดังที่มุ่งหวังไว้ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ เป็นอย่างสูง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อรรถจักร จิตต์โสภักตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านวิชาการความรู้ ให้คำปรึกษา คำชี้แนะแนวทาง ในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีอย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณครุอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์อันเป็นประโยชน์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้องนักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณงามความดีและประโยชน์อันใดที่พึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดามารดาของข้าพเจ้า ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่ทั้งได้กล่าวถึง และไม่ได้กล่าวถึงก็ตาม

ดวงกมล ดั่งโพนทอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	XI
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 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนสีภาพ และ Moment Invariants	5
2.1 การเปรียบเทียบฮิสโตแกรม (Histogram Comparison).....	5
2.2.1 การวัดความเหมือนของฮิสโตแกรมด้วยเทคนิค Histogram Intersection	5
2.2.2 การวัดความแตกต่างของฮิสโตแกรมด้วยเทคนิค Histogram Euclidean.....	6
2.2 ความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (Connected Color Region:CCR).....	8
2.2.1 บริเวณที่ติดกันของสี(Connected Color Region: CCR).....	9
2.2.2 ความหนาแน่นของสี(Color Density).....	10
2.2.3 สีที่ปรากฏร่วมสูงสุด(Maximum co-occurrence color).....	11
2.2.4 การวัดความเหมือนกันของภาพ.....	11
2.3 การนำค่า Moment Invariants มาใช้ในการรู้จำภาพตัวอักษร.....	17
บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	24
3.1 การได้มาของภาพดิจิทัล(Image Acquisition)	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 องค์ประกอบของภาพดิจิทัล	25
3.3 ประเภทของภาพดิจิทัล.....	26
3.2.1 Binary Image หรือ Black and White Image.....	26
3.2.2 Intensity Image หรือ Monochrome Image หรือ Gray Image.....	27
3.2.3 Indexed Image.....	27
3.2.3 Color Image หรือ RGB Image.....	28
3.4 แบบจำลองสี (Color Model).....	28
3.4.1 แบบจำลองสี RGB.....	28
3.4.2 แบบจำลองสี 216 สี RGB.....	31
3.5 ฮิสโตแกรมสี (Color Histogram).....	32
3.6 Moment Invariants.....	33
3.6.1 การประยุกต์ใช้ Moment Invariants กับภาพ.....	35
3.7 การเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ.....	43
3.7.1 ค่าความเหมือน(Similarity) และค่าความไม่เหมือน(Dissimilarity).....	43
3.7.2 Euclidean Distance	44
3.8 การวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืน	44
บทที่ 4 งานวิจัยที่นำเสนอสำหรับการสร้างคำจำกัดความสี.....	49
4.1 การสร้างคำจำกัดความสี.....	50
4.1.1 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบฮิสโตแกรม.....	50
4.1.2 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบ CCR.....	51
4.1.3 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบ Moment Invariants.....	53
4.1.4 การออกแบบฐานข้อมูลสำหรับคำจำกัดความสี.....	54
4.2 การค้นคืนภาพ.....	57
4.2.1 การค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรม.....	57
4.2.2 การค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีในรูปแบบของ CCR.....	57
4.2.3 การค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีในรูปแบบของ CCR ร่วมกับ Moment Invariants.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	61
5.1 ขั้นตอนการเตรียมฐานข้อมูลรูปภาพ	61
5.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการวัดค่าความเหมือน และค่าความไม่เหมือนกันของภาพ.....	64
5.2.1 ตัวอย่างผลการทดลองเปรียบเทียบผลการค้นคืนภาพ ด้วยการใช้การวัดค่าความเหมือนและค่าความไม่เหมือนกันของภาพ.....	64
5.2.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของการวัดค่าความเหมือน และความไม่เหมือนกันของภาพ.....	71
5.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของบล็อก และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับคำจำกัดความสี่แบบ CCR.....	71
5.3.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยคำจำกัดความสี่ แบบ CCR ด้วยขนาดบล็อก และค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่าง.....	71
5.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนด้วยขนาดบล็อก และค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่าง.....	100
5.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนค่าของคำจำกัดความสี่แบบ Moment Invariants ที่เหมาะสมสำหรับการค้นคืนภาพ.....	100
5.4.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยจำนวน ค่าของ Moment Invariants ที่แตกต่างกัน.....	100
5.4.2 การวิเคราะห์ผลของจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ.....	102
5.5 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นคืนภาพในการใช้ คำจำกัดความสี่แบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants.....	102
5.5.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยคำจำกัดความสี่แบบ CCR ร่วมกับ Moment.....	102
5.5.2 การวิเคราะห์ผลของรูปแบบของพื้นที่และจำนวนสีที่นำมาใช้คำนวณ ค่า Moment Invariants ต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ ร่วมกับคำจำกัดความสี่ แบบ CCR.....	113
5.6 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นคืนภาพในการใช้คำจำกัดความ สี่แบบไฮสโตแกรม CCR Moment Invariants และ CCR ร่วมกับ Moment Invariants....	114

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความถี่แบบ ฮิสโตแกรม CCR Moment Invariants และ CCR ร่วมกับ Moment Invariants.....	114
5.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนด้วยการวัดค่าความเหมือนกัน ของฮิสโตแกรม CCR 8 x 8 บล็อก Moment Invariants และการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ.....	121
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	122
6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย.....	122
6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ.....	123
เอกสารอ้างอิง	124
ภาคผนวก.....	125
ภาคผนวก ก. Moment Invariants ของรูปภาพ.....	126
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างผลลัพธ์การค้นคืนภาพ.....	149
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	177
ประวัติผู้เขียน	184

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของการเขียนเลข 4 ในภาษาอังกฤษเทวนาครี.....	21
2.2	ค่า Moment Invariants ทั้ง 7 ค่าของรูปที่ 2.15 (ก) - 2.15 (จ).....	23
3.1	แสดงค่าโมเมนต์ออร์เดอร์ที่ 0 – 3 ของภาพที่ 1.....	37
3.2	แสดงค่าโมเมนต์ออร์เดอร์ที่ 0 – 3 ของภาพที่ 2.....	38
3.3	แสดงค่า Central Moment ออร์เดอร์ที่ 0 – 3 ของภาพที่ 1.....	41
3.4	แสดงค่า Central Moment ออร์เดอร์ที่ 0 – 3 ของภาพที่ 2.....	41
3.5	แสดงค่า Moment Invariants ของสีที่ปรากฏภายในภาพที่ 1.....	42
3.6	แสดงค่า Moment Invariants ของสีที่ปรากฏภายในภาพที่ 2.....	42
3.7	ตัวอย่างการคำนวณ Recall และ Precision.....	47
4.1	IMAGE_INFO.....	55
4.2	HISTOGRAM.....	55
4.3	CCR2, CCR4, CCR8, CCR16 และ CCR32.....	55
4.4	MOMENT_2, MOMENT_4, MOMENT_8.....	56
4.5	MOMENT.....	56
5.1	ประเภทของภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง	61
5.2	ตัวอย่างของภาพที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล	62
5.3	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โดมิโนด้วย CCR 2 x 2 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน....	73
5.4	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โดมิโนด้วย CCR 4 x 4 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน....	76
5.5	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โดมิโนด้วย CCR 8 x 8 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน....	79
5.6	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โดมิโนด้วย CCR 16 x16 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน...82	
5.7	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR2 x2 บล็อกด้วยค่าน้ำหนัก ที่แตกต่างกัน.....	87
5.8	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR4 x4 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนัก ที่แตกต่างกัน.....	90
5.9	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR8 x8 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนัก ที่แตกต่างกัน.....	93
5.10	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR 16 x 16 บล็อก ด้วยค่าน้ำหนัก ที่แตกต่างกัน.....	96
5.11	ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โดมิโนด้วยจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่แตกต่างกัน.....	101

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.12 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วยจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่แตกต่างกัน.....	101
5.13 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน.....	104
5.14 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 4 x 4 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน.....	105
5.15 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 8 x 8 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน.....	107
5.16 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน.....	109
5.17 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 4 x 4 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน.....	111
5.18 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 8 x 8 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน.....	112
5.19 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนแต้มสีเหลืองจากฐานข้อมูลภาพจำนวน 10,000 ภาพ.....	115
5.20 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสีแดงจากฐานข้อมูลภาพจำนวน 10,000 ภาพ.....	117
5.21 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลภาพจำนวน 10,000 ภาพ.....	119
ก.1.1 แสดงค่า Moment Invariants สำหรับการเกาะกลุ่มสีแบบต่างๆ.....	128
ข.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพพุ่มดอกไม้สีแดงจากฐานข้อมูล.....	150
ข.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพสต่อเบอร์จากฐานข้อมูล.....	151
ข.3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพตุ๊กตาเป็ดสีเหลืองจากฐานข้อมูล.....	153
ข.4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพกังหันสีขาวจากฐานข้อมูล.....	154
ข.5 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองจากฐานข้อมูล.....	156
ข.6 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพขนมปังจากฐานข้อมูล.....	157
ข.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพภูเขาหิมะจากฐานข้อมูล.....	159
ข.8 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพกระดาษชำระจากฐานข้อมูล.....	160
ข.9 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงจากฐานข้อมูล.....	162
ข.10 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพป้ายสีขาวจากฐานข้อมูล.....	163
ข.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเนยจากฐานข้อมูล.....	165

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเรือชนสังสีส้มจากฐานข้อมูล.....	166
ข.13 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพบลูม่าจากฐานข้อมูล.....	168
ข.14 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพแกนหมุนฟิล์มจากฐานข้อมูล.....	169
ข.15 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพใบไม้แห้งจากฐานข้อมูล.....	171
ข.16 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพพริกสีแดงจากฐานข้อมูล.....	172
ข.17 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพพริกเขียวจากฐานข้อมูล.....	174
ข.18 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพมะนาวสีเหลืองจากฐานข้อมูล.....	175

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ฮิสโตแกรมของภาพดอกไม้สีแดง.....	7
2.2 ฮิสโตแกรมของภาพใบไม้สีเขียว.....	7
2.3 แสดงรูป 2 รูปที่มีฮิสโตแกรมคล้ายคลึงกันแต่มีความหมายแตกต่างกัน.....	8
2.4 แสดงบริเวณพื้นที่สีที่ติดกัน ในบริเวณ $N \times M$ บล็อก.....	9
2.5 ตัวอย่างภาพโดมิโนขนาด 256×384 พิกเซล.....	12
2.6 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีดำ.....	13
2.7 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่1.....	13
2.8 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่2.....	14
2.9 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีขาว.....	14
2.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของสองฟังก์ชันที่ใช้ในการรู้จำภาพ.....	17
2.11 ตัวอย่างการเขียนหมายเลขโทรศัพท์.....	18
2.12 แสดงตัวเลข 3 ในภาษาอักขรเทวนาครีที่ถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน.....	19
2.13 แสดงตัวเลข 3 ในภาษาอักขรเทวนาครีที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน.....	19
2.14 แสดงตัวเลข 3 ในภาษาอักขรเทวนาครีที่ถูกแบ่งออกตามแนวทแยงมุม.....	20
2.15 รูปแบบการกระจายตัวแบบวงรีบน PCA.....	20
2.16 แสดงภาพ Gray Scale ที่ใช้ในการหาค่า Moment Invariants.....	22
3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานการได้มาของภาพดิจิตอล.....	24
3.2 แสดงตัวอย่างภาพดิจิตอล.....	25
3.3 ตัวอย่างภาพดิจิตอลขนาด 256×384 พิกเซล.....	26
3.4 ตัวอย่างภาพ Binary และ ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ Binary.....	26
3.5 ตัวอย่างภาพ Gray Image และ ค่า Gray scale ของแต่ละพิกเซล.....	27
3.6 ตัวอย่างภาพ Indexed และ ค่าของแต่ละพิกเซล.....	27
3.7 ตัวอย่างภาพ RGB และ ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ RGB.....	28
3.8 แบบจำลองสี RGB บนพิกัดคาร์ทีเซียน.....	29
3.9 แบบจำลองสี RGB 24 บิต.....	30
3.10 ตัวอย่างภาพสีขนาด 24 บิต.....	30
3.11 แสดงแบบจำลองสี 216 สี RGB.....	31
3.12 แสดงลูกบาศก์ของ Safe-Color 216.....	31
3.13 ฮิสโตแกรมของภาพสี.....	33

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.14 ตัวอย่างของภาพที่มีลักษณะการกระจายตัวของสีที่แตกต่างกัน.....	35
3.15 ตัวอย่างภาพดาว.....	43
3.16 แสดงแผนภาพของเซตเอกสาร.....	45
3.17 แสดงแผนภาพการค้นคืนเอกสาร.....	45
3.18 แสดงแผนภาพของการเรียกคืน.....	45
3.19 แสดงแผนภาพของความแม่นยำ.....	46
3.20 กราฟPrecision และ Recall.....	47
4.1 โครงสร้างของระบบการค้นคืนภาพแบบเชิงเนื้อหา.....	49
4.2 แสดงสีของฮิสโตแกรมสีขนาด 216 บินที่ใช้แบบจำลองสี RGB.....	50
4.3 แสดงการแบ่งบล็อกของภาพดอกไม้สีแดง.....	51
4.4 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีที่ได้จากการแบ่งภาพออกเป็น 4 x 4 บล็อก.....	51
4.5 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีที่ได้จากการแบ่งภาพออกเป็น 8 x 8 บล็อก.....	52
4.6 ภาพดอกไม้สีแดง.....	54
4.7 แสดงขั้นตอนการค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความในรูปแบบของฮิสโตแกรม.....	57
4.8 แสดงขั้นตอนการค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความในรูปแบบ CCR.....	58
4.9 แสดงขั้นตอนการค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความในรูปแบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants.....	59
5.1 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตึกสีขาวด้วยการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม.....	65
5.2 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตึกสีขาวด้วยการวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม... ..	66
5.3 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วยการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม.....	67
5.4 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วยการวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม.....	68
5.5 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพรูปปั้นด้วยการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม.....	69
5.6 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพรูปปั้นด้วยการวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม.....	70
5.7 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพโดมิโนด้วย CCR ที่ขนาดบล็อกแตกต่างกัน.....	85
5.8 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR ที่ขนาดบล็อกแตกต่างกัน.....	99
5.9 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนภาพด้วย CCR ที่ขนาดบล็อกแตกต่างกัน.....	99

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วย CCR 2 x 2 Block ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ.....	105
5.11 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วย CCR 4 x 4 Block ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ.....	106
5.12 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วย CCR 8 x 8 Block ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ.....	108
5.13 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โดมินิกอสีเหลืองด้วย CCR 2 x 2 Block ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ.....	110
5.14 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โดมินิกอสีเหลืองด้วย CCR 4 x 4 Block ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ.....	112
5.15 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โดมินิกอสีเหลืองด้วย CCR 8 x 8 Block ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ.....	113
5.16 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โดมินิกอสีเหลือง.....	116
5.17 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ ตัวอักษรสีแดง.....	118
5.18 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาล.....	120
5.19 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรม CCR 8 x 8 บล็อก Moment Invariants และCCR 2 x 2 ร่วมกับ Moment Invariants.....	120
ก.1.1 ตัวอย่างของรูปภาพที่ปรากฏการกระจายตัวของสีในลักษณะต่างๆ.....	127
ก.2.1 ตัวอย่างกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 1.....	142
ก.2.2 ตัวอย่างกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 2.....	142
ก.2.1 ตัวอย่างกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3.....	143
ก.2.1 ตัวอย่างกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 4.....	143
ก.2.1 ตัวอย่างกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 5.....	143
ก.3.1 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสีจากค่า ϕ_1	145
ก.3.2 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสีจากค่า ϕ_1 และ ϕ_2	146
ก.3.3 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสีจากค่า ϕ_1 ร่วมกับ ϕ_2	146
ก.3.4 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสีจากค่า ϕ_1 ϕ_2 ϕ_3 และ ϕ_4	148
ข.1 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ พุ่มดอกไม้สีแดง.....	152
ข.2 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ สตอเบอร์รี่.....	152

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตุ๊กตาเป็ดสีเหลือง..... 155
ข.4	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพกังหันสีขาว..... 155
ข.5	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสีเหลือง..... 158
ข.6	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพขนม..... 158
ข.7	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพภูเขาหิมะ..... 161
ข.8	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพกระดาษชำระ..... 161
ข.9	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพดอกไม้สีแดง..... 164
ข.10	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพป้ายสีขาว..... 164
ข.11	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพเนย..... 167
ข.12	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพเรือขนส่งสี่ล้อ..... 167
ข.13	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพบลูมา..... 170
ข.14	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพแกนฟิล์ม..... 170
ข.15	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพใบไม้แห้ง..... 173
ข.16	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพพริกสีแดง..... 173
ข.17	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพพริกสีเขียว..... 176
ข.18	กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพมะนาวสีเหลือง..... 176

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Content-Based Image Retrieval มีความสำคัญมากในการวิจัยทางด้าน Multimedia Database ซึ่งงานวิจัยในระบบ Content-Based Image Retrieval และ Multimedia มีความสำคัญมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจาก Multimedia Database นั้นมีการจัดเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก และหลากหลาย เช่น ข้อมูลประเภท Text Audio Video และข้อมูลรูปภาพ ซึ่งการขยายตัวของฐานข้อมูลเหล่านั้น ทำให้ผู้ใช้ประสบปัญหาในการสืบค้นข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับความต้องการ จึงเกิดความต้องการระบบที่จะสามารถทำหน้าที่ในการค้นคืนภาพให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ โดยเทคโนโลยีการค้นคืนรูปภาพแบบเชิงเนื้อหา(Content-Based Image Retrieval: CBIR) สามารถจำแนกประเภทได้ดังนี้ การค้นคืนโดยใช้ตัวอย่างการมองเห็น (Query-By-Visual-Sample) การค้นคืนเชิงภาพวาด (Pictorial Queries) และการค้นคืนเชิงภาษา (Linguistic Queries)

คุณลักษณะพื้นฐานของรูปภาพ เช่น สี พื้นผิว และรูปร่าง ถูกใช้ในระบบ CBIR (Content-Based Image Retrieval) [1-6] โดยกระบวนการสืบค้นจะเป็นการหาความเกี่ยวข้อง หรือความสัมพันธ์ของภาพคำถาม กับภาพจากฐานข้อมูล ซึ่งระบบจะทำการประมวล Query Image และค้นหาภาพที่ใกล้เคียงที่สุดจากภาพในฐานข้อมูล โดยใช้วิธีการแยกแยะคุณลักษณะของรูป ร่วมกับการจับคู่เหมือน และการจัดกลุ่มของภาพ โดยในระบบ CBIR นั้นการเลือกใช้วิธีการค้นคืนเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการเลือกใช้งานเพื่อให้ได้ผลการค้นคืนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

วิทยานิพนธ์นี้ใช้คุณลักษณะสีเป็นตัวแทนภาพ เนื่องจากสีมีโครงสร้าง และความสัมพันธ์อย่างชัดเจนกับวัตถุที่อยู่ในภาพ และสีก็ไม่ได้รับผลกระทบใด จากการหมุน การขยาย หรือการเปลี่ยนมุมมองของภาพ ที่สำคัญคุณลักษณะสีเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการค้นคืนภาพแบบเชิงเนื้อหา โดยปรกติการค้นคืนรูปภาพที่ใช้สีส่วนมากจะใช้เทคนิคฮิสโตแกรมสี [1] (Color Histogram) ที่ถูกสร้างมาจากทุกส่วนของภาพ แม้ว่าการเปรียบเทียบฮิสโตแกรม (ความแตกต่างหรือ คล้ายคลึง) สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมสีมีข้อเสียที่สำคัญคือ ฮิสโตแกรมไม่สามารถอ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial information) ของสีในวัตถุได้ จึงไม่สามารถแยกแยะภาพที่มีการเกาะกลุ่มของสีที่แตกต่าง หรือ คล้ายคลึงได้ จึงส่งผลให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีโอกาสเป็นภาพที่แตกต่างกับภาพที่ต้องการสูง Kim และ Han [7] ได้เสนอแนวคิดที่ใช้ค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (Connected Color Region: CCR) เพื่อใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นของการเปรียบเทียบฮิสโตแกรม กล่าวคือ CCR สามารถแยกแยะการกระจายตัวของสีที่มีค่าฮิสโตแกรมที่เหมือนกันได้ โดยพิจารณาจากข้อมูลเชิงตำแหน่งของสี และค่าสี

ที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี แต่เทคนิค CCR มีข้อจำกัดในเรื่องค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดให้เหมาะสม นั่นคือการกำหนดขนาดบล็อก (Block Size) ที่นำมาใช้ในการหาค่า CCR ของภาพ และขนาดของบล็อกยังส่งผลต่อการคำนวณภาพด้วย เนื่องจากเทคนิค CCR เอาภาพไปอ้างอิงกับขนาดของบล็อก (Block Based) จึงทำให้เกิดปัญหาว่าขนาดของบล็อกเท่าไรถึงจะเหมาะสมกับการตรวจสอบการเกาะกลุ่มกันของสี ซึ่งถ้าบล็อกมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ภาพที่ถูกคำนวณนั้นมีความถูกต้องแม่นยำต่ำเพราะว่าขนาดของบล็อกที่ใหญ่ไม่สามารถแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีได้ชัดเจน และถ้าขนาดของบล็อกมีขนาดเล็กจะทำให้ผลของการคำนวณมีความถูกต้องสูงแต่ใช้เวลาในการคำนวณหาค่า CCR และคำนวณมาก ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้นำค่า Moment Invariants [6] มาใช้พิจารณาพร้อมกับ CCR เพื่อช่วยให้การคำนวณด้วย CCR ที่บล็อกขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น กล่าวคือ สามารถให้ผลของการคำนวณใกล้เคียงกับการใช้ CCR ด้วยบล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาในการคำนวณต่ำเมื่อเทียบกับผลของการคำนวณที่ได้รับ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบการคำนวณภาพแบบเชิงเนื้อหาที่ใช้คุณลักษณะสีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นคือผลของการคำนวณมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นและใช้เวลาในการคำนวณน้อย
- 1.2.2 ประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (CCR) มาใช้อ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏภายในภาพ และใช้ในขั้นตอนการเปรียบเทียบความเหมือนกันของภาพ เพื่อให้ได้กลุ่มของภาพที่มีลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีที่คล้ายคลึง หรือ ใกล้เคียงกับภาพคำถามที่ต้องการ
- 1.2.3 ประยุกต์ใช้ค่า Moment Invariants มาใช้จัดลำดับความเหมือนของภาพคำถามกับภาพจากฐานข้อมูล ซึ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณน้อยลง และมีความแม่นยำถูกต้องมากยิ่งขึ้น
- 1.2.4 ประเมินประสิทธิภาพและวัดคุณภาพในเชิงปริมาณ รวมทั้งสรุปวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการคำนวณภาพของงานวิจัย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

จากแนวความคิดของการใช้ CCR นั่นคือ CCR สามารถทำการคำนวณรูปภาพที่มีลักษณะของการกระจายตัวของกลุ่มสีที่เหมือนกันได้ดีกว่าการเปรียบเทียบฮิสโตแกรม แต่ CCR ยังมีปัญหาเรื่องขนาดของบล็อกที่เหมาะสม ที่สามารถแยกแยะการเกาะกลุ่มของสีในแต่ละภาพให้ได้การเกาะกลุ่มกันของสีที่ชัดเจน เหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่า CCR และเวลาในการคำนวณรูปภาพ

ซึ่งขนาดของบล็อกมีผลคือ ถ้าบล็อกมีขนาดเล็กจะทำให้ผลของการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่ใช้เวลาในการคำนวณค่า CCR และค้นคืนมาก และถ้าบล็อกมีขนาดใหญ่ใช้เวลาคำนวณค่า CCR ต่ำ แต่ก็ไม่สามารถแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีได้ดีเท่าที่ควรจึงส่งผลให้การค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดในการนำค่า Moment Invariants มาใช้พิจารณาร่วมกับ CCR เพื่อให้การค้นคืนด้วยบล็อกขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้บล็อกขนาดเล็ก แต่ใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่า

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อที่จะให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ในการสร้างระบบค้นคืนภาพดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้อาศัยทฤษฎีแบบจำลองสีแบบ RGB เพื่อนำมาใช้สร้างฮิสโตแกรมสีของภาพแต่ละภาพ และได้ใช้เทคนิค CCR อ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่งของแต่ละกลุ่มสีของแต่ละภาพ เพื่อให้ได้กลุ่มของภาพที่มีการเกาะกลุ่มกันของสีที่คล้ายคลึงกันกับภาพคำถาม จากนั้นทำการจัดเรียงความเหมือนอีกครั้งโดยการใช้ค่า Moment Invariants มาใช้พิจารณาภาพที่มีลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของแต่ละสี เพื่อให้ได้ผลการค้นคืนที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น และใช้เวลาน้อยลง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและดำเนินการวิจัยเพื่อพิสูจน์ว่าการใช้เทคนิค CCR ในการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูลนั้น สามารถทำการค้นคืนภาพที่มีลักษณะของการกระจายตัวของกลุ่มสีที่เหมือนกันได้ดีกว่าการเปรียบเทียบฮิสโตแกรม และทำการพิสูจน์ว่าการนำค่า Moment Invariants มาใช้ร่วมพิจารณากับ เทคนิค CCR สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้บล็อกขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้ CCR ด้วยบล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาน้อยลง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ที่ต้องการนำเสนอหรือศึกษาในหัวข้อของงานวิจัยนี้มากน้อยแค่ไหนและอย่างไร
- 1.6.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนรูปภาพแบบเชิงเนื้อหา โดยใช้คุณลักษณะสีเป็นตัวแทนภาพ วิเคราะห์ ข้อดี ข้อเสีย และประเด็นที่น่าสนใจของงานวิจัยอื่นๆ ที่สามารถนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่งานวิจัยนี้ได้
- 1.6.3 ตั้งสมมุติฐานของการศึกษาและกำหนดวางแผนความคิดของงานวิจัย โดยมีการอ้างอิงทฤษฎี หรือหลักการที่เกี่ยวข้องเพื่อที่จะสามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้
- 1.6.4 เตรียมฐานข้อมูลภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิจัย โดยฐานข้อมูล

ดังกล่าวนี้ประกอบไปด้วยภาพสีหลากหลายชนิด เพื่อให้สามารถนำมาใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบที่วิจัยได้อย่างเหมาะสม

- 1.6.5 พัฒนาโปรแกรมเพื่อทดลองค้นคืนภาพจากฐานข้อมูล ด้วยอัลกอริทึมตามแนวคิดที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ
- 1.6.6 ทำการทดลองค้นคืนภาพ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา กับฐานข้อมูลรูปภาพที่ได้จัดเตรียมไว้ โดยในขณะที่ทำการทดลองนั้นจะเก็บข้อมูลและผลลัพธ์ของทุกๆ ขั้นตอนเอาไว้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ปรับปรุงงานวิจัยต่อไป
- 1.6.7 นำผลลัพธ์จากการทดลองมาวิเคราะห์ และประเมินงานวิจัย ทั้งในแง่ของคุณภาพ และประสิทธิภาพ แล้วสรุปผลเพื่อนำมาเสนอผลงานวิจัย

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 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้คุณลักษณะสีในการค้นคืนภาพ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ค่า Moment Invariants

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ การได้มาของภาพดิจิทัล องค์ประกอบของภาพดิจิทัล แบบจำลองสี ฮิสโตแกรมสี Moment Invariants กรรมวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ และการวัดประสิทธิภาพของระบบการค้นคืน

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ ขั้นแรกเริ่มจากการหาค่าฮิสโตแกรมสีของภาพ การคำนวณค่า CCR การหาค่า Moment Invariants และขั้นตอนในการค้นคืนภาพ

บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนภาพ และ Moment Invariants

ในปัจจุบันงานทางด้าน Multimedia Database ได้รับความนิยมนเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาเทคนิคต่างๆ ในการจัดเก็บข้อมูล และการนำข้อมูลออกมาใช้งานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการค้นคืนข้อมูลภาพจึงเป็นงานวิจัยอีกสาขาหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมนิยม เทคนิคในการค้นคืนภาพจึงเป็นประเด็นที่สำคัญเพื่อให้ได้ผลการค้นคืนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยแต่ละเทคนิคมีการนำเอาคุณลักษณะพื้นฐานของรูปภาพ เช่น สี พื้นผิววัตถุ และรูปทรง มาใช้หาความสัมพันธ์ หรือความเกี่ยวข้องกันของภาพจากฐานข้อมูล สำหรับ Moment Invariants ถูกใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับ Character Recognition Aircraft Identification และ Scene - Matching ซึ่ง Moment Invariants ให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะการจัดวางตัวทางตำแหน่งสำหรับการจดจำวัตถุ ซึ่งทนต่อการแปรผันของตำแหน่ง ขนาด และความหันเห (ภาพในกระจก) โดยไม่ว่าภาพจะอยู่ตำแหน่งไหน ขนาดเท่าใด ค่าของ Moment Invariants มีค่าใกล้เคียงกัน หรือไม่เปลี่ยนแปลง

ในบทนี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีการค้นคืนภาพที่ใช้คุณลักษณะสีในการค้นคืน ซึ่งจะอธิบายถึงเทคนิคการเปรียบเทียบฮิสโตแกรม, เทคนิคการหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน และจะกล่าวถึง การนำค่า Moment Invariants มาใช้ในการรู้จำตัวอักษร

2.1 การเปรียบเทียบฮิสโตแกรม (Histogram Comparison)

2.1.1 การวัดความเหมือนของฮิสโตแกรมด้วยเทคนิค Histogram Intersection

Swain และ Ballard [1] ได้เสนอวิธีการเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรม ที่เรียกว่า "Histogram Intersection" มีการจับคู่ของฮิสโตแกรม $H(I)$ และ $H(Q)$ ของรูปภาพ I และรูปภาพที่ต้องการค้นหา Q ตามลำดับ แต่ละภาพจะมีขนาด n bins ดังนั้นจะถูกกำหนดด้วย Histogram Intersection ดังสมการที่ (2.1)

$$S\{H(I), H(Q)\} = \frac{\sum_{j=1}^n \min\{h_j(I), h_j(Q)\}}{N_Q \times M_Q} \quad (2.1)$$

เมื่อ $h_j(I)$ เป็นตัวเลขจำนวนพิกเซลของสี j ในรูปภาพ I $h_j(Q)$ เป็นตัวเลขจำนวนพิกเซลของสี j ในรูปภาพ Q และ $M_Q \times N_Q$ เป็นขนาดของรูปภาพคำถาม

2.1.2 การวัดความแตกต่างของฮิสโตแกรมด้วยเทคนิค Histogram Euclidean

วิธีการวัดนี้เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง bin ของค่าฮิสโตแกรมซึ่ง bin ที่แตกต่างกันสองอันอาจหมายความว่า สีในแต่ละ bin คล้ายกัน ดังสมการที่ (2.2)

$$d(h_j(I), h_j(Q)) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (h_j(I) - h_j(Q))^2} \quad (2.2)$$

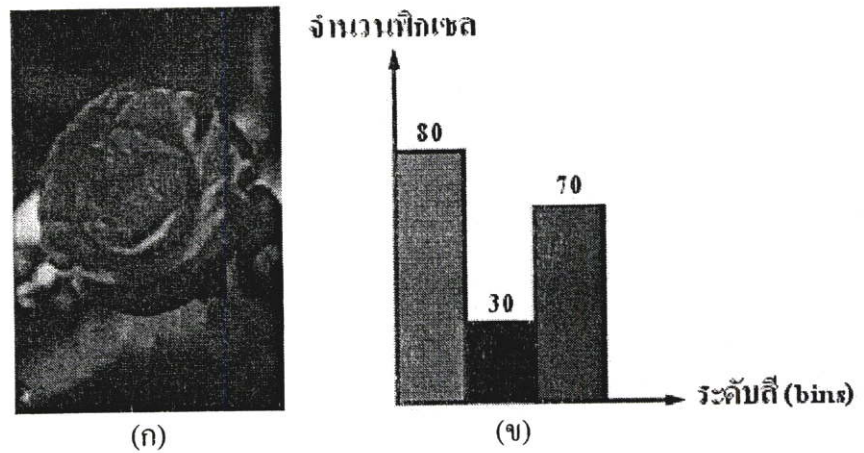
เนื่องจากการคำนวณผลต่างกำลังสองใช้เวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นจึงแสดงรูปแบบความแตกต่างของค่าฮิสโตแกรม ดังสมการที่ (2.3)

$$D\{H(I), H(Q)\} = \sum_{j=1}^n \left| \frac{h_j(I)}{N_I \times M_I} - \frac{h_j(Q)}{N_Q \times M_Q} \right| \quad (2.3)$$

เมื่อ $N_I \times M_I$ เป็นขนาดของรูปภาพ และให้ T เป็นค่าอ้างอิง ที่เป็นค่าตัดสินความเหมือน หรือ ความแตกต่างระหว่างสองฮิสโตแกรม จะกล่าวได้ว่าเหมือนกันก็ต่อเมื่อ $S \geq T$ หรือ $D \leq T$ และ ภาพในฐานะข้อมูลที่ถูกค้นคืนได้จะสัมพันธ์กับภาพคำถามของการ Query โดยมีขั้นตอนการเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรมดังต่อไปนี้

1. พิจารณาแต่ละระดับสีของภาพว่ามีระดับสีที่เหมือนกันหรือไม่
 - 1.1 มีระดับสีที่เหมือนกันจะนำมาคำนวณหาค่าการซ้อนทับกันของภาพ ซึ่งจะให้การซ้อนทับของแต่ละระดับสีมีค่าเท่ากับจำนวนพิกเซลของระดับสีที่มีจำนวนพิกเซลที่น้อย
 - 1.2 ไม่มีระดับสีเดียวกันจะให้ค่าการซ้อนทับกันของภาพที่ระดับสีนั้นเป็นศูนย์
2. ทำการพิจารณาจนครบทุกระดับสีของฮิสโตแกรม
3. คำนวณค่าความเหมือนกันหรือต่างกันของฮิสโตแกรม

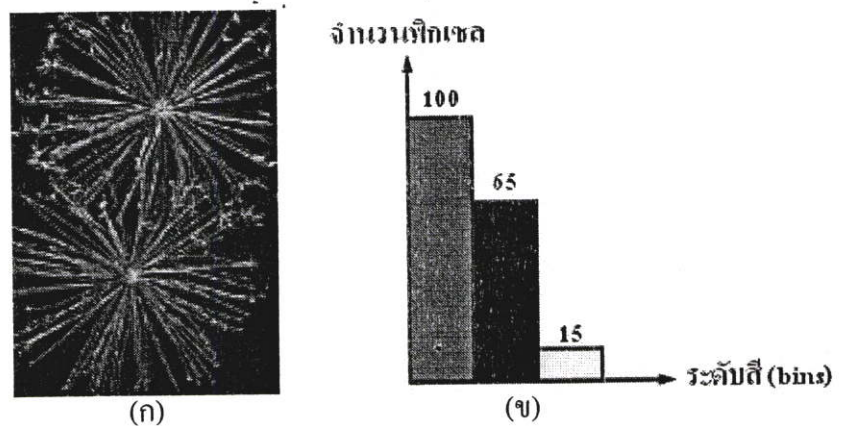
ตัวอย่างที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรม กำหนดให้ภาพดอกไม้นี้แสดงมีฮิสโตแกรมดังรูปที่ 2.1 และภาพใบไม้สีเขียวมีฮิสโตแกรมดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ฮิสโตแกรมของภาพดอกไม้สีแดง

(ก) ภาพดอกไม้สีแดง

(ข) ฮิสโตแกรมสีของภาพดอกไม้



รูปที่ 2.2 ฮิสโตแกรมของภาพดอกไม้สีขาว

(ก) ภาพดอกไม้สีขาว

(ข) ฮิสโตแกรมสีของภาพดอกไม้

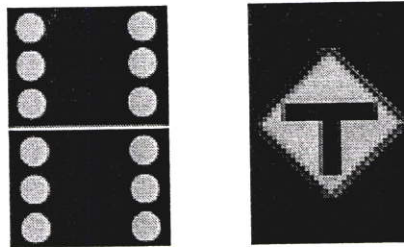
วิธีการทำ

1. พิจารณาระดับสี (bin) แรกของภาพดอกไม้สีแดงจะได้ระดับสีเขียวมีจำนวน 80 พิกเซล และทำการพิจารณาระดับสีเขียวว่าปรากฏในภาพดอกไม้สีขาวหรือไม่ ซึ่งปรากฏอยู่เป็นจำนวน 100 พิกเซล ดังนั้นจะได้ค่าการซ้อนทับกันของฮิสโตแกรมที่ระดับสีเขียวเท่ากับ 80 พิกเซล
2. พิจารณาระดับสีถัดมาของภาพดอกไม้สีแดงจะได้ระดับสีดำมีจำนวน 30 พิกเซล และทำการพิจารณาระดับสีดำว่าปรากฏในภาพดอกไม้สีขาวหรือไม่ ซึ่งปรากฏอยู่เป็นจำนวน 65 พิกเซล ดังนั้นจะได้ค่าการซ้อนทับกันของฮิสโตแกรมที่ระดับสีดำเท่ากับ 30 พิกเซล

3. ทำการพิจารณาในลักษณะข้างต้นจนถึงระดับสีสุดท้ายที่ปรากฏในภาพดอกไม้สีแดง ในที่นี้จะป็นระดับของสีแดงซึ่งมีจำนวน 70 พิกเซล และพิจารณาหาระดับสีแดงว่าปรากฏในภาพใบไม้สีเขียวหรือไม่ ซึ่งในภาพใบไม้สีเขียวไม่มีสีแดงปรากฏอยู่จึงได้ค่าการซ้อนทับกันของฮิสโตแกรมที่ระดับสีแดงเป็น 0

4. คำนวณค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรมจากสมการที่ (2.1) ดังนั้นจะได้ความเหมือนกันของภาพดอกไม้สีแดงกับภาพใบไม้สีเขียวคือ $\frac{(80+30)}{180} = 0.612$

ภาพหนึ่งภาพจะมีฮิสโตแกรมสีที่แน่นอนอยู่หนึ่งฮิสโตแกรม และฮิสโตแกรมของภาพนั้นจะเป็นค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทาง การย่อขยาย หรือการเปลี่ยนมุมมองของภาพ ที่สำคัญการเปรียบเทียบฮิสโตแกรม (ความแตกต่าง หรือ คล้ายคลึงกัน) สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ปัญหาใหญ่ของการค้นคืนภาพด้วยการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมคือคุณลักษณะโดยรวม (Global Feature) S หรือ D ไม่สามารถอ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial Information) ของสีในวัตถุได้ ดังนั้นการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมจึงไม่สามารถแยกแยะภาพที่มีฮิสโตแกรมที่เหมือนกันแต่มีการกระจายตัว หรือเกาะกลุ่มกันของสีที่มีความแตกต่างกันได้ จึงส่งผลให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีโอกาสที่จะเป็นภาพคนละประเภท หรือ มีความหมายแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง กับภาพคำถาม (Image Query) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงรูป 2 รูปที่มีฮิสโตแกรมคล้ายคลึงกันแต่มีความหมายแตกต่างกัน

2.2 ความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (Connected Color Region: CCR)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นของการค้นคืนภาพด้วยการเปรียบเทียบความเหมือน หรือความแตกต่างกันของฮิสโตแกรมที่ไม่สามารถอ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพได้ Kim และ Han [7] จึงได้นำเสนอแนวคิดที่ใช้ค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (Connected Color Region: CCR) เพื่อใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นของการใช้ฮิสโตแกรม กล่าวคือ CCR สามารถแยกแยะการกระจายตัวของสีที่มีค่าฮิสโตแกรมที่เหมือนกันได้ โดยพิจารณาจากปริมาณของสีในแต่ละกลุ่ม และค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี ซึ่งมีอัลกอริธึมในการคำนวณค่า CCR ดังต่อไปนี้

2.2.1 บริเวณที่ติดกันของสี(Connected Color Region: CCR)

รูปภาพขนาด $N \times M$ จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกของ $n \times m$ พิกเซลดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยจำนวนบล็อกที่อาจจะเป็นไปได้ก็ตั้งแต่ $2 \times 2, 4 \times 4, 8 \times 8$ และ 16×16 บล็อก ซึ่งแต่ละบล็อกจะแทนด้วยตัวแปร R_{ij} เมื่อ $1 \leq i \leq N/n$ และ $1 \leq j \leq M/m$ ในแต่ละบล็อกนั้น R_{ij} อาจจะมีสี C_i หนึ่งค่าสี หรือ C_i หลายๆ ค่าสีก็ได้ ในมุมมองของ C_i นั้น สมาชิกของมันอาจจะอยู่ในบล็อกหนึ่งบล็อกใด หรือกระจายอยู่หลายๆ บล็อก ซึ่งบล็อกสี C_i ใดๆ อาจจะไม่เชื่อมต่อกันก็ได้ ดังรูปที่ 2.4 มีวัตถุทั้งสิ้น 6 อัน โดยแต่ละอันจะประกอบไปด้วยหลายๆ บล็อก และแต่ละบล็อกนั้นจะปรากฏสีเดียว หรือหลายๆ สีก็ได้ ดังนั้นรูปภาพหนึ่งอาจจะมีบริเวณที่ติดกันของสีหลายค่า ที่มีสี C_k เหมือนกันเรียกว่า “ R_{kc} ” สามารถระบุในรูปของบล็อกที่ติดกันได้ดังสมการที่(2.4)

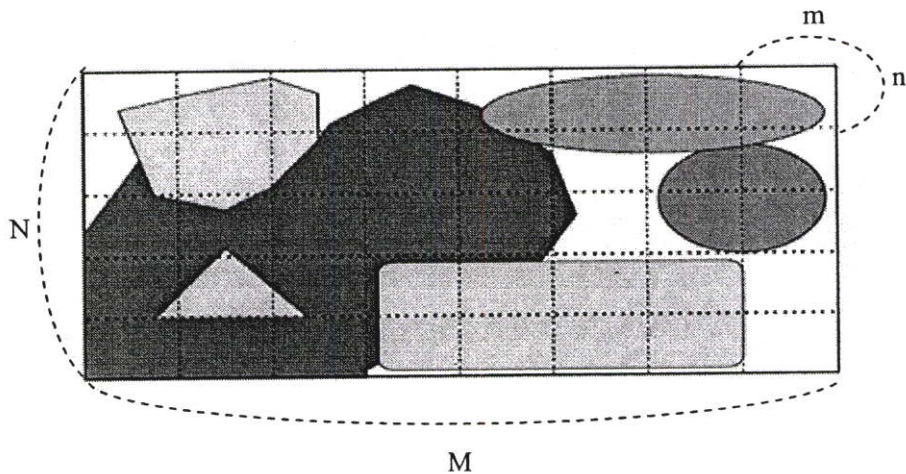
$$R_{kc} = \left\{ \cup \hat{R}_{ij} \mid \hat{R}_{ij} \ni (x,y) \text{ and } C(x,y) = C_k \right\} \quad (2.4)$$

เมื่อ

R_{kc} คือ บริเวณติดกันของสี k ลำดับที่ c ซึ่ง k เป็นค่าระดับสีที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 0 – 255 และ c เป็นค่าของลำดับกลุ่มโดย $c = 1, 2, 3, \dots$

\hat{R}_{ij} คือ เวกเตอร์ R_{ij} ที่มีบริเวณติดกันของบล็อกใดๆ แบบ 4 ทิศ โดยแต่ละบล็อกจะปรากฏสี C_k ที่เหมือนกัน

$C(x,y)$ คือ ค่าระดับสีที่เป็นไปได้ที่ตำแหน่ง (x,y)



รูปที่ 2.4 แสดงบริเวณพื้นที่สีที่ติดกัน ในบริเวณ $N \times M$ บล็อก

2.2.2 ความหนาแน่นของสี(Color Density)

ฮิสโตแกรมของบริเวณที่ติดกันของกลุ่มสีใดๆ สำหรับสี C_k แทนด้วย H_{kc} สามารถคำนวณได้ด้วยการรวมฮิสโตแกรมของสี C_k ที่ปรากฏภายในบล็อกที่เชื่อมต่อกันดังสมการที่(2.5)

$$H_{kc} = \sum_{R_{ij} \in R_{kc}} h_k(R_{ij}) \quad (2.5)$$

เมื่อ

H_{kc} คือ จำนวนฮิสโตแกรมรวมของระดับสี k กลุ่มที่ c ที่ได้มาจากการรวมค่าฮิสโตแกรมของสี k ที่ปรากฏอยู่ในบล็อกใดๆ ที่อยู่ติดกันกลุ่มที่ c

ความหนาแน่นของสีในบริเวณที่ติดกันแทนด้วย G_{kc} สามารถอธิบายได้จากการใช้ H_{kc} และจำนวนของพื้นที่ที่ติดกัน ดังสมการที่(2.6) – (2.8)

$$A_{kc} = \sum_{ij} 1 \quad \text{if } R_{ij} \in R_{kc} \quad (2.6)$$

$$P_{kc} = \sum_{ij} 1 \quad \text{if } R_{ij} \in R_{kc} \text{ and } \exists \hat{R}_{ij} \notin R_{kc} \quad (2.7)$$

$$G_{kc} = \frac{H_{kc}}{A_{kc} - P_{kc} / 2} \quad (2.8)$$

เมื่อ

A_{kc} คือ จำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสี k ของกลุ่มที่ c ซึ่งได้มาจากการนับจำนวนของบล็อกที่เป็นสมาชิกของบริเวณที่ติดกันของสี k กลุ่มที่ c

P_{kc} คือ จำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสีอื่นร่วมกับสี k ของกลุ่มที่ c ซึ่งได้มาจากการนับจำนวนของบล็อกที่เป็นสมาชิกของบริเวณที่ติดกันของสี k กลุ่มที่ c และมีบางเวกเตอร์ R_{ij} ที่ไม่ได้เป็นสมาชิกของบริเวณที่ติดกันของสี k นั่นก็คือ ที่บล็อกใดๆ นั้นไม่ได้อยู่ติดกันแบบ 4 ทิศ เพียงแค่มีด้านใดด้านหนึ่งของบล็อกนั้นที่อยู่ติดกับบริเวณที่ติดกันของสีที่ k ดังนั้น P_{kc} จึงเป็นการนับจำนวนของบล็อกที่เป็นขอบของบริเวณที่อยู่ติดกันของกลุ่มสี k กลุ่มที่ c

G_{kc} คือ ค่าความหนาแน่นของสี k ที่อยู่ติดกันลำดับกลุ่มที่ c ซึ่งได้จากการนำจำนวนฮิสโตแกรมรวมของสี k กลุ่มที่ c หารด้วยจำนวนบล็อกที่ปรากฏสี k ที่เชื่อมต่อกันที่ลบด้วยจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีอื่นร่วมกับสีที่ k หาร 2 การลบด้วยจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีอื่นร่วมกับสีที่ k หาร 2 เนื่องมาจากเป็นการหักจำนวนบล็อกที่มีสีอื่นปรากฏร่วมด้วยออกไปแต่ก็ไม่สามารถหัก

จำนวนบล็อกที่มีสีอื่นออกไปได้ทั้งหมดเพราะว่ายังมีสีที่ k ปรากฏในบล็อกนั้นอยู่จึงทำการเปลี่ยน การเกิดสีที่ k ร่วมกับสีอื่นด้วยการหารด้วย 2

2.2.3 สีที่ปรากฏร่วมสูงสุด (Maximum co-occurrence color)

บล็อกที่อยู่ติดกันมีความเป็นไปได้สูงที่จะมีสีเหมือนกัน อาจจะมีพื้นหลังอันเดียวกัน หรือมี วัตถุข้างเคียง(ที่มีสีหนึ่งๆ) อันเดียวกัน ดังนั้นสามารถคำนวณหาสีที่ปรากฏร่วมสูงสุด T_{kc} และ ความน่าจะเป็น O_{kc} ที่สีจะปรากฏคู่กันได้ดังสมการที่ (2.9) - (2.11)

$$t_l = \sum_{R_{ij} \in R_{kc}} 1 \quad \text{if } h_l(R_{ij}) = \max \text{ and } l \neq k \quad (2.9)$$

$$T_{kc} = C_l \quad \text{if } t_l = \max \quad (2.10)$$

$$O_{kc} = \frac{t_l}{A_{kc}} \quad \text{if } t_l = \max \quad (2.11)$$

เมื่อ

l คือ ระดับสีที่เป็นไปได้ โดยที่ $0 \leq l \leq 215$ สี

t_l คือ จำนวนผลรวมของบล็อกที่เป็นสมาชิกของบริเวณที่ติดกันของสี k กลุ่มที่ c ที่ปรากฏ จำนวนฮิสโตแกรมของสี l มากกว่าฮิสโตแกรมของสี k ซึ่งจะทำให้การนับจำนวนบล็อกของระดับสี l ทุกระดับที่เกิดร่วมกับสี k

T_{kc} คือ ระดับสีที่ปรากฏร่วมกับสี k กลุ่มที่ c บ่อยที่สุด โดยพิจารณาจากจำนวนผลรวมของ บล็อกที่มีจำนวนฮิสโตแกรมของสีใดๆ มากกว่าฮิสโตแกรมของสี k และมีจำนวนบล็อกที่ปรากฏ มากที่สุดก็จะได้เป็นค่าสีที่ปรากฏร่วมกับสี k กลุ่มที่ c

O_{kc} คือ ค่าความเป็นไปได้ที่จะมีระดับสีใดๆ เกิดคู่กับสี k

2.2.4 การวัดความเหมือนกันของภาพ (Similarity Measure)

สมการการวัดความเหมือนจะเป็นสมการที่เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งของการกระจายตัวของสี โดยความเหมือนกันนี้ได้ถูกใช้ในการจับคู่รูปภาพ สำหรับสมการ (2.5), (2.8), (2.10) และ (2.11) จะใช้เป็นคุณลักษณะของ CCR คือ $F(R_{kc}) = [H_{kc} G_{kc} T_{kc} O_{kc}]$ ซึ่งจะเรียงค่าสำหรับสี C_k ตามค่า H_{kc} ตามลำดับจากมากไปน้อย ดังนั้นจะได้สมการ $H_{k0}(I) \geq H_{k1}(I) \geq H_{k2}(I) \dots \geq H_{kc'}(I)$ และ $H_{k0}(Q) \geq H_{k1}(Q) \geq H_{k2}(Q) \dots \geq H_{kc'}(Q)$ และสามารถวัดความเหมือนที่สะท้อนถึง ข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial) ได้สมการที่ (2.12) - (2.15)

$$S_1(I, Q) = \frac{\sum_{kc} \min\{H_{k\bar{c}}(R_I), H_{kc}(R_Q)\}}{\sum_{kc} H_{kc}(R_Q)} \quad (2.12)$$

$$\Delta O_{kc} = \frac{\min\{\Delta O_{k\bar{c}}(R_I), O_{kc}(R_Q)\}}{\sum_{kc} 1} \quad (2.13)$$

$$S_2(I, Q) = \sum \begin{cases} \Delta O_{kc} & \text{if } T_{k\bar{c}}(R_I) = T_{kc}(R_Q) \\ 0 & \text{if } T_{k\bar{c}}(R_I) \neq T_{kc}(R_Q) \end{cases} \quad (2.14)$$

$$S(I, Q) = (S_1 + S_2) / 2 \quad (2.15)$$

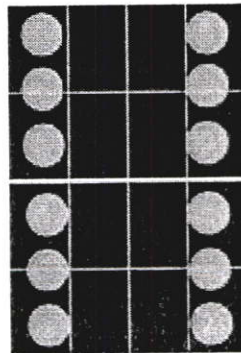
เมื่อ

S_1 คือ การเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรมสี ที่ปริมาณการเกาะกลุ่มกันของแต่ละกลุ่มสี โดย $H_{k\bar{c}}(R_I)$ คือตัวเลขจำนวนพิกเซลของสีที่ k กลุ่มที่ c ของบริเวณที่ติดกันในรูปภาพ I และ $H_{kc}(R_Q)$ คือตัวเลขจำนวนพิกเซลของสีที่ k กลุ่มที่ c ของบริเวณที่ติดกันในรูปภาพ Q

S_2 คือ ผลรวมของโอกาสที่จะเกิดสีใดๆ ร่วมกับสีที่ k เพื่อใช้สีที่เกิดร่วมระบุถึงตำแหน่งของสี k ที่ปรากฏในภาพ โดย S_2 ที่สี k กลุ่มที่ c ใดๆ จะมีค่าเป็น 0 เมื่อสีที่ปรากฏร่วมของแต่ละกลุ่มสีเป็นสีที่แตกต่างกัน แต่ถ้าเป็นสีเดียวกันก็จะได้ค่าโอกาสการเกิดร่วมกันของสี

S คือ ค่าความเหมือนกันของภาพโดยการให้น้ำหนักของ S_1 และ S_2 เท่ากัน ซึ่งจะกล่าวถึงการค้นคืนโดยใช้ค่า S_1 และ S_2 ที่ค่าน้ำหนักต่างๆ อีกครั้งในบทที่ 5

ตัวอย่างที่ 2.2 การคำนวณหาค่า CCR ของภาพโดมิโน และแบ่งภาพออกเป็น 4×4 บล็อก



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างภาพโดมิโนขนาด 256 x 384 พิกเซล

การคำนวณค่า CCR มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พิจารณابริเวณที่ติดกันของสี(Connected Color Region: CCR) โดยจะทำการพิจารณาหาบล็อกที่มีสีเดียวกันกับสีที่กำลังพิจารณาปรากฏในบล็อกข้างเคียงแบบ 4 ทิศ จากรูปที่ 2.5 จะได้บริเวณที่ติดกันของสีดังรูปที่ 2.6 -2.9

บริเวณที่ติดกันของสีดำ

R1,1	R1,2	R1,3	R1,4
R2,1	R2,2	R2,3	R2,4
R3,1	R3,2	R3,3	R3,4
R4,1	R4,2	R4,3	R4,4

รูปที่ 2.6 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีดำ

จากรูปที่ 2.6 จะได้บริเวณที่ติดกันของสีดำกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยบล็อก R1,1 R1,2 R1,3 R1,4 R2,1 R2,2 R2,3 R2,4 R3,1 R3,2 R3,3 R3,4 R4,1 R4,2 R4,3 และ R4,4

บริเวณที่ติดกันของสีเหลือง

R1,1	R1,2	R1,3	R1,4
R2,1	R2,2	R2,3	R2,4
R3,1	R3,2	R3,3	R3,4
R4,1	R4,2	R4,3	R4,4

รูปที่ 2.7 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 2.7 จะได้บริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยบล็อก R1,1 R2,1 R3,1 และ R4,1

R1,1	R1,2	R1,3	R1,4
R2,1	R2,2	R2,3	R2,4
R3,1	R3,2	R3,3	R3,4
R4,1	R4,2	R4,3	R4,4

รูปที่ 2.8 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 2.8 จะได้บริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยบล็อก R1,4 R2,4 R3,4 และ R4,4

บริเวณที่ติดกันของสีขาว

R1,1	R1,2	R1,3	R1,4
R2,1	R2,2	R2,3	R2,4
R3,1	R3,2	R3,3	R3,4
R4,1	R4,2	R4,3	R4,4

รูปที่ 2.9 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีขาว

จากรูปที่ 2.9 จะได้บริเวณที่ติดกันของสีขาวกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยบล็อก R2,1 R2,2 R2,3 R2,4 R3,1 R3,2 R3,3 และ R3,4

2. จำนวนค่าความหนาแน่นของสี (Color Density) ซึ่งเป็นการหาค่าเฉลี่ยของการเกาะกลุ่มกันของสี โดยได้จากการนำจำนวนฮิสโตแกรมรวมของสีที่ต้องการพิจารณาหารด้วยจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีเดียวกันในลักษณะพื้นที่ที่ติดกันของกลุ่มสีลบด้วยจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีอื่นร่วมกับสีที่ต้องการ เช่น การพิจารณาค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 และสีเหลืองกลุ่มที่ 2

การหาค่าความหนาแน่นของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ทำการหาจำนวนฮิสโตแกรมรวมของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 จากการนับจำนวนพิกเซลที่ปรากฏสีเหลืองของบล็อกที่ R1,1 R2,1 R3,1 และ R4,1 สมมุติให้ค่าฮิสโตแกรมรวมของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10337 หรือ $H_{yellow,1} = 10337$

2.2 ทำการพิจารณาหาจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีเหลืองและเชื่อมต่อกันระหว่างบล็อก จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่ามีบล็อกที่ปรากฏสีเหลือง และเชื่อมต่อกันระหว่างบล็อกมีจำนวนทั้งหมด 4 บล็อก ซึ่งเป็นการเกาะกลุ่มกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 จากการเชื่อมต่อกันของบล็อก R1,1 R2,1 R3,1 และ R4,1 ดังนั้นจะได้ค่าจำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสีเหลืองกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 4 หรือ $A_{yellow,1} = 4$

2.3 ทำการพิจารณาหาจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีอื่นร่วมกับสีเหลืองกลุ่มที่ 1 เพื่อหาบล็อกที่เป็นขอบของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 จากรูปที่ 2.5 - 2.6 และรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าบล็อกที่ R1,1 จะมีสีดำและสีเหลืองปรากฏภายในบล็อก ส่วนบล็อกที่ R2,1 R3,1 จะมีสีดำ สีเหลือง และสีขาวปรากฏภายในบล็อก และ บล็อก R4,1 มีสีดำและสีเหลืองปรากฏภายในบล็อก ดังนั้นจะได้ค่าจำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสีอื่นๆ ร่วมกับสีเหลืองกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 4 หรือ $P_{yellow,1} = 4$

2.4 คำนวณหาค่าความหนาแน่นของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 จากสมการที่ (2.8) จะได้ค่าความหนาแน่นของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 ดังนี้ $G_{yellow,1} = \frac{10337}{4 - (4/2)}$ มีค่าเท่ากับ 5168

การหาค่าความหนาแน่นของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ทำการหาจำนวนฮิสโตแกรมรวมของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 จากการนับจำนวนพิกเซลที่ปรากฏสีเหลืองของบล็อกที่ R1,4 R2,4 R3,4 และ R4,4 สมมุติให้ค่าฮิสโตแกรมรวมของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ 10344 หรือ $H_{yellow,2} = 10344$

2.2 ทำการพิจารณาหาจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีเหลืองและเชื่อมต่อกันระหว่างบล็อก จากรูปที่ 2.7 จะได้ค่าจำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสีเหลืองกลุ่มที่ 2 เท่ากับ 4 หรือ $A_{yellow,2} = 4$

2.3 ทำการพิจารณาหาจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีอื่นร่วมกับสีเหลืองกลุ่มที่ 2 จะได้ค่าจำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสีอื่นๆ ร่วมกับสีเหลืองกลุ่มที่ 2 เท่ากับ 4 หรือ $P_{yellow,2} = 4$

2.4 คำนวณหาค่าความหนาแน่นของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 จากสมการที่ (2.8) จะได้ค่าความหนาแน่นของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 ดังนี้ $G_{yellow,1} = \frac{10344}{4 - (4/2)}$ มีค่าเท่ากับ 5172

3. หารสีที่ปรากฏร่วมสูงสุด (Maximum co-occurrence color) เป็นการหาค่าสีที่จะปรากฏร่วมกับสีเหลืองกลุ่มที่ 1 ซึ่งในการหาค่าสีที่ปรากฏร่วมนี้จะได้อาซึ่งข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพโดยการใช้สีที่ปรากฏร่วมเป็นตัวชี้ตำแหน่งของกลุ่มสี

การหาค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดกับสีเหลืองกลุ่มที่ 1 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 พิจารณาสีที่ปรากฏมากที่สุดในแต่ละบล็อกที่เชื่อมต่อกันของบริเวณที่ติดกันของสีให้เป็นสีตัวแทนของบล็อก จากรูปที่ 2.4 จะได้ว่าสีที่เป็นตัวแทนของบล็อกที่เชื่อมต่อกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 คือ สีดำซึ่งเป็นสีตัวแทนของบล็อก R1,1 R2,1 R3,1 และ R4,1

3.2 ทำการนับจำนวนสีที่เป็นตัวแทนของแต่ละบล็อกที่เกาะกลุ่มกันว่าแต่ละสีที่เป็นตัวแทนนั้นมีจำนวนเท่าใด และจะไม่ทำการนับบล็อกที่ปรากฏสีที่เป็นตัวแทนของสีที่กำลังพิจารณา ซึ่งในที่นี้คือสีเหลืองนั้นจะไม่ถูกนับจำนวนจากสมการที่(2.9) จะได้ว่า $t_{black} = 4$ คือจำนวนผลรวมของบล็อกที่ปรากฏสีดำที่เป็นสมาชิกของบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1

3.3 ทำการพิจารณาสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดกับสีเหลืองมากที่สุด นั่นก็คือ ทำการพิจารณาว่าจำนวนของสีที่เป็นตัวแทนของแต่ละบล็อกที่เป็นสมาชิกของบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 1 มีสีใดที่มีจำนวนมากที่สุดจากข้อ 3.2 จะได้ว่าสีดำเป็นสีที่ปรากฏร่วมกับสีเหลืองมากที่สุดดังนั้น

$$T_{yellow,1} = Black$$

3.4 คำนวณหาค่าความเป็นไปได้ที่จะมีปรากฏสีดำคู่กับสีเหลืองกลุ่มที่ 1

การหาค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดกับสีเหลืองกลุ่มที่ 2 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 พิจารณาสีที่ปรากฏมากที่สุดในแต่ละบล็อกที่เชื่อมต่อกันในบริเวณที่ติดกันของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 จะได้ว่าสีดำเป็นตัวแทนของบล็อกที่ R1,4 R2,4 R3,4 และ R4,4

3.2 ทำการนับจำนวนสีที่เป็นตัวแทนของแต่ละบล็อกที่เกาะกลุ่มกันว่าสีที่เป็นตัวแทนบล็อกสีใดมีจำนวนมากที่สุด จากสมการที่(2.9) จะได้ว่า $t_{black} = 4$ นั่นก็คือจำนวนบล็อกที่ปรากฏสีดำและเป็นตัวแทนบล็อกที่เป็นสมาชิกของสีเหลืองกลุ่มที่ 2 มีจำนวนทั้งสิ้น 4 บล็อก

3.3 ทำการพิจารณาสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดกับสีเหลืองมากที่สุดจะได้สีดำปรากฏร่วมเป็นสีที่ปรากฏร่วมกับสีเหลืองกลุ่มที่ 2 มากที่สุด

3.4 ทำการคำนวณหาค่าความเป็นไปได้ที่จะมีสีดำปรากฏคู่กับสีเหลืองกลุ่มที่ 2

การหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน(CCR) นำมาซึ่งการได้ข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ โดยพิจารณาจากสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี และนำคุณสมบัติที่ดีของฮิสโตแกรม มาใช้ในการพิจารณาปริมาณของสีที่เกาะกลุ่มกันโดยใช้การวัดความเหมือนกันของฮิสโตแกรม เพื่อหาภาพที่มีปริมาณการเกาะกลุ่มสีที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม แต่ทั้งนี้ CCR ก็มีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของบล็อกที่เหมาะสม ที่จะสามารถแยกแยะการเกาะกลุ่มของสีในแต่ละภาพให้ได้การเกาะกลุ่มกันของสีที่ชัดเจน และเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่า CCR พร้อมทั้งเวลาที่ใช้ในการค้นคืนภาพ เพราะขนาดของบล็อกจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นคืน ถ้าบล็อกมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ เนื่องจากขนาดของบล็อก

ที่ใหญ่ไม่สามารถแบ่งการเกาะกลุ่มกันของสีได้ชัดเจน แต่ถ้าขนาดของบล็อกมีขนาดเล็กจะทำให้การค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำสูงแต่ก็ใช้เวลาในการค้นคืนมาก

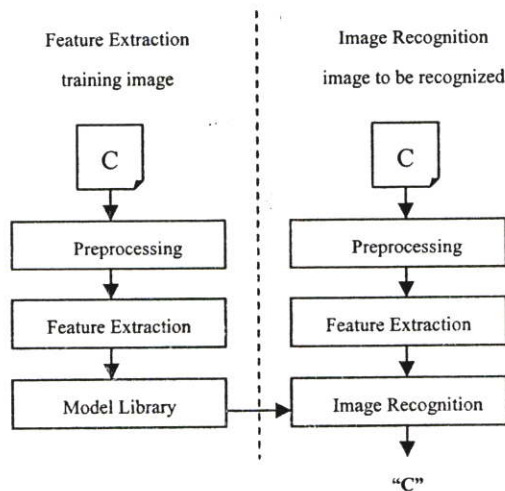
2.3 การนำค่า Moment Invariants มาใช้ในการรู้จำภาพตัวอักษร

Chen, Petriu และ Yang [8] ได้นำ Fourier Descriptors และ Hu's Seven Moment Invariants มาประยุกต์ใช้ในการรู้จำภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษ และได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรู้จำภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษที่มีขนาดของภาพที่แตกต่างกันของทั้งสองวิธีการด้วย โดย Fourier descriptors จะเป็นเทคนิคการหาคุณลักษณะของภาพที่เรียกว่า "Boundary-Based" ซึ่งจะคำนวณค่าของพิกเซลทั้งหมดที่เป็นขอบเขตของวัตถุ และ Hu's Seven Moment Invariants เป็นเทคนิคในการหาคุณลักษณะของภาพที่เรียกว่า "Region-Based" ซึ่งจะทำการคำนวณค่าของพิกเซลทั้งหมดที่เป็นพื้นที่บริเวณของวัตถุ Fourier Descriptors และ Hu's Seven Moment Invariants จะมีคุณสมบัติเหมาะสมเกี่ยวกับงานทางด้าน การแปลงภาพนั้นคือไม่ได้รับผลกระทบใดๆ ต่อการย้ายตำแหน่งของวัตถุในภาพ(Translation)หรือการเปลี่ยนมุมมองของภาพ(Rotation)และการย่อขยาย(Scale Change)

ขั้นตอนการรู้จำภาพตัวอักษรภาษาอังกฤษมีดังต่อไปนี้

1. ภาพ Gray scale ของอักษรภาษาอังกฤษจำนวน 26 ตัวอักษรที่มีขนาด 640 x 480 พิกเซล จะถูกทำให้เป็นภาพที่มีขนาด 512 x 512, 256 x 256, 128 x 128, 64 x 64, 32 x 32 และ 16 x 16
2. ทำทดสอบการรู้จำภาพโดยการใช้ฟังก์ชันดังต่อไปนี้
 - 2.1 ฟังก์ชันการดึงลักษณะเด่นของภาพ(Feature Extraction)
 - 2.2 ฟังก์ชันการรู้จำภาพ

โดยขั้นตอนการทดสอบการรู้จำภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.9



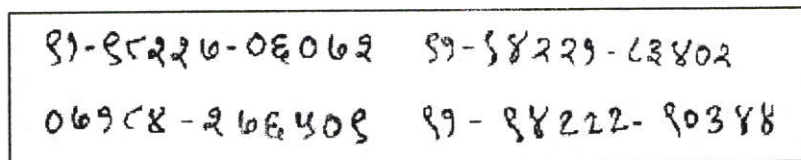
รูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของสองฟังก์ชันที่ใช้ในการรู้จำภาพ

โดยการดึงคุณลักษณะเด่นของภาพจะใช้ Fourier Descriptors 10 ค่า และ Moment Invariants ของ Hu ทั้ง 7 ค่า ซึ่งการใช้ Fourier Descriptors จะใช้กับขนาดของภาพตัวอักษรที่มีขนาด 512 x 512 ถึง 32 x 32 และ Moment Invariants จะใช้กับภาพที่มีขนาด 512 x 512 ถึง 16 x 16

Ramteke และ Mehrotra [9] ได้นำเสนอบทความที่เกี่ยวกับการทดลองประสิทธิภาพในการรู้จำลายมือเขียนด้วยเทคนิคต่างๆ ที่อยู่บนพื้นฐานของ Moment Invariants เช่น เทคนิคการแบ่งส่วนภาพ (Image Partition), เทคนิค Principal Component Axes (PCA) และ สัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ เป็นต้น และเทคนิคทั้งหมดที่กล่าวไปในข้างต้นจะถูกประยุกต์ใช้กับการเขียนตัวเลขแบบ อักษรเทวนาครี (Devanagari – ภาษาโบราณชนิดหนึ่งพบได้ในภาษาอินเดีย) จำนวน 2000 ตัว จาก 20 บุคคลที่มีอาชีพ และอายุแตกต่างกัน โดยจะให้เขียนหมายเลขโทรศัพท์คนละ 10 หมายเลขตัวอย่าง

ตัวอย่างของตัวเลข อักษรเทวนาครี

ประเทศอินเดียเป็นประเทศที่มีหลากหลายภาษาโดยมีภาษาท้องถิ่น 18 ภาษา และรูปแบบการเขียนที่แตกต่างกัน 10 รูปแบบ อักษรเทวนาครี และรูปแบบตัวอักษร ถูกใช้เป็นตัวเลขในภาษาอินเดีย เช่นตัวอย่างการเขียนหมายเลขโทรศัพท์ที่เกิดจากบุคคลที่แตกต่างกัน 3 คนดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการเขียนหมายเลขโทรศัพท์

เทคนิคการรู้จำลายมือเขียนตัวเลขแบบ อักษรเทวนาครี

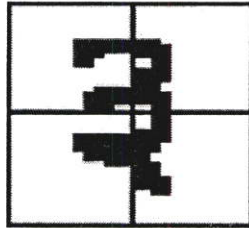
1. การแบ่งส่วนภาพ (Image Partition)

จากคุณสมบัติของ Moment Invariants ที่ไม่ได้รับผลกระทบใดๆ เมื่อมีการย่อขยาย, การเปลี่ยนมุมมอง แต่คุณสมบัติที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายใต้การสะท้อนนั้นเป็นปัญหาในการจำแนกตัวเลข

เช่น 1, 9, 7 (१, ९, ७) 3, 6 (३, ६) เนื่องจากความคล้ายคลึงกันของข้อมูลเหล่านั้นอยู่ภายใต้การสะท้อนกลับ ดังนั้นอัตราการรู้จำของแต่ละตัวเลขจึงมีแค่ 39 % จากการใช้ทั้ง 7 ค่าของ Moment Invariants ในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงกันของตัวเลข ดังนั้นจึงทำการแบ่งตัวเลขออกเป็น 4 ส่วนโดยแบ่งออกเป็น 3 เขตคุณลักษณะบนพื้นฐานของ Centroid ของภาพตัวอักษร (\bar{X}, \bar{Y}) ดังต่อไปนี้

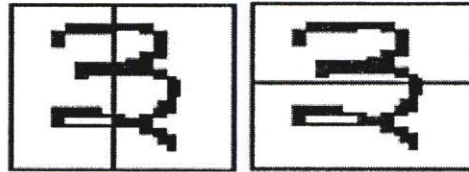
เขตคุณลักษณะที่ 1 หลังจากได้จุด Centroid จะทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของแต่ละบริเวณของภาพตัวอักษร ดังนั้นจะได้คุณลักษณะทั้งหมดที่เป็นไปได้คือ 28 คุณลักษณะ

ซึ่งได้มาจาก ค่า Moment Invariants ทั้ง 7 ค่าของแต่ละบริเวณ (7 x 4) คุณลักษณะทั้งหมดจะถูกใช้ในการรู้จำ เมื่อนำคุณลักษณะทั้ง 28 คุณลักษณะมาใช้ในการรู้จำจะสามารถทำให้อัตราการรู้จำเพิ่มขึ้นเป็น 74.82 % ซึ่งจากเดิมมีอัตราการรู้จำเพียง 39 % เท่านั้น รูปที่ 2.11 จะแสดงตัวอย่างการเขียนตัวเลข 3 ในแบบอักษรเทวนาครี และภาพจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังรูป



รูปที่ 2.12 แสดงตัวเลข 3 ในภาษาอักษรเทวนาครีที่ถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน

เซตคุณลักษณะที่ 2 จะเป็นการดึงลักษณะเด่นของภาพด้วยการแบ่งภาพออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่แตกต่างกับเซตคุณลักษณะที่ 1 โดยจะได้ 4 ส่วนเหมือนกันแต่ 4 ส่วนนี้ เกิดจากพื้นที่ 2 ส่วนในแนวนอน พื้นที่ 2 ส่วนในอนดั่งดังแสดงในรูปที่ 2.12



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.13 แสดงตัวเลข 3 ในภาษาอักษรเทวนาครีที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

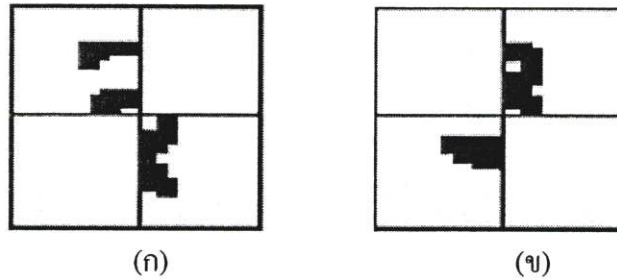
(ก) ภาพถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ซ้าย และขวา

(ข) ภาพถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน บน และล่าง

ทำการคำนวณค่า Moment Invariants ของบริเวณภาพด้าน ซ้าย ขวา บน ล่าง ซึ่งจะทำให้ได้คุณลักษณะทั้งหมด 28 คุณลักษณะ (แต่ละส่วนมีค่าคุณลักษณะ 7 ค่า) และทำการคำนวณค่า Moment Invariants ของเลข 3 ที่ยังไม่ได้แบ่งส่วนภาพ จะได้ค่าคุณลักษณะอีก 7 ค่า ดังนั้นเราจะได้ค่าคุณลักษณะทั้งหมด เท่ากับ 35 คุณลักษณะ เมื่อนำคุณลักษณะทั้งหมด 35 คุณลักษณะมาใช้ในการรู้จำจะทำให้อัตราการรู้จำมีค่าต่ำกว่าอัตราการรู้จำของเซตคุณลักษณะที่ 1

เซตคุณลักษณะที่ 3 จะเป็นการคำนวณค่า Moment Invariants ของพื้นที่ที่อยู่ในแนวเส้นทแยงมุม จากพื้นที่ของภาพที่แบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังรูปที่ 2.12 สามารถจัดเรียงในรูปแบบของเส้นทแยงมุมทางด้านซ้าย และ ทแยงมุมด้านขวาของภาพได้ดังรูปที่ 2.13 ทำให้คำนวณค่าคุณลักษณะ

ได้ 14 คุณลักษณะ (แต่ละส่วนของเส้นทแยงมุมมีค่าคุณลักษณะ 7 ค่า) หลังจากเพิ่มค่าคุณลักษณะของภาพที่ยังไม่ได้แบ่งส่วนภาพ จะได้อัตราการเรียนรู้คือ 92 %



รูปที่ 2.14 แสดงตัวเลข 3 ในภาษาอักขรเทวนาครีที่ถูกแบ่งออกตามแนวทแยงมุม

(ก) ภาพในแนวทแยงมุมขวา

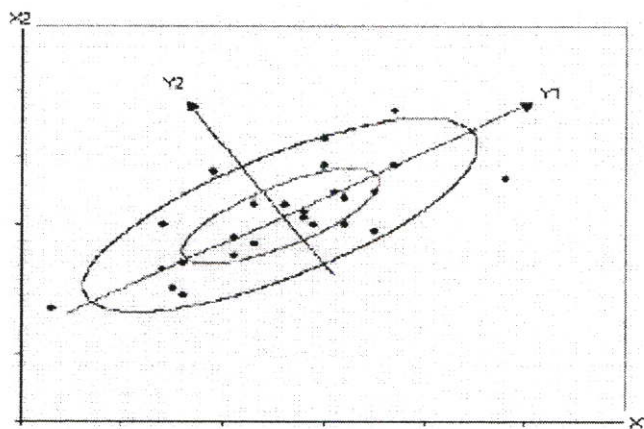
(ข) ภาพในแนวทแยงมุมซ้าย

2. Principal Component Axes (PCA)

การวิเคราะห์ Principal Component เป็นขั้นตอนการทำ Multivariate ซึ่งการหมุนของข้อมูลอย่างเช่น ค่าสูงสุดของความแปรผันของข้อมูลจะถูกโปรเจกตลงบนแกนหลัก หลักสำคัญในการใช้ PCA ก็เพื่อลดมิติของเซตข้อมูล ขณะที่ยังรักษาลักษณะข้อมูลที่จะเป็นไปได้ทั้งหมดไว้ด้วย และเป็นการคำนวณการบีบอัดพร้อมกับการอธิบายเซตของข้อมูล

รูปที่ 2.14 แสดงระบบ Co-ordinate (X_1, X_2) เวกเตอร์พื้นฐานจะเป็นตัวที่ชี้ไปยังทิศทางการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของข้อมูล เช่น (Y_1, Y_2) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.16)

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 \cos \theta - X_2 \sin \theta \\ Y_2 &= X_1 \sin \theta + X_2 \cos \theta \end{aligned} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.15 รูปแบบการกระจายตัวแบบวงรีบน PCA

คุณลักษณะของ PCA จะเป็นการรวมเอาคุณลักษณะของ Moment Invariants ของทั้งภาพ เข้ากับคุณลักษณะของการแบ่งส่วนภาพ (เซตคุณลักษณะที่ 1 และ 2) และนำไปประยุกต์ใช้ในการ รู้จำ โดยอัตราการรู้จำที่สามารถทำได้คือ 85.85 %

3. สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์(Correlation Coefficient)

สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์คือวิธีการคำนวณแนวโน้มของข้อมูลที่ได้รับมาใหม่สำหรับการเรียนรู้ ค่าที่เป็นไปได้(ค่าจากฐานข้อมูล) ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของข้อมูลคือตัวเลขระหว่าง [-1, 1] ถ้าไม่มีความสัมพันธ์กันของข้อมูลใหม่กับข้อมูลที่เคยเรียนรู้ไปแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เป็น 0 หรือ ค่าที่ต่ำมากๆ และถ้าข้อมูลใหม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่เคยเรียนรู้ไปแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์จะมีค่าเป็น 1 ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของคุณลักษณะจะใช้แนวคิดนี้ ในการหาความสัมพันธ์ของ Moment Invariants ถ้าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคุณลักษณะ ค่าเฉลี่ยของความสัมพันธ์จะมีค่าน้อยนั่นก็คือ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพัทธ์ คำนวณได้จาก สมการที่ (2.17)

$$R \equiv \frac{n \sum (\phi_{x(k)}, \phi_{y(k)}) - \sum \phi_{x(k)} \sum \phi_{y(k)}}{\sqrt{[n \sum \phi_{x(k)}^2 - (\sum \phi_{x(k)})^2][n \sum \phi_{y(k)}^2 - (\sum \phi_{y(k)})^2]}} \quad (2.17)$$

เมื่อ n เป็นตัวเลขของคุณลักษณะ ϕ_x, ϕ_y เป็นค่าคุณลักษณะ และ k เป็นประเภทของข้อมูล

ตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของการเขียนตัวเลข 4 (8) ในภาษา อักษรเทวนาครี

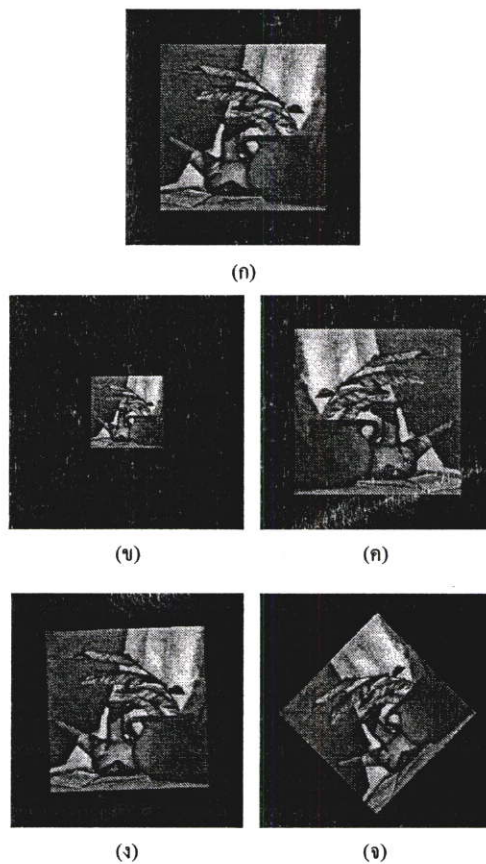
ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของการเขียนเลข 4 ในภาษาอักษรเทวนาครี

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
ϕ_1	1.000	0.4501	0.7587	0.5466	0.5485	0.5285	0.5070
ϕ_2		1.000	0.1315	0.1537	0.0986	0.3200	0.0143
ϕ_3			1.000	0.5655	0.6965	0.5332	0.6358
ϕ_4				1.0000	0.7838	0.6483	0.7664
ϕ_5					1.0000	0.7909	0.8542
ϕ_6						1.0000	0.7638
ϕ_7							1.0000

ตัวอย่างที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของค่า Moment Invariants ของภาพ Gray Scale ที่ถูกทำการแปลงภาพ ในรูปแบบของการย่อขยาย การเปลี่ยนมุมมองของภาพ และการเปลี่ยน ตำแหน่งของวัตถุในภาพด้วยการใช้ภาพสะท้อน (Mirrored Image)

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า Moment Invariants จะกล่าวถึงต่อไปในบทที่ 3 โดยรูปที่ 2.15 เป็นการแสดงภาพ Gray Scale ในที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของ Moment Invariants ซึ่งภาพจะถูกย่อขนาดลงครึ่งหนึ่ง ทำภาพสะท้อน และทำการเปลี่ยนแปลงมุมมองของภาพซึ่งจะทำการหมุนภาพไป 2 องศา และ 45 องศา

ตารางที่ 2.2 เป็นการแสดงค่าของ Moment Invariants ของรูปที่ 2.15 โดยนำค่า Moment Invariants ที่คำนวณ ได้มาทำการ Take Log พร้อมกับการ Take Absolute เพื่อลดช่วงของข้อมูลและหลีกเลี่ยงค่าที่ติดลบของ Complex Number



รูปที่ 2.16 แสดงภาพ Gray Scale ที่ใช้ในการทดลองหาค่า Moment Invariants

- (ก) ภาพ Gray Scale ต้นฉบับขนาด 400 x 400 พิกเซล
- (ข) ภาพต้นฉบับขนาดลดลงครึ่งหนึ่ง
- (ค) ภาพสะท้อนของภาพต้นฉบับ
- (ง) ภาพต้นฉบับถูกหมุน 2 องศา
- (จ) ภาพต้นฉบับถูกหมุน 45 องศา

ตารางที่ 2.2 ค่า Moment Invariants ทั้ง 7 ค่าของรูปที่ 2.15 (ก) - 2.15 (จ)

Invariant(log)	Original	Half Size	Mirrored	Rotated 2°	Rotated 45°
ϕ_1	6.600	6.600	6.600	6.600	6.600
ϕ_2	16.410	16.408	16.410	16.410	16.410
ϕ_3	23.972	23.958	23.972	23.978	23.973
ϕ_4	23.888	23.882	23.888	23.888	23.888
ϕ_5	49.200	49.258	49.200	49.200	49.198
ϕ_6	32.102	32.094	32.102	32.102	32.102
ϕ_7	47.953	47.933	47.850	47.953	47.954

จากตารางที่ 2.2 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของ Moment Invariant ทั้ง 7 ค่าของแต่ละภาพนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน หรือไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้ภาพจะถูกหมุนไปกี่องศาก็ตาม เมื่อทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants ก็ยังคงได้ค่าเท่าเดิมหรือใกล้เคียงกับค่า Moment Invariants ของภาพต้นฉบับ และแม้ภาพนั้นจะถูกทำการย่อขยาย หรือ ทำการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งวัตถุในภาพ ก็ยังคงคำนวณค่า Moment Invariants ได้ค่าใกล้เคียงกับภาพต้นฉบับ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า Moment Invariants เป็นค่าที่ไม่ได้รับผลกระทบมากนัก ต่อการย่อขยาย การเปลี่ยนมุมมอง และการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในภาพ

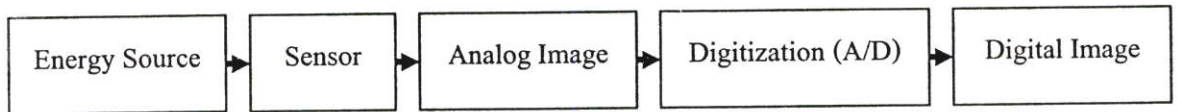
บทที่ 3

ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ การได้มาของภาพดิจิทัล องค์ประกอบของภาพดิจิทัล แบบจำลองสี ฮิสโตแกรมสี Moment Invariants กรรมวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ และการวัดประสิทธิภาพของระบบการค้นคืน

3.1 การได้มาของภาพดิจิทัล (Image Acquisition)

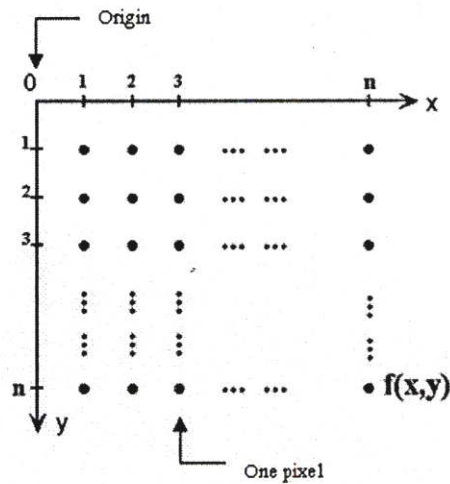
การได้มาซึ่งภาพดิจิทัลนั้นเป็นการจำลองการทำงานของสายตามนุษย์ (Human Vision) ในการรับรู้ และ มองเห็น กลไกการรับภาพของมนุษย์เกิดจากแสงที่ตกกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนเข้าสู่รูรับตา ดังนั้นตาจะทำหน้าที่ในการรับภาพ แล้วส่งไปยังสมองเพื่อแปลความหมายของภาพออกมาเป็นความรู้สึกหรือการรับรู้ โดยขั้นตอนการได้มาซึ่งภาพดิจิทัลมีขั้นตอนดังภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานการได้มาของภาพดิจิทัล

องค์ประกอบของการรับภาพดิจิทัล

1. แหล่งกำเนิดพลังงาน (Energy Source) ภาพได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานหลายรูปแบบ เช่น Visible Light Microwave Radio UV X-ray Infrared และ Gamma เป็นต้น
2. อุปกรณ์รับพลังงาน (Sensor) เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการรับรู้ทางด้านแสงแล้วสามารถเปลี่ยนความเข้มแสงให้มาอยู่ในรูปแบบของภาพได้ เช่น Single Sensor Row Sensor และ Array Sensor เป็นต้น
3. การแปลงสัญญาณภาพแบบอะนาล็อกให้เป็นสัญญาณภาพแบบดิจิทัล (Analog-to-Digital Image) โดยทำการ Sampling และ Quantization สัญญาณ
4. ภาพเชิงดิจิทัล เช่นดังอย่างภาพที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างภาพดิจิทัล

3.2 องค์ประกอบของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลสามารถนิยามเป็นฟังก์ชันสองมิติ $f(x, y)$ โดยที่ x และ y เป็นพิกัดของภาพ และแอมพลิจูดของ f ที่พิกัด (x, y) ใดๆ ภายในภาพคือค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) ที่ตำแหน่งนั้น และเมื่อ x, y และแอมพลิจูดของ f เป็นค่าจำกัด (Finite Value) กำหนดให้ภาพ $f(x, y)$ เป็นภาพดิจิทัลที่มีขนาด M แถว และ N คอลัมน์ และมีพิกัดของจุดกำเนิด (Origin) ภาพที่ตำแหน่ง $(x, y) = (0,0)$ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปแมทริกซ์ (Matrix) ได้ดังนี้

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

จากสมการที่ (3.1) ค่าแต่ละค่าที่อยู่ในแมทริกซ์จะเรียกว่าอิลิเมนต์ของภาพ (Picture Element) หรือพิกเซล (Pixel) โดยตำแหน่ง $(0,0)$ จะอยู่ทางด้านซ้ายมือด้านบนของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นภาพ และการจัดลำดับของเส้นภาพจะเรียงจากบนลงล่าง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.3

การใช้หน่วยความจำเพื่อจัดเก็บภาพดิจิทัล โดยเนื้อที่ในการเก็บภาพสามารถคำนวณได้จาก จำนวนแถว \times จำนวนคอลัมน์ \times จำนวนบิตของข้อมูลในแต่ละจุดภาพ



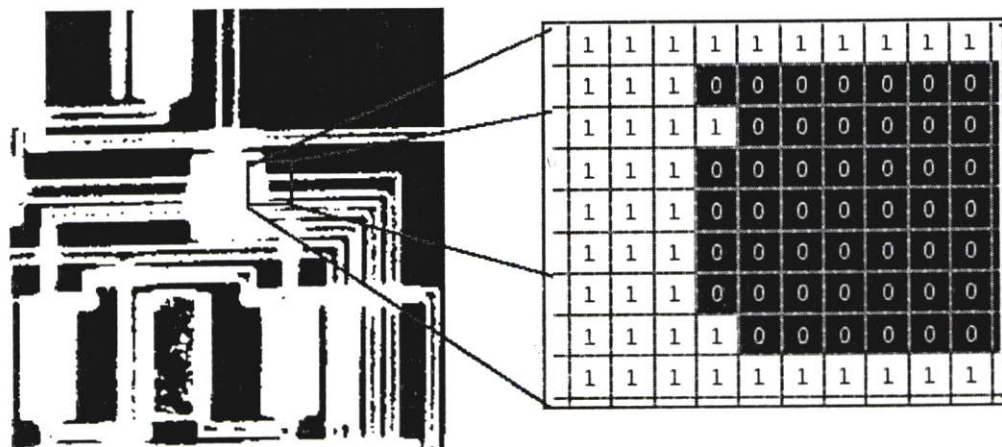
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพดิจิทัลขนาด 256 x 384 พิกเซล

3.3 ประเภทของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลมีอยู่หลากหลายประเภท เช่น Binary Images Intensity Images Indexed Images และ RGB Images โดยภาพแต่ละประเภทนั้นจะมีค่าความเข้มแสงของภาพที่แตกต่างกัน

3.3.1 Binary Image หรือ Black and White Image

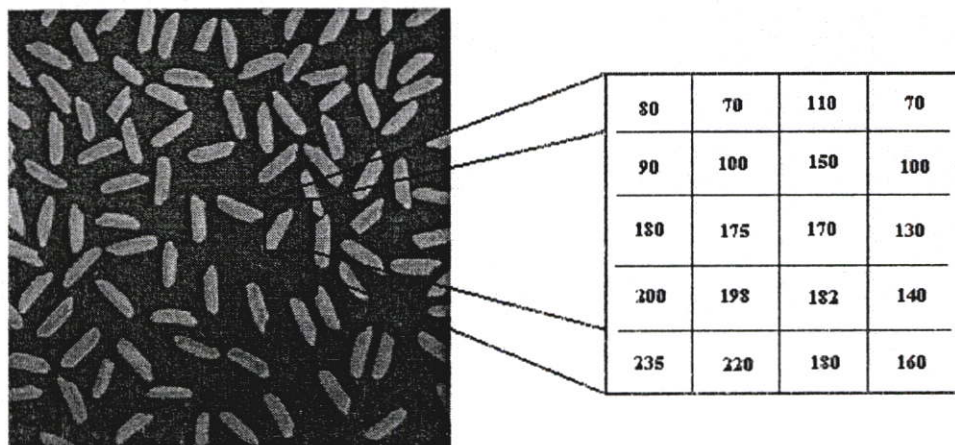
แต่ละพิกเซลของภาพ Binary นั้น สามารถแสดงค่าที่แตกต่างกันได้ 2 ค่า คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) เท่านั้นดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพ Binary และ ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ Binary

3.3.2 Intensity Image หรือ Monochrome Image หรือ Gray Image

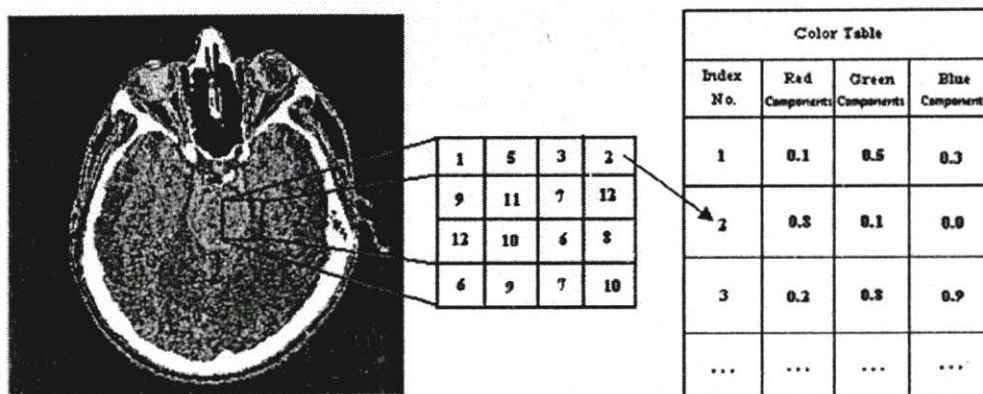
Intensity Image หรือ Gray Image เป็นภาพที่แสดงถึงค่าความเข้มแสง ณ แต่ละตำแหน่งของพิกเซลภายในภาพ ซึ่งภาพจะมีลักษณะเป็นโทนสีเทา (Gray scale) โดยค่าความเข้มแสงที่สามารถแสดงได้ (Gray Levels) จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้แทนภาพในแต่ละภาพได้จาก $L = 2^k$ เมื่อ L คือระดับสีเทา และ k คือค่าจำนวนบิตที่ใช้แทนภาพ เช่นภาพ Gray scale ขนาด 8 บิตสามารถแสดงค่าระดับสีเทาได้ทั้งหมด 256 ระดับ และค่าที่เป็นไปได้คือ [0-255]



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างภาพ Gray Image และ ค่า Gray scale ของแต่ละพิกเซล

3.3.3 Indexed Image

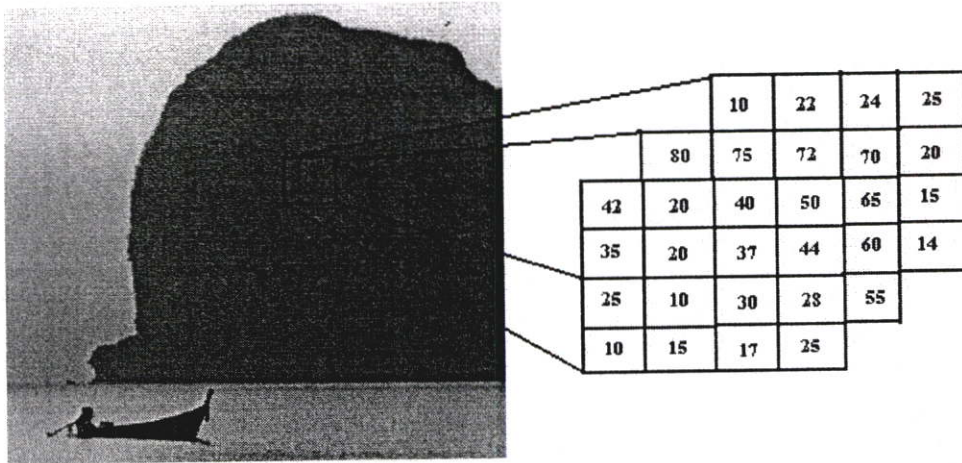
แต่ละพิกเซลของภาพ Indexed จะเก็บค่า Index Number ซึ่งเป็นค่าที่ชี้ไปยังสีในตารางสี ดังนั้นถ้าต้องการจะทราบสีในแต่ละพิกเซล จะต้องไปดูค่าสีในตารางที่ index ตรงกับค่าในพิกเซลดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างภาพ Indexed และ ค่าของแต่ละพิกเซล

3.3.4 Color Image หรือ RGB Image

Color Image หรือ RGB Image แต่ละพิกเซลประกอบด้วยค่าสี 3 ค่า นั่นก็คือ ค่าของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังรูปที่ 3.6



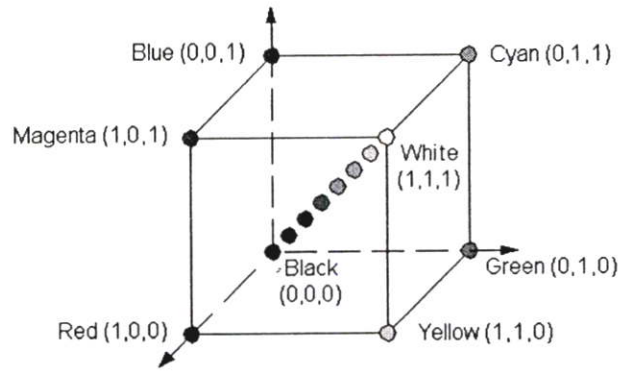
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างภาพ RGB และ ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพ RGB

3.4 แบบจำลองสี (Color Model)

แบบจำลองสีได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อช่วยในการกำหนดสีให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน นั่นก็คือ ให้แต่ละสีเป็นสีที่ใกล้เคียงกัน หรือ เหมือนกัน และจุดประสงค์หลักของการสร้างแบบจำลองสี ขึ้นมานั้น ก็เพื่อรองรับการทำงานของอุปกรณ์ หรือ โปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ตัวอย่างเช่น แบบจำลองสี RGB เป็นรูปแบบสีที่ใช้ในงานแสดงผลทางมอนิเตอร์ กล้องถ่ายภาพ เป็นต้น แบบจำลองสี CMY และ CMYK เป็นรูปแบบสีที่ใช้ในงานพิมพ์ และแบบจำลองสี HSI เป็นแบบจำลองสีที่สามารถแยกองค์ประกอบสีออกจากค่าความเข้มแสงได้ และที่สำคัญแบบจำลองสีนี้เป็นแบบจำลองสีที่ใกล้เคียงกับการรับรู้และแปลความหมายสีของมนุษย์มากที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบจำลองสี RGB เท่านั้น

3.4.1 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสีแบบ RGB เป็นการอธิบายสีด้วยการผสมสีหลัก 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ทำให้เกิดเป็นสีที่หลากหลายขึ้น ดังนั้นจึงเรียกสีทั้ง 3 สีนี้ว่า “แม่สี (Primary Colors)” แบบจำลองนี้ใช้ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate system) ในการสร้างแบบจำลองสีดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แบบจำลองสี RGB บนพิกัดคาร์ทีเซียน

จากรูปที่ 3.8 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) โดยในตำแหน่งพิกัดต่างๆ บนเส้นสเกลสีเทานี้จะมีสัดส่วนของค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเท่าๆ กันเสมอ ซึ่งจะไล่ระดับตั้งแต่ความเข้มแสงจากน้อยที่สุด (สีดำ) เรื่อยมาเป็นสีเทา และความเข้มแสงมากที่สุด (สีขาว) สำหรับสีอื่นๆ ของแบบจำลองนี้คือพิกัดต่างๆ ที่อยู่ภายในลูกบาศก์ที่ได้จากการนำเอาสีเหล่านี้มาผสมกันในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละพิกเซลนั้นจะขึ้นกับจำนวนบิต (Pixel Depth) ที่ใช้แสดงถึงแต่ละช่วงสี แดง เขียว และ น้ำเงิน (RGB space) เมื่อมีการกำหนดบิตมากขึ้นจะทำให้มีจำนวนสีมากขึ้นด้วย เช่น

ถ้ากำหนด Pixel depth เท่ากับ 1 บิต จะสามารถสร้างสีที่แตกต่างกันได้ $2^1 = 2$ สี

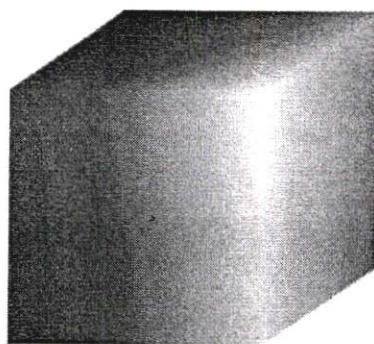
ถ้ากำหนด Pixel depth เท่ากับ 2 บิต จะสามารถสร้างสีที่แตกต่างกันได้ $2^2 = 4$ สี

ถ้ากำหนด Pixel depth เท่ากับ 4 บิต จะสามารถสร้างสีที่แตกต่างกันได้ $2^4 = 16$ สี

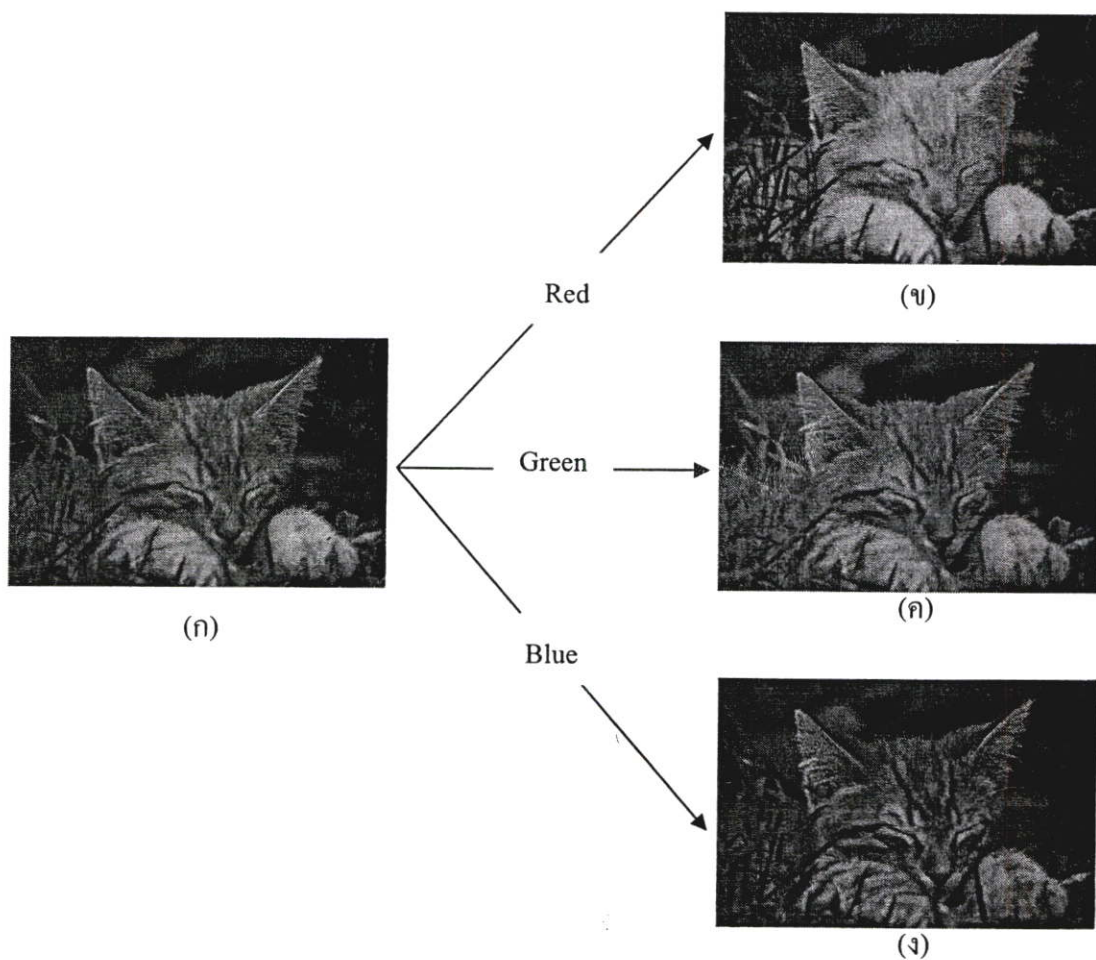
ถ้ากำหนด Pixel depth เท่ากับ 8 บิต จะสามารถสร้างสีที่แตกต่างกันได้ $2^8 = 256$ สี

ถ้ากำหนด Pixel depth เท่ากับ 16 บิต จะสามารถสร้างสีที่แตกต่างกันได้ $2^{16} = 65536$ สี

โดยทั่วไปภาพที่แทนด้วยแบบจำลองสี RGB นั้นนิยมใช้ภาพขนาด 24 บิต หรือที่เรียกว่า “ภาพสี 24 บิต (24-Bit Color Image)” โดยจะแทนค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินสีละ 8 บิต ดังนั้นจะสามารถใช้แทนสีของภาพได้ทั้งหมด $(2^8)^3 = 16,777,216$ สี หรือประมาณ 16.7 ล้านสี ซึ่งการผสมกันของแม่สีในรูปแบบลูกบาศก์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 และตัวอย่างภาพสีขนาด 24 บิตที่เกิดจากการผสมกันของสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีละ 8 บิตดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แบบจำลองสี RGB 24 บิต

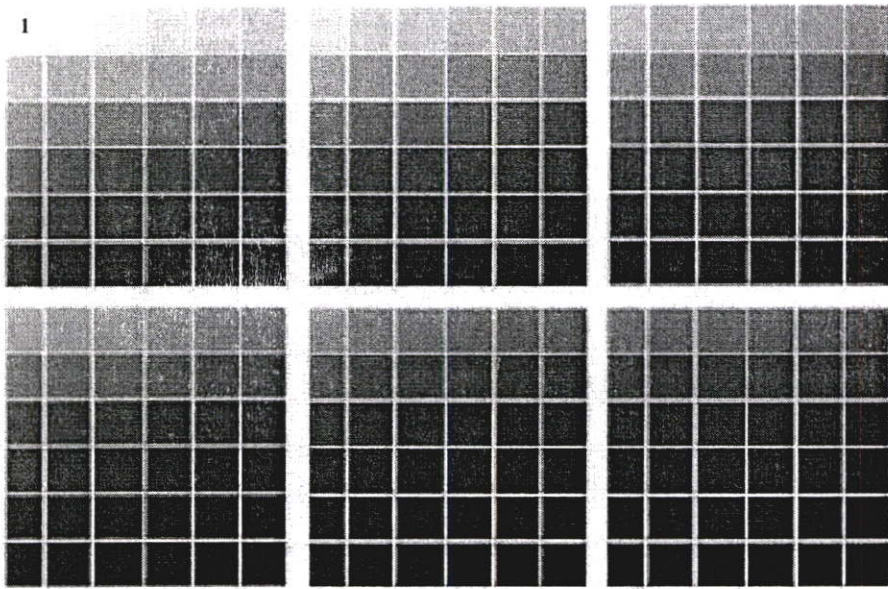


รูปที่ 3.10 ตัวอย่างภาพสีขนาด 24 บิต

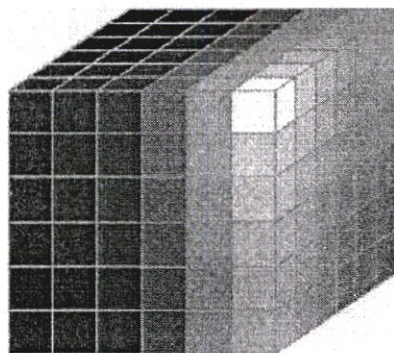
- (ก) ภาพสีในแบบจำลองสี RGB ขนาด 24 บิต
- (ข) ภาพที่เกิดจากสีแดงขนาด 8 บิต
- (ค) ภาพที่เกิดจากสีเขียวขนาด 8 บิต
- (ง) ภาพที่เกิดจากสีน้ำเงินขนาด 8 บิต

3.4.2 แบบจำลองสี 216 สี RGB

ในแบบจำลองสี RGB จะมีแบบจำลองสี 216 สีที่เป็นมาตรฐานสีที่นิยมใช้กันในอินเทอร์เน็ต โดยแต่ละสีได้มาจากค่าสี RGB คือ 0 51 102 153 204 หรือ 255 เท่านั้น ดังนั้นจึงมีสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด $6^3 = 216$ สี ดังรูปที่ 3.11 ประกอบไปด้วยอาร์เรย์ของสีจำนวน 6 ชุด ในแต่ละชุดจะมีอยู่ 36 สี เมื่อมองที่อาร์เรย์ชุดแรกซ้ายมือด้านบน สีเหลี่ยมซ้ายมือแถวบนสุด(หมายเลข 1)มีค่า RGB เป็น (255, 255, 255) คือ สีขาว สีเหลี่ยมถัดมาทางขวามือมีค่าเป็น (255, 255, 204) (255, 255, 153) (255, 255, 102) (255, 255, 51) และ (255, 255, 0) ตามลำดับ ซึ่งเป็นสีไล่เฉดมาตั้งแต่เหลืองอ่อนจนถึงเหลืองเข้ม ส่วนในแถวที่สองมีค่าสีเรียงจาก (255, 204, 255) (255, 204, 153) (255, 204, 102) (255, 204, 51) และ (255, 204, 0) ในอาร์เรย์ชุดที่สอง(ทางขวามือของชุดแรก)จะเริ่มต้นที่ค่าสี (204, 204, 204) และจะมีการเรียงในลักษณะนี้ทั้งหมดจนถึงแถวสุดท้ายของอาร์เรย์ขวามือด้านล่างเป็นสีดำมีค่าสีเป็น (0, 0, 0) และสามารถแสดงในรูปแบบลูกบาศก์ได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.11 แสดงแบบจำลองสี 216 สี RGB



รูปที่ 3.12 แสดงลูกบาศก์ของ Safe-Color 216

3.5 ฮิสโตแกรมสี (Color Histogram)

ภาพจะประกอบไปด้วยสีระดับต่างๆ มากมาย โดยฮิสโตแกรมสีจะใช้ในการอธิบายปริมาณสีที่ปรากฏในภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$h(r_k) = n_k \quad (3.2)$$

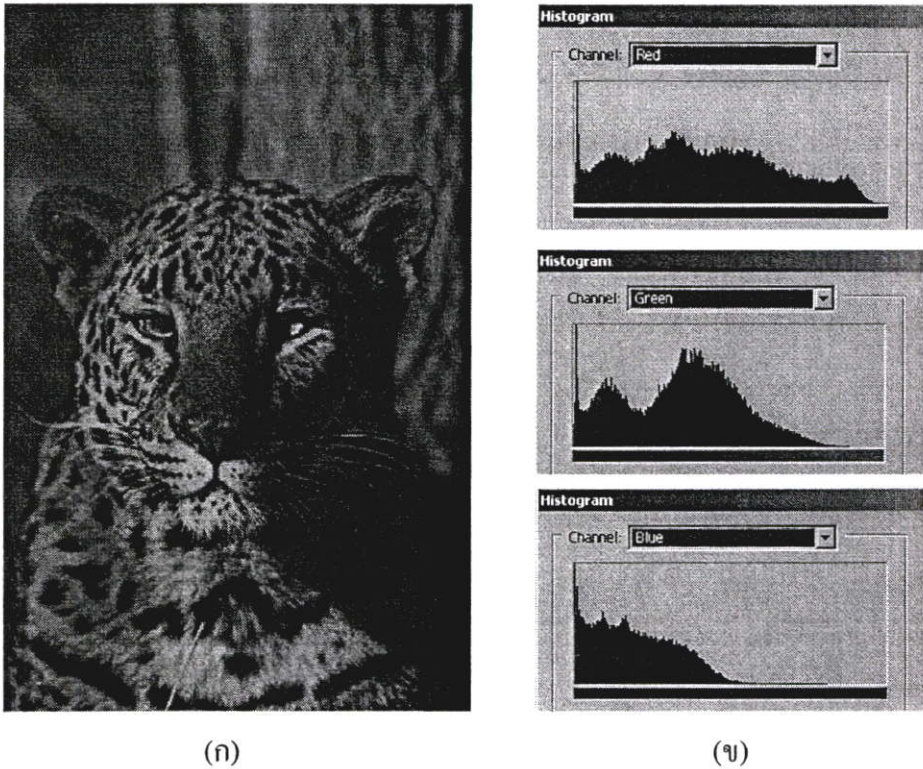
โดยที่ r_k เป็นระดับสีที่กำหนด และ n_k เป็นจำนวนของพิกเซลในภาพซึ่งมีระดับสีเป็น r_k การคำนวณค่าออร์มอลโลซ์ของฮิสโตแกรมเพื่อปรับค่าของฮิสโตแกรมให้อยู่ในช่วง $[0,1]$ ทำได้โดยการหาร $h(r_k)$ ด้วยจำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ n ดังสมการที่ (3.3)

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} \quad (3.3)$$

ฮิสโตแกรมสีจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการหมุน หรือ มุมมองที่เปลี่ยนไปของภาพ เนื่องจากการเปลี่ยนมุมมองจะไม่ส่งผลให้จำนวนพิกเซลรวมของแต่ละระดับสีเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้น ฮิสโตแกรมจึงเสมือนเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการอธิบายความน่าจะเป็นของสีที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งค่าของสีเดียวกันจะอยู่ในระดับของสีเดียวกัน การหาค่าฮิสโตแกรมสามารถทำได้โดยนับจำนวนพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ในระดับความเข้มแสงนั้นๆ สามารถทำได้ทั้งภาพระดับสีเทา และ ภาพสี โดยมีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

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

ฮิสโตแกรมสีสำหรับภาพที่ใช้แบบจำลองสี RGB จะประกอบด้วยฮิสโตแกรม 3 ฮิสโตแกรม คือ ฮิสโตแกรมสีแดง เขียว และน้ำเงิน ดังแสดงในรูปที่ 3.13



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.13 ฮิสโตแกรมของภาพสี

(ก) ภาพสีในแบบจำลองสี RGB

(ข) ฮิสโตแกรมของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

3.6 Moment Invariants

รูปร่างเป็นคุณลักษณะของภาพอีกอย่างหนึ่งที่ถูกใช้ค้นคืนภาพแบบเชิงเนื้อหา ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ตำแหน่ง หรือ ขนาดรูปทรงของวัตถุที่ปรากฏในภาพ เทคนิคในการจำแนกรูปทรงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือ การใช้พื้นฐานของขอบเขต (Boundary-Based) โดยใช้ขอบเขตทั้งหมดของวัตถุเพื่อหารูปทรงของวัตถุ และประเภทสองคือ การใช้พื้นฐานของบริเวณ (Region-Based) ซึ่งใช้พื้นที่บริเวณของวัตถุเพื่อหารูปทรงของวัตถุ กรรมวิธีที่นิยมใช้ของแต่ละประเภทคือ Fourier Descriptor และ Moment Invariants สำหรับ Fourier Descriptor จะเป็นการใช้ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม เพื่อหาขอบเขตของวัตถุให้อยู่ในลักษณะของรูปร่าง สำหรับ Moment Invariants จะเป็นการใช้ Region-Based Geometric Moment ซึ่ง Hu[6] ได้กำหนด Central Moment ไว้ 7 ค่าที่ใช้แสดงคุณลักษณะของรูปทรง ที่ซึ่งคงทนต่อการย่อขยาย การเปลี่ยนมุมมองของภาพ

โมเมนต์ในงานรูปภาพดิจิทัล คือค่าทางสถิติที่พิจารณาโดยการมองภาพใดๆ ที่อยู่ในรูปเฉดสีเทา (Gray tone) ให้อยู่ในรูป Probability Density Function โดยในความหมายของรูปภาพดิจิทัล $F(x, y)$ ที่มีขนาด $N \times M$ นั้นจะหาค่าโมเมนต์ m_{pq} ที่ออร์เดอร์ $p + q$ จำนวนได้จากสมการที่ (3.4)

$$m_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^p y^q F(x, y) \quad (3.4)$$

เมื่อ $p, q = 0, 1, 2, \dots$ สามารถหา Central Moment ได้โดยสมการที่ (3.5)

$$\mu_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q F(x, y) \quad (3.5)$$

โดย

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \text{ และ } (x_c, y_c) \text{ เป็นศูนย์กลางพื้นที่ หรือ ศูนย์กลางวัตถุ}$$

ดังนั้นค่า Central Moment ของออเดอร์ 0 – 3 มีค่าดังสมการที่ (3.6) – (3.15)

$$\mu_{0,0} = m_{0,0} \quad (3.6)$$

$$\mu_{1,0} = 0 \quad (3.7)$$

$$\mu_{0,1} = 0 \quad (3.8)$$

$$\mu_{2,0} = m_{2,0} - x_c m_{1,0} \quad (3.9)$$

$$\mu_{0,2} = m_{0,2} - y_c m_{0,1} \quad (3.10)$$

$$\mu_{1,1} = m_{1,1} - y_c m_{1,0} \quad (3.11)$$

$$\mu_{3,0} = m_{3,0} - 3x_c m_{2,0} + 2m_{1,0} x_c^2 \quad (3.12)$$

$$\mu_{1,2} = m_{1,2} - 2y_c m_{1,1} + x_c m_{0,2} + 2y_c^2 m_{1,0} \quad (3.13)$$

$$\mu_{2,1} = m_{2,1} - 2x_c m_{1,1} - y_c m_{2,0} + 2x_c^2 m_{0,1} \quad (3.14)$$

$$\mu_{0,3} = m_{0,3} - 3y_c m_{0,2} + 2y_c^2 m_{0,1} \quad (3.15)$$

ค่า Normalized Central Moment แทนด้วย $\eta_{p,q}$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (3.16)

$$\eta_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{\mu_{0,0}^\gamma} \quad (3.16)$$

เมื่อ

$$\gamma = \frac{p+q+2}{2} \quad (3.17)$$

สำหรับ $p+q=2,3$ เป็นค่า Moment Invariants 7 ค่าที่สามารถหาได้จาก 2^{nd} order moment และ 3^{rd} order moment มีค่าดังสมการที่ (3.18) – (3.24)

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (3.18)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (3.19)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (3.20)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (3.21)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + (3\eta_{21} - \eta_{03})(3\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (3.22)$$

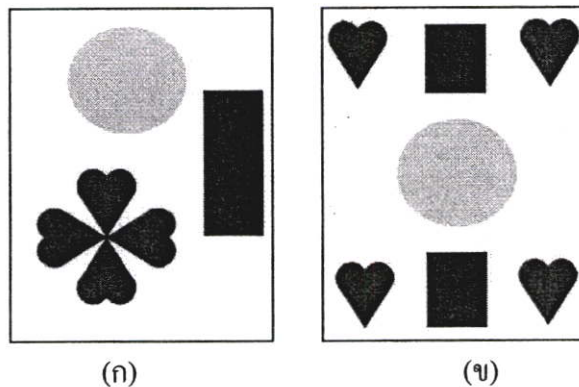
$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (3.23)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (3.24)$$

3.6.1 การประยุกต์ใช้ Moment Invariants กับภาพ

งานวิจัยนี้ได้นำ Moment Invariants มาทำการประยุกต์ใช้กับภาพ โดยจะทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของแต่ละสีที่ปรากฏภายในภาพ เพื่อนำค่า Moment Invariants ที่คำนวณได้มาทำการพิจารณาหาค่าความแตกต่างกันของภาพที่มีลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของแต่ละกลุ่มสีที่แตกต่างกันมาน้อยเพียงใด

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ค่า Moment Invariants กับการพิจารณาลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีที่ปรากฏภายในภาพที่แตกต่างกัน โดยภาพแต่ละภาพจะประกอบได้ด้วย บินที่ 13 (สีเขียว) บินที่ 181(สีแดง) บินที่ 211(สีเหลือง) และ บินที่ 216 (สีขาว)



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างของภาพที่มีลักษณะการกระจายตัวของสีที่แตกต่างกัน

(ก) ภาพตัวอย่างที่ 1

(ข) ภาพตัวอย่างที่ 2

วิธีการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของภาพ

1. ทำการคำนวณหาค่าโมเมนต์ m_{pq} ที่ออร์เดอร์ $p+q$ โดยค่า $p, q = 0, 1, 2$ จากสมการที่(3.4)

$$m_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^p y^q F(x, y)$$

เมื่อ $p = 0$ และ $q = 0$ จะได้โมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 0 ดังต่อไปนี้

$$m_{00} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^0 y^0 F(x, y)$$

$$m_{00} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} F(x, y)$$

ดังนั้น m_{00} (โมเมนต์ออร์เดอร์ศูนย์) จะเป็นค่าของผลรวมค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ภายในภาพ แต่ในงานวิจัยนี้ที่ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ ที่ปรากฏสีที่กำลังพิจารณาจะให้มิตค่าเท่ากับ 1 ที่ตำแหน่งนั้น ดังนั้น m_{00} จึงเป็นค่าของผลรวมของจำนวนพิกเซลใดๆ ที่ปรากฏสีที่กำลังพิจารณา

เมื่อ $p = 0$ และ $q = 1$ จะได้โมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 1 เมื่อ $q = 1$ ดังต่อไปนี้

$$m_{01} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^0 y^1 F(x, y)$$

$$m_{01} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} y \times F(x, y)$$

เมื่อ $p = 1$ และ $q = 0$ จะได้โมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 1 เมื่อ $p = 1$ ดังต่อไปนี้

$$m_{10} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^1 y^0 F(x, y)$$

$$m_{10} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x \times F(x, y)$$

เมื่อ $p = 1$ และ $q = 1$ จะได้โมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 2 เมื่อ $p, q = 1$ ดังต่อไปนี้

$$m_{11} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^1 y^1 F(x, y)$$

$$m_{11} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x \times y \times F(x, y)$$

เมื่อ $p = 2$ และ $q = 0$ จะได้โมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 2 เมื่อ $p = 2, q = 0$ ดังต่อไปนี้

$$m_{20} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^2 y^0 F(x, y)$$

$$m_{20} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^2 \times F(x, y)$$

เมื่อ $p = 0$ และ $q = 2$ จะได้โมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 2 เมื่อ $p = 0, q = 2$ ดังต่อไปนี้

$$m_{02} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^0 y^2 F(x, y)$$

$$m_{02} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} y^2 \times F(x, y)$$

สำหรับการคำนวณหาค่าโมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 3 จะทำในลักษณะเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอน ดังนั้นจะได้ค่าโมเมนต์ที่ออร์เดอร์ 0 – 3 ของภาพที่ 1 และ 2 ดังตารางที่ 3.1- 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าโมเมนต์ออร์เดอร์ที่ 0-3 ของภาพที่ 1

ค่าสี	m_{00}	m_{10}	m_{01}	m_{11}	m_{20}	m_{02}	m_{30}	m_{03}	m_{12}	m_{21}
13 (สีเขียว)	13132	3.57 E+06	2.50 E+06	6.80 E+08	9.77 E+08	5.12 E+08	2.69 E+11	1.11 E+11	1.39 E+11	1.86 E+11
181 (สีแดง)	13383	1.56 E+06	3.77 E+06	4.40 E+08	2.04 E+08	1.09 E+09	2.90 E+10	3.18 E+11	1.27 E+11	5.76 E+10
211 (สีเหลือง)	14595	2.08 E+06	1.28 E+06	1.82 E+08	3.15 E+08	1.28 E+08	5.02 E+10	1.39 E+10	1.82 E+10	2.77 E+10
216 (สีขา)	84587	1.29 E+07	1.82 E+07	2.83 E+09	2.81 E+09	5.34 E+09	6.84 E+11	1.74 E+12	8.51 E+11	6.14 E+11

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าโมเมนต์อันดับที่ 0-3 ของภาพที่ 2

ค่าสี	m_{00}	m_{10}	m_{01}	m_{11}	m_{20}	m_{02}	m_{30}	m_{03}	m_{12}	m_{21}
13 (สีเขียว)	12950	2.09 E+06	2.75 E+06	4.45 E+08	3.44 E+08	8.57 E+08	5.74 E+10	2.95 E+11	1.39 E+11	7.32 E+10
181 (สีแดง)	12709	2.03 E+06	2.48 E+06	3.97 E+08	4.90 E+08	7.66 E+08	1.31 E+11	2.60 E+11	1.23 E+11	9.47 E+10
211 (สีเหลือง)	14407	2.34 E+06	2.93 E+06	4.77 E+08	3.99 E+08	6.12 E+08	7.07 E+10	1.31 E+11	9.96 E+10	8.12 E+10
216 (สีขา)	84465	1.34 E+07	1.75 E+07	2.77 E+09	2.98 E+09	4.77 E+09	7.46 E+11	1.47 E+12	7.55 E+11	6.18 E+11

2. ทำการคำนวณหาค่าของจุดศูนย์กลางมวล (Central Moment) ของแต่ละกลุ่มสีที่ปรากฏภายในภาพ จากสมการที่ (3.5)

$$\mu_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q F(x, y)$$

เมื่อ $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$

จะได้ค่า Central Moment ที่อันดับต่างๆ (μ_{pq}) ได้ต่อไปนี้

เมื่อ $p = 0$ และ $q = 0$ จะได้ Central Moment ที่อันดับ 0 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \mu_{00} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^0 F(x, y) \\ \mu_{00} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} F(x, y) = m_{00} \end{aligned}$$

เมื่อ $p = 0$ และ $q = 1$ จะได้ Central Moment ที่อันดับ 1 ดังต่อไปนี้

$$\mu_{01} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^1 F(x, y)$$

$$\begin{aligned}\mu_{01} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (y - \bar{y}) \times F(x, y) \\ \mu_{01} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (y \times F(x, y) - \bar{y} \times F(x, y)) \\ \mu_{01} &= m_{01} - \frac{m_{01}}{m_{00}} (m_{00}) \\ \mu_{01} &= 0\end{aligned}$$

เมื่อ $p = 1$ และ $q = 0$ จะได้ Central Moment ที่ออร์เดอร์ 1 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\mu_{10} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^0 F(x, y) \\ \mu_{10} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x}) \times F(x, y) \\ \mu_{10} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x \times F(x, y) - \bar{x} \times F(x, y)) \\ \mu_{10} &= m_{10} - \frac{m_{10}}{m_{00}} (m_{00}) \\ \mu_{10} &= 0\end{aligned}$$

เมื่อ $p = 1$ และ $q = 1$ จะได้ Central Moment ที่ออร์เดอร์ 2 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\mu_{11} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^1 (y - \bar{y})^1 F(x, y) \\ \mu_{11} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (xy - x\bar{y} - \bar{x}y + \bar{x}\bar{y}) F(x, y) \\ \mu_{11} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (xyF(x, y) - xF(x, y)\bar{y} - yF(x, y)\bar{x} + \bar{x}\bar{y}F(x, y)) \\ \mu_{11} &= m_{11} - m_{10} \left(\frac{m_{01}}{m_{00}} \right) - m_{01} \left(\frac{m_{10}}{m_{00}} \right) + \left(\frac{m_{10}}{m_{00}} \right) \left(\frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \\ \mu_{11} &= m_{11} - 2 \left(\frac{m_{10} m_{01}}{m_{00}} \right) + \left(\frac{m_{10} m_{01}}{m_{00}} \right) \\ \mu_{11} &= m_{11} - \frac{m_{10} m_{01}}{m_{00}} \\ \mu_{11} &= m_{11} - \bar{x} m_{01} = m_{11} - \bar{y} m_{10}\end{aligned}$$

เมื่อ $p = 0$ และ $q = 2$ จะได้ Central Moment ที่ออร์เดอร์ 2 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\mu_{02} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^0 (y - \bar{y})^2 F(x, y) \\ \mu_{02} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (y^2 - 2y\bar{y} + \bar{y}^2) F(x, y) \\ \mu_{02} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (y^2 F(x, y) - 2yF(x, y)\bar{y} + \bar{y}^2 F(x, y)) \\ \mu_{02} &= m_{02} - 2m_{01} \left(\frac{m_{01}}{m_{00}} \right) + \frac{m_{01}^2}{m_{00}} \\ \mu_{02} &= m_{02} - 2 \frac{m_{01}^2}{m_{00}} + \frac{m_{01}^2}{m_{00}} \\ \mu_{02} &= m_{02} - \frac{m_{01}^2}{m_{00}} \\ \mu_{02} &= m_{02} - \bar{y} \frac{m_{01}}{m_{00}}\end{aligned}$$

เมื่อ $p = 2$ และ $q = 0$ จะได้ Central Moment ที่ออร์เดอร์ 2 ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\mu_{20} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^2 (y - \bar{y})^0 F(x, y) \\ \mu_{20} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x^2 - 2x\bar{x} + \bar{x}^2) F(x, y) \\ \mu_{20} &= \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x^2 F(x, y) - 2xF(x, y)\bar{x} + \bar{x}^2 F(x, y)) \\ \mu_{20} &= m_{20} - 2m_{10} \left(\frac{m_{10}}{m_{00}} \right) + \frac{m_{10}^2}{m_{00}} \\ \mu_{20} &= m_{20} - 2 \frac{m_{10}^2}{m_{00}} + \frac{m_{10}^2}{m_{00}} \\ \mu_{20} &= m_{20} - \frac{m_{10}^2}{m_{00}} \\ \mu_{20} &= m_{20} - \bar{x} \frac{m_{10}}{m_{00}}\end{aligned}$$

สำหรับการคำนวณหาค่า Central Moment ที่ออร์เดอร์ 3 จะทำในลักษณะเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอน ดังนั้นจะได้ค่า Central Moment ที่ออร์เดอร์ 0 – 3 ของภาพที่ 1 และ 2 ดังตารางที่ 3.3 -3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า Central Moment ออร์เดอร์ที่ 0-3 ของภาพที่ 1

ค่าสี	μ_{00}	μ_{10}	μ_{01}	μ_{11}	μ_{20}	μ_{02}	μ_{30}	μ_{03}	μ_{21}	μ_{12}
13 (สีเขียว)	13132	0	0	-3.66 E-05	0.033772	0.20536	2.50 E-07	-7.93 E-07	-3.61 E-07	-1.88 E-05
181 (สีแดง)	13383	0	0	-0.00010	0.12338	0.12311	0.000122	7.39 E-05	-0.00013	-9.64 E-05
211 (สีเหลือง)	14595	0	0	-2.67 E-06	0.086829	0.072935	-5.08 E-06	1.72 E-05	-1.98 E-05	3.94 E-06
216 (สีขาว)	84587	0	0	0.00698	0.11625	0.19795	0.000590	-1.03 E-02	-0.00298	6.38 E-03

ตารางที่ 3.4 แสดงค่า Central Moment ออร์เดอร์ที่ 0-3 ของภาพที่ 2

ค่าสี	μ_{00}	μ_{10}	μ_{01}	μ_{11}	μ_{20}	μ_{02}	μ_{30}	μ_{03}	μ_{21}	μ_{12}
13 (สีเขียว)	12950	0	0	0.0054	0.03408	1.6359	-1.10 E-06	-0.1651	5.81 E-05	-0.0005
181 (สีแดง)	12709	0	0	0.0059	1.0283	1.756	0.0030	-0.0027	-0.0654	-0.0063
211 (สีเหลือง)	14407	0	0	-2.10 E-05	0.0871	0.07267	1.06 E-05	6.46 E-06	-8.09 E-06	-8.76 E-06
216 (สีขาว)	84465	0	0	-0.0002	0.1203	0.1618	0.0010	0.00213	0.0012	0.00023

ดังนั้นสามารถทำการคำนวณหา ค่า Normalized Central Moment (η_{pq}) ได้จากอัตราส่วนของค่า Central Moments ต่อค่า 0^{th} order moment จากสมการที่ (3.16) - (3.17)

3. ทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของแต่ละภาพ จากสมการที่ (3.18) – (3.24) และนำค่าที่คำนวณได้มาทำการ Take Log พร้อมกับทำการ Take Absolute เพื่อลดช่วงของข้อมูลและหลีกเลี่ยงค่าที่ติดลบของ Complex Number ดังนั้นจะได้ค่าของ Moment Invariants ของภาพที่ 1 และ 2 ดังตารางที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 แสดงค่า Moment Invariants ของสีที่ปรากฏภายในภาพที่ 1

ค่าสี	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
13 (สีเขียว)	1.4308	3.5254	19.561	21.79	42.6	23.769	44.122
181 (สีแดง)	1.4004	15.941	14.791	19.463	36.944	31.978	37.107
211 (สีเหลือง)	1.8341	8.5526	18.906	25.524	48.46	30.338	48.014
216 (สีขาว)	1.1577	4.9806	7.9686	8.4007	16.586	11.758	19.65

ตารางที่ 3.6 แสดงค่า Moment Invariants ของสีที่ปรากฏภายในภาพที่ 2

ค่าสี	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
13 (สีเขียว)	0.5128	0.94229	3.5997	3.6027	7.2039	3.1315	17.279
181 (สีแดง)	1.024	0.63554	3.2693	5.3685	10.216	5.6894	11.498
211 (สีเหลือง)	1.8337	8.471	19.886	25.81	50.786	31.991	48.666
216 (สีขาว)	1.2653	6.3665	12.811	11.244	23.92	14.719	23.747

จากตารางที่ 3.5 และ 3.6 จะเห็นได้ว่าค่า Moment Invariants ค่าสีที่ 13 (สีเขียว) ค่าสีที่ 181 (สีแดง) และค่าสีที่ 216 (สีขาว) ของภาพที่ 1 และ 2 จะมีค่าของ $\phi_1 - \phi_4$ ที่แตกต่างกัน ก็เนื่องมาจาก ลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีเขียว สีแดง และ สีขาว ของทั้งสองภาพมีลักษณะการเกาะกลุ่ม และการกระจายตัวของสีที่แตกต่างกัน เช่น สีแดงที่ปรากฏในภาพที่ 1 จะปรากฏกลุ่มสีในลักษณะเกาะกลุ่มกันจึงทำให้ได้ค่า $\phi_1 = 1.4004$ $\phi_2 = 15.941$ $\phi_3 = 14.791$ และ $\phi_4 = 19.463$ ส่วนสีแดงที่ปรากฏในภาพที่ 2 จะปรากฏในลักษณะเกิดการกระจายตัวของกลุ่มสีแดงที่ปรากฏภายในภาพ ซึ่งจะได้ค่า $\phi_1 = 1.024$ $\phi_2 = 0.63554$ $\phi_3 = 3.2693$ และ $\phi_4 = 5.3685$ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าของ $\phi_1 - \phi_4$ ของสีแดงที่ปรากฏในภาพที่ 1 และ 2 มีค่าที่แตกต่างกันนั่นคือ ค่าของ ϕ_1 และ ϕ_2 เป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีว่าเกาะกลุ่มกันในระดับที่มาก ปานกลาง หรือน้อย ซึ่งถ้าสีเกิดการเกาะกลุ่มกันก็จะมีค่าของ ϕ_1 ϕ_2 ค่อนข้างสูง ในขณะที่ ϕ_3 ϕ_4 เป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะการกระจายตัวของสี นั่นคือถ้าสีมีลักษณะกระจายตัว ค่าของ ϕ_3 ϕ_4 จะมีค่าที่ต่ำ สำหรับค่า Moment Invariants

ของค่าสีที่ 211 (สีเหลือง) นั้น จะเห็นได้ว่าค่าที่คำนวณได้ทั้งสองภาพจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากภาพทั้งสองภาพมีลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีเหลืองที่ปรากฏในภาพที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นจากตัวอย่างนี้จึงสามารถนำค่า Moment Invariants มาทำการวัดค่าความแตกต่างของลักษณะการเกาะกลุ่ม และการกระจายตัวของสีที่ปรากฏในภาพที่แตกต่างหรือคล้ายคลึงกันได้ และสามารถดูรายละเอียดในการใช้ค่า Moment Invariants ในการอธิบายลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสี หรือการกระจายตัวของสีได้ในภาคผนวก ก.

3.7 การเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพ

3.7.1 ค่าความเหมือน (Similarity) และ ค่าความไม่เหมือน (Dissimilarity)

จากรูปภาพที่ 3.15 มีรูปภาพดาวอยู่ทั้งหมด 4 ภาพ เรามักได้ว่าภาพ a เหมือนกับ ภาพ c โดยภาพ a, b และ c เป็นภาพดาวที่มีขนาดเท่าๆ กัน 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 3.15 ตัวอย่างภาพดาว

ส่วนค่าระยะทาง (Distance) นั้นใช้สำหรับวัดค่าความไม่เหมือน (Dissimilarity) [10] ซึ่งค่าความไม่เหมือนจะเป็นการวัดความแตกต่างกันระหว่างสองสิ่งที่ควรจะเหมือนกัน (Discrepancy) โดยอาศัยคุณลักษณะของสิ่งนั้น นอกจากนี้ค่าความไม่เหมือนยังสามารถใช้เพื่อวัดความผิดปกติระหว่างวัตถุสองวัตถุ หรือภาพสองภาพได้อีกด้วย สำหรับวิธีวัดค่าความเหมือนและค่าความต่างนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีลักษณะเฉพาะของแต่ละวิธี ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Euclidean distance เท่านั้น

3.7.2 Euclidean Distances

Euclidean distance เป็นค่าความต่างที่นิยมใช้กันมาก โดยทั่วไปเมื่อพูดถึงค่าความต่างคนส่วนใหญ่มักจะอ้างถึง Euclidean distance โดย Euclidean distance เป็นการพิจารณารากของผลต่างกำลังสองระหว่างพิกัดของวัตถุสองวัตถุ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (3.25)

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3.25)$$

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

3.8 การวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืน

การวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนมีอยู่หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมใช้ คือ การวัดความแม่นยำ และการเรียกคืน (Precision and Recall)[11] การเรียกคืน คืออัตราส่วนของการค้นพบเอกสารที่ต้องการจากจำนวนเอกสารที่ต้องการทั้งหมด และความแม่นยำคืออัตราส่วนของการค้นพบเอกสารที่ต้องการจากจำนวนเอกสารทั้งหมดที่ทำการค้นคืน ดังนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังสมการที่ (3.26) – (3.27) และสามารถแสดงในรูปแบบของแผนภาพได้ดังรูปที่ 3.16-3.19

$$Recall = \frac{|R_a|}{|R|} \quad (3.26)$$

$$Precision = \frac{|R_a|}{|A|} \quad (3.27)$$

เมื่อ

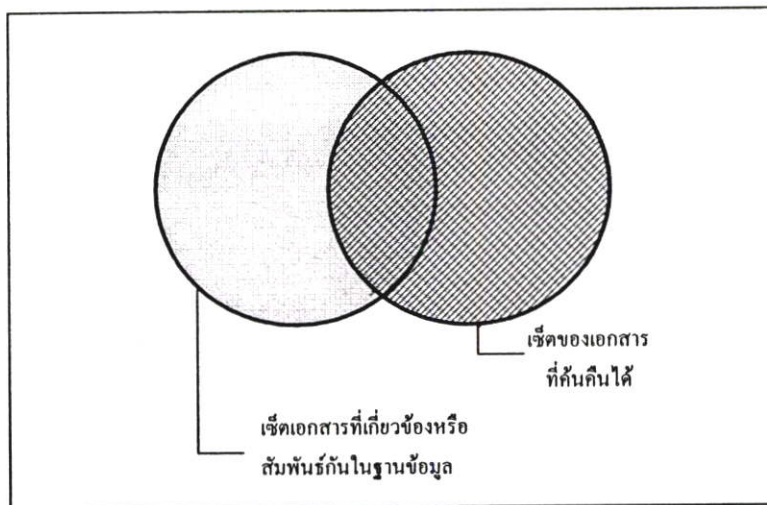
R คือเซตของเอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือ สัมพันธ์กันทั้งหมดในฐานข้อมูล (Relevant documents)

A คือเซตของเอกสารผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืน (Answer Set)

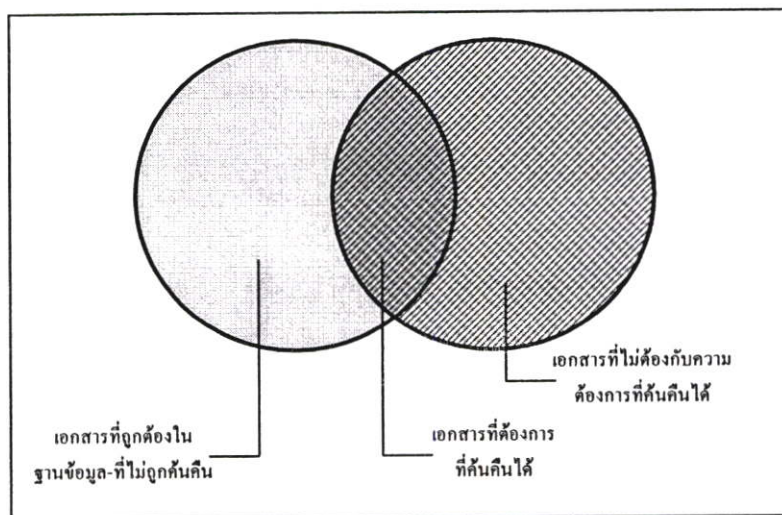
$|R|$ คือ จำนวนเอกสารในเซต R

$|A|$ คือ จำนวนเอกสารทั้งหมดในเซต A

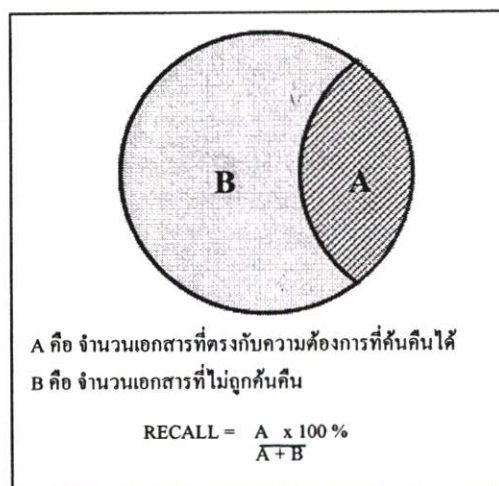
$|R_a|$ คือจำนวนเอกสารที่อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ระหว่างเซต R และเซต A



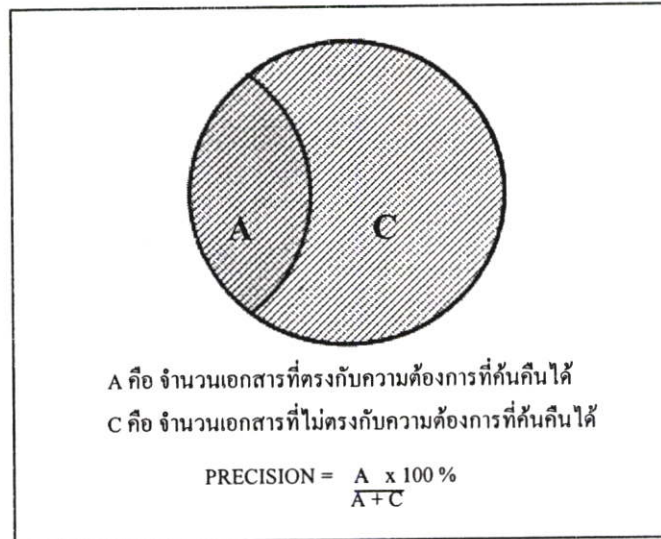
รูปที่ 3.16 แสดงแผนภาพของเซตเอกสาร



รูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพการค้นคืนเอกสาร



รูปที่ 3.18 แสดงแผนภาพของการเรียกคืน



รูปที่ 3.19 แสดงแผนภาพของความแม่นยำ

ตัวอย่างที่ 3.2 การคำนวณค่าการเรียกคืน และ ความแม่นยำ โดยทำการค้นคืนจาก Query q และสมมติให้เซต R_q ประกอบด้วยเอกสารที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับ q ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$R_q = \{d_3, d_5, d_9, d_{25}, d_{39}, d_{44}, d_{56}, d_{71}, d_{89}, d_{123}\}$$

จากนั้นสมมติว่าใช้อัลกอริทึมในการค้นคืน ที่สามารถทำการค้นคืนโดยใช้ Query q และได้ผลลัพธ์ที่มีอันดับของเอกสารดังต่อไปนี้

- | | | |
|----------------|----------------|---------------|
| 1. d_{123} • | 6. d_9 • | 11. d_{38} |
| 2. d_{84} | 7. d_{511} | 12. d_{48} |
| 3. d_{56} • | 8. d_{129} | 13. d_{250} |
| 4. d_6 | 9. d_{187} | 14. d_{113} |
| 5. d_8 | 10. d_{25} • | 15. d_3 • |

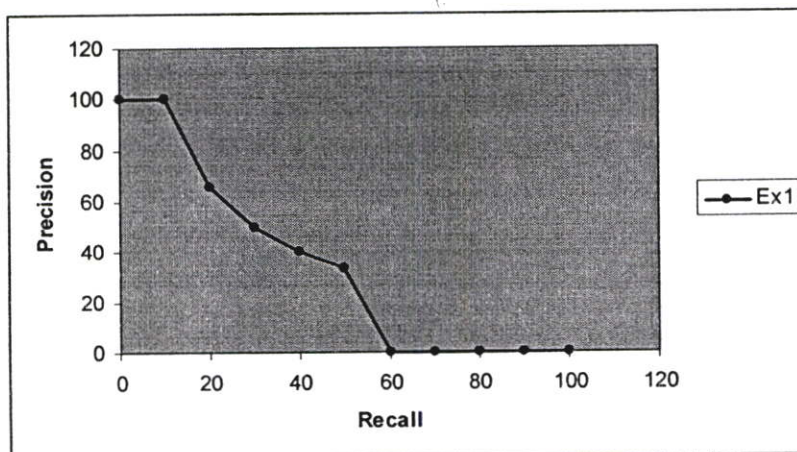
เอกสารที่เกี่ยวข้อง หรือ สัมพันธ์กับ Query q จะมีเครื่องหมาย จุด “•” กำกับ

ถ้าพิจารณาจากอันดับ เริ่มจากเอกสารแรกสุด จะเห็นว่าเอกสาร d_{123} จะมีความเกี่ยวข้องเป็นอันดับที่ 1 และนับเป็น 10% ของเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในเซต R_q ดังนั้น เราจะสามารถบอกได้ว่า เรามีค่า Precision = 100% ที่ Recall = 10% ต่อมาเราพิจารณาเอกสาร d_{56} ที่เป็นเอกสารที่เกี่ยวข้องในอันดับ 3 ของการค้นคืน และ ณ จุดนี้ เราสามารถบอกได้ว่า ค่า precision = 66% (มี 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง จากเอกสารที่ค้นคืนมาได้ 3 เอกสาร) ที่ Recall = 20% (มี 2 เอกสารจากเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 10 เอกสาร) ต่อจากนั้นให้เราพิจารณาเอกสารอันดับต่อไปเรื่อยๆ ดังตารางที่ 3.1 และสามารถสร้างกราฟ Precision กับ Recall ได้ดังรูปที่ 3.19 ที่จะเห็นได้ว่า ค่าที่ตำแหน่ง Recall มากกว่า 50 นั้น ค่า Precision จะตกเหลือ 0 นั้นเป็นเพราะว่าไม่มีเอกสารที่เกี่ยวข้อง

หลงเหลืออีกแล้วในการค้นคืนนั้น และที่ตำแหน่ง Recall = 0% เราจะได้ค่า Precision จากการ Interpolate ค่าในช่วงข้างเคียง

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างการคำนวณ Recall และ Precision

ลำดับเอกสาร	Recall	Precision
1	$\frac{1}{10} \times 100 = 10\%$	$\frac{1}{1} \times 100 = 100\%$
2	$\frac{2}{10} \times 100 = 20\%$	$\frac{2}{3} \times 100 = 66\%$
3	$\frac{3}{10} \times 100 = 30\%$	$\frac{3}{6} \times 100 = 50\%$
4	$\frac{4}{10} \times 100 = 40\%$	$\frac{4}{10} \times 100 = 40\%$
5	$\frac{5}{10} \times 100 = 50\%$	$\frac{5}{15} \times 100 = 33.34\%$
6	0%	0%
7	0%	0%
8	0%	0%
9	0%	0%
10	0%	0%
11	0%	0%
12	0%	0%
13	0%	0%
14	0%	0%
15	0%	0%



รูปที่ 3.20 กราฟ Precision และ Recall

จากตัวอย่างที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า Recall เป็นค่าที่แสดงถึงการเรียกคืนที่สามารถครอบคลุมสิ่งที่ถูกต้องได้ร้อยละเท่าไรจากสิ่งที่ถูกต้อง 100 % และ Precision เป็นค่าที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การคืนคืนที่สามารถคืนคืนได้ถูกต้องตามความต้องการร้อยละเท่าไรจากสิ่งที่คืนคืนมาทั้งหมด โดย Recall และ Precision มักมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน นั่นคือ เมื่อ Recall มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า Precision จะลดลง เมื่อค่า Recall ลดลงค่า Precision จะเพิ่มขึ้น

กล่าวคือถ้าค่า Recall มีเปอร์เซ็นต์ต่ำแสดงว่าเราต้องการเอกสารที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับ Query q ที่ปรากฏใน Answer set จำนวนน้อย ดังนั้นโอกาสที่จะเจอเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ Query q จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเจอ จึงส่งผลทำให้ค่า Precision มีเปอร์เซ็นต์สูงด้วย และถ้าค่า Recall มีเปอร์เซ็นต์สูง แสดงว่าเราต้องการเอกสารที่เกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับ query q ที่ปรากฏใน Answer set จำนวนมากดังนั้นจะทำให้โอกาสที่จะเจอเอกสารที่เกี่ยวข้องใน Answer set ต่ำส่งผลให้ค่า Precision มีเปอร์เซ็นต์ต่ำด้วย นั่นคือในการคืนคืนเราไม่สามารถระบุ หรือเจาะจงเอกสารได้อย่างครบถ้วน ทำให้ยิ่งค้นหาที่จะยิ่งได้ทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้อง และไม่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ดังนั้นถ้าต้องการเอกสารที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมากก็จะยิ่งทำให้ค่าความแม่นยำต่ำลง

การพิจารณาค่า Recall ร่วมกับ Precision พร้อมๆ ด้วยกราฟจะบ่งชี้ได้ว่าอัลกอริทึมที่ใช้ในการคืนคืนนั้นมีประสิทธิภาพดีหรือไม่ เพราะบ้างอัลกอริทึมจะให้ผลการคืนคืนดีในลำดับการคืนคืนลำดับต้นๆ เท่านั้น หรือ บ้างอัลกอริทึมจะให้ผลการคืนคืนดีที่ลำดับการคืนคืนท้ายๆ และบ้างอัลกอริทึมจะได้ผลการคืนคืนที่ต้องการอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการพิจารณาค่า Recall ร่วมกับ Precision จึงเป็นการพิจารณาหรือวิเคราะห์แนวโน้มของผลการคืนคืนของแต่ละอัลกอริทึม ซึ่งการคำนวณค่า Recall และ Precision เมื่อทำการคืนคืนจำนวนหลายๆ ครั้งจะต้องมีการการหาค่า Precision เฉลี่ยจากผลการทดลองคืนคืนทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.28)

$$\bar{P}(r) = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q P_q(r) \quad (3.28)$$

โดยที่

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

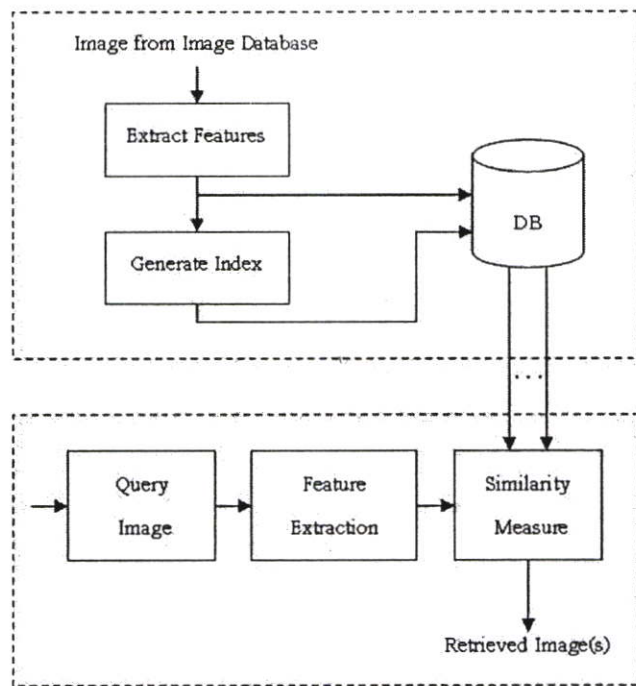
$P_q(r)$ คือ ค่า Precision ของ query q ที่ระดับ Recall r

Q คือ จำนวนของคำถามทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

บทที่ 4

งานวิจัยที่นำเสนอสำหรับการสร้างคำจำกัดความ และการค้นคืนภาพ

กระบวนการค้นคืนภาพของระบบ CBIR นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 โดยแบ่งออกได้ 2 ส่วนดังต่อไปนี้ ส่วนแรกจะเป็นส่วนของการสร้างคำจำกัดความ ซึ่งจะทำการสร้างคำจำกัดความของภาพทั้งหมดเก็บไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้าเพื่อที่จะนำมาใช้ในการค้นคืน และส่วนที่สองคือส่วนของการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูล โดยในการค้นคืนจะเริ่มจากการกำหนดภาพที่เป็นภาพคำถามให้กับระบบ จากนั้นระบบจะทำการคำนวณหาคำจำกัดความของภาพคำถาม เพื่อนำคำจำกัดความของภาพคำถามนั้นมาเปรียบเทียบกับความเกี่ยวข้อง หรือความสัมพันธ์ของภาพคำถามกับภาพจากฐานข้อมูล และสุดท้ายจะแสดงผลของการค้นคืนด้วยการจัดเรียงภาพที่ใกล้เคียงที่สุดจากภาพในฐานข้อมูล ดังนั้นในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการสร้างคำจำกัดความแบบในรูปแบบของฮิสโตแกรมสี การหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน (CCR) และ Moment Invariants รวมถึงขั้นตอนการค้นคืนภาพของแต่ละรูปแบบของคำจำกัดความของสี



รูปที่ 4.1 โครงสร้างของระบบการค้นคืนภาพแบบเชิงเนื้อหา

4.1 การสร้างค่าจำกัดความสี

4.1.1 การสร้างค่าจำกัดความสีในรูปแบบฮิสโตแกรม

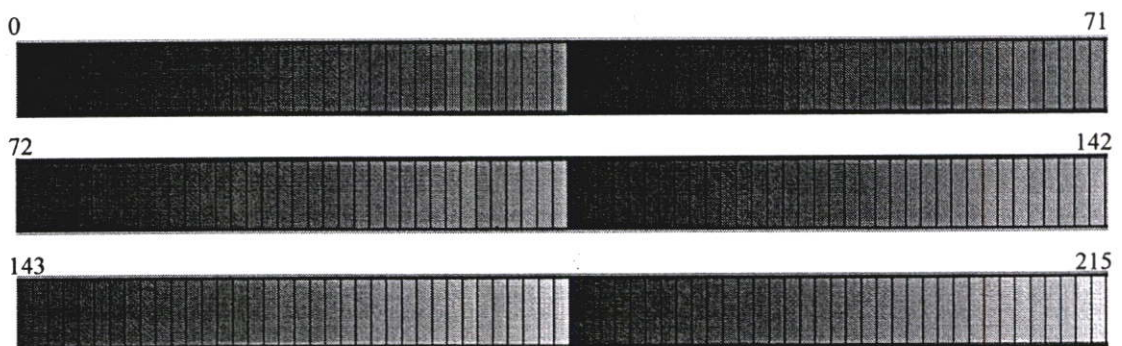
การสร้างค่าจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรมจะเป็นการสร้างฮิสโตแกรมขนาด 216-bins ในแบบจำลองสี RGB เพื่อใช้เป็นตัวอธิบายจำนวนพิกเซลของสีต่างๆ ที่ปรากฏภายในภาพ โดยจะทำการแบ่งช่วงของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินออกเป็น 6 ช่วงสีเท่าๆ กัน คือ ช่วงที่ 1 มีค่าสีตั้งแต่ 0 ถึง 25 ช่วงที่ 2 มีค่าสีตั้งแต่ 26 ถึง 76 ช่วงที่ 3 มีค่าสีตั้งแต่ 77 ถึง 127 ช่วงที่ 4 มีค่าตั้งแต่ 128 ถึง 178 ช่วงที่ 5 มีค่าตั้งแต่ 179 ถึง 229 และช่วงที่ 6 มีค่าสีตั้งแต่ 230 ถึง 255 ซึ่งเมื่อรวมทั้ง 3 สีหลักแล้วก็ได้ช่วงสีทั้งหมด 216 ช่วงสี ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นฮิสโตแกรมขนาด 216-bins ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- bin ที่ 0 แทนจำนวนสีที่อยู่ในช่วงสีแดง [0-25] สีเขียว [0-25] และสีน้ำเงิน [0-25]
- bin ที่ 1 แทนจำนวนสีที่อยู่ในช่วงสีแดง [0-25] สีเขียว [0-25] และ สีน้ำเงิน [26-76]
- bin ที่ 2 แทนจำนวนสีที่อยู่ในช่วงสีแดง [0-25] สีเขียว [0-25] และ สีน้ำเงิน [77-127]
- bin ที่ 4 แทนจำนวนสีที่อยู่ในช่วงสีแดง [0-25] สีเขียว [0-25] และ สีน้ำเงิน [128-178]
- bin ที่ 5 แทนจำนวนสีที่อยู่ในช่วงสีแดง [0-25] สีเขียว [0-25] และ สีน้ำเงิน [230-255]

⋮

- bin ที่ 215 แทนจำนวนสีที่อยู่ในช่วงสีแดง [230-255] สีเขียว [230-255] และ สีน้ำเงิน [230-255]

การรวมตัวกันของสีแดง สีเขียว สีน้ำเงินที่ระดับสีต่างๆ ทำให้เกิดเป็นสีที่แตกต่างกันออกไปตามแต่ละระดับสีที่รวมตัวกันดังรูปที่ 4.2 ทั้งนี้การรวมตัวกันของระดับสีหลักทั้ง 3 ในแต่ละครั้งทีค่าระดับสีอาจจะใกล้เคียงกันนั้นทำให้เกิดเป็นสีที่มีเฉดสีที่ใกล้เคียงกัน หรือเป็นเฉดสีที่แตกต่างกันเนื่องมาจากค่าความเข้มแสงถูกรวมไปกับทั้ง 3 สีหลักด้วย

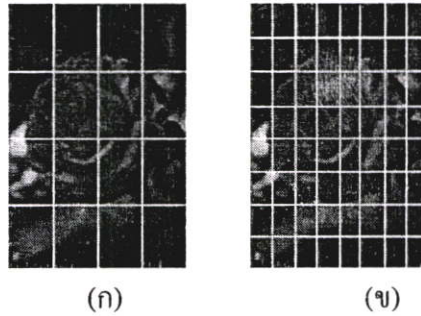


รูปที่ 4.2 แสดงสีของฮิสโตแกรมสีขนาด 216 บินที่ใช้แบบจำลองสี RGB

4.1.2 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบ CCR

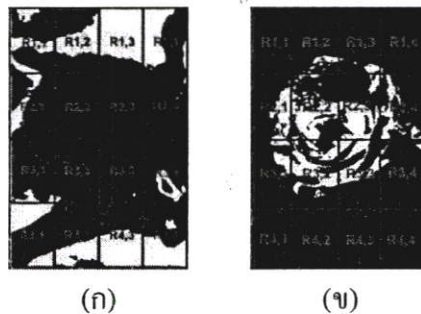
การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบของ CCR นั้น เริ่มจากการหาบริเวณที่ติดกันของสีเพื่อทำการแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสี เมื่อได้มีการเกาะกลุ่มกันของแต่ละสีแล้วก็จะทำการคำนวณหาค่าความหนาแน่น และสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี จากนั้นทำการเก็บคำจำกัดความสีของภาพแต่ละภาพไว้ในฐานข้อมูล โดยมีขั้นตอนในการสร้างคำจำกัดความสีแบบ CCR ดังนี้

4.1.2.1 การหาบริเวณที่ติดกันของสี ในขั้นแรกรูปภาพขนาด $N \times M$ จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกของ $n \times m$ พิกเซล เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาหาบริเวณที่ติดกันของสี หรือ กลุ่มสีทุกสีที่ปรากฏภายในภาพ โดยจำนวนบล็อกที่เป็นไปได้ก็ตั้งแต่ 2×2 , 4×4 , 8×8 , และ 16×16 โดยรูปที่ 4.3 เป็นรูปที่แสดงตัวอย่างของการแบ่งภาพดอกไม้สีแดงออกเป็นบล็อก 4×4 และ 8×8 บล็อก เมื่อทำการแบ่งภาพออกเป็นบล็อกแล้วก็จะทำการหาบริเวณที่ติดกันของสีโดยใช้สมการที่ (2.4) ในบทที่ 2 ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างของกลุ่มสีที่ได้จากการแบ่งภาพออกเป็น 4×4 บล็อกดังรูปที่ 4.4 และตัวอย่างของการพิจารณากลุ่มสีจากการแบ่งภาพออกเป็น 8×8 บล็อก ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 แสดงการแบ่งบล็อกของภาพดอกไม้สีแดง

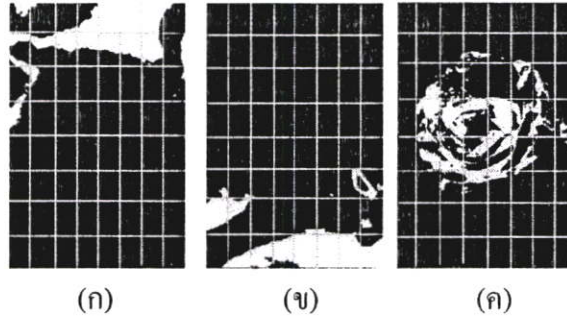
- (ก) ตัวอย่างการแบ่งภาพดอกไม้สีแดงออกเป็น 4×4 บล็อก
- (ข) ตัวอย่างการแบ่งภาพดอกไม้สีแดงออกเป็น 8×8 บล็อก



รูปที่ 4.4 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีที่ได้จากการแบ่งภาพออกเป็น 4×4 บล็อก

- (ก) แสดงบริเวณที่ติดกันของสีเขียวกลุ่มที่ 1
- (ข) แสดงบริเวณที่ติดกันของสีแดงกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงการเกาะกลุ่มกันของสีที่ได้จากการพิจารณาพื้นที่ที่ติดกัน โดยใช้ภาพ Binary แสดงถึงสีที่เกาะกลุ่มกัน โดยให้ค่า 1 แทนพิกเซลที่มีค่าสีที่สนใจ และ 0 แทนพิกเซลที่มีค่าสีใดๆ



รูปที่ 4.5 แสดงบริเวณที่ติดกันของสีที่ได้จากการแบ่งภาพออกเป็น 8 x 8 บล็อก

- (ก) แสดงบริเวณที่ติดกันของสีเขียวกลุ่มที่ 1
- (ข) แสดงบริเวณที่ติดกันของสีแดงกลุ่มที่ 2
- (ค) แสดงบริเวณที่ติดกันของสีแดงกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงการเกาะกลุ่มกันของสีที่ได้จากการพิจารณาพื้นที่ที่ติดกันซึ่งได้จากการแบ่งภาพออกเป็น 8 x 8 บล็อก โดยใช้ภาพ Binary แสดงถึงสีที่เกาะกลุ่มกัน โดยให้ค่า 1 แทนพิกเซลที่มีค่าสีที่สนใจ และ 0 แทนพิกเซลที่มีค่าสีใดๆ

4.1.2.2 คำนวณค่าความหนาแน่นของแต่ละกลุ่มสี เพื่อนำมาพิจารณาหาปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสีโดยใช้สมการที่ (2.5) – (2.8) ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยปริมาณการเกาะกลุ่มกันของแต่ละกลุ่มสีจะถูกนำมาใช้ในการวัดความเหมือนกันของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีปริมาณการเกาะกลุ่มกันของแต่ละสีใกล้เคียงกับภาพค่าตาม

จากรูปที่ 4.4 (ก) จะได้จำนวนของสีเขียวที่เกาะกลุ่มกันในกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 23,902 พิกเซล และมีค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสีเขียว เท่ากับ 3414.5 (พิกเซล / บล็อก) และรูปที่ 4.4 (ข) จะได้จำนวนของสีแดงที่เกาะกลุ่มกันในกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 12,994 พิกเซล และมีค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสีแดงเท่ากับ 1856.286 (พิกเซล / บล็อก) สำหรับรูปที่ 4.5 (ก) จะได้จำนวนของสีเขียวที่เกาะกลุ่มกันในกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 12,313 พิกเซล และมีค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสีเขียว เท่ากับ 1119.364 (พิกเซล / บล็อก) รูปที่ 4.5 (ข) จะได้จำนวนของสีเขียวที่เกาะกลุ่มกันในกลุ่มที่ 2 เท่ากับ 11,589 พิกเซล และมีค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสีเขียว เท่ากับ 965.75 (พิกเซล / บล็อก) และรูปที่ 4.5 (ค) จะได้จำนวนของสีแดงที่เกาะกลุ่มกันในกลุ่มที่ 1 เท่ากับ 12,994 พิกเซล และมีค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสีแดงเท่ากับ 1856.286 (พิกเซล / บล็อก)

4.1.2.3 พิจารณาค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี โดยจะใช้สมการที่ (2.9) – (2.11) ในบทที่ 2 ในการระบุว่ากลุ่มสีใดๆ มีค่าสีอะไรที่ปรากฏคู่บ่อยที่สุด เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ ซึ่งจะนำค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสีไปใช้วัดความเหมือนกันของภาพด้วย เพื่อให้ได้ภาพที่มีการเกิดร่วมกันระหว่างคู่สีที่คล้ายคลึงกันกับภาพค่าตาม

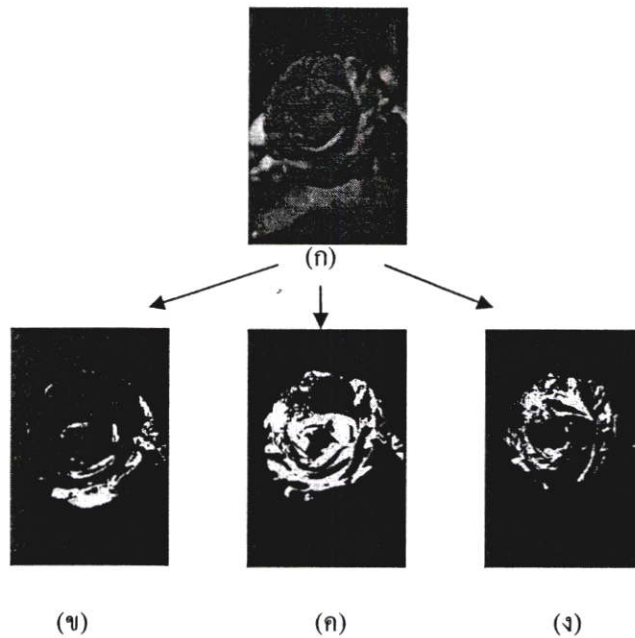
จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการพิจารณาล็อกที่เกิดการเกาะกลุ่มกันของสีแดงจะเห็นได้ว่าภายในบล็อกที่เกิดสีแดงเกาะกลุ่มกันนั้นจะปรากฏสีเขียวร่วมมากที่สุด สำหรับบล็อกที่เกิดการเกาะกลุ่มกันของสีเขียว จะปรากฏสีดำร่วมภายในบล็อกมากที่สุด ดังนั้นจากภาพดอกไม้สีแดงจะได้ว่า สีเขียวเกิดร่วมกับสีแดงที่เกาะกลุ่มกัน และสีดำเกิดร่วมกับสีเขียวที่เกาะกลุ่มกัน

4.1.3 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบ Moment Invariants

การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบของ Moment Invariants จะทำการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะทำการสร้างคำจำกัดความของภาพโดยการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีซึ่งพิจารณาจากการเกาะกลุ่มของสีที่ปรากฏในบริเวณที่ติดกันของสี และมีจำนวนมากกว่า 5% ของจำนวนพิกเซลทั้งหมด ส่วนที่สองได้จากการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพโดยพิจารณาทุกสีที่ปรากฏภายในภาพ แล้วทำการจัดเก็บค่าที่คำนวณได้ในฐานข้อมูล

4.1.3.1 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบของ Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสี โดยเริ่มจากการหาการเกาะกลุ่มกันของสีซึ่งหาได้จากการแบ่งภาพออกเป็นบล็อกแล้วหาบริเวณที่ติดกันของสีภายในบล็อกที่ติดกัน แบบ 4 ทิศ ในลักษณะเดียวกันกับการหาพื้นที่ที่ติดกันของสีของ CCR พร้อมกับการพิจารณาว่าปริมาณสีที่เกาะกลุ่มกันนั้นมีปริมาณสีที่ปรากฏในภาพมากกว่า 5% ของจำนวนพิกเซลทั้งหมดหรือไม่ ถ้ามีจำนวนสีตั้งแต่ 5% ขึ้นไปก็จะทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีแล้วทำการจัดเก็บลงฐานข้อมูล

4.1.3.2 การสร้างคำจำกัดความสีในรูปแบบของ Moment Invariants ของแต่ละสีที่ปรากฏในภายในภาพ โดยเริ่มจากการหาค่าสีที่เป็นไปได้ตั้งแต่ ช่วงสีที่ 0 – 215 สีตามการแบ่งช่วงสีของฮิสโตแกรม แล้วทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants ของแต่ละค่าสีด้วยสมการที่ (3.4) – (3.24) ในบทที่ 3 เพื่อนำมาพิจารณาลักษณะการเกาะกลุ่มกันจากค่า $\phi_1 - \phi_7$ โดยใช้ค่าของ $\phi_1 - \phi_7$ เพื่ออธิบายถึงการเกาะกลุ่ม หรือ กระจายตัวของสี ว่าเกาะกลุ่มหรือกระจายตัวในระดับที่มาก ปานกลาง หรือน้อย



รูปที่ 4.6 ภาพดอกไม้สีแดง

(ก) แสดงภาพดอกไม้สีแดง

(ข) แสดงการกระจายตัวของสีแดงอมชมพูที่บริเวณดอกไม้

(ค) แสดงการกระจายตัวของสีแดงที่บริเวณดอกไม้

(ง) แสดงการกระจายตัวของสีแดงเข้มที่บริเวณดอกไม้

จากรูปที่ 4.6 จะเป็นภาพที่แสดงการกระจายตัวของเฉดสีแดงที่กระจายตัวในบริเวณพื้นที่ดอกไม้ โดย

รูปที่ 4.6 (ข) เมื่อทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants แล้วจะได้ค่า

$$\phi_1 = 0.0415, \phi_2 = 1.0286, \phi_3 = 2.3625, \phi_4 = 1.1456, \phi_5 = 5.009, \phi_6 = 2.1539, \phi_7 = 2.907$$

รูปที่ 4.6 (ค) เมื่อทำการคำนวณหาค่า Moment Invariants จะได้ค่าดังนี้

$$\phi_1 = 0.9977, \phi_2 = 5.1521, \phi_3 = 6.4931, \phi_4 = 6.6563, \phi_5 = 13.4756, \phi_6 = 9.4630, \phi_7 = 13.7060$$

รูปที่ 4.6 (ง) สามารถคำนวณหาค่า Moment Invariants ได้ดังนี้

$$\phi_1 = 0.8266, \phi_2 = 1.260, \phi_3 = 5.3365, \phi_4 = 5.5859, \phi_5 = 11.1732, \phi_6 = 6.2765, \phi_7 = 11.040$$

4.1.4 การออกแบบฐานข้อมูลสำหรับคำจำกัดความสี

โครงสร้างของตารางที่ใช้เก็บข้อมูลภาพในฐานข้อมูลมีดังต่อไปนี้

ก. ตารางเก็บรายละเอียดรูปภาพ

มี 1 ตาราง คือ IMAGE_INFO ซึ่งใช้เก็บ Path และชื่อรูปที่ต้องการใช้งานในระบบ โดยมีโครงสร้างของตารางดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 IMAGE_INFO

ID	ID ของรูปภาพ
IMAGE_PATH	Path หรือตำแหน่งที่เก็บรูปภาพนั้น
IMAGE_NAME	ชื่อของรูปภาพ

ข. ตารางเก็บค่าจำกัดความของสีในรูปแบบฮิสโตแกรม

มี 1 ตารางคือตาราง HISTOGRAM ซึ่งใช้เก็บค่าจำกัดความสีในแบบฮิสโตแกรม โดยมีโครงสร้างของตารางดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 HISTOGRAM

ID	ค่า ID ของรูป
HIST1	ค่าแทนบิตที่ 0 ของค่าจำกัดความสีในแบบฮิสโตแกรม

HIST216	ค่าแทนบิตที่ 215 ของค่าจำกัดความสีในแบบฮิสโตแกรม

ค. ตารางเก็บค่าจำกัดความสีในรูปแบบของ CCR

มีทั้งสิ้น 5 ตาราง (CCR2 CCR4 CCR8 CCR16) ซึ่งแต่ละตารางจะใช้รองรับการแบ่งบล็อกในรูปแบบ 2×2 4×4 8×8 และ 16×16 ตามลำดับ โดยโครงสร้างในแต่ละตารางมีลักษณะดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 CCR2 CCR4 CCR8 และCCR16

ID	ค่า ID ของรูป
COLOR_CCR	ตัวเลขที่ใช้ระบุถึงสีที่ปรากฏในภาพ (มีค่า 1 ถึง 216, 1 = สีดำ และ 216 = สีขาว)
GROUP_CCR	ตัวเลขที่ใช้แทนกลุ่มของสีที่เกาะกลุ่มกัน
HIST_CCR	จำนวนรวมของสีที่ปรากฏภายในบล็อกที่อยู่ติดกันนั้นคือจำนวนของพิกเซลสีทั้งหมดที่เกาะกลุ่มกันภายในกลุ่มสีนั้น
COUNT_CCR	จำนวนรวมของบล็อกที่ปรากฏสีเดียวกันและอยู่ติดกันแบบ 4 ทิศ
EDGE_CCR	จำนวนรวมของบล็อกที่เป็นขอบของบริเวณที่อยู่ติดกันของแต่ละกลุ่มสีซึ่งพิจารณาจากบล็อกที่เกาะกลุ่มกันของแต่ละสี ว่ามีบล็อกจำนวนเท่าไรที่เกาะกลุ่มกันอยู่และปรากฏสีอื่นร่วมด้วยภายในบล็อกนั้น

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

DENSITY_CCR	ค่าความหนาแน่นของการเกาะกลุ่มกันของสี
CO_COLOR	ตัวเลขที่ใช้แทนสีที่ปรากฏร่วมมากที่สุดของแต่ละกลุ่มสี
PROB_CCR	โอกาสที่จะเกิดสีใดๆ ร่วมกับแต่ละกลุ่มสี

ง. ตารางเก็บค่าค่าจำกัดความสับสนในแบบของ Moment Invariants

มีทั้งสิ้น 4 ตาราง (MOMENT, MOMENT_2, MOMENT_4, MOMENT_8) ตาราง MOMENT เก็บค่าค่าจำกัดความสับสนที่พิจารณารูปทั้งรูป และ MOMENT_2 ถึง 4 จะใช้เก็บค่าค่าจำกัดความสับสนที่พิจารณาจากการแบ่งบล็อกในรูปแบบ 2 x 2, 4 x 4 และ 8 x 8 บล็อกตามลำดับ โดยโครงสร้างในแต่ละตารางมีลักษณะดังตารางที่ 4.4 - 4.5

ตารางที่ 4.4 MOMENT_2, MOMENT_4 และ MOMENT_8

ID	ค่า ID ของรูป
COLOR_M	ตัวเลขที่ใช้แทนสีที่ปรากฏในภาพ
GROUP_M	ตัวเลขที่ใช้ระบุกลุ่มของการเกาะกลุ่มกันของสี
HISTOGRAM	ตัวเลขที่บอกปริมาณของสีที่ปรากฏในภาพ
M1	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 1
M2	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 2
M3	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 3
M4	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 4
M5	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 5
M6	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 6
M7	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 7

ตารางที่ 4.5 MOMENT

ID	ค่า ID ของรูป
COLOR	ตัวเลขที่ใช้แทนสีที่ปรากฏในภาพ
HISTOGRAM	ตัวเลขที่บอกปริมาณของสีที่ปรากฏในภาพ
M1	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 1
M2	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 2
M3	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 3

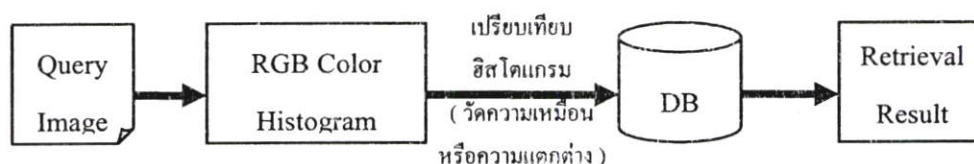
ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

M4	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 4
M5	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 5
M6	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 6
M7	ค่า Moment Invariants ตัวที่ 7

4.2 การค้นคืนภาพ

4.2.1 การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้สร้างจากฮิสโตแกรมขนาด 216-bins โดยใช้แบบจำลองสี RGB และภาพแต่ละภาพในฐานะข้อมูลจะถูกประมวลผลเพื่อหาค่าฮิสโตแกรมเก็บไว้ล่วงหน้า จากนั้นเมื่อมีการกำหนดภาพคำถามให้กับระบบ ระบบจะเริ่มทำการหาค่าฮิสโตแกรมของภาพคำถาม เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความเหมือนหรือความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม เมื่อทำการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมของภาพคำถามกับภาพที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลแล้ว จะได้ผลของการค้นคืนภาพที่มีลักษณะของฮิสโตแกรมที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม ขั้นตอนการค้นคืนด้วยการเปรียบเทียบฮิสโตแกรมได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรม

การเปรียบเทียบฮิสโตแกรม(ความเหมือน หรือความแตกต่างกัน) แม้ว่าจะสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และเป็นค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการหมุน และมุมมองที่เปลี่ยนไปของภาพ แต่ปัญหาใหญ่ของการค้นคืนโดยใช้ค่าฮิสโตแกรมสี คือความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของสีจะถูกทิ้งไป ดังนั้นจึงไม่สามารถแยกแยะภาพที่มีการกระจายตัวของสีที่แตกต่างกันได้

4.2.2 การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีในรูปแบบของ CCR

จากปัญหาของการค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรมที่ไม่สามารถอ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำการหาค่า CCR [7] มาใช้ เพื่อแยกแยะภาพที่มีการกระจายตัวของสีที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากปริมาณการเกาะกลุ่มกันของแต่ละกลุ่มสี และใช้ค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มเพื่ออ้างอิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ โดยมีขั้นตอนในการค้นคืนภาพดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงขั้นตอนการค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความในรูปแบบ CCR

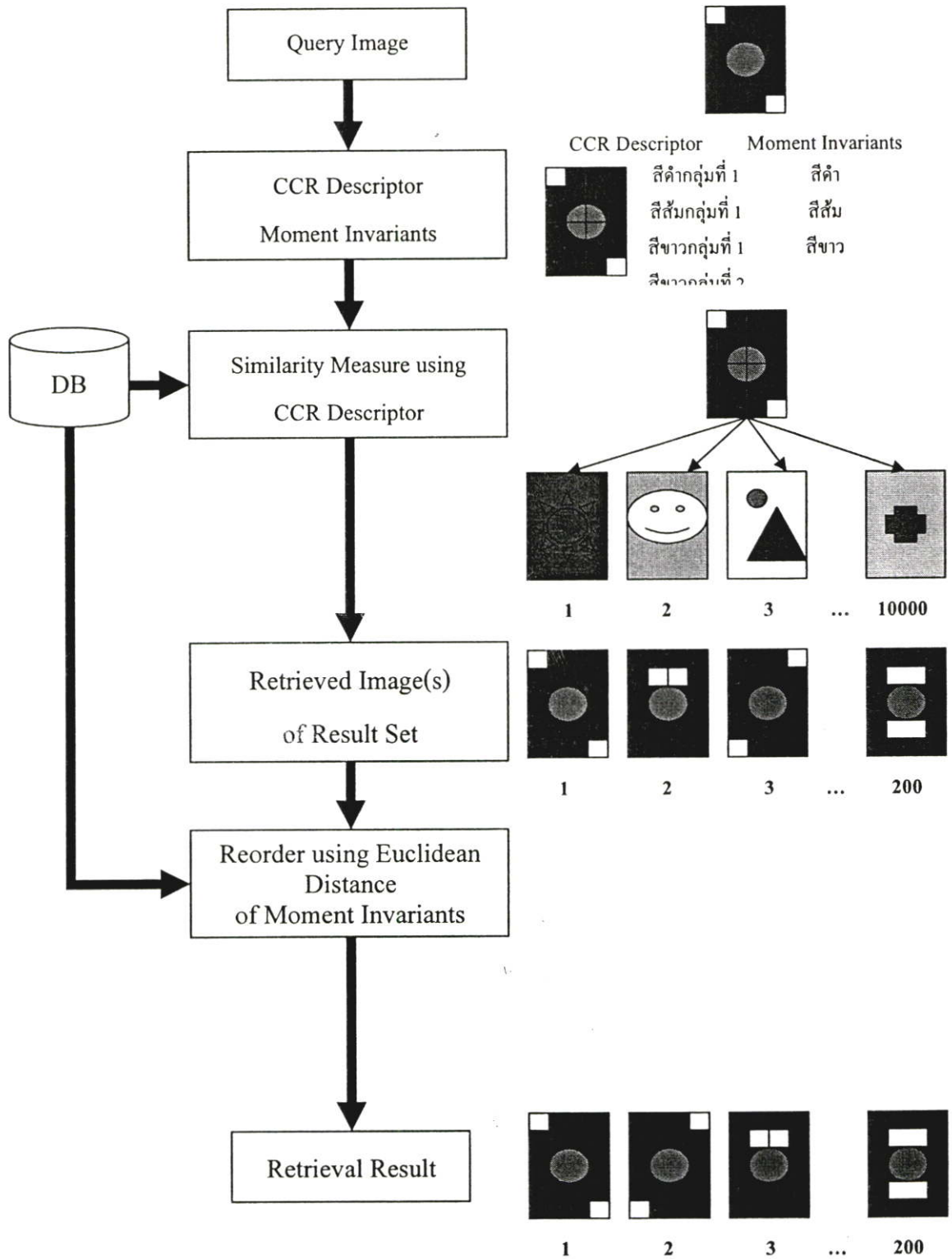
จากรูปที่ 4.8 ภาพแต่ละภาพในฐานะข้อมูลจะถูกประมวลผลเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ที่ติดกันด้วยบล็อกตั้งแต่ 2×2 4×4 8×8 และ 16×16 บล็อก ไว้ล่วงหน้า และเมื่อมีการกำหนดภาพคำถามให้แก่ระบบ ระบบก็จะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ที่ติดกันเพื่อนำมาวัดความเหมือนกันของภาพจากฐานข้อมูลกับภาพคำถาม ซึ่งในการวัดความเหมือนกันนั้นจะเป็นการวัดความเหมือนกันของภาพในเชิงปริมาณ และเชิงตำแหน่งของสี โดยทำการพิจารณาจากปริมาณการเกาะกลุ่มกันของแต่ละกลุ่มสี พร้อมกับเปรียบเทียบข้อมูลเชิงตำแหน่งของการกระจายตัวของสีโดยใช้สีที่ปรากฏร่วมสูงสุดในแต่ละกลุ่มสีเป็นค่าอ้างอิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ

ถึงแม้ CCR จะสามารถแยกแยะการกระจายตัวของสีที่เกิดขึ้นในภาพได้ แต่การใช้ค่า CCR นั้นมีข้อจำกัดในเรื่องการกำหนดขนาดบล็อก (Block Size) ที่นำมาใช้ในการหาค่า CCR ของภาพ ให้เหมาะสมกับการกระจายตัว หรือการเกาะกลุ่มกันของสี และ ขนาดของบล็อกยังส่งผลต่อการค้นคืนภาพด้วย เนื่องจาก CCR อ้างอิงค่ากับขนาดของบล็อก (Block based) ทำให้เกิดปัญหาว่าขนาดของบล็อกเท่าไรถึงจะสามารถทำการแยกแยะการกระจายตัวของสี หรือการเกาะกลุ่มกันของสีในแต่ละภาพได้อย่างชัดเจนเหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่า CCR และเวลาที่ใช้ในการค้นคืน ซึ่งถ้าบล็อกมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีความถูกต้องแม่นยำไม่สูงมากนัก เพราะขนาดของบล็อกที่ใหญ่ไม่สามารถแบ่งการเกาะกลุ่มกันของสีได้ถูกต้อง และ ถ้าขนาดของบล็อกมีขนาดเล็กจะทำให้ผลของการค้นคืนมีความถูกต้องมากขึ้นแต่ใช้เวลาในการคำนวณหาค่า CCR และค้นคืนมากด้วย

4.2.3 การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความในรูปแบบของ CCR ร่วมกับ Moment Invariants

การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความในรูปแบบของ CCR ร่วมกับ Moment Invariants นั้นจะมีขั้นตอนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความในรูปแบบของ CCR ซึ่งได้เพิ่มขั้นตอนการพิจารณาค่าความแตกต่างของ Moment Invariants ของแต่ละสีที่ปรากฏในภาพ เพื่อใช้พิจารณาลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสี ว่าการเกาะกลุ่มกันของสีนั้นมีลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีในระดับที่มาก ปานกลาง หรือน้อย และลักษณะการกระจายตัวของสีเกิดการกระจายมาก ปานกลาง หรือน้อย เช่นกัน เพื่อให้ผลการค้นคืนด้วยบล็อกขนาดใหญ่มีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้บล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่า โดยมีขั้น-

ตอนในการค้นคืนภาพดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความในรูปแบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants

จากรูปที่ 4.9 เมื่อทำการกำหนดภาพคำถามให้แก่ระบบแล้ว ระบบจะทำการประมวลผลเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของสีในพื้นที่ติดกัน และค่า Moment Invariants ของภาพคำถาม เมื่อระบบทำการประมวลผลภาพคำถามแล้ว จะทำการค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความสีในรูปแบบ CCR เพื่อใช้แยกแยะภาพที่มีการเกาะกลุ่มกันของสีที่คล้ายคลึงกับภาพคำถาม เพื่อให้ได้ชุดของภาพคำตอบที่มีค่า CCR ใกล้เคียงกับภาพคำถาม จากนั้นนำชุดของภาพคำตอบที่ได้มาทำการจัดเรียงความเหมือนอีกครั้งโดยใช้ค่า Moment Invariants ของภาพคำถามมาทำการหาค่า Euclidean distance กับชุดของภาพคำตอบ เพื่อให้ได้ภาพที่มีลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม โดยเรียงลำดับภาพจากภาพที่มีค่าความแตกต่างน้อยไปหาค่ามาก เมื่อจัดเรียงเสร็จแล้วจะได้ชุดของภาพคำตอบสุดท้าย

Moment Invariants เป็นค่าที่ไม่ได้รับผลกระทบมากนัก ต่อการย่อขยาย การเปลี่ยนมุมมอง และการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในภาพ ไม่ว่าวัตถุจะอยู่ในตำแหน่งไหน ขนาดเท่าใด ค่าของ Moment Invariants ของวัตถุนั้นก็จะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้พิจารณาลักษณะการเกาะกลุ่มกัน หรือ การกระจายตัวของสีที่ใกล้เคียงกันของภาพคำถามกับภาพจากฐานข้อมูลได้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยระบบค้นคืนภาพโดยอาศัยคุณลักษณะสีนี้ได้ศึกษาการใช้คำจำกัดความสีในรูปแบบ CCR และได้พัฒนาปรับปรุงระบบการค้นคืนภาพโดยการนำค่า Moment Invariants มาใช้ร่วมพิจารณา เพื่อพิจารณาลักษณะการเกาะกลุ่มหรือการกระจายตัวของสีว่ามีระดับการเกาะกลุ่มหรือกระจายตัวมาก ปานกลาง หรือน้อย ทำให้สามารถทำการค้นคืนภาพโดย CCR ด้วยบล็อกขนาดใหญ่ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการค้นคืนภาพโดย CCR ด้วยบล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่า ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 และได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะทดลอง โดยใช้ฐานข้อมูลรูปภาพจากอินเทอร์เน็ต [12] ฐานข้อมูลที่นำมาจาก Corel stock photo gallery และภาพที่ได้จากภาพเคลื่อนไหว และจากนั้นวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองโดยการเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของการค้นคืน และเวลาที่ใช้ในการค้นคืน



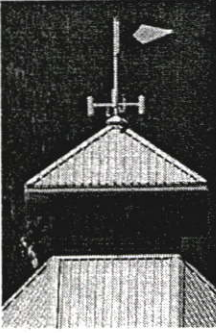




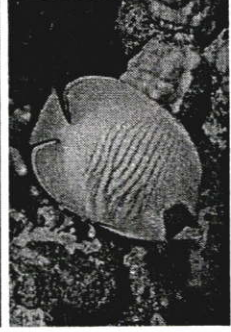

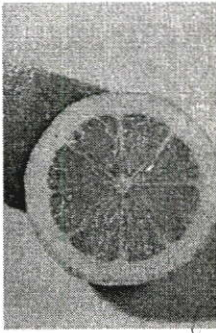

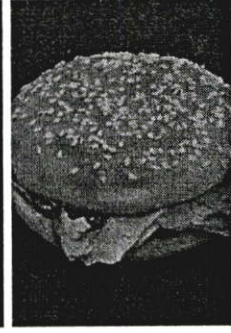



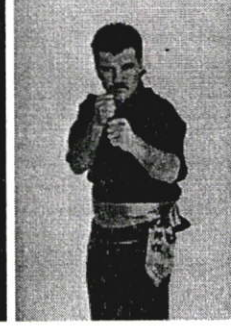
5.1 ขั้นตอนการเตรียมฐานข้อมูลรูปภาพ

รูปภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นรูปภาพที่ถูกเลือกมาจากที่ต่าง ๆ ที่มีขนาด 256×384 พิกเซลและใช้รูปทั้งหมดจำนวน 10,000 ภาพ โดยแบ่งภาพในการทดลองได้แบ่งกลุ่มภาพออกเป็น 8 ประเภทตามตารางที่ 5.1 ภาพในแต่ละประเภทจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มโดยภาพภายในกลุ่มเดียวกันจะเป็นวัตถุที่มีความใกล้เคียงกัน (ชื่อเรียกเหมือนกัน) หรือเป็นวัตถุเดียวกันและมีสีใกล้เคียงกัน เช่น กลุ่มภาพดอกไม้ กลุ่มภาพสัญลักษณ์ กลุ่มธง เป็นต้น ซึ่งสามารถดูตัวอย่างของภาพที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลได้จากตารางที่ 5.2



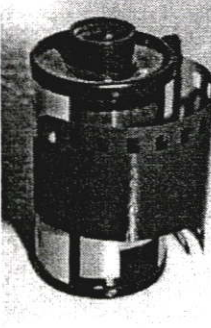




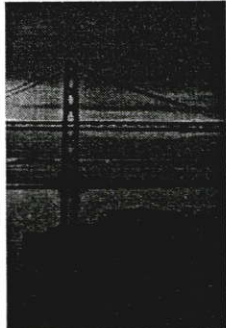


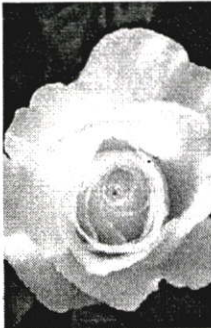
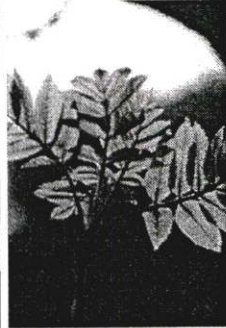
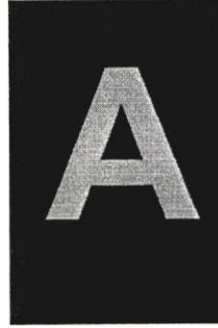



ตารางที่ 5.1 ประเภทของภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง

	ประเภทของภาพ		จำนวนภาพ
อาคารและสิ่งก่อสร้าง	(Building)	{Architecture, Monument}	365
สัตว์สิ่งมีชีวิต	(Creature)	{Character, Closed-up}	873
ผักผลไม้และอาหาร	(Foodstuff)	{Vegetable, Fruit, Food}	2,361
มนุษย์	(Human)	{Face, Posing}	490
สิ่งของและรถยนต์	(Material)	{Car, Train, Thing}	1,445
วิวธรรมชาติ	(Natural)	{Landscape, Shading}	1,194
ดอกไม้และต้นไม้	(Plant)	{Flower, Tree}	1,691
ตัวอักษรและสัญลักษณ์	(Text)	{Alphabet, Sign}	1,581
		รวม	10,000

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างของภาพที่ถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล

ประเภท	ตัวอย่างภาพในฐานข้อมูล			
สิ่งก่อสร้าง				
สิ่งมีชีวิต				
ผักผลไม้ และ อาหาร				
มนุษย์				

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

<p>สิ่งของ และ เครื่องยนต์</p>				
<p>วิวธรรมชาติ</p>				
<p>ดอกไม้ และ ต้นไม้</p>				
<p>ตัวอักษร และ สัญลักษณ์</p>				

5.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการวัดค่าความเหมือน และค่าความไม่เหมือนกันของภาพ

5.2.1 ตัวอย่างผลการทดลองเปรียบเทียบผลการค้นคืนภาพด้วยการใช้การวัดค่าความเหมือน และค่าความไม่เหมือนกันของภาพ

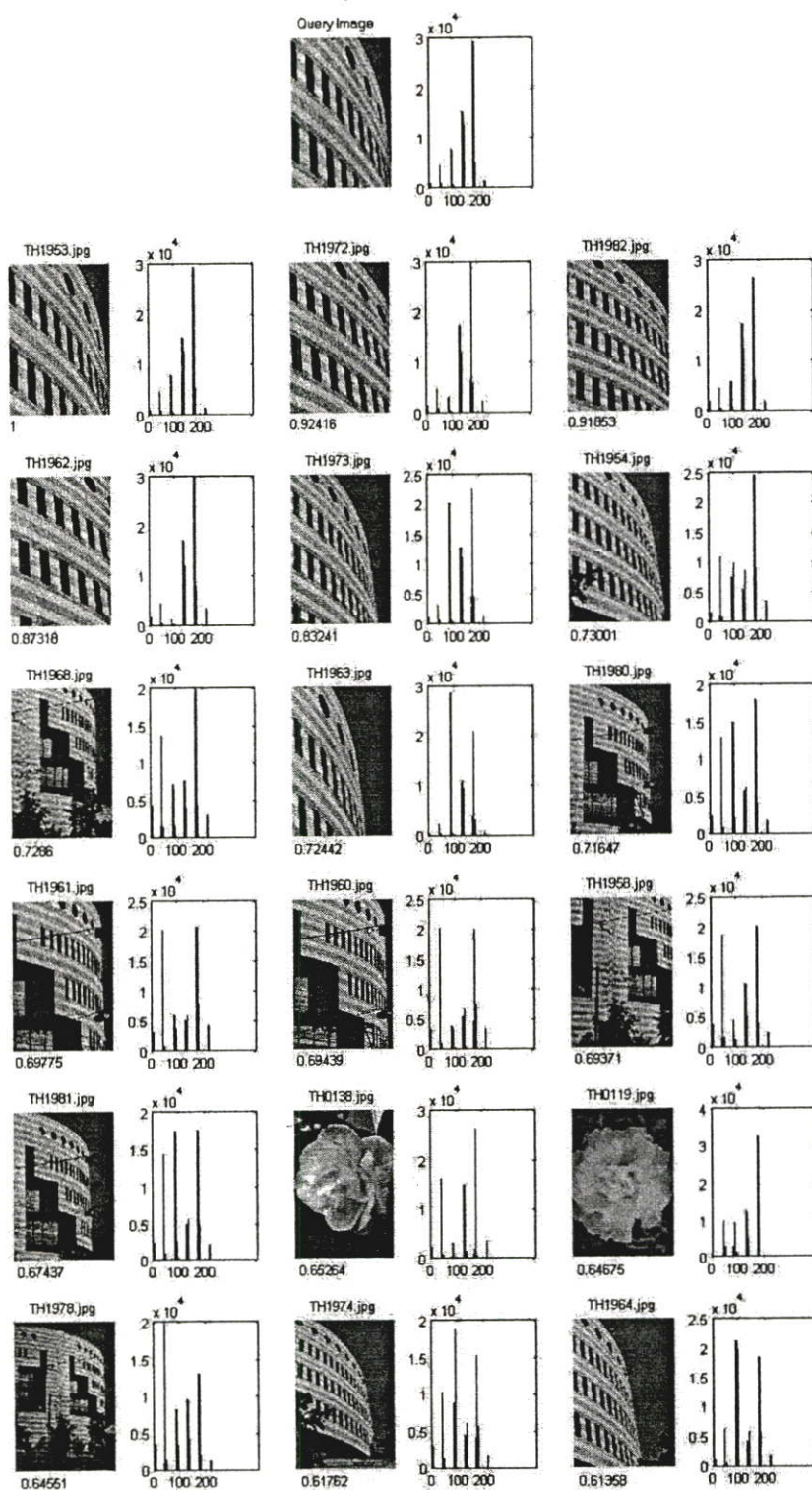
ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการค้นคืนภาพด้วยการวัดค่าความเหมือน และค่าความไม่เหมือนกันของคำจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรม โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นเป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถามหรือไม่ และลำดับของภาพผลลัพธ์ที่เป็นประเภทเดียวกันกับภาพคำถามนั้นอยู่ในลำดับต้น ๆ หรือไม่ ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการสร้างคำจำกัดความของภาพจำนวน 2,000 อันดับแรกในฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของฮิสโตแกรมสี และใช้ภาพตึกสีขาว ภาพโดมิโน และภาพรูปปั้นผู้หญิง เป็นภาพคำถาม

ผลการทดลอง

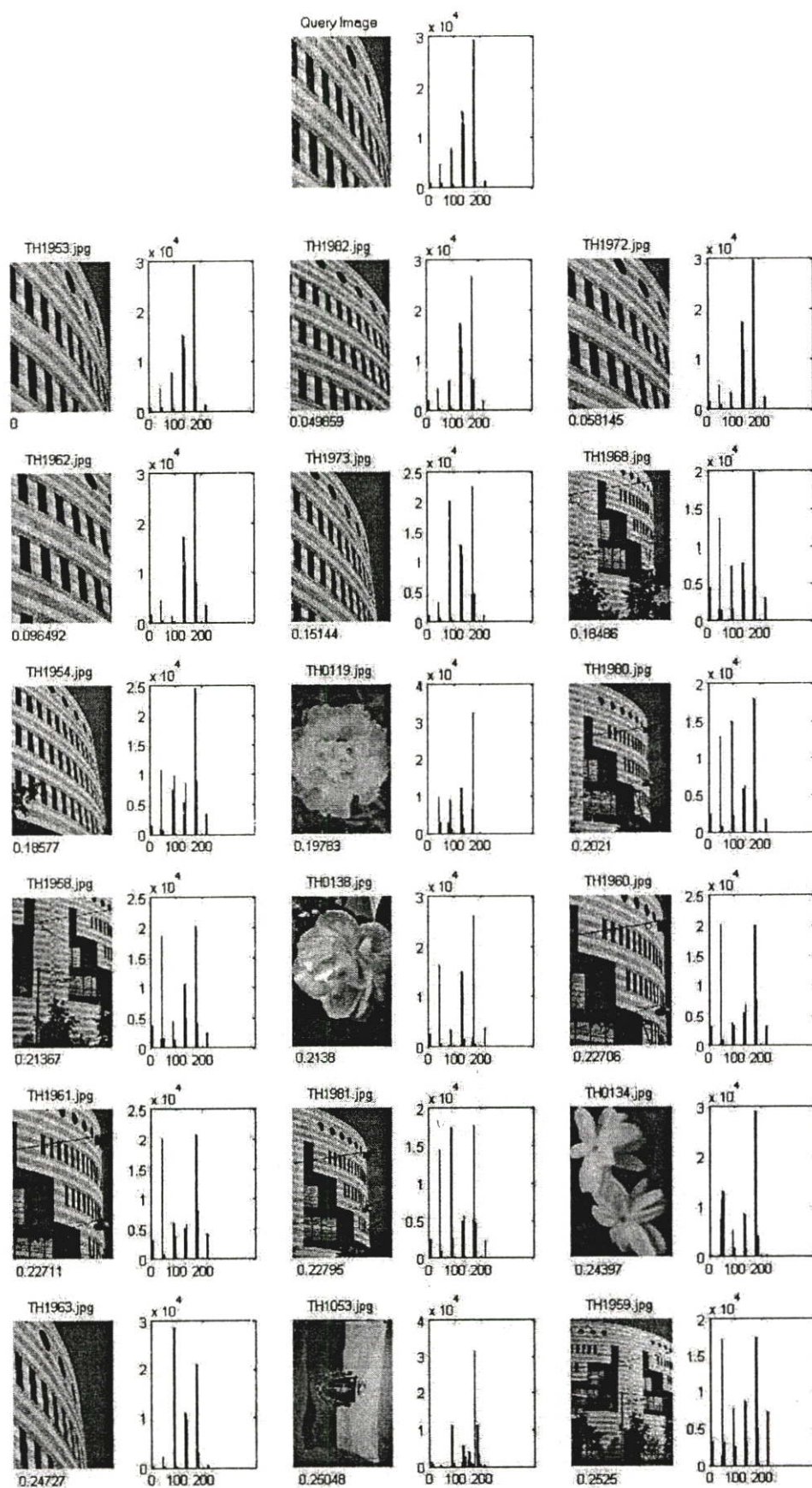
รูปที่ 5.1 - 5.6 เป็นตัวอย่างของภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีในรูปแบบของฮิสโตแกรม ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของภาพคำถามกับภาพจากฐานข้อมูล ด้วยการวัดค่าความเหมือนกัน หรือค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม โดยรูปที่ 5.1 และ 5.2 จะใช้ภาพตึกสีขาวเป็นภาพคำถามสำหรับทำการค้นคืน ซึ่งรูปที่ 5.1 เป็นภาพผลลัพธ์ที่เกิดจากการวัดค่าความเหมือนกันของภาพจะเห็นได้ว่าภาพดอกไม้สีขาวจะถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 14 และ 15 และรูปที่ 5.2 เป็นภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดค่าความแตกต่างกันของภาพจะเห็นได้ว่าภาพดอกไม้สีขาวก็ถูกค้นคืนมาเช่นกัน โดยถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 8, 10 และ 15 และภาพธงสีแดงขาวก็ถูกค้นคืนมาด้วยในลำดับที่ 17 ของรูปที่ 5.2 สำหรับรูปที่ 5.3 และ 5.4 เป็นการค้นคืนภาพโดมิโนที่มีแต้มสีเหลืองทั้ง 2 ด้าน ซึ่งภาพผลลัพธ์ของการวัดค่าความเหมือนและค่าความแตกต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ จากรูปที่ 5.3 - 5.4 จะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนนั้นมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ โดยภาพป้ายสัญลักษณ์ที่เป็นสีเหลืองจะถูกค้นคืนมาในลำดับต้นๆ เป็นจำนวนมาก เช่นในรูปที่ 5.3 ภาพป้ายสัญลักษณ์ที่เป็นสีเหลืองจะถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 4 - 18 รูปที่ 5.4 ภาพป้ายสัญลักษณ์ที่เป็นสีเหลืองถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 2-14 และ 17-18 ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากภาพป้ายสัญลักษณ์สีเหลืองมีฮิสโตแกรมที่ใกล้เคียงหรือคล้ายคลึงกับฮิสโตแกรมของภาพโดมิโนที่มีแต้มสีเหลืองทั้งสองด้าน จึงส่งผลให้การค้นคืนด้วยการวัดค่าความเหมือน หรือค่าความแตกต่างกันของภาพ ต่างก็ให้ภาพผลลัพธ์ที่ค้นคืนมานั้นเป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถามจำนวนมาก และปรากฏในลำดับต้น ๆ ของการค้นคืน รูปที่ 5.5 - 5.6 เป็นภาพผลลัพธ์ของการใช้ภาพรูปปั้นผู้หญิงเป็นภาพคำถาม โดยรูปที่ 5.5 เป็นการแสดงภาพผลลัพธ์ของการค้นคืนภาพด้วยการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม และรูปที่ 5.6 เป็นการแสดงภาพผลลัพธ์ของการค้นคืนภาพด้วยวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าภาพสิงโต เสือขาว และดอกจําปี ถูกค้น

คืนมาทั้งหมด 7 รูปจากภาพผลลัพธ์ทั้งหมด 16 รูป ซึ่งมีรูปสิงโต 3 รูป เสือดาว 3 รูป และดอกจําปี 1 รูป และภาพสิงโตถูกค้นคืนมาในลำดับภาพที่ 4, 5 และ 11 ส่วนรูปเสือดาวถูกค้นคืนมาในลำดับภาพที่ 6, 7 และ 15 และรูปดอกจําปีถูกค้นคืนมาในลำดับภาพที่ 16 สำหรับรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าภาพที่ถูกค้นคืนมาเป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถามจะถูกค้นคืนขึ้นมาในลำดับที่ 4 - 11 และ

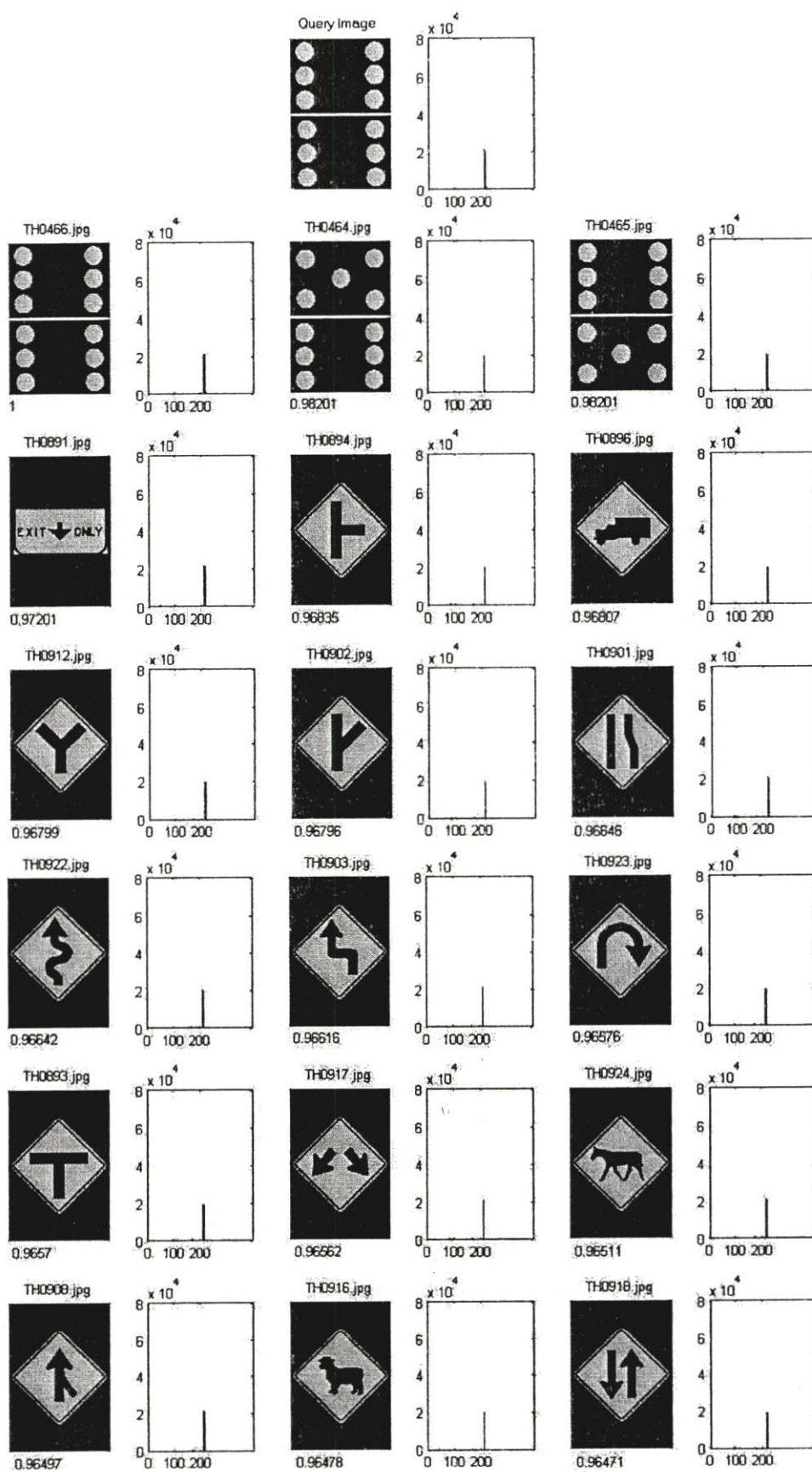
14 - 17



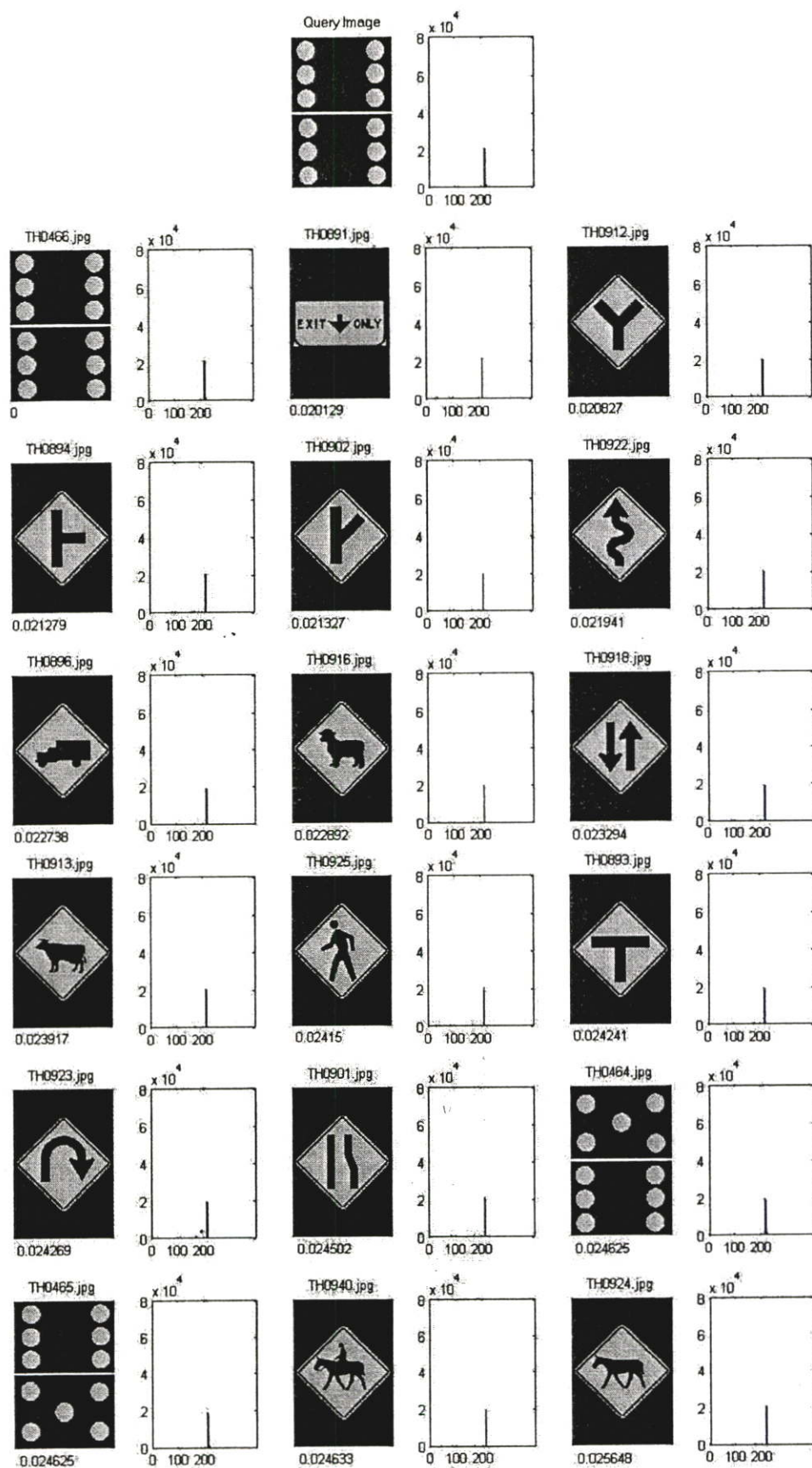
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตึกสีขาวด้วยการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม



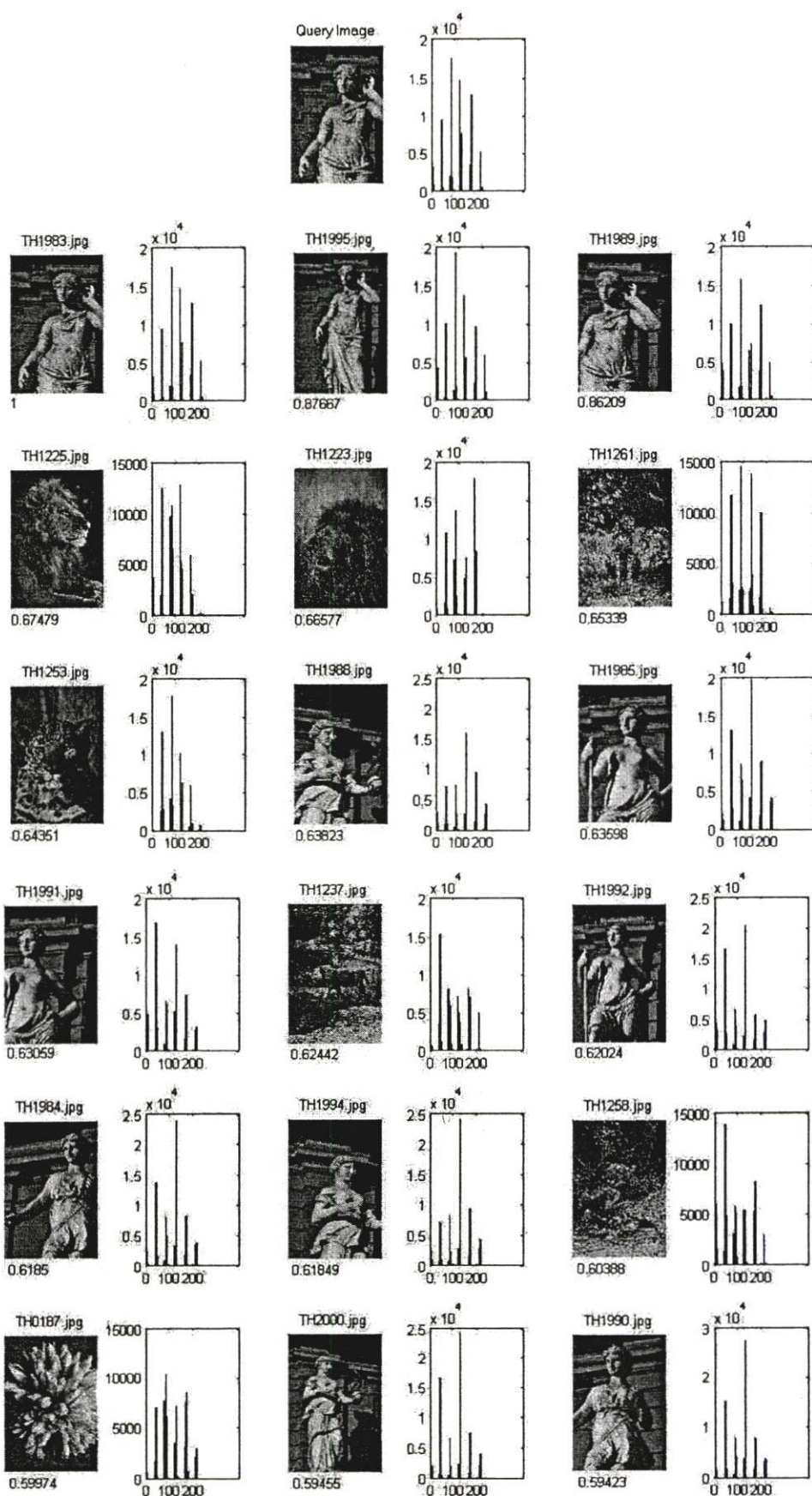
รูปที่ 5.2 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตึกกีฬาด้วยการการวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม



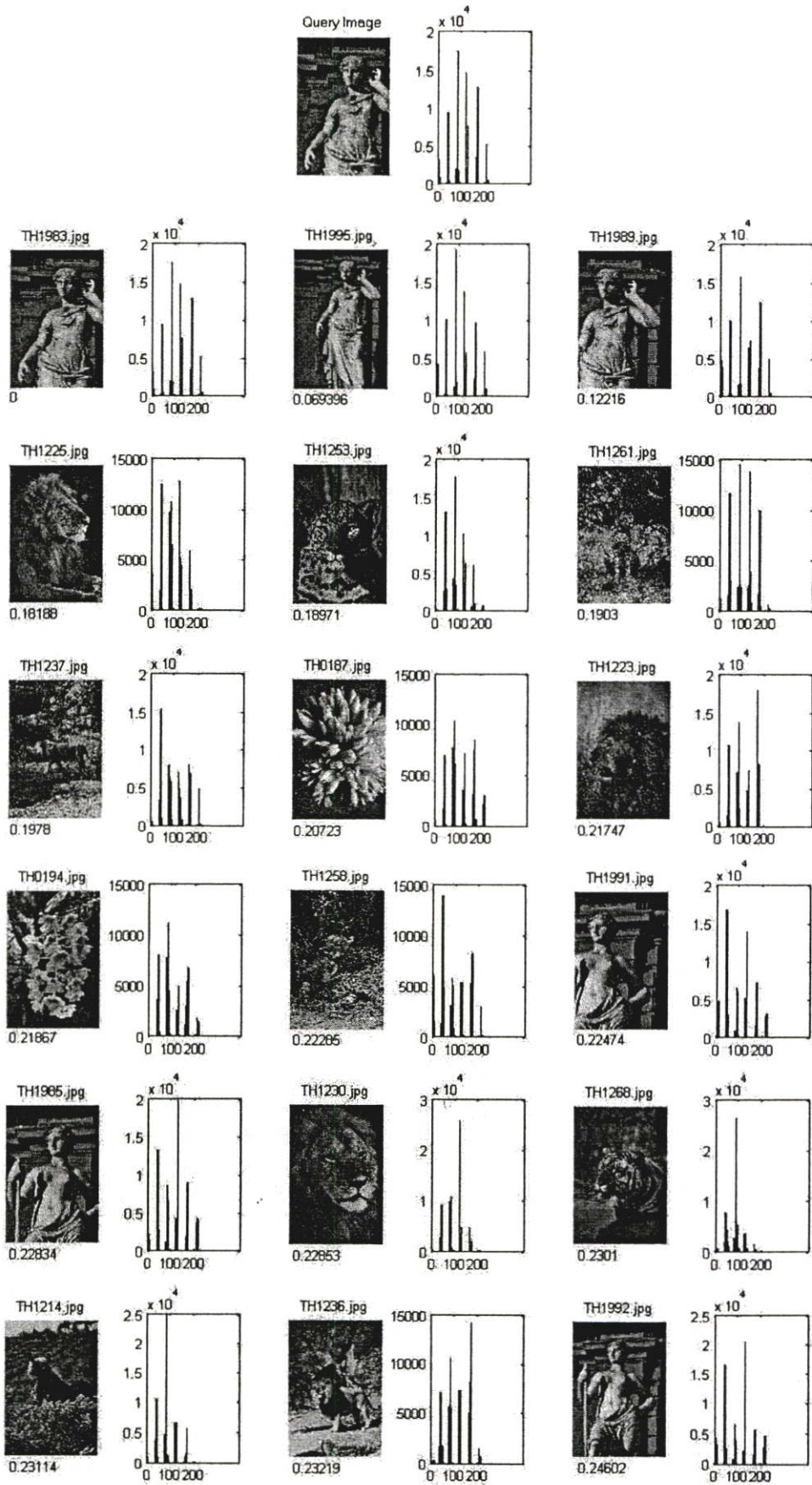
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วยการการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วยการการวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างผลการค้นคืนรูปภาพรูปปั้นด้วยการการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพรูปปั้นด้วยการการวัดค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม

5.2.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของการวัดความเหมือนและความไม่เหมือนกันของภาพ

ภาพที่ถูกค้นคืนมาด้วยการวัดค่าความเหมือน หรือความแตกต่างกันของฮิสโตแกรมนั้น จะเป็นภาพที่ใกล้เคียงกัน หรือไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะว่าฮิสโตแกรมไม่สามารถอ้างอิงข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพได้ ดังนั้นไม่ว่าจะทำการวัดค่าความเหมือน หรือค่าความแตกต่างกัน ก็เป็นเพียงการเปรียบเทียบจำนวนของสีที่ปรากฏในภาพเท่านั้น จึงทำให้ภาพผลลัพธ์ที่ถูกค้นคืนมานั้นเป็นภาพที่ไม่แตกต่างกันมาก และการวัดค่าความแตกต่างกันก็ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า เพราะต้องทำการคำนวณในรูปในผลต่างกำลังสอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การวัดค่าความเหมือนในการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูล

5.3 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ขนาดของบล็อก และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับคำจำกัดความสี่แบบ CCR

5.3.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยคำจำกัดความสี่แบบ CCR ด้วยขนาดบล็อก และค่าพารามิเตอร์ค่าต่าง ๆ

ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการค้นคืนภาพด้วยคำจำกัดความสี่แบบของ CCR ด้วยขนาดของบล็อกตั้งแต่ 2×2 4×4 8×8 และ 16×16 บล็อก พร้อมทั้งทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เป็นค่านำหนักของการวัดค่าความเหมือนกันของ CCR (S) ที่ใช้ในการวัดปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสี (S_1) และการเกิดสีร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี (S_2) เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่จะสามารถใช้แยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสี หรือการกระจายตัวของสีได้ โดยจะทำการสร้างคำจำกัดความสี่ภาพจำนวน 2,000 อันดับแรกในฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ CCR ด้วยขนาดของบล็อกที่ได้กล่าวมาในข้างต้น และใช้ภาพโดมิโน และดอกไม้สีแดงเป็นภาพคำถาม

ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.3 – 5.6 เป็นตารางที่ใช้แสดงตัวอย่างของการค้นคืนภาพ โดมิโนที่มีแต้มสีเหลือง ทั้งสองด้านด้วยคำจำกัดความสี่แบบ CCR และตารางที่ 5.7 – 5.10 เป็นตารางที่ใช้แสดงตัวอย่างของภาพผลลัพธ์ของการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วยคำจำกัดความสี่แบบ CCR เช่นกัน โดยตารางทั้งหมดที่ได้กล่าวไปนั้นจะทำการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้ขนาดบล็อกดังต่อไปนี้ 2×2 4×4 8×8 และ 16×16 พร้อมทั้งได้ให้ค่านำหนักของพารามิเตอร์ที่ใช้วัดความเหมือนกันของ CCR ด้วยค่า S_1 และ S_2 ที่แตกต่างกัน เพื่อทดสอบหาค่าขนาดของบล็อกและค่านำหนักที่เหมาะสมสำหรับการค้นคืนภาพด้วยคำจำกัดความในรูปแบบ CCR

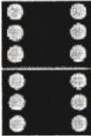
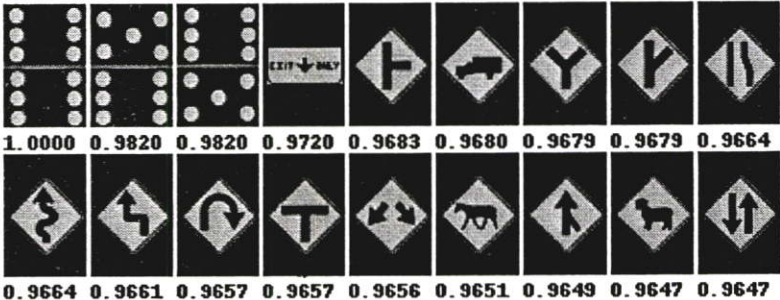
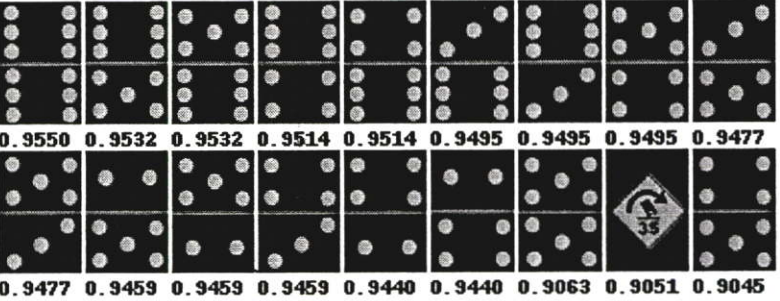
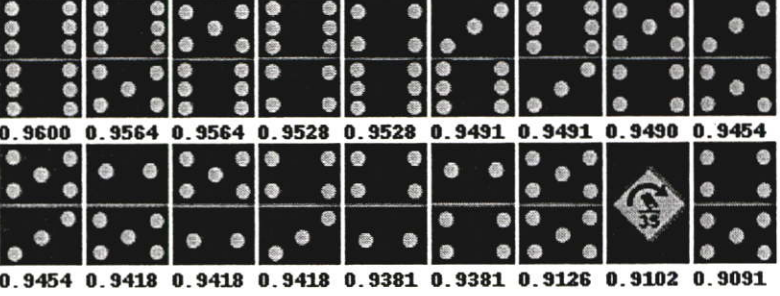
จากตารางที่ 5.3 ทำการค้นคืนด้วย CCR 2×2 บล็อก เมื่อทำการวัดความเหมือนโดยใช้ค่า S_1 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนนั้น รูปป้ายสีเหลืองจะถูกค้นคืนมาในลำดับต้น ๆ เนื่องมาจากการแบ่งบล็อกออกเป็น 2×2 บล็อก ทำให้การพิจารณาในลักษณะการเกาะกลุ่มกันของ

สีไม่สามารถทำการพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสีได้ใกล้เคียงกับการเกาะกลุ่มกันของสีที่เกิดขึ้นภายในภาพ และที่สำคัญ S_1 เป็นการพิจารณาความเหมือนกันของปริมาณสีในแต่ละกลุ่ม เมื่อไม่สามารถแยกการเกาะกลุ่มกันของสีที่ชัดเจนได้ จึงทำให้การวัดปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสีเป็นการวัดปริมาณกลุ่มสีที่เกิดขึ้นทั้งภาพ ดังนั้นจึงทำให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นเป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถาม เมื่อทำการค้นคืนโดยพิจารณา S_2 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าผลการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำสูง เนื่องจาก S_2 เป็นการพิจารณาสีที่ปรากฏรวม เมื่อทำการค้นคืนด้วยภาพปรากฏสีไม่กี่สีภายในภาพ จึงส่งผลให้การค้นคืนด้วย S_2 เพียงอย่างเดียวมีความถูกต้องแม่นยำสูง เมื่อทำการค้นคืนโดยให้ค่าน้ำหนักของ $S_1 > S_2$ ผลของการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก เนื่องจากการค้นคืนด้วยลักษณะเช่นนี้จะเป็นการให้ความสำคัญต่อปริมาณสีที่เกาะกลุ่มกัน เมื่อไม่สามารถแบ่งการเกาะกลุ่มกันของสีที่ชัดเจนได้จึงส่งผลให้ผลของการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก แล้วเมื่อทำการค้นคืนโดยให้ค่าน้ำหนักของ $S_1 < S_2$ ผลของการค้นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำสูง เนื่องจากการให้ความสำคัญต่อสีที่ปรากฏรวม ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาจากสีที่เกิดขึ้นรวมจะได้สีที่เกิดขึ้นร่วมกันไม่กี่สีจึงทำให้ผลของการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำสูง และเมื่อทำการพิจารณาโดยให้ค่าน้ำหนักของ $S_1 = S_2$ ผลของการค้นคืนจะเป็นการพิจารณาทั้งปริมาณสีที่เกาะกลุ่มกันของแต่ละกลุ่มสี และการพิจารณาสีที่ปรากฏรวมสูงสุด ดังนั้นจึงทำให้ผลการค้นคืนสามารถค้นคืนภาพที่ใกล้เคียงกับภาพคำถามทั้งปริมาณสีที่ใกล้เคียง และภาพที่มีสีปรากฏในตำแหน่งเดียวกันหรือใกล้เคียงกันได้


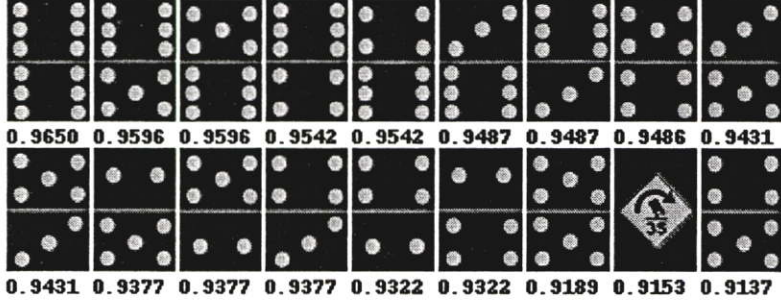
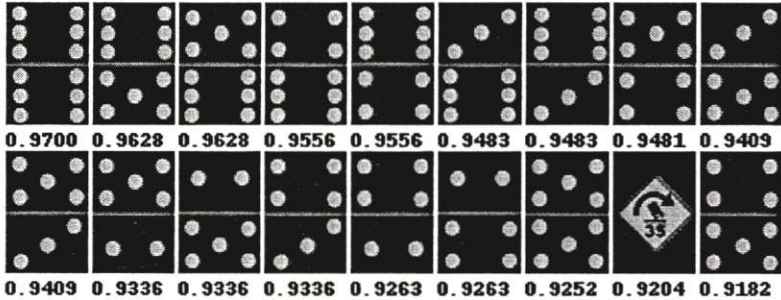
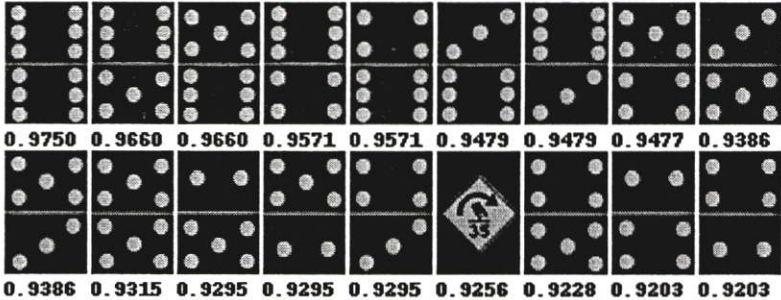
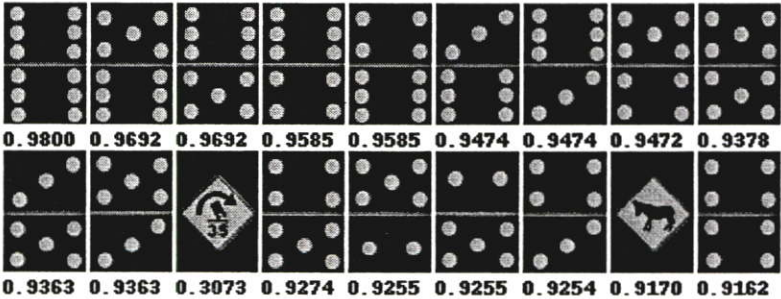
จากตารางที่ 5.4 – 5.6 เป็นการค้นคืนภาพด้วย CCR $4 \times 4 \times 8$ และ 16×16 บล็อก เมื่อพิจารณาการค้นคืนโดยให้ค่าน้ำหนักของ S_1 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าการค้นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ตามขนาดของบล็อกที่แบ่งให้เล็กลง ดังนั้นการค้นคืนด้วย S_1 จึงขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อก เพราะ CCR ทำการแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีโดยอ้างอิงจากขนาดของบล็อก จึงทำให้การพิจารณาปริมาณของแต่ละกลุ่มสีมีค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสีที่เกิดขึ้นจริงเมื่อทำการพิจารณาจากบล็อกที่มีขนาดเล็ก และเมื่อทำการพิจารณาการค้นคืนภาพโดยให้ค่าน้ำหนักของ S_2 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำลดลง เนื่องจากเมื่อทำการแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีที่ละเอียดขึ้นจึงทำให้การพิจารณาการปรากฏร่วมกันของสีนั้นเกิดการปรากฏร่วมกันของสีที่ใกล้เคียงกันมากขึ้นถึงแม้การเกิดร่วมกันของสีใดๆ จะเกิดร่วมกันน้อยก็ตามจึงทำให้ผลการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำลดลง และเมื่อทำการพิจารณาการค้นคืนโดยให้ค่าน้ำหนัก $S_1 = S_2$ จะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนจะมีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเป็นการนำคุณสมบัติที่ของสีของการให้ค่าน้ำหนักของ S_1 และ S_2 เพียงอย่างเดียวมาทำการหาค่าเฉลี่ยจึงทำให้การค้นคืนด้วย $S = 0.5S_1 + 0.5S_2$ ให้ผลการค้นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง

จากรูปที่ 5.7 เป็นรูปภาพแสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนของภาพโดมิโนที่มีแต้มสีเหลือง โดยใช้การวัดค่าความเหมือนกันของ CCR ที่ให้ค่าความสำคัญของการวัดปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสี เท่ากับการพิจารณาการเกิดสีร่วมกันสูงสุดของแต่ละกลุ่ม ($S = 0.5S_1 + 0.5S_2$) ซึ่ง จะทำการวัดค่าความถูกต้องแม่นยำ และการเรียกคืนด้วย CCR ขนาด 2 x 2 4 x 4 8 x 8 และ 16 x 16 บล็อก โดยผลของการค้นคืนด้วย CCR 4 x 4 8 x 8 และ 16 x 16 บล็อกจะมีความถูกต้องแม่นยำสูง และให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกัน จึงให้กราฟที่แสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนที่ทับซ้อนกันอยู่ และสำหรับการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกจะให้ผลการค้นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำต่ำที่สุดเส้นกราฟแสดงผลจึงอยู่ต่ำที่สุด

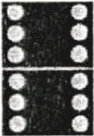
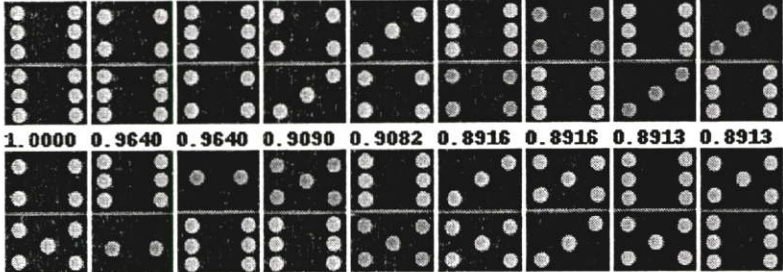
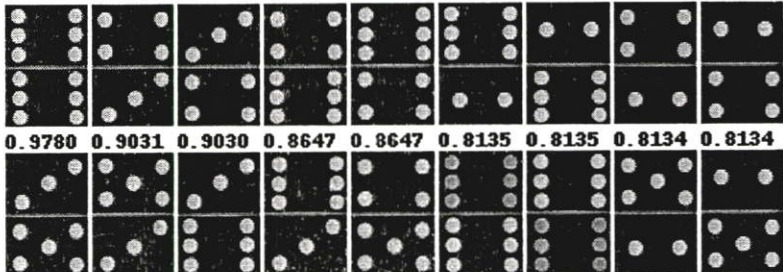
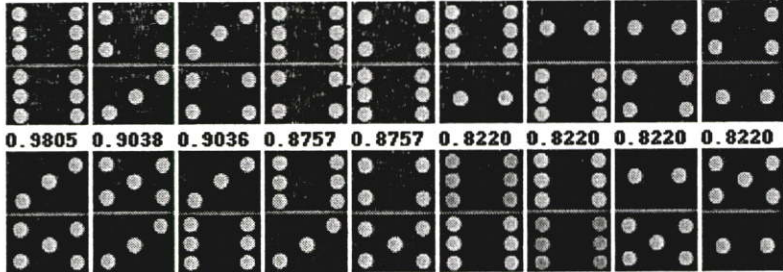
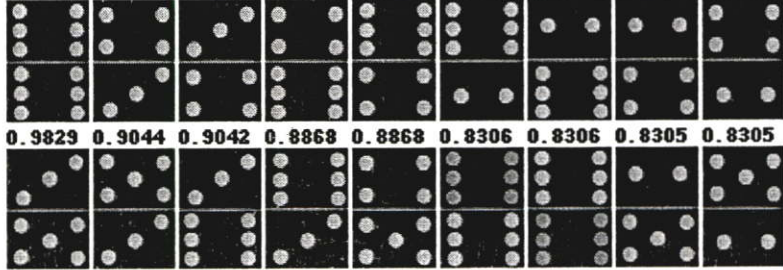
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

CCR: 2 x 2 Block	<p>ภาพค่าถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1. 0000 0. 9820 0. 9820 0. 9720 0. 9683 0. 9680 0. 9679 0. 9679 0. 9664</p> <p>0. 9664 0. 9661 0. 9657 0. 9657 0. 9656 0. 9651 0. 9649 0. 9647 0. 9647</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0. 9550 0. 9532 0. 9532 0. 9514 0. 9514 0. 9495 0. 9495 0. 9495 0. 9477</p> <p>0. 9477 0. 9459 0. 9459 0. 9459 0. 9440 0. 9440 0. 9063 0. 9051 0. 9045</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0. 9600 0. 9564 0. 9564 0. 9528 0. 9528 0. 9491 0. 9491 0. 9490 0. 9454</p> <p>0. 9454 0. 9418 0. 9418 0. 9418 0. 9381 0. 9381 0. 9126 0. 9102 0. 9091</p>

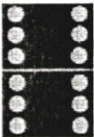
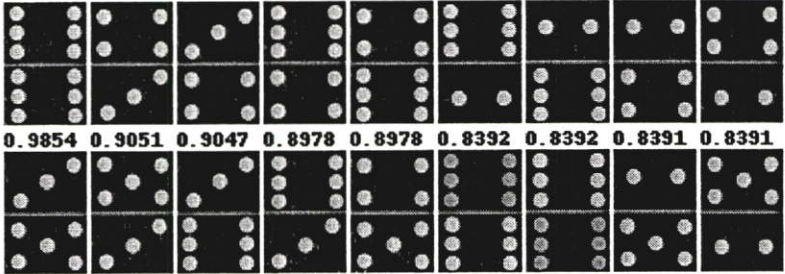
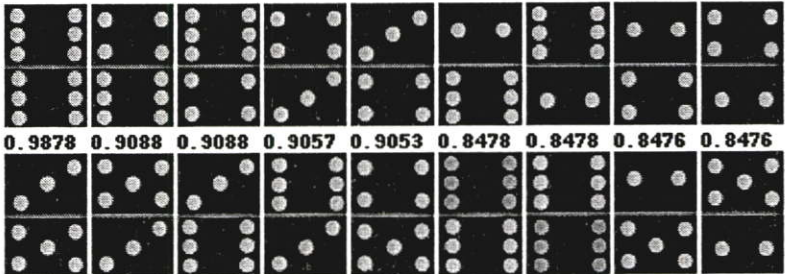
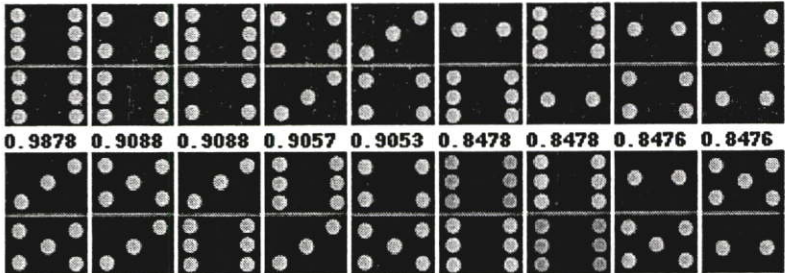
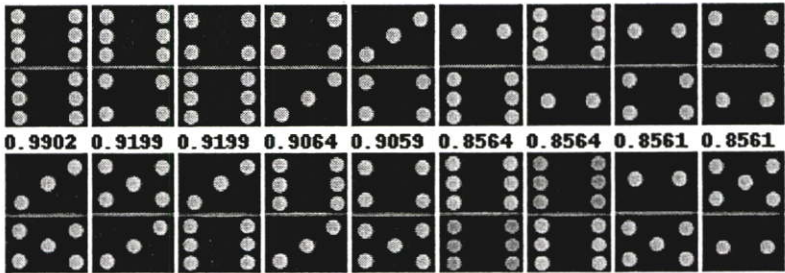
ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

CCR: 2 x 2 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	

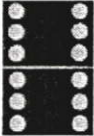
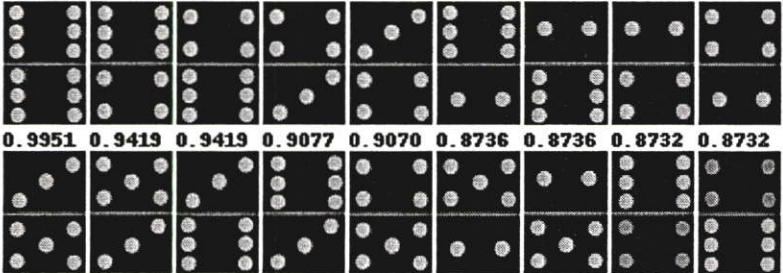
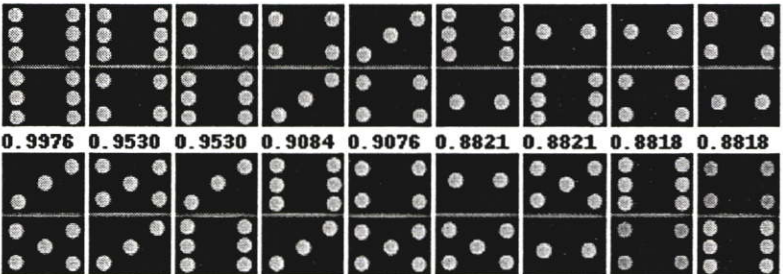
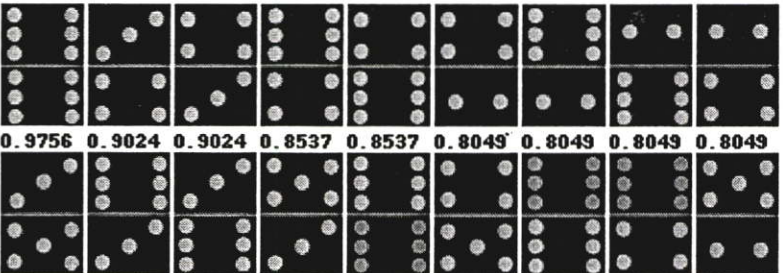
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วย CCR 4 x 4 บล็อกด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

CCR: 4 x 4 Block	<p>ภาพคำถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1.0000 0.9640 0.9640 0.9090 0.9082 0.8916 0.8916 0.8913 0.8913</p> <p>0.8910 0.8910 0.8910 0.8909 0.8909 0.8908 0.8908 0.8908 0.8908</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0.9780 0.9031 0.9030 0.8647 0.8647 0.8135 0.8135 0.8134 0.8134</p> <p>0.7915 0.7915 0.7915 0.7915 0.7696 0.7680 0.7680 0.7476 0.7476</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0.9805 0.9038 0.9036 0.8757 0.8757 0.8220 0.8220 0.8220 0.8220</p> <p>0.8026 0.8025 0.8025 0.8025 0.7831 0.7799 0.7799 0.7635 0.7635</p>
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	 <p>0.9829 0.9044 0.9042 0.8868 0.8868 0.8306 0.8306 0.8305 0.8305</p> <p>0.8136 0.8136 0.8135 0.8135 0.7966 0.7918 0.7918 0.7793 0.7793</p>

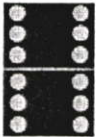
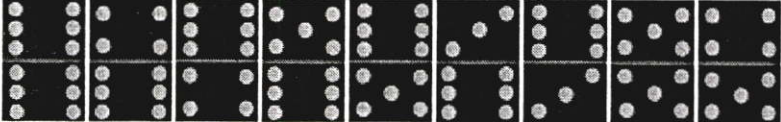
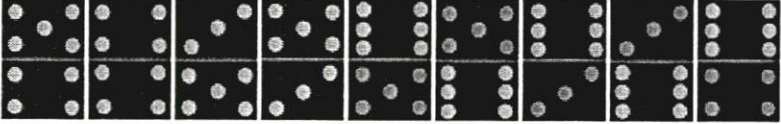
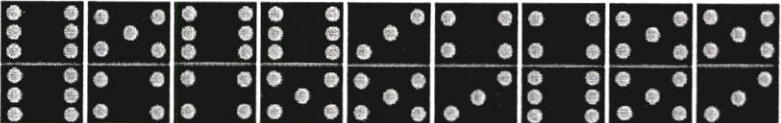
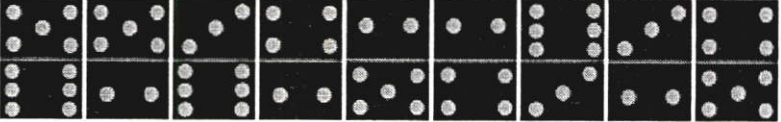
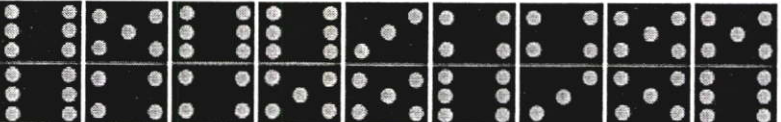
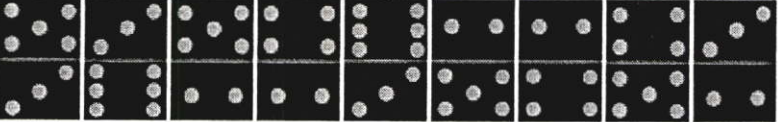
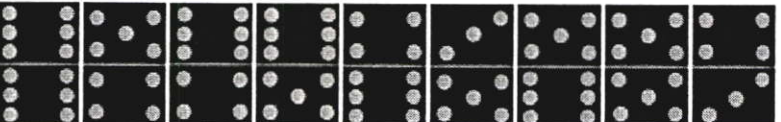
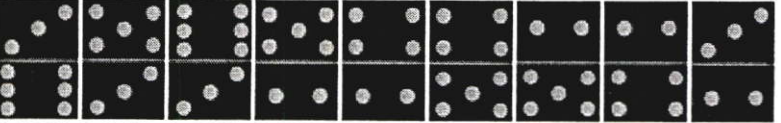
ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

CCR: 4 x 4 Block	<p style="text-align: center;">ภาพค่าถ้าม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	 <p>0.9854 0.9051 0.9047 0.8978 0.8978 0.8392 0.8392 0.8391 0.8391</p> <p>0.8246 0.8246 0.8245 0.8245 0.8101 0.8037 0.8037 0.7952 0.7952</p>
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	 <p>0.9878 0.9088 0.9088 0.9057 0.9053 0.8478 0.8478 0.8476 0.8476</p> <p>0.8357 0.8356 0.8355 0.8355 0.8236 0.8156 0.8156 0.8111 0.8111</p>
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	 <p>0.9878 0.9088 0.9088 0.9057 0.9053 0.8478 0.8478 0.8476 0.8476</p> <p>0.8357 0.8356 0.8355 0.8355 0.8236 0.8156 0.8156 0.8111 0.8111</p>
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	 <p>0.9902 0.9199 0.9199 0.9064 0.9059 0.8564 0.8564 0.8561 0.8561</p> <p>0.8467 0.8467 0.8465 0.8465 0.8371 0.8275 0.8275 0.8270 0.8270</p>


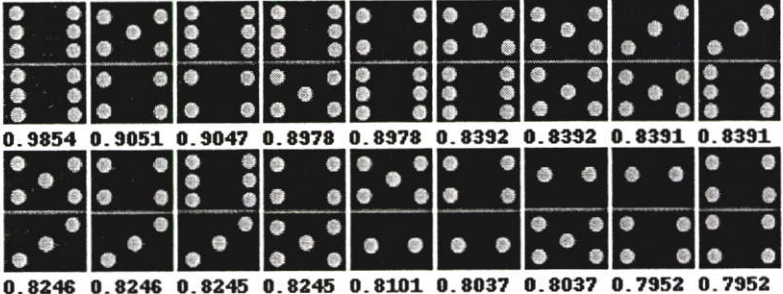
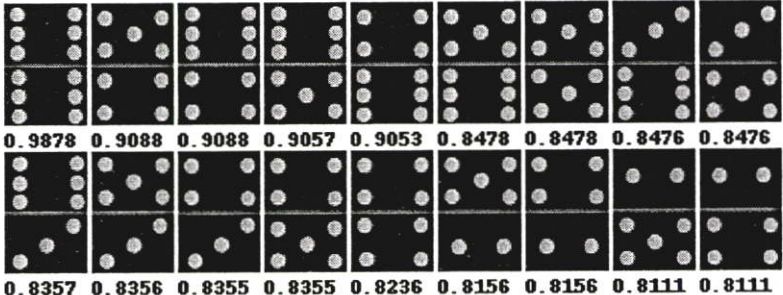
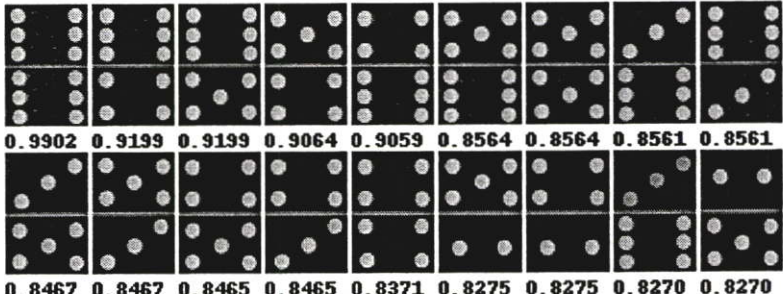
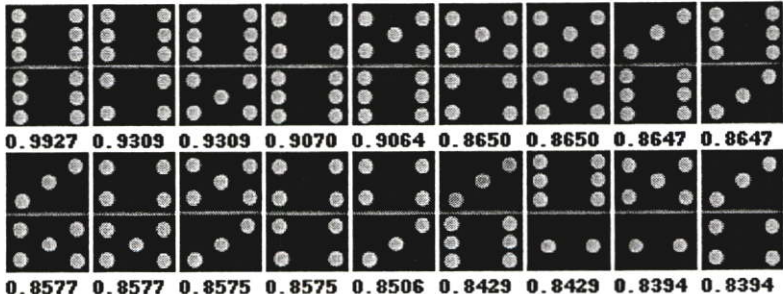
ตารางที่ 5.4 (ต่อ)

CCR: 4 x 4 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$	 <p>0.9951 0.9419 0.9419 0.9077 0.9070 0.8736 0.8736 0.8732 0.8732</p> <p>0.8688 0.8687 0.8685 0.8685 0.8640 0.8587 0.8587 0.8547 0.8547</p>
$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$	 <p>0.9976 0.9530 0.9530 0.9084 0.9076 0.8821 0.8821 0.8818 0.8818</p> <p>0.8798 0.8798 0.8795 0.8795 0.8775 0.8746 0.8746 0.8731 0.8731</p>
$S = S_2$	 <p>0.9756 0.9024 0.9024 0.8537 0.8537 0.8049 0.8049 0.8049 0.8049</p> <p>0.7805 0.7805 0.7805 0.7805 0.7561 0.7561 0.7561 0.7317 0.7317</p>

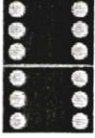
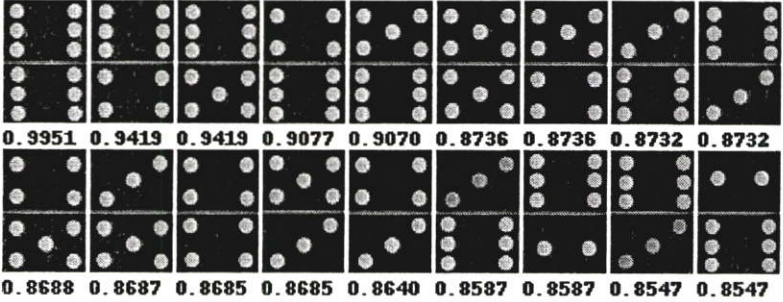
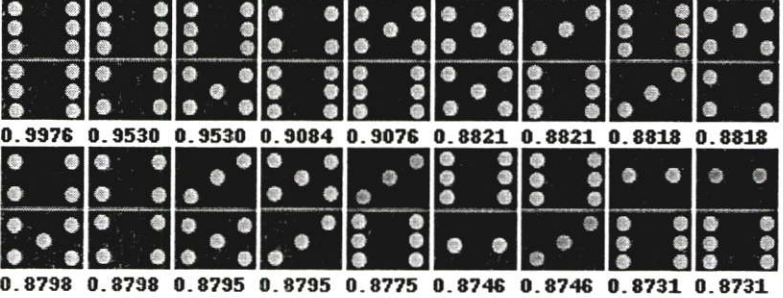
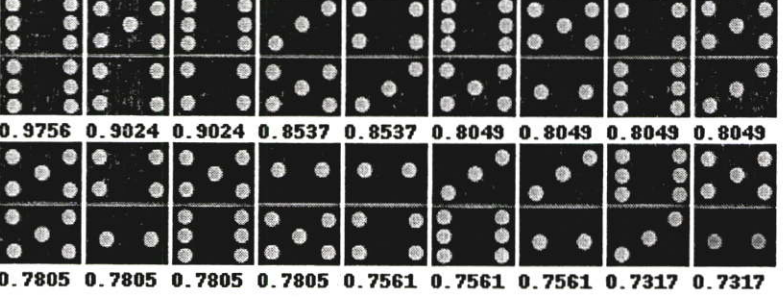
ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างผลการกั้นกั้นภาพโดมิโนด้วย CCR 8 x 8 บล็อกด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

CCR: 8 x 8 Block	<p>ภาพคำถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1.0000 0.9640 0.9640 0.9090 0.9082 0.8916 0.8916 0.8913 0.8913</p>  <p>0.8910 0.8910 0.8910 0.8909 0.8909 0.8908 0.8908 0.8908 0.8908</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0.9780 0.9031 0.9030 0.8647 0.8647 0.8135 0.8135 0.8134 0.8134</p>  <p>0.7915 0.7915 0.7915 0.7915 0.7696 0.7680 0.7680 0.7476 0.7476</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0.9805 0.9038 0.9036 0.8757 0.8757 0.8220 0.8220 0.8220 0.8220</p>  <p>0.8026 0.8025 0.8025 0.8025 0.7831 0.7799 0.7799 0.7635 0.7635</p>
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	 <p>0.9829 0.9044 0.9042 0.8868 0.8868 0.8306 0.8306 0.8305 0.8305</p>  <p>0.8136 0.8136 0.8135 0.8135 0.7966 0.7918 0.7918 0.7793 0.7793</p>


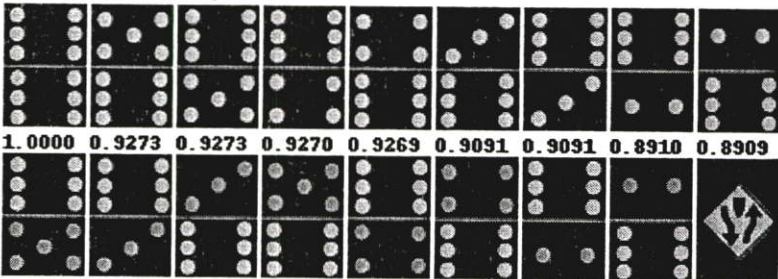
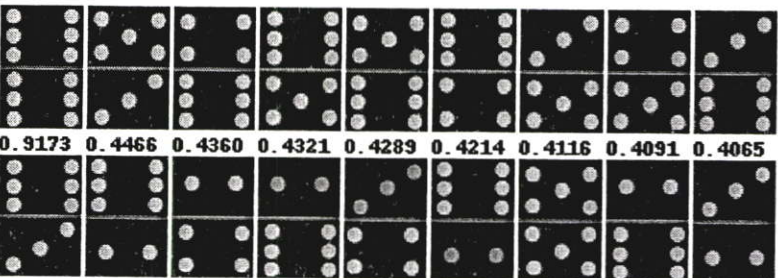
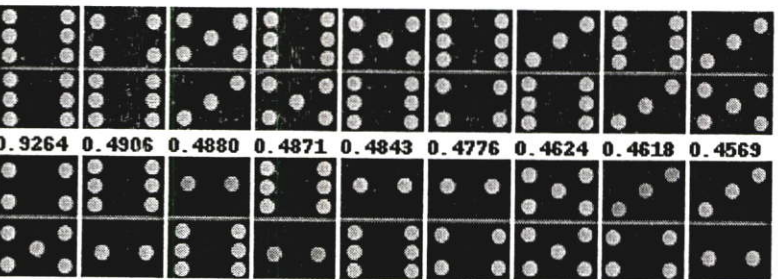
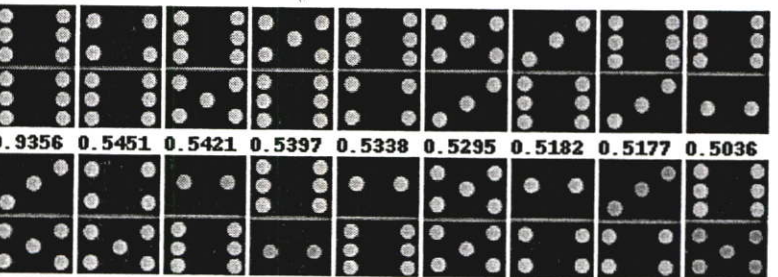
ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

CCR: 8 x 8 Block	<p style="text-align: center;">ภาพค่าตาม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	

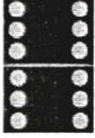
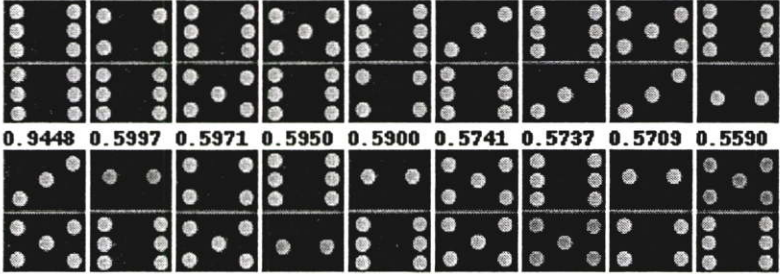
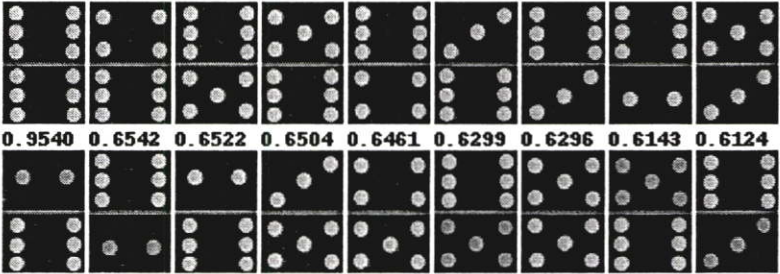
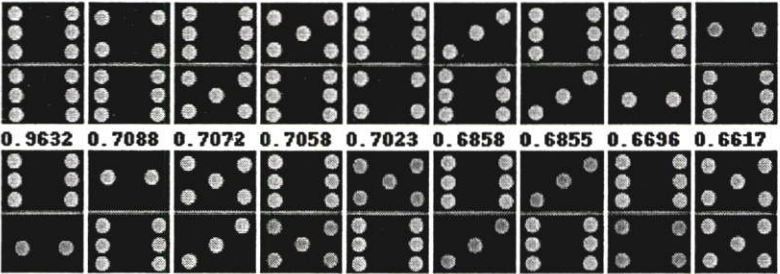
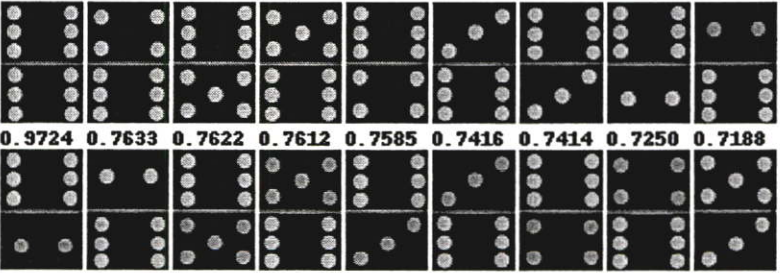
ตารางที่ 5.5 (ต่อ)

CCR: 8 x 8 Block	<p style="text-align: center;">ภาพค่าถ้าม</p> 
$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$	 <p>0.9951 0.9419 0.9419 0.9077 0.9070 0.8736 0.8736 0.8732 0.8732</p> <p>0.8688 0.8687 0.8685 0.8685 0.8640 0.8587 0.8587 0.8547 0.8547</p>
$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$	 <p>0.9976 0.9530 0.9530 0.9084 0.9076 0.8821 0.8821 0.8818 0.8818</p> <p>0.8798 0.8798 0.8795 0.8795 0.8775 0.8746 0.8746 0.8731 0.8731</p>
$S = S_2$	 <p>0.9756 0.9024 0.9024 0.8537 0.8537 0.8049 0.8049 0.8049 0.8049</p> <p>0.7805 0.7805 0.7805 0.7805 0.7561 0.7561 0.7561 0.7317 0.7317</p>


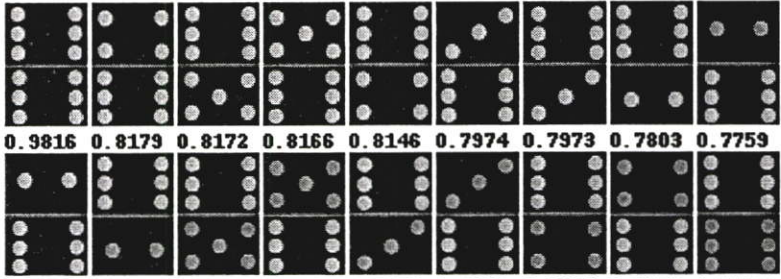
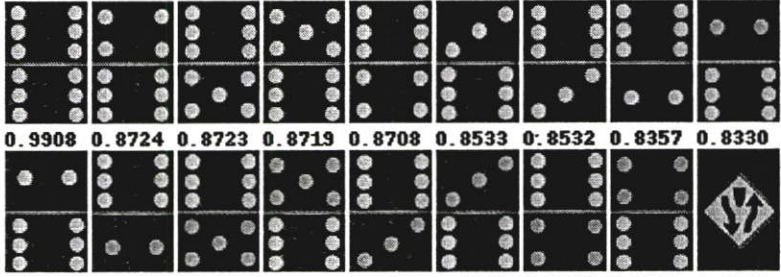
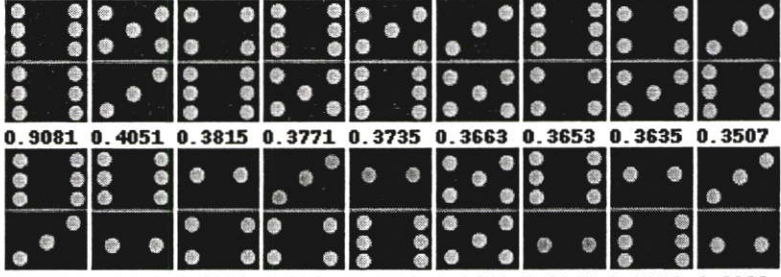
ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพโดมิโนด้วย CCR 16 x16 บล็อกด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

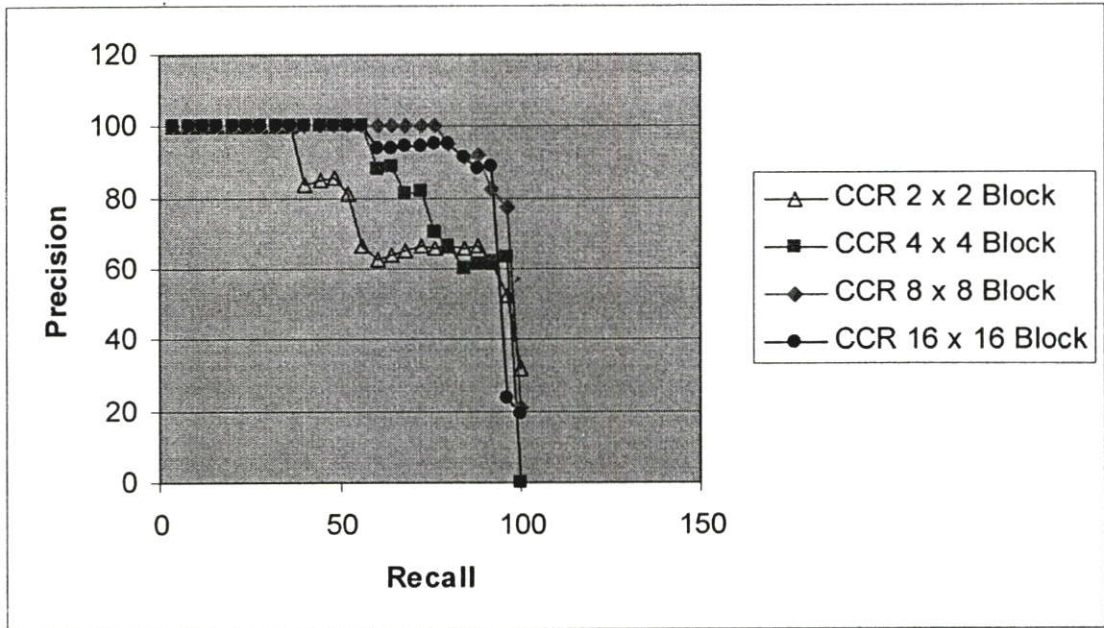
<p>CCR: 16 x 16 Block</p>	<p>ภาพคำถาม</p> 
<p>$S = S_1$</p>	 <p>1. 0000 0. 9273 0. 9273 0. 9270 0. 9269 0. 9091 0. 9091 0. 8910 0. 8909</p> <p>0. 8906 0. 8905 0. 8905 0. 8905 0. 8905 0. 8904 0. 8902 0. 8901 0. 8770</p>
<p>$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$</p>	 <p>0. 9173 0. 4466 0. 4360 0. 4321 0. 4289 0. 4214 0. 4116 0. 4091 0. 4065</p> <p>0. 4059 0. 3930 0. 3763 0. 3761 0. 3724 0. 3696 0. 3694 0. 3673 0. 3593</p>
<p>$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$</p>	 <p>0. 9264 0. 4906 0. 4880 0. 4871 0. 4843 0. 4776 0. 4624 0. 4618 0. 4569</p> <p>0. 4547 0. 4483 0. 4332 0. 4274 0. 4255 0. 4255 0. 4233 0. 4220 0. 4104</p>
<p>$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$</p>	 <p>0. 9356 0. 5451 0. 5421 0. 5397 0. 5338 0. 5295 0. 5182 0. 5177 0. 5036</p> <p>0. 5023 0. 5004 0. 4903 0. 4853 0. 4837 0. 4773 0. 4747 0. 4716 0. 4660</p>

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

CCR: 16 x 16 Block	<p style="text-align: center;">ภาพค่าถ้าม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	 <p style="text-align: center;"> 0.9448 0.5997 0.5971 0.5950 0.5900 0.5741 0.5737 0.5709 0.5590 0.5476 0.5474 0.5460 0.5431 0.5419 0.5312 0.5266 0.5238 0.5236 </p>
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	 <p style="text-align: center;"> 0.9540 0.6542 0.6522 0.6504 0.6461 0.6299 0.6296 0.6143 0.6124 0.6045 0.6010 0.6000 0.5930 0.5916 0.5873 0.5851 0.5847 0.5835 </p>
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	 <p style="text-align: center;"> 0.9632 0.7088 0.7072 0.7058 0.7023 0.6858 0.6855 0.6696 0.6617 0.6588 0.6582 0.6539 0.6479 0.6459 0.6449 0.6438 0.6398 0.6391 </p>
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	 <p style="text-align: center;"> 0.9724 0.7633 0.7622 0.7612 0.7585 0.7416 0.7414 0.7250 0.7188 0.7166 0.7164 0.7086 0.7070 0.7063 0.7054 0.7025 0.6971 0.6953 </p>

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

<p>CCR: 16 x 16 Block</p>	<p>ภาพคำถาม</p> 
<p>$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$</p>	 <p>0.9816 0.8179 0.8172 0.8166 0.8146 0.7974 0.7973 0.7803 0.7759</p> <p>0.7746 0.7745 0.7693 0.7682 0.7677 0.7671 0.7651 0.7615 0.7485</p>
<p>$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$</p>	 <p>0.9908 0.8724 0.8723 0.8719 0.8708 0.8533 0.8532 0.8357 0.8330</p> <p>0.8328 0.8323 0.8299 0.8293 0.8291 0.8288 0.8278 0.8260 0.8118</p>
<p>$S = S_2$</p>	 <p>0.9081 0.4051 0.3815 0.3771 0.3735 0.3663 0.3653 0.3635 0.3507</p> <p>0.3500 0.3376 0.3271 0.3228 0.3190 0.3154 0.3118 0.3091 0.3083</p>



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพโดมิโนด้วย CCR ที่ขนาดบล็อกแตกต่างกัน


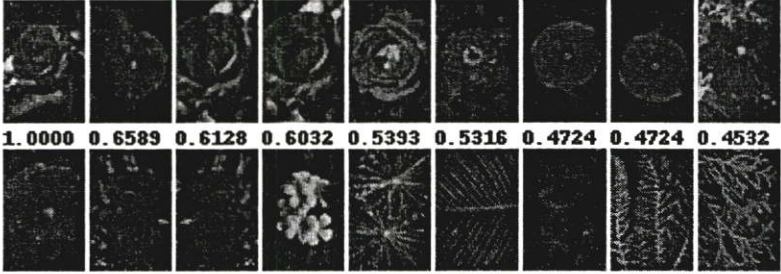
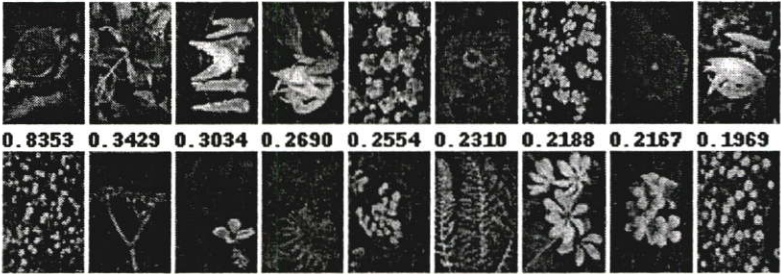
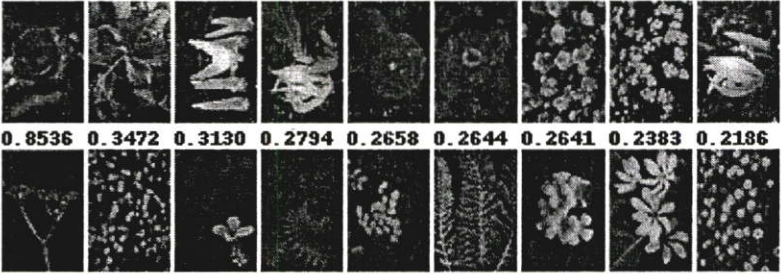
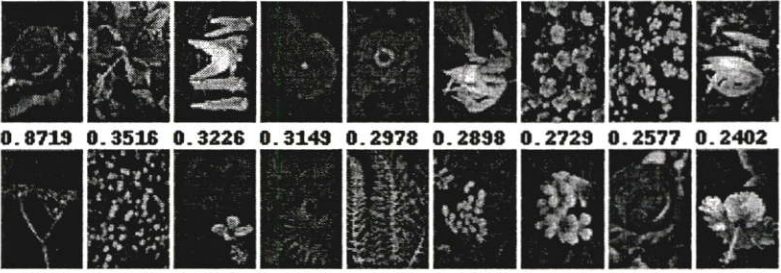
จากการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงดังตารางที่ 5.7 ที่ทำการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อก เมื่อทำการวัดความเหมือนโดยใช้ค่า S_1 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนนั้น รูปใบไม้สีเขียวหรือดอกไมสีขาวจะถูกค้นคืนขึ้นมา เนื่องมาจากการแบ่งบล็อกออกเป็น 2 x 2 บล็อก ทำให้การพิจารณาในลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีไม่สามารถทำการพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสีได้ใกล้เคียงกับการเกาะกลุ่มกันของสีที่เกิดขึ้นภายในภาพ และที่สำคัญ S_1 เป็นการพิจารณาความเหมือนกันของปริมาณสีในแต่ละกลุ่ม ดังนั้นเมื่อไม่สามารถแยกการเกาะกลุ่มกันของสีที่ชัดเจนได้ จึงทำให้การวัดปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสีเป็นการวัดปริมาณกลุ่มสีที่เกิดขึ้นทั้งภาพ จึงทำให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีปริมาณของกลุ่มสีเขียวที่ใกล้เคียงกับกลุ่มสีเขียวของภาพคำถาม ดังนั้นจึงทำให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นเป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถาม เมื่อทำการค้นคืนโดยพิจารณา S_2 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าผลการค้นคืนนั้นมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ เพราะการพิจารณาการเกิดร่วมกันของสีนั้นทำการพิจารณาจากสีที่เกิดร่วมมากที่สุดของแต่ละกลุ่มสีเพียงสีเขียวเท่านั้น ดังนั้นเมื่อภาพมีลักษณะการเปลี่ยนสีในลักษณะของการไล่เฉดสีจะทำให้การพิจารณาการเกิดร่วมกันของสีมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร เมื่อทำการค้นคืนโดยให้ค่าน้ำหนักของ $S_1 > S_2$ ผลของการค้นคืนในตารางที่ 5.7 จะมีความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก เนื่องจากการค้นคืนด้วยลักษณะเช่นนี้จะเป็นการให้ความสำคัญต่อปริมาณสีที่เกาะกลุ่มกัน ดังนั้นเมื่อไม่สามารถแบ่งการเกาะกลุ่มกันของสีที่ชัดเจนได้ถึงส่งผลให้ผลการค้นคืนมีความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก เมื่อทำการค้นคืนโดยให้ค่าน้ำหนักของ $S_1 < S_2$ ผลการค้นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำก็ยังไม่มากนัก เนื่องจากการให้ความสำคัญต่อสีที่ปรากฏร่วมโดยการพิจารณาเพียงค่าสีเดียวที่เกิดร่วมของแต่ละกลุ่มสีนั้น ไม่สามารถใช้

พิจารณากับภาพในลักษณะของภาพธรรมชาติได้ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ผลของการคั่นคืนมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ และเมื่อทำการพิจารณาโดยให้ค่าน้ำหนักของ $S_1 = S_2$ ผลของการคั่นคืนจะเป็นการพิจารณาทั้งปริมาณสีที่เกาะกลุ่มกันของแต่ละกลุ่มสี และการพิจารณาสีที่ปรากฏร่วมสูงสุด แต่ผลของการคั่นคืนก็ยังคงมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ เพราะว่าขนาดของบล็อกส่งผลต่อการพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสี ดังนั้นจึงทำให้ผลการคั่นคืนมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ


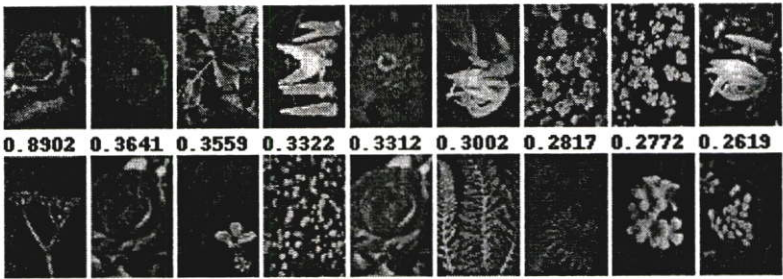
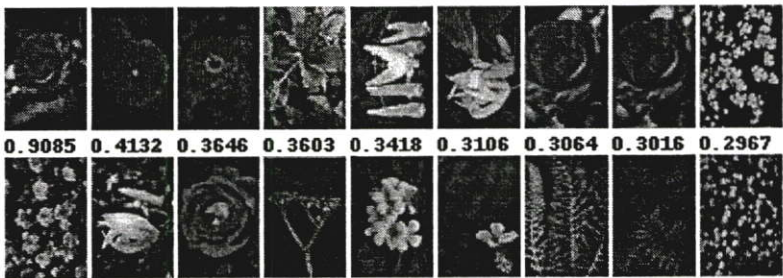
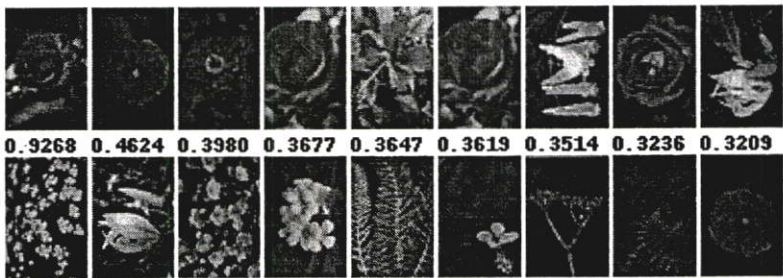
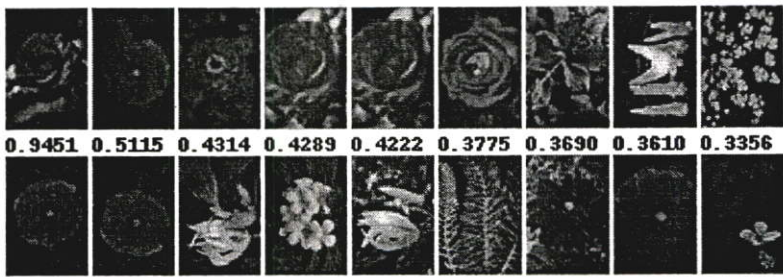
จากตารางที่ 5.8 – 5.10 เป็นการคั่นคืนภาพด้วย CCR 4 x 4 8 x 8 และ 16 x 16 บล็อก เมื่อพิจารณาการคั่นคืนโดยให้ค่าน้ำหนักของ S_1 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าการคั่นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำที่ดียิ่งขึ้นเรื่อยๆ ตามขนาดของบล็อกที่แบ่งให้เล็กลง ดังนั้นการคั่นคืนด้วย S_1 จึงขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อก เพราะ CCR ทำการแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีโดยอ้างอิงจากขนาดของบล็อก จึงทำให้การพิจารณาปริมาณของแต่ละกลุ่มสีมีค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสีที่เกิดขึ้นจริงเมื่อทำการพิจารณาจากบล็อกที่มีขนาดเล็ก และเมื่อทำการพิจารณาการคั่นคืนภาพโดยให้ค่าน้ำหนักของ S_2 เพียงอย่างเดียวจะเห็นได้ว่าผลของการคั่นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ ถึงแม้จะทำการแบ่งขนาดของบล็อกที่ใช้พิจารณาให้เล็กลง ก็ยังให้ผลการคั่นคืนมีความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก เนื่องจากการพิจารณาการเกิดร่วมกันของสีเพียงสีเดียวเท่านั้นจึงทำให้เมื่อพิจารณาภาพธรรมชาติจึงทำให้ผลการคั่นคืนไม่คั่น แต่ภาพที่ถูกคั่นคืนมานั้นก็ยังเป็นภาพที่มีพื้นหลังเป็นสีเดียวกันกับภาพคำถาม เมื่อทำการพิจารณาการคั่นคืนโดยให้ค่าน้ำหนัก $S_1 = S_2$ จะเห็นได้ว่าผลของการคั่นคืนจะมีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องมาจากเป็นการนำคุณสมบัติที่ดีของการให้ค่าน้ำหนักของ S_1 และ S_2 เพียงอย่างเดียวมาทำการหาค่าเฉลี่ย จึงทำให้การคั่นคืนด้วย $S = 0.5S_1 + 0.5S_2$ ให้ผลการคั่นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการคั่นคืนด้วย CCR ที่มีขนาดของบล็อกเล็กลง

จากรูปที่ 5.8 เป็นรูปภาพแสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนของภาพดอกไม้สีแดง โดยใช้การวัดค่าความเหมือนกันของ CCR ที่ให้ค่าความสำคัญของการวัดปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสีเท่ากับการพิจารณาการเกิดสีร่วมกันสูงสุดของแต่ละกลุ่ม ($S = 0.5S_1 + 0.5S_2$) ซึ่งจะทำการวัดค่าความถูกต้องแม่นยำ และการเรียกคืนด้วย CCR ขนาด 2 x 2, 4 x 4, 8 x 8 และ 16 x 16 บล็อก โดยผลของการคั่นคืนด้วย CCR 8 x 8 และ 16 x 16 บล็อกจะมีความถูกต้องแม่นยำสูง และให้ผลการคั่นคืนที่ใกล้เคียงกัน จึงให้กราฟที่แสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และสำหรับการคั่นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกจะให้ผลการคั่นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำต่ำที่สุด เส้นกราฟแสดงผลจึงอยู่ต่ำที่สุด


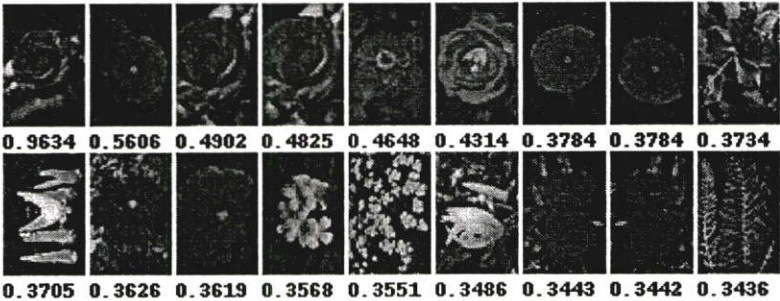
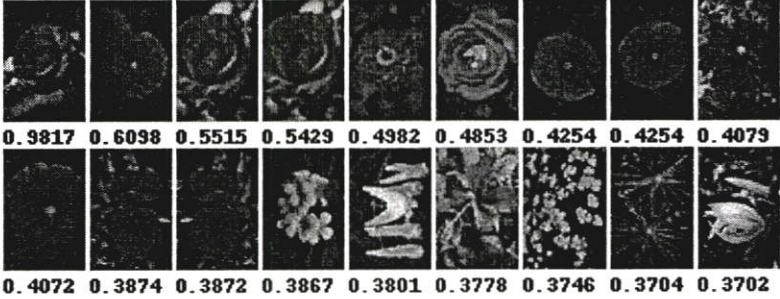
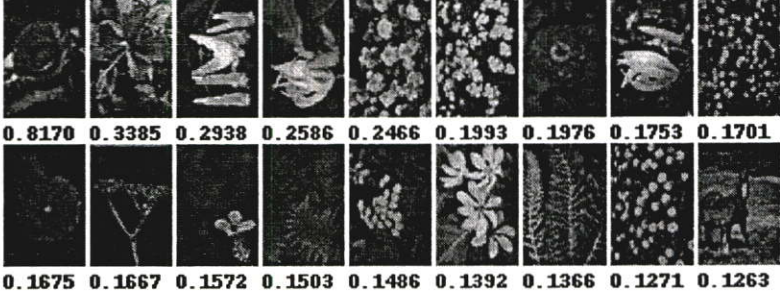
ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR2 x2 บล็อกที่ค่านำหนักที่แตกต่างกัน

CCR: 2 x 2 Block	<p>ภาพคำถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1. 0000 0. 6589 0. 6128 0. 6032 0. 5393 0. 5316 0. 4724 0. 4724 0. 4532</p> <p>0. 4524 0. 4304 0. 4303 0. 4166 0. 4069 0. 4009 0. 3987 0. 3954 0. 3947</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0. 8353 0. 3429 0. 3034 0. 2690 0. 2554 0. 2310 0. 2188 0. 2167 0. 1969</p> <p>0. 1882 0. 1869 0. 1791 0. 1727 0. 1691 0. 1625 0. 1515 0. 1476 0. 1423</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0. 8536 0. 3472 0. 3130 0. 2794 0. 2658 0. 2644 0. 2641 0. 2383 0. 2186</p> <p>0. 2072 0. 2063 0. 2010 0. 1951 0. 1895 0. 1884 0. 1775 0. 1638 0. 1575</p>
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	 <p>0. 8719 0. 3516 0. 3226 0. 3149 0. 2978 0. 2898 0. 2729 0. 2577 0. 2402</p> <p>0. 2274 0. 2244 0. 2229 0. 2175 0. 2142 0. 2100 0. 2074 0. 1838 0. 1835</p>


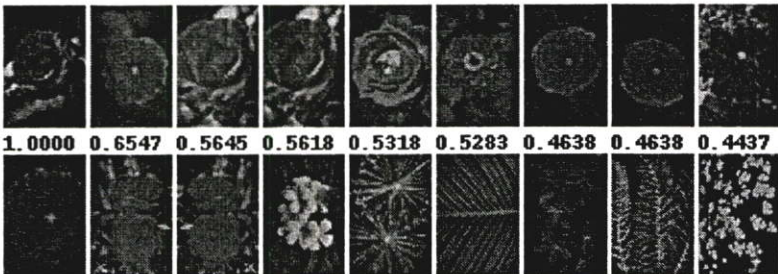
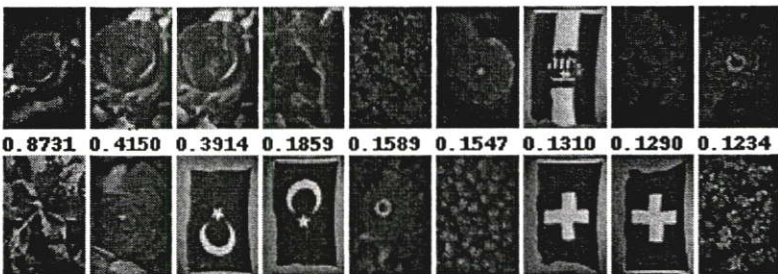
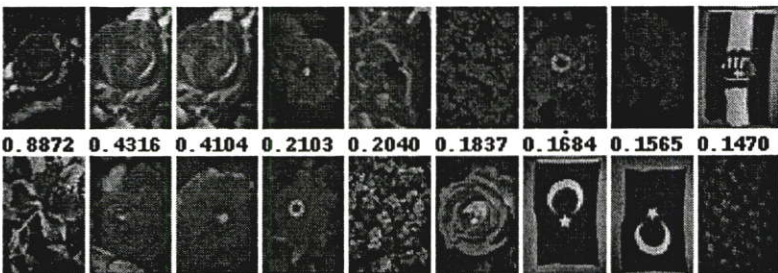
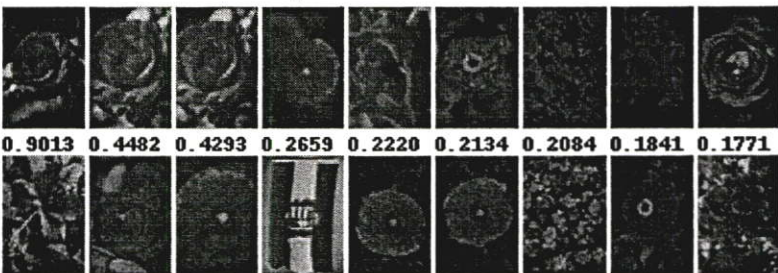
ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

CCR: 2 x 2 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	 <p>0.8902 0.3641 0.3559 0.3322 0.3312 0.3002 0.2817 0.2772 0.2619</p> <p>0.2477 0.2451 0.2448 0.2425 0.2413 0.2401 0.2398 0.2373 0.2305</p>
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	 <p>0.9085 0.4132 0.3646 0.3603 0.3418 0.3106 0.3064 0.3016 0.2967</p> <p>0.2905 0.2836 0.2696 0.2679 0.2672 0.2667 0.2660 0.2622 0.2606</p>
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	 <p>0.9268 0.4624 0.3980 0.3677 0.3647 0.3619 0.3514 0.3236 0.3209</p> <p>0.3161 0.3052 0.2993 0.2971 0.2919 0.2885 0.2882 0.2846 0.2845</p>
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	 <p>0.9451 0.5115 0.4314 0.4289 0.4222 0.3775 0.3690 0.3610 0.3356</p> <p>0.3314 0.3314 0.3313 0.3270 0.3269 0.3177 0.3173 0.3167 0.3104</p>


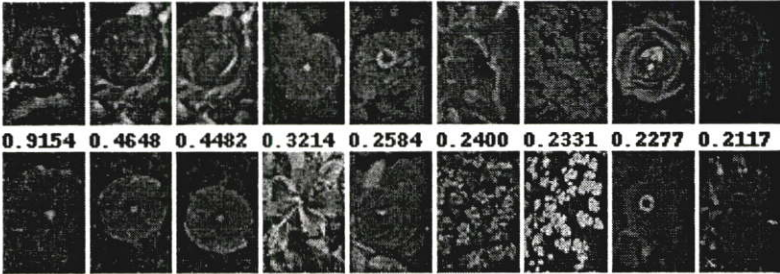
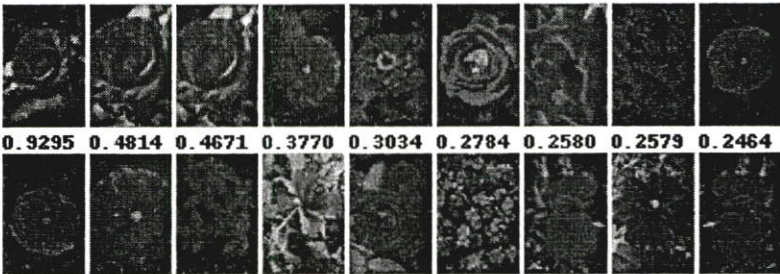
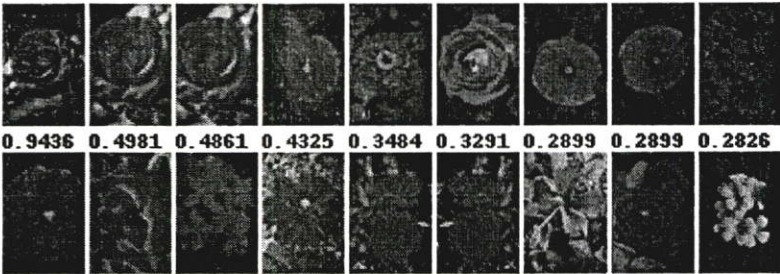
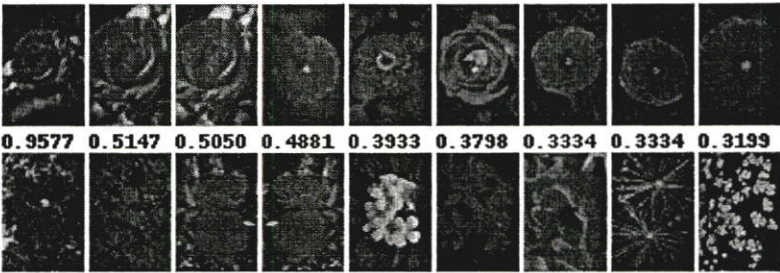
ตารางที่ 5.7 (ต่อ)

CCR: 2 x 2 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$	 <p>0.9634 0.5606 0.4902 0.4825 0.4648 0.4314 0.3784 0.3784 0.3734</p> <p>0.3705 0.3626 0.3619 0.3568 0.3551 0.3486 0.3443 0.3442 0.3436</p>
$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$	 <p>0.9817 0.6098 0.5515 0.5429 0.4982 0.4853 0.4254 0.4254 0.4079</p> <p>0.4072 0.3874 0.3872 0.3867 0.3801 0.3778 0.3746 0.3704 0.3702</p>
$S = S_2$	 <p>0.8170 0.3385 0.2938 0.2586 0.2466 0.1993 0.1976 0.1753 0.1701</p> <p>0.1675 0.1667 0.1572 0.1503 0.1486 0.1392 0.1366 0.1271 0.1263</p>


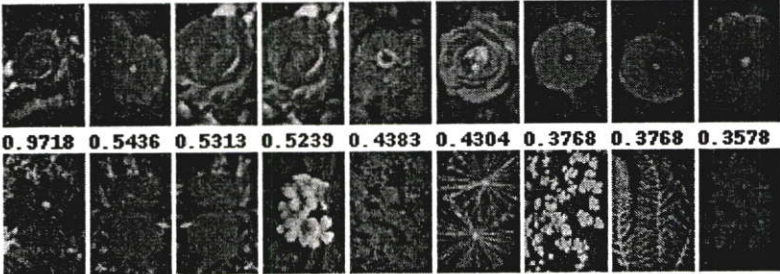
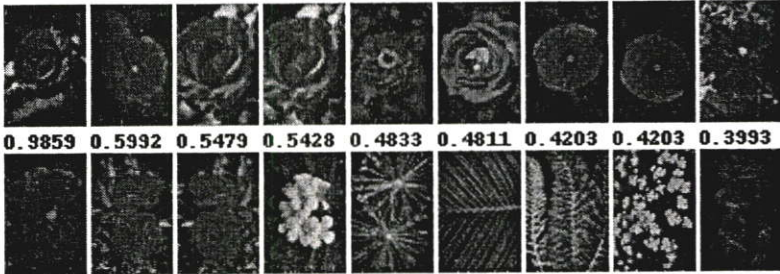
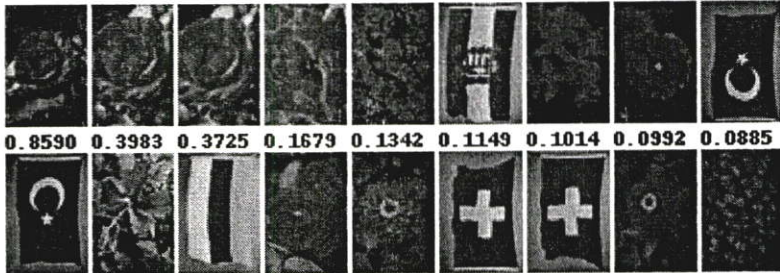
ตารางที่ 5.8 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR4 x 4 บล็อกที่ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

CCR: 4 x 4 Block	<p>ภาพคำถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1. 0000 0. 6547 0. 5645 0. 5618 0. 5318 0. 5283 0. 4638 0. 4638 0. 4437</p> <p>0. 4334 0. 4288 0. 4286 0. 4155 0. 4054 0. 4000 0. 3973 0. 3943 0. 3925</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0. 8731 0. 4150 0. 3914 0. 1859 0. 1589 0. 1547 0. 1310 0. 1290 0. 1234</p> <p>0. 1168 0. 1105 0. 1073 0. 1073 0. 1025 0. 1000 0. 0983 0. 0983 0. 0949</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0. 8872 0. 4316 0. 4104 0. 2103 0. 2040 0. 1837 0. 1684 0. 1565 0. 1470</p> <p>0. 1453 0. 1397 0. 1309 0. 1290 0. 1270 0. 1264 0. 1262 0. 1262 0. 1253</p>
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	 <p>0. 9013 0. 4482 0. 4293 0. 2659 0. 2220 0. 2134 0. 2084 0. 1841 0. 1771</p> <p>0. 1738 0. 1689 0. 1687 0. 1631 0. 1595 0. 1595 0. 1590 0. 1556 0. 1515</p>


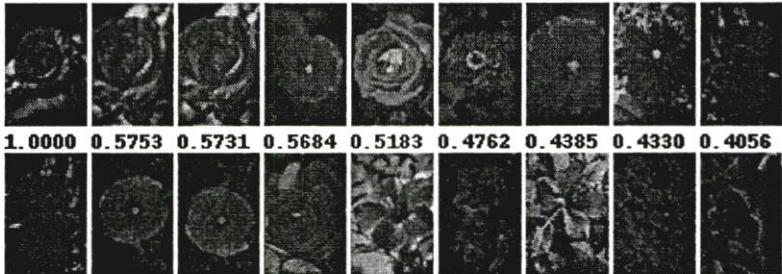
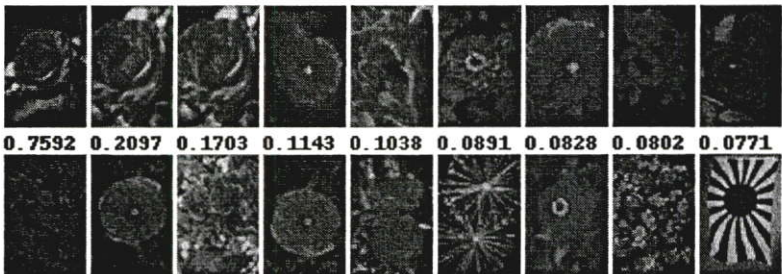
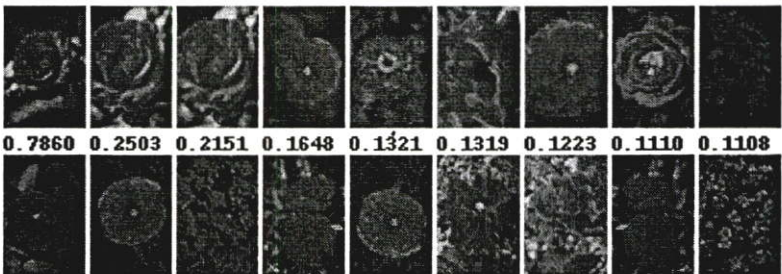
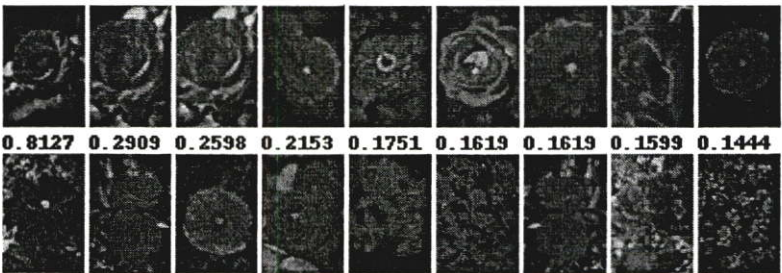
ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

CCR: 4 x 4 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	 <p>0.9154 0.4648 0.4482 0.3214 0.2584 0.2400 0.2331 0.2277 0.2117</p> <p>0.2065 0.2029 0.2029 0.2023 0.1981 0.1911 0.1841 0.1821 0.1819</p>
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	 <p>0.9295 0.4814 0.4671 0.3770 0.3034 0.2784 0.2580 0.2579 0.2464</p> <p>0.2464 0.2443 0.2393 0.2307 0.2273 0.2231 0.2230 0.2218 0.2194</p>
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	 <p>0.9436 0.4981 0.4861 0.4325 0.3484 0.3291 0.2899 0.2899 0.2826</p> <p>0.2821 0.2760 0.2669 0.2662 0.2642 0.2613 0.2592 0.2564 0.2560</p>
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	 <p>0.9577 0.5147 0.5050 0.4881 0.3933 0.3798 0.3334 0.3334 0.3199</p> <p>0.3106 0.3074 0.3054 0.3031 0.2959 0.2945 0.2940 0.2920 0.2883</p>


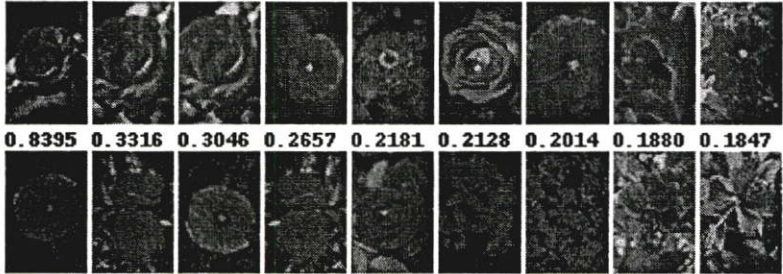
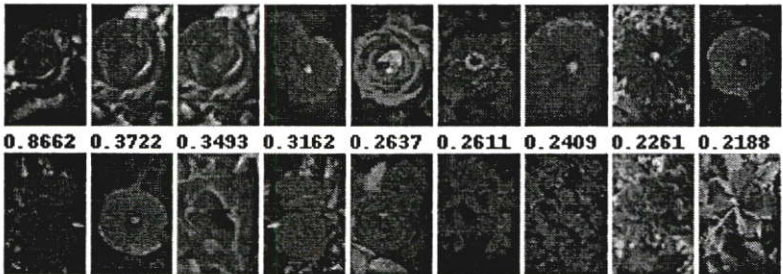
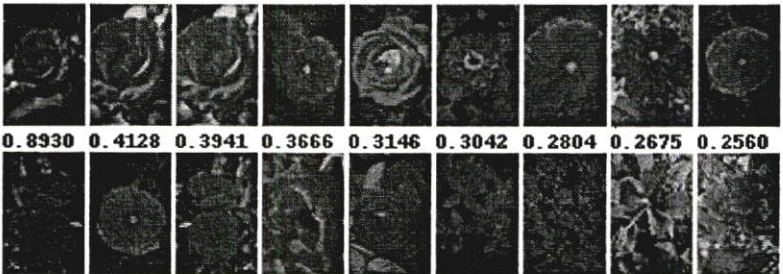
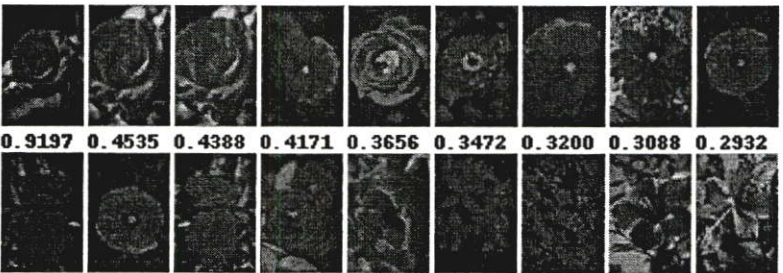
ตารางที่ 5.8 (ต่อ)

CCR: 4 x 4 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$	 <p>0.9718 0.5436 0.5313 0.5239 0.4383 0.4304 0.3768 0.3768 0.3578</p> <p>0.3549 0.3465 0.3450 0.3357 0.3321 0.3298 0.3230 0.3223 0.3221</p>
$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$	 <p>0.9859 0.5992 0.5479 0.5428 0.4833 0.4811 0.4203 0.4203 0.3993</p> <p>0.3956 0.3877 0.3868 0.3756 0.3676 0.3600 0.3583 0.3578 0.3576</p>
$S = S_2$	 <p>0.8590 0.3983 0.3725 0.1679 0.1342 0.1149 0.1014 0.0992 0.0885</p> <p>0.0885 0.0884 0.0832 0.0814 0.0784 0.0771 0.0771 0.0759 0.0747</p>


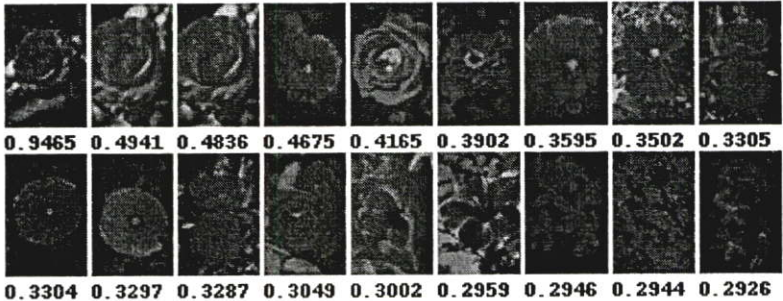
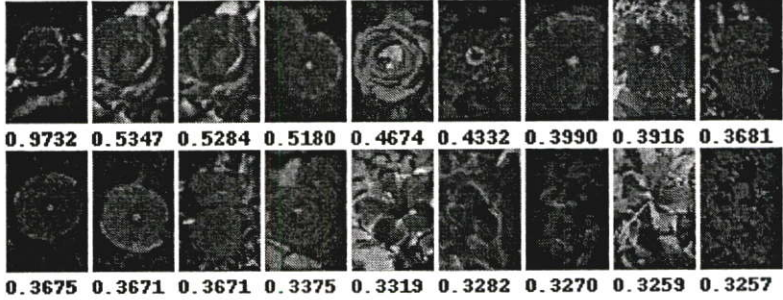
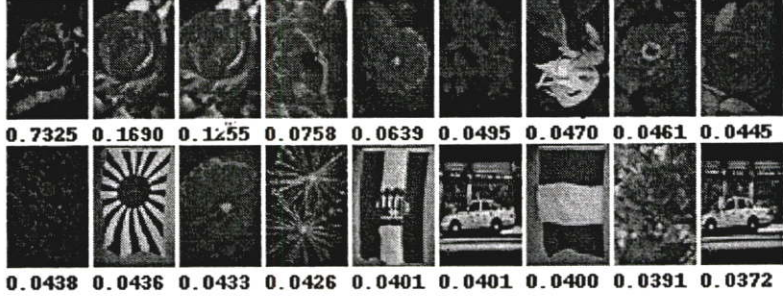
ตารางที่ 5.9 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR8 x 8 บล็อกที่ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

CCR: 8 x 8 Block	<p>ภาพคำถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1.0000 0.5753 0.5731 0.5684 0.5183 0.4762 0.4385 0.4330 0.4056</p> <p>0.4054 0.4047 0.4046 0.3700 0.3678 0.3614 0.3592 0.3571 0.3563</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0.7592 0.2097 0.1703 0.1143 0.1038 0.0891 0.0828 0.0802 0.0771</p> <p>0.0752 0.0701 0.0701 0.0676 0.0675 0.0648 0.0645 0.0644 0.0643</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0.7860 0.2503 0.2151 0.1648 0.1321 0.1319 0.1223 0.1110 0.1108</p> <p>0.1096 0.1073 0.1065 0.1051 0.1051 0.1020 0.1011 0.0984 0.0953</p>
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	 <p>0.8127 0.2909 0.2598 0.2153 0.1751 0.1619 0.1619 0.1599 0.1444</p> <p>0.1433 0.1427 0.1425 0.1422 0.1414 0.1378 0.1368 0.1321 0.1263</p>

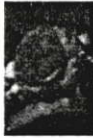
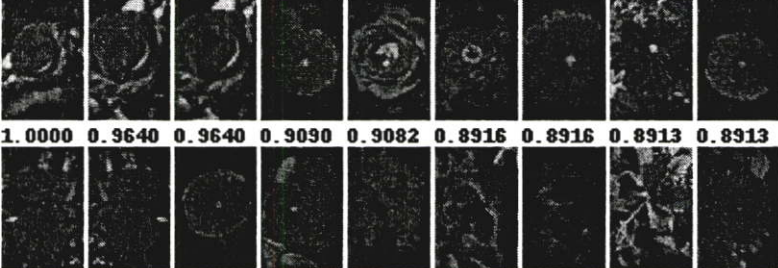
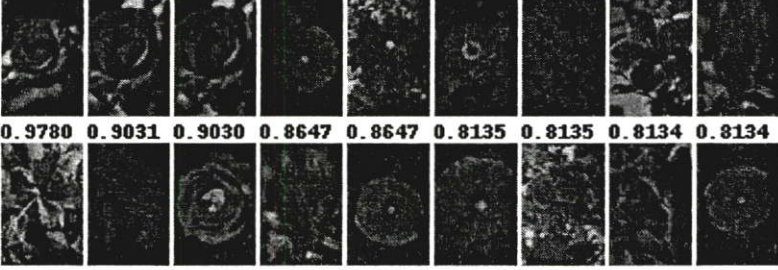
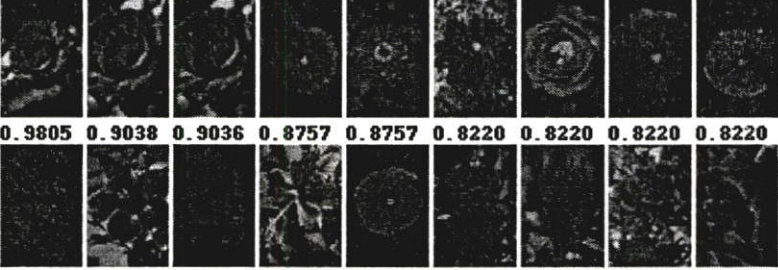
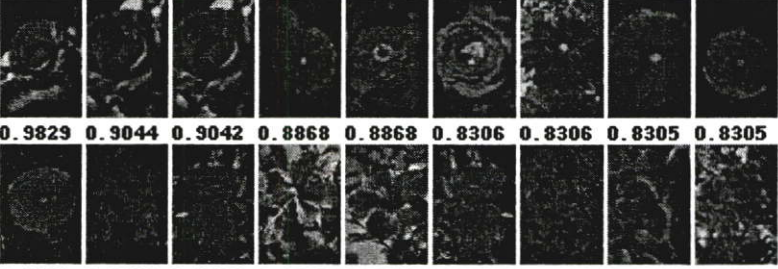
ตารางที่ 5.9 (ต่อ)

CCR: 8 x 8 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	 <p>0.8395 0.3316 0.3046 0.2657 0.2181 0.2128 0.2014 0.1880 0.1847</p> <p>0.1816 0.1802 0.1800 0.1752 0.1747 0.1721 0.1691 0.1631 0.1594</p>
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	 <p>0.8662 0.3722 0.3493 0.3162 0.2637 0.2611 0.2409 0.2261 0.2188</p> <p>0.2178 0.2174 0.2160 0.2136 0.2073 0.2027 0.2004 0.1941 0.1927</p>
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	 <p>0.8930 0.4128 0.3941 0.3666 0.3146 0.3042 0.2804 0.2675 0.2560</p> <p>0.2554 0.2548 0.2519 0.2441 0.2398 0.2333 0.2318 0.2260 0.2251</p>
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	 <p>0.9197 0.4535 0.4388 0.4171 0.3656 0.3472 0.3200 0.3088 0.2932</p> <p>0.2929 0.2923 0.2903 0.2724 0.2721 0.2640 0.2631 0.2600 0.2593</p>


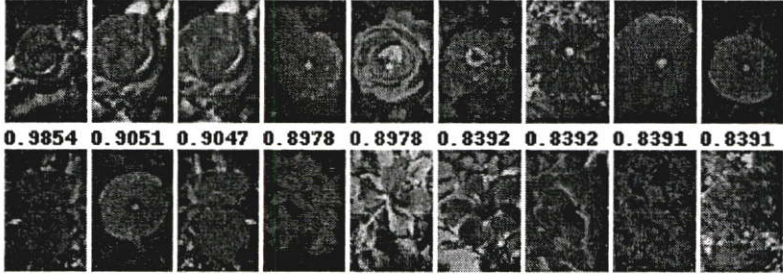
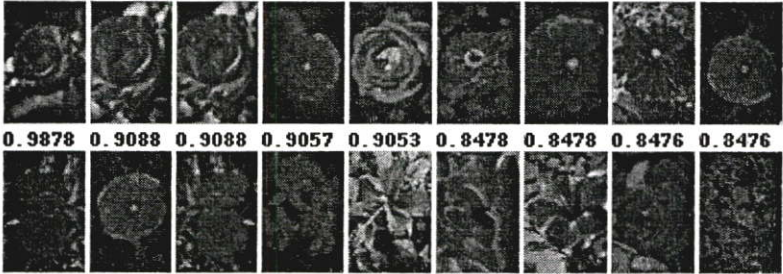
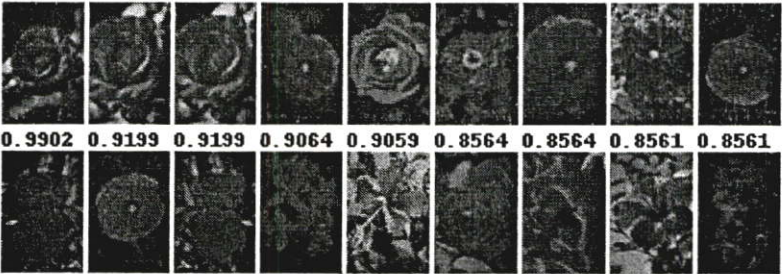
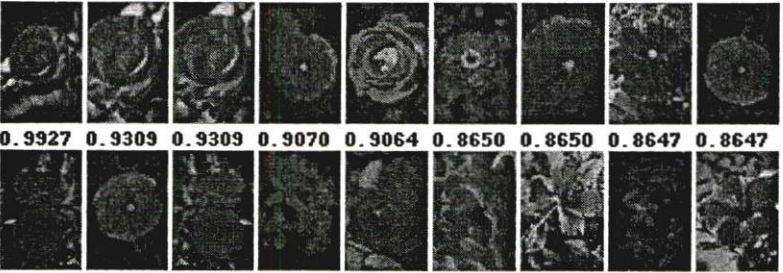
ตารางที่ 5.9 (ต่อ)

CCR: 8 x 8 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$	 <p>0.9465 0.4941 0.4836 0.4675 0.4165 0.3902 0.3595 0.3502 0.3305</p> <p>0.3304 0.3297 0.3287 0.3049 0.3002 0.2959 0.2946 0.2944 0.2926</p>
$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$	 <p>0.9732 0.5347 0.5284 0.5180 0.4674 0.4332 0.3990 0.3916 0.3681</p> <p>0.3675 0.3671 0.3671 0.3375 0.3319 0.3282 0.3270 0.3259 0.3257</p>
$S = S_2$	 <p>0.7325 0.1690 0.1255 0.0758 0.0639 0.0495 0.0470 0.0461 0.0445</p> <p>0.0438 0.0436 0.0433 0.0426 0.0401 0.0401 0.0400 0.0391 0.0372</p>


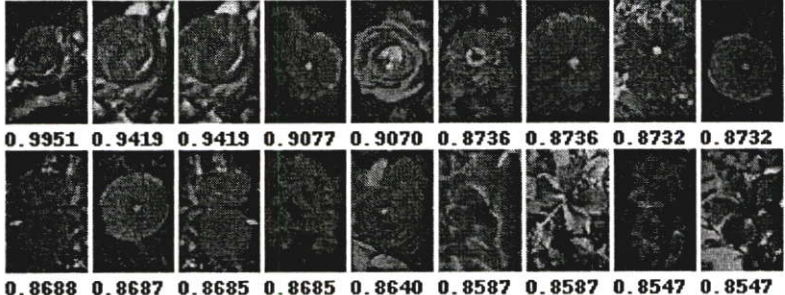
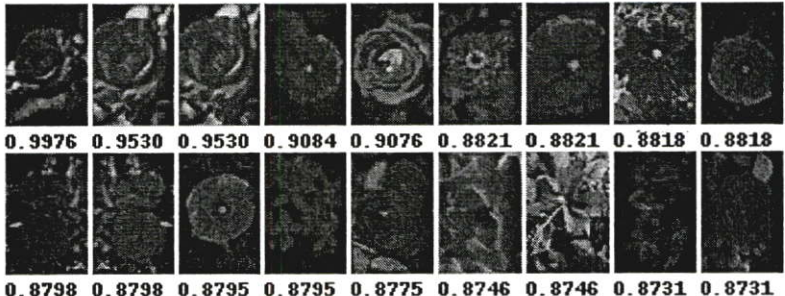
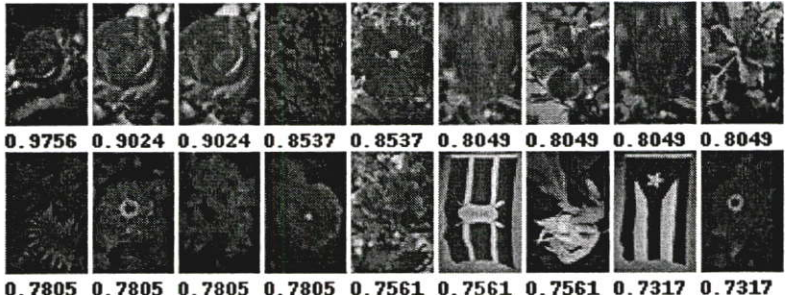
ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR 16 x 16 บล็อกที่ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน

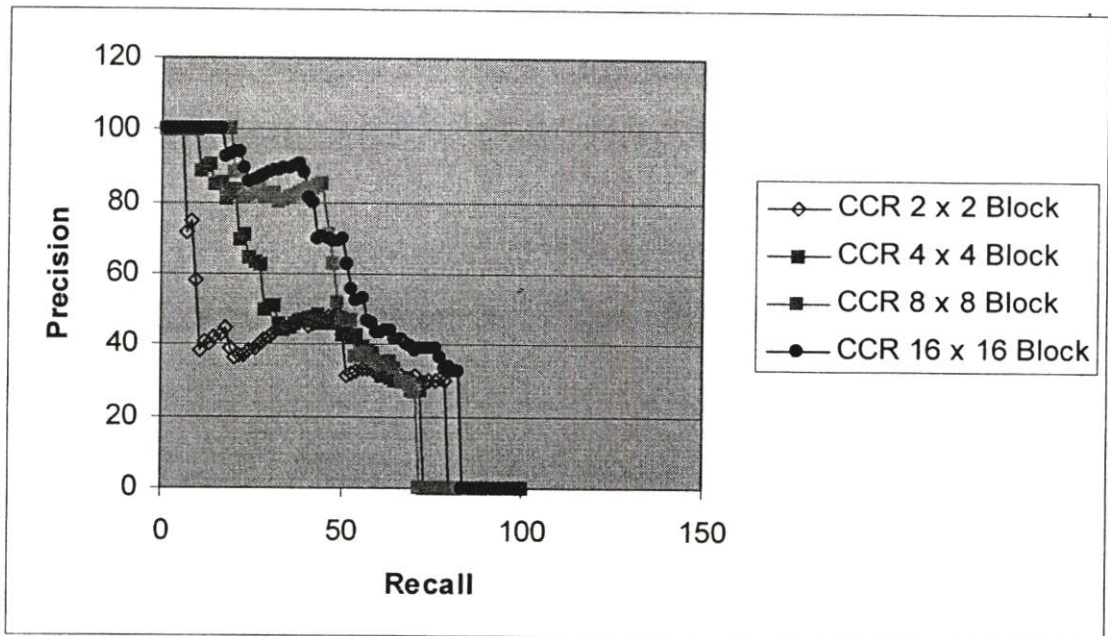
CCR: 16 x 16 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = S_1$	 <p>1.0000 0.9640 0.9640 0.9090 0.9082 0.8916 0.8916 0.8913 0.8913</p> <p>0.8910 0.8910 0.8910 0.8909 0.8909 0.8908 0.8908 0.8908 0.8908</p>
$S = 0.1S_1 + 0.9S_2$	 <p>0.9780 0.9031 0.9030 0.8647 0.8647 0.8135 0.8135 0.8134 0.8134</p> <p>0.7915 0.7915 0.7915 0.7915 0.7696 0.7680 0.7680 0.7476 0.7476</p>
$S = 0.2S_1 + 0.8S_2$	 <p>0.9805 0.9038 0.9036 0.8757 0.8757 0.8220 0.8220 0.8220 0.8220</p> <p>0.8026 0.8025 0.8025 0.8025 0.7831 0.7799 0.7799 0.7635 0.7635</p>
$S = 0.3S_1 + 0.7S_2$	 <p>0.9829 0.9044 0.9042 0.8868 0.8868 0.8306 0.8306 0.8305 0.8305</p> <p>0.8136 0.8136 0.8135 0.8135 0.7966 0.7918 0.7918 0.7793 0.7793</p>

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

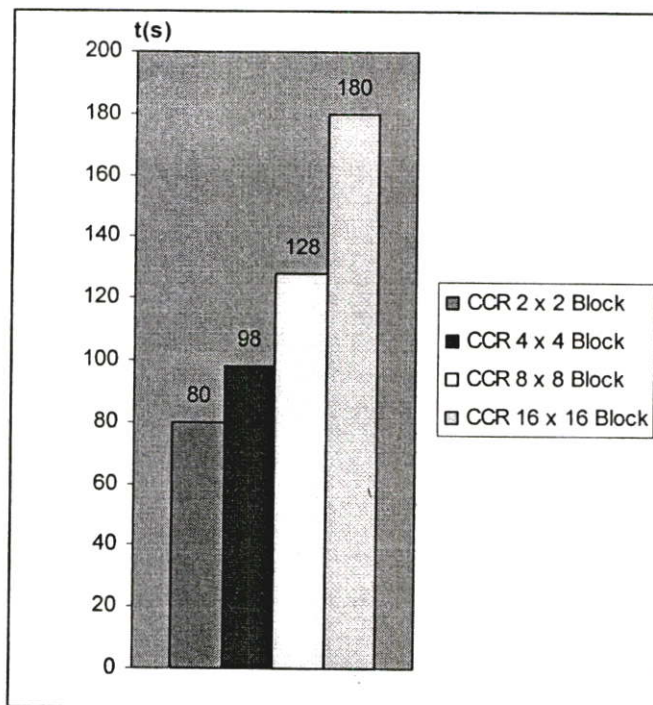
CCR: 16 x 16 Block	<p style="text-align: center;">ภาพค่าถ้าม</p> 
$S = 0.4S_1 + 0.6S_2$	 <p>0.9854 0.9051 0.9047 0.8978 0.8978 0.8392 0.8392 0.8391 0.8391</p> <p>0.8246 0.8246 0.8245 0.8245 0.8101 0.8037 0.8037 0.7952 0.7952</p>
$S = 0.5S_1 + 0.5S_2$	 <p>0.9878 0.9088 0.9088 0.9057 0.9053 0.8478 0.8478 0.8476 0.8476</p> <p>0.8357 0.8356 0.8355 0.8355 0.8236 0.8156 0.8156 0.8111 0.8111</p>
$S = 0.6S_1 + 0.4S_2$	 <p>0.9902 0.9199 0.9199 0.9064 0.9059 0.8564 0.8564 0.8561 0.8561</p> <p>0.8467 0.8467 0.8465 0.8465 0.8371 0.8275 0.8275 0.8270 0.8270</p>
$S = 0.7S_1 + 0.3S_2$	 <p>0.9927 0.9309 0.9309 0.9070 0.9064 0.8650 0.8650 0.8647 0.8647</p> <p>0.8577 0.8577 0.8575 0.8575 0.8506 0.8429 0.8429 0.8394 0.8394</p>

ตารางที่ 5.10 (ต่อ)

CCR: 16 x 16 Block	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
$S = 0.8S_1 + 0.2S_2$	 <p>0.9951 0.9419 0.9419 0.9077 0.9070 0.8736 0.8736 0.8732 0.8732</p> <p>0.8688 0.8687 0.8685 0.8685 0.8640 0.8587 0.8587 0.8547 0.8547</p>
$S = 0.9S_1 + 0.1S_2$	 <p>0.9976 0.9530 0.9530 0.9084 0.9076 0.8821 0.8821 0.8818 0.8818</p> <p>0.8798 0.8798 0.8795 0.8795 0.8775 0.8746 0.8746 0.8731 0.8731</p>
$S = S_2$	 <p>0.9756 0.9024 0.9024 0.8537 0.8537 0.8049 0.8049 0.8049 0.8049</p> <p>0.7805 0.7805 0.7805 0.7805 0.7561 0.7561 0.7561 0.7317 0.7317</p>



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพดอกไม้สีแดงด้วย CCR ที่ขนาดบล็อกแตกต่างกัน



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนภาพด้วย CCR ที่ขนาดบล็อกแตกต่างกัน

จากรูปที่ 5.9 เป็นรูปแสดงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนภาพด้วย CCR 2 x 2 4 x 4 8 x 8 และ 16 x 16 บล็อก จะเห็นได้ว่าการค้นคืนด้วย CCR นั้นเวลาที่ใช้ในการค้นคืนจะมากขึ้นตามจำนวนของบล็อกที่ใช้การค้นคืน โดยการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกจะใช้เวลาในการค้นคืนน้อยที่สุดคือ 80 วินาที และการค้นคืนด้วย CCR 16 x 16 บล็อกจะใช้เวลาในการค้นคืนมากที่สุดคือ 180 วินาที

5.3.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนด้วยขนาดบล็อกและค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่าง

ผลของการค้นคืนภาพด้วย CCR นั้น ความถูกต้องแม่นยำจะขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อกที่ใช้ทำการค้นคืน โดยขนาดของบล็อกที่ให้ภาพผลลัพธ์ของการค้นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง คือ การค้นคืนด้วย CCR 8×8 และ 16×16 บล็อก เนื่องจากบล็อกที่มีขนาดเล็กจึงสามารถแยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีได้ชัดเจน แต่ก็ใช้เวลาในการคำนวณค่า CCR และทำการค้นคืนมากด้วย สำหรับบล็อกที่ให้ผลการค้นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำต่ำ นั่นก็คือ CCR 2×2 บล็อก เนื่องจากการพิจารณาการติดกันของกลุ่มสีเป็นการพิจารณาในลักษณะการปรากฏสีในบล็อกที่อยู่ติดกันจึงทำให้การพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสีมีความผิดพลาดสูง เพราะว่่าบล็อกขนาดใหญ่ไม่สามารถทำการแยกแยะสีได้ และการวัดความเหมือนกันของ CCR นั้น S_1 จะเป็นการวัดความเหมือนกันของปริมาณสีที่เกาะกลุ่มกันภายในภาพ S_2 จะเป็นการวัดความเหมือนกันของสีที่ปรากฏร่วมของแต่ละกลุ่มสีที่เกาะกลุ่มกันเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลการค้นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงจึงทำการวัดความเหมือนกันของ CCR ด้วย $S = 0.5S_1 + 0.5S_2$

5.4 การทดลองเพื่อวิเคราะห์จำนวนค่าของค่าจำกัดความสีแบบ Moment Invariants ที่เหมาะสมสำหรับการค้นคืนภาพ



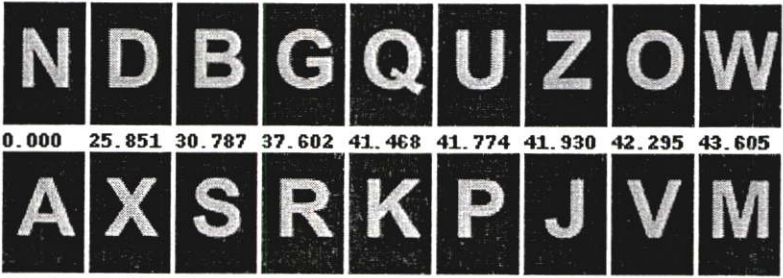
5.4.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่แตกต่างกัน

การทดลองนี้จะเป็นการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความสีในรูปแบบของ Moment Invariants ของทั้งภาพ ซึ่งจะทำการสร้างค่าจำกัดความของภาพจำนวน 10,000 ภาพให้อยู่ในรูปแบบของ Moment Invariants โดยพิจารณาจากทุกสีที่ปรากฏในภาพ แล้วทำการเปรียบเทียบผลการค้นคืนด้วยค่า Moment Invariants ทั้ง 7 ค่า กับผลการค้นคืนด้วยค่า Moment Invariants จำนวน 4 ลำดับแรก เพื่อหาจำนวนของค่า Moment Invariants ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการค้นคืนภาพ


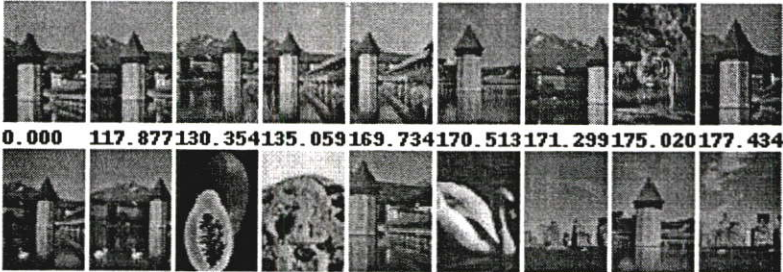
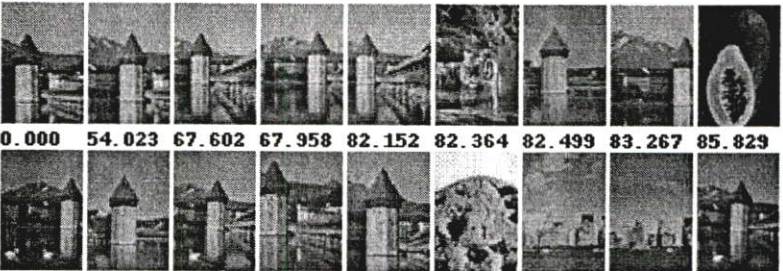
ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.11 – 5.12 เป็นตารางที่แสดงตัวอย่างผลการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความสีในรูปแบบ Moment Invariants ที่ทำการวัดค่าความแตกต่างของค่า Moment Invariants ทั้ง 7 ค่า ($\phi_1 - \phi_7$) และจำนวน 4 ค่าแรก ($\phi_1 - \phi_4$) จากตารางที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าภาพผลลัพธ์ที่ถูกค้นคืนด้วยการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างกันของ Moment Invariants ทั้ง 7 ค่า หรือ 4 ค่าแรกนั้น ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นจะเป็นภาพประเภทเดียวกันกับภาพคำถาม และมีลักษณะการกระจายตัวของสีเหลือง สีดำ ที่คล้ายคลึงกับการกระจายตัวของสีที่ปรากฏในภาพคำถาม แต่จะมีลำดับภาพของการค้นคืนที่แตกต่างกันเท่านั้น สำหรับตารางที่ 5.12 ภาพผลลัพธ์ที่ถูกค้นคืนด้วยการเปรียบเทียบค่า Moment Invariants ทั้ง 7 ค่า และ 4 ค่านั้นก็ยังคงให้ผลการค้นคืนภาพในลักษณะเช่นเดียวกัน นั่นคือภาพที่ถูกค้นคืนนั้นจะมีลักษณะการกระจายตัวของสีที่คล้ายคลึงกับภาพคำถาม

ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างผลการค้นคืนรูปภาพโมโมโนด้วยจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่แตกต่างกัน

จำนวนของค่า Moment Invariants	ภาพคำถาม 
Moment Invariants Full $\phi_1 - \phi_7$	 0.000 52.569 65.621 80.805 88.571 88.767 90.822 93.428 97.203 97.259 98.919 99.417 101.568 103.618 104.481 105.797 107.677 109.491
Moment Invariants Full $\phi_1 - \phi_4$	 0.000 25.851 30.787 37.602 41.468 41.774 41.930 42.295 43.605 46.789 47.877 48.109 48.282 48.495 50.429 51.219 52.050 52.708

ตารางที่ 5.12 ตัวอย่างผลการค้นคืนรูปภาพโบสถ์ด้วยจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่แตกต่างกัน

จำนวนของค่า Moment Invariants	ภาพคำถาม 
Moment Invariants Full $\phi_1 - \phi_7$	 0.000 117.877 130.354 135.059 169.734 170.513 171.299 175.020 177.434 178.336 178.538 178.632 180.356 180.589 182.316 182.888 183.592 184.031
Moment Invariants Full $\phi_1 - \phi_4$	 0.000 54.023 67.602 67.958 82.152 82.364 82.499 83.267 85.829 85.879 86.002 86.310 86.664 86.782 87.675 87.780 88.338 88.838

5.4.2 การวิเคราะห์ผลของจำนวนค่าของ Moment Invariants ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพ

ผลการค้นคืนภาพด้วยค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ ด้วยการเปรียบเทียบค่า Euclidean Distance ของค่า $\phi_1 - \phi_7$ ของแต่ละภาพนั้น ไม่ต่างจากการเปรียบเทียบค่า Euclidean Distance ของค่า $\phi_1 - \phi_4$ เนื่องจาก ค่า Moment Invariants ที่ $\phi_1 - \phi_4$ เป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายตัวหลักของสีที่มีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า $\phi_5 - \phi_7$ ซึ่งมีค่าต่ำมาก เมื่อทำการคำนวณหาค่าความแตกต่างรวมแล้วค่าของ $\phi_5 - \phi_7$ จะให้ค่าความแตกต่างที่น้อยมาก ดังนั้นเมื่อทำการรวมค่าความต่างของ $\phi_1 - \phi_4$ และ $\phi_5 - \phi_7$ จึงมีค่าไม่ต่างไปจากการรวมค่าผลต่างของ $\phi_1 - \phi_4$ โดย ϕ_1 และ ϕ_2 สามารถอธิบายถึงการเกาะกลุ่มกันของสีว่าเกาะกลุ่มกันในระดับที่มาก ปานกลาง หรือน้อย ในขณะที่ ϕ_3 และ ϕ_4 สามารถอธิบายถึงการกระจายตัวของสีว่ากระจายมาก ปานกลาง หรือน้อย ซึ่งเมื่อทำการวัดความเหมือนกันของภาพด้วยสมการผลต่างกำลังสองแล้วผลของความแตกต่างก็ยังสามารถใช้แยกแยะลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีได้

5.5 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นคืนภาพในการใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants

5.5.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความถี่แบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และจำนวนสีที่นำมาวิเคราะห์ในรูปแบบต่างๆ

ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความถี่แบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และจำนวนสีในรูปแบบต่างๆ ดังต่อไปนี้ ทำการค้นคืนภาพด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่ปรากฏจำนวนมากที่สุด 2 อันดับแรกภายในภาพคำถาม, ทำการค้นคืนภาพด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่มีจำนวนสีมากกว่า 5% ของจำนวนพิกเซลทั้งหมด และทำการค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ โดยจะทำการเปรียบเทียบว่าภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนในแต่ละวิธีนั้น เป็นภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับภาพคำถามหรือไม่ และลำดับของภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันอยู่ในลำดับต้นของการค้นคืนหรือไม่ ซึ่งได้นำวิธี Recall และ Precision มาใช้วัดประสิทธิภาพของการค้นคืน และในการทดลองนี้ได้สร้างค่าจำกัดความถี่ในรูปแบบ CCR ด้วยขนาด 2×2 , 4×4 และ 8×8 บล็อกพร้อมกับค่าจำกัดความถี่ในรูปแบบของ Moment Invariants ของภาพจำนวนทั้งหมด 10,000 รูป และใช้ภาพโบสถ์สีน้ำตาล และตัวอักษรเอ็นสี่เหลี่ยมเป็นภาพคำถาม

ผลการทดลอง


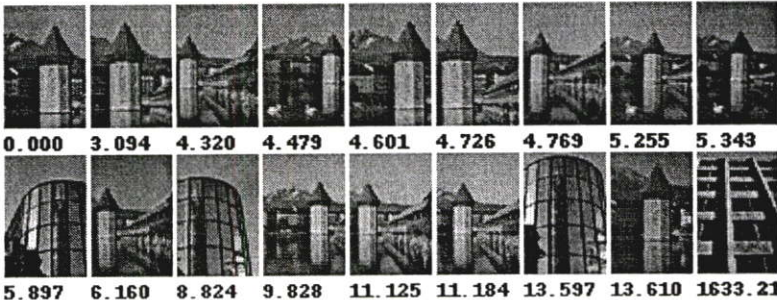
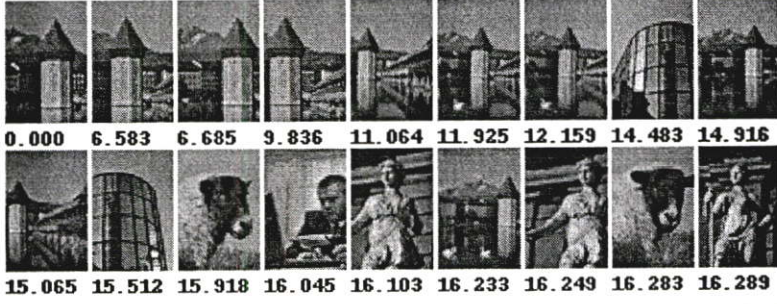
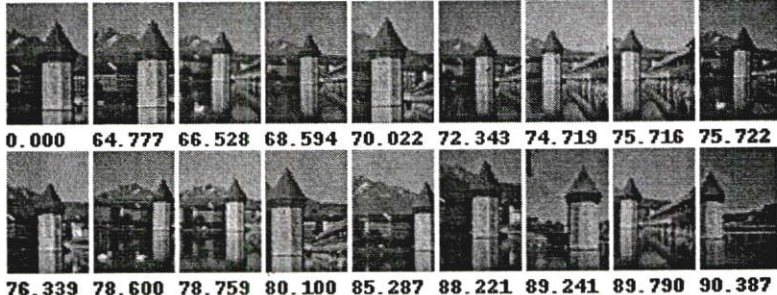
ตารางที่ 5.13 – 5.15 เป็นตารางแสดงตัวอย่างการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูล โดยจะใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่ และสีที่แตกต่างกัน

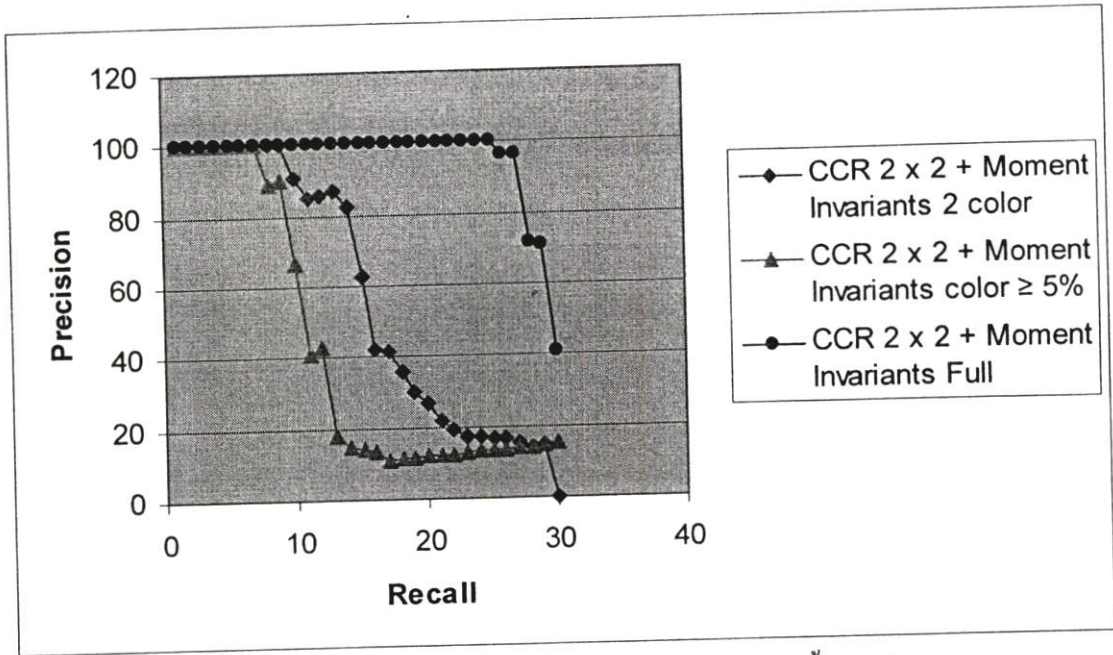
จากตารางที่ 5.13 จะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนภาพด้วยค่า CCR 2×2 บล็อก ร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของการเกาะกลุ่มกันของสีที่มากที่สุด 2 อันดับแรกจะทำให้ได้ภาพที่มีโทนสีที่คล้ายคลึงกับภาพคำถามแต่ก็ยังได้ภาพคนละประเภทกับภาพคำถามในลำดับที่ 10, 12 และ 16 แต่เมื่อทำการพิจารณาจากค่า Moment Invariants ของการเกาะกลุ่มของสีที่ปรากฏในภาพมากกว่า 5 % ของจำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพแล้ว ทำให้ภาพที่ค้นคืนได้นั้นเป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถามมากขึ้น และ โทนสีของภาพนั้นก็จะเป็น โทนสีที่แตกต่างกับภาพคำถาม ซึ่งภาพคนละประเภทกับภาพคำถามถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 8 และ 11 – 16 สำหรับการค้นคืนด้วย CCR 2×2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ของทั้งภาพโดยพิจารณาจากทุกสีที่ปรากฏในภาพจะเห็นว่า ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นเป็นภาพประเภทเดียวกันกับภาพคำถาม ตั้งแต่ภาพลำดับที่ 1 – 16

สำหรับตารางที่ 5.14 – 5.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อบล็อกที่ใช้ในการค้นคืนมีขนาดเล็กลงผลของการค้นคืนก็จะมี ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการค้นคืนด้วย CCR 4×4 บล็อก หรือ CCR 8×8 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่ปรากฏมากที่สุด ในภาพ 2 อันดับแรก และ การค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่ปรากฏในภาพมากกว่า 5 % แต่การค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของทั้งภาพนั้นผลของการค้นคืนภาพจะให้ภาพที่ใกล้เคียง หรือคล้ายคลึงกับภาพคำถามมากที่สุด ถึงแม้ว่าจะใช้ CCR ด้วยบล็อกขนาดเท่าใดก็ตาม

จากรูปที่ 5.10 – 5.12 จะเป็นรูปภาพแสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนของภาพ โปสการ์ดสีน้ำตาล โดยจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่แสดงถึงผลการค้นคืนของ CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของทั้งภาพจะเป็นเส้นกราฟที่สูงที่สุดของแต่ละภาพ ไม่ว่าจะใช้ CCR 2×2 4×4 หรือ CCR 8×8 บล็อกก็ตามผลของการค้นคืนก็ยังมี ความถูกต้องแม่นยำสูง จึงกล่าวได้ว่าการค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของทั้งภาพโดยพิจารณาจากการทุกตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ จะให้ผลของการค้นคืนมีความแม่นยำสูง

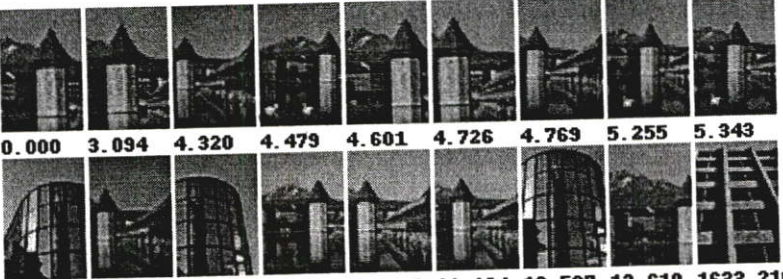
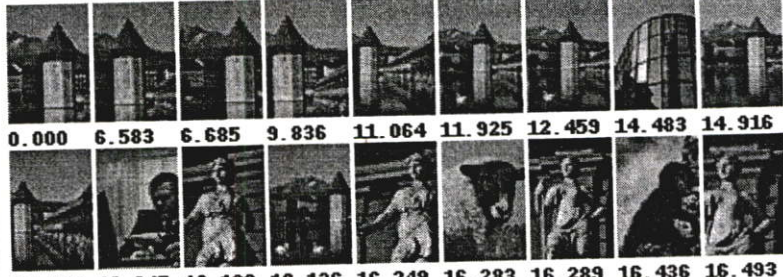
ตารางที่ 5.13 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วยคำจำกัดความสีในแบบ CCR 2 x 2
 บล็อกร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ภาพค่าตาม 
CCR 2 x 2 + Moment Invariants Block 2 Colors	 <p>0.000 3.094 4.320 4.479 4.601 4.726 4.769 5.255 5.343 5.897 6.160 8.824 9.828 11.125 11.184 13.597 13.610 1633.21</p>
CCR 2 x 2 + Moment Invariants Block Colors > 5 %	 <p>0.000 6.583 6.685 9.836 11.064 11.925 12.159 14.483 14.916 15.065 15.512 15.918 16.045 16.103 16.233 16.249 16.283 16.289</p>
CCR 2 x 2 + Moment Invariants Full	 <p>0.000 64.777 66.528 68.594 70.022 72.343 74.719 75.716 75.722 76.339 78.600 78.759 80.100 85.287 88.221 89.241 89.790 90.387</p>



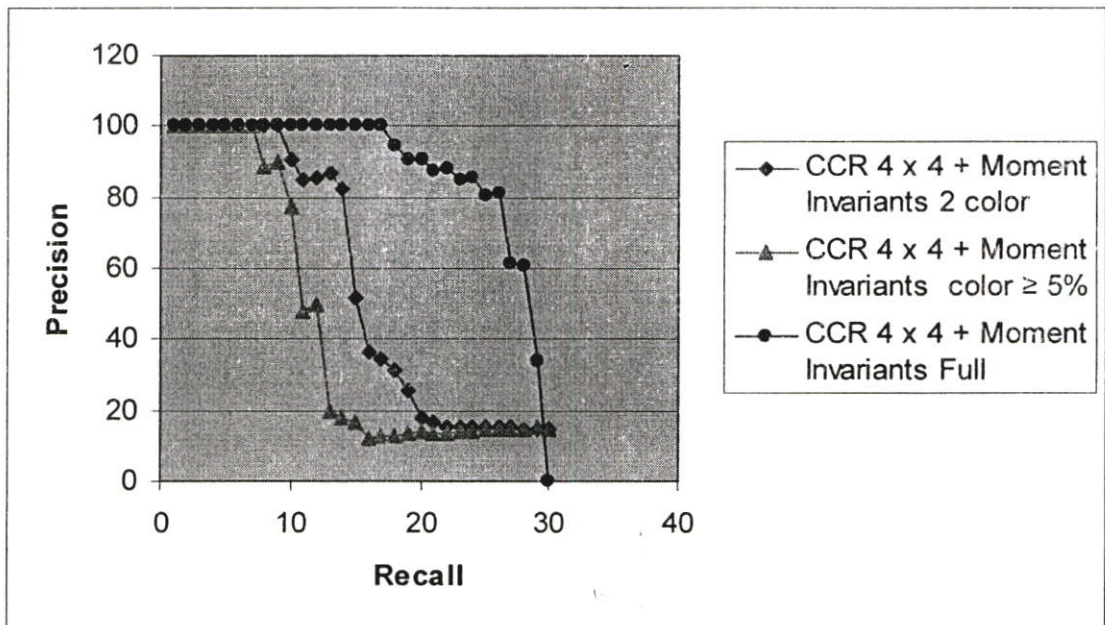
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วย CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ

ตารางที่ 5.14 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วยค่าจำกัดความสีในแบบ CCR 4 x 4 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ภาพคำถาม
CCR 4 x 4 + Moment Invariants Block 2 Colors	 <p>0.000 3.094 4.320 4.479 4.601 4.726 4.769 5.255 5.343 5.897 6.160 8.824 9.828 11.125 11.184 13.597 13.610 1633.21</p>
CCR 4 x 4 + Moment Invariants Block Colors > 5%	 <p>0.000 6.583 6.685 9.836 11.064 11.925 12.459 14.483 14.916 15.065 16.045 16.103 16.136 16.249 16.283 16.289 16.436 16.493</p>


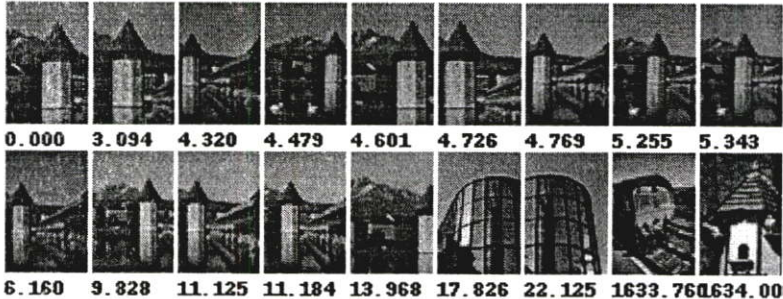
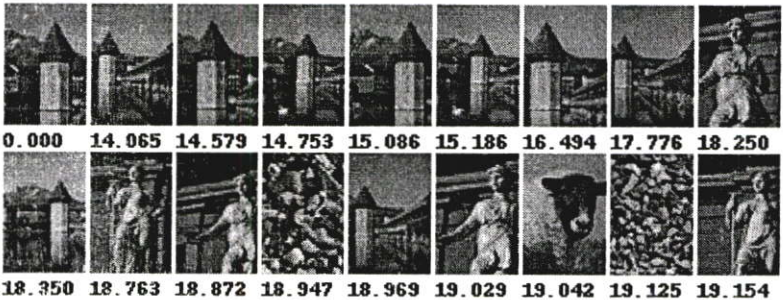
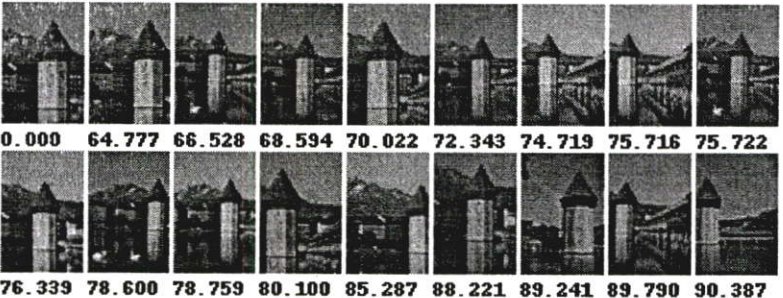
ตารางที่ 5.14 (ต่อ)

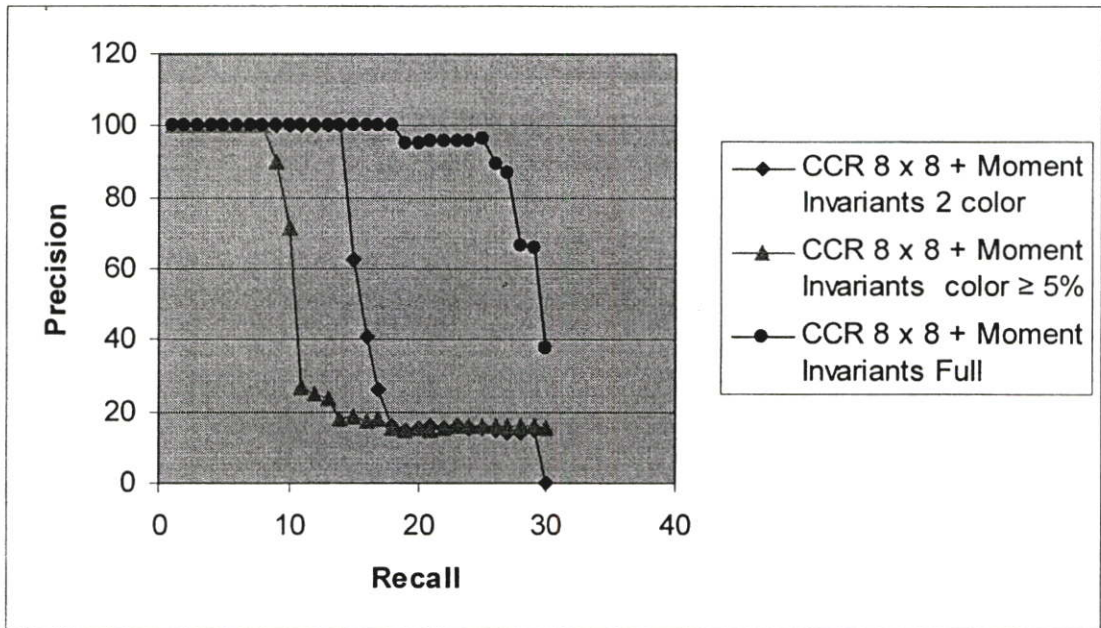
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพค่าถาม</p> 
<p style="text-align: center;">CCR 4 x 4 + Moment Invariants Full</p>	 <p style="text-align: center;"> 0.000 64.777 66.528 68.594 70.022 72.343 74.719 75.716 75.722 76.339 78.600 78.759 80.100 85.287 88.221 89.241 89.790 90.098 </p>



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วย CCR 4 x 4 บล็อก ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ

ตารางที่ 5.15 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพ โปสต์การ์ดน้ำตาดด้วยคำจำกัดความสีในแบบ CCR 8 x 8
บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
<p style="text-align: center;">CCR 8 x 8 + Moment Invariants Block 2 Colors</p>	
<p style="text-align: center;">CCR 8 x 8 + Moment Invariants Block Colors > 5 %</p>	
<p style="text-align: center;">CCR 8 x 8 + Moment Invariants Full</p>	



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาลด้วย CCR 8 x 8 บล็อก ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ
























































ตารางที่ 5.16 – 5.18 เป็นตารางแสดงตัวอย่างการค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองจากฐานข้อมูล โดยจะใช้คำจำกัดความสีแบบ CCR ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน จากตารางที่ 5.16 จะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนภาพด้วยค่า CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของการเกาะกลุ่มกันของสีที่มากที่สุด 2 อันดับแรกนั้น ภาพป้ายสัญลักษณ์สีเหลืองจะถูกค้นคืนขึ้นในลำดับต้นๆ เนื่องมาจากการพิจารณาสีในลักษณะของการเกาะกลุ่มกันนั้น ทำให้เมื่อนำมาคำนวณค่า Moment Invariants ในเชิงของกลุ่มสีจะได้ค่า Moment Invariants ที่ใกล้เคียงกันในแต่ละกลุ่มของสีที่เกิดจากการพิจารณาบริเวณที่ติดกันของสี ดังนั้น Moment Invariants จึงไม่สามารถแยกแยะการกระจายตัวของสีได้ แต่เมื่อทำการคำนวณค่า Moment Invariants ของทั้งภาพทำให้สามารถทำการแยกแยะการกระจายตัวของสีได้ เพราะค่า Moment Invariants ที่คำนวณได้เป็นค่าลักษณะของการกระจายตัวของสีในเชิงตำแหน่งที่ปรากฏทั้งภาพ จึงสามารถนำค่า Moment Invariants ของทั้งภาพมาใช้เปรียบเทียบความแตกต่างกันของการกระจายตัวของแต่ละสีที่ปรากฏในภาพได้ ดังนั้นจึงทำให้ผลการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ของทั้งภาพสามารถค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองตั้งแต่ลำดับที่ 1 – 16 ถึงแม้ว่าจะเป็น การพิจารณาจากค่า Moment Invariants ของสีค่า และสีเหลืองเช่นเดียวกับการใช้ CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่ปรากฏในภาพมากที่สุด 2 อันดับแรก

สำหรับตารางที่ 5.17 – 5.18 จะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าจะใช้ CCR ที่มีขนาดเล็กลงผลของการค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับ Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสี ที่มีสีปรากฏมากที่สุด 2 อันดับแรก และ


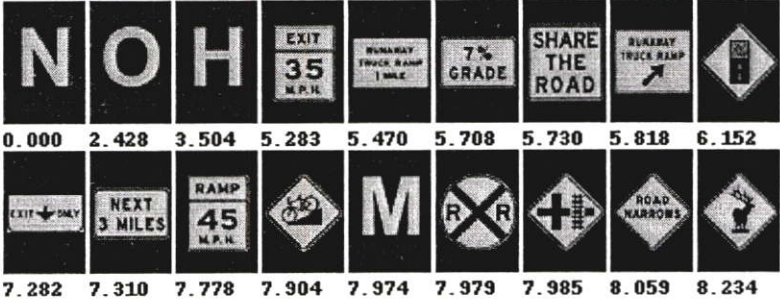
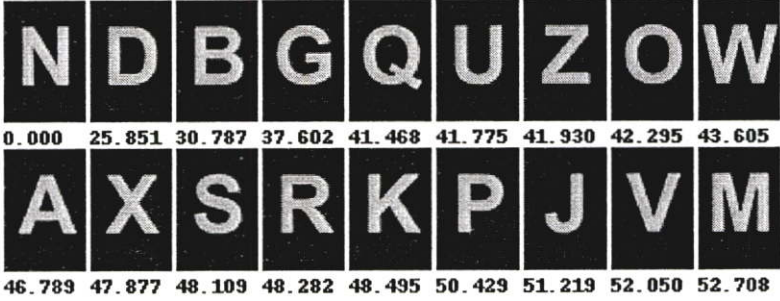
Moment Invariants ของกลุ่มสีที่มีสีปรากฏในภาพมากกว่า 5% ของพิกเซลทั้งหมดของภาพ ผลของการค้นคืนก็ยังคงมีความถูกต้องแม่นยำต่ำ นั่นก็คือภาพป้ายสัญลักษณ์สีเหลืองก็ยังคงถูกค้นคืนมาในลำดับต้นๆ ของการค้นคืนและถูกค้นคืนขึ้นมาเป็นจำนวนมาก แต่สำหรับการค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับ Moment Invariants ของทั้งภาพผลของการค้นคืนก็ยังคงมีความถูกต้องแม่นยำสูง โดยภาพที่ถูกค้นคืนนั้นเป็นภาพของตัวอักษรสีเหลืองตั้งแต่ลำดับภาพที่ 1 – 16

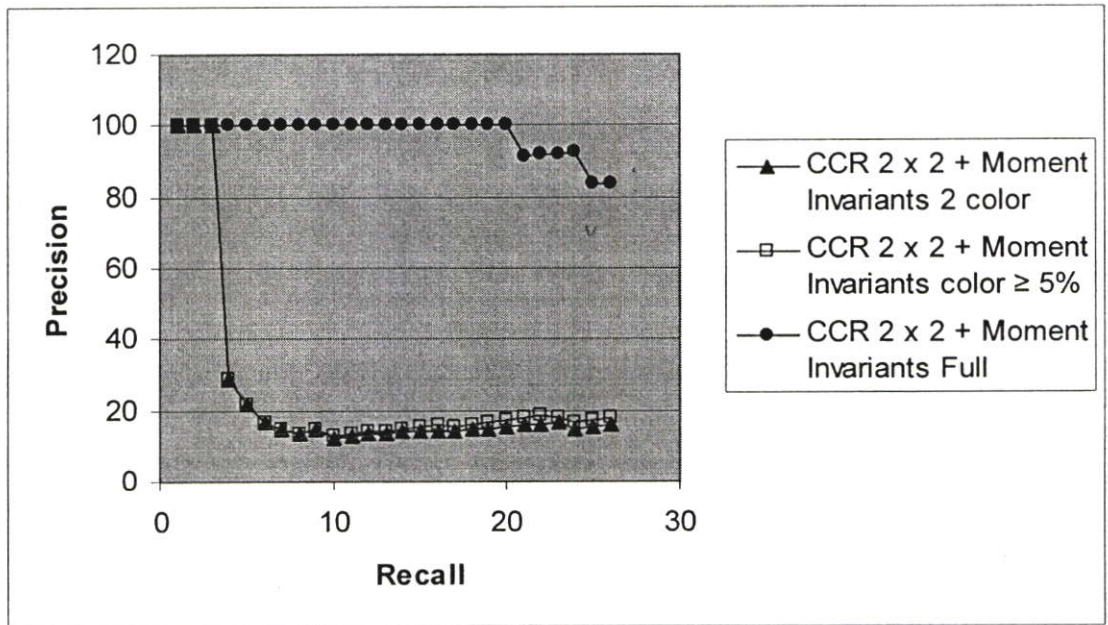
จากรูปที่ 5.13 – 5.15 จะเป็นรูปภาพแสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสีเหลือง โดยจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่แสดงถึงผลการค้นคืนของ CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของทั้งภาพจะเป็นเส้นกราฟที่สูงที่สุดในของแต่ละภาพ ไม่ว่าจะใช้ CCR 2 x 2 4 x 4 หรือ CCR 8 x 8 บล็อกก็ตามผลของการค้นคืนก็ยังคงมีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่การค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับการพิจารณาค่าของ Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีนั้น ไม่สามารถทำการแยกแยะการกระจายตัวของสีในลักษณะของกลุ่มสีได้ เพราะว่าเมื่อทำการคำนวณค่าความแตกต่างของ $\phi_1 - \phi_4$ ของแต่ละสีในเชิงการเกาะกลุ่มกันจะทำให้ค่าความแตกต่างที่เด่นของแต่ละ ϕ ของแต่ละสีนั้นหายไปกลายเป็นความแตกต่างรวม จึงทำให้เส้นกราฟในรูปที่ 5.13 – 5.15 ที่เป็นเส้นกราฟที่ใช้แสดงผลของการค้นคืนภาพด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสี ที่มีสีปรากฏในภาพมากที่สุด 2 อันดับแรก และการค้นคืนภาพด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่มีสีปรากฏมากกว่า 5% ของจำนวนพิกเซลทั้งหมด มีลักษณะของเส้นกราฟที่ต่ำมาก

ตารางที่ 5.16 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสีเหลืองด้วยค่าจำกัดความสีในแบบ CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน

<p>กรรมวิธี</p>	<p>ภาพคำถาม</p> 																																				
<p>CCR 2 x 2 + Moment Invariants Block 2 Colors</p>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0. 000</td> <td>2. 428</td> <td>3. 504</td> <td>5. 383</td> <td>5. 470</td> <td>5. 708</td> <td>5. 730</td> <td>5. 818</td> <td>6. 152</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7. 282</td> <td>7. 310</td> <td>7. 778</td> <td>7. 904</td> <td>7. 974</td> <td>7. 979</td> <td>7. 985</td> <td>8. 059</td> <td>8. 234</td> </tr> </table>										0. 000	2. 428	3. 504	5. 383	5. 470	5. 708	5. 730	5. 818	6. 152										7. 282	7. 310	7. 778	7. 904	7. 974	7. 979	7. 985	8. 059	8. 234
																																					
0. 000	2. 428	3. 504	5. 383	5. 470	5. 708	5. 730	5. 818	6. 152																													
																																					
7. 282	7. 310	7. 778	7. 904	7. 974	7. 979	7. 985	8. 059	8. 234																													




































































































































































ตารางที่ 5.16 (ต่อ)

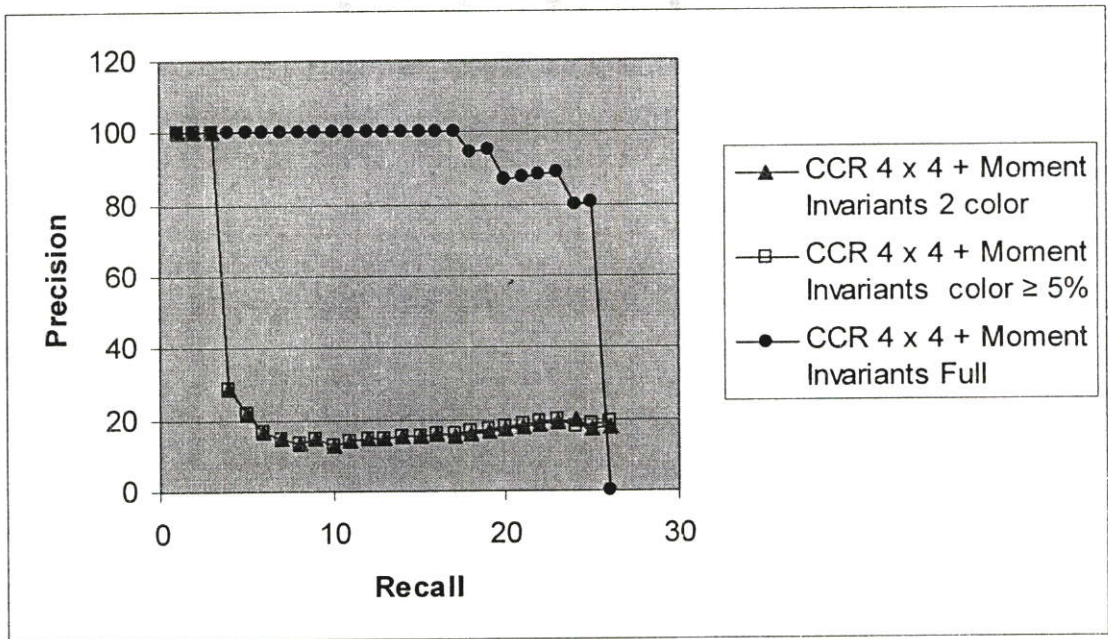
<p>กรรมวิธี</p>	<p>ภาพคำถาม</p> 
<p>CCR 2 x 2 + Moment Invariants Block Colors > 5 %</p>	 <p>0.000 2.428 3.504 5.283 5.470 5.708 5.730 5.818 6.152</p> <p>7.282 7.310 7.778 7.904 7.974 7.979 7.985 8.059 8.234</p>
<p>CCR 2 x 2 + Moment Invariants Full</p>	 <p>0.000 25.851 30.787 37.602 41.468 41.775 41.930 42.295 43.605</p> <p>46.789 47.877 48.109 48.282 48.495 50.429 51.219 52.050 52.708</p>



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสี่เหลี่ยม ด้วย CCR2 x 2 บล็อกพร้อมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ

ตารางที่ 5.17 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสี่เหลี่ยมด้วยคำจำกัดความสีในแบบ CCR 4 x 4
 บล็อกร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ภาพคำถาม 																																				
CCR 4 x 4 + Moment Invariants Block 2 Colors	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>2.428</td> <td>3.504</td> <td>5.383</td> <td>5.470</td> <td>5.708</td> <td>5.730</td> <td>5.818</td> <td>6.152</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7.282</td> <td>7.310</td> <td>7.778</td> <td>7.904</td> <td>7.974</td> <td>7.979</td> <td>7.985</td> <td>8.059</td> <td>8.234</td> </tr> </table>										0.000	2.428	3.504	5.383	5.470	5.708	5.730	5.818	6.152										7.282	7.310	7.778	7.904	7.974	7.979	7.985	8.059	8.234
																																					
0.000	2.428	3.504	5.383	5.470	5.708	5.730	5.818	6.152																													
																																					
7.282	7.310	7.778	7.904	7.974	7.979	7.985	8.059	8.234																													
CCR 4 x 4 + Moment Invariants Block Colors > 5 %	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>2.428</td> <td>3.504</td> <td>5.383</td> <td>5.470</td> <td>5.708</td> <td>5.730</td> <td>5.818</td> <td>6.152</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>7.282</td> <td>7.310</td> <td>7.778</td> <td>7.904</td> <td>7.974</td> <td>7.979</td> <td>7.985</td> <td>8.059</td> <td>8.234</td> </tr> </table>										0.000	2.428	3.504	5.383	5.470	5.708	5.730	5.818	6.152										7.282	7.310	7.778	7.904	7.974	7.979	7.985	8.059	8.234
																																					
0.000	2.428	3.504	5.383	5.470	5.708	5.730	5.818	6.152																													
																																					
7.282	7.310	7.778	7.904	7.974	7.979	7.985	8.059	8.234																													
CCR 4 x 4 + Moment Invariants Full	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>25.851</td> <td>30.787</td> <td>37.602</td> <td>41.468</td> <td>41.775</td> <td>41.930</td> <td>42.295</td> <td>43.605</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>46.789</td> <td>47.877</td> <td>48.109</td> <td>48.282</td> <td>48.495</td> <td>50.429</td> <td>51.219</td> <td>52.050</td> <td>52.708</td> </tr> </table>										0.000	25.851	30.787	37.602	41.468	41.775	41.930	42.295	43.605										46.789	47.877	48.109	48.282	48.495	50.429	51.219	52.050	52.708
																																					
0.000	25.851	30.787	37.602	41.468	41.775	41.930	42.295	43.605																													
																																					
46.789	47.877	48.109	48.282	48.495	50.429	51.219	52.050	52.708																													



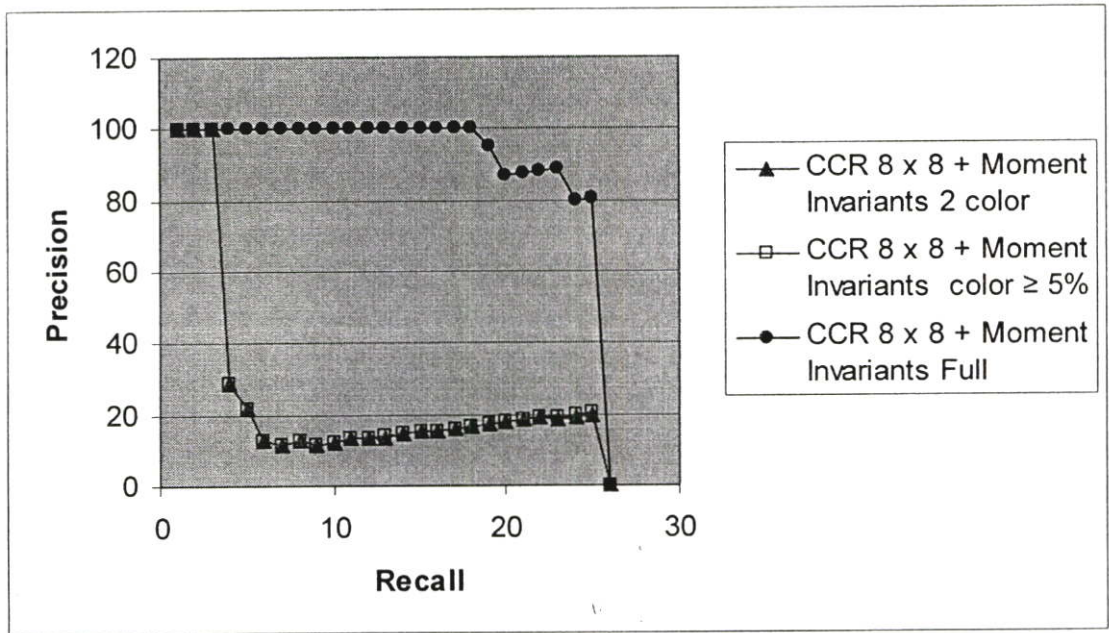
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสี่เหลี่ยมด้วย CCR 4 x 4 บล็อก ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ

ตารางที่ 5.18 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสี่เหลี่ยมด้วยค่าจำกัดความถี่ในแบบ CCR 8 x 8 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants ที่คำนวณจากพื้นที่และสีที่แตกต่างกัน

กรรมวิธี	ภาพคำถาม												
CCR 8 x 8 + Moment Invariants Block 2 Colors	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>2.428</td> <td>3.504</td> <td>5.383</td> <td>7.904</td> <td>8.234</td> </tr> </table>							0.000	2.428	3.504	5.383	7.904	8.234
0.000	2.428	3.504	5.383	7.904	8.234								
CCR 8 x 8 + Moment Invariants Block Colors > 5 %	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>2.428</td> <td>3.504</td> <td>5.383</td> <td>7.904</td> <td>8.234</td> </tr> </table>							0.000	2.428	3.504	5.383	7.904	8.234
0.000	2.428	3.504	5.383	7.904	8.234								

ตารางที่ 5.18 (ต่อ)

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> <div style="text-align: center; border: 1px solid black; width: 60px; height: 60px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; font-size: 40px; font-weight: bold;">N</div>																																				
CCR 8 x 8 + Moment Invariants Full	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;">N</td> <td style="width: 12.5%;">D</td> <td style="width: 12.5%;">B</td> <td style="width: 12.5%;">G</td> <td style="width: 12.5%;">Q</td> <td style="width: 12.5%;">U</td> <td style="width: 12.5%;">Z</td> <td style="width: 12.5%;">O</td> <td style="width: 12.5%;">W</td> </tr> <tr> <td>0.000</td> <td>25.851</td> <td>30.787</td> <td>37.602</td> <td>41.468</td> <td>41.775</td> <td>41.930</td> <td>42.295</td> <td>43.605</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>X</td> <td>S</td> <td>R</td> <td>K</td> <td>P</td> <td>J</td> <td>V</td> <td>M</td> </tr> <tr> <td>46.789</td> <td>47.877</td> <td>48.109</td> <td>48.282</td> <td>48.495</td> <td>50.429</td> <td>51.219</td> <td>52.050</td> <td>52.708</td> </tr> </table>	N	D	B	G	Q	U	Z	O	W	0.000	25.851	30.787	37.602	41.468	41.775	41.930	42.295	43.605	A	X	S	R	K	P	J	V	M	46.789	47.877	48.109	48.282	48.495	50.429	51.219	52.050	52.708
N	D	B	G	Q	U	Z	O	W																													
0.000	25.851	30.787	37.602	41.468	41.775	41.930	42.295	43.605																													
A	X	S	R	K	P	J	V	M																													
46.789	47.877	48.109	48.282	48.495	50.429	51.219	52.050	52.708																													



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสี่เหลี่ยม ด้วย CCR 8 x 8 บล็อก ร่วมกับค่า Moment Invariants แบบต่างๆ

5.5.2 การวิเคราะห์ผลของรูปแบบของพื้นที่และจำนวนสีที่นำมาใช้คำนวณค่า Moment Invariants ต่อประสิทธิภาพการค้นคืนภาพร่วมกับค่าจำกัดความสีแบบ CCR

ผลการค้นคืนภาพด้วย CCR ร่วมกับค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มสีที่มีจำนวนมากที่สุด 2 อันดับแรก และ ค่า Moment Invariants ของแต่ละกลุ่มที่สีปรากฏในภาพมากกว่า 5% ของพิกเซลทั้งหมดของภาพ ภาพผลลัพธ์ที่ถูกค้นคืนได้จะมีค่าความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก เพราะว่าการพิจารณาค่าของ Moment Invariants ในเชิงของกลุ่มสีที่เกิดจากการพิจารณาสีที่ปรากฏในบล็อก

ที่ติดกันนั้นไม่สามารถแยกแยะการกระจายตัวของสีได้ และการค้นคืนภาพด้วย CCR ร่วมกับ Moment Invariants ของทั้งภาพนั้นให้ผลการค้นคืนที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ถึงแม้ว่าจะใช้ CCR ที่มีขนาดของบล็อกที่เล็ก หรือว่าใหญ่ก็ตาม

5.6 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นคืนภาพในการใช้ค่าจำกัดความสีแบบฮิสโตแกรม, CCR, Moment Invariants และ CCR ร่วมกับ Moment Invariants

5.6.1 ตัวอย่างผลการทดลองการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความสีแบบฮิสโตแกรม, CCR, Moment Invariants และ CCR ร่วมกับ Moment Invariants


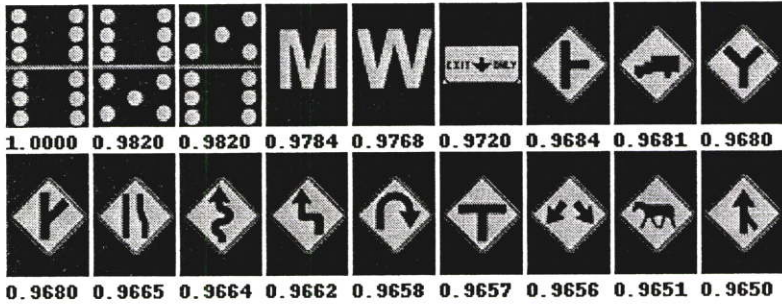
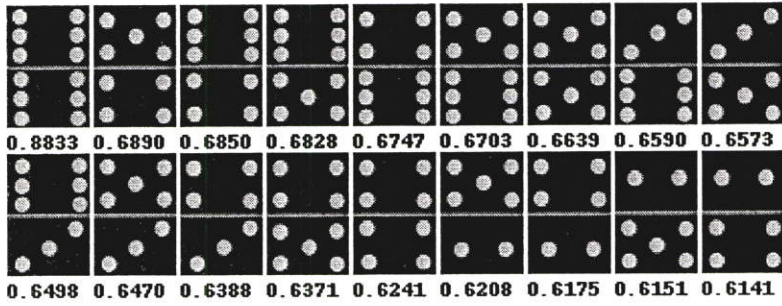
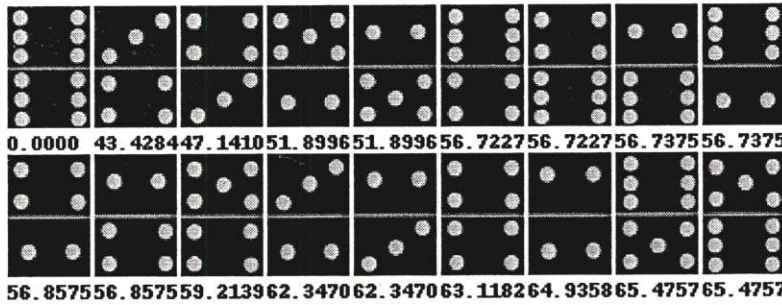
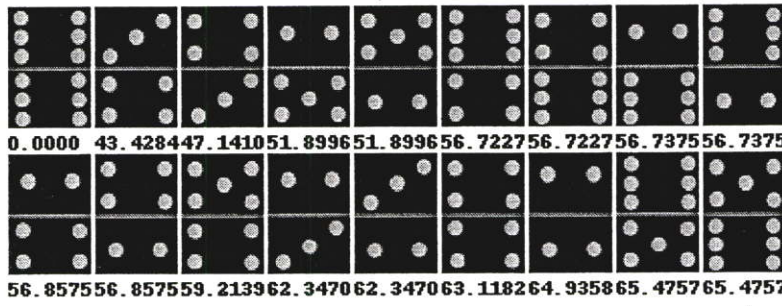
ในหัวข้อนี้จะแสดงตัวอย่างการค้นคืนภาพด้วยค่าจำกัดความสีแบบฮิสโตแกรม CCR Moment Invariants และ CCR ร่วมกับ Moment Invariants โดยการค้นคืนด้วยฮิสโตแกรมจะเป็นการเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรม, การค้นคืนด้วย CCR จะเป็นการค้นคืนด้วย CCR 8 x 8 บล็อก การค้นคืนด้วย Moment Invariants จะเป็นการค้นคืนด้วยค่า Moment Invariants ของทั้งภาพของทุกสีที่ปรากฏในภาพ และการค้นคืนด้วย CCR ร่วมกับ Moment Invariants จะใช้ CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ภาพในการทดลองทั้งหมด 10,000 รูป เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นคืนภาพของแต่ละวิธีและเพื่อทดสอบว่าการนำค่า Moment Invariants มาใช้พิจารณาพร้อมกับ CCR ที่มีขนาดบล็อกเท่ากับ 2 x 2 บล็อกจะสามารถทำให้ผลของการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้บล็อกขนาดใหญ่ให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้บล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่าได้หรือไม่ โดยนำวิธี Recall และ Precision มาใช้วัดประสิทธิภาพของการค้นคืน

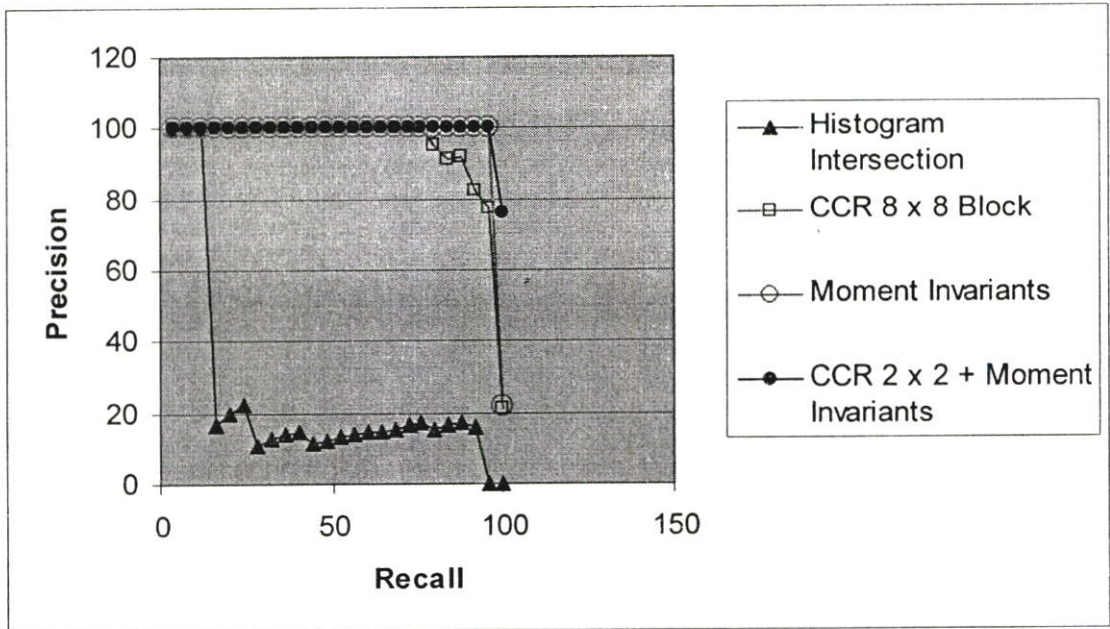
ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.19 – 5.21 จะเป็นตารางที่แสดงผลของการค้นคืนภาพ โคมินโทที่มีแคมเป็นสีเหลือง ภาพตัวอักษรสีแดง และ โบสถ์สีน้ำตาล โดยทำการค้นคืนด้วยการเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรม CCR 8 x 8 บล็อก การหาผลต่างของค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ และการใช้ CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับพิจารณาค่าผลต่างของ Moment Invariants ของทั้งภาพเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของการค้นคืนแต่ละวิธี ซึ่งรูปที่ 5.16 – 5.18 เป็นรูปกราฟที่แสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนของภาพคำถามแต่ละภาพ ผลการทดลองเพิ่มเติมสามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข.

จากตารางที่ 5.19 จะเห็นได้ว่าผลของการค้นคืนภาพด้วยการวัดความเหมือนกันของฮิสโตแกรมจะมีความถูกต้องแม่นยำต่ำที่สุด ซึ่งภาพป้ายสัญลักษณ์สีเหลืองจะถูกค้นคืนขึ้นมาเป็นจำนวนมาก และอยู่ในลำดับต้นๆ ของการค้นคืน โดยภาพป้ายสัญลักษณ์สีเหลืองนั้นถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 6 – 18 สำหรับการค้นคืนด้วย CCR 8 x 8 บล็อก Moment Invariants ของทั้งภาพที่พิจารณาจากทุกตำแหน่งของสีที่ปรากฏในภาพ และการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อก ร่วมกับ Moment Invariants นั้นผลของการค้นคืนจะได้ภาพ โคมินโทที่มีแคมสีเหลืองทั้งหมด

ตารางที่ 5.19 ตัวอย่างผลการค้นคืนรูปภาพโดมิโนแต้มสี่เหลี่ยมซึ่งได้จากฐานข้อมูลภาพจำนวน 10,000 ภาพ

<p>กรรมวิธี</p>	<p>ภาพค่าตาม</p> 
<p>Histogram Intersection</p>	 <p>1.0000 0.9820 0.9820 0.9784 0.9768 0.9720 0.9684 0.9681 0.9680</p> <p>0.9680 0.9665 0.9664 0.9662 0.9658 0.9657 0.9656 0.9651 0.9650</p>
<p>CCR 8 x 8 Block</p>	 <p>0.8833 0.6890 0.6850 0.6828 0.6747 0.6703 0.6639 0.6590 0.6573</p> <p>0.6498 0.6470 0.6388 0.6371 0.6241 0.6208 0.6175 0.6151 0.6141</p>
<p>Moment Invariants</p>	 <p>0.0000 43.428447.141051.899651.899656.722756.722756.737556.7375</p> <p>56.857556.857559.213962.347062.347063.118264.935865.475765.4757</p>
<p>CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants</p>	 <p>0.0000 43.428447.141051.899651.899656.722756.722756.737556.7375</p> <p>56.857556.857559.213962.347062.347063.118264.935865.475765.4757</p>


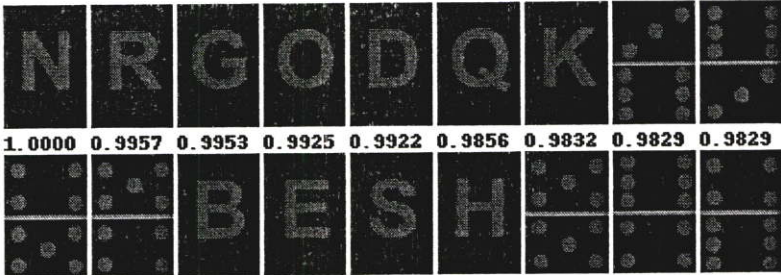
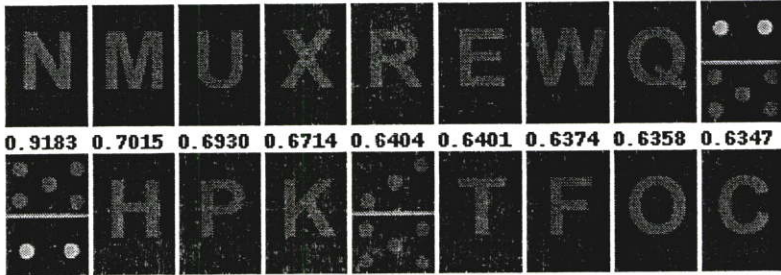
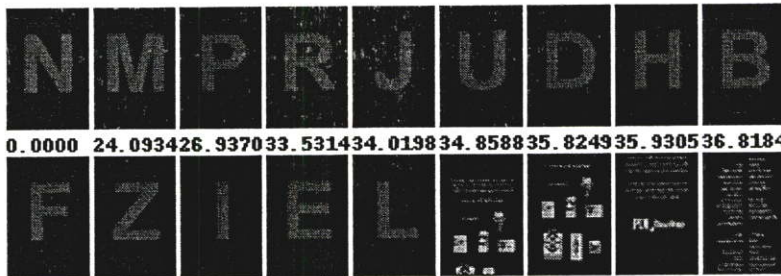



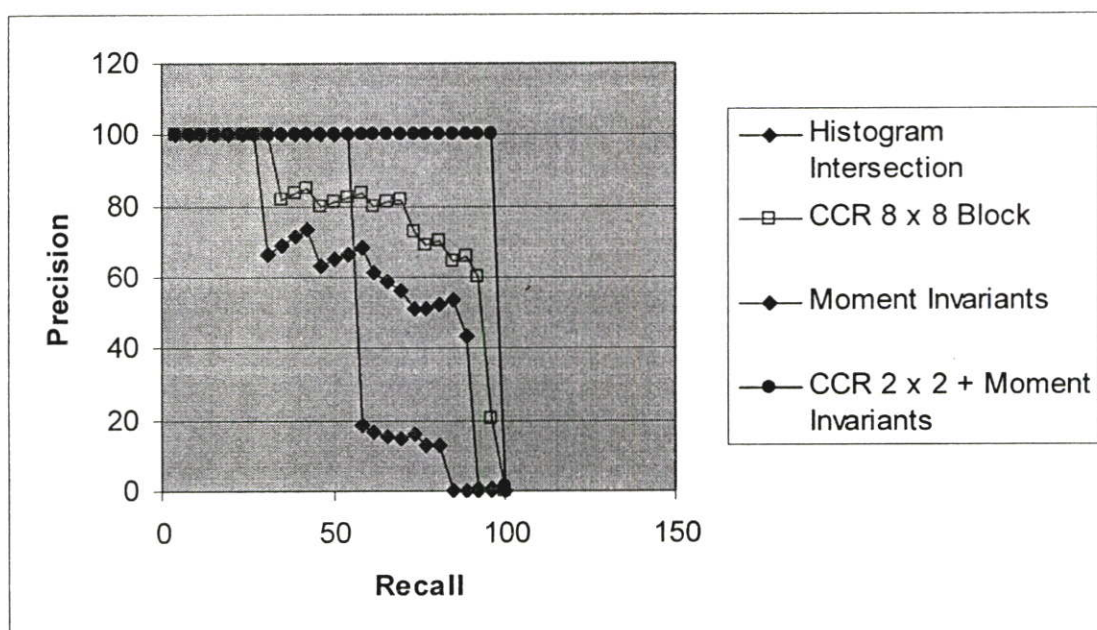
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพโดมิโนสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 5.16 เป็นกราฟแสดงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนของภาพโดมิโนสี่เหลี่ยม โดยจะเห็นว่าเส้นกราฟที่แสดงถึงผลการค้นคืนของการวัดความเหมือนกันของฮิสโตแกรมจะมีค่าความถูกต้องและแม่นยำต่ำมาก แต่กราฟของการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกที่นำค่า Moment Invariants ของทั้งภาพมาช่วยแยกแยะการกระจายตัวของสี จะให้ผลของการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนภาพด้วย CCR 8 x 8 บล็อก จึงทำให้เส้นกราฟที่แสดงถึงค่าความแม่นยำ และการเรียกคืนซ้อนทับกัน

จากตารางที่ 5.20 เป็นการค้นคืนภาพตัวอักษรสีแดงจากฐานข้อมูล โดยผลของการค้นคืนภาพด้วยการวัดความเหมือนกันของฮิสโตแกรมนั้น ภาพคนละประเภทกับภาพคำถามจะถูกค้นคืนขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งภาพโดมิโนที่มีแต้มสีแดงจะถูกค้นคืนขึ้นมาเป็นจำนวน 7 รูป และอยู่ในลำดับที่ 8-11 และ 16-18 สำหรับการค้นคืนด้วย CCR 8 x 8 บล็อกนั้นภาพโดมิโนที่มีแต้มสีแดงก็ถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 9, 10 และ 14 และการค้นคืนภาพด้วย CCR 2 x 2 บล็อกร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ผลของการค้นคืนนั้นจะได้เป็นภาพประเภทเดียวกับภาพคำถามตั้งแต่ 1-18

ตารางที่ 5.20 ตัวอย่างผลการค้นคืนภาพตัวอักษรสีแดงจากฐานข้อมูลภาพจำนวน 10,000 ภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	 <p>1. 0.0000 0.9957 0.9953 0.9925 0.9922 0.9856 0.9832 0.9829 0.9829</p> <p>0.9827 0.9826 0.9823 0.9811 0.9807 0.9804 0.9782 0.9778 0.9778</p>
CCR 8 x 8 Block	 <p>0.9183 0.7015 0.6930 0.6714 0.6404 0.6401 0.6374 0.6358 0.6347</p> <p>0.6347 0.6344 0.6341 0.6306 0.6279 0.6267 0.6210 0.6205 0.6180</p>
Moment Invariants	 <p>0.0000 24.093426.937033.531434.019834.858835.824935.930536.8184</p> <p>36.829637.769538.274742.301642.491442.561142.565942.609742.8097</p>
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	 <p>0.0000 24.093426.937033.531434.019834.858835.824935.930536.8184</p> <p>36.829637.769538.274742.301642.491446.070246.473246.785047.1757</p>


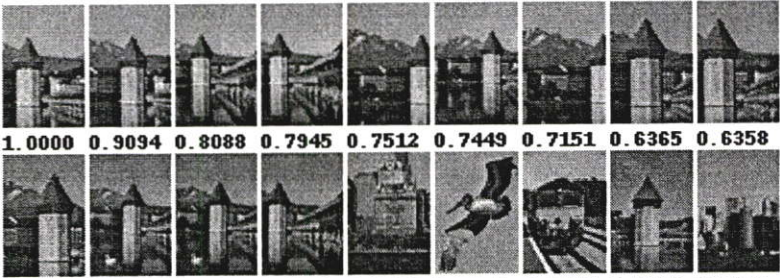
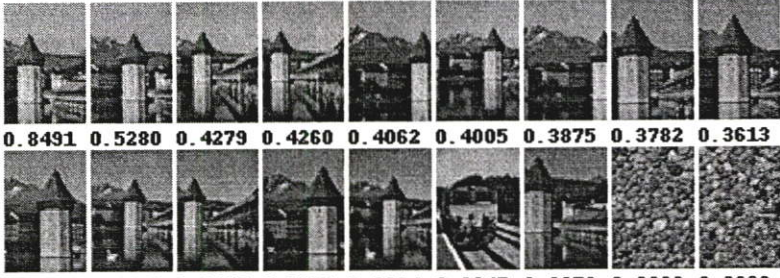
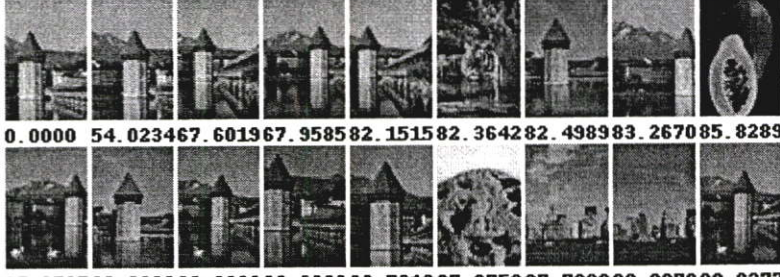
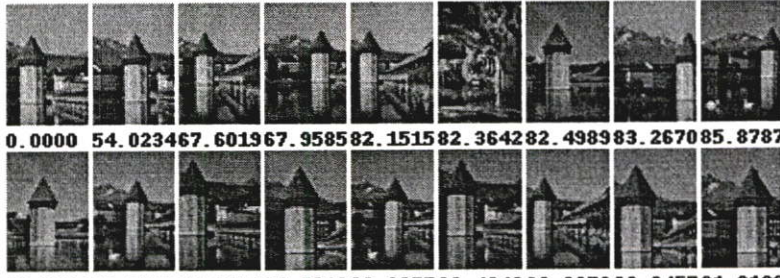


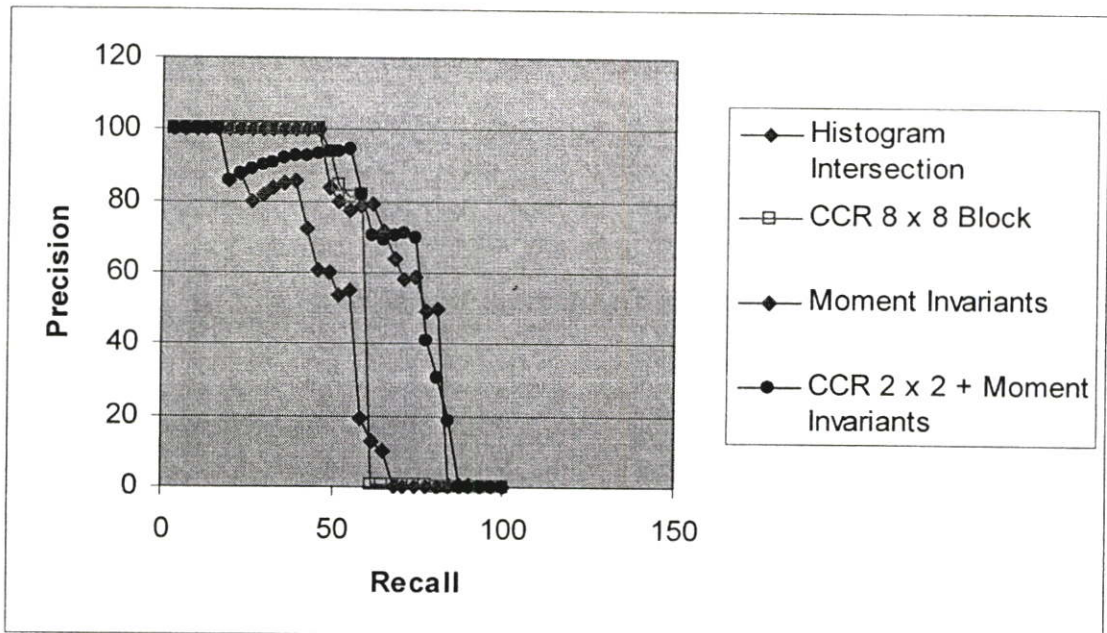
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสีแดง

รูปที่ 5.17 จะเห็นได้ว่ากราฟที่แสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนภาพตัวอักษรสีแดง การค้นคืนภาพด้วยการใช้ CCR 2 x 2 บล็อกพร้อมกับ Moment Invariants จะเป็นเส้นกราฟที่สูงที่สุดในรูป สำหรับเส้นกราฟที่ต่ำที่สุดก็จะเป็นเส้นกราฟของการค้นคืนด้วยการวัดความเหมือนกันของฮิสโตแกรม และจะเห็นได้ว่ากราฟที่แสดงผลการค้นคืนด้วย CCR 8 x 8 บล็อกนั้นมีลักษณะของเส้นกราฟที่ต่ำกว่าเส้นกราฟของการใช้ CCR ร่วมกับ Moment Invariants

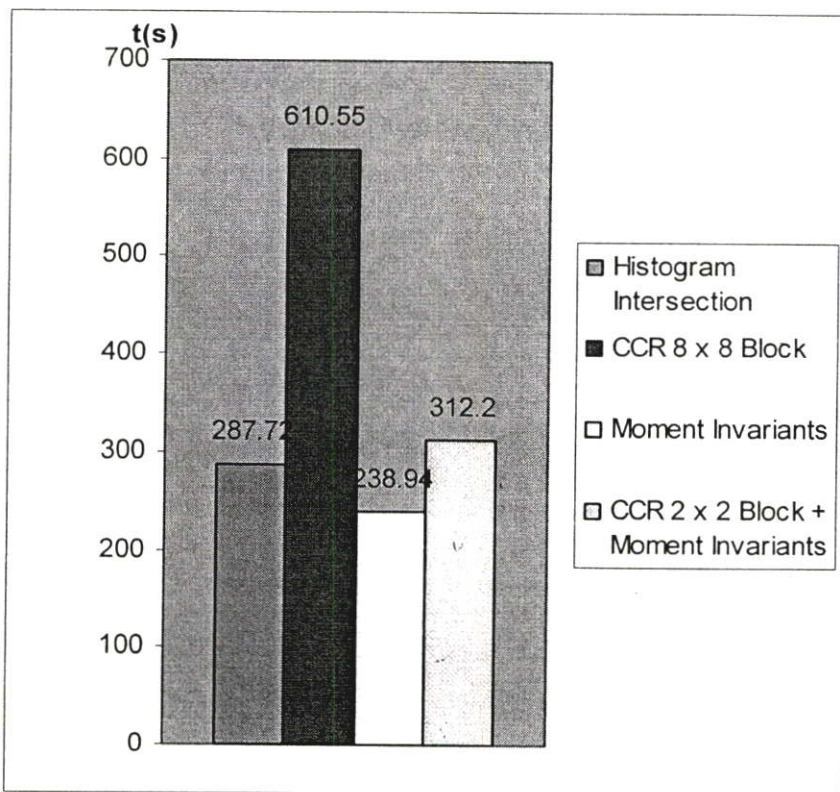
ตารางที่ 5.21 เป็นการค้นคืนภาพโบสต์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลภาพ โดยผลของการค้นคืนด้วยการวัดความเหมือนกันของฮิสโตแกรมนั้น ภาพคนละประเภทกับภาพคำถามจะถูกค้นคืนขึ้นมา ลำดับที่ 14 - 16 และ 18 สำหรับการค้นคืนด้วย CCR 8 x 8 บล็อกนั้นภาพที่เป็นภาพคนละประเภท คำถามจะถูกค้นคืนมาในลำดับที่ 16 - 18 การค้นคืนด้วยค่า Moment Invariants ของทั้งภาพจะได้ภาพที่เป็นประเภทอื่นกับภาพคำถามในลำดับที่ 6, 9 และ 15 - 17 การค้นคืนภาพด้วย CCR 2 x 2 บล็อกพร้อมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ผลของการค้นคืนนั้นจะมีความถูกต้องแม่นยำสูงโดยภาพที่เป็นภาพคนละประเภทกับภาพคำถามนั้นเพียงภาพเดียวซึ่งเป็นภาพในลำดับที่ 6 โดยกราฟที่แสดงประสิทธิภาพในการค้นคืนของแต่ละวิธีจะมีลักษณะดังรูปที่ 5.18

ตารางที่ 5.21 ตัวอย่างผลการค้นคืนรูปภาพ โปสต์สีน้ำตาลจากฐานข้อมูลภาพ 10,000 ภาพ

กรรมวิธี	<p>ภาพคำถาม</p> 
<p>Histogram Intersection</p>	 <p>1. 0000 0. 9094 0. 8088 0. 7945 0. 7512 0. 7449 0. 7151 0. 6365 0. 6358</p> <p>0. 6229 0. 6088 0. 6085 0. 5899 0. 5859 0. 5854 0. 5611 0. 5576 0. 5512</p>
<p>CCR 8 x 8 Block</p>	 <p>0. 8491 0. 5280 0. 4279 0. 4260 0. 4062 0. 4005 0. 3875 0. 3782 0. 3613</p> <p>0. 3449 0. 3444 0. 3415 0. 3131 0. 3094 0. 3047 0. 2956 0. 2939 0. 2930</p>
<p>Moment Invariants</p>	 <p>0. 0000 54. 023467. 601967. 958582. 151582. 364282. 498983. 267085. 8289</p> <p>85. 878786. 002086. 309686. 663986. 781987. 675387. 780388. 337688. 8377</p>
<p>CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants</p>	 <p>0. 0000 54. 023467. 601967. 958582. 151582. 364282. 498983. 267085. 8787</p> <p>86. 002086. 309686. 663986. 781988. 837790. 494390. 807890. 945791. 0192</p>



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพ โบสถ์สีน้ำตาล



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนภาพด้วยฮิสโตแกรม CCR 8 x 8 บล็อก Moment Invariants และ CCR 2 x 2 บล็อกร่วมกับ Moment Invariants

รูปที่ 5.19 เป็นรูปที่แสดงถึงเวลาที่ใช้ในการค้นคืนของวิธีการวัดค่าความเหมือนกันของ ฮิสโตแกรม CCR 8 x 8 บล็อก Moment Invariants ของทั้งภาพ และการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2

บล็อกร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ โดยทุกวิธีจะทำการค้นคืนภาพจากฐานข้อมูลจำนวน 10,000 รูป แล้วทำการหาค่าเวลาเฉลี่ยของแต่ละวิธี จากรูปจะเห็นได้ว่าการค้นคืนด้วย CCR 2×2 บล็อกร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพใช้เวลาในการค้นคืนน้อยกว่าการค้นคืนด้วย CCR 8×8 บล็อก

5.6.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นคืนด้วยการวัดค่าความเหมือนกันของฮิสโตแกรม, CCR 8×8 บล็อก, Moment Invariants ของทั้งภาพ และการค้นคืนด้วย CCR 2×2 บล็อกร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ

การค้นคืนภาพด้วยการเปรียบเทียบความเหมือนกันของฮิสโตแกรมไม่สามารถแยกแยะภาพที่มีการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีที่แตกต่างกันได้ และไม่สามารถใช้ข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีที่ปรากฏได้ การค้นคืนภาพด้วย CCR นั้น ผลของการค้นคืนจะขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อก นั่นคือ บล็อกที่มีขนาดเล็กจะใช้เวลาในการค้นคืนมากแต่มีความถูกต้องแม่นยำสูง ส่วนบล็อกขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการค้นคืนน้อย แต่ก็มีมีความถูกต้องแม่นยำต่ำด้วย การค้นคืนด้วยค่า Moment Invariants ของทั้งภาพจะเป็นการพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของสีที่เกิดขึ้นในภาพ ซึ่งผลของการค้นคืนนั้นมีค่าความถูกต้องแม่นยำไม่สูงมากนัก เนื่องจากทำการพิจารณาเฉพาะลักษณะการกระจายตัวของสีเท่านั้น สำหรับวิธีการค้นคืนที่ใช้ CCR ร่วมกับ Moment Invariants นั้นสามารถทำการสืบค้นภาพที่มีลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสี ที่มีลักษณะคล้ายคลึง หรือใกล้เคียงกับภาพคำถาม โดยให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR ที่มีการแบ่งบล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาในการสืบค้นน้อยกว่าการค้นคืนด้วย CCR ด้วยขนาดบล็อกที่เล็กด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การค้นคืนด้วย CCR 2×2 บล็อกร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR 8×8 บล็อก และถ้าต้องการให้ผลของการค้นคืนมีค่าความแม่นยำและค่าความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นก็สามารถทำได้โดยการใช้ CCR ที่มีขนาดของบล็อกเล็ก ร่วมกับการพิจารณาค่า Moment Invariants ของทั้งภาพ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอกรรมวิธีการค้นคืนรูปภาพ ซึ่งใช้คุณลักษณะสีมาใช้ในการสร้างคำจำกัดของภาพ โดยนำค่า Moment Invariants มาใช้พิจารณาร่วมกับเทคนิค CCR เพื่อให้การค้นคืนด้วย CCR ด้วยบล็อกขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR ที่ใช้บล็อกขนาดเล็ก และใช้เวลาในการค้นคืนไม่มากนัก ในเบื้องต้นจะใช้ CCR ทำการแยกแยะภาพที่มีปริมาณของแต่ละกลุ่มสี และค่าสีที่ปรากฏร่วมสูงสุดของแต่ละกลุ่มสี ที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม เพื่อให้ได้ชุดของภาพคำตอบที่มีข้อมูลเชิงปริมาณและสีอ้างอิงที่ใกล้เคียงกัน จากนั้นนำชุดของภาพคำตอบที่ได้มาทำการจัดเรียงความเหมือนอีกครั้งโดยใช้ค่า Moment Invariants ของภาพคำถามมาทำการหาค่า Euclidean distance กับชุดของภาพคำตอบ เพื่อให้ได้ภาพที่มีลักษณะการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม โดยเรียงลำดับภาพจากภาพที่มีค่าความแตกต่างน้อยไปหาค่ามาก เมื่อจัดเรียงเสร็จแล้ว จะได้ชุดของภาพคำตอบสุดท้าย และวิธีการนี้สามารถให้ผลการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR 8 x 8 บล็อก

6.1 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานวิจัย

การค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบฮิสโตแกรมนั้น ค่าความถูกต้องแม่นยำจะมีค่าไม่สูงมากนัก เมื่อค่าฮิสโตแกรมของภาพแต่ละประเภทมีค่าใกล้เคียง หรือคล้ายคลึงกัน ถึงแม้จะทำการเปรียบเทียบค่าความเหมือน หรือค่าความแตกต่างกันของฮิสโตแกรม ก็ไม่สามารถใช้แยกแยะภาพที่มีการกระจายตัวของสีที่ต่างกันของภาพได้ จึงส่งผลให้ภาพที่ถูกค้นคืนมานั้นมีโอกาที่จะเป็นภาพคนละประเภท หรือมีความหมายแตกต่างกันโดยสิ้นเชิงกับภาพคำถาม

การค้นคืนภาพโดยใช้คำจำกัดความสีแบบ CCR นั้น ผลของการค้นคืนจะขึ้นอยู่กับขนาดของบล็อกซึ่งขนาดของบล็อกมีผลต่อการแบ่งกลุ่มสีของภาพ กล่าวคือการแบ่งภาพออกเป็นบล็อกขนาดใหญ่จะทำให้การพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสีเกิดความผิดพลาดได้เพราะสีที่พิจารณาภายในบล็อกอาจจะไม่ได้เกาะกลุ่มกันอย่างแท้จริง และ การพิจารณาผู้สีเพียงคู่เดียวจึงไม่สามารถระบุการเกาะกลุ่มของสีได้อย่างชัดเจน แต่ ถ้าบล็อกมีขนาดเล็กจะทำให้ภาพที่ถูกค้นคืนมาได้นั้นมีลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสีที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม และที่สำคัญขนาดของบล็อกที่ใช้คำนวณ CCR ยังส่งผลต่อเวลาที่ใช้การในค้นคืน คือ บล็อกที่มีขนาดเล็กจะใช้เวลาในการค้นคืนมาก และบล็อกขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการค้นคืนน้อย ดังนั้นการค้นคืนด้วย CCR 2 x 2 บล็อกจะได้ค่าความถูกต้องแม่นยำต่ำ และการค้นคืนด้วย CCR 16 x 16 บล็อกจะมีค่าความถูกต้องแม่นยำสูง

การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ Moment Invariants นั้น ผลของการค้นคืนภาพจะมีค่าความถูกต้องแม่นยำไม่สูงมากนัก เนื่องจากการพิจารณาความแตกต่างของการกระจายตัวของแต่ละสีที่ปรากฏในภาพเท่านั้น และไม่ได้ทำการพิจารณาความคล้ายคลึงกันของภาพในเชิงปริมาณสี และข้อมูลเชิงตำแหน่งของสีจึงทำให้ภาพที่ถูกค้นคืนขึ้นมาเป็นภาพที่มีลักษณะการกระจายตัวของสีที่ไล่ระดับความใกล้เคียงของสีที่กระจายตัวของภาพคำถาม ซึ่งอาจจะทำให้ภาพคนละประเภทกับภาพคำถามถูกค้นคืนขึ้นมาเนื่องจากมีลักษณะการกระจายสี บางค่าสีที่ใกล้เคียงกับภาพคำถาม

การค้นคืนภาพโดยใช้ค่าจำกัดความถี่แบบ CCR ร่วมกับค่าจำกัดความถี่แบบ Moment Invariants สามารถทำให้การค้นคืนภาพด้วย CCR 2×2 บล็อกให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR 8×8 บล็อก เนื่องจากการค้นคืนด้วยวิธีนี้จะเป็นการเปรียบเทียบความเหมือนของภาพทั้งทางด้านปริมาณสี, ข้อมูลเชิงตำแหน่งสี และลักษณะการกระจายตัวของสี โดย CCR จะพิจารณาข้อมูลเชิงตำแหน่งของสี จากค่าสีที่ปรากฏร่วมของแต่ละกลุ่มสี และพิจารณาปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสี สำหรับค่า Moment Invariants จะใช้พิจารณาระดับการกระจายตัวของสีว่ามีระดับการกระจายตัวของสีที่ มาก ปานกลาง หรือน้อย ดังนั้นจึงทำให้การค้นคืนที่ใช้ค่า CCR ร่วมกับ Moment Invariants ด้วยบล็อกขนาดใหญ่ จึงให้ผลการค้นคืนที่ใกล้เคียงกับการค้นคืนด้วย CCR ด้วยบล็อกขนาดเล็ก แต่ใช้เวลาที่น้อยกว่า

6.2 แนวทางในการพัฒนาต่อ

จากงานวิจัยชิ้นนี้ ยังคงมีจุดด้อยบางส่วนในการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสี โดยใช้ CCR นั้น จะได้การเกาะกลุ่มสีในลักษณะเชิงตำแหน่งของบล็อกที่ติดกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสีที่ปรากฏในภาพที่แท้จริงได้ นอกจากนี้ปัญหาการรับรู้สีของมนุษย์มองสีที่เกาะกลุ่มกันในลักษณะเฉดสี นั่นคือถ้าสีคล้ายคลึงกันเกาะกลุ่มกัน มนุษย์จะมองเป็นสีเดียวกัน แต่การแบ่งช่วงสีฮิสโตแกรมโดยปกติจะแบ่งเป็นช่วงสีโดยอิงจากค่าสีเป็นหลัก เช่นสีแดง อาจแบ่งเป็นแดงเข้ม แดงอ่อน แดงอมส้ม เป็นต้น จึงส่งผลให้การพิจารณาการกระจายตัวของสีด้วยสายตา มนุษย์เมื่อเทียบกับการพิจารณาด้วยตัวโปรแกรมทางการคำนวณอาจจะแตกต่างกันได้

ผู้วิจัยจึงเสนอแนะแนวทางในปัญหา นั่นคือควรใช้การแบ่งส่วนของรูปภาพเป็นเซกเมนต์ย่อยๆ ที่แต่ละเซกเมนต์แปรผันไปตามลักษณะรูปภาพ แทนการแบ่งภาพเป็นบล็อก เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาการเกาะกลุ่มกันของสี แล้วจึงนำกลุ่มสีที่ได้จากการทำเซกเมนต์ไปทำการวัดปริมาณการเกาะกลุ่มกันของสี และค่าสีที่ปรากฏร่วมแต่ละกลุ่มสี ส่วนปัญหาของภาพที่ค้นคืนออกมาแล้วเกิดความรู้สึกขัดแย้งในมุมมองของมนุษย์นั้น ควรแก้ปัญหาคด้วยการปรับปรุงขั้นตอนการพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของสี ให้มีการพิจารณาในลักษณะของเฉดสีที่ใกล้เคียงกันด้วย เพื่อให้ได้การกระจายตัวของสีที่ใกล้เคียงกับการรับรู้ของมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Swain and D. Ballard, “**Color indexing**”, International Journal of Computer Vision, 7, 1991, 11-32.
- [2] G. Pass and R. Zabith, “**Histogram refinement for content-based image Retrieval**”, in Proceedings of IEEE Workshop and Applications of Computer Vision, 1996, 96-102.
- [3] R. M. Haralick, J. Shanmugam, and I. Dinstein, “**Texture feature for image Classification**”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 3, 1973, 610-621.
- [4] H. Tamura, S. Mori, and T. Yamawaki, “**Texture features corresponding to visual perception**”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 8, 1978, 460-473.
- [5] E. Persoon and K. Fu, “**Shape discrimination using Fourier descriptors**”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 7, 1977, 170-179.
- [6] M. K. Hu, “**Visual pattern recognition by moment invariants**,” in Computer Methods in Image Analysis (J. K. Aggarwal, R. O. Duda, and A. Rosenfeld, eds.), IEEE Computer Society, Los Angeles, 1977.
- [7] TaeYong Kim and Joon H. Han, “**Partial Image Matching by Measures from Connected Color Regions**”, IEEE International Conference on Multimedia and Expo (I), 30 July-2 Aug 2000
- [8] Qing Chen, Emil Petru and Xiaoli Yang, “**A Comparative Study of Fourier Descriptors and Hu’s Seven Moment Invariants for Image Recognition**”, Electrical and Computer Engineering, 2004 Canadian Conference on Volume 1, Issue, 2 – 5 May 2004, 103 – 106 Vol. 1
- [9] R. J. Ramteke and S. C. Mehrotra, “**Feature Extraction Based on Moment Invariants for Handwriting Recognition**”, Cybernetics and Intelligent Systems, 2006 IEEE Conference, June 2006, Bangkok
- [10] Teknomo K. “**Similarity Measurement**” [Online].
<http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/Similarity/index.html>. 2005
- [11] Baeza-Yates R. and Ribeiro-Neto B. **Modern Information Retrieval**. United State : Addison-Wesley, Inc. 1999
- [12] Britton I. “**Free Pictures**” [Online]. <http://www.freefoto.com> . 2002.

ภาคผนวก

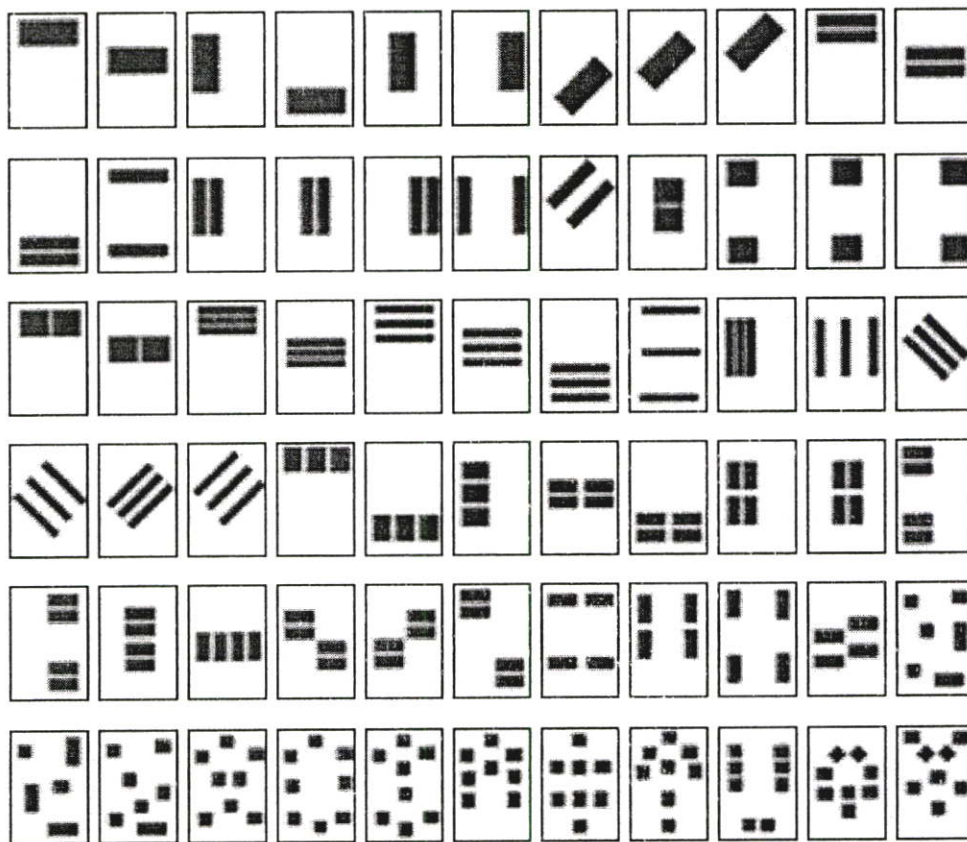
ภาคผนวก ก.

Moment Invariants ของรูปภาพ

ก. 1 Moment Invariants สำหรับการกระจายสีในรูปแบบต่าง ๆ

ค่า Moment Invariants ($\phi_1 - \phi_4$) สามารถใช้ระบุการกระจายตัวของแต่ละกลุ่มสีได้ ซึ่งตัวอย่างของรูปภาพที่ปรากฏการเกาะกลุ่ม หรือการกระจายตัวของสีในลักษณะต่าง ๆ สามารถแสดงดังรูปที่











ก.1.1













รูปที่ ก.1.1 ตัวอย่างของรูปภาพที่ปรากฏการกระจายตัวของสีในลักษณะต่าง ๆ

จากรูปภาพที่เกิดการเกาะกลุ่มกัน หรือการกระจายตัวของสีสามารถหาค่า Moment Invariants ของแต่ละสีที่ปรากฏในภาพได้จากสมการที่ (3.4) – (3.24) โดยค่าที่นำมาใช้ในการจัดกลุ่มการเกาะกลุ่ม หรือ การกระจายในงานวิจัยนี้ จะใช้ค่า absolute ของ log ของค่า Moment Invariants เพื่อหลีกเลี่ยงค่าที่ติดลบของ Complex Number สามารถดูค่า Moment Invariants ของแต่ละภาพได้จากตารางที่ ก.1.1











ตารางที่ ก.1.1 แสดงค่า Moment invariants สำหรับ การเกาะกลุ่มแบบต่างๆ

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 A1	1.506048	3.843674	65535	65535	65535	65535	65535
 A2	1.506048	3.843674	65535	65535	65535	65535	65535
 A3	1.506048	3.843674	65535	65535	65535	65535	65535
 A4	1.506048	3.843674	65535	65535	65535	65535	65535
 A5	1.506048	3.843674	65535	65535	65535	65535	65535
 A6	1.506048	3.843674	65535	65535	65535	65535	65535
 A7	1.505436	3.841225	21.29553	23.28913	45.9164	26.28495	45.93996
 A8	1.505453	3.841177	19.15224	21.7684	42.56321	23.95247	42.86339
 A9	1.505507	3.841289	19.45926	21.82198	42.75202	23.99206	43.07524
 A10	1.505287	3.84057	19.40889	21.78083	42.52078	23.91588	43.92849











ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 A11	1.505473	3.841112	24.24273	27.35019	53.36952	29.93202	53.65798
 A12	1.505218	3.840225	18.2758	20.65597	40.45693	22.84632	40.65142
 B1	1.445672	4.041817	19.36887	19.36887	38.73773	21.61925	65535
 B2	1.445672	4.041817	19.36887	19.36887	38.73773	21.61925	99.12005
 B3	1.445721	4.041937	20.19057	19.15455	38.83414	21.41154	41.08354
 B4	0.101516	0.605377	7.969308	7.969609	15.93907	8.272303	30.17286
 B5	1.445743	4.042742	19.3324	19.37393	38.72709	21.62472	65535
 B6	1.445743	4.042742	19.3324	19.37393	38.72709	21.62472	67.52473
 B7	1.445779	4.043205	19.52961	19.3411	38.77645	21.59246	65.25333
 B8	0.341625	2.142558	9.724951	9.725752	19.4511	10.79703	65535











ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 B9	1.407634	4.133005	20.14281	18.63682	38.02971	20.94133	40.5746
 B10	1.136557	5.969224	15.42159	14.951	30.13731	18.21194	35.29539
 B11	1.417588	4.098971	16.96804	20.3581	39.21595	22.76054	39.58678
 B12	1.142583	5.909424	14.30536	15.14716	29.87367	18.3726	33.673
 B13	1.418265	4.102082	17.76451	19.541	38.2251	21.84624	39.59416
 B14	1.148749	5.8484	14.52276	15.14026	29.97207	18.33583	33.69249
 B15	1.413775	4.121284	16.86335	20.28335	38.88712	22.58949	40.27164
 B16	1.090205	6.734358	13.65025	14.66129	28.81732	18.30959	32.5934
 B17	1.537038	4.19105	13.87413	16.17414	31.19833	18.26973	35.7433
 B18	1.53699	4.190959	13.85109	16.19006	31.21205	18.28692	34.14627











ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 B19	1.537038	4.19105	13.87413	16.17414	31.19833	18.26973	35.7433
 B20	0.042892	0.09877	9.073454	9.440273	18.69714	9.48966	26.52109
 B21	0.042812	0.098948	9.073654	9.440525	18.69761	9.489999	28.08047
 B22	0.042799	0.098986	9.053213	9.421741	18.65922	9.471238	25.92242
 B23	1.407557	3.55202	18.53857	18.56738	37.12038	20.34672	42.08001
 B24	1.407557	3.55202	18.53857	18.56738	37.12038	20.34672	42.08001
 B25	1.407557	3.55202	18.53857	18.56738	37.12038	20.34672	42.08001
 B26	1.071909	2.641516	14.7723	14.78114	29.55786	16.10204	36.52507
 B27	1.061033	2.613686	14.67097	14.68548	29.36371	15.99233	65535
 B28	1.050197	2.586042	14.62401	14.63214	29.26023	15.92529	36.3074

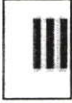









ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 B29	1.53631	4.191063	13.10554	15.22921	29.39711	17.3253	32.9741
 B30	1.043648	2.694153	11.2618	12.1916	23.91832	13.53875	29.12435
 B31	1.388495	3.489056	15.38717	16.24786	32.06875	18.00926	34.56723
 B32	0.879023	2.156005	19.29679	19.93797	39.56892	21.15635	41.36563
 B33	0.2405	0.705881	8.737026	8.990913	17.85494	9.346009	22.6062
 B34	0.157653	0.520504	11.78377	11.87107	23.69885	12.13157	27.32385
 B35	1.02188	2.565625	13.83909	14.98822	29.52114	16.70216	30.34007
 B36	0.161803	0.163006	8.880689	9.256995	18.326	9.178113	22.56168
 C1	1.453829	4.013141	18.93186	18.93186	37.86373	21.1728	65535
 C2	1.453829	4.013141	18.93186	18.93186	37.86373	21.1728	65535











ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 C3	1.453829	4.013141	18.93186	18.93186	37.86373	21.1728	65535
 C4	1.27262	4.867218	14.8621	14.92684	29.8213	17.64241	61.79578
 C5	1.272704	4.867626	15.07584	14.87409	29.84907	17.59071	35.09297
 C6	1.27266	4.867856	14.93641	14.90165	29.82069	17.61795	35.76655
 C7	0.093959	0.689777	5.155936	5.249926	10.45291	5.616989	15.34498
 C8	1.453851	4.013355	18.73356	18.96985	37.82171	21.21141	41.98624
 C9	1.453829	4.013141	18.93186	18.93186	37.86373	21.1728	65535
 C10	1.453829	4.013141	18.93186	18.93186	37.86373	21.1728	65535
 C11	1.272665	4.866958	14.79133	14.95271	29.82475	17.66827	35.00078
 C12	1.272702	4.868006	14.64543	14.98356	29.79808	17.69871	34.77575

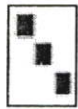



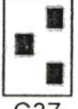


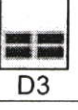
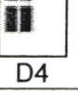
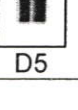
ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 C13	1.272661	4.867376	14.76406	14.95422	29.81337	17.66959	36.25541
 C14	0.650091	4.048592	11.72881	11.8474	23.63561	13.89448	27.87733
 C15	1.254002	4.829659	14.47084	14.48772	28.97737	17.19493	31.06948
 C16	0.893702	6.684516	11.22677	13.42354	25.94627	17.51368	28.08581
 C17	1.243272	4.844791	14.1559	14.19312	28.37082	16.91028	31.05599
 C18	0.995713	6.955865	11.67917	11.58499	23.21711	16.28065	27.85878
 C19	1.214185	3.014665	12.88888	13.2495	26.32207	14.8714	28.98881
 C20	1.214185	3.014665	12.88888	13.2495	26.32207	14.8714	28.98881
 C21	1.214185	3.014665	12.88888	13.2495	26.32207	14.8714	28.98881
 C22	1.214185	3.014665	12.88888	13.2495	26.32207	14.8714	28.98881










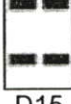
ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 C23	1.214185	3.014665	12.88888	13.2495	26.32207	14.8714	28.98881
 C24	1.214185	3.014665	12.88888	13.2495	26.32207	14.8714	28.98881
 C25	0.770248	1.722463	7.848271	8.281467	16.34651	9.144919	20.5646
 C26	0.75992	1.702536	7.51425	7.958333	15.69493	8.813263	19.64214
 C27	0.747915	1.674524	8.293558	8.77679	17.31282	9.623151	20.73915
 C28	1.206834	2.995627	13.23546	13.48868	26.85194	15.06228	30.03892
 C29	1.206597	2.995033	13.0915	13.31197	26.51452	14.87554	29.88899
 C30	0.362664	0.913267	5.309522	5.997611	11.67749	6.691482	13.50697
 C31	0.410678	1.007554	7.994426	8.330643	16.49483	8.866992	19.60415
 C32	0.199291	0.527921	5.588904	5.73428	11.39595	6.011617	15.75649










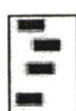
ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 C33	0.122401	0.365389	5.396299	5.715156	11.27292	5.957859	14.02279
 C34	0.861478	6.292477	3.029803	9.57253	16.16054	12.73241	16.58832
 C35	0.815926	8.756583	2.869405	8.167422	15.09719	12.96382	13.74699
 C36	0.511873	2.379026	2.080771	5.105802	9.250171	7.036034	12.10607
 C37	0.356685	2.477959	1.463377	4.762079	8.749374	6.937299	8.283792
 D1	1.184205	3.189725	13.89395	13.89395	27.82186	15.49723	29.14958
 D2	1.184205	3.189725	13.89395	13.89395	27.82186	15.49723	29.14958
 D3	1.184205	3.189725	13.89395	13.89395	27.82186	15.49723	29.14958
 D4	1.184205	3.189725	13.89395	13.89395	27.82186	15.49723	29.14958
 D5	1.184205	3.189725	13.89395	13.89395	27.82186	15.49723	29.14958





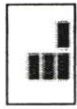
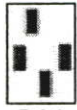




ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 D6	1.184205	3.189725	13.89395	13.89395	27.82186	15.49723	29.14958
 D7	0.152392	0.531668	7.503294	7.959941	15.69156	8.225776	24.56876
 D8	0.152392	0.531668	7.503294	7.959941	15.69156	8.225776	24.56876
 D9	0.152392	0.531668	7.503294	7.959941	15.69156	8.225776	24.56876
 D10	1.189713	3.100236	10.70258	12.19894	23.6497	13.74907	29.23473
 D11	1.238494	3.241568	10.88698	12.58203	24.37506	14.28456	25.61145
 D12	0.879294	2.295976	10.33885	11.10187	21.84423	12.33515	23.60525
 D13	0.899311	2.350199	10.42691	11.27462	22.14177	12.5261	23.84265
 D14	0.082848	0.015789	6.882852	7.185118	14.21926	7.19595	18.52905
 D15	0.067481	1.857923	11.29827	8.311961	21.21795	9.297942	18.38844



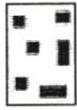
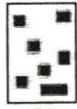
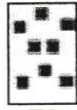
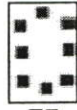

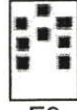
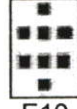

ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 D16	0.499515	4.713201	9.475696	10.39981	22.16494	13.14416	20.59173
 D17	0.109778	2.18623	7.414926	7.470628	15.49376	11.84278	15.10131
 D18	0.977106	3.697514	9.128933	10.28137	20.39766	12.27102	20.51785
 D19	0.128936	1.357464	6.114236	6.945145	13.52523	7.695469	14.98028
 D20	0.937098	2.244217	7.364371	7.699083	15.23258	8.856996	18.05329
 D21	1.149496	2.869722	7.714868	9.972934	19.07876	11.83288	21.72481
 D22	0.347556	4.249318	1.333422	5.492383	9.260612	8.239481	9.243256
 D23	0.324158	4.158041	1.249961	5.522686	8.913787	8.231076	11.66775
 D24	1.358019	8.354709	10.63567	12.91143	25.11558	17.98975	25.37341
 D25	0.307611	1.131006	2.245505	3.767222	7.241426	5.441088	7.693311

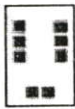
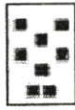
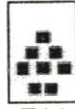




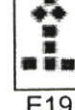
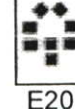

ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 D26	0.505373	1.554607	2.415225	3.098681	5.869357	4.062422	7.660226
 D27	0.640343	3.136193	2.526004	6.91186	11.69061	8.515351	13.10422
 D28	0.280007	1.581669	1.944301	5.187443	8.753351	5.978884	13.88374
 D29	0.609058	3.267652	2.408252	3.67527	6.99298	5.317769	7.805965
 D30	1.116782	3.675595	3.868419	5.423405	10.155	7.544707	10.99351
 D31	0.374817	2.65578	3.547189	4.874237	9.368548	6.350398	10.00939
 D32	0.332972	1.415133	1.229636	1.695023	3.157358	2.402637	9.444224
 D33	0.770271	6.490656	10.04237	13.30338	25.39197	18.53826	25.49161
 D34	0.008134	1.323876	1.406454	3.238527	6.987328	5.288157	5.590729
 E1	0.123961	1.761159	1.839789	5.170959	8.881707	8.102234	9.74091

ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 E2	0.093645	0.955682	0.763091	1.801944	3.113935	2.311074	5.500181
 E3	0.041393	2.119954	4.541284	2.810354	8.22368	4.125155	6.5432
 E4	0.091921	1.953607	4.185624	4.249959	9.840018	6.748075	9.062896
 E5	0.122412	1.790884	4.949064	2.780918	9.050926	3.676464	6.658623
 E6	0.252379	2.565183	8.994158	6.196091	14.45978	7.499639	14.29306
 E7	0.023579	2.534491	6.611878	8.34002	18.52079	10.48593	16.12873
 E8	0.096472	1.40272	7.765664	6.028137	13.07657	6.761316	13.95404
 E9	0.587443	8.039126	4.753547	6.066569	11.93326	11.04555	12.81447
 E10	0.516184	2.758724	8.157768	9.611533	18.54032	12.89535	19.7318
 E11	0.449469	2.695036	2.220977	3.238996	5.968994	4.590813	11.73297

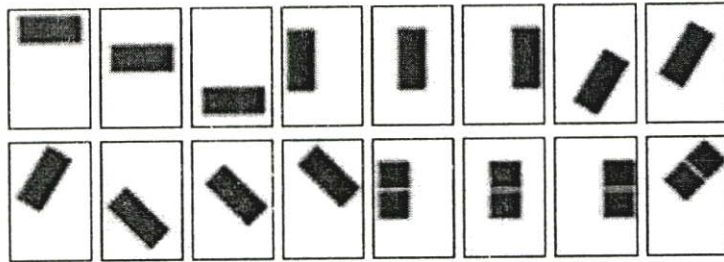
ตารางที่ ก.1.1 (ต่อ)

Filename	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
 E12	0.251829	3.185119	1.663238	4.047383	6.952033	5.646057	8.674017
 E13	0.364807	2.416892	2.695345	9.367108	16.52389	12.00408	15.77005
 E14	0.955848	4.552792	6.787074	15.73729	27.32378	19.15639	27.69488
 E15	0.788495	5.117998	6.048058	9.018485	16.55806	11.58702	19.00287
 E16	0.26121	3.060839	1.491365	10.09534	15.89995	12.46807	18.06651
 E17	0.554607	3.491755	4.429308	6.500717	16.99013	9.08486	12.37131
 E18	0.120415	1.512457	2.444891	0.900856	2.579481	1.657579	5.744311
 E19	0.453329	1.787437	2.729632	6.109058	10.53382	7.003485	12.7936
 E20	0.802406	6.267544	9.105104	8.130584	16.7535	11.37869	19.0465
 E21	0.438025	3.261898	3.32208	8.970741	15.12961	10.61591	17.25765

ก.2 การแบ่งกลุ่มการเกาะกลุ่มและการกระจายตัวของสีจากค่า M1-M4

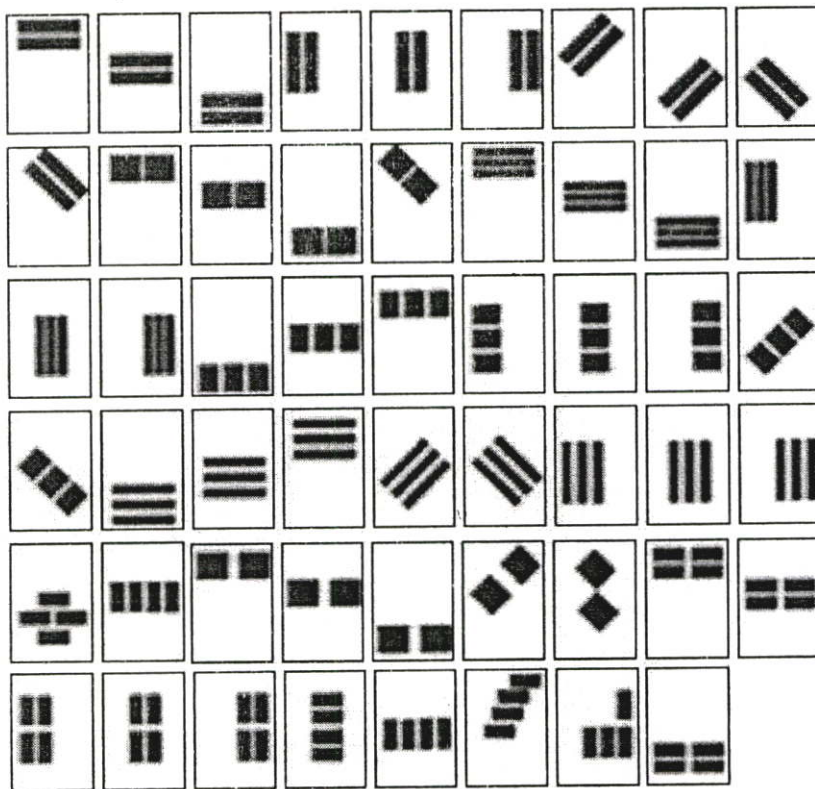
จากการวิเคราะห์ค่าของ Moment invariants สำหรับการเกาะกลุ่มและการกระจายตัวของสี พบว่าค่า $\phi_1 - \phi_4$ เป็นค่าหลักที่สามารถนำมาใช้เพื่อระบุระดับการเกาะกลุ่มและการกระจายตัวของสี ได้ดี ส่วนค่า $\phi_5 - \phi_7$ มีค่าน้อย จากค่า $\phi_1 - \phi_4$ พบว่าสามารถแบ่งกลุ่มของการเกาะกลุ่มและการกระจายตัวของสีได้ 5 กลุ่ม คือ

ประเภทที่ 1 แทนกลุ่มของสีที่เกาะกลุ่มกัน



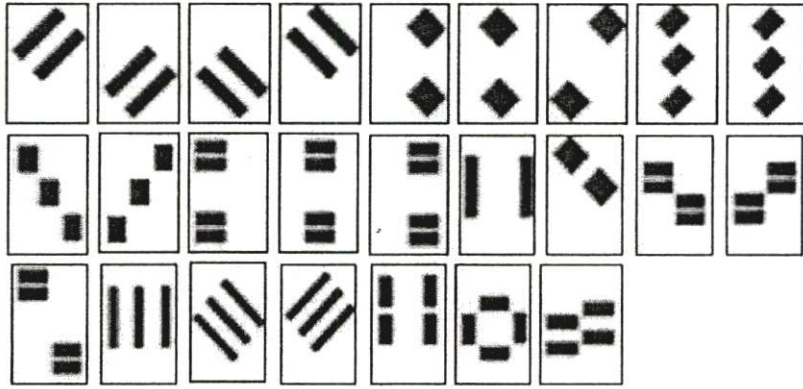
รูปที่ ก.2.1 ตัวอย่างกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 1

ประเภทที่ 2 แทนกลุ่มของสีที่แยกจากกันเล็กน้อย



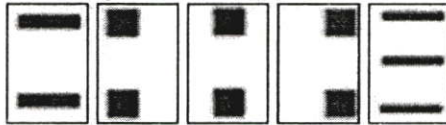
รูปที่ ก.2.2 ตัวอย่างแสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 2

ประเภทที่ 3 แทนกลุ่มของสี่ที่แยกจากกันปานกลาง



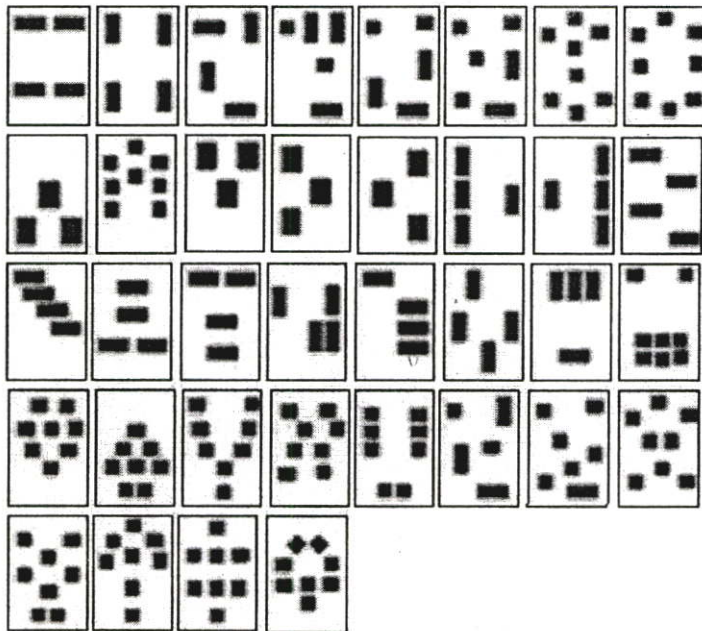
รูปที่ ก.2.3 ตัวอย่างแสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3

ประเภทที่ 4 แทนกลุ่มของสี่ที่แยกจากกันมาก



รูปที่ ก.2.4 ตัวอย่างแสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 4

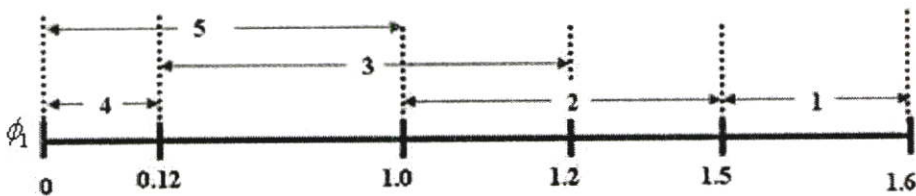
ประเภทที่ 5 แทนกลุ่มของสี่ที่กระจายตัว



รูปที่ ก.2.5 ตัวอย่างแสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 5

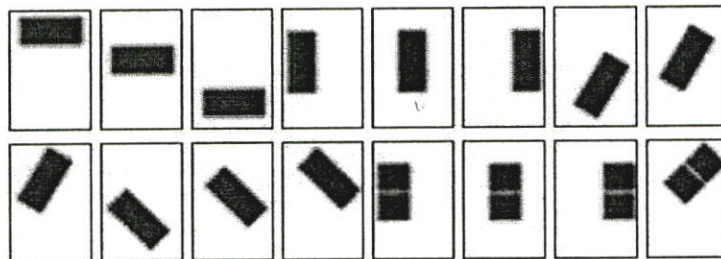
ก.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า $\phi_1 - \phi_4$ กับการเกาะกลุ่มและการกระจายตัวของสี

ϕ_1 และ ϕ_2 สามารถใช้อธิบายถึงลักษณะการเกาะกลุ่มกันของสี ว่าเกาะกลุ่มกันในระดับที่มาก ปานกลาง หรือ น้อย ซึ่งค่าของ ϕ_1 ที่มีค่าตั้งแต่ 1.2 – 1.6 สามารถใช้ระบุการเกาะกลุ่มกันของสีที่เกาะกลุ่มกันในระดับที่มากได้ สำหรับ ϕ_2 สามารถนำมาใช้พิจารณาพร้อมกับ ϕ_1 เพื่อใช้แยกแยะการเกาะกลุ่มกันของสีที่แยกจากกันในระดับ ปานกลาง และเล็กน้อยได้ ในขณะที่ ϕ_3 และ ϕ_4 ใช้อธิบายถึงการกระจายตัวของกลุ่มสีว่ากระจายมาก ปานกลาง หรือ น้อย ซึ่งค่าของ ϕ_3 และ ϕ_4 จะมีค่าที่สูงเมื่อเทียบกับค่า ϕ_1 และ ϕ_2 ของสีนั้น กล่าวคือ ลักษณะของกลุ่มสีที่กระจายตัวจะมีค่า ϕ_1 และ ϕ_2 ที่น้อยมาก พร้อมกับมีค่าของ ϕ_3 และ ϕ_4 ที่มีค่าสูง ดังนั้นค่าของ Moment Invariants จึงสามารถนำมาใช้ในพิจารณาการกระจายตัวของสีในลักษณะต่าง ๆ ได้ ซึ่งการพิจารณาการกระจายตัวของสีแบ่งออกเป็น 5 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 แทนกลุ่มของสีที่มีการเกาะกลุ่มกัน ประเภทที่ 2 แทนกลุ่มของสีที่แยกจากกันเล็กน้อย ประเภทที่ 3 แทนกลุ่มของสีที่แยกจากการปานกลาง ประเภทที่ 4 แทนกลุ่มของสีที่แยกจากกันมาก และประเภทที่ 5 แทนกลุ่มของสีที่กระจายตัวดังแสดงได้ดังรูปที่ ก.3.1 - ก.3.3.4



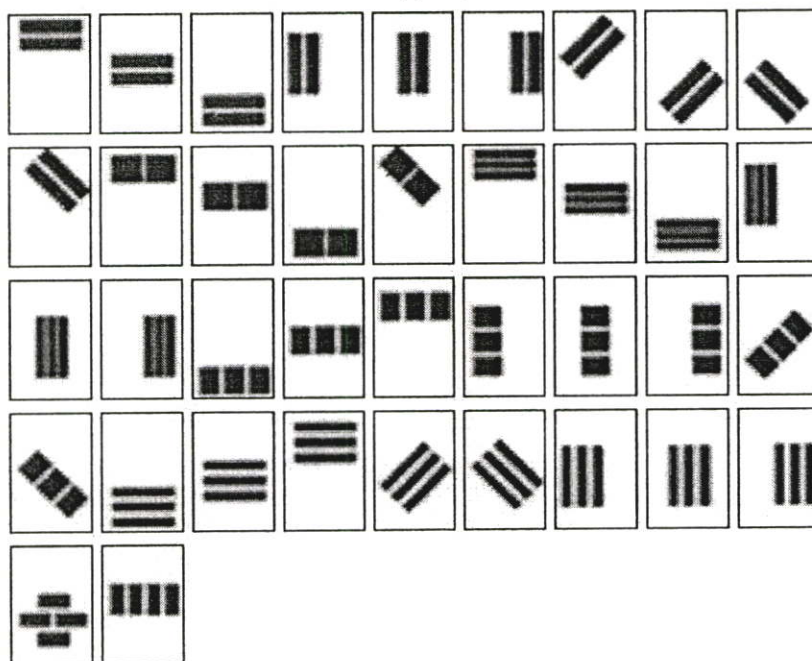
(ก)

ประเภท 1: $\phi_1 = [1.5, 1.6)$



(ข)

ประเภท 2: $\phi_1 = [1.2, 1.5)$



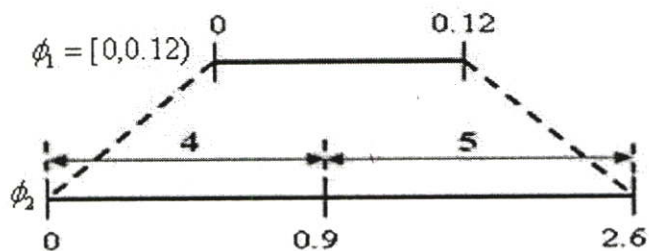
(ก)

รูปที่ ก.3.1 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสี่จากค่า ϕ_1

(ก) รูปแสดงช่วงการเกาะกลุ่มกันของสี่จากการพิจารณาค่า ϕ_1

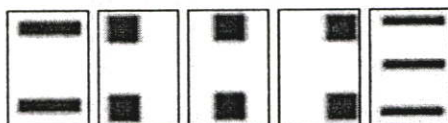
(ข) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 1

(ค) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 2



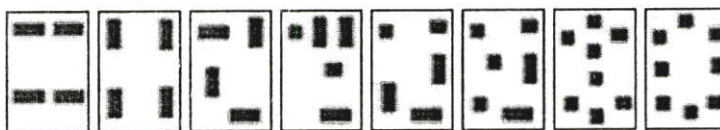
(ก)

กลุ่มที่ 4: $\phi_1 = [0, 0.12)$ และ $\phi_2 = [0, 0.9)$



(ข)

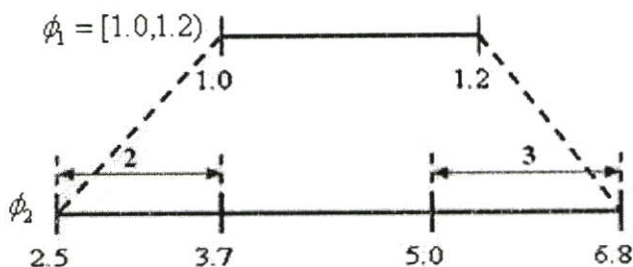
กลุ่มที่ 5: $\phi_1 = [0,0.12)$ และ $\phi_2 = [0.9,2.6)$



(ค)

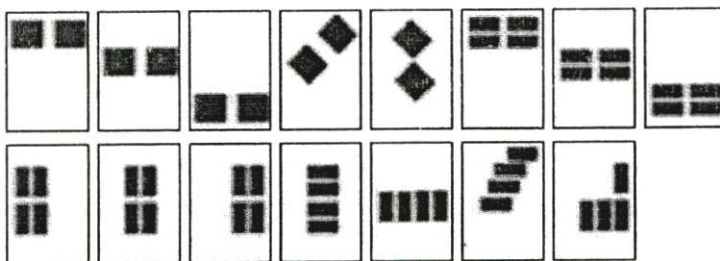
รูปที่ ก.3.2 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสี่จากค่า ϕ_1 และ ϕ_2

- (ก) รูปแสดงช่วงการเกาะกลุ่มกันของสี่จากการพิจารณาค่า ϕ_1 ร่วมกับ ϕ_2
- (ข) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 4
- (ค) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 5



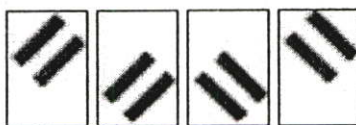
(ก)

กลุ่มที่ 2: $\phi_1 = [1.0,1.2)$ และ $\phi_2 = [2.5,3.7)$



(ข)

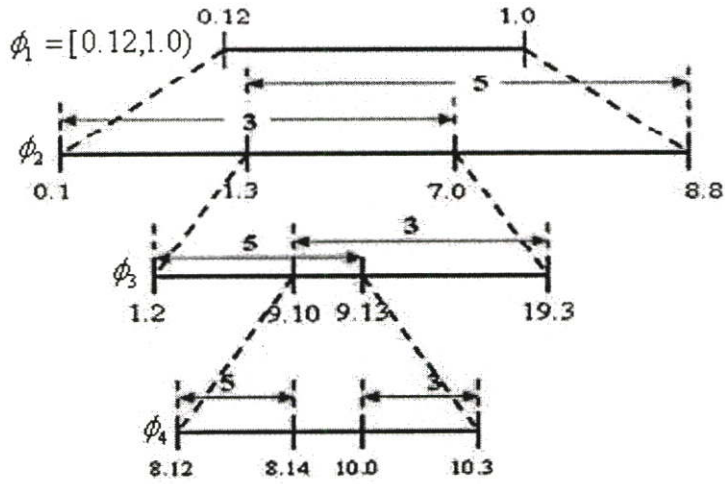
กลุ่มที่ 3: $\phi_1 = [1.0,1.2)$ และ $\phi_2 = [5.0,6.8)$



(ค)

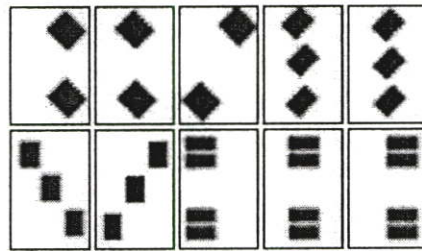
รูปที่ ก.3.3 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสี่จากค่า ϕ_1 ร่วมกับ ϕ_2

- (ก) รูปแสดงช่วงการเกาะกลุ่มกันของสี่จากการพิจารณาค่า ϕ_1 ร่วมกับ ϕ_2
- (ข) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 2
- (ค) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3



(n)

กลุ่มที่ 3: $\phi_1 = [0.12, 1.0]$ และ $\phi_2 = [0.1, 1.3]$



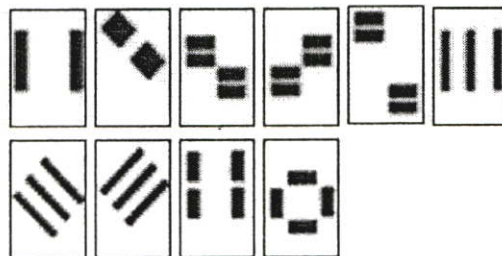
(v)

กลุ่มที่ 5: $\phi_1 = [0.12, 1.0]$ และ $\phi_2 = [7.0, 8.8]$



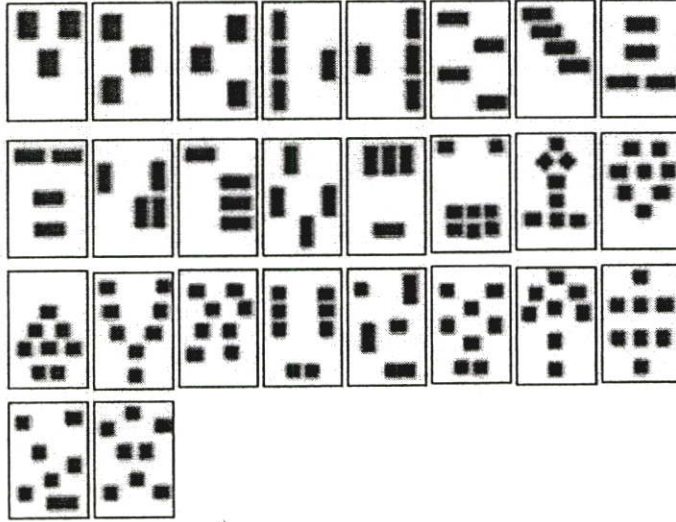
(k)

กลุ่มที่ 3: $\phi_1 = [0.12, 1.0]$ $\phi_2 = [1.3, 7.0]$ และ $\phi_3 = [9.12, 19.3]$



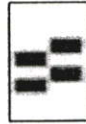
(s)

กลุ่มที่ 5: $\phi_1 = [0.12,1.0)$ $\phi_2 = [1.3,7.0)$ และ $\phi_3 = [1.2,9.10)$



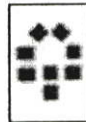
(จ)

กลุ่มที่ 3: $\phi_1 = [0.12,1.0)$ $\phi_2 = [1.3,7.0)$ $\phi_3 = [9.12,19.3)$ และ $\phi_4 = [8.12,8.14)$



(ฉ)

กลุ่มที่ 5: $\phi_1 = [0.12,1.0)$ $\phi_2 = [1.3,7.0)$ $\phi_3 = [9.12,19.3)$ และ $\phi_4 = [10.0,10.3)$




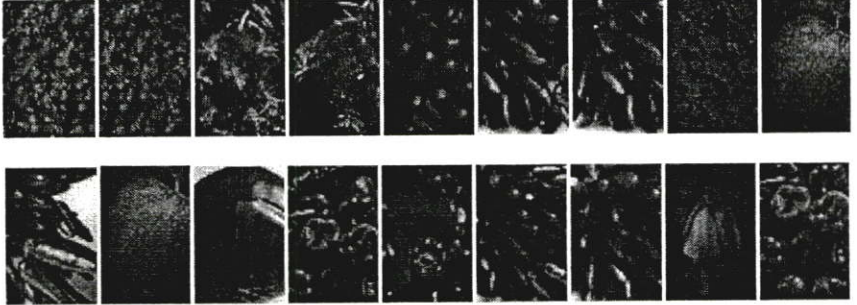
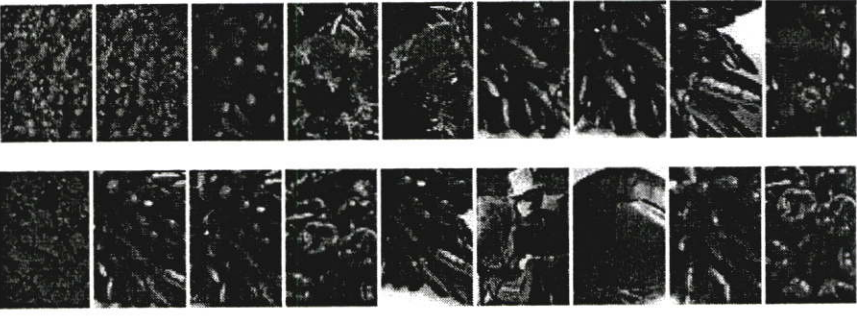
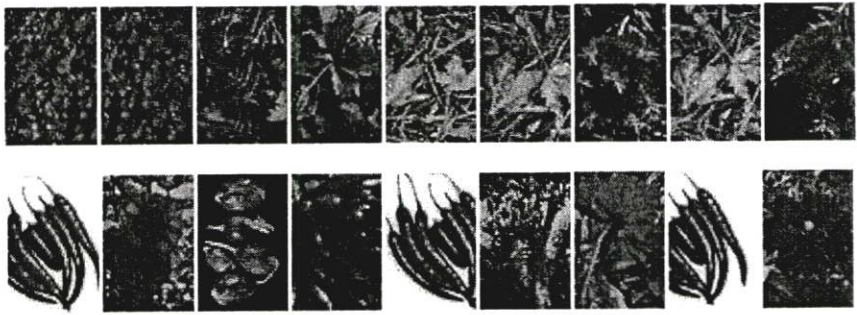
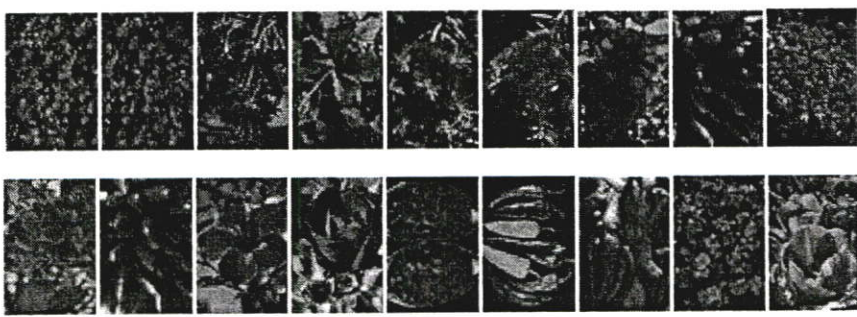
(ช)

รูปที่ ก.3.4 แสดงการพิจารณาการเกาะกลุ่มของสี่จากค่า ϕ_1 ϕ_2 ϕ_3 และ ϕ_4


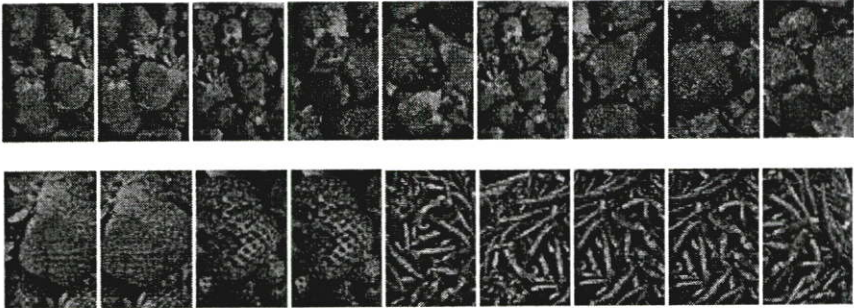
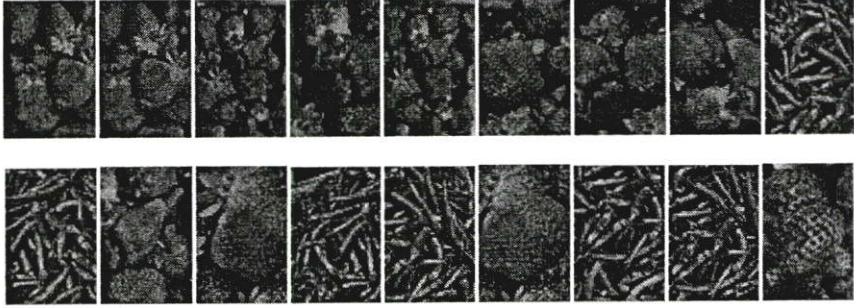
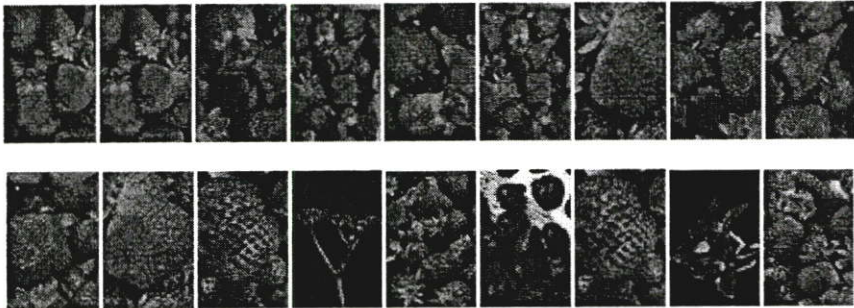
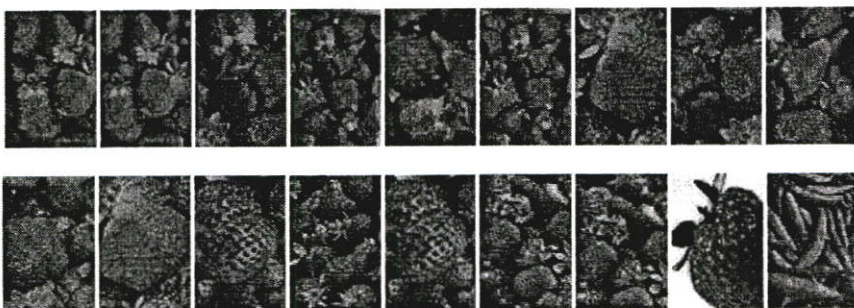
- (ก) รูปแสดงช่วงการเกาะกลุ่มกันของสี่จากการพิจารณาค่า ϕ_1 ϕ_2 ϕ_3 และ ϕ_4
- (ข) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3
- (ค) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 5
- (ง) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3
- (จ) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 5
- (ฉ) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 3
- (ช) แสดงกลุ่มของรูปภาพที่จัดอยู่ในประเภทที่ 5

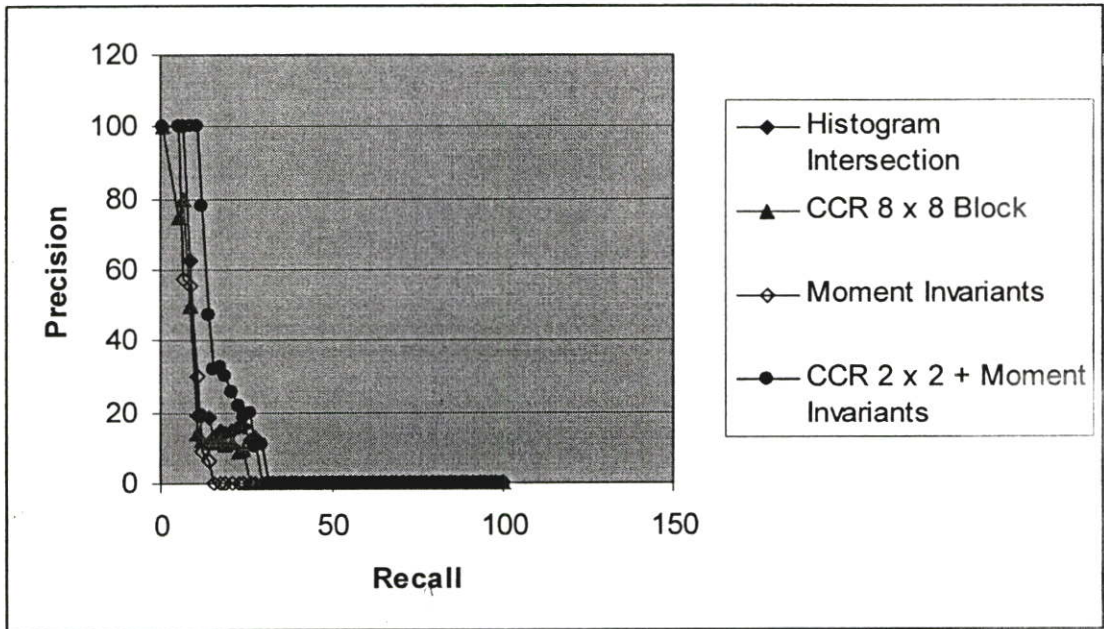
ภาคผนวก ข.
ตัวอย่างผลลัพธ์การค้นคืนภาพ

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพพุ่มดอกไม้สีแดงจากฐานข้อมูลภาพ

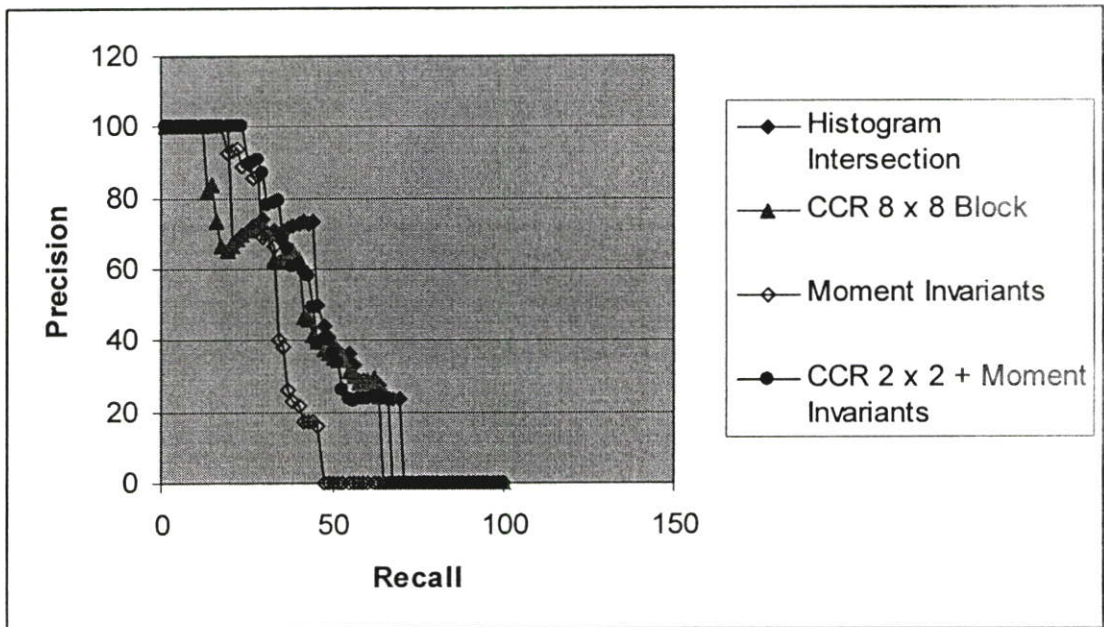
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
<p>Histogram Intersection</p>	
<p>CCR 8 x 8 Block</p>	
<p>Moment Invariants</p>	
<p>CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants</p>	

ตารางที่ ข.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพสโตเบอร์จากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	


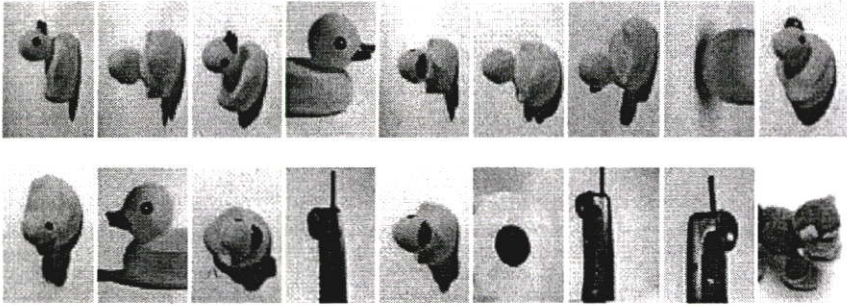
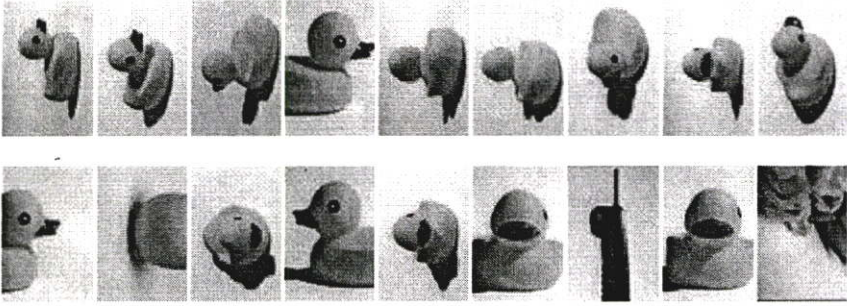
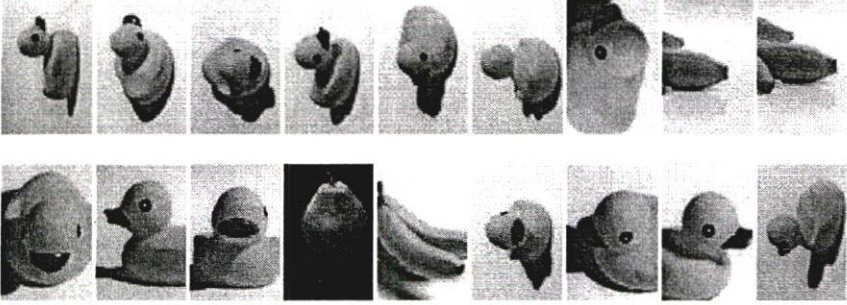
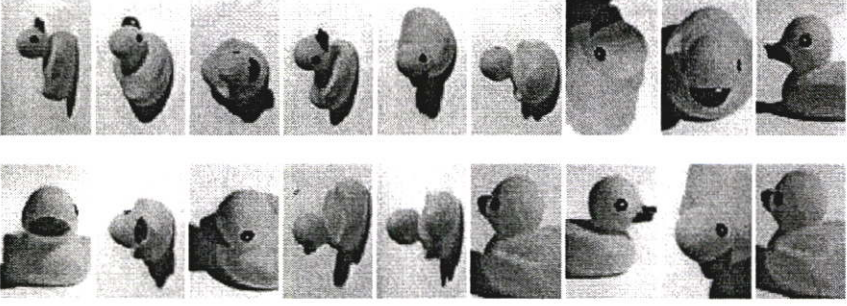


รูปที่ ข.1 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพพุ่มดอกไม้สีแดง


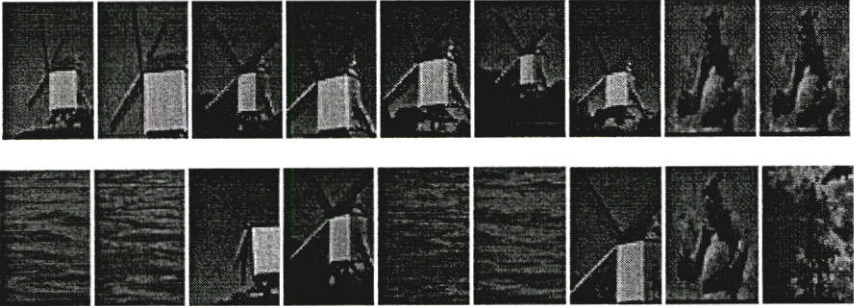
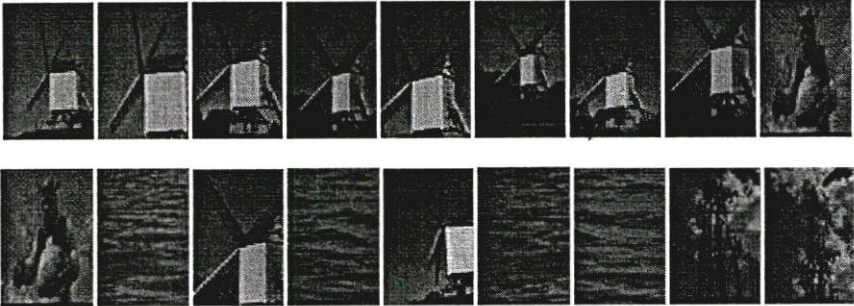
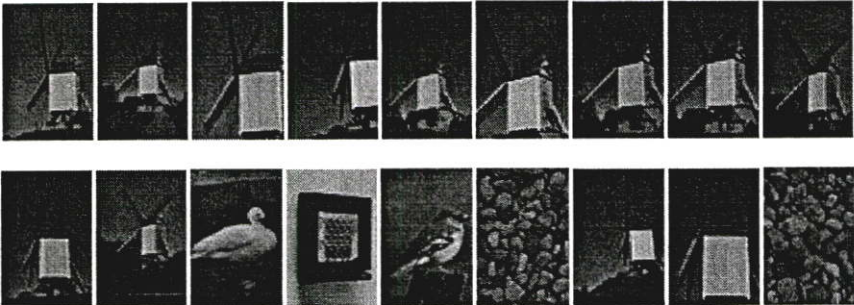
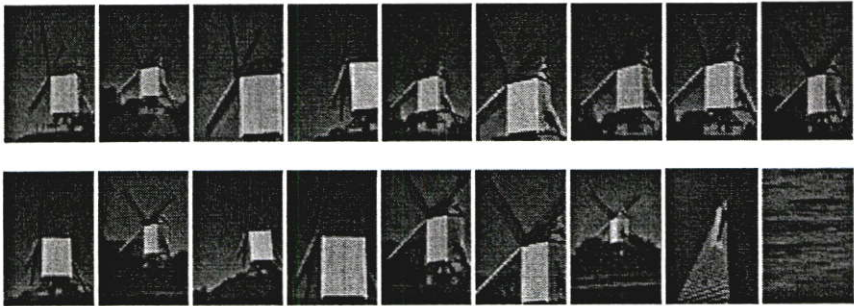


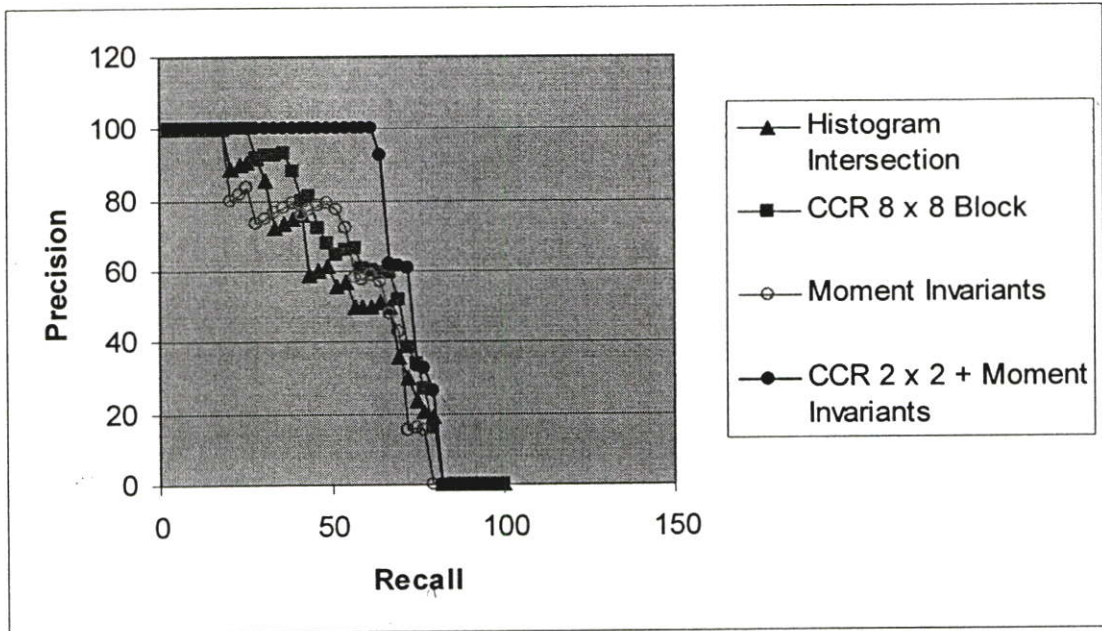
รูปที่ ข.2 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพสตอเบอร์รี่

ตารางที่ ข.3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพตุ๊กตาเป็ดสีเหลืองจากฐานข้อมูลภาพ

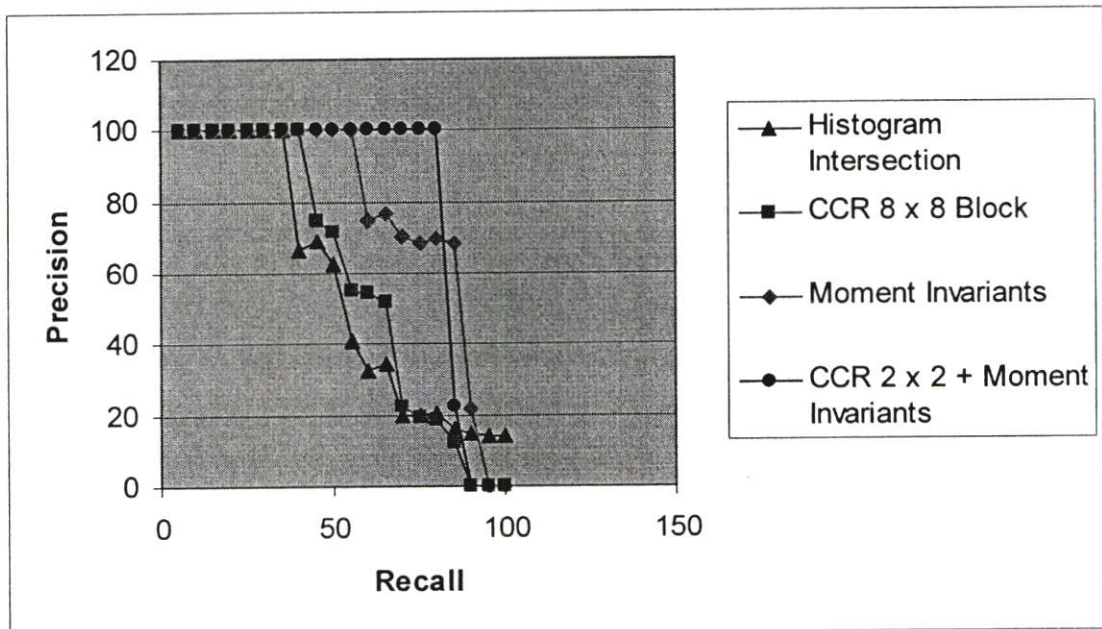
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
<p>Histogram Intersection</p>	
<p>CCR 8 x 8 Block</p>	
<p>Moment Invariants</p>	
<p>CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants</p>	

ตารางที่ ข.4 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพกังหันสีขาจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	


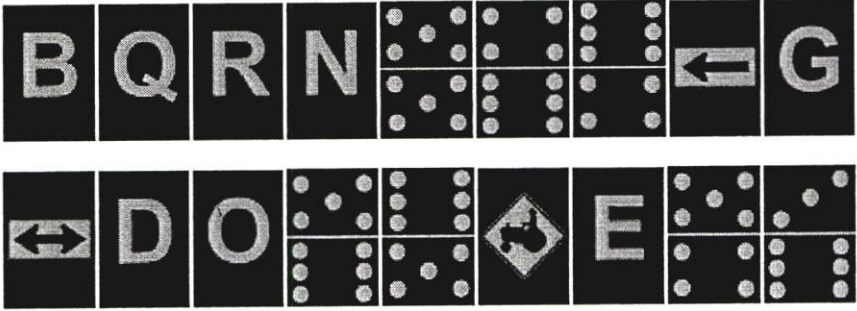
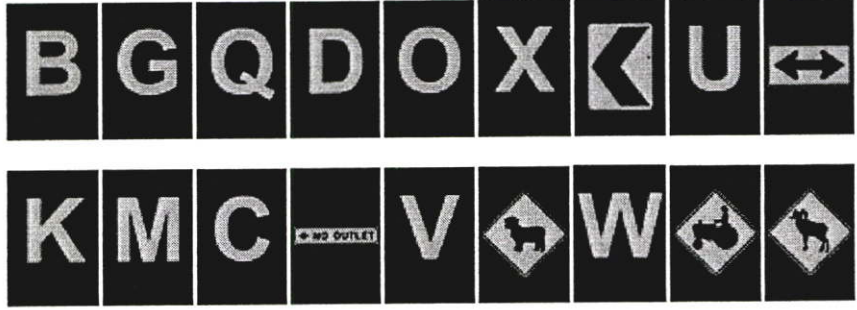
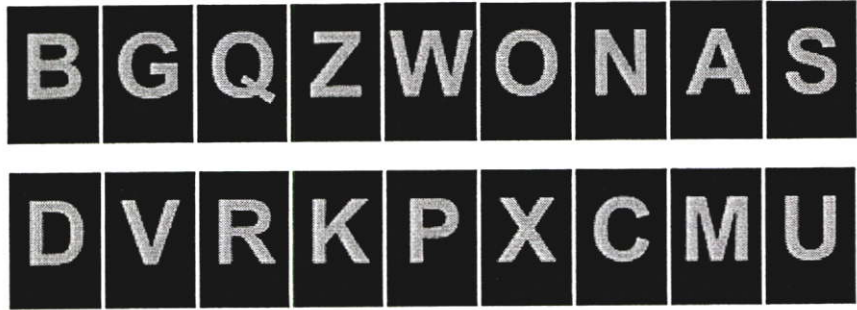
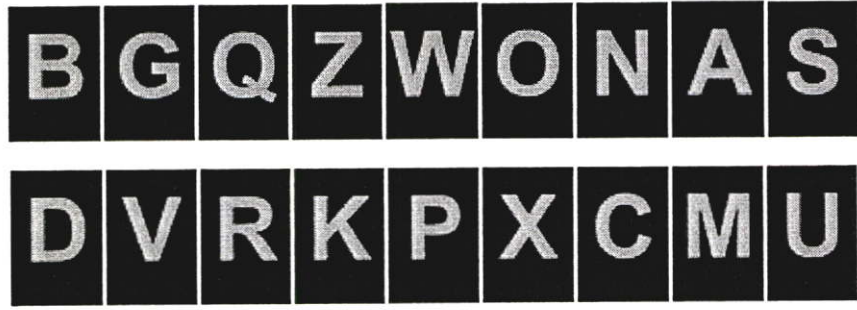


รูปที่ ข.3 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวเลขเปิดสี่เหลี่ยม


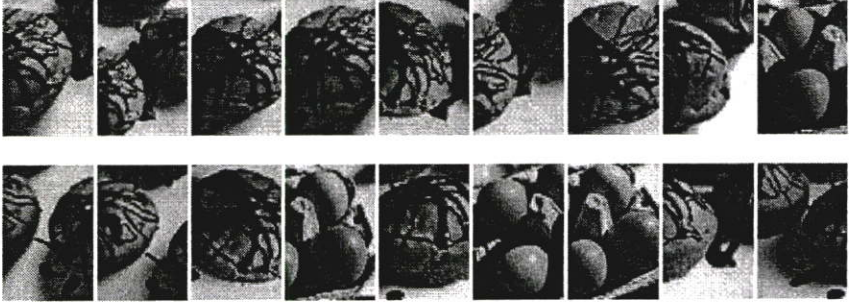
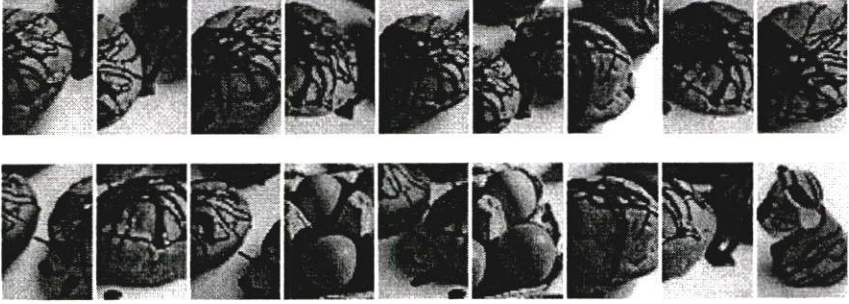
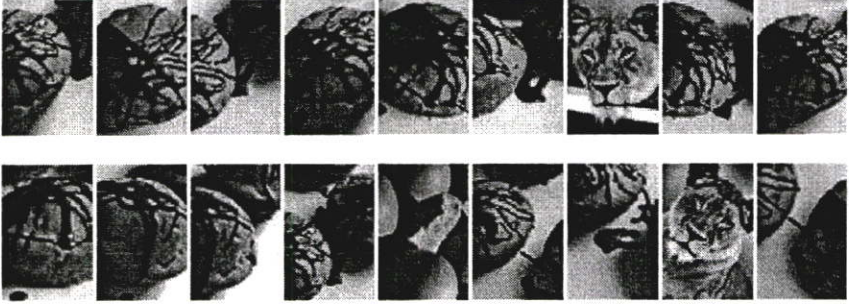
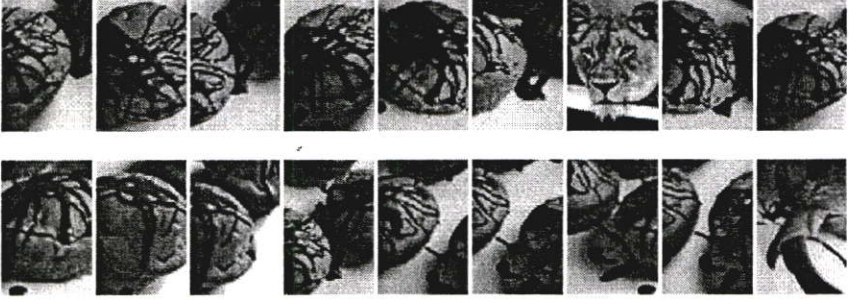


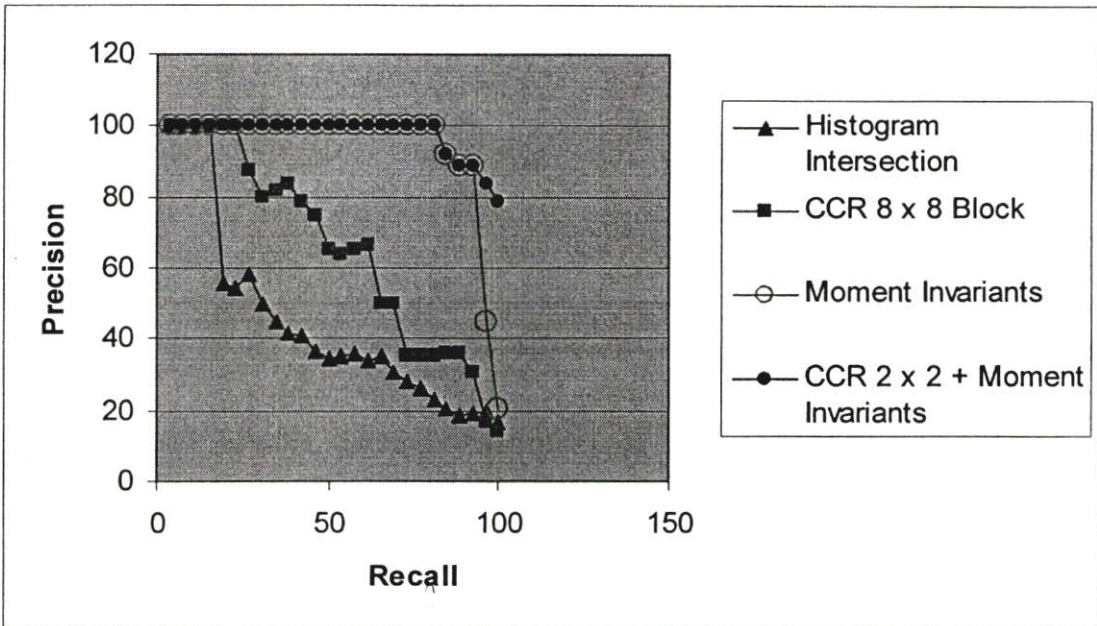
รูปที่ ข.4 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพกัณฑ์สีขาว

ตารางที่ ข.5 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนรูปภาพตัวอักษรสีเหลืองจากฐานข้อมูลภาพ

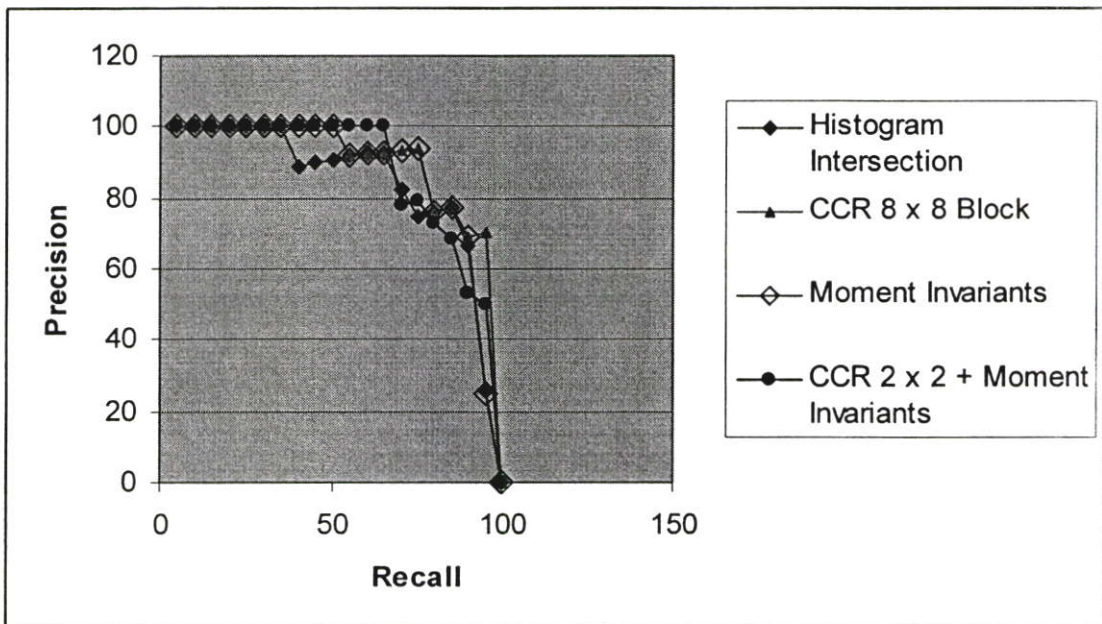
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.6 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพขนมปังจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	


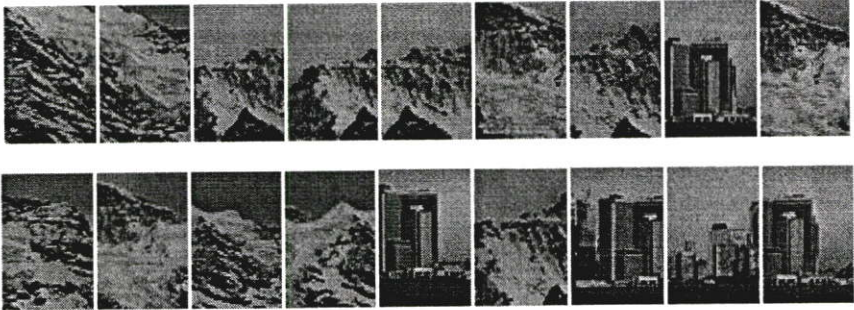
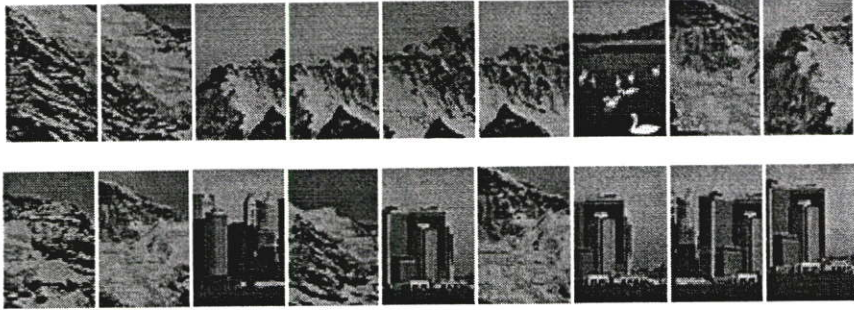
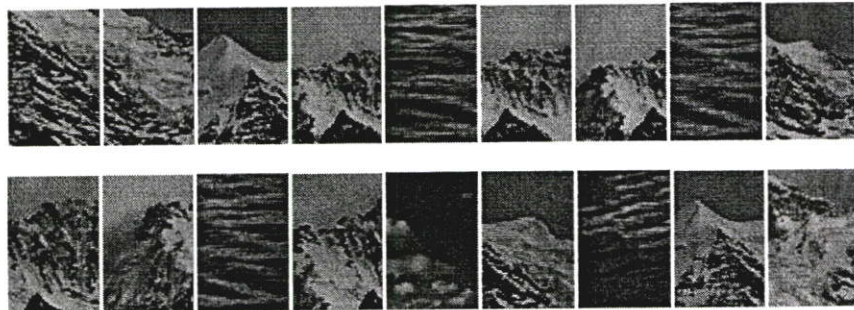
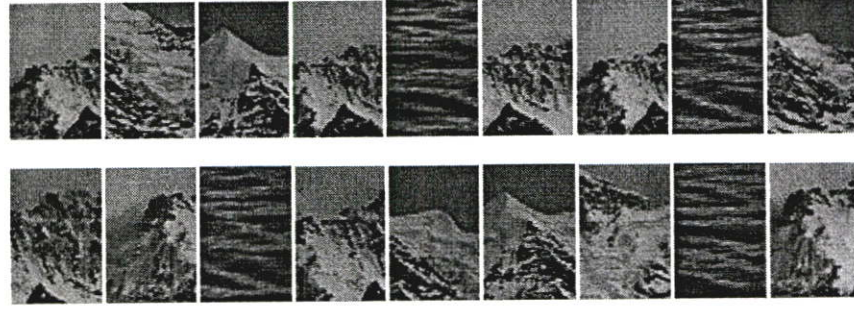


รูปที่ ข.5 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพตัวอักษรสี่เหลี่ยม


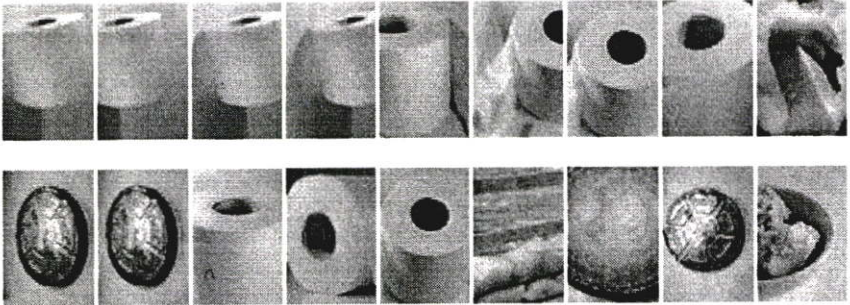
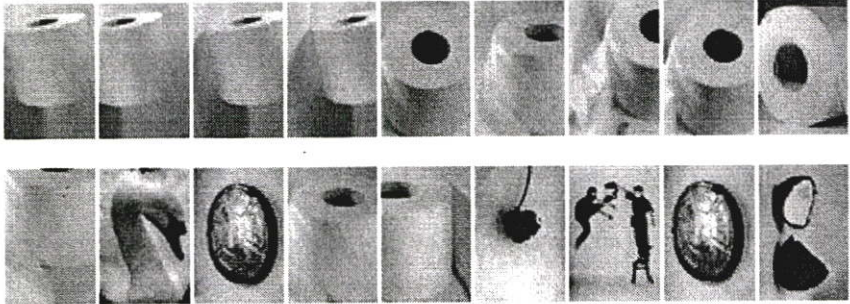
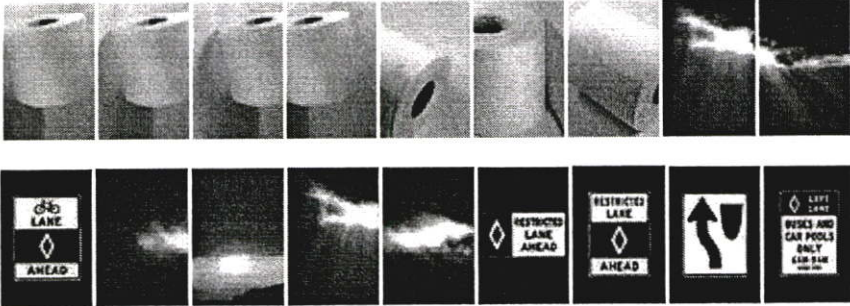
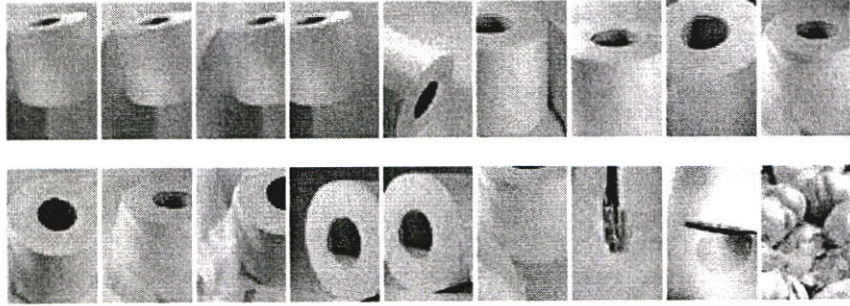


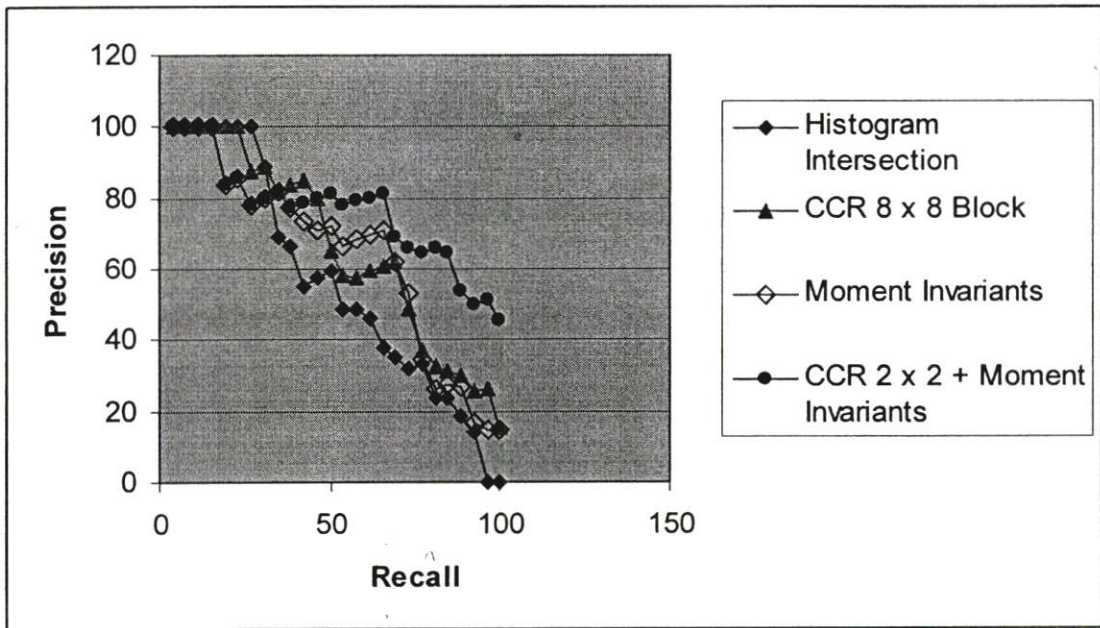
รูปที่ ข.6 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพขนม

ตารางที่ ข.7 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพภูเขาหิมะจากฐานข้อมูลภาพ

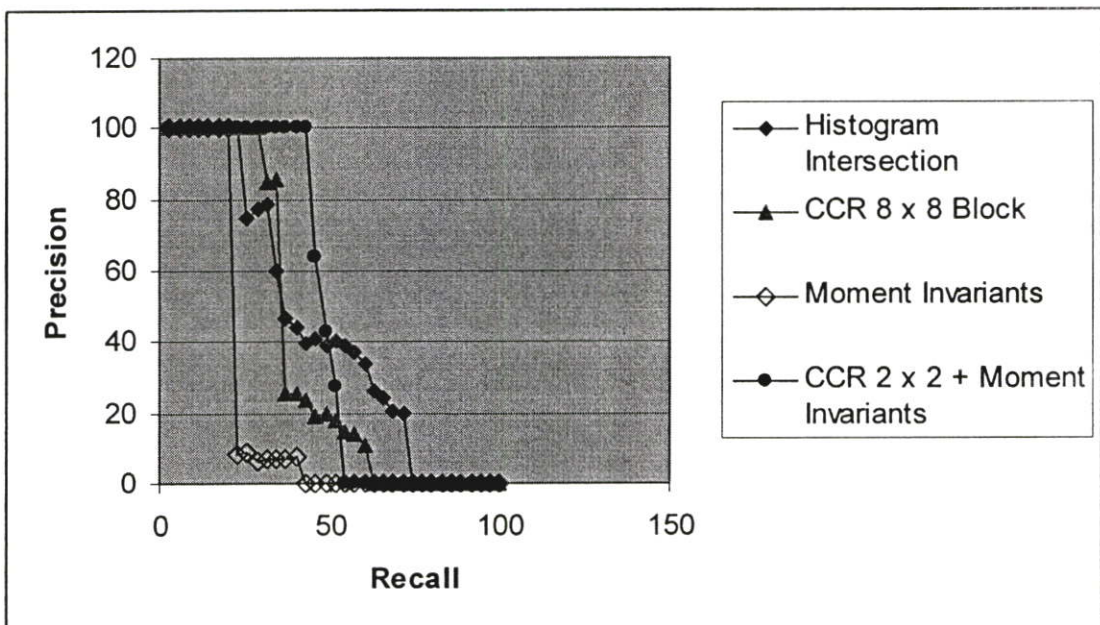
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.8 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพกระดวยชำระจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
<p>Histogram Intersection</p>	
<p>CCR 8 x 8 Block</p>	
<p>Moment Invariants</p>	
<p>CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants</p>	


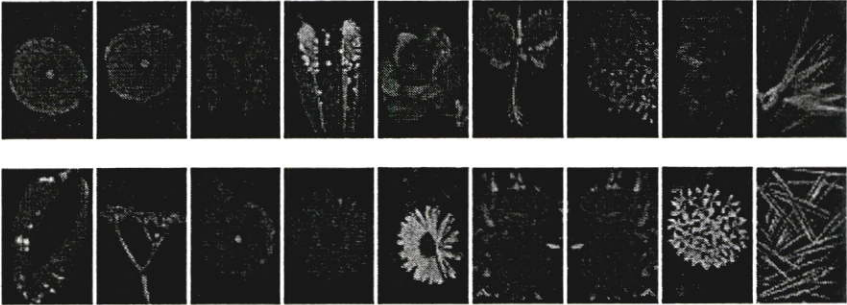
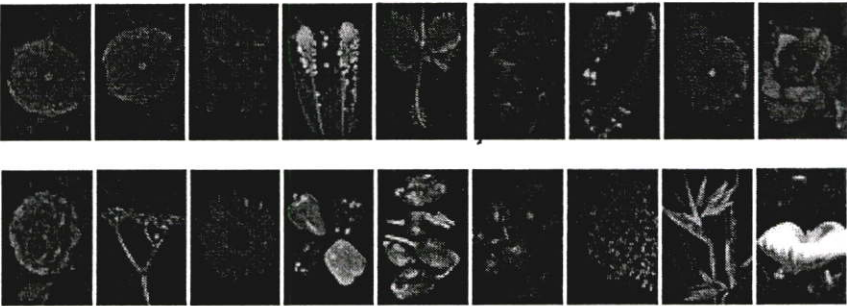
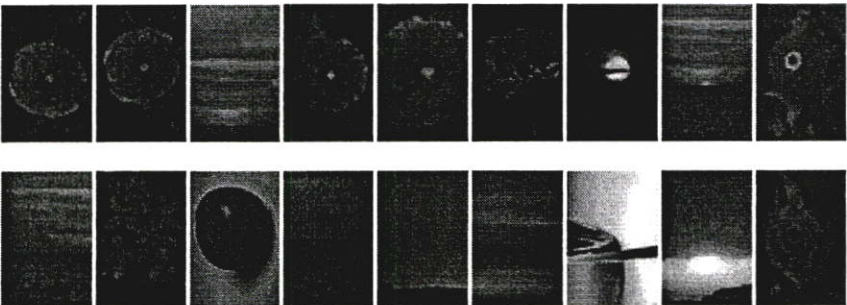
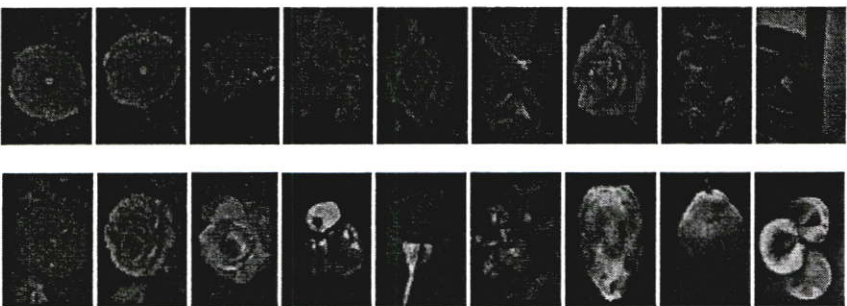


รูปที่ ข.7 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพภูเขาหิมะ

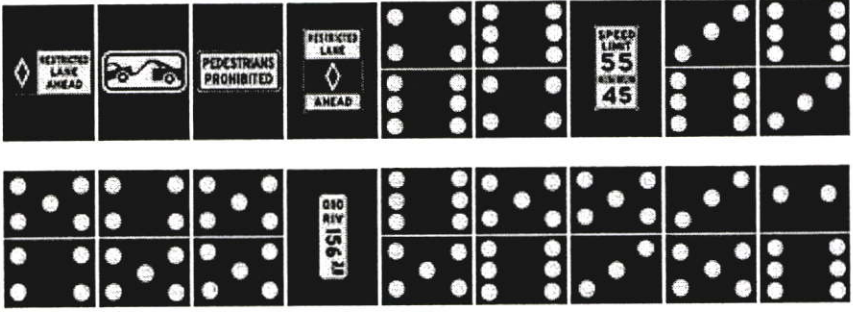





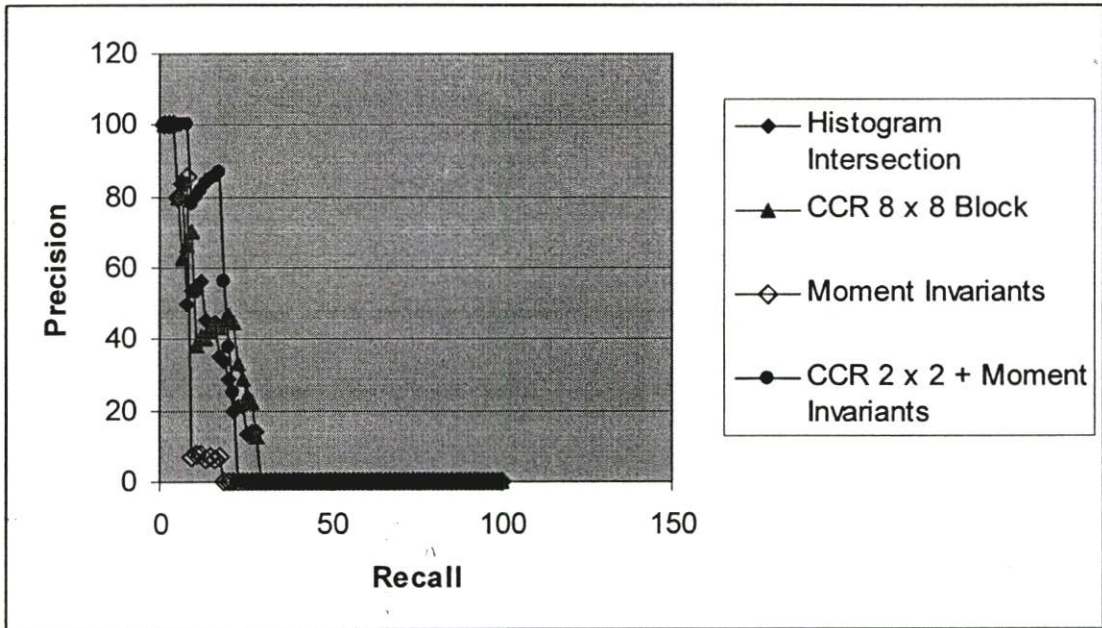
รูปที่ ข.8 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพกระดาษชำระ

ตารางที่ ข.9 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพดอกไม้สีแดงจากฐานข้อมูลภาพ

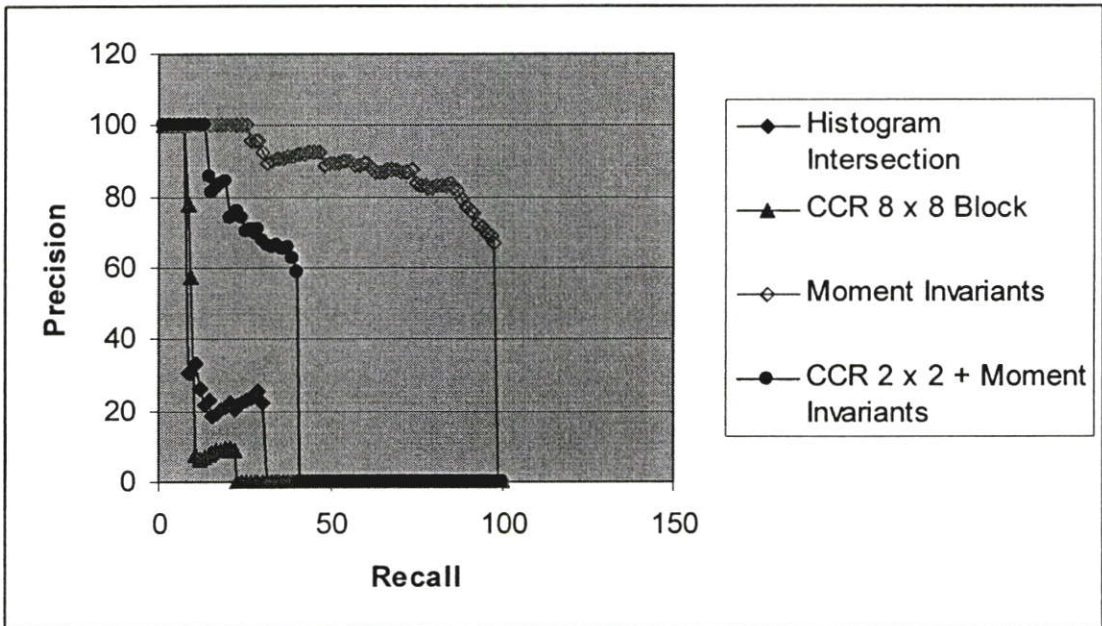
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.10 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพป้ายสีขาวจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	ภาพคำถาม
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	


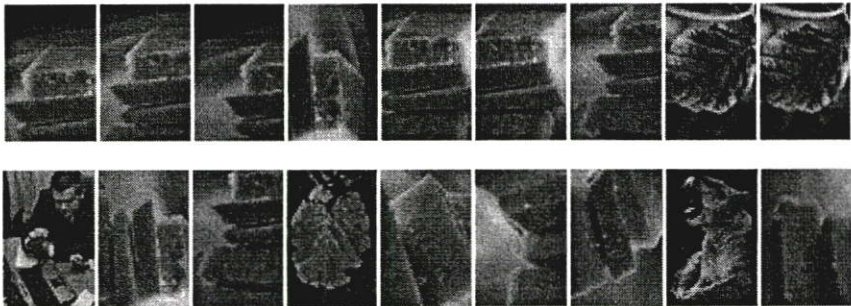
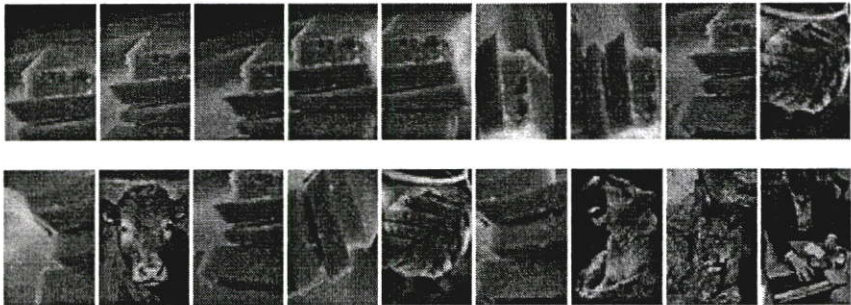
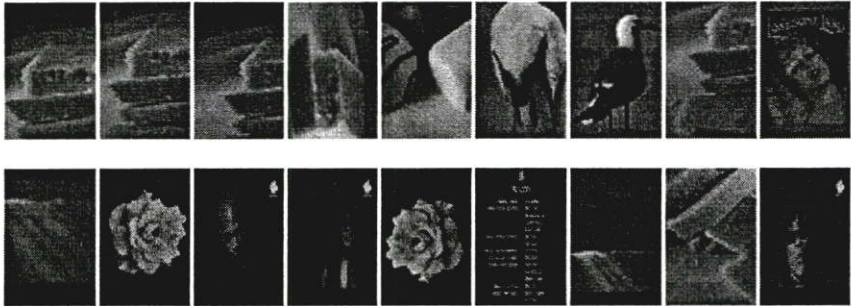
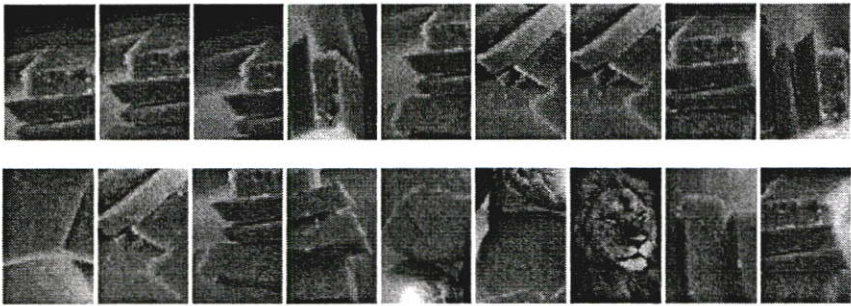


รูปที่ ข.9 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพดอกไม้สี่แดง


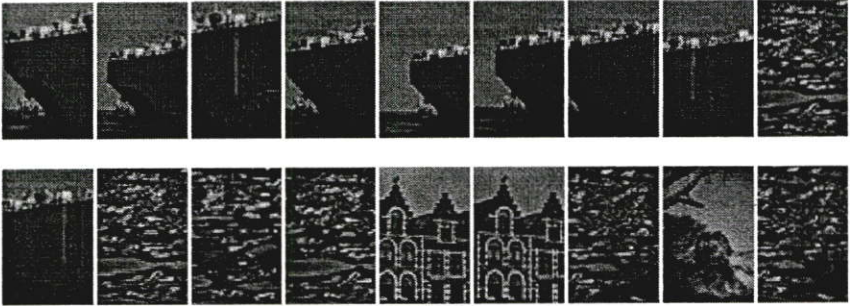
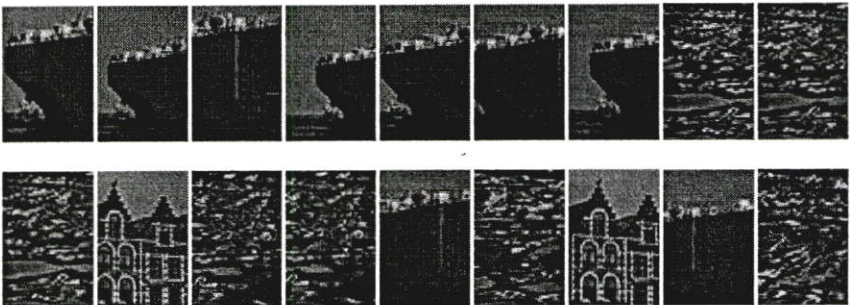
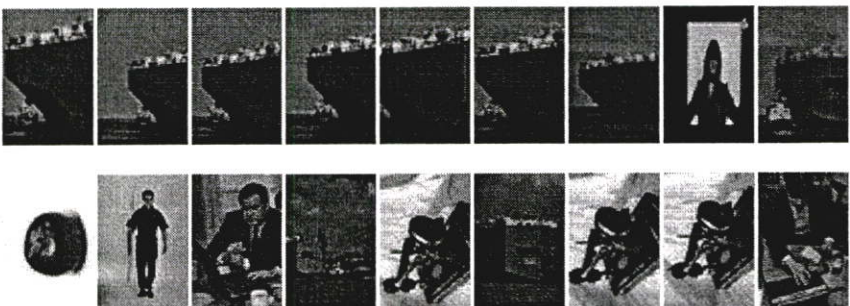
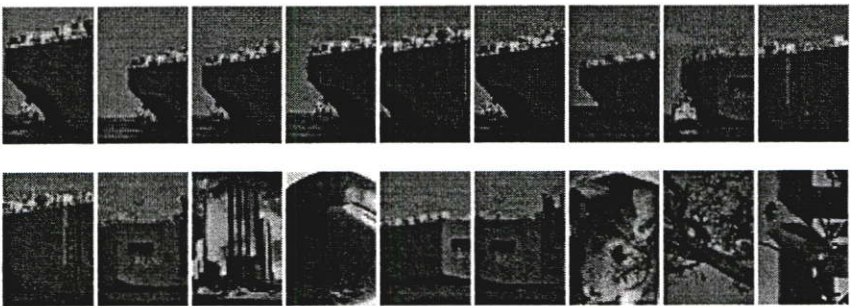


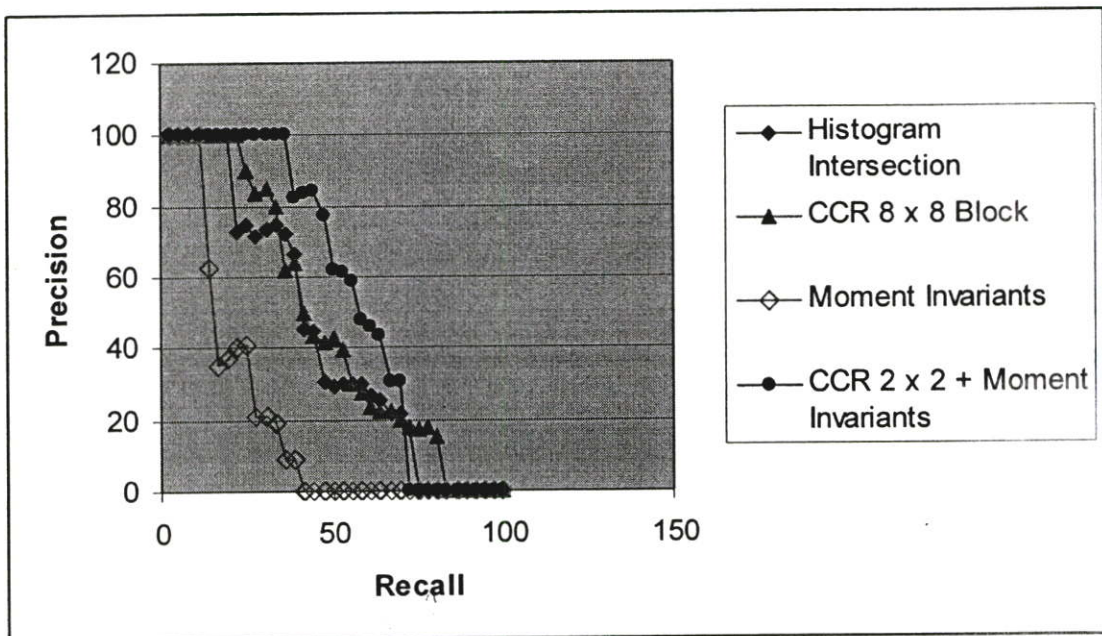
รูปที่ ข.10 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพป้ายสีขาว

ตารางที่ ข.11 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเนซจากฐานข้อมูลภาพ

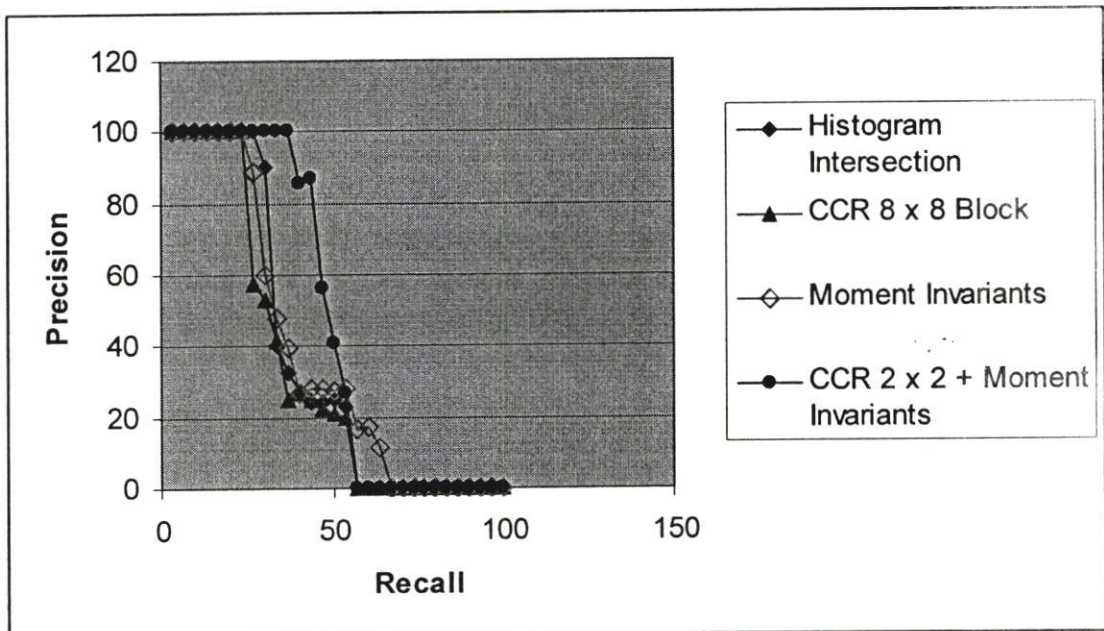
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.12 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพเรือขนส่งสี่ลำจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพค่าถาม</p> 
<p>Histogram Intersection</p>	
<p>CCR 8 x 8 Block</p>	
<p>Moment Invariants</p>	
<p>CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants</p>	


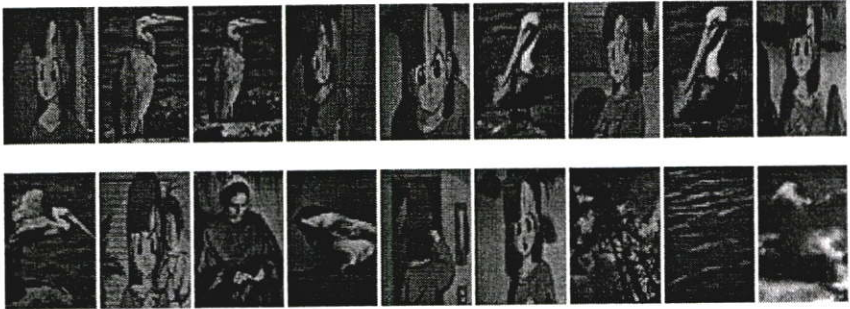
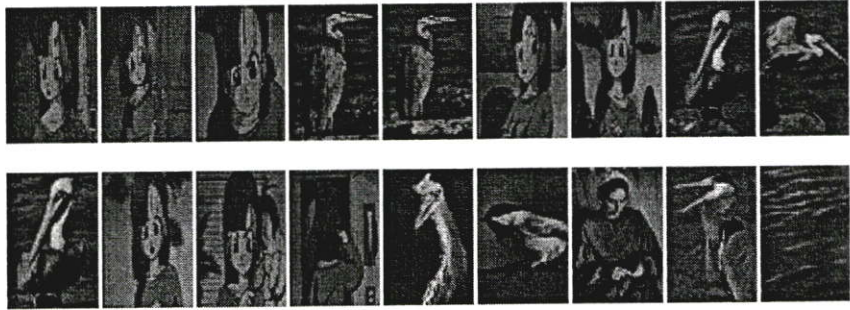
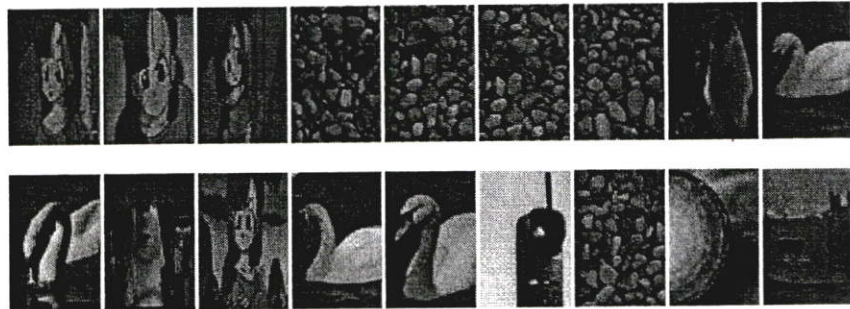
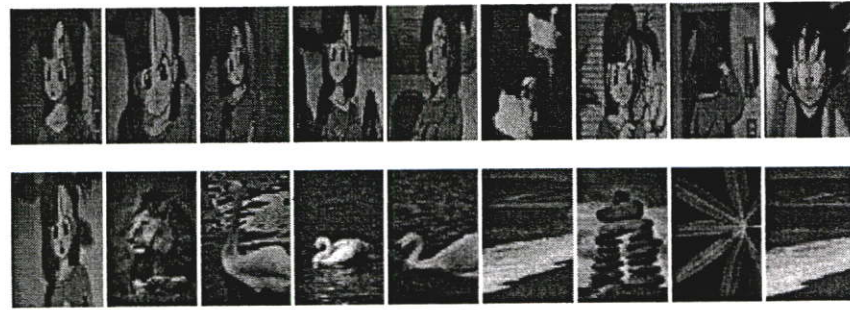


รูปที่ ข.11 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพเนย


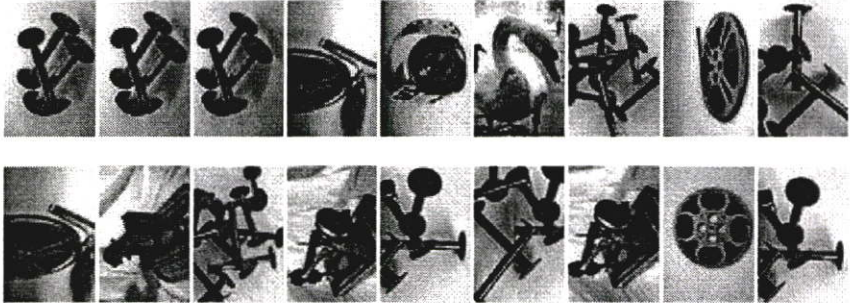
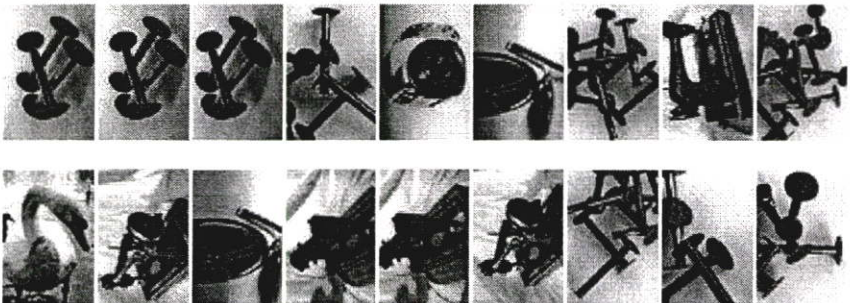
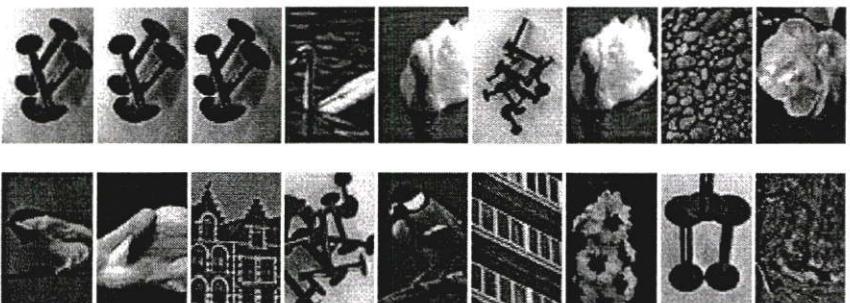
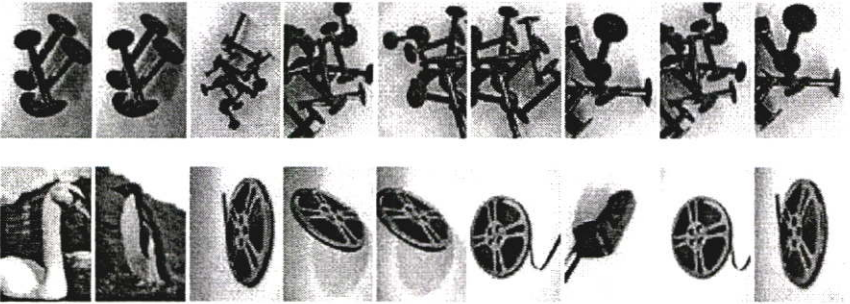


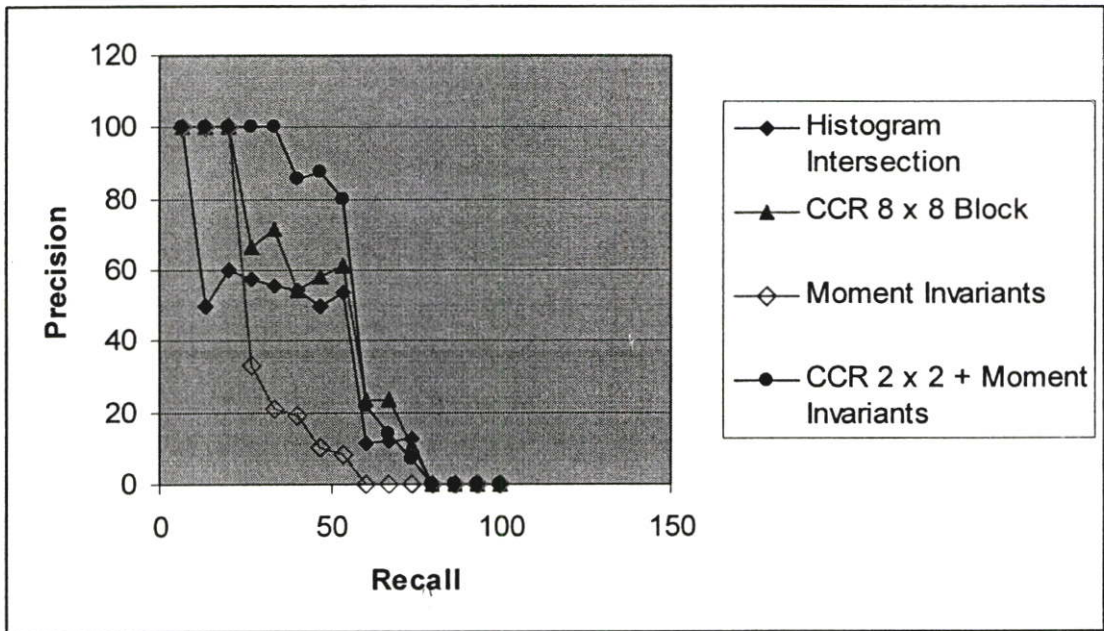
รูปที่ ข.12 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพเรือขนส่งสี่ล้อ

ตารางที่ ข.13 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพบลู่มาจากฐานข้อมูลภาพ

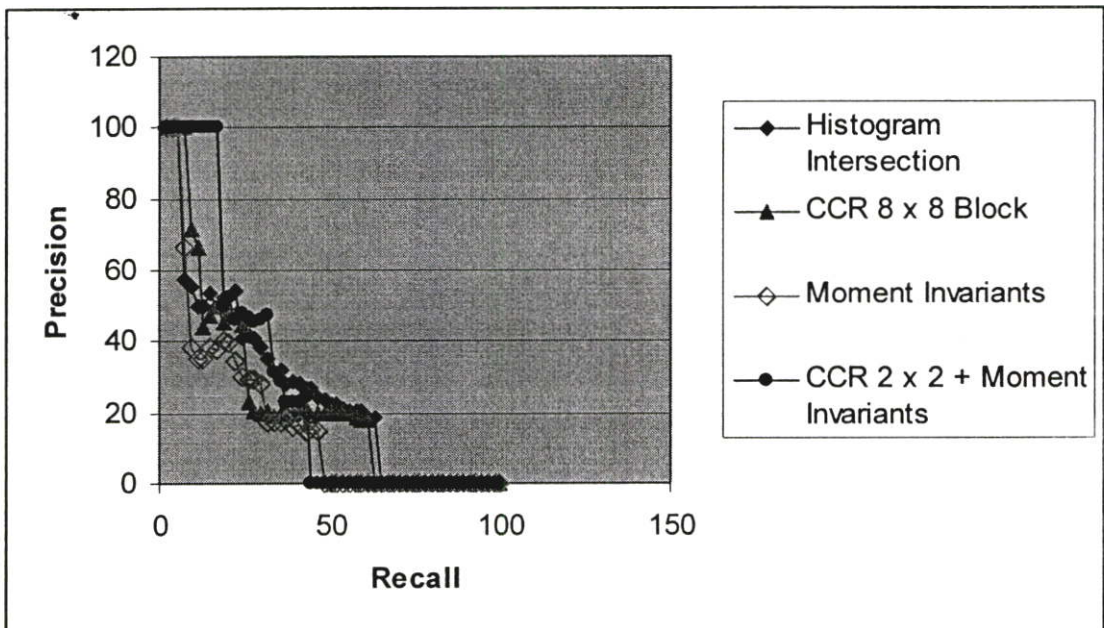
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.14 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพแถมม้วนฟิล์มจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	


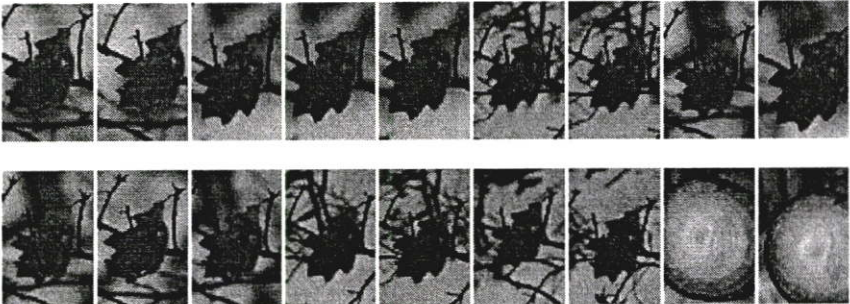
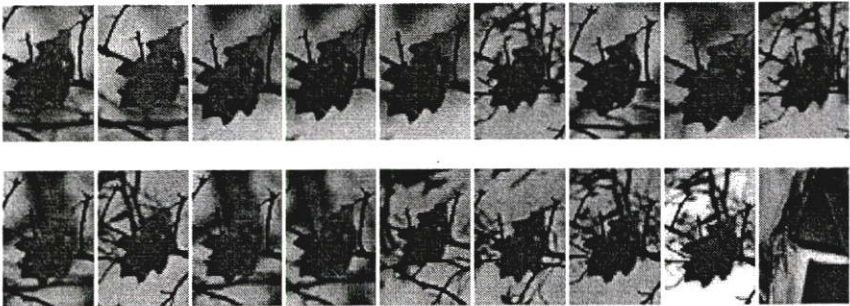
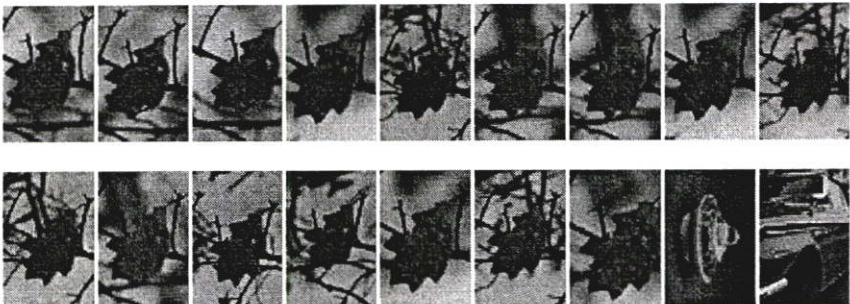
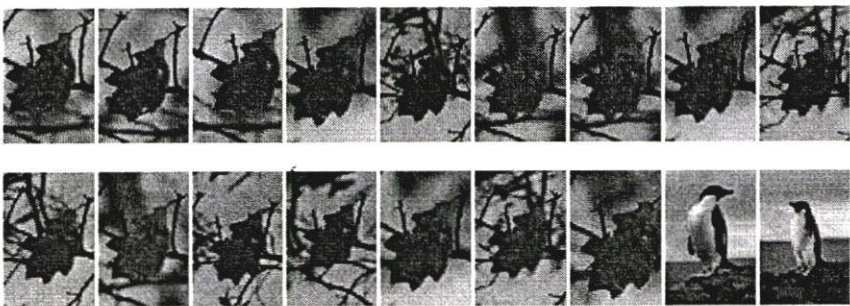


รูปที่ ข.13 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพบลูมา


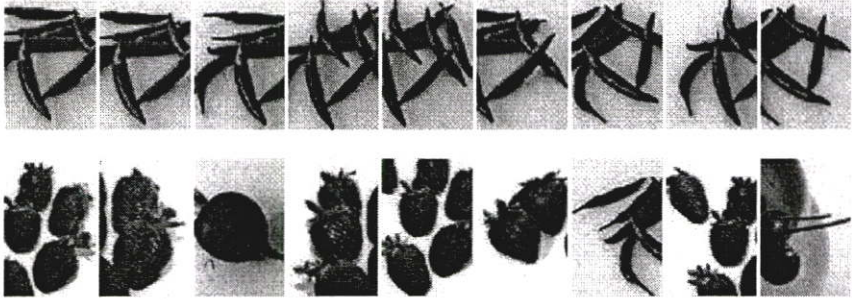
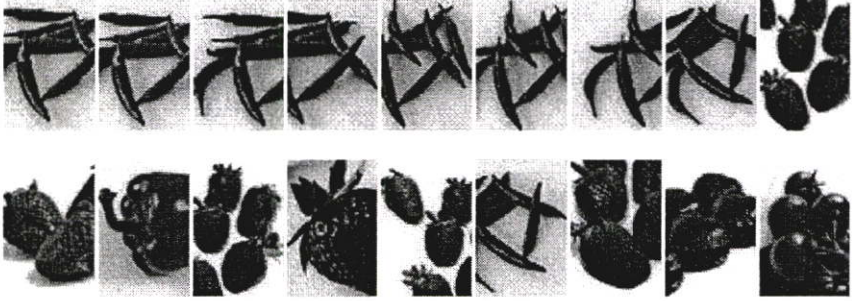
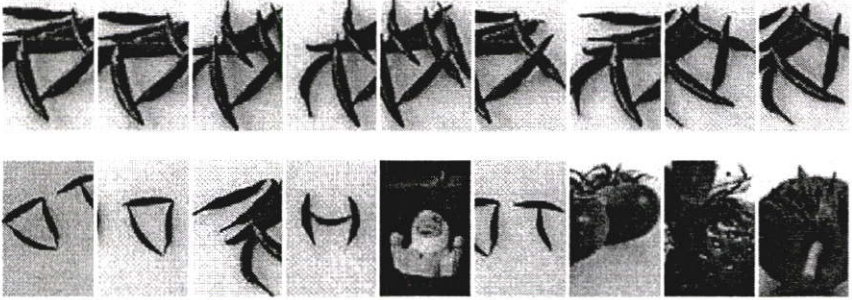
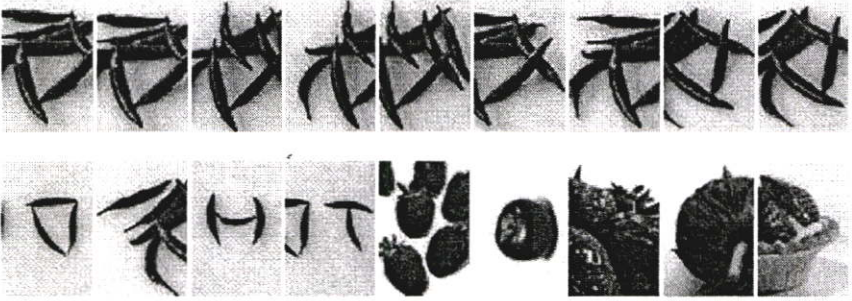


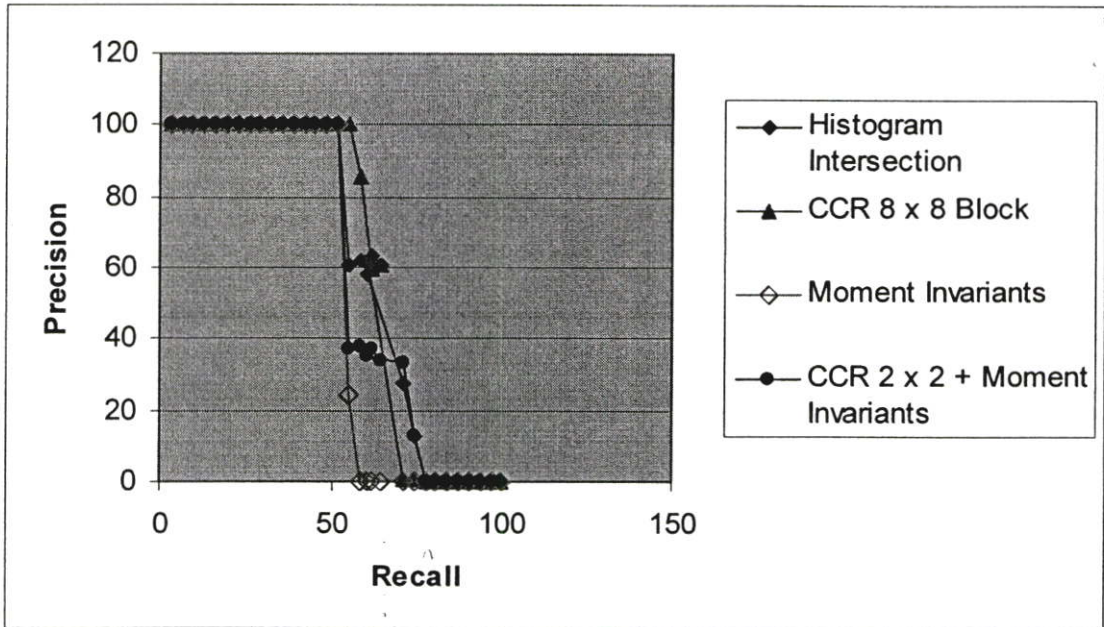
รูปที่ ข.14 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพแกนฟิล์ม

ตารางที่ ข.15 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพใบไม้แห้งจากฐานข้อมูลภาพ

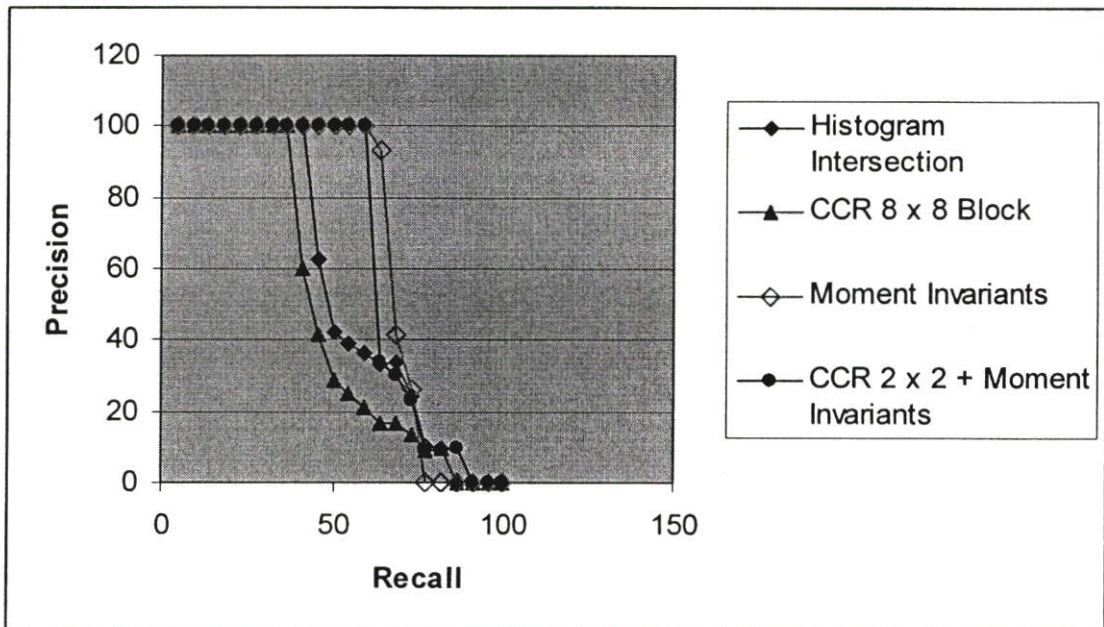
กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.16 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพพริกสีแดงจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	



รูปที่ ข.15 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพใบไม้แห้ง


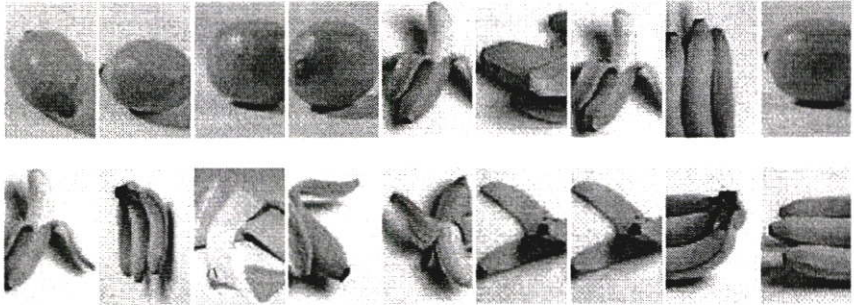
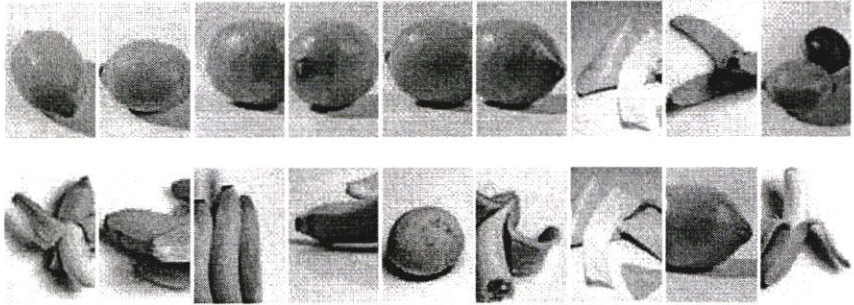
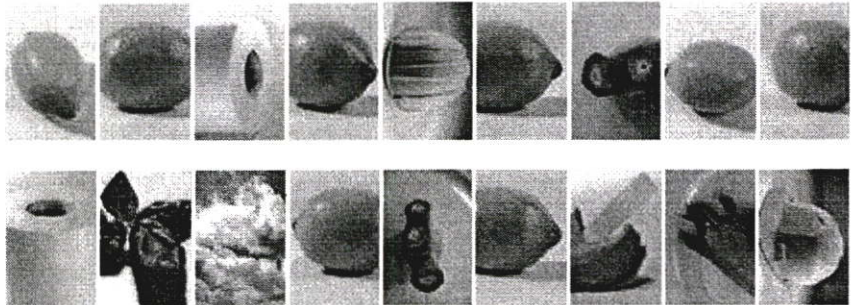
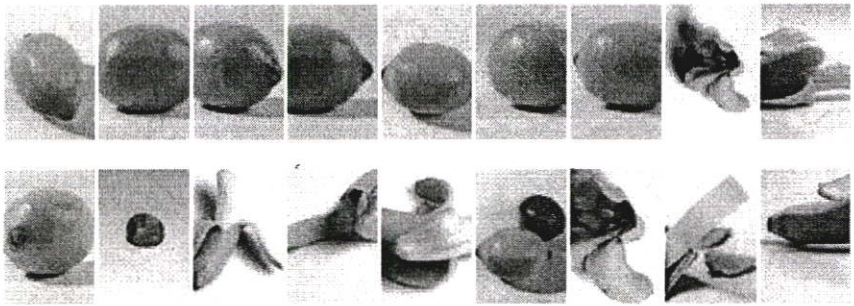


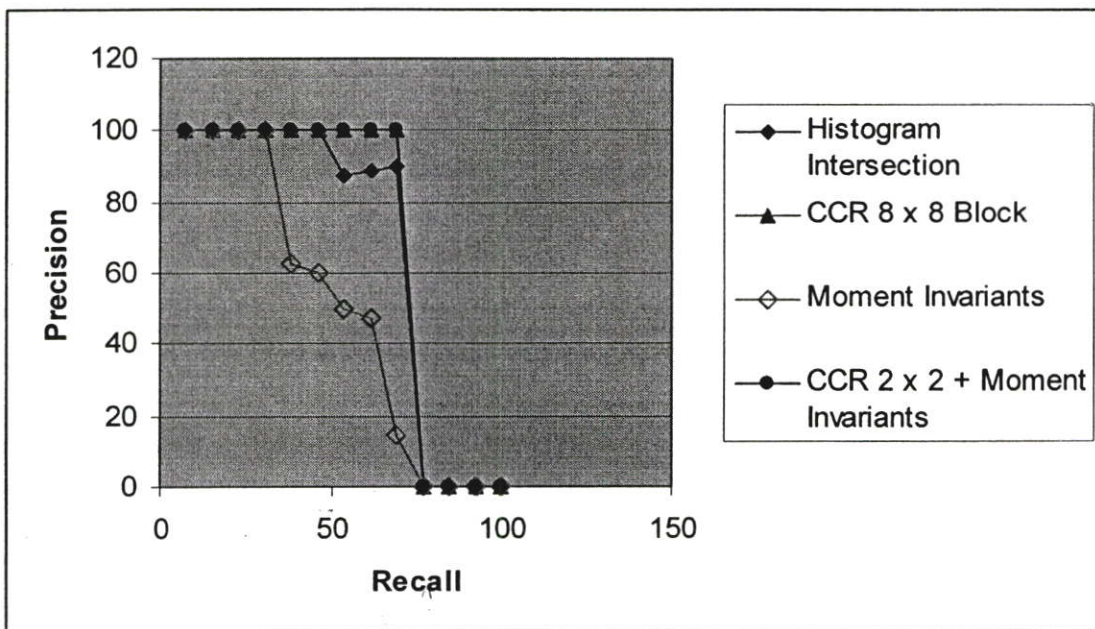
รูปที่ ข.16 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพพริกสีแดง

ตารางที่ ข.17 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพพริกเขียวจากฐานข้อมูลภาพ

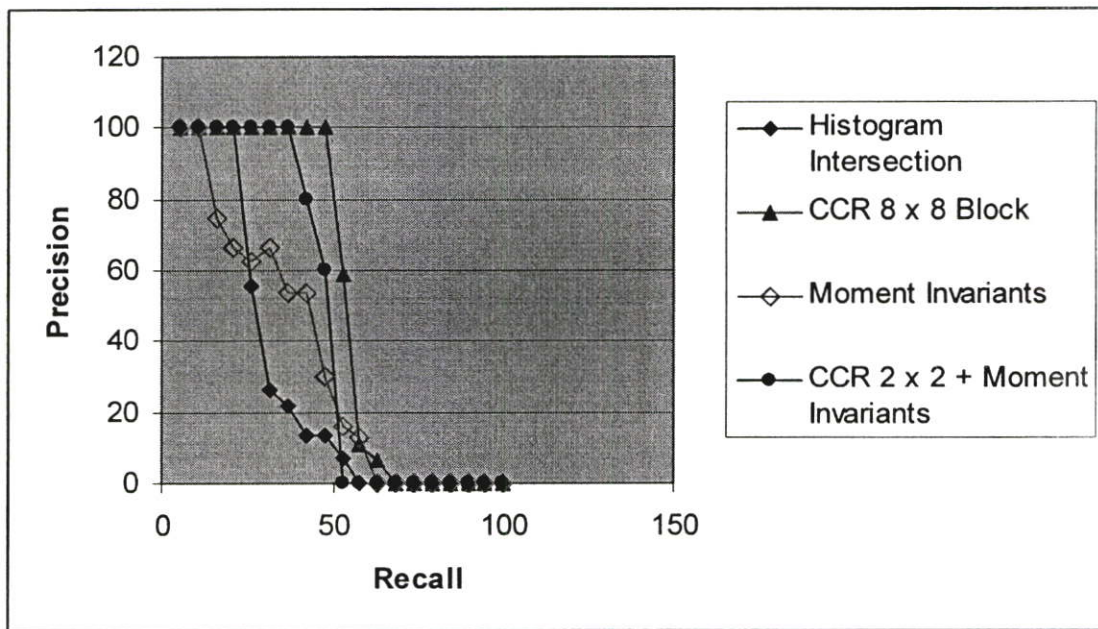
กรรมวิธี	ภาพค่าตาม
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	

ตารางที่ ข.18 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนภาพมะนาวสีเหลืองจากฐานข้อมูลภาพ

กรรมวิธี	<p style="text-align: center;">ภาพคำถาม</p> 
Histogram Intersection	
CCR 8 x 8 Block	
Moment Invariants	
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	



รูปที่ ข.17 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพพริกเขียว



รูปที่ ข.18 กราฟแสดงค่าความแม่นยำและการเรียกคืนของภาพมะนาวสีเหลือง

ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

Lecture Notes in Engineering and Computer Science

IMECS 2007

International MultiConference of
**Engineers and Computer
Scientists 2007**

Volume II

Hong Kong
21-23 March, 2007

S. I. Ao
Oscar Castillo
Craig Douglas
David Dagan Feng
Jeong-A Lee (Eds.)

IA ENG

International Association of Engineers

ISBN: 978-988-98671-7-1

Image Retrieval using Connected Color Region And Moment Invariants

Daungkamol Dongphontong and Orachat Chitsobhuk

Abstract-In this paper, combined descriptors of Connected Color Region (CCR) and moment invariants are proposed as color features for a Content-Based Image Retrieval system. CCR provides the spatial information and maximum co-occurrence color while moment invariants help to better distinguish different distribution of colors in the image. From the experiments, the retrieval results using only CCR descriptors depend on CCR block size. The smaller the size of the block, the higher the retrieval performance. However, if the block size is small, it requires longer retrieval time. Therefore, in this paper, color moment is introduced as additional feature to CCR descriptors to help compromising between retrieval performance and time. The retrieval results using both CCR with large block size and moment descriptors are comparable to those of using only CCR with small block size while require less amount of retrieval time.

Keywords-Image retrieval, Connected Color Region: CCR, Moment invariants

1. INTRODUCTION

The low-level image features such as color, texture, and shape are widely used for CBIR (Content-Based Image Retrieval) [1-6]. While attempting the task of image retrieval, we identify the mutual correspondence between two images in a set of database images using similarity measurement. The content-based query system processes a query image and assigns this unknown image to the closest possible image available in the database. Thus, it may be concluded that selection and extraction of low-level image features and subsequent similarity-based matching and classification are the two issues in content-based image retrieval

This paper using color features to represent the content of an image. Color is strongly related to the underlying objects in an image. Moreover, color feature is robust to background complications, scaling, orientation, perspective, and size of an image. Therefore, color descriptors of Color Connected Region (CCR) [7] and moment invariants [6] are introduced in the proposed image retrieval system.

Daungkamol Dongphontong is with the Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520. Email: ob_kmitl@hotmail.com

Orachat Chitsobhuk is with the Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520. Email: kcoracha@kmitl.com

The CCR descriptor provides spatial information and maximum co-occurrence color while moment invariants provide the distribution of the specified colors in the image. Using both color descriptors can help compromising between retrieval performance and time.

The organization of this paper is as followed. Section 2 presents techniques to extract several color descriptors from an image. Section 3 details the proposed image retrieval system followed by experimental results in Section 4. Finally, summarize and conclusions are presented in Section 5.

2. COLOR FEATURES FOR IMAGE RETRIEVAL

In this section, we describe the conventional methods used to retrieve an image from image collections. The discussion of advantage and disadvantage using the conventional methods is also presented.

2.1 Histogram comparison

The color histogram is computed by counting the number of pixels in each of these colors. Color histogram has been found to be very effective in characterizing the global distribution of colors in an image, and can be used as an important feature for image characterization. Swain and Ballard [10] introduced a measure of histogram similarity called *histogram intersection*. Given a pair of histograms, $H(I)$ and $H(Q)$, of image I and query image Q , respectively, each containing bins of colors, they defined the histogram intersection as follows:

$$S\{H(I), H(Q)\} = \frac{\sum_{j=1}^n \min\{h_j(I), h_j(Q)\}}{N_Q \times M_Q} \quad (1)$$

Where $h_j(I)$ is the number of pixels of color j in image I , $h_j(Q)$ is the number of pixels of color j in image Q and $M_Q \times N_Q$ is the size of query image. This measure can be represented by difference form (dissimilarity) as the L_1 -norm

$$D\{H(I), H(Q)\} = \sum_{j=1}^n \left| \frac{h_j(I)}{N_I \times M_I} - \frac{h_j(Q)}{N_Q \times M_Q} \right| \quad (2)$$

Where $N_I \times M_I$ is the image size. For a given distance T , two histograms are said to be similar if $S \geq T$ or $D \leq T$, and an image in a database is retrieved in response to the given query image.

The problem in histogram comparison is that the global color distribution does not reflect the spatial distribution of the color pixels locally in the image. Therefore, it cannot be used to distinguish whether a particular color is sparsely scattered all over the image or it appears in a single large region in the image. Fig. 1 shows two different images having similar color distribution.

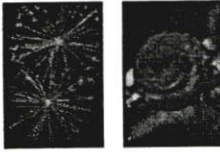


Figure 1. Example of the images having similar color histograms from image collections

2.2 Connected color region (CCR)

Kim and Han [8] introduced a content-based image retrieval system using connected color regions. A connected color region is composed of spatial positions that are connected and have the same color histogram. CCR can be calculated as followed

- 2.2.1 Divide an $N \times M$ image into blocks size of $m \times n$ and extract regions where pixels of the same color are connected.
- 2.2.2 Compute the color density of each connected color region.
- 2.2.3 Calculate maximum co-occurrence color, which is defined as the maximum occurrence probability of a color that occurs simultaneously with a specific color within each connected color region.
- 2.2.4 After that, the measures at the similarity function used for image retrieval, which is similar to the merits of histogram comparison and reflects spatial information of color distributions as follows.

$$S_1(I, Q) = \frac{\sum_{kc} \min\{H_{kc}(R_I), H_{kc}(R_Q)\}}{\sum_{kc} H_{kc}(R_Q)} \quad (3)$$

$$\Delta O_{kc} = \frac{\min\{Q_{kc}(R_I), O_{kc}(R_Q)\}}{\sum_{kc} 1} \quad (4)$$

$$S_2(I, Q) = \sum_{kc} \begin{cases} \Delta O_{kc} & \text{if } T_{kc}(R_I) = T_{kc}(R_Q) \\ 0 & \text{if } T_{kc}(R_I) \neq T_{kc}(R_Q) \end{cases} \quad (5)$$

$$S(I, Q) = (S_1 + S_2) / 2 \quad (6)$$

The limitation of CCR descriptor to retrieval performance depends on CCR block size. For the large block size, the retrieval performance is low since it cannot be used to distinguish different distribution of color. However, if the block size is small, the retrieved performance is high thus require larger amount of retrieval time.

2.3 CCR and Moment Invariants

In this paper, moment invariants are introduced as additional features to the CCR descriptors in order to help

compromising between the retrieval performance and time. CCR provides the spatial information and maximum co-occurrence color while moment invariants help to better distinguish different distribution of colors in the image. The retrieval results using both CCR with large block size and moment-invariant descriptors are comparable to those of using only CCR with small block size while require less amount of retrieval time.

We choose the moment-invariants based on region features proposed by Hu [6], which generates totally seven invariant moments. The two dimensional moment of order $p + q$ of a $N \times M$ discrete image $g(x, y)$ is defined as followed:

$$m_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} x^p y^q g(x, y) \quad (7)$$

For $p, q = 0, 1, 2, \dots$. The central moments are expressed as

$$\mu_{pq} = \sum_{y=0}^{M-1} \sum_{x=0}^{N-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q g(x, y) \quad (8)$$

Where

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (9)$$

The central moments of order three ($p + q = 3$) which are invariant to rotation, translation and scale are given by

$$M_1 = \mu_{20} + \mu_{02} \quad (10.1)$$

$$M_2 = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2 \quad (10.2)$$

$$M_3 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2 \quad (10.3)$$

$$M_4 = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2 \quad (10.4)$$

$$M_5 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] \\ + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03})[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \quad (10.5)$$

$$M_6 = (\mu_{20} - \mu_{02})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \\ + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}) \quad (10.6)$$

$$M_7 = (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] \\ + (3\mu_{12} - \mu_{30})(\mu_{21} + \mu_{03})[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] \quad (10.7)$$

Hu's moment invariants have the desirable properties of being invariant under image scaling, translation, and rotation. However, in this paper, only the first four moments are used since they are efficient enough to distinguish the different distribution of the color. From the experiments, the first two moments (M1 and M2) obviously represent a compact set of color while the other two moments (M3 and M4) correspond to a distributed set of color. The color is considered to be compact if either or both values of M1 and M2 are greater than both M3 and M4. On the other hand, the color is

considered as a distributed color if both values of M3 and M4 are greater than both M1 and M2. The similarity of the moments between two images can be measured using the Euclidean distance defined as follows:

$$S = \sum_{i=1}^{216} \sum_{j=1}^n \sqrt{\sum_{t=1}^4 (M_t(I) - M_t(Q))^2} \quad (11)$$

Where n the number of groups of color is, $M_t(I)$ is the values of moment invariants of image I , and $M_t(Q)$ is the values of moment invariants of image Q .

3. THE PROPOSED IMAGE RETRIEVAL SYSTEM

Fig. 2 shows a process to extract the proposed color descriptors, CCR and moments. The CCR and moment invariant descriptors of images are pre-computed and stored in the database.

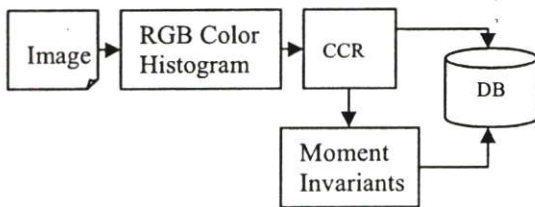


Figure2. The process to compute the CCR and Moment Invariants

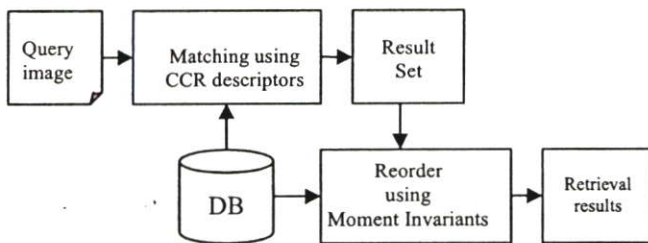


Figure3. The process to retrieve image from the database

The proposed retrieval process is shown in fig. 3. In the first step, CCR descriptors of the query are compared to those of the images in the database. The retrieval results are used as candidate images. The CCR descriptors are used as the spatial information and maximum co-occurrence color of the colors in query image and images database. In the second step, the result set of the candidate images are ordered according to the values of their moment invariant descriptors and presented to the user as the final retrieval results.

4. EXPERIMENT RESULTS

The experiments are conducted based on a database of 7,000 images (256 x 384 pixels) chosen from different sources. The source images can be categorized into nine groups (e.g., flowers, animal, human, flags, etc.). A histogram

of 216 color bins is extracted from each image in the database. The CCR and moment invariant descriptors are, then, calculated and used as color representation.

In this experiment, the retrieval results of using histogram intersection, CCR, and combined CCR and moment invariant descriptors are compared. Since the retrieval performance using CCR descriptors depends on the CCR block size, several block sizes of 2 x 2, 4 x 4, 8 x 8 blocks are examined to show the appropriate block size for image retrieval.

To measure the retrieval performance of the proposed image retrieval system, an objective measure called ANMRR suggested by MPEG-7 [9] is used. A set of ground truth images that are most relevant to the query are identified. The query and ground truth sets are chosen manually. For each query, a set of ground truth images are specified in 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:

$$AVR(q) = \sum_{k=1}^{NG(q)} \frac{Rank(k)}{NG(q)} \quad (12)$$

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:

$$MRR(q) = AVR(q) - 0.5 - \frac{NG(q)}{2} \quad (13)$$

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

The normalized modified retrieval rank is computed as follows:

$$NMRR(q) = \frac{MRR(q)}{K + 0.5 - 0.5 * NG(q)} \quad (14)$$

Then compute average of $NMRR$ over all queries

$$ANMRR = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q NMRR(q) \quad (15)$$

The $ANMRR$ not only indicates the number of correct items retrieved from the database, but also how highly they are ranked among the retrieved items. The $ANMRR$ is always in range of 0 to 1. The smaller the value of this measure, the better the retrieval quality.

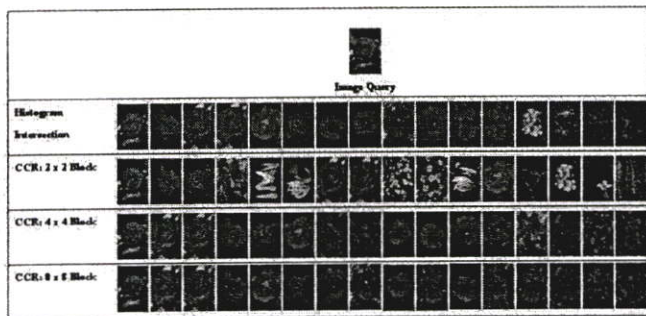


Figure 4. Retrieved images using Histogram Intersection and CCR with various block sizes.

From figure 4 and 5, the experimental results show that the retrieval performance using CCR of block size equal to or greater than 4 x 4 blocks outperforms that of using histogram intersection. However, the appropriate block size of CCR is 8 x 8 blocks, which give the best retrieval results compared to the other sizes in most cases.

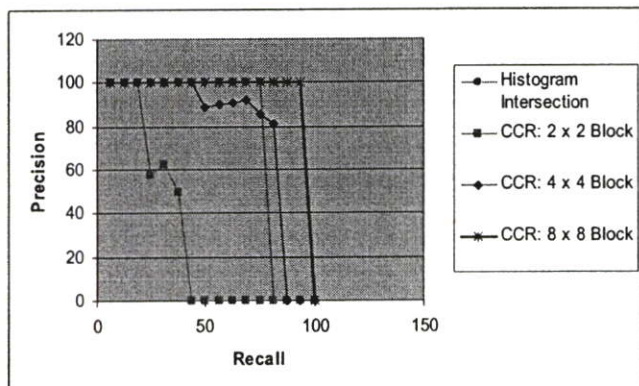


Figure 5. Precision versus Recall graph of each method to retrieve red flower image

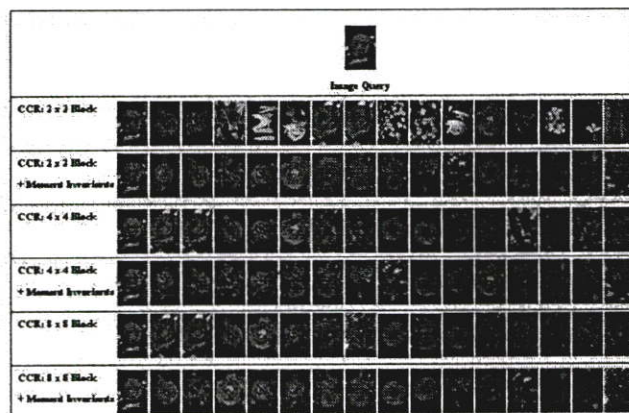


Figure 7. Result images of CCR with Moment Invariants method.

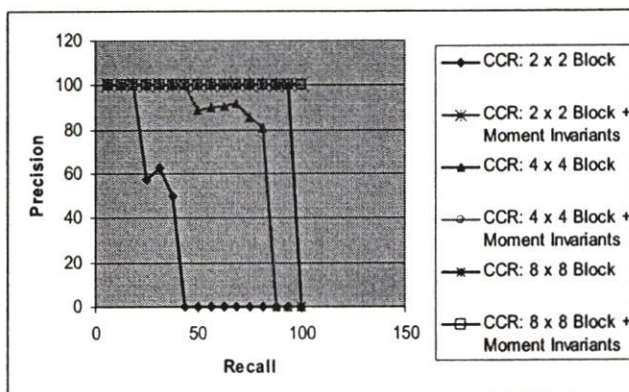


Figure 8. An example of retrieval Precision versus Recall for red flower image.

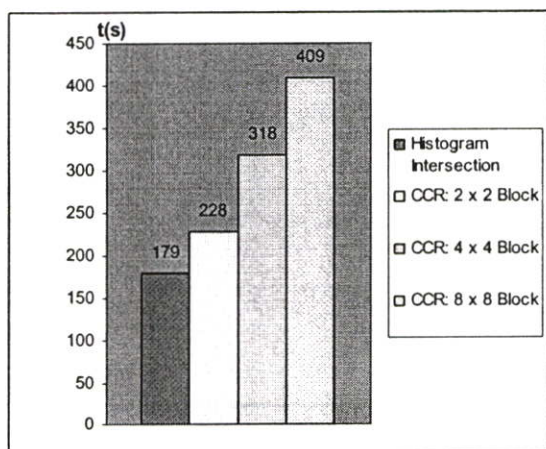


Figure 6. A comparison of processing time required for Histogram intersection and CCR with various block sizes.

Choosing the CCR block size is very important since it effects on both retrieval performance and time. The smaller the block size, the better the retrieval performance. However, if the block size is small, it requires longer retrieval time as presented in figure 6.

Figure 7 and 8 present retrieval results of using only CCR compared to combined CCR and moment invariant descriptors. From the result images, the results of using combined CCR and moment invariant descriptors show better retrieval performance than those of using only CCR descriptors of the same block size especially for the CCR 2 x 2 blocks. In addition, we can see that the retrieval results of using combined CCR with large block size and moment invariants are comparable to those of using only CCR with smaller block size while require less amount of retrieval time as shown in figure 9.

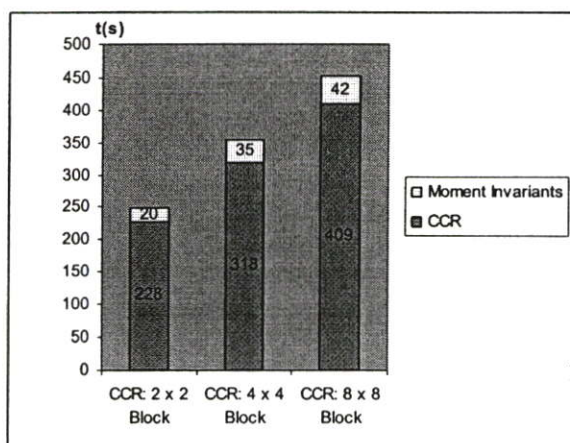


Figure 9. A comparison of processing time required for CCR with various block sizes and moment invariants.

Table 1. The comparison of performances

	ANMRR
Histogram Intersection	0.340
CCR 2 x 2 Block	0.328
CCR 4 x 4 Block	0.240
CCR 8 x 8 Block	0.186
CCR 2 x 2 Block + Moment Invariants	0.277
CCR 4 x 4 Block + Moment Invariants	0.202
CCR 8 x 8 Block + Moment Invariants	0.166

Table 1 shows the performance comparison of using histogram intersection, CCR, and combined CCR and moment invariant descriptors. The ANMRR is used as the average retrieval performance of 7,000 images in the database. The results show that the retrieval performance of using combined CCR and moment invariants descriptors is superior to that of using histogram intersection and outperforms that of using only CCR with the same block size. Furthermore, the retrieval results of using the proposed combined descriptors are comparable to those of using CCR with smaller block size while required less amount of retrieval time.

5. CONCLUSION

This paper presents an image retrieval system using combined color descriptors of CCR and moment invariants. The CCR descriptor provides spatial information and maximum co-occurrence color while moment invariants provide the distribution of the specified colors in the image. The retrieval performance of using CCR depends on the CCR block size. The smaller the CCR block size, the higher the retrieval performance. However, if the block size is small, it requires longer retrieval time. Therefore, moment invariants are introduced as an additional feature to CCR in order to help compromising between retrieval performance and time. The experimental results show that the retrieval performance of using the proposed combined CCR and moment invariant descriptors outperforms that of using histogram intersection and using only CCR with the same block size. Besides, the retrieval results of using the proposed combined descriptors are comparable to those of using CCR with smaller block size while required less amount of retrieval time.

REFERENCES

- [1] M. Swain and D. Ballard, "Color indexing," *International Journal of Computer Vision*, 7, 1991, 11-32.
- [2] G. Pass and R. Zabith, "Histogram refinement for content-based image Retrieval," in *Proceedings of IEEE Workshop and Applications of ComputerVision*, 1996, 96-102.
- [3] R. M. Haralick, J. Shanmugam, and I. Dinstein, "Texture feature for image Classification," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3, 1973, 610-621.
- [4] H. Tamura, S. Mori, and T. Yamawaki, "Texture features corresponding to visual perception," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 8, 1978, 460-473.
- [5] E. Persoon and K. Fu, "Shape discrimination using Fourier descriptors," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 7, 1977, 170-179.
- [6] M. K. Hu, "Visual pattern recognition by moment invariants," in *Computer Methods in Image Analysis* (J. K. Aggarwal, R. O. Duda, and A. Rosenfeld, eds.), IEEE Computer Society, Los Angeles, 1977.
- [7] TaeYong Kim and Joon H. Han, "Partial Image Matching by Measures from Connected Color Regions," *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (I)*, 30 July-2 Aug 2000
- [8] Castleman K.R. *Digital Image Processing*. New Jersey: Prentice-Hall. 1996. pp. 140-145.
- [9] 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.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวดวงกมล ดั่งโพนทอง
วัน เดือน ปีเกิด	26 มีนาคม 2523
ที่อยู่	625 หมู่ 1 ต.บ้านยาง อ.เกษตรสมบูรณ์ จ.ชัยภูมิ 36120
ประวัติการศึกษา	2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคนิคคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.นครราชสีมา 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง