สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ

KEYWORD QUERY FOR CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL

T051648

แคทลียา ดวงเกตุ

CATTLEYA DUANGGATE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-9680-57-X

วพ.
ก92ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 51648
วัน,เดือน,ปี 26 ต.ค. 2547

ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

KEYWORD QUERY FOR CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL

CATTLEYA DUANGGATE

A THESIS SUBMITTED 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

2004

ISBN 974-9680-57-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ
นักศึกษา	นส. แคทลียา ดวงเกตุ
รหัสประจำตัว	44061601
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอระบบการใช้คำในการค้นคืนรูปภาพในฐานข้อมูลรูปภาพพื้นผิว ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ได้พัฒนาจากแนวความคิดระดับสูงในการค้นคืนภาพ โดยคำนึงถึงความหมายควบคู่ไปกับการพิจารณาคุณลักษณะต่างๆ ของภาพ โดยทั่วไปแล้วการค้นคืนรูปภาพจะทำโดยการนำภาพตัวอย่างที่ต้องการค้นคืนเป็นอินพุทเข้าสู่ระบบ แต่หากผู้ใช้ไม่ต้องการค้นคืนจากภาพตัวอย่างที่ระบบเตรียมให้ การค้นคืนก็ไม่สามารถทำต่อไปได้ ดังนั้นจึงได้พัฒนาระบบการค้นคืนภาพที่ผู้ใช้สามารถป้อนคำค้นเป็นคำที่มีความหมายเพื่อใช้ในการค้นคืนภาพ เพื่อให้การค้นคืนภาพเป็นไปตามแนวความคิดระดับสูงและตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากยิ่งขึ้น รูปภาพที่ใช้จะมีลักษณะเป็นพื้นผิวที่มีการหมุน ซึ่งระบบนี้จะทำการกำหนดดัชนีให้แก่ภาพโดยใช้คุณลักษณะของสีและพื้นผิว สำหรับการกำหนดดัชนีสีได้กำหนดสีทั้งหมด 10 สี และดัชนีพื้นผิวได้กำหนดพื้นผิว 6 กลุ่ม ในส่วนของการค้นคืนรูปภาพ จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการค้นคืนแบบตรง และแบบที่ใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Keyword Query for Content-Based Image Retrieval
Student	Miss Cattleya Duanggate
Student ID.	44061601
Degree	Master of Engineering
Programme	Computer Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Dr. Orachat Chitsobhuk

ABSTRACT

This thesis proposes a keyword query for content-based image retrieval system. This research is developed based on high level concept, which considers both meaning and features of images. Generally, image retrieval systems use query image as an input of the system. But if users do not want to use query image, the process can not be continued. Therefore, the image retrieval system, which allows users to search images he/she wants by entering semantic words, is developed in order to enhance high-level concept and increase the effectiveness of image retrieval according to the user's desire. Texture images, which are used in this experiment, are rotation invariant texture images. We defined indices for each image using color and feature textures. Ten colors and six texture groups are defined. In retrieval process, we will compare the efficiency of the system using exact match and using genetic algorithm, to expand the query.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสมาชิกในครอบครัวทุกๆ ท่าน ที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับงานประมวลผลภาพจาก ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ในสถานศึกษาแห่งนี้

ขอขอบคุณนักศึกษาห้องวิจัยปริญญาโทและเอกทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความรู้รวมทั้งเป็นที่ปรึกษาเมื่อเกิดปัญหาในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร (C&C Education Foundation) ที่ได้ให้ทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัย

แคทลียา ดวงเกตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....IX

สารบัญรูป.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....4

1.7 ข้อตกลงเบื้องต้น.....4

1.8 ข้อจำกัดของการศึกษา.....5

1.9 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....5

1.10 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....5

1.11 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....6

บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการค้นคืนรูปภาพ.....7

2.1 การกำหนดดัชนีแบบข้อความ (Text-Based Indexing).....7

2.1.1 ระบบการค้นคืนรูปภาพแบบดัชนีคำศัพท์ (Vocabulary).....7

2.1.2 ระบบการค้นคืนรูปภาพแบบดัชนีคำพ้อง (Thesaurus – Based Indexing System).....7

2.1.3 วิธีการจัดกลุ่มรูปภาพแบบเป็นระบบ (Systematic Classification).....8

2.1.4 วิธีการวิชวล เบราซิ่ง (Visual Browsing).....9

2.2 การกำหนดดัชนีแบบคอนเทนท์ (Content-Based Indexing).....9

2.2.1 คุณลักษณะสี (Color Feature).....10

2.2.2 คุณลักษณะพื้นผิว (Texture Feature).....14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3 คุณลักษณะรูปร่าง (Shape Feature).....15

2.3 วิธีการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล.....15

2.3.1 การค้นคืนด้วยข้อความ.....15

2.3.2 การเลือกค้นหา (Browsing).....16

2.3.3 การเลือกค้นหาจากภาพที่จัดลำดับแล้ว (Browsing Thumbnails by Ranking).....16

2.3.4 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คอนเทนท์.....17

2.4 ระบบการค้นคืนภาพในปัจจุบัน.....17

2.4.1 ระบบการค้นคืนรูปภาพที่พัฒนาเพื่อการศึกษา.....18

2.4.2 ระบบการค้นคืนรูปภาพที่พัฒนาในเชิงพาณิชย์.....18

2.5 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนข้อมูล.....19

2.5.1 การใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมในการปรับปรุงคำค้น.....19

2.5.2 การใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมในการค้นคืนสารสนเทศออนไลน์.....19

บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....21

3.1 องค์ประกอบและคุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพ.....21

3.1.1 องค์ประกอบของรูปภาพ.....21

3.1.2 คุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพ.....21

3.2 ภาพระดับสีเทาและภาพสี (Gray Level Image and Color Image).....22

3.3 แบบจำลองสี (Color Model).....23

3.3.1 แบบจำลองสี RGB.....23

3.3.2 แบบจำลองสี HIS.....24

3.3.3 การแปลงสีจากแบบจำลอง RGB เป็น HIS.....25

3.3.4 การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา.....26

3.4 การคัดแยกคุณลักษณะสี.....27

3.4.1 ฮิสโตแกรม.....27

3.4.2 การตั้งชื่อสี (Color Naming).....27

3.5 การคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว.....28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.1 ตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filtering)……..28

3.5.2 ตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลม (Circular Gabor Filtering)……..30

3.6 ทฤษฎีฟัซซี่ (Fuzzy Theory)……31

3.6.1 ฟัซซี่เซต (Fuzzy Sets)……31

3.6.2 ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)……...34

3.6.3 ยูนิเวิร์ส (Universe)……..34

3.6.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)……..…34

3.6.5 คู่อันดับฟัซซี่ ……..35

3.6.6 ตัวแปรฟัซซี่ (Fuzzy Liguistic Variables)……...36

3.6.7 การกระทำของฟัซซี่เซต (Operations On Fuzzy Sets)……..…..37

3.6.8 คำเชื่อม (Connectives)……..……..…40

3.6.9 กฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules)……....41

3.6.10 ฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ (Fuzzy Inference)……....42

3.6.11 การใช้ฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ในการวิเคราะห์สภาพอากาศจากรูปภาพ……...44

3.7 การจัดกลุ่มข้อมูล……....47

3.7.1 ระยะทางที่ใช้ในการวัดความห่างของข้อมูล……..47

3.7.2 การจัดกลุ่มข้อมูล……48

3.8 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับจีเนติกอัลกอริทึม……....49

3.8.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับจีเนติกอัลกอริทึม……....50

3.8.2 ขั้นตอนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึม……...51

บทที่ 4 การใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ……...59

4.1 การค้นคืนแบบโดยรวม (Global) และแบบเฉพาะที่ (Local)……..59

4.1.1 การค้นคืนแบบโดยรวม (Global)……...59

4.1.2 การค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local)……60

4.2 การกำหนดดัชนีให้แก่รูปภาพแบบโดยรวม (Global)……..60

4.2.1 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบโดยรวม……60

4.2.2 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวแบบโดยรวม……63

4.2.3 ดัชนีของรูปภาพแบบโดยรวม……...64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การกำหนดดัชนีให้แก่รูปภาพแบบเฉพาะที่ (Local).....65
4.3.1 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบเฉพาะที่.....65
4.3.2 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวแบบเฉพาะที่.....65
4.3.3 ดัชนีของรูปภาพแบบเฉพาะที่.....66
4.4 ระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ.....67
4.4.1 การเรียกคุณลักษณะสีและพื้นผิวของรูปภาพ สำหรับผู้ใช้.....67
4.4.2 รูปแบบของคำค้นคืนแบบโดยรวม (Global).....68
4.4.3 รูปแบบของคำค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local).....69
4.4.4 วิธีการค้นคืนแบบตรง (Exact Matching).....69
4.4.5 วิธีการค้นคืนโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm).....71

บทที่ 5 ผลการทดลอง.....76
5.1 ผลการทดลองระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ.....76
5.2 ผลการทดลอง.....77
5.2.1 การกำหนดดัชนีสี แบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่.....77
5.2.2 การคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว และการกำหนดดัชนีพื้นผิวแบบโดยรวม และแบบเฉพาะที่.....78
5.2.3 การกำหนดดัชนีพื้นผิวแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่.....81
5.3 ผลการค้นคืนรูปภาพ.....84
5.3.1 ผลการค้นคืนรูปภาพแบบโดยรวม (Global) โดยใช้สี.....84
5.3.2 ผลการค้นคืนรูปภาพแบบโดยรวม (Global) โดยใช้พื้นผิว.....125
5.3.3 ผลการค้นคืนรูปภาพแบบเฉพาะที่ (Local) โดยใช้สีร่วมกับพื้นผิว 130

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....138
6.1 สรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ.....138
6.1.1 ปัญหาในการคัดแยกและกำหนดดัชนีสี.....138
6.1.2 ปัญหาในการคัดแยกและกำหนดดัชนีพื้นผิว.....141
6.1.3 ปัญหาในการค้นคืนภาพ.....142
6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนาในอนาคต.....142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2.1 การกำหนดดัชนีสี.....142
6.2.2 การกำหนดดัชนีพื้นผิว.....143
6.2.3 การพัฒนาระบบค้นคืนภาพที่คำนึงถึงความหมายภาพ.....143

เอกสารอ้างอิง.....144
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....148
ประวัติผู้เขียน.....149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงตัวอย่างการใช้รหัสในการสร้างดัชนีให้แก่ภาพ ในระบบ ICONCLASS.....9

2.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะที่ใช้ในแบบจำลองสีแบบ HSB และ HSV.....12

3.1 การกำหนดกลุ่มสีตามการมองเห็นของมนุษย์ ตามแนวคิดของ Lai.....28

3.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของกลุ่มผู้ชายสูง.....33

3.3 แสดงคุณสมบัติการกระทำอย่างง่ายของเซต.....40

3.4 อินเฟอเรนซ์รูล สำหรับการวิเคราะห์สภาพอากาศของภาพ (พิจารณาจาก H, S และ I).....44

3.5 ค่าความเป็นสมาชิกและผลลัพธ์ของค่า H.....45

3.6 ค่าความเป็นสมาชิกและผลลัพธ์ของค่า S.....46

3.7 ค่าความเป็นสมาชิกและผลลัพธ์ของค่า I.....46

3.8 สภาพอากาศของรูปภาพ.....46

3.9 คำสำคัญที่ใช้ในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม.....51

3.10 ตัวอย่างการใช้แบบจำลองวงล้อถ่วงน้ำหนัก.....54

4.1 กฎอินเฟอเรนซ์ (Inference Rules) สำหรับการกำหนดชื่อสี.....62

4.2 แสดงตัวอย่างการเก็บดัชนีสีและค่าสมาชิกดัชนีบอกปริมาณในฐานข้อมูล.....62

4.3 ตัวอย่างการกำหนดดัชนีบอกปริมาณให้แก่สีและพื้นผิว.....63

4.4 แสดงตัวอย่างดัชนีรูปภาพแบบโดยรวม โดยแสดงค่าสมาชิกเป็นคู่อันดับฟัซซี่.....64

4.5 แสดงตัวอย่างดัชนีรูปภาพแบบเฉพาะที่ โดยแสดงค่าสมาชิกเป็นคู่อันดับฟัซซี่.....66

4.6 แสดงตัวอย่างภาพ และดัชนีสี.....66

4.7 ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่คำนวณได้จากสัมประสิทธิ์แจคคาร์ด.....73

4.8 ค่าความเหมาะสมและการคัดเลือกโครโมโซม.....73

4.9 ตารางแสดงโครโมโซมในขั้นตอนการครอสโอเวอร์.....74

5.1 แสดงดัชนีสีของรูปภาพ ทั้งแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่.....77

5.2 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มพื้นผิว ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐานที่ใช้มีขนาด 60x60, s =5 และ t =6 เมื่อ s และ t คือ scale และ orientation ตามลำดับและใช้ระยะทางยูคลิเดียน ในการจัดกลุ่ม.....78

5.3 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มพื้นผิว เมื่อหมุนเป็นมุมต่างๆ กัน โดยใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐาน.....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.4 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มพื้นผิวที่มีการหมุน โดยใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลม F=2.0, 3.17, 5.04 และ 8.0 เมื่อ F คือ รัศมีของตัวกรองในโดเมนความถี่.....80

5.5 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มและกำหนดดัชนีพื้นผิว.....81

5.6 แสดงดัชนีพื้นผิวรวมของรูปภาพ ทั้งแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่.....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงตัวอย่างการค้นคืนในระบบ AAT.....8
2.2 แสดงแบบจำลองสีแบบ RGB.....10
2.3 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSB หรือ HIS.....11
2.4 แสดงฮิสโตแกรมสีของภาพ.....12
2.5 แสดงรูป 2 รูปที่มีฮิสโตแกรมคล้ายคลึงกันแต่มีความหมายแตกต่างกัน.....13
2.6 แสดงการเข้ารหัสของวัตถุในภาพ.....15
2.7 แสดงการค้นหาภาพที่จัดลำดับแล้ว.....17
3.1 แสดงภาพระดับสีเทา (Gray Level Image) ที่เก็บด้วยค่าบิทที่แตกต่างกัน.....22
3.2 แสดงภาพสี.....23
3.3 แสดงแบบจำลองสี RGB บนพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System).....24
3.4 แสดงแบบจำลองสี RGB 24 บิท.....24
3.5 แสดงแบบจำลองสี HIS.....25
3.6 แสดงฮิสโตแกรมของภาพระดับสีเทา.....27
3.7 แสดงเซตของสัตว์ภายในสวนสัตว์.....32
3.8 แสดงฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) ของระดับอุณหภูมิ.....32
3.9 แสดงเซตของผู้ชายสูง.....33
3.10 ฟัซซี่เซตความสูงของผู้ชาย.....35
3.11 การกระทำพื้นฐานของเซต.....37
3.12 การกระทำพื้นฐานของฟัซซี่เซต.....37
3.13 ฟัซซี่เซตผู้ชายสูงและผู้ชายหนัก.....41
3.14 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของฟัซซี่อินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani.....43
3.15 แสดงการจัดกลุ่มแบบหาระยะทางที่น้อยที่สุด (Minimum-Distance Clustering).....48
3.16 การคัดเลือกประชากร.....52
3.17 แสดงกระบวนการครอสโอเวอร์แบบไบนารี.....55
3.18 แสดงกระบวนการครอสโอเวอร์แบบตัวอักษร.....55
3.19 การครอสโอเวอร์ของโครโมโซมแบบทรี.....55
3.20 แสดงกระบวนการไบนารีมิวเตชัน.....56
3.21 แสดงกระบวนการสร้างประชากรในรุ่นถัดไป.....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ตัวอย่างรูปภาพที่มีพื้นผิวต่างกัน 2 พื้นผิว โดย A และ B แทนบริเวณพื้นผิวที่แตกต่างกัน....59

4.2 กระบวนการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบโดยรวม.....60

4.3 แสดงฟัซซี่เซตของแต่ละองค์ประกอบสีในแบบจำลองสี HIS.....61

4.4 แสดงฟัซซี่เซตของดัชนีบอกปริมาณ.....61

4.5 กระบวนการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวของรูปภาพ.....63

4.6 กระบวนการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบเฉพาะที่.....65

4.7 ตัวอย่างการเรียกคุณลักษณะต่างๆ ในภาพ (ก) แบบโดยรวม (ข) แบบเฉพาะที่.....67

4.8 แสดงกระบวนการค้นคืนรูปภาพ.....69

5.1 แสดงตัวอย่างภาพพื้นผิว 6 กลุ่มที่ใช้ในการทดลอง.....78

5.2 แสดงภาพพื้นผิวที่ถูกทำการหมุนในมุมต่างๆ.....79

5.3 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “black, few”.....85

5.4 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “black, many”.....86

5.5 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “black, mostly”.....87

5.6 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “black, few” , “black, many” และ “black, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น.....88

5.7 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “blue, few”.....89

5.8 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “blue, many”.....90

5.9 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “blue, mostly”.....91

5.10 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “blue, few” , “blue, many” และ “blue, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น.....92

5.11 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “brown, few”.....93

5.12 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “brown, many”.....94

5.13 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “brown, mostly”.....95

5.14 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “brown, few” , “brown, many” และ “brown, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น....96

5.15 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “gray, few”.....97

5.16 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “gray, many”.....98

5.17 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “gray, mostly”.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.18 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “gray, few” , “gray, many” และ “gray, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น.....100

5.19 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “green, few”.....101

5.20 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “green, many”.....102

5.21 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “green, mostly”.....103

5.22 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “green, few” , “green, many” และ “green, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น....104

5.23 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “orange, few”.....105

5.24 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “orange, many”.....106

5.25 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “orange, few” และ “orange, many” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น.....107

5.26 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “purple, few”.....108

5.27 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “purple, many”.....109

5.28 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “purple, mostly”.....110

5.29 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “purple, few” , “purple, many” และ “purple, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น...111

5.30 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “red, few”.....112

5.31 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “red, many”.....113

5.32 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “red, mostly”.....114

5.33 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “red, few” , “red, many” และ “red, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น.....115

5.34 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “white, few”.....116

5.35 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “white, many”.....117

5.36 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “white, mostly”.....118

5.37 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “white, few” , “white, many” และ “white, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น....119

5.38 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “yellow, few”.....120

5.39 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “yellow, many”.....121

5.40 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “yellow, mostly”.....122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.41 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “yellow, few” , “yellow, many” และ “yellow, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น..123
5.42 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของคำค้นสี 10 สี ที่ปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบวิธีการทั้งแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น.....124
5.43 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “brick, few”.....125
5.44 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “sand, few”.....125
5.45 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “bead, many”.....125
5.46 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “fur, many” 126
5.47 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “grass, mostly” 126
5.48 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “plane, mostly” 126
5.49 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของคำค้น “brick, few” , “sand, few” , “bead, many” , “fur, many” , “grass, mostly” และ “plane, mostly”.....127
5.50 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “bead,many AND fur,many”.....127
5.51 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “brick, mostly AND fur, few”.....128
5.52 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “fur, few AND grass, mostly”.....128
5.53 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “fur, mostly AND grass, few”.....128
5.54 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “grass, mostly AND brick, few”.....128
5.55 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “grass, mostly AND plane, few”.....128
5.56 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “plane, few AND brick, mostly”.....129
5.57 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “plane, many AND bead, many”.....129
5.58 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “sand, mostly AND bead, few”.....129
5.59 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “sand, mostly AND plane, few”.....129
5.60 แสดงกราฟเฉลี่ยการค้นคืนรูปภาพแบบตรง ของคำค้น 10 คำค้น.....130
5.61 แสดงการค้นคืนภาพโดยใช้คำค้น “black, many AND fur, mostly” 131
5.62 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “red, mostly AND brick, many”.....131
5.63 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “green, mostly AND grass, mostly”.....132
5.64 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “orange, many AND plane, many”.....132
5.65 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “brown, mostly AND brick, mostly”.....133
5.66 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “blue, mostly AND bead, mostly”.....133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.67 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “gray, many AND sand, mostly”.....134
5.68 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “purple, many AND plane, many”.....134
5.69 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “brown, many AND fur, mostly”.....135
5.70 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “green, mostly AND plane, many”.....135
5.71 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของคำค้น 10 คำค้น.....136
6.1 แสดงพื้นผิวหญ้าที่มีสีใกล้เคียงกันในช่วงสีเหลืองและสีเขียว โดยภาพที่ขยายเป็นภาพที่อยู่ภายในบริเวณวงกลม.....139
6.2 แสดงภาพพื้นผิวเรียบ ที่มีสีใกล้เคียงกันในช่วงสีส้มและสีแดง.....139
6.3 แสดงภาพที่เกิดพิกเซลสีดำบริเวณขอบเมล็ด.....140
6.4 แสดงภาพที่มีการกระจายของพิกเซลสีฟ้าทั่วไปในภาพ.....140
6.5 แสดงภาพอิฐที่มีระยะการถ่ายและมุมมองต่างๆ กัน.....141
6.6 แสดงภาพหญ้าและขนที่มีสัดส่วนและลักษณะการเรียงตัวที่คล้ายคลึงกัน.....141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า เป็นยุคของเทคโนโลยีและข้อมูลข่าวสาร ทั้งข้อมูลที่เป็นข้อความหรือข้อมูลรูปภาพ ดังจะเห็นได้จากงานหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นงานด้านสื่อสารมวลชน งานที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เช่นเว็บไซต์ต่างๆ งานด้านการแพทย์ หรือแม้แต่งานส่วนบุคคล ย่อมต้องเกี่ยวข้องกับรูปภาพอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ข้อมูลรูปภาพถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งในการเสนอและแสดงผลข้อมูล จากการขยายตัวของฐานข้อมูลภาพในงานด้านต่างๆ ที่กล่าวมานี้ ทำให้ผู้ใช้งานประสบปัญหาในเรื่องปริมาณของรูปภาพจำนวนมหาศาลที่มีเพิ่มมากขึ้นทุกวัน นอกจากนี้ยังประสบปัญหาที่เกิดจากการค้นคืน กล่าวคือ รูปภาพถูกค้นคืนขึ้นมาจำนวนมาก แต่มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ตรงตามความต้องการ ทำให้ต้องเสียเวลาในการพิจารณาเลือกรูปภาพที่จะนำไปใช้งาน นอกจากนี้ หากผู้ใช้ไม่ต้องการใช้รูปภาพตัวอย่างป้อนให้แก่ระบบ ระบบการค้นคืนก็ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ สิ่งที่ผู้ใช้ต้องการคือระบบการค้นคืนที่ได้รูปภาพตรงกับความต้องการมากที่สุดและใช้เวลาไม่มาก ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดเก็บรูปภาพอย่างเป็นระบบและสามารถค้นคืนได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว

งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลโดยทั่วไปนั้น จะใช้ภาพตัวอย่างในการค้นคืน ซึ่งเมื่อป้อนภาพนั้นเข้าสู่ระบบ ระบบก็จะคัดแยกคุณลักษณะเด่นในภาพตัวอย่างออกมา ซึ่งได้แก่ คุณลักษณะสี พื้นผิว รูปร่าง เป็นต้น เมื่อคัดแยกคุณลักษณะเหล่านี้ออกมาแล้ว ก็จะนำไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะเด่นของแต่ละรูปภาพในฐานข้อมูลซึ่งได้คัดแยกไว้ก่อนหน้านี้ หากรูปภาพใดมีคุณลักษณะที่ตรง หรือใกล้เคียงกับภาพตัวอย่างมาก ก็จะถูกค้นคืนออกมาให้แก่ผู้ใช้ ซึ่งการค้นคืนในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นแนวคิดระดับต่ำ (Low level concept) จะเห็นได้ว่า ผลที่ได้จากการค้นคืนรูปภาพอาจเป็นรูปภาพที่มีคุณลักษณะที่ตรง หรือใกล้เคียงกับภาพตัวอย่างมาก แต่กลับไม่มีความหมายใดๆ สอดคล้องกับรูปภาพที่ผู้ใช้ต้องการเลย จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบเฉพาะคุณลักษณะใดเพียงคุณลักษณะเดียวนั้นก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้การค้นคืนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในด้านของผู้ใช้งานเองก็ไม่ได้มองว่า ภาพประกอบไปด้วยคุณลักษณะย่อยหลายๆ คุณลักษณะ แต่กลับพิจารณาว่าภาพนั้นมีความหมายตามที่สายตามองเห็น เช่น หากผู้ใช้ต้องการภาพท้องฟ้า ก็จะป้อนคำค้นคืนว่า “จงค้นหาภาพท้องฟ้า” แต่จะไม่ใช้คำว่า “จงค้นหาภาพที่มีคุณลักษณะสีที่เด่นคือสีฟ้าและสีขาว” เป็นต้น การพิจารณารูปภาพในเชิงความหมายนี้เรียกว่าแนวคิดระดับสูง (High Level Concept) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการสร้างระบบการค้นคืนภาพ ที่คำนึงถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายร่วมกับคุณลักษณะอื่นๆ เพื่อที่จะได้คำจำกัดความของรูปภาพแต่ละแบบขึ้นมา เช่น รูปเปลือกไม้ ทั้งนี้เพื่อให้การค้นคืนรูปภาพเป็นไปในเชิงความหมายมากที่สุด

การสร้างระบบการค้นคืนภาพให้มีประสิทธิภาพนั้น นับว่าเป็นปัญหาที่ท้าทายและมีประโยชน์มาก เช่น ด้านการแพทย์ แพทย์สามารถค้นคืนรูปภาพตัวอย่างของโรค เพื่อนำมาใช้ในการวินิจฉัยความเจ็บป่วยของผู้ป่วย ดังที่กล่าวแล้วว่าหากใช้เพียงคุณลักษณะที่ปรากฏในภาพเป็นสิ่งเปรียบเทียบ เพื่อค้นหาภาพจากฐานข้อมูลอาจเป็นวิธีการที่ไม่ดีนัก การสร้างระบบที่ให้ความสำคัญกับความหมายของภาพและผู้ใช้สามารถค้นคืนรูปภาพได้ตามความต้องการ เป็นการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพก้าวไปอีกขั้นหนึ่ง กล่าวคือผู้ใช้สามารถติดต่อกับระบบได้โดยระบุกลุ่มรูปภาพที่ต้องการค้นหา ไม่ต้องอาศัยภาพตัวอย่าง ซึ่งเป็นระบบการค้นคืนรูปภาพที่มีความหมายคล้ายการติดต่อสื่อสารจริงในชีวิตประจำวัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาทำการศึกษาโดยมีจุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์สำคัญดังนี้

1. เพื่อพัฒนาระบบการค้นคืนภาพ โดยใช้คำ ซึ่งระบบนี้จะใช้คุณลักษณะเด่น 2 คุณลักษณะ คือ สีและพื้นผิว ร่วมกัน เพื่อใช้ในการกำหนดความหมายให้แก่รูปภาพ
2. เพื่อศึกษาวิธีการต่างๆ ที่จะนำมาคัดแยกคุณลักษณะเด่นแต่ละคุณลักษณะ ออกจากรูปภาพได้อย่างเหมาะสม ซึ่งได้แก่ ฮิสโตแกรมสี และตัวกรองเกเบอร์ที่ใช้คัดแยกพื้นผิว
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีฟัซซี่ (Fuzzy Theory) และการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) เพื่อจัดกลุ่มภาพที่มีความหมายใกล้เคียงกันเข้าไว้ด้วยกัน
4. เพื่อศึกษาหลักการค้นคืนสารสนเทศ (Information Retrieval)
5. เพื่อศึกษากระบวนจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)
6. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบการค้นคืนภาพโดยตรงตามคำสำคัญ (Exact Matching) และการค้นคืนแบบประยุกต์ใช้กระบวนจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) รวมทั้งวิเคราะห์ผลการค้นคืนของระบบ ที่ได้จากการใช้ชุดตัวแปรที่แตกต่างกัน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การสร้างระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพนี้ จะทำการคัดแยกคุณลักษณะเด่นของรูปภาพ ได้แก่ สีและพื้นผิว โดยวิธีการที่เหมาะสม เพื่อนำมาแบ่งกลุ่มโดยใช้ความสัมพันธ์ในแต่ละกลุ่มรูปภาพ โดยวิธีการนี้จะสามารถเตรียมฐานข้อมูลที่แบ่งกลุ่มรูปภาพไว้ตามความหมาย ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผู้ใช้จะสามารถค้นคืนรูปภาพที่ต้องการได้ โดยเลือกรูปแบบการค้นคืนตามที่ระบบเตรียมไว้ให้ โดยจะเป็นการให้ความหมายถึงรูปภาพที่ตนต้องการ ไม่ต้องอาศัยภาพตัวอย่างป้อนเข้าสู่ระบบดังเช่นงานวิจัยที่ผ่านมา

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการพัฒนาระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพนี้ จะต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีดังต่อไปนี้

1. วิธีการคัดแยกฮีสโตแกรมสี (Color histogram) ใช้ร่วมกับทฤษฎีฟัซซี่ (Fuzzy Theory) ในการแยกและให้คำจำกัดความของสีแต่ละสี
2. ตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filtering) ใช้ในการคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว
3. การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) ใช้การแบ่งกลุ่มแบบเค-มีน (K-mean Clustering) โดยเปรียบเทียบการใช้ระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance) และระยะทางมหาลานูบิส (Mahalanobis Distance) ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล
4. วิธีการค้นคืนข้อมูลสารสนเทศ (Information Retrieval)
5. กระบวนจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อที่จะสร้างระบบที่สามารถใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล ซึ่งมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. เป็นระบบการค้นคืนรูปภาพ จากฐานข้อมูลรูปภาพพื้นผิว (Texture image database) ขนาด 1,024x768 พิกเซล จำนวน 250 ภาพ
2. ทำการคัดแยกคุณลักษณะเด่นที่สำคัญ 2 ชนิดได้แก่ สี และพื้นผิว (Color and Texture) โดยสีจะแบ่งออกเป็น 10 สี สำหรับพื้นผิวจะแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มพื้นผิว
3. รูปภาพที่ใช้จะประกอบด้วยพื้นผิวที่มีความแตกต่างกันชัดเจนอย่างน้อย 2 พื้นผิว
4. ในการค้นคืนโดยตรงจากคำค้น (Query Keywords) จะมีการถ่วงน้ำหนักให้แก่คำค้นที่จะใช้ค้นคืนภาพ ส่วนการประยุกต์ใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) มาปรับปรุงคำค้นของผู้ใช้ก่อนทำการค้นคืนนั้น จะดำเนินวิธีการวิจัยในลักษณะเดียวกับงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้กระบวนจีเนติกอัลกอริทึมในการค้นคืนสารสนเทศ [33]
5. การสร้างระบบการใช้คำในการค้นคืนรูปภาพนี้ จะทำการเปรียบเทียบผลและประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบ ที่ได้จากวิธีการค้นคืนโดยตรงกับคำค้น และจากวิธีที่นำเอาจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการขยายคำค้นก่อนทำการค้นคืนรูปภาพ

6. การนำจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ จะเป็นการค้นคืนภาพที่มีการขยายคำค้นของผู้ใช้สำหรับค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าตัวแปรตามที่มีผู้ทำการทดลองแล้วว่าเหมาะสม

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

สำหรับขั้นตอนของการทำการศึกษาวิจัย สามารถแบ่งออกเป็นลำดับได้ดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าผลงานวิจัยและเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง ที่มีผู้ทำวิจัยแล้ว
2. กำหนดหัวข้อ เป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการวิจัย
3. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย
4. วิเคราะห์และออกแบบ ระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ
5. พัฒนาโปรแกรม บันทึกค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละขั้นตอน
6. วิเคราะห์ผลการทดลอง เปรียบเทียบผลที่ได้ และสรุปผลการทดลอง
7. จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.7 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. กำหนดสีที่จะคัดแยกทั้งหมด 10 สี ได้แก่ สีแดง สีน้ำตาล สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า สีม่วง สีเทา สีดำ และสีขาว

2. กำหนดความหมายของพื้นผิวทั้งหมด 6 กลุ่มภาพ ได้แก่ ขนสัตว์ หญ้า อิฐ เมล็ดพืช พื้นเรียบ และพื้นทราย

3. การค้นคืนจะใช้คำเชื่อม และ (AND) หรือ (OR) ได้ โดยสามารถระบุการค้นคืนได้หนึ่งคุณลักษณะ หรือสองคุณลักษณะ คือพื้นผิวและสี ต่อการค้นคืนในแต่ละครั้งตามที่ระบบเตรียมให้ผู้ใช้เลือก

4. รูปภาพที่ใช้ในการทดลอง ส่วนหนึ่งเป็นภาพที่ได้จากการถ่ายจริง และบางส่วนเป็นภาพที่จัดเตรียมขึ้น เนื่องจากภาพที่ถ่ายจริงมีจำนวนสีน้อย ยากต่อการเตรียมข้อมูลให้มีความหลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ข้อจำกัดของการศึกษา

ข้อจำกัดสำหรับการศึกษาวิจัยนี้ มีดังนี้

1. ภาพที่ใช้เป็นไฟล์ชนิด BMP และได้กำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ออกแล้ว
2. รูปภาพที่นำมาใช้ในงานวิจัย จะมีขนาดเท่ากับ 1,024x768 พิกเซล ทั้งนี้เมื่อทำการแบ่งส่วน (Segmentation) แล้ว ส่วนประกอบย่อยในภาพที่จะนำมาหาค่าคุณลักษณะพื้นผิวได้นั้น ต้องมีขนาดไม่เล็กว่า 128x128 พิกเซล เนื่องจากส่วนของภาพที่มีขนาดเล็กกว่านี้จะไม่สามารถนำมาวิเคราะห์พื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. รูปภาพในแต่ละกลุ่มพื้นผิว จะมีเอกลักษณ์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เพื่อให้ง่ายต่อการกำหนดความหมาย

1.9 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

1. การค้นคืนแบบโดยรวม (Global) หมายถึง การกำหนดดัชนีและการค้นคืน ที่พิจารณาคุณลักษณะสีและพื้นผิวจากทั้งภาพ
2. ดัชนีบอกปริมาณสีและพื้นผิว (มาก ปานกลาง และน้อย) ในการค้นคืนแบบโดยรวม จะวัดปริมาณของแต่ละสีและแต่ละพื้นผิว เทียบกับพิกเซลรวมทั้งหมดของภาพ
3. การค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local) หมายถึง การกำหนดดัชนีและการค้นคืน ที่พิจารณาคุณลักษณะสีและพื้นผิว เฉพาะบริเวณที่สนใจ
4. สำหรับดัชนีบอกปริมาณของสี ในการค้นคืนแบบเฉพาะที่ จะนับจำนวนของแต่ละสีเทียบกับพิกเซลของบริเวณพื้นผิวที่สนใจ ส่วนดัชนีบอกปริมาณพื้นผิวจะบอกปริมาณเทียบกับรูปภาพทั้งหมด

1.10 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) อินเทลเพนเทียม 4 1.8 จิกะเฮิร์ซ (Intel Pentium 4 1.8 GHz) หน่วยความจำ (RAM) 512 เมกกะไบท์ (MB) จำนวน 1 เครื่อง
2. ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 2000
3. โปรแกรมไมโครซอฟท์ วิชวล ซีพลัสพลัส (Microsoft Visual C++) เวอร์ชัน 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ฐานข้อมูลไมโครซอฟท์ แอคเซส (Microsoft Access) เวอร์ชัน 2000
5. กล้องถ่ายภาพดิจิตัล โอลิมปัส (Olympus) รุ่น E-20P ความละเอียด 5 ล้านพิกเซล

1.11 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท แต่ละบทประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา รวมทั้งทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนของการศึกษา ข้อตกลงเบื้องต้น ข้อจำกัดของการศึกษา และคำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล ได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้คุณลักษณะของสีในการค้นคืนรูปภาพ งานวิจัยที่ใช้คุณลักษณะของพื้นผิวในการค้นคืนรูปภาพ งานวิจัยที่ใช้คำในการค้นคืนภาพ และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมในระบบการค้นคืนสารสนเทศ

บทที่ 3 จะกล่าวถึงองค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐานในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบและคุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพ คุณลักษณะเด่นของภาพและการคัดแยกคุณลักษณะเหล่านั้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้คุณลักษณะสี และพื้นผิว ทฤษฎีฟัซซี่ การตั้งชื่อสี การทำฮิสโตแกรม วิธีการคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวโดยตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filtering) ทฤษฎีฟัซซี่ การหาระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance) และระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance) การแบ่งกลุ่มภาพ (Clustering) โดยใช้วิธีการของเค-มีน (K-mean Clustering) และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) ซึ่งทั้งหมดนี้จะเป็นพื้นฐานความรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในบทต่อไป

บทที่ 4 กล่าวถึง ระบบการใช้คำในการค้นคืนรูปภาพ การใช้วิธีการค้นคืนโดยตรงจากคำค้น (Query Keywords) และการนำเอาจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) เข้ามาประยุกต์ใช้กับการค้นคืนรูปภาพ

บทที่ 5 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลองโดยวิธีการใช้การค้นคืนโดยตรงจากคำสำคัญและวิธีการค้นคืนแบบใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) และการเปรียบเทียบผลการทดลองและประสิทธิภาพของทั้งสองวิธี รวมทั้งการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ

บทที่ 6 กล่าวถึง สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาระบบการค้นคืนรูปภาพต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการค้นคืนรูปภาพ

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการค้นคืนรูปภาพ ซึ่งจะเริ่มด้วยงานวิจัยที่เป็นการสร้างระบบการค้นคืนภาพ ที่มีการกำหนดดัชนีให้ภาพด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การกำหนดดัชนีแบบใช้ข้อความ และการกำหนดดัชนีแบบใช้คอนเทนท์ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการคัดแยกคุณลักษณะต่างๆ เพื่อใช้ในการค้นคืน เช่น สี พื้นผิว และรูปร่าง ระบบการค้นคืนภาพในปัจจุบัน และงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนข้อมูล ซึ่งได้แก่ การประยุกต์ใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ในการปรับปรุงคำค้นก่อนการค้นคืนข้อมูล

2.1 การกำหนดดัชนีแบบข้อความ (Text-Based Indexing)

2.1.1 ระบบการค้นคืนรูปภาพแบบดัชนีคำศัพท์ (Vocabulary)

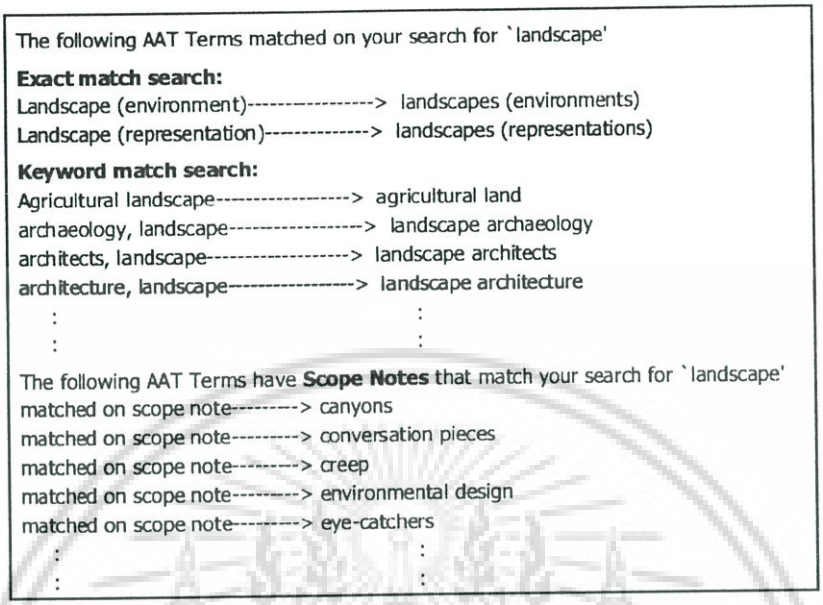
เป็นวิธีการพื้นฐานที่ใช้ในระบบการค้นคืนรูปภาพ คือ ให้คำจำกัดความที่จะอธิบายรูปภาพนั้นๆ [1] ซึ่งการทำดัชนี (Index) ด้วยมนุษย์นี้ จะถือเอาตามสิ่งที่ปรากฏอยู่ในภาพ ชื่อของภาพ หรือข้อมูลที่มีอยู่เกี่ยวกับภาพ เช่น เวลา สถานที่ หรือชื่อผู้ถ่ายภาพ การที่จะเข้าถึงรูปภาพที่ต้องการ ผู้ใช้ระบบจะใช้คำค้น (Keywords) ป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อให้ระบบทำการค้นหาดัชนีแบบตรง (Exact Matching) นั่นคือคำค้นและดัชนีจะต้องตรงกันเท่านั้น ภาพจึงจะถูกค้นคืน ซึ่งการค้นคืนแบบนี้จะจำกัดทั้งดัชนีของภาพ นั่นคือจะต้องเป็นคำที่ได้กำหนดไว้อย่างตายตัวตั้งแต่เริ่มเก็บภาพลงในฐานข้อมูล และจำกัดคำค้นของผู้ใช้ คือผู้ใช้ต้องทราบก่อนว่าจะค้นหาภาพใดในระบบได้บ้าง ไม่สามารถป้อนคำค้นอื่นนอกเหนือจากที่ระบบกำหนดไว้ได้

2.1.2 ระบบการค้นคืนรูปภาพแบบดัชนีคำพ้อง (Thesaurus – Based Indexing System)

อีกระบบหนึ่ง ได้พัฒนาการใช้คำจำกัดความนี้ในวงที่กว้างออกไป นั่นคือ พยายามให้คำจำกัดความในการอธิบายรูปภาพเป็นแบบระบบดัชนีคำพ้อง (Thesaurus – Based Indexing System) ซึ่ง Keefe [2] ได้พัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเก็บรูปภาพและกำหนดคำพ้อง เพื่อใช้ค้นคืนรูปภาพในงานด้านศิลปะและสถาปัตยกรรม หรือเรียกว่า AAT (Art and Architecture Thesaurus) โดยได้กำหนดคำพ้องขึ้นมาประมาณ 120,000 คำ ครอบคลุมวัตถุ วัสดุ รูปภาพ งานสถาปัตยกรรม และงานโบราณวัตถุสมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน ระบบของ AAT เป็นแบบโครงสร้างลำดับขั้น (Hierarchical Structure) ทั้งหมด 7 ระดับ ได้แก่ แนวคิดร่วม (Associated Concepts) คุณสมบัติประจำตัว (Physical Attributes) แบบ (Style) ช่วงเวลา (Periods) เอเจ้นท์ (Agents) กิจกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Activities) วัสดุ (Materials) และวัตถุ (Objects) สำหรับตัวอย่างการค้นคืนด้วยคำว่า "landscape" ได้ผลลัพธ์ออกมาดังแสดงในรูปที่ 2.1


The following AAT Terms matched on your search for `landscape'

Exact match search:

Landscape (environment)----------> landscapes (environments)
Landscape (representation)----------> landscapes (representations)

Keyword match search:

Agricultural landscape----------> agricultural land
archaeology, landscape----------> landscape archaeology
architects, landscape----------> landscape architects
architecture, landscape----------> landscape architecture
: :
: :

The following AAT Terms have **Scope Notes** that match your search for `landscape'
matched on scope note---------> canyons
matched on scope note---------> conversation pieces
matched on scope note---------> creep
matched on scope note---------> environmental design
matched on scope note---------> eye-catchers
: :
: :

รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการค้นคืนในระบบ AAT

AAT เป็นระบบที่มีประโยชน์มาก โดยเฉพาะการสร้างคำจำกัดความของ แบบ (Style) และช่วงเวลา (Period) อย่างไรก็ตามการสร้างดัชนีขึ้นเพื่อให้ระบบนี้สามารถค้นคืนรูปภาพได้นั้น ต้องใช้เวลาเทรน (Train) อย่างน้อย 3 เดือนก่อนที่ระบบจะมีความสามารถค้นคืนภาพได้ จะเห็นได้ว่าระบบนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการสร้างคำเพื่ออธิบายภาพ ซึ่งต้องทำโดยมนุษย์เองทั้งหมด อีกทั้งระยะเวลาในการเตรียมระบบยังใช้เวลาที่นานมาก การเพิ่มภาพเข้าไปใหม่ในระบบนอกจากจะต้องเสียเวลาเทรนใหม่แล้ว ถ้าบัญชีคำพ้องไม่มีคำที่จะเรียกภาพนั้น ก็จะต้องสร้างคำจำกัดความใหม่ให้แก่ภาพนั้นอีกด้วย

2.1.3 วิธีการจัดกลุ่มรูปภาพแบบเป็นระบบ (Systematic Classification)

ระบบ ICONCLASS ถูกเสนอขึ้นโดย Van De Waal [3] เป็นระบบที่ใช้รหัสเพื่อกำหนดเป็นชื่อภาพ รหัสจะประกอบไปด้วยสัญลักษณ์ ตัวเลข และอักขระในภาษาอังกฤษ รหัสของภาพจะถูกกำหนดขึ้นมาจากความสัมพันธ์กันระหว่างอักขระในแต่ละลำดับขั้น รหัสจะเป็นตัวเลข 0-9 โดยกำหนดให้แต่ละตัวเลขมีความหมายดังต่อไปนี้

0	คือ นามธรรม	5	คือ ความคิดและแนวคิดนามธรรม
1	คือ ศาสนาและความวิเศษ	6	คือ ประวัติศาสตร์
2	คือ ธรรมชาติ	7	คือ คัมภีร์ไบเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 คือ ความเป็นอยู่ของมนุษย์ 8 คือ วรรณกรรม

4 คือ สังคมและวัฒนธรรม 9 คือ เทพนิยายและประวัติศาสตร์โบราณ

Couprie [3] ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างรหัส และตัวอย่างการใช้รหัสมาเป็นดัชนีของภาพ Vincent Van Gogh ที่ชื่อว่าภาพ "The Langlois Bridge at Arles" แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการใช้รหัสในการสร้างดัชนีให้แก่ภาพ ในระบบ ICONCLASS

Notation (Code)	Textual Correlate (Meaning)
25 I 6	Landscape with bridge
41 D 42	Laundering
26 F 1	Good weather
25 H 22	Canal
46 C 14 21	Two-wheeled vehicle drawn by one animal
46 C 23 (+92)	Half-sunk boat

ระบบนี้ได้สร้างคำจำกัดความขึ้นมาประมาณ 24,000 คำให้แก่ วัตถุ เหตุการณ์ สถานการณ์ และแนวคิดนามธรรม อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้รหัสกับภาพ ที่เป็นภาพวัตถุทั่วไป เช่น ภาพเก้าอี้ แม่น้ำ หรือบ้าน นอกจากนี้ ระบบนี้ยังถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับฐานข้อมูลภาพศิลปะแบบตะวันตก (Western Art) เท่านั้น

2.1.4 วิธีการวิชวล เบราซิ่ง (Visual Browsing)

Besser [4] แสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดจากการกำหนดคำขึ้นมาเพื่อใช้ค้นคืนรูปภาพ ว่าในบางครั้ง ผู้ใช้อาจต้องการค้นหาภาพจำนวนนับร้อย เพื่อที่จะเลือกเอาไปใช้เพียงแค่ภาพเดียว ดังนั้นวิธีการแบบใช้คำจึงไม่เพียงพอที่จะอธิบายภาพที่มีข้อมูลในภาพมากๆ ได้

ในปีค.ศ. 1986 มหาวิทยาลัยเบิร์กเลย์ (UC Berkeley) [5] ได้เสนอวิธีการที่จะแก้ไขปัญหานี้โดยรวมระบบ OPAC (Online Public Access Catalogue) กับเครื่องมือ (Tools) สำหรับการค้นหารูปภาพ ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า ImageQuery และในปีค.ศ. 1995 Ogle และ Stonebraker [6] ได้พัฒนาระบบ Chabot เพื่อสร้างระบบที่ใช้วิธีการค้นคืนแบบแนวคิด (Concept Queries) ซึ่งรวมข้อดีของระบบการค้นคืนจากคำจำกัดความ กับข้อมูลคุณลักษณะของภาพ (Image Feature) ตัวอย่างการค้นคืนภาพได้แก่ ผู้ใช้ป้อนคำค้น "ดอกไม้" และ "สีม่วงเล็กน้อย"

2.2 การกำหนดดัชนีแบบคอนเทนท์ (Content-Based Indexing)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการกำหนดดัชนีโดยใช้คอนเทนท์ ความหมายของการค้นคืนภาพแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้คอนเทนท์ (Content-Based Image Retrieval : CBIR) นี้ Gudivada และ Raghavan [7] ได้ให้ความหมายว่า "ระบบการค้นคืนภาพแบบใช้คอนเทนท์ เป็นระบบสร้างขึ้นเพื่อให้เกิดการใช้ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ซึ่งได้แก่ การช่วยให้ผู้ใช้ (แม้จะไม่คุ้นเคยกับการใช้ฐานข้อมูล) สามารถค้นคืนภาพได้ตามความต้องการ" กล่าวโดยทั่วไป การพัฒนาระบบการค้นคืนรูปภาพแบบใช้คอนเทนท์นี้ ถูกพัฒนาให้สามารถทำดัชนีจากภาพที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามาเป็นอินพุทของระบบได้โดยอัตโนมัติ (Automatic Indexing) โดยเป็นการวิเคราะห์และแยกคุณลักษณะเด่นของภาพนั้น

สิ่งสำคัญในการสร้างระบบแบบนี้ คือ ทำอย่างไรจึงจะอธิบายรูปภาพได้โดยคุณลักษณะต่างๆ ที่คัดแยกออกมาจากภาพๆ นั้น ซึ่งต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการต่างๆ ในการคัดแยกคุณลักษณะของภาพ ได้แก่ การใช้สี พื้นผิว และรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ

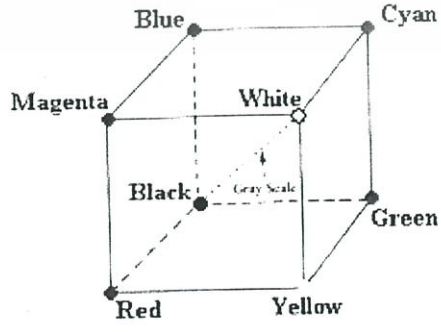
2.2.1 คุณลักษณะสี (Color Feature)

คุณลักษณะสี นับว่าเป็นคุณลักษณะที่มนุษย์มองเห็นได้เด่นที่สุด [7] ซึ่งในส่วนที่จะอธิบายต่อไปนี้จะเป็นการกล่าวถึงคุณลักษณะสีของภาพแบบโดยรวม (Global) บางวิธีการที่นอกเหนือจากนี้อาจกล่าวถึงการใช้คุณลักษณะสีของภาพแบบเฉพาะที่ (Local) ร่วมกับคุณลักษณะอื่นๆ เช่นรูปร่าง ซึ่งจะไม่กล่าวถึงละเอียดในที่นี้

2.2.1.1 สี องค์ประกอบของสี และการรับรู้เรื่องสีของมนุษย์

หลายแบบจำลองสี (Color Model) ถูกสร้างขึ้นมาเพื่ออธิบายองค์ประกอบของสี เช่น แบบจำลองสี แบบ RGB และแบบจำลองสีแบบ HSI เป็นต้น

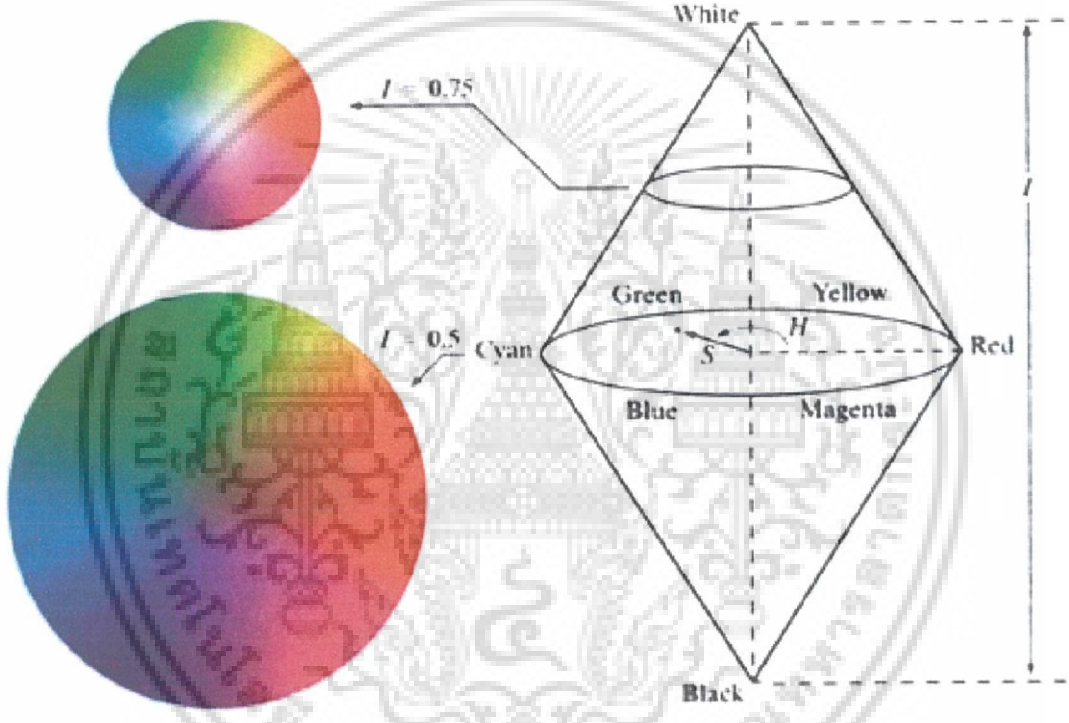
แบบจำลองสีแบบ RGB จะอธิบายถึงการประกอบกันขององค์ประกอบหลัก 3 สี เกิดเป็นสีต่างๆ องค์ประกอบหลักหรือที่เรียกว่าแม่สีทั้ง 3 สีนั้นได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน การที่จะเกิดสีอื่นๆ ขึ้นมาก็เป็นเพราะการนำเอาสีเหล่านี้มาผสมกันในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป แบบจำลองสีแบบ RGB นี้แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองสีแบบ RGB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gong และคณะ [15] ได้พบปัญหาจากการใช้แบบจำลองสีแบบ RGB ว่าไม่สามารถบ่งบอกความหมายที่แท้จริงของสีได้ และพบว่าแบบจำลองสีแบบ HSB (Hue, Saturation และ Brightness) หรือ HSI (Hue, Saturation และ Intensity) เป็นแบบจำลองสีที่ใกล้เคียงกับการรับรู้สีของมนุษย์ การทำดัชนีสีจึงถูกเสนอให้แปลงภาพจากแบบจำลองสีอื่นๆ ให้เป็นแบบจำลองสีแบบ HSB หรือ HSI ก่อน สำหรับสเปซสีของแบบจำลองนี้ถูกแบ่งออกเป็นหลายๆ เฉดสี และสามารถกำจัดปัญหาเรื่องของสิ่งรบกวน (Noise) และความส่องสว่างที่เคยมีอิทธิพลต่อฮิสโตแกรมสี แบบจำลองนี้แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSB หรือ HSI

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าแบบจำลองสีแบบนี้ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ H (Hue) จะเป็นส่วนประกอบบนระนาบวงกลม และสีจะเปลี่ยนแปลงตามมุมที่กวาดไป สำหรับ S (Saturation) เป็นค่าตามเส้นรัศมีของระนาบวงกลม บอกถึงค่าความบริสุทธิ์ (Pure) ของสี หากเส้นรัศมีสั้น หมายความว่าสีนั้นมีการเจือปนด้วยสีเทาค่อนข้างมาก ถ้ารัศมียาวไปจนถึงขอบวงกลมก็จะหมายถึงสีนั้นมีความบริสุทธิ์มากขึ้นตามลำดับ สำหรับค่า B หรือ I (Brightness/Intensity) จะเป็นค่าที่บอกความสว่างของสี โดยถ้าค่านี้เข้าใกล้ศูนย์ จะเข้าใกล้สีดำ ถ้าค่านี้เข้าใกล้หนึ่ง สีที่ได้ก็จะเป็นสีขาวเพราะมีความสว่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณลักษณะที่ใช้ในแบบจำลองสีแบบ HSB และ HSV

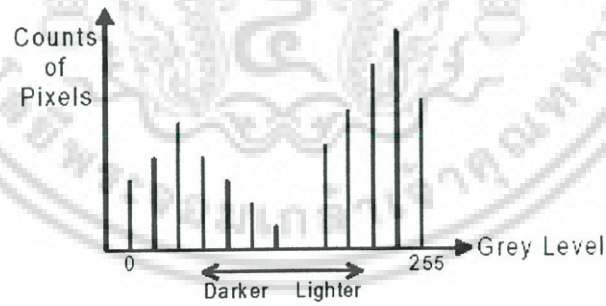
HSB/HSI	HSV
แบ่งเป็น 11 เฉดสี คือ แดง ส้ม เหลือง เนื้อ เขียว เขียวน้ำเงิน น้ำเงิน ม่วง ดำ เทา และขาว	แบ่งเป็น 10 เฉดสี คือ แดง ส้ม เหลือง น้ำตาล เขียว น้ำเงิน ม่วง ดำ เทา และขาว

ในทางปฏิบัติ ถือว่าทั้งสองแบบจำลองนี้แบ่งองค์ประกอบของสีเหมือนกัน ได้แก่ สี (Hue) ความอิ่มตัวของสี (Saturation) และ ความสว่างของสี (Brightness/Intensity/Value)

แม้ว่าสีจะเป็นคุณลักษณะที่สายตามนุษย์สามารถรับรู้ได้ดีที่สุด แต่จากการศึกษาค้นพบว่าความจริงแล้วในจำนวนสีนับล้านสีนั้น คนเราสามารถรับรู้สีได้เพียงไม่กี่สีเท่านั้น [30] ซึ่งจะมีเพียง 10 สีที่อยู่ในช่วงการมองเห็นสีของมนุษย์ Lai และคณะ ได้กำหนดชื่อสีทั้ง 10 สีได้แก่ สีขาว สีเทา สีดำ สีแดง สีน้ำตาล สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน สีม่วง และสีที่ไม่แน่นอน (Uncertain Color)

2.2.1.2 ฮิสโตแกรมสี (Color Histogram)

เป็นวิธีพื้นฐานที่นิยมใช้เพื่อแปลงภาพไปพิจารณาในลักษณะของฮิสโตแกรม เช่น ภาพที่เป็นภาพระดับสีเทา (Gray-Scale) สามารถแปลงให้เป็นฮิสโตแกรมของสีเทาที่ระดับต่างๆ แต่ละแท่งของฮิสโตแกรมจะแสดงให้เห็นถึงจำนวนพิกเซล (Pixel) ทั้งหมดที่เป็นสีเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 อย่างไรก็ตาม การแปลงจากภาพให้เป็นข้อมูลฮิสโตแกรมอาจมีมิติ (Dimension) ได้มากกว่า 2 มิติ หากพิจารณาสีในลักษณะ 3 องค์ประกอบสี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน

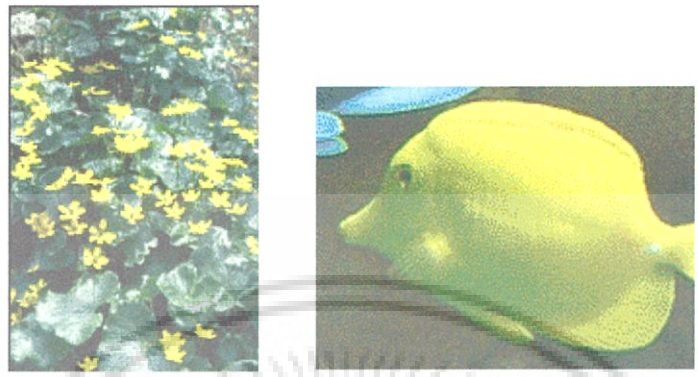


รูปที่ 2.4 แสดงฮิสโตแกรมสีของภาพ

โดยปกติ ภาพหนึ่งภาพจะมีฮิสโตแกรมสีที่แน่นอนอยู่หนึ่งฮิสโตแกรม แม้ว่ารูปภาพคนละภาพอาจจะมีฮิสโตแกรมที่คล้ายคลึงหรือเหมือนกันได้ [8] Swain และ Ballard [9] กล่าวไว้ว่า ฮิสโตแกรมของภาพหนึ่งภาพใด เป็นค่าที่ไม่เปลี่ยนไปตามทิศทางการหมุน ตามมุมมองที่เปลี่ยนไปหรือตามการยืดหดของภาพ ดังนั้น การนำฮิสโตแกรมมาใช้แทนคุณลักษณะโดยรวมของภาพ และพิจารณาถึงความเหมือนกันระหว่างภาพต่างๆ จึงเป็นสิ่งที่สามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาความเหมือนกันของภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมนั้น มีข้อเสียที่สำคัญคือ ภาพ 2 ภาพอาจมีฮิสโตแกรมที่คล้ายคลึงกันมาก แต่มีความหมายที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงรูป 2 รูปที่มีฮิสโตแกรมคล้ายคลึงกันแต่มีความหมายแตกต่างกัน

Ramakrishna และคณะ [27] ได้เสนอระบบการค้นคืนภาพโดยใช้ฮิสโตแกรมร่วมกับทฤษฎีฟัซซี่ โดยได้ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ในการกำหนดคำแสดงปริมาณสีแต่ละสีในภาพ ซึ่งได้แก่ มาก (Mostly) ปานกลาง (Many) และน้อย (Few) สำหรับสีถูกแบ่งออกเป็น 9 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน สีดำ สีม่วง สีชมพู สีส้ม สีขาว และสีเหลือง วัตถุประสงค์หลักของระบบนี้ก็เพื่อใช้ผู้ใช้สามารถใช้คำค้นในการค้นหาภาพที่ต้องการได้ เช่น คำค้นจะเป็นคำที่ประกอบไปด้วยสีและปริมาณสี หากผู้ใช้ให้คำค้น "Red, Mostly" จะหมายถึงผู้ใช้ต้องการภาพที่มีสีแดงเป็นส่วนประกอบ และมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับสีอื่นๆ ในภาพเดียวกัน

ต่อมา Sharma และคณะ [28] [29] ได้พัฒนาระบบเพื่อให้สามารถค้นคืนภาพโดยใช้คำค้นกับฐานข้อมูลภาพออนไลน์ ซึ่งให้ผู้ใช้แสดงคำค้น ด้วยการเลือกสีจากถาดสีที่ระบบเตรียมไว้ให้ และเลือกคำแสดงปริมาณของสีที่ต้องการนั้น คล้ายกับวิธีการของ Ramakrishna และคณะ นอกจากนี้ได้เพิ่มกระบวนการนิวรอลเน็ตเวิร์ค ในการคำนวณความเหมือนระหว่างภาพในฐานข้อมูลและคำค้นของผู้ใช้ และเรียงลำดับภาพที่ค้นคืนได้จากมากไปน้อย เรียงตามค่าความสัมพันธ์กับคำค้น

อย่างไรก็ตาม ทั้งสองระบบนี้ใช้เพียงคุณลักษณะของสีในการค้นคืนภาพ ซึ่งสีเพียงคุณลักษณะเดียวไม่เพียงพอต่อการบอกความหมายของภาพในแง่มุมอื่น เช่น พื้นผิว หรือรูปร่างต่างๆ ในภาพ และดังที่กล่าวไปแล้วว่าภาพสองภาพอาจมีคุณลักษณะของสีที่ใกล้เคียงกันมาก แต่มีความหมายต่างกันโดยสิ้นเชิง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้เพียงคุณลักษณะของสีนั้น ไม่พอต่อการสร้างระบบการค้นคืนภาพที่เป็นแบบแนวคิดระดับสูง (High Level Concept) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือ หากจะให้ผู้ใช้ สามารถใช้คำที่มีความหมายในการค้นคืนภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องมีการใช้คุณลักษณะอื่นๆ ร่วมในการพิจารณาอีก ซึ่งได้แก่ พื้นผิว หรือรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ

2.2.1.3 สีและข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Color and Spatial Information)

เมื่อรูปภาพถูกแปลงให้เป็นฮิสโตแกรมแล้ว ข้อมูลเชิงตำแหน่ง (Spatial Information) จะถูกละทิ้งไป [10] การทำดัชนีโดยใช้ฮิสโตแกรมจึงมีข้อจำกัดในเรื่อง ข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ขาดหายไป เพื่อแก้ปัญหานี้ Pass และ Zabih [11] [12] จึงได้เสนองานวิจัยเรื่องเวกเตอร์โคฮีเรนซ์ของสี (Color Coherence Vector : CCV) โดยแบ่งพิกเซลแบบโคฮีเรนซ์เชิงตำแหน่ง (Spatial Coherence) และยืนยันว่าภาพที่แตกต่างกันแม้จะมีฮิสโตแกรมสีที่เหมือนกัน แต่จะมีค่า CCV ที่แตกต่างกันอย่างแน่นอน นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่เสนอขึ้นมาเพื่อพิจารณาสีและข้อมูลเชิงตำแหน่งร่วมกัน เรียกว่า คอร์รีโลแกรมของสี (Color Correlogram) เสนอโดย Huang และคณะ [13] [14] โดยแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์กันเชิงตำแหน่งของคู่สี จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรตามระยะทาง

2.2.2 คุณลักษณะพื้นผิว (Texture Feature)

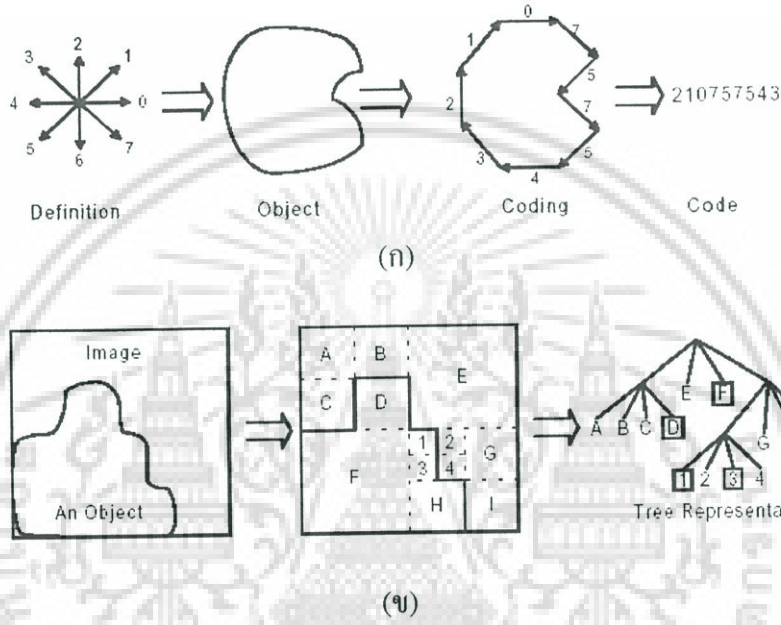
มีผู้ให้คำจำกัดความของพื้นผิว (Texture) ที่ต่างกันออกไป Parker [17] กล่าวว่าลักษณะเด่นของการเป็นพื้นผิว คือการมีรูปแบบที่ซ้ำกันในบริเวณหนึ่งๆ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพื้นผิวนั้นจะเป็นพื้นผิวสี โดยทั่วไปแล้ว เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์พื้นผิวจะเน้นการทำกับพื้นผิวที่เป็นระดับสีเทา (Gray-Scale) เท่านั้น [10] Julesz [18] ได้ค้นพบทฤษฎีการรับรู้พื้นผิว และวิธีการสถิติแบบเซกกันออร์เดอร์ (Second-Order Statistics) Tamura และคณะ [19] ได้ค้นพบความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ทางการมองเห็นของมนุษย์และคำนวณหาความแตกต่างระหว่างพื้นผิว 6 คุณลักษณะ ได้แก่ ความหยาบ (Coarseness) ความตรงกันข้าม (Contrast) ทิศทาง (Directionality) ความเหมือนกันของเส้น (Line-Likeness) ความสม่ำเสมอ (Regularity) และความหยาบ (Roughness) การทดลองได้ทำกับพื้นผิวจำนวน 16 รูปแบบ

Manjunath และคณะ [20] ได้เสนอระบบการค้นคืนภาพโดยใช้คุณลักษณะพื้นผิวสำหรับภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายจะถูกแบ่งส่วน (Segment) ออกเป็นบริเวณเล็กๆ ซึ่งแต่ละบริเวณจะมีลักษณะภาพเหมือนกัน (Homogeneous) และจะคำนวณหาคุณลักษณะของพื้นผิวโดยการใช้ตัวกรอง (Filter) ภาพที่เรียกว่าตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filter) จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการคำนวณแบบนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบไฮบริด (Hybrid Neural Network) ที่ถูกนำมาใช้เพื่อแยกกลุ่มพื้นผิวออกเป็นกลุ่มๆ ในฟีเจอร์สเปซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คุณลักษณะรูปร่าง (Shape Feature)

วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพนั้น [21] จะใช้การวัด 2 แบบ แบบแรกเรียกว่าแบบขอบเขต (Boundary-Based) และแบบที่สองเรียกว่าแบบบริเวณ (Region-Based) ทั้งสองวิธีการนี้จะใช้หลักการเข้ารหัสภาพ (Image Coding Scheme) เพื่อที่จะแทนคอนเทนท์ของภาพ เพื่อที่จะเห็นหลักการของทั้งสองแบบอย่างชัดเจน จะอธิบายแนวคิดพื้นฐานของทั้งสองวิธีในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการเข้ารหัสของวัตถุในภาพ (ก) แบบขอบเขต (Boundary-Based) และ (ข) แบบบริเวณ (Region-Based)

2.3 วิธีการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล

ในปัจจุบัน มีระบบการค้นคืนภาพจำนวนมากที่ใช้ดัชนีในการเข้าถึงรูปภาพในฐานข้อมูล ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.3.1 การค้นคืนด้วยข้อความ

ในระบบการค้นคืนภาพแบบนี้เป็นวิธีพื้นฐานที่สุดในการค้นคืนภาพ โดยผู้ใช้สามารถค้นคืนรูปภาพด้วยคำค้น (Keywords) หรือวลี (Phrase) ดังที่ได้กล่าวไปตอนต้นแล้วว่า ก่อนทำการค้นคืนจะต้องมีการกำหนดดัชนีให้แก่ภาพ ซึ่งมนุษย์จะเป็นคนกำหนดคำที่สื่อถึงภาพหรือกลุ่มภาพ เช่น ภาพเกี่ยวกับอะไร สถานที่ หรือผู้ถ่ายภาพ ผู้ใช้สามารถค้นหารูปภาพโดยการพิมพ์คำค้นคำเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือมากกว่าหนึ่งคำโดยเชื่อมด้วยบูลีน (Boolean) และ (AND) หรือ (OR) ไม่ (NOT) หรือพิมพ์คำค้นเป็นวลีเช่น "ภาพถ่ายทางอากาศ" เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ระบบที่มนุษย์ต้องเป็นผู้กำหนดดัชนีคำให้แก่รูปภาพ เป็นงานที่หนักมาก และไม่สะดวกหากจะเพิ่มเติมรูปภาพลงในฐานข้อมูลในอนาคต อีกทั้งผู้ใช้ต้องรู้ก่อนว่าจะสามารถใช้คำใดค้นหาได้บ้าง นับว่าเป็นข้อจำกัดของระบบแบบนี้

2.3.2 การเลือกค้นหา (Browsing)

วิธีการนี้จะให้ผู้ใช้ค้นหารูปภาพที่ต้องการด้วยวิธีการเลือกจากภาพที่ปรากฏ โปรแกรมจะแสดงภาพให้ผู้ใช้ดูภาพต่อภาพ ผู้ใช้จะเป็นคนตัดสินใจว่าต้องการภาพนั้นๆ หรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าระบบเช่นนี้ไม่มีประสิทธิภาพนัก โดยทั่วไป โปรแกรมที่ช่วยในการเลือกภาพจะแสดงออกเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ

1. วิธีค้นหาจากภาพเล็ก (Thumbnail Browsing) นับว่าเป็นวิธีหลักในการเลือกค้นหา (Browsing) วิธีการคือจะเข้าถึงทีละไดเร็คทอรีและจะแสดงภาพทั้งหมดในไดเร็คทอรีนั้นเป็นภาพขนาดเล็ก ผู้ใช้จะเลือกดูว่าภาพใดที่ต้องการเมื่อพบหรือต้องการดูภาพขยายก็จะกดเลือกที่ภาพนั้น ภาพขนาดเท่าจริงก็จะปรากฏขึ้นมาทางจอภาพ
2. วิธีแสดงแบบสไลด์ (Slide Show) วิธีนี้โปรแกรมจะแสดงภาพให้ผู้ใช้ดูทีละภาพ โดยภาพจะมีขนาดเท่าจริง ย่อ หรือขยายเต็มจอภาพแล้วแต่ที่ผู้ใช้กำหนด ผู้ใช้สามารถกำหนดช่วงเวลาระหว่างการนำเสนอภาพแต่ละภาพได้

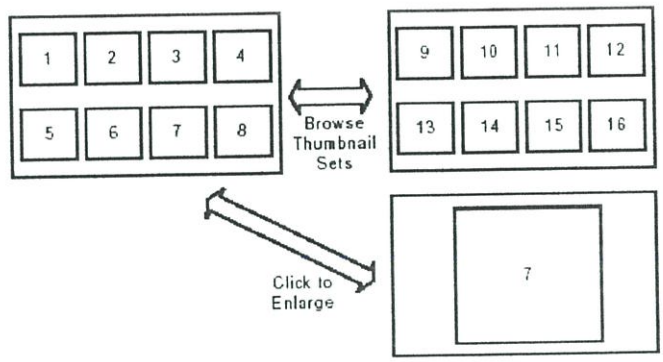
2.3.3 การเลือกค้นหาจากภาพที่จัดลำดับแล้ว (Browsing Thumbnails by Ranking)

ระบบในปัจจุบันจะมีการแสดงผลการค้นคืนรูปภาพให้แก่ผู้ใช้เป็นกลุ่มภาพขนาดเล็ก (Sets of Thumbnails) ซึ่งจะมีทั้งภาพที่ตรงและไม่ตรงกับคำค้นของผู้ใช้ โดยทั่วไปแล้วรูปภาพจะถูกค้นคืนมาโดยระบบและจะจัดลำดับของภาพว่าสัมพันธ์กับคำค้นมากน้อยเพียงใด ดังนั้น ผู้ใช้จึงสามารถค้นหาภาพที่ตนต้องการได้จากการพิจารณารูปขนาดเล็กเหล่านี้

รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของภาพขนาดเล็กที่ให้ผู้ใช้เลือก การแสดงกลุ่มของภาพจะกำหนดไว้ที่จำนวนภาพเท่าๆ กันต่อหนึ่งชุด และผู้ใช้สามารถกดเลือกเพื่อดูภาพขนาดเท่าจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.7 แสดงการค้นหาภาพที่จัดลำดับแล้วเป็นกลุ่มภาพขนาดเล็ก (thumbnail sets)

2.3.4 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คอนเทนท์

2.3.4.1 การค้นหาโดยใช้ภาพตัวอย่าง (Query by Sample)

เป็นวิธีการที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในระบบการค้นคืนรูปภาพ วิธีการนี้อนุญาตให้ผู้ใช้เลือกภาพตัวอย่างจากที่ระบบได้เตรียมไว้ให้ เมื่อผู้ใช้เลือกภาพตัวอย่างแล้ว ระบบก็จะแยกคุณลักษณะต่างๆ จากภาพตัวอย่างออกมา ซึ่งได้แก่ สี พื้นผิว หรือรูปร่าง แล้วดำเนินการวัดความเหมือนระหว่างภาพตัวอย่างและภาพทั้งหมดที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล ภาพที่ค้นคืนได้ทั้งหมดจะแสดงให้แก่ผู้ใช้ โดยเรียงตามลำดับความเหมือนหรือคล้ายคลึงกับภาพตัวอย่างนั้น ตัวอย่างการใช้งานระบบนี้ได้แก่ ระบบคิวบิค (QBIC) [22] ซึ่งได้พัฒนาขึ้นโดยไอบีเอ็ม

2.3.4.2 การค้นหาโดยการกำหนดความต้องการ

คำค้นอาจถูกสร้างขึ้นจากการกำหนดคุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพที่ผู้ใช้ต้องการ เช่น ระบบคิวบิค (QBIC) อนุญาตให้ทำการค้นคืนรูปภาพโดยกำหนดฮิสโตแกรม เช่น "หารูปภาพที่มีสีฟ้า 17% และสีขาว 11%" [23] นอกจากการใช้คำค้นแล้ว ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดการค้นคืนในรูปแบบอื่นได้อีก เช่น การระบายสีบนเพลนที่กำหนด เพื่อกำหนดสีและปริมาณสี จากนั้นระบบจะใช้ภาพระบายนี้แทนคำค้น เพื่อทำการค้นหาภาพที่ผู้ใช้ต้องการต่อไป

2.4 ระบบการค้นคืนภาพในปัจจุบัน

ในปัจจุบัน มีระบบการค้นคืนรูปภาพหลายระบบที่ใช้การค้นคืนแบบคอนเทนท์ ระบบเหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาและในเชิงพาณิชย์ ในส่วนนี้จะกล่าวถึงระบบการค้นคืนบางระบบที่น่าสนใจ สามารถจัดการฐานข้อมูลภาพขนาดใหญ่และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51648

2.4.1 ระบบการค้นคืนรูปภาพที่พัฒนาเพื่อการศึกษา

2.4.1.1 เนทรา (NETRA)

ระบบเนทรา (NETRA) เป็นระบบที่พัฒนาภายใต้โครงการห้องสมุดดิจิตัลอเล็กซานเดรีย (Alexandria Digital Library Project : ADL) [24] ของมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เซตซานตา บาบารา ประเทศสหรัฐอเมริกา คุณสมบัติหลักของระบบนี้เป็นการแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) เพื่อค้นหาแบบวัตถุ หรือแบบบริเวณ ระบบนี้เป็นระบบออนไลน์ที่ผู้ใช้สามารถเลือกคำที่จะใช้ค้นหา ได้จากรายการของพื้นผิวที่ระบบได้เตรียมไว้ให้ เช่น "ท้องฟ้า" , "ดอกไม้", "ภูเขา"

2.4.1.2 วิชวลสีค (VisualSEEk)

ระบบวิชวลสีค (VisualSEEk) ได้พัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ประเทศสหรัฐอเมริกา [25] คุณลักษณะหลักของระบบนี้ เรียกว่า การค้นคืนแบบบริเวณสี (Color Region Queries) [25] และมีการจัดเตรียมเครื่องมือช่วยในการค้นเรียกว่ากริด (Grid) และผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่ง ขนาด และสีของบริเวณภาพที่ต้องการค้นคืนได้ ซึ่งการค้นคืนแบบนี้จะเป็นการรวมกันระหว่างการค้นคืนแบบคอนเทนท์และข้อมูลภาพเชิงตำแหน่ง นอกจากนี้ระบบยังเตรียมส่วนการค้นคืนภาพโดยใช้ภาพตัวอย่างให้แก่ผู้ใช้อีกด้วย

2.4.2 ระบบการค้นคืนรูปภาพที่พัฒนาในเชิงพาณิชย์

2.4.2.1 ระบบคิวบิค (QBIC)

ระบบคิวบิค (Query By Image Content : QBIC) [22] [23] ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทไอบีเอ็ม ระบบนี้สนับสนุนการค้นคืนภาพแบบใช้ภาพตัวอย่าง ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะต้องการค้นหาแบบสีหรือพื้นผิว นอกจากนี้ยังเตรียมทางเลือกให้ผู้ใช้สามารถร่างภาพ (Sketch) ที่ต้องการเข้าสู่ระบบแทนการใช้ภาพตัวอย่างได้

ในปัจจุบัน ระบบคิวบิคได้พัฒนาเทคนิคการคัดแยกและวัดความเหมือนระหว่างภาพสองภาพอีกหลายประการ ได้แก่ ฮิสโตแกรมสี เลย์เอาท์ พื้นผิวและไฮบริดสีแบบพิเศษ (Special Hybrid Color) และยังเตรียมการทำงานแบบให้ผู้ใช้สามารถระบายสีภาพเป็นภาพตัวอย่างให้แก่ระบบแทนการใช้ภาพตัวอย่างแบบปกติ การระบายสีนี้จะถูกวิเคราะห์ว่าผู้ใช้ต้องการค้นหาภาพเป้าหมายที่มีสีและฮิสโตแกรมเป็นเท่าไร โดยจะคำนวณฮิสโตแกรมเป็นร้อยละโดยประมาณ วิธีการนี้จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถวาดภาพเลย์เอาท์ของภาพที่ต้องการค้นหาได้ ระบบคิวบิคได้ถูกประยุกต์ในสินค้าของไอบีเอ็ม เช่น อิมเมจ เอ็กเทนเดอร์ (Image Extender) ในดีบีทู (DB2) ซึ่งระบบคิวบิคยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกพัฒนาต่อให้สามารถจัดการกับคุณลักษณะภาพที่มีมิติจำนวนมาก (High-Dimensional Feature vector) ภาพระดับสีเทา (Gray-Scale) และสตอรีบอร์ด (Storyboard) ที่ใช้ในการค้นคืนภาพวิดีโอ

2.4.2.2 ระบบวิเรจ (Visual Information Retrieval Image Engine)

ระบบวิเรจ (Visual Information Retrieval Image Engine) ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทไวเรจ [26] ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ภาพตัวอย่างในการคืนคืน มีการคัดแยกคุณลักษณะของภาพ เพื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างภาพตัวอย่างและภาพในฐานข้อมูล มีการคัดแยกสีแบบโดยรวม (Global) และแบบเฉพาะที่ (Local) รวมทั้งใช้คุณลักษณะพื้นผิว และรูปร่าง ระบบนี้ได้ถูกประยุกต์ใช้ในงานเฉพาะด้าน เช่น งานภาพถ่ายจากดาวเทียม ระบบวิเรจได้เปิดโอกาสให้นักพัฒนาระบบเข้ามามีส่วนร่วมปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบในระบบด้วย เทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้ได้นำไปประยุกต์ในสินค้าของทางบริษัท ได้แก่ ระบบการจัดการฐานข้อมูล เช่น ออราเคิล (Oracle) และ อินฟอร์มิกซ์ (Informix) นอกจากนี้ระบบยังถูกพัฒนาขยายความสามารถให้รองรับการจัดการภาพวิดีโออีกด้วย

2.5 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนข้อมูล

นอกเหนือจากงานวิจัยด้านระบบการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลแล้ว ยังพบว่า ระบบการค้นคืนข้อมูลที่เป็นเอกสารหรือสารสนเทศ ได้มีการพัฒนาและนำเอาจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคำค้น ทั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้คำค้นของผู้ใช้มีการขยายคำสำคัญ ครอบคลุมไปยังเอกสารอื่นที่มีความเกี่ยวข้องกัน และเพื่อให้การค้นคืนเอกสารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.5.1 การใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมในการปรับปรุงคำค้น

งานวิจัยเรื่อง "การปรับปรุงคำค้นเพื่อค้นคืนสารสนเทศโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม" (Query Improvement in Information Retrieval using Genetic Algorithm) ผู้ทำการวิจัยคือ Yang และคณะ [32] ได้ออกแบบระบบให้มีการประยุกต์ใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมในการค้นคืนสารสนเทศ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงคำค้น ให้สามารถค้นคืนสารสนเทศได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากยิ่งขึ้น ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือการปรับปรุงเฉพาะน้ำหนัก (Term weight) ของคำค้น ไม่มีการเพิ่มเติมคำใหม่ ๆ เข้ามาในระหว่างกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ฉะนั้นการค้นหาจะจำกัดอยู่เฉพาะคำที่อยู่ในคำค้นเดิมเท่านั้น

2.5.2 การใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมในการค้นคืนสารสนเทศออนไลน์

งานวิจัยเรื่อง "การค้นคืนสารสนเทศออนไลน์โดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม" (Applied Genetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Algorithm in Information Retrieval) ซึ่งจัดทำโดย บังอรและคณะ [33] เป็นการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมมาใช้เพื่อปรับปรุงคำค้นของผู้ใช้ให้มีความเหมาะสม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้ใช้ไม่มีความรู้ด้านการค้นคืนข้อมูลเพียงพอ หรือการใช้คำค้นที่ไม่ครอบคลุมคำสำคัญของเอกสารที่ผู้ใช้ต้องการค้นหา

กระบวนการของระบบการค้นคืนสารสนเทศออนไลน์โดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม สามารถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ผู้ใช้ป้อนคำค้น (Query) ให้แก่ระบบ
2. ทำการเปรียบเทียบคำค้นของผู้ใช้กับรายการคำสำคัญ (List of keywords)
3. เข้ารหัส (Encode) เอกสารที่ค้นคืนขึ้นมาได้ในครั้งแรก ตามคำค้นของผู้ใช้ ในขั้นนี้เป็นการสร้างประชากรกลุ่มเริ่มต้น (Initial Population)
4. กลุ่มประชากรนี้จะเข้าสู่กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ได้แก่ การคัดเลือก การครอสโอเวอร์ และมิวเตชัน
5. ทำซ้ำในข้อ 4 จนกว่าจะถึงรุ่นสูงสุด (Max Generation) ที่กำหนด จะได้คำค้นที่ดีที่สุด (Optimum Query) สำหรับการค้นคืนเอกสาร
6. ถอดรหัส (Decode) คำค้นที่ดีที่สุดนั้น เพื่อให้กลับมาเป็นคำค้นใหม่ของระบบ ซึ่งคำค้นครั้งนี้จะแตกต่างจากครั้งแรก กล่าวคือ คำค้นในขั้นแรกได้ผ่านการขยายกลุ่มคำที่จะใช้ค้นคืนเอกสารให้มีคำสำคัญ (Keywords) หลากหลายขึ้น มีความหมายเกี่ยวข้องกับเอกสารอื่นๆ มากขึ้น จากนั้นจะทำการค้นคืนเอกสารจากฐานข้อมูลเพื่อนำเสนอให้แก่ผู้ใช้ต่อไป

ซึ่งจากวิธีการปรับปรุงคำค้นนี้จะทำให้การค้นคืนเอกสารเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามความต้องการของผู้ใช้ยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการขยายคำค้นจากคำค้นเดิม ให้ครอบคลุมไปยังคำอื่นๆ ที่มีความหมายเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน แม้จะไม่ปรากฏรูปคำนั้นโดยตรงในเอกสารก็ตาม ตัวอย่างการค้นคืนเอกสาร ได้แก่ ผู้ใช้ป้อนคำค้น “Microprocessor” เข้าสู่ระบบ ระบบจะทำการปรับปรุงคำค้นและในที่สุดจะได้เอกสารอื่นที่สัมพันธ์กับคำค้นแม้จะไม่มีคำว่า “Microprocesssor” ปรากฏอยู่เลย ซึ่งได้แก่เอกสารมีคำสำคัญเกี่ยวกับ “Intel 8051” , “Pentium” และ “Zilog Z-80” เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ความรู้พื้นฐานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐานในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้แก่ องค์ประกอบและคุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพ คุณลักษณะเด่นของภาพและการคัดแยกคุณลักษณะเหล่านั้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการใช้คุณลักษณะสี และพื้นผิว ทฤษฎีฟัซซี่ การตั้งชื่อสี การทำฮิสโตแกรม วิธีการคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวโดยตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filtering) ทฤษฎีฟัซซี่ การหาระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance) และระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance) การแบ่งกลุ่มภาพ (Clustering) โดยใช้วิธีการของเค-มีน (K-mean Clustering) และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

3.1 องค์ประกอบและคุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพ

3.1.1 องค์ประกอบของรูปภาพ

รูปภาพที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เป็นรูปภาพดิจิตัล (Digital Image) $I(x,y)$ ซึ่งเป็นภาพ 2 มิติที่มี x และ y เป็นพิกัดของภาพ เรียกพิกัด (x,y) นี้ว่าค่าความเข้มแสงของภาพ (Intensity) หรือพิกเซล ซึ่งแต่ละภาพจะประกอบไปด้วยพิกเซลจำนวนมากน้อยต่างกันตามขนาด และความละเอียดของภาพ กำหนดให้ $I(x,y)$ เป็นภาพดิจิตัลใดๆ แล้ว สามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปแมทริกซ์ (Matrix) ได้ดังนี้

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

ในสมการที่ (3.1) ค่าแต่ละค่าที่อยู่ในแมทริกซ์จะเรียกว่าอิลิเมนท์ของภาพ (Picture Element) หรือพิกเซล (Pixel) นั่นเอง

3.1.2 คุณลักษณะต่างๆ ของรูปภาพ

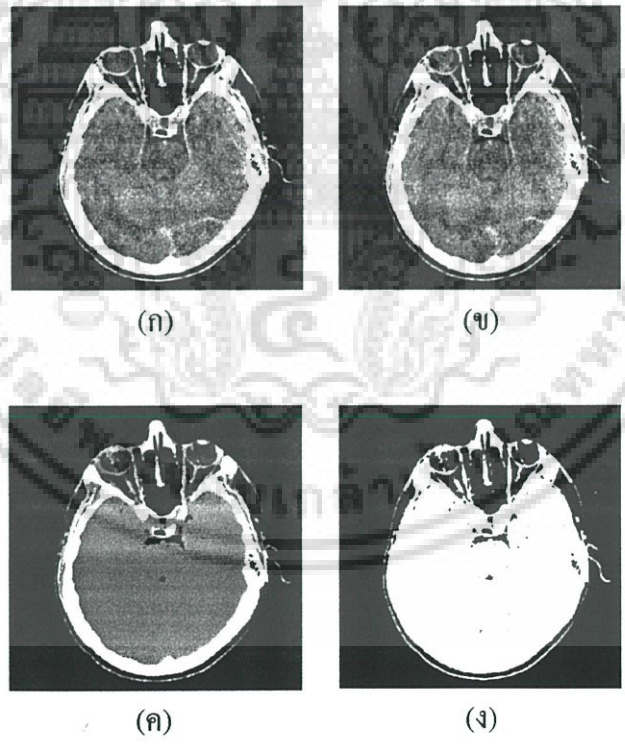
ในการสร้างระบบเพื่อทำการค้นคืนรูปภาพ จะต้องมีการวิเคราะห์รูปภาพในฟีเจอร์โดเมน (Feature Domain) เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนของภาพ ซึ่งจะทำได้โดยการแทนภาพด้วยค่าตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขต่างๆ แล้วทำการคำนวณความเหมือนออกมา ซึ่งค่าตัวเลขเหล่านี้ก็คือคุณลักษณะ (Features) ที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพ ได้แก่ คุณลักษณะสี คุณลักษณะพื้นผิว และคุณลักษณะรูปร่างของวัตถุในภาพ เป็นต้น คุณลักษณะเหล่านี้จะถูกคัดแยก (Extract) ออกมาด้วยวิธีการต่างๆ จากนั้นจะทำการวัดค่าความเหมือนของรูปภาพด้วยวิธีการที่เหมาะสม สำหรับคุณลักษณะต่างๆ ของภาพและวิธีการคัดแยกนี้จะได้กล่าวถึงในภายหลัง

3.2 ภาพระดับสีเทาและภาพสี (Gray Level Image and Color Image)

ภาพระดับสีเทา (Gray Level Image) หมายถึง ภาพที่มีค่าความสว่างของแต่ละพิกเซลอยู่ในช่วงสีดำ สีเทา เรื่อยไปจนถึงสีขาวซึ่งเป็นค่าความสว่างที่มากที่สุด สำหรับค่าของระดับสีเทานั้นปกติแล้วจะเป็นกำลังของ 2 ซึ่งโดยทั่วไปที่ใช้จะเป็น 8 บิท (256 ระดับ) หรืออาจใช้จำนวนบิทมากหรือน้อยกว่านี้ขึ้นอยู่กับว่าต้องการให้ภาพมีความละเอียดมากน้อยเพียงใด รูปที่ 3.1 แสดงภาพระดับสีเทาที่เก็บด้วยจำนวนบิทต่างๆ กัน



รูปที่ 3.1 แสดงภาพระดับสีเทา (Gray Level Image) ที่เก็บด้วยค่าบิทที่แตกต่างกัน
(ก) 256 ระดับ (ข) 16 ระดับ (ค) 4 ระดับ และ (ง) 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับภาพสีจะมีความแตกต่างกับภาพระดับสีเทาที่ได้กล่าวมาข้างต้น เพราะนอกจากค่าความเข้มแสงแล้ว ภาพสียังประกอบไปด้วยสัญญาณสีต่างๆ ที่จะต้องนำมาแยกก่อนการวิเคราะห์องค์ประกอบของภาพต่อไป แม้ว่าคุณลักษณะสีเป็นสิ่งที่สายตามนุษย์มองเห็นและรับรู้ได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ว่า จากระดับสีที่มีอยู่มากมายนับล้านๆ สี มนุษย์สามารถมองเห็นและแยกแยะระดับสีได้เพียงไม่กี่สีเท่านั้น รูปที่ 3.2 จะแสดงให้เห็นระดับสีที่เก็บด้วยจำนวนบิทที่แตกต่างกัน

(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 แสดงภาพสี (ก) 256 สี (ข) 16.7 ล้านสี

3.3 แบบจำลองสี (Color Model)

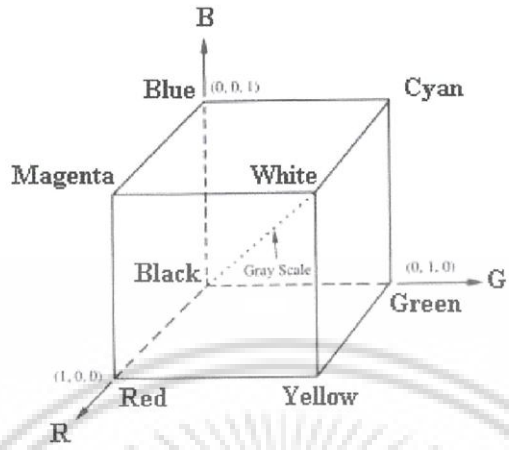
แบบจำลองสีได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อสามารถกำหนดสีให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน ในปัจจุบันแบบจำลองสีที่นิยมใช้ได้แก่ แบบจำลองสี RGB ซึ่งเป็นรูปแบบสำหรับใช้ในงานแสดงผลทางมอนิเตอร์ กล้องถ่ายภาพ เป็นต้น แบบจำลองสี CMY และ CMYK เป็นรูปแบบที่ใช้ในงานพิมพ์ และแบบจำลองสี HSI เป็นแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับการรับรู้และแปลความหมายสีของมนุษย์มากที่สุด นอกจากนี้ แบบจำลองสีแบบ HSI ยังมีข้อดีที่สามารถแยกองค์ประกอบของสีและค่าความสว่างออกจากกันได้ สำหรับงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองสี RGB และ HSI เท่านั้น

3.3.1 แบบจำลองสี RGB

แบบจำลองสีแบบ RGB จะอธิบายถึงการประกอบกันขององค์ประกอบหลัก 3 สี เกิดเป็นสีต่างๆ องค์ประกอบหลักหรือที่เรียกว่าแม่สีทั้ง 3 สีนั้นได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน แบบจำลองนี้จะใช้ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินจะอยู่ที่มุมลูกบาศก์ทั้ง 3 มุม บนเส้นแกน R,G และ B ตามลำดับ ส่วนสีเขียวน้ำเงิน (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) และสีเหลืองจะอยู่ที่มุมอีก 3 มุมที่เหลือ สำหรับจุดกำเนิดจะเป็นสีดำ และมุมที่อยู่ไกลสุดจากจุดกำเนิดจะเป็นสีขาว เส้นทางลากระหว่างจุดกำเนิดและมุมที่ไกลที่สุดนั้นอาจเรียกได้ว่าเป็นเส้นสเกลสีเทา (Gray Scale) เป็นเส้นที่บอกระดับความเข้มแสงจากน้อยที่สุด (สี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดำ) เรื่อยมาเป็นสีเทา และความเข้มแสงมากที่สุด (สีขาว) สำหรับสีอื่นๆ ได้จากการนำเอาสีเหล่านี้มาผสมกันในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองสี RGB บนพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System)

สำหรับรูปภาพที่แทนด้วยแบบจำลองสี RGB อาจกล่าวแต่ละระดับสีจะแทนด้วยเลข 24 บิท ซึ่งแสดงค่าสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน สีละ 8 บิท ดังนั้นภาพสีที่มีสีครบสมบูรณ์นั้นสามารถมีระดับสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด $(2^8)^3$ = 16,777,216 สี หรือประมาณ 16.7 ล้านสี ซึ่งการประกอบกันของสีในรูปแบบของลูกบาศก์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

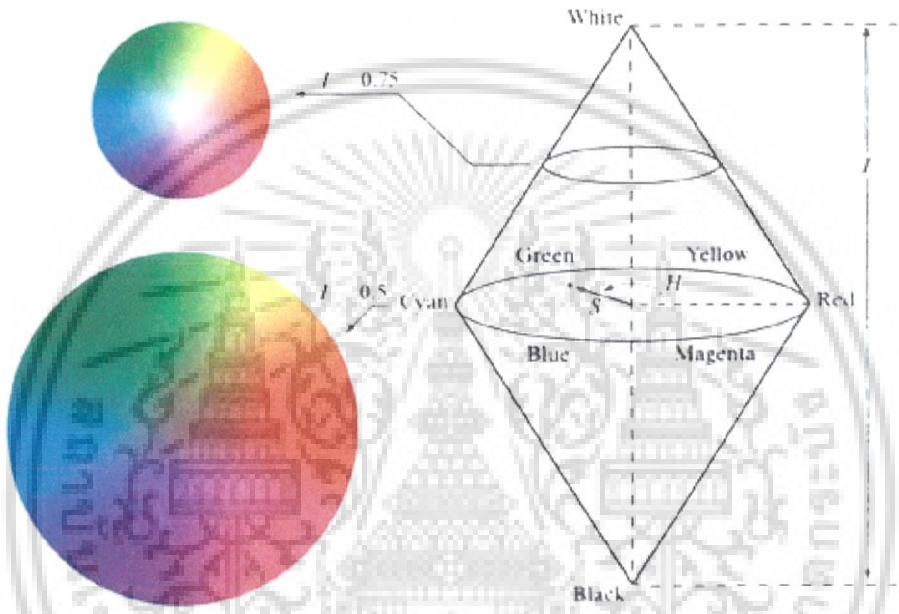
รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองสี RGB 24 บิท

3.3.2 แบบจำลองสี HSI

จะเห็นได้ว่าแบบจำลองสี RGB นั้นจะพิจารณาเพียงการรวมตัวของสี 3 องค์ประกอบหลักเท่านั้น ซึ่งจะพบปัญหาในการวิเคราะห์สีว่าการกำหนดความหมายของสีทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากค่าความเข้มแสงถูกรวมไปกับทั้ง 3 องค์ประกอบสี ต่อมาแบบจำลองสี HSI จึงถูกเสนอขึ้นเพื่อแก้ปัญหานี้ [15] รูปที่ 3.5 แสดงแบบจำลองสีแบบ HSI นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองสี HSI ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ H (Hue) จะเป็นค่าของสีบนระนาบวงกลม และสีจะเปลี่ยนแปลงตามมุมที่กวาดไป ซึ่งอยู่ในช่วง [0, 360] สำหรับ S (Saturation) เป็นค่าตามเส้นรัศมีของระนาบวงกลม บอกถึงค่าความบริสุทธิ์ (Pure) ของสี หากเส้นรัศมีสั้น หมายความว่าสีนั้นมีการเจือปนด้วยสีเทาค่อนข้างมาก ถ้ารัศมียาวไปจนถึงขอบวงกลมก็จะหมายถึงสีนั้นมีความบริสุทธิ์มากขึ้นตามลำดับ สำหรับค่า B หรือ I (Brightness/Intensity) จะเป็นค่าที่บอกความสว่างของสี โดยถ้าค่าน้อยจะเข้าใกล้สีดำ ถ้าค่านี้มาก สีที่ได้ก็จะเป็นสีขาวเพราะมีค่าความสว่างมาก



รูปที่ 3.5 แสดงแบบจำลองสี HSI

3.3.3 การแปลงสีจากแบบจำลอง RGB เป็น HSI

การแปลงระดับสีในแบบจำลอง RGB ให้สามารถแสดงในแบบจำลอง HSI ได้นั้น สามารถทำได้โดยใช้สมการดังนี้

ค่า H สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2)

$$H = \begin{cases} \theta & if \quad B \le G \\ 360 - \theta & if \quad B > G \end{cases} \tag{3.2}$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สำหรับค่า S สามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

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

และสำหรับค่า I สามารถหาได้จากสมการที่ (3.5)

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

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

$$\text{Normalize_R} = \frac{R}{R+G+B} \tag{3.6}$$

$$\text{Normalize_G} = \frac{G}{R+G+B} \tag{3.7}$$

$$\text{Normalize_B} = \frac{B}{R+G+B} \tag{3.8}$$

ค่า θ เป็นมุมที่วัดเริ่มจากค่าสีแดงดังแสดงในรูปที่ 3.5 และค่า H ในสมการที่ (3.2) สามารถทำให้อยู่ในช่วง [0, 1] ได้ โดยหารด้วย 360°

3.3.4 การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับสีเทา

สมการที่นิยมใช้ในการแปลงภาพสี (ในแบบจำลอง RGB) ให้เป็นภาพระดับสีเทา คือ

$$Y = 0.3xR + 0.59xG + 0.11xB \tag{3.9}$$

เมื่อ R, G และ B คือค่าขององค์ประกอบสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับ

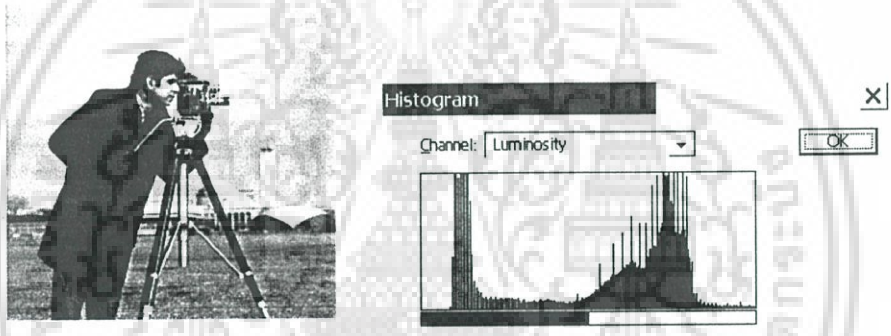
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคัดแยกคุณลักษณะสี

3.4.1 ฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรมเป็นวิธีการแทนคุณลักษณะสีหรือค่าความเข้มแสงของภาพที่นิยมใช้ เนื่องจากง่ายและสามารถเห็นการกระจายของความเข้มแสงต่างๆ ในภาพได้ การทำฮิสโตแกรมสามารถทำได้โดยนับจำนวนพิกเซลทั้งหมดที่อยู่ในระดับความเข้มแสงนั้นๆ สามารถทำได้ทั้งภาพระดับสีเทาและภาพสี ซึ่งมีขั้นตอนการทำดังนี้

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



รูปที่ 3.6 แสดงฮิสโตแกรมของภาพระดับสีเทา

สำหรับภาพสีในแบบจำลองสี RGB จะต้องแยกทำฮิสโตแกรมของแต่ละช่องสัญญาณสี ดังนั้น ภาพสี 1 ภาพจะมีฮิสโตแกรมทั้งหมด 3 ฮิสโตแกรม หรือจะทำฮิสโตแกรมรวมระหว่างทั้งสามช่องสัญญาณสีก็ได้

3.4.2 การตั้งชื่อสี (Color Naming)

ในการมองเห็นสีของมนุษย์นั้น จากการวิจัย [30] พบว่าการรับรู้สีของมนุษย์จะสามารถแยกแยะสีได้เพียงไม่กี่สีเท่านั้น Lai และคณะ [31] ได้กำหนดสีออกเป็น 10 กลุ่มสี โดยใช้แบบจำลองสี HSI ซึ่งสีทั้ง 10 กลุ่มสีเป็นไปตามตารางที่ 3.1

ในกลุ่ม 0 กลุ่มสีที่ระบุไม่ได้นั้น จะแทนสีที่มีความสว่างมากๆ หรือมืดมากๆ จนไม่สามารถคัดแยกได้ว่าเป็นสีอะไร ซึ่งถ้าสายตามนุษย์มอง อาจมองว่าสีที่มีความสว่างมากๆ ให้เป็นสีขาว ส่วนสีที่มีความสว่างน้อยๆ ให้เป็นสีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแนวคิดการกำหนดชื่อให้สีแต่ละสีนี้ จะได้มีการนำทฤษฎีฟัซซี่ เข้ามาช่วยในการแบ่งกลุ่มสีดังจะกล่าวถึงต่อไป

ตารางที่ 3.1 การกำหนดกลุ่มสีตามการมองเห็นของมนุษย์ ตามแนวคิดของ Lai

รหัสสี	ชื่อสี
0	สีที่ระบุไม่ได้ (Uncertain Color)
1	สีขาว
2	สีเทา
3	สีดำ
4	สีแดง, สีชมพู
5	สีน้ำตาล, สีน้ำตาลเหลือง
6	สีเหลือง, สีเหลืองส้ม, สีส้ม
7	สีเขียว, สีเขียวมะนาว
8	สีน้ำเงิน, สีฟ้า
9	สีม่วง, สีแดงม่วง

3.5 การคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว

3.5.1 ตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filtering)

ตัวกรองเกเบอร์ [39] ถูกเสนอขึ้นในปีค.ศ. 1946 โดยชาวเยอรมันชื่อ Gabor เป็นเทคนิคการแปลงเวฟเลท (Wavelet Transform) รูปแบบหนึ่ง ซึ่งจะใช้วิเคราะห์สัญญาณเพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งความถี่และข้อมูลทางเวลา ทำให้สามารถทราบได้ว่าความถี่นั้นเปลี่ยนแปลงอย่างไรและเมื่อใด ตัวกรองเกเบอร์นี้จะใช้เพื่อวิเคราะห์ว่า ณ สเกลและมุมใดๆ ขอบและเส้นที่ปรากฏอยู่ในภาพจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ด้วยคุณสมบัตินี้เองที่ทำให้ตัวกรองเกเบอร์มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์คุณลักษณะพื้นผิวแต่ละพื้นผิว

กำหนดให้ภาพ $I(x,y)$ มีขนาด PxQ สมการการแปลงเกเบอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Gabor Wavelet Transform) จะเขียนในรูปคอนโวลูชันได้ดังสมการที่ (3.10)

$$G_{mn}(x,y) = \sum_{s}\sum_{t} I(x-s, y-t)\psi^{*}_{mn}(s,t) \tag{3.10}$$

เมื่อ s และ t เป็นขนาดของตัวกรอง และ ψ^{*}_{mn} เป็นค่าคอนจูเกท (Conjugate) ของ ψ_{mn}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นคลาสหนึ่งของเวฟเลทแม่ (Mother Wavelet) :

$$\psi(x,y)=\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y}\exp[-\frac{1}{2}(\frac{x^2}{\sigma_x^2}+\frac{y^2}{\sigma_y^2})]\cdot\exp(j2\pi Wx) \tag{3.11}$$

เมื่อ W คือค่ามอดูเลชันฟรีเควนซี่ (Modulation Frequency)

สำหรับค่าอื่นๆ จะหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\psi_{mn}(x,y)=a^{-m}\psi(\tilde{x},\tilde{y}) \tag{3.12}$$

เมื่อ m และ n คือสเกล (Scale) และมุม (Orientation) ตามลำดับ โดย m=0,1,…,M-1, n=0,1,…,N-1

$$\tilde{x}=a^{-m}(x\cos\theta+y\sin\theta) \tag{3.13}$$

$$\tilde{y}=a^{-m}(-x\sin\theta+y\cos\theta) \tag{3.14}$$

$$a=(\frac{U_h}{U_l})^{\frac{1}{M-1}} \tag{3.15}$$

$$W_{m,n}=a^mU_l \tag{3.16}$$

$$\sigma_{x,m,n}=\frac{(a+1)\sqrt{2\ln 2}}{2\pi a^m(a-1)U_l} \tag{3.17}$$

$$\sigma_{y,m,n}=\frac{1}{2\pi\tan(\frac{\pi}{2N})\sqrt{\frac{U_h^2}{2\ln 2}-(\frac{1}{2\pi\sigma_{x,m,n}})^2}} \tag{3.18}$$

เมื่อ a>1 และ θ=$n\pi/N$

สำหรับค่าของ U_l , U_h, s และ t ที่เหมาะสมในการคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว [27] จะใช้ค่าดังนี้

U_l=0.05, U_h=0.4, s และ t อยู่ในช่วง 0 ถึง 60

ขั้นต่อมาจะเป็นการหาค่าพลังงาน (Energy) ซึ่งเป็นผลรวมของค่า $G_{mn}(x,y)$ ที่สเกลและมุมต่างๆ ของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(m,n) = \sum_x \sum_y |G_{mn}(x,y)| \tag{3.19}$$

เมื่อ m=0,1,…,M-1, n=0,1,…,N-1

จากนั้นจะทำการคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) μ_{mn} และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) σ_{mn} ของผลรวมจากสมการ (3.19) ค่าเหล่านี้จะใช้แทนคุณลักษณะพื้นผิวของรูปภาพ

$$\mu_{mn} = \frac{E(m,n)}{P \times Q} \tag{3.20}$$

$$\sigma_{mn} = \frac{\sqrt{\sum\sum(|G_{mn}(x,y)| - \mu_{mn})^2}}{P \times Q} \tag{3.21}$$

สามารถสร้างเวกเตอร์ f ได้ดังสมการที่ (3.22) ซึ่งเป็นเวกเตอร์คุณลักษณะพื้นผิวของภาพ โดยเวกเตอร์จะประกอบด้วย μ_{mn} และ σ_{mn} ซึ่งค่าที่เหมาะสม จะใช้ค่าสเกล 5 ค่าและมุม 6 ค่า [27]

$$f = (\mu_{00}, \sigma_{00}, \mu_{01}, \sigma_{01}, \ldots, \mu_{45}, \sigma_{45}) \tag{3.22}$$

เวกเตอร์ที่ได้ในสมการที่ (3.22) จะเป็นค่าของคุณลักษณะพื้นผิวของภาพ ซึ่งจะใช้พิจารณาจัดกลุ่มภาพต่อไป

3.5.2 ตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลม (Circular Gabor Filtering)

ในการพิจารณาพื้นผิวของรูปภาพโดยตัวกรองเกเบอร์แบบแรกนั้น จะพบปัญหาว่า หากพื้นผิวมีการหมุนไปจากทิศทางเดิม ตัวกรองเกเบอร์จะให้ค่าคุณลักษณะที่แตกต่างไปแม้จะเป็นภาพเดียวกัน ในการแก้ปัญหาเพื่อจะจัดกลุ่มภาพพื้นผิวลักษณะเดียวกันแต่มีการหมุนไป (Rotation Invariant Texture Classification) ให้ได้นั้น จำเป็นต้องมีการประยุกต์เกเบอร์แบบเดิมให้สามารถวิเคราะห์พื้นผิวชนิดเดียวกันได้แม้ภาพจะถูกทำการหมุน ซึ่งจะเรียกว่าตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลม [52]

สำหรับตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลมในโดเมนสปาเชียล สามารถเขียนได้ดังสมการ(3.23)

$$h(x,y) = g(x,y) \cdot e^{-2\pi jF\sqrt{x^2+y^2}} \tag{3.23}$$

เมื่อ F เป็นรัศมีของตัวกรอง x และ y เป็นพิกัดของภาพ ส่วน $g(x,y)$ คือฟังก์ชันเกาเซียน (Gaussian Function) ดังแสดงในสมการที่ (3.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(x,y) = \left(\frac{1}{2\pi\sigma^2}\right) \cdot e^{-\left[\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right]} \tag{3.24}$$

เมื่อ σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งจะต้องปรับให้ได้ค่าที่ดีพอที่จะครอบคลุมช่วงความถี่ในโดเมนฟูเรียร์ (Fourier Domain)

ในการคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวด้วยตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลมนั้น จะใช้จำนวนตัวกรองทั้งหมด 4 ตัวกรอง ซึ่งได้ออกแบบให้ครอบคลุมความถี่ต่างๆ ในโดเมนฟูเรียร์ [52] จากนั้นค่าที่กรองได้จากทั้ง 4 ตัวกรอง จะถูกนำมาวัดว่าแต่ละตัวกรองตอบสนองกับพื้นผิวในภาพเป็นอย่างไร ซึ่งการวัดทำได้โดยสมการที่ (3.25)

$$f = \frac{1}{MN}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} |\, x(i,j)\,| \tag{3.25}$$

เมื่อ M และ N เป็นขนาดของภาพที่นำมาทำการกรอง สำหรับค่า f จะคำนวณได้จากภาพที่ผ่านการกรองจากตัวกรอง ณ ความถี่ต่างๆ ดังนั้นภาพหนึ่งๆ จะมีค่าคุณลักษณะพื้นผิวทั้งหมด 4 ค่า

3.6 ทฤษฎีฟัซซี่ (Fuzzy Theory)

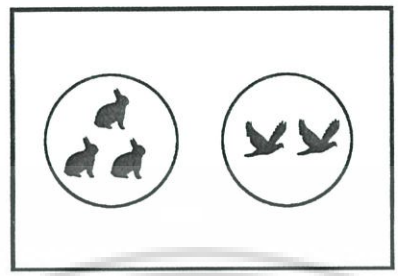
ในทางตรรกะ การใช้เพียงค่าความจริง จริง และ เท็จ อาจไม่เพียงพอต่อการอธิบายเหตุผลบางอย่าง หากตั้งคำถามว่า ตอนนี้ฝนกำลังตกหรือไม่ ความเป็นไปได้ของคำตอบอาจมีเพียง ใช่ หรือ ไม่ อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่หากถามว่า ตอนนี้ฝนกำลังตกหนักหรือไม่ คำตอบที่ได้อาจเป็นไปได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับความรู้สึกของผู้ตอบ เช่น ฝนตกปรอยๆ ฝนตกไม่หนัก ฝนตกหนัก หรือฝนตกหนักมาก ความพยายามที่จะอธิบายความหมายของคำเหล่านี้ เป็นที่มาของการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับทฤษฎีฟัซซี่

3.6.1 ฟัซซี่เซต (Fuzzy Sets)

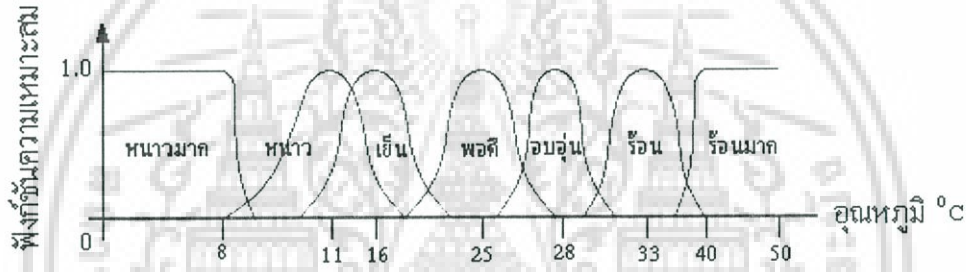
Zadeh ได้เสนอทฤษฎีฟัซซี่ [34] ขึ้นในปีค.ศ. 1965 เพื่อเป็นแนวทางในการให้ความหมายของคำที่ไม่อาจอธิบายได้ด้วยคำว่า จริงหรือเท็จ อย่างใดอย่างหนึ่ง นั่นคือฟัซซี่ลอจิกจะให้ค่าอยู่ในช่วงคำตอบที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 0 (เท็จ) ถึง 1 (จริง) เพื่อใช้ในการอธิบายคำจำกัดความต่างๆ ในรูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของฟัซซี่เซต ซึ่งเป็นเซตที่ไม่ได้แบ่งแยกกลุ่มสมาชิกกันอย่างเด็ดขาดเหมือนเซตปกติ รูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Zadeh ได้ขยายคำตอบจากเดิมที่เป็นค่าไบนารี {0, 1} จริงหรือเท็จเพียง 2 คำตอบ ให้เป็นคำตอบที่ต่อเนื่องกันอยู่ในช่วง [0, 1] ดังในรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่า ณ ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value) อยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะแสดงถึงความเป็นสมาชิกของเซตว่ามีมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.7 แสดงเซตของสัตว์ภายในสวนสัตว์



รูปที่ 3.8 แสดงฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) ของระดับอุณหภูมิ

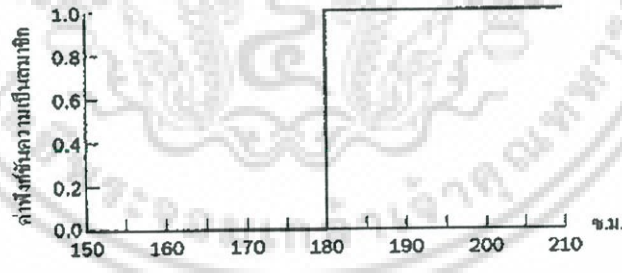
ตัวอย่างสำหรับอธิบายทฤษฎีฟัซซี่ตัวอย่างหนึ่งที่นิยมใช้คือ เซตของผู้ชายสูง สมาชิกในเซตนี้คือกลุ่มผู้ชายทั้งหมด แต่ผู้ชายแต่ละคนจะมีค่าความเป็นสมาชิกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความสูงของแต่ละคน ดังแสดงในตารางที่ 3.2 กำหนดให้สันต์ สูง 205 ซม.ให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 และศรัณย์สูง 152 ซม.ให้ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 สำหรับผู้ชายคนอื่นๆ ที่มีความสูงกลางๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกระดับกลางๆ จะสังเกตได้ว่าการนิยามคำว่า ผู้ชายสูง จากบุคคลที่แตกต่างกันย่อมให้มุมมองคำว่า สูง ที่แตกต่างกันไป กำหนดให้ผู้ชายในเซตของผู้ชายตัวสูง ทั้งหมดแสดงค่าความเป็นสมาชิกได้ดังตารางที่ 3.2

ซึ่งจะพิจารณาได้ว่า หากเป็นเซตปกติ การตั้งคำถามว่า ผู้ชายคนนี้สูงใช่ไหม สามารถลากเส้นตรง ณ ตำแหน่งของความสูง 180 ซม. และตอบว่า ใช่ สำหรับผู้ชายทุกคนที่สูงเกินความสูงนี้ และไม่ สำหรับทุกคนที่ต่ำกว่า 180 ซม. ตรงกันข้ามกับคำตอบที่ได้จากฟัซซี่เซต หากตั้งคำถามว่าผู้ชายคนนี้มีความสูงเป็นอย่างไร คำตอบที่ได้จะเป็นค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซต นั่นคือ สัญญามีความสูง 0.82 ฟัซซี่เซตสามารถที่จะให้ค่าของข้อมูลเป็นค่าที่ต่อเนื่อง ค่อยๆ เพิ่ม ค่อยๆ ลด ไม่มีขอบเขตที่แน่ชัด ดังแสดงในรูปที่ 3.9

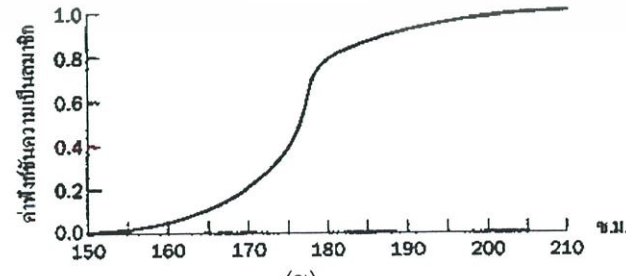
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าความเป็นสมาชิกของกลุ่มผู้ชายสูง

ชื่อ	ความสูง (ซม.)	ค่าความเป็นสมาชิก(Degree of Membership)	
		เซตปกติ	ฟัซซี่เซต
เจริญ	208	1	1.00
สันต์	205	1	1.00
นภ	198	1	0.98
สัญญา	181	1	0.82
แอนดริว	179	0	0.78
มาร์ค	172	0	0.24
บดินทร์	167	0	0.15
พิษณุ	158	0	0.06
คมศักดิ์	155	0	0.01
ศรัณย์	152	0	0.00



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.9 แสดงเซตของผู้ชายสูงใน (ก) เซตปกติ (ข) ฟัซซี่เซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถขยายเซตของผู้ชายสูงให้มีความหมายออกเป็นหลายๆ กลุ่มได้ เช่น ผู้ชายเตี้ยมาก ผู้ชายเตี้ย ผู้ชายสูงปกติ และ ผู้ชายสูงมาก เป็นต้น

3.6.2 ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic)

ฟัซซี่ลอจิกเป็นส่วนหนึ่งของทฤษฎีฟัซซี่ ซึ่งฟัซซี่ลอจิกเป็นการศึกษาเกี่ยวกับภาษาที่จะนำมากำหนดความหมายให้แก่ตัวแปรที่สนใจ และอาจใช้ในการตัดสินความถูกต้องของสิ่งที่เป็นเหตุเป็นผลกัน อาจใช้ จริง (True) หรือ เท็จ (False) หากลอจิกนั้นเป็นแบบ 2 ค่า (Two-Value Logic) สำหรับฟัซซี่ลอจิก การตัดสินอาจได้คำตอบ จริง หรือ เท็จ หรือคำตอบที่อยู่กลางๆ ระหว่างทั้งสองคำตอบนี้ เช่น อาจจะจริง หรือ อาจจะเท็จ ดังได้เห็นจากตัวอย่างของเซตผู้ชายสูง คำว่าสูงนี้เองที่เป็นฟัซซี่ เพื่อให้สะดวกในการกำหนดค่าความจริงของคำตอบที่เป็นไปได้ในโดเมนหนึ่งๆ อาจกำหนดค่าความเป็นสมาชิก {0, 0.5, 1} ให้แก่คำว่า เท็จ อาจจะจริง และจริง ตามลำดับ ซึ่งการกำหนดคำตอบมากกว่า 2 คำตอบนี้เรียกว่า ลอจิกแบบหลายค่า (Multi-Value Logic)

3.6.3 ยูนิเวิร์ส (Universe)

ยูนิเวิร์สจะเป็นค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมด หรือเป็นขอบเขตของคำตอบของเซตใดๆ จากรูปที่ 3.8 ถ้าให้ยูนิเวิร์สเป็นอุณหภูมิซึ่งอยู่ระหว่าง $[0^{\circ}, 50^{\circ}]$

จากรูปที่ 3.9 แกนนอนแสดงถึงค่าตัวแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่พิจารณาอยู่ ซึ่งก็คือยูนิเวิร์ส ในกรณีนี้ค่าตัวแปรคือค่าความสูงนั่นเอง

3.6.4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)

ดังที่กล่าวไปแล้วว่า แต่ละสมาชิกของฟัซซี่เซตจะมีค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value) อยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้อยู่ในช่วง [0.0, 1.0] ซึ่งค่าความเป็นสมาชิกนี้จะสามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu(x)$

ให้ A เป็นฟัซซี่เซตใดๆ ในยูนิเวิร์ส X จะเขียนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซต A ได้ดังนี้

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \tag{3.26}$$

เมื่อ $\mu_A(x) = 1$ ถ้า x ทั้งหมดอยู่ใน A

$\mu_A(x) = 0$ ถ้า x ไม่อยู่ใน A

$0 < \mu_A(x) < 1$ ถ้า x มีบางส่วนอยู่ใน A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.9 แกนตั้งแสดงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x)$ ในฟัซซี่เซต ในกรณีนี้ฟัซซี่เซตของผู้ชายสูง จะมีการแปลงค่าความสูงให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกของเซต ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 3.9(ก) ว่าแอนดริวสูง 179 ซม. ซึ่งสูงน้อยกว่าสัญญาเพียง 2 ซม. กลับมีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หากดูจากเซตปกติ (ซึ่งอาจจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มผู้ชายเตี้ย) แต่เขายังมีค่าความเป็นสมาชิก 0.78 เมื่อดูจากฟัซซี่เซต ในรูป 3.9(ข) จะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซตเป็นค่าที่ค่อยๆ ลดลงตามความสูงที่ลดลง ทำให้การพิจารณามีทางเลือกมากกว่าเซตปกติ

3.6.5 คู่อันดับฟัซซี่

นอกจากจะแทนฟัซซี่เซตใดๆ ด้วยภาพแล้ว ยังอาจเขียนให้อยู่ในรูปกลุ่มของคู่อันดับได้ดังนี้ ฟัซซี่เซต A สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของคู่อันดับได้ดังสมการที่ (3.27)

$$A = \{(x_i, \mu_A(x_i)\} \tag{3.27}$$

เมื่อ x เป็นสมาชิกของยูนิเวิร์ส และ $\mu(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ x ดังนั้น สามารถเขียนเซต A ให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ได้ดังนี้

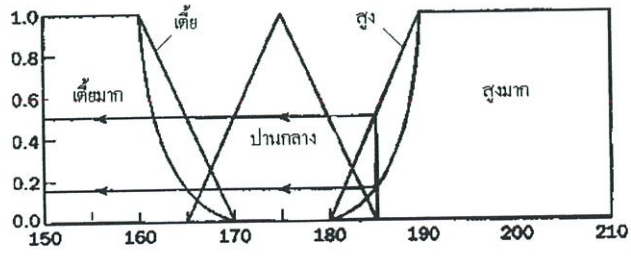
$$A = \{(x_0, \mu(x_0)),(x_1, \mu(x_1)),...,(x_n, \mu(x_n))\} \tag{3.28}$$

เมื่อ n เป็นสมาชิก ณ ตำแหน่งที่ i; $i = 1, 2, ..., n$ ที่อยู่ในยูนิเวิร์สนั้น หรือเพื่อความสะดวกอาจเขียนเซต A ได้ดังนี้

$$A = \{\mu_A(x_1)/x_1\},\{\mu_A(x_2)/x_2\},...,\{\mu_A(x_n)/x_n\} \tag{3.29}$$

โดยที่เครื่องหมาย / ถูกใช้เพื่อบอกค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละตำแหน่งบนแกนนอน

ย้อนกลับไปดูตัวอย่างของเซตผู้ชายสูง นอกจากกำหนดคำว่า สูง แล้วอาจสร้างเซตอื่นๆ อีก เช่น เตี้ย หรือ สูงปานกลาง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ฟัซซี่เซตความสูงของผู้ชาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการกำหนดในฟัซซี่เซตนี้จะเห็นว่า ผู้ชายที่สูง 184 ซม.จะเป็นสมาชิกของเซตผู้ชายสูงปานกลาง ด้วยค่าความเป็นสมาชิก 0.15 ณ ตำแหน่งเดียวกันเขาจะมีค่าความเป็นสมาชิก 0.5 ในเซตผู้ชายสูง นั่นหมายถึงค่าที่พิจารณาค่าหนึ่งๆ สามารถมีค่าความเป็นสมาชิกอยู่ได้ในหลายๆ เซต จากรูปที่ 3.10 ฟัซซี่เซตของผู้ชายสูง สามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ได้เป็น

ผู้ชายสูง = (0/180, 0.5/185, 1/190) หรือ

ผู้ชายสูง = (0/180, 1/190)

สำหรับฟัซซี่เซตของผู้ชายเตี้ย และ ผู้ชายสูงปานกลาง สามารถแทนได้ในลักษณะเดียวกัน

ผู้ชายเตี้ย = (1/160, 0.5/165, 0/170) หรือ

ผู้ชายเตี้ย = (1/160, 0/170)

ผู้ชายสูงปานกลาง = (0/165, 1/175, 0/185)

3.6.6 ตัวแปรฟัซซี่ (Fuzzy Liguistic Variables)

ตามปกติการแทนจำนวนจะใช้ตัวเลขในการบอกค่า ตัวแปรฟัซซี่นี้ก็เช่นกัน จะใช้คำหรือวลีในการบอกค่า ซึ่งเซตของค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะเรียกว่าเทอมเซต (Term Set) แต่ละค่าในเซตนี้จะเรียกว่า ค่าของตัวแปรฟัซซี่ (Liguistic Variables) ซึ่งก็คือคำตอบของฟัซซี่เซตที่เป็นไปได้ทั้งหมดนั่นเอง หากพิจารณารูปที่ 3.8 จะได้ว่า

$$T = \{\text{หนาวมาก, หนาว, เย็น, สบาย, อบอุ่น, ร้อน, ร้อนมาก}\} \tag{3.30}$$

เมื่อ T คือเทอมเซต และค่าแต่ละค่าคือคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด เมื่อพิจารณาอุณหภูมิซึ่งอยู่ระหว่าง $[0^\circ, 50^\circ]$ หรือเมื่อพิจารณารูปที่ 3.10 จะได้ว่า

$$T = \{\text{เตี้ยมาก, เตี้ย, ปานกลาง, สูง, สูงมาก}\} \tag{3.31}$$

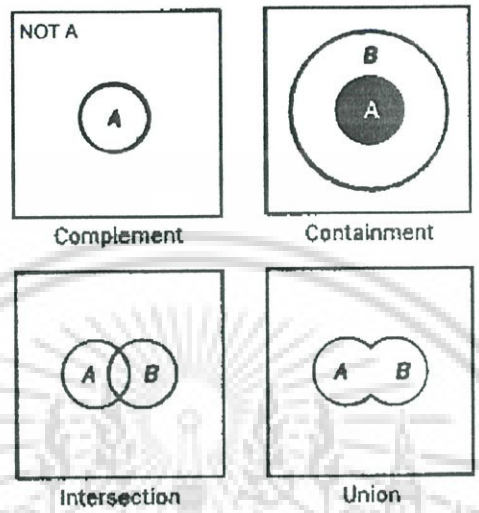
ถ้ากล่าวว่า โยกเยกตัวสูง จะหมายถึง ตัวแปร โยกเยก มีค่าเป็น ตัวสูง ในระบบผู้เชี่ยวชาญฟัซซี่ (Fuzzy Expert System) ตัวแปรเหล่านี้จะถูกใช้ในกฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules) ดังตัวอย่าง

ถ้า ลมแรง
แล้ว เรือจะลอยไปได้ไกล
ถ้า อุณหภูมิสูงมาก
แล้ว เครื่องจักรจะหยุดทำงาน
ถ้า ความเร็วรอบมอเตอร์ต่ำ
แล้ว ใบพัดจะหยุดหมุน

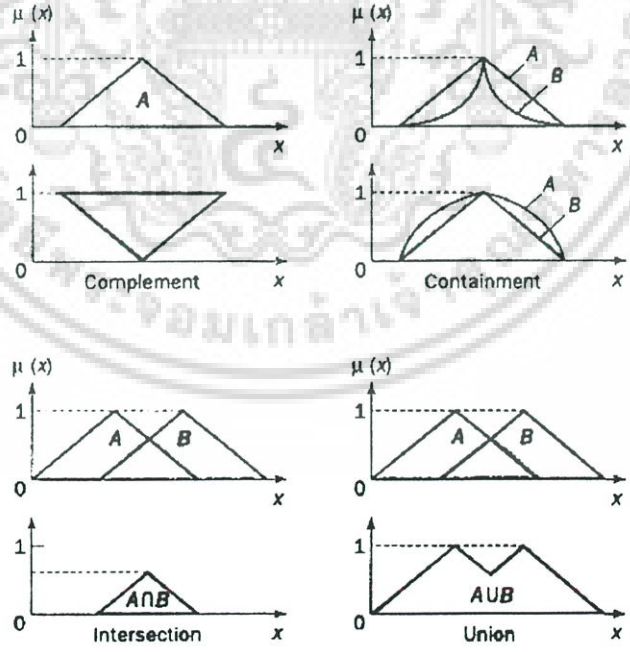
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.7 การกระทำของฟัซซี่เซต (Operations On Fuzzy Sets)

ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ถือได้ว่าเป็นค่าที่มีความสำคัญในการกำหนดการกระทำในฟัซซี่เซต ซึ่งจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.11 การกระทำพื้นฐานของเซต



รูปที่ 3.12 การกระทำพื้นฐานของฟัซซี่เซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 และ 3.12 เป็นรูปแสดงการเปรียบเทียบการกระทำพื้นฐานของเซตปกติและฟัซซี่เซต

นิยาม 1 (การกระทำของเซต) ให้ A และ B เป็นฟัซซี่เซต 2 เซต อยู่ในยูนิเวิร์ส X เดียวกัน

(ก) การอินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซี่เซต A และ B คือ

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min\left[\mu_A(x), \mu_B(x)\right] = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \qquad (3.32)$$

เมื่อ $x \in X$

ตัวอย่าง พิจารณาฟัซซี่เซตของผู้ชายสูงและสูงปานกลาง

ผู้ชายสูง = (0/165, 0/175, 0/180, 0.25/182.5, 0.5/185, 1/190)

ผู้ชายสูงปานกลาง = (0/165, 1/175, 0.5/180, 0.25/182.5, 0/185, 0/190)

จากสมการที่ (3.32) จะได้อินเตอร์เซกชันระหว่างผู้ชายสูงและผู้ชายสูงปานกลาง คือ

ผู้ชายสูง $\cap$ ผู้ชายสูงปานกลาง = (0/165, 0/175, 0/180, 0.25/182.5, 0/185, 0/190) **หรือ**

ผู้ชายสูง $\cap$ ผู้ชายสูงปานกลาง = (0/180, 0.25/182.5, 0/185)

(ข) การยูเนี่ยน (Union) ของฟัซซี่เซต A และ B คือ

$$\mu_{A\cup B}(x) = \max\left[\mu_A(x), \mu_B(x)\right] = \mu_A(x) \cup \mu_B(x) \qquad (3.33)$$

เมื่อ $x \in X$

ตัวอย่าง พิจารณาฟัซซี่เซตของผู้ชายสูงและสูงปานกลาง

ผู้ชายสูง = (0/165, 0/175, 0/180, 0.25/182.5, 0.5/185, 1/190)

ผู้ชายสูงปานกลาง = (0/165, 1/175, 0.5/180, 0.25/182.5, 0/185, 0/190)

จากสมการที่ (3.33) จะได้ยูเนี่ยนระหว่างผู้ชายสูงและผู้ชายสูงปานกลาง คือ

ผู้ชายสูง $\cup$ ผู้ชายสูงปานกลาง = (0/165, 1/175, 0.5/180, 0.25/182.5, 0.5/185, 1/190)

(ค) คอมพลีเมนต์ (Complement) ของฟัซซี่เซต A คือ

$$\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x) \qquad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง พิจารณาฟัซซี่เซตผู้ชายสูง จะได้ว่าคอมพลีเมนต์ของผู้ชายสูง (เขียนได้เป็น $\neg A$) ซึ่งมีความหมายว่า **ไม่ใช่**ผู้ชายสูง

ผู้ชายสูง = (0/180, 0.25/182.5, 0.5/185, 0.75/187.5, 1/190)

ไม่ใช่ผู้ชายสูง=(1/180, 0.75/182.5, 0.5/185, 0.25/187.5, 0/190)

(ง) การเป็นสับเซต (Subset)

ในเซตปกติ เซต X ใดๆ จะเป็นสับเซตของเซต Y (เขียนได้เป็น $X \subseteq Y$) ถ้าทุกๆ ค่าที่อยู่ใน X ปรากฏอยู่ใน Y ด้วย

ในฟัซซี่เซต ฟัซซี่เซต X ใดๆ จะเป็นสับเซตของฟัซซี่เซต Y (เขียนได้เป็น $X \subseteq Y$) ถ้าค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความเป็นสมาชิกของ Y พิจารณาเซตผู้ชายสูงและผู้ชายสูงมาก

ผู้ชายสูง = (0/180, 0.25/182.5, 0.5/185, 0.75/187.5, 1/190)

ผู้ชายสูงมาก = (0/180, 0.06/182.5, 0.25/185, 0.56/187.5, 1/190)

ตัวอย่าง การซื้อบ้าน

ครอบครัวหนึ่งมีสมาชิกทั้งหมด 4 คนต้องการจะซื้อบ้านหนึ่งหลัง พวกเขาต้องการ ความอยู่สบาย ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนเตียงในบ้านหลังนั้น แต่พวกเขาก็ต้องการขนาดบ้านที่ ใหญ่ พอควรกับครอบครัวด้วย ให้ u = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10} เป็นเซตของบ้านทั้งหมดที่หาได้โดยแสดงค่าเป็นจำนวนเตียง ดังนั้นฟัซซี่เซต c (ความอยู่สบาย) สามารถเขียนในรูปเวกเตอร์ได้ดังนี้

c = [0.2 0.5 0.8 1 0.7 0.3 0 0 0 0]

ให้ I เป็นฟัซซี่เซตแสดงความ ใหญ่ ของบ้าน

I = [0 0 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1 1 1]

จะได้ว่าอินเตอร์เซกชันของ c และ I คือ

$c \cap I$ = [0 0 0.2 0.4 0.6 0.3 0 0 0 0]

แปลความหมายได้ว่า บ้านขนาด 5 ห้องนอนเป็นหลังที่ดีที่สุด แต่ค่า ความอยู่สบาย มีค่าเพียง 0.6 พิจารณายูเนี่ยนของ c และ I

$c \cup I$ = [0.2 0.5 0.8 1 0.7 0.8 1 1 1 1]

จะได้ว่าบ้านที่มี 4 ห้องนอนเป็นบ้านที่มีค่า ความอยู่สบาย เป็น 1 ซึ่งแสดงว่าเป็นบ้านที่ทุกคนอยู่ในบ้านหลังนั้นได้อย่างสบาย นอกจากนี้ บ้านที่มี 7-10 ห้องนอนก็เป็นบ้านที่อยู่สบายด้วยเพราะว่าเป็นบ้านที่มีขนาดใหญ่ ในตัวอย่างนี้จะได้ว่าคอมพลีเมนต์ของ I คือ

$\bar{I}$ = [1 1 0.8 0.6 0.4 0.2 0 0 0 0]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วการกระทำที่จะใช้มากที่สุดในการพิจารณาค่าของฟัซซี่เซตคือ อินเตอร์เซกชัน ($\cap$) และยูเนี่ยน ($\cup$) สำหรับทั้งเซตปกติและฟัซซี่เซตจะมีคุณสมบัติการกระทำที่เหมือนกันดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติการกระทำอย่างง่ายของเซต

การกระทำ (Operations)	ชื่อคุณสมบัติ
$A \cup B = B \cup A$	การสลับที่ (Commutative)
$A \cap B = B \cap A$	การสลับที่ (Commutative)
$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$	การเปลี่ยนกลุ่ม (Associative)
$(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$	การเปลี่ยนกลุ่ม (Associative)
$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$	การกระจาย (Distributive)
$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cup (A \cup C)$	การกระจาย (Distributive)
$\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$	กฎของเดอ มอร์แกน (De Morgan's Law)
$\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$	กฎของเดอ มอร์แกน (De Morgan's Law)
$(A \cap B) \cup A = A$	การดูดกลืน (Absorption)
$(A \cup B) \cap A = A$	การดูดกลืน (Absorption)
$A \cup A = A$	การเท่ากัน (Idempotency)
$A \cap A = A$	การเท่ากัน (Idempotency)
$A \cup \varnothing = A$	การมีเอกลักษณ์ (Identity)
$A \cap X = A$	การมีเอกลักษณ์ (Identity)
$A \cap \varnothing = \varnothing$	การมีเอกลักษณ์ (Identity)
$A \cup X = X$	การมีเอกลักษณ์ (Identity)
$A \cup \overline{A} \neq 1$	ข้อยกเว้น (Exclusion not satisfied)
$A \cup \overline{A} \neq 0$	ข้อยกเว้น (Exclusion not satisfied)

3.6.8 คำเชื่อม (Connectives)

การสนทนาในชีวิตประจำวันและในทางคณิตศาสตร์ ประโยคจะถูกเชื่อมด้วยคำต่างๆ ซึ่งได้แก่ และ(AND) หรือ(OR) ถ้า-แล้ว / แสดงว่า (IF-THEN / IMPLIES) ก็ต่อเมื่อ (IF AND ONLY IF) คำเหล่านี้เองที่เรียกว่าคำเชื่อม (Connectives) นอกจากนี้ยังมีประโยคที่เติมคำว่า ไม่ (NOT) ลงไปเพื่อให้ความหมายเป็นปฏิเสธ คำว่า และ (AND) ใช้เพื่อเชื่อมประโยค 2 ประโยคเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยกันเป็นประโยคเดียวเรียกว่าคอนจังก์ชัน (Conjunction) หากใช้ หรือ (OR) เชื่อมประโยค 2 ประโยคเข้าด้วยกันเป็นประโยคเดียวเรียกว่าดิสคอนจังก์ชัน (Disconjunction) สามารถสร้างประโยคเงื่อนไขโดยใช้ ถ้า-แล้ว (IF... THEN...) ซึ่งเรียกการสร้างแบบนี้ว่าประโยคเงื่อนไข (Conditional Sentence) โดยประโยคที่ตามหลังคำว่า ถ้า (IF) จะเรียกว่า เหตุ (Antecedent) และประโยคที่ตามหลัง แล้ว (THEN) จะเรียกว่า ผล (Consequent) สำหรับคำเชื่อม ก็ต่อเมื่อ (IF AND ONLY IF) จะเชื่อมระหว่างเงื่อนไขสองประโยค (Biconditional)

สำหรับเครื่องหมายและสัญลักษณ์ที่ใช้แทนคำเชื่อมที่ได้กล่าวมา สามารถเขียนได้ดังนี้

$\neg$ ใช้แทนคำว่า ไม่ (NOT)

$\wedge$ ใช้แทนคำว่า และ (AND)

$\vee$ ใช้แทนคำว่า หรือ (OR)

$\Rightarrow$ ใช้แทนคำว่า ถ้า-แล้ว (IF-THEN)

$\Leftrightarrow$ ใช้แทนคำว่า ก็ต่อเมื่อ(IF AND ONLY IF)

3.6.9 กฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules)

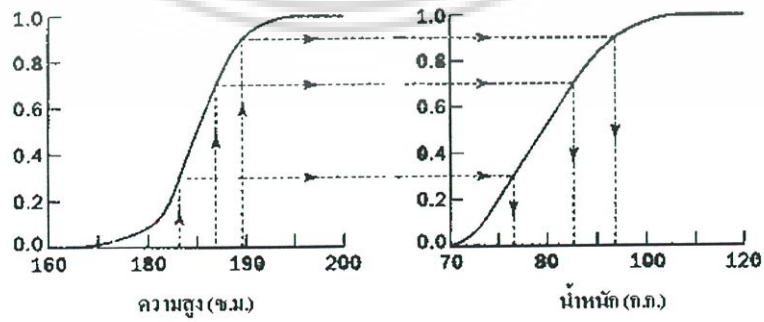
ในปีค.ศ. 1973 Zadeh ได้เสนองานวิจัยอีกชิ้นหนึ่ง [35] ซึ่งเป็นความรู้ในเรื่องกฎของฟัซซี่ กฎของฟัซซี่สามารถกำหนดได้โดยเงื่อนไข ดังนี้

ถ้า x คือ A

แล้ว y คือ B

เมื่อ x และ y คือตัวแปรฟัซซี่ และ A และ B เป็นค่าของตัวแปรฟัซซี่ ซึ่งกฎของฟัซซี่นี้เป็นการกำหนดเงื่อนไขในส่วนของเหตุ หากเงื่อนไขในส่วนนี้เป็นจริง ก็จะได้ผลที่ตามมาเป็นจริง ณ ค่าความเป็นสมาชิกที่ระดับเดียวกัน ดังรูปที่ 3.13

ตัวอย่าง ฟัซซี่เซตผู้ชายสูงและผู้ชายหนัก ในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ฟัซซี่เซตผู้ชายสูงและผู้ชายหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักของผู้ชายที่ค่าหนึ่งๆ จะแปรไปตามค่าความสูง ณ ระดับค่าความเป็นสมาชิกเดียวกันนั้น

ทั้งสองฟัซซี่เซต สามารถแทนได้ด้วยกฎของฟัซแบบเดี่ยว (Single Fuzzy Rule) ได้ดังนี้

ถ้า ความสูง คือ สูง
แล้ว น้ำหนัก คือ หนัก

ในส่วนของ ถ้า... ซึ่งเป็นเหตุ สามารถมีเงื่อนไขได้มากกว่า 1 เงื่อนไข ดังตัวอย่าง

ถ้า การบริการดีเยี่ยม
และ อาหารอร่อย
แล้ว ควรให้ทิป

ในส่วนของ แล้ว... ซึ่งเป็นผล ก็สามารถมีผลได้มากกว่า 1 อย่างได้เช่นกัน ดังตัวอย่าง

ถ้า อุณหภูมิ คือ ร้อน
แล้ว ลดปริมาณน้ำร้อน;
เพิ่มปริมาณน้ำเย็น

ในกรณีนี้ หากเหตุเกิดขึ้นจริงเป็นไปตามเงื่อนไข ในส่วนของผลที่ตามมาก็จะเป็นจริงทั้งหมด

3.6.10 ฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ (Fuzzy Inference)

ฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ คือกระบวนการในการแปลงอินพุท ให้กลายเป็นเอาท์พุทตามที่ต้องการ โดยใช้ทฤษฎีของฟัซซี่เซตและกฎของฟัซซี่

ฟัซซี่อินเฟอเรนซ์เทคนิคที่เป็นพื้นฐานที่สุด ถูกเสนอโดย Mamdani [36] ในปีค.ศ. 1975 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นวิธีการของ Mamdani (Mamdani Method) เพื่อที่จะให้เห็นว่าวิธีการนี้ทำงานอย่างไรจึงจะยกตัวอย่าง ปัญหาแบบ 2 อินพุท 1 เอาท์พุท ประกอบไปด้วยกฎ 3 กฎ ดังนี้

กฎที่ 1
ถ้า x คือ A3
หรือ y คือ B1
แล้ว z คือ C1

กฎที่ 2
ถ้า x คือ A2
และ y คือ B2
แล้ว z คือ C2

กฎที่ 3
ถ้า x คือ A1
แล้ว z คือ C3

กฎที่ 1
ถ้า เงินสนับสนุนโครงการเพียงพอ
หรือ กลุ่มคนทำโครงการเป็นกลุ่มเล็ก
แล้ว ความเสี่ยงต่ำ

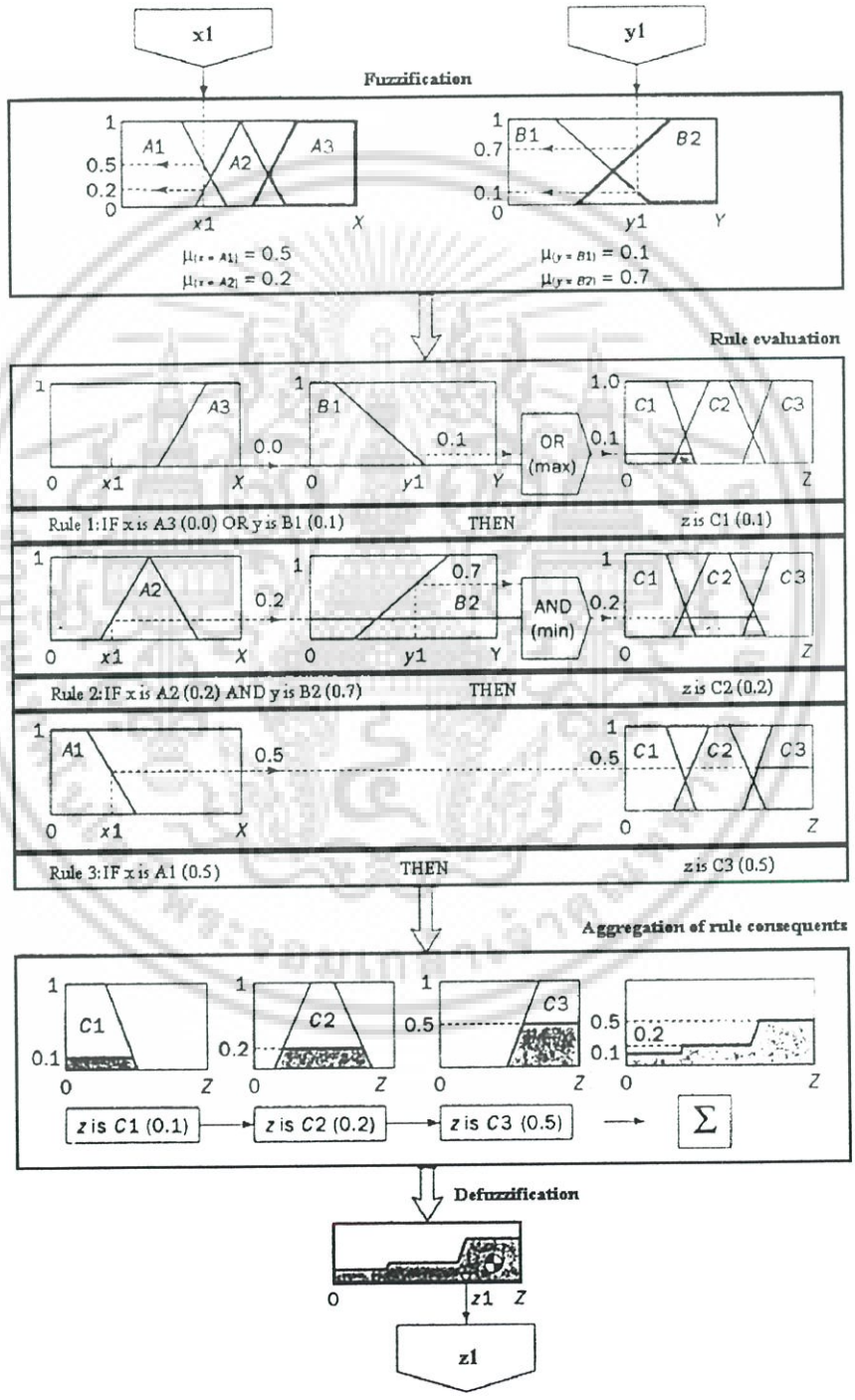
กฎที่ 2
ถ้า เงินสนับสนุนโครงการเกือบไม่เพียงพอ
และ กลุ่มคนทำโครงการเป็นกลุ่มใหญ่
แล้ว ความเสี่ยงปานกลาง

กฎที่ 3
ถ้า เงินสนับสนุนโครงการไม่เพียงพอ
แล้ว ความเสี่ยงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ x,y และ z (เงินสนับสนุนโครงการ, กลุ่มคนทำโครงการ และความเสี่ยง) เป็นตัวแปรฟัซซี่; A1, A2 และ A3 (เพียงพอ, เกือบไม่เพียงพอ, ไม่เพียงพอ) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซี่แต่ละตัว; B1 และ B2 (กลุ่มเล็กและกลุ่มใหญ่) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซี่ y คือกลุ่มคนทำโครงการ ; C1, C2 และ C3 (ต่ำ กลาง และสูง) เป็นค่าของตัวแปรฟัซซี่ z คือความเสี่ยง

โครงสร้างของวิธีการ Mamdani สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของฟัซซี่อินเฟอเรนซ์แบบ Mamdani

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.11 การใช้ฟัซซี่อินเฟอเรนซ์ในการวิเคราะห์สภาพอากาศจากรูปภาพ

Chen และคณะ [37] [38] ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการกำหนดชื่อสีโดยใช้ทฤษฎีฟัซซี่ ในงานวิจัยนี้ได้นำอินเฟอเรนซ์รูล (Inference Rules) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพอากาศของภาพว่าภาพนั้นเป็นภาพตอนกลางวัน ภาพฝนตก ภาพใกล้ค่ำ หรือภาพพระอาทิตย์ตก ซึ่งกระบวนการแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกเป็นการกำหนดอินเฟอเรนซ์รูล (ตารางที่ 3.4) ขั้นที่สองเป็นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการยูเนี่ยน (หาค่ามากที่สุด) ของ H,S และ I ในแต่ละภาพ มาตรวจสอบกับเงื่อนไขในอินเฟอเรนซ์รูล เพื่อวิเคราะห์ว่าสภาพอากาศของแต่ละรูปภาพนั้นเป็นอย่างไร

หมายเหตุ ผลลัพธ์ของ H, S และ I โดยใช้การยูเนี่ยนหรือหาค่ามากที่สุด (Max value) สำหรับอินเฟอเรนซ์รูล ได้กำหนดดังนี้

ถ้า เงื่อนไข 1 = A
และ เงื่อนไข 2 = B
และ เงื่อนไข 3 = C
แล้ว ผลลัพธ์ = D

ตารางที่ 3.4 อินเฟอเรนซ์รูล สำหรับการวิเคราะห์สภาพอากาศของภาพ (พิจารณาจาก H, S และ I)

เงื่อนไข 1 (H)	เงื่อนไข 1 (S)	เงื่อนไข 1 (I)	ผลลัพธ์ (สภาพอากาศ)
สีส้ม	น้อยมาก	มืดมาก	พระอาทิตย์ตก
สีส้ม	น้อย	มืด	ก่อนพระอาทิตย์ตก
สีส้ม	น้อยมาก	มืด	พระอาทิตย์ตก
สีส้ม	น้อย	มืดมาก	พระอาทิตย์ตก
สีเหลือง	น้อยมาก	มืดมาก	พระอาทิตย์ตก
สีเหลือง	น้อยมาก	มืด	พระอาทิตย์ตก
สีเหลือง	น้อย	มืดมาก	พระอาทิตย์ตก
สีเหลือง	น้อย	มืด	พระอาทิตย์ตก
สีเหลืองเขียว	น้อยมาก	มืดมาก	พระอาทิตย์ตก
สีเหลืองเขียว	น้อยมาก	มืด	พระอาทิตย์ตก
สีเหลืองเขียว	น้อย	มืดมาก	พระอาทิตย์ตก
สีเหลืองเขียว	น้อยมาก	มืดเล็กน้อย	ก่อนพระอาทิตย์ตก
สีเหลืองเขียว	น้อย	สว่าง	ก่อนพระอาทิตย์ตก
สีเหลืองเขียว	น้อยมาก	สว่าง	ก่อนพระอาทิตย์ตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

สีเขียว	น้อยมาก	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
สีเขียว	น้อยมาก	สว่าง	ตอนกลางวัน
สีเขียว	น้อย	มืดมาก	ตอนกลางคืน
สีเขียว	น้อย	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
สีเขียว	น้อย	สว่าง	ตอนกลางวัน
สีเขียวน้ำเงิน	น้อยมาก	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
สีเขียวน้ำเงิน	น้อยมาก	สว่าง	ตอนกลางวัน
สีเขียวน้ำเงิน	น้อย	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
สีเขียวน้ำเงิน	น้อยมาก	มืดมาก	วันฝนตก
สีเขียวน้ำเงิน	น้อย	สว่าง	ตอนกลางวัน
สีน้ำเงิน	น้อยมาก	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
สีน้ำเงิน	น้อยมาก	สว่าง	ตอนกลางวัน
สีน้ำเงิน	น้อย	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
สีน้ำเงิน	น้อย	สว่าง	ตอนกลางวัน
สีน้ำเงิน	น้อยมาก	มืดมาก	วันฝนตก
สีน้ำเงิน	น้อย	มืดมาก	วันฝนตก

ตารางที่ 3.5 ค่าความเป็นสมาชิกและผลลัพธ์ของค่า H

ภาพที่	ค่าความเป็นสมาชิกของสี						
	สีส้ม	สีเหลือง	สีเหลืองเขียว	สีเขียว	สีเขียวน้ำเงิน	สีน้ำเงิน	ผลลัพธ์
1	0.0	0.233	0.465	0.95	0.0	0.0	สีเขียว
2	0.95	0.9	1.0	0.95	0.917	0.6	สีเหลืองเขียว
3	0.95	0.9	1.0	0.975	0.9	0.6	สีเหลืองเขียว
4	0.5	0.456	0.401	0.375	0.269	0.214	สีส้ม
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.385	0.625	สีน้ำเงิน
6	0.0	0.0	0.086	0.625	1.0	0.494	สีเขียวน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ค่าความเป็นสมาชิกและผลลัพธ์ของค่า S

ภาพที่	ค่าความเป็นสมาชิกของ			
	น้อยมาก	น้อย	มาก	ผลลัพธ์
1	0.431	0.983	0.224	น้อย
2	0.938	0.438	0.0	น้อยมาก
3	0.938	0.438	0.0	น้อยมาก
4	0.422	0.938	0.355	น้อย
5	0.969	0.469	0.0	น้อยมาก
6	1.0	0.9	0.118	น้อยมาก

ตารางที่ 3.7 ค่าความเป็นสมาชิกและผลลัพธ์ของค่า I

ภาพที่	ค่าความเป็นสมาชิกของ				
	มืดมาก	มืด	มืดเล็กน้อย	สว่าง	ผลลัพธ์
1	0.485	0.173	0.0	0.0	มืดมาก
2	0.0	0.0	0.953	0.984	สว่าง
3	0.896	1.0	0.969	0.969	มืด
4	0.286	0.0	0.0	0.969	มืดมาก
5	0.938	0.929	0.984	0.0	มืดเล็กน้อย
6	0.958	0.893	0.765	0.984	มืดมาก

เมื่อนำค่า H, S และ I ไปเทียบกับตารางที่ 3.4 จะได้สภาพอากาศของรูปภาพทั้ง 6 เป็นไปดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สภาพอากาศของรูปภาพ

ภาพที่	H	S	I	สภาพอากาศ
1	สีเขียว	น้อย	มืดมาก	ตอนกลางคืน
2	สีเหลืองเขียว	น้อยมาก	สว่าง	ก่อนพระอาทิตย์ตก
3	สีเหลืองเขียว	น้อยมาก	มืด	พระอาทิตย์ตก
4	สีส้ม	น้อย	มืดมาก	ก่อนพระอาทิตย์ตก
5	สีน้ำเงิน	น้อยมาก	มืดเล็กน้อย	ตอนกลางวัน
6	สีเขียวน้ำเงิน	น้อยมาก	มืดมาก	วันฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การจัดกลุ่มข้อมูล

3.7.1 ระยะทางที่ใช้ในการวัดความห่างของข้อมูล

3.7.1.1 ระยะทางยูคลิเดียน (Euclidean Distance)

ระยะทางยูคลิเดียน สำหรับการหาระยะทางระหว่างค่า 2 ค่าใดๆ เป็นดังตามสมการที่ (3.35)

$$d(x,y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + \ldots + (x_m - y_m)^2} \tag{3.35}$$

เมื่อ $d(x,y)$ คือระยะทางยูคลิเดียน และ m คือมิติของข้อมูล โดย m=1, 2,..., m

3.7.1.2 ระยะทางมหาลาโนบิส (Mahalanobis Distance)

ระยะทางมหาลาโนบิส ถูกเสนอขึ้นในปีค.ศ. 1936 โดย Mahalanobis [40] โดยเสนอว่า การคำนวณระยะห่างโดยใช้ระยะทางยูคลิเดียนนั้น เป็นการโปรเจค (Projection) ระหว่างค่า 2 ค่า ซึ่งการหาค่าระยะทางไม่ได้มีการพิจารณาความสัมพันธ์ภายในชุดข้อมูล อีกทั้งในบางครั้งขอบเขตของกลุ่มข้อมูลแต่ละกลุ่มอาจไม่ได้เป็นเส้นตรง คือมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ซึ่งการจัดกลุ่มโดยใช้ระยะทางมหาลาโนบิสนี้จะช่วยให้การจัดกลุ่มสามารถทำได้

ระยะทางมหาลาโนบิส ที่ใช้หาระยะทางระหว่างค่า 2 ค่าใดๆ เป็นดังตามสมการที่ (3.36)

$$r = \sqrt{(x - m_x)' C_x^{-1} (x - m_x)} \tag{3.36}$$

เมื่อ r คือ ระยะทางมหาลาโนบิส

x คือ เวกเตอร์ของข้อมูล

m_x คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลแต่ละกลุ่ม

$(x - m_x)'$ คือ แมทริกซ์ ทรานสโพสของเวกเตอร์ $(x - m_x)$ และ

แมทริกซ์ C_x^{-1} คือ อินเวิร์สของโควาเรียนแมทริกซ์ C_x

สำหรับโควาเรียนแมทริกซ์ (Covariant Matrix) C_x หาได้จากสมการที่ (3.37)

$$C = \begin{bmatrix} c(1,1) & c(1,2) & \cdots & c(1,d) \\ c(2,1) & c(2,2) & \cdots & c(2,d) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c(d,1) & c(d,2) & \ldots & c(d,d) \end{bmatrix} \tag{3.37}$$

ค่าโควาเรียน $c(i,j)$ ในแมทริกซ์ C จะหาได้จากสมการ (3.38)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c(i,j) = \{[x(1,i) - m(i)][x(1,j) - m(j)] + \ldots + [x(n,i) - m(i)][x(n,j) - m(j)]\}/(n-1) \quad (3.38)$$

เมื่อ $c(i,j)$ เป็นโควาเรียนคุณลักษณะ (Feature Covariant) i และ j ของข้อมูล n ตัวในกลุ่ม

3.7.2 การจัดกลุ่มข้อมูล

3.7.2.1 การจัดกลุ่มข้อมูลแบบเค-มีน (K-mean Clustering)

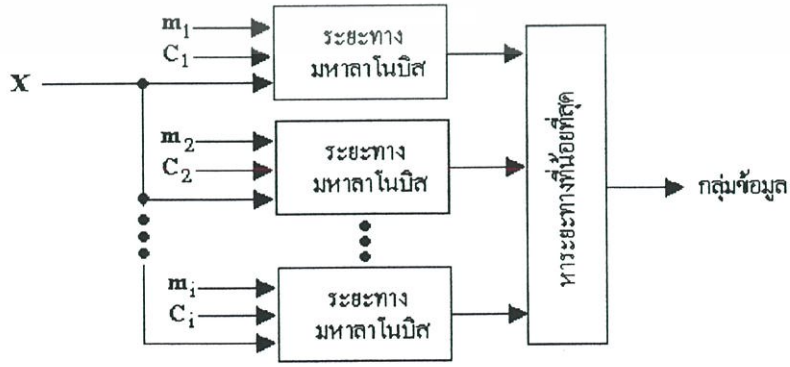
การจัดกลุ่มแบบเค-มีนเป็นการจัดกลุ่มแบบไม่มีการควบคุม (Unsupervised Clustering) นั่นคือจะเทรนค่าข้อมูลทั้งหมดเพื่อแบ่งกลุ่มในครั้งหนึ่งๆ และเมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามาก็ต้องทำการจัดกลุ่มใหม่ทุกครั้ง

การจัดกลุ่มแบบเค-มีนจะทำตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการ (K) เช่น ถ้าต้องการแบ่งข้อมูล 5 กลุ่มจะได้ K=5
2. สร้างค่ากลางเริ่มต้นจำนวนเท่ากับกลุ่มข้อมูล (Initial Mean)
3. หาระยะห่างระหว่างข้อมูลกับค่ากลาง หากข้อมูลมีระยะทางใกล้ค่ากลางของกลุ่มใดที่สุดก็จะจัดให้เข้าอยู่กลุ่มนั้น ทำเช่นนี้กับข้อมูลทุกตัว โดยการหาระยะทางอาจใช้ระยะทางแบบยูคลิเดียนหรือแบบมหาลาโนบิส
4. คำนวณหาค่าเฉลี่ยใหม่สำหรับแต่ละกลุ่มข้อมูล
5. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 – 4 ไปจนกว่าระยะทางระหว่างข้อมูลกับค่าเฉลี่ยจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่กำหนด (ε)

3.7.2.2 การจัดกลุ่มข้อมูลแบบหาระยะทางที่น้อยที่สุด (Minimum-Distance Clustering)

การจัดกลุ่มแบบนี้จะเป็นการจัดกลุ่มแบบมีการควบคุม (Supervised Clustering) โดยจะมีการเทรนกลุ่มข้อมูลที่กำหนดไว้แล้ว จากนั้นจึงนำข้อมูลที่จะจัดกลุ่มมาทำการจัดเข้าแต่ละกลุ่ม โดยลักษณะการจัดกลุ่มแบบนี้แสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการจัดกลุ่มแบบหาระยะทางที่น้อยที่สุด (Minimum-Distance Clustering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป X คือข้อมูลที่ต้องการจะจัดกลุ่ม m_i และ C_i คือค่ากลางของแต่ละกลุ่มข้อมูล ซึ่ง i=1,2,...,k เมื่อ k เป็นจำนวนกลุ่มข้อมูลทั้งหมด

3.8 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับจีเนติกอัลกอริทึม

จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) คิดค้นขึ้นโดย Holland [41] และคณะ นำเสนอในปี ค.ศ. 1975 เป็นอัลกอริทึมสำหรับการค้นหาข้อมูลและการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) ซึ่งได้รับแนวคิดมาจากกลไกการคัดเลือกสายพันธุ์ตามธรรมชาติ (Natural Selection) และธรรมชาติทางพันธุกรรม (Natural Genetic) คือ สิ่งมีชีวิตใดที่มีความแข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า นั่นหมายถึงการมีสายพันธุ์ที่ดี ย่อมมีโอกาสจะได้รับการคัดเลือกนำมาเป็นต้นแบบ เพื่อถ่ายทอดลักษณะดี ๆ ของสายพันธุ์เหล่านั้นไปยังรุ่นต่อๆ ไปมากกว่า มีโอกาสในการอยู่รอดสูง ส่วนสายพันธุ์ที่ไม่ดีก็จะไม่ได้รับการคัดเลือก หรือได้รับการคัดเลือกน้อยกว่า และจะค่อยๆ สูญพันธุ์ไปในที่สุด

จีเนติกอัลกอริทึมได้นำกระบวนการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตมาประยุกต์ใช้กับงานด้านปัญญาประดิษฐ์ เพื่อค้นหาคำตอบของปัญหาต่าง ๆ โดยจีเนติกอัลกอริทึมเป็นรูปแบบของเทคนิคการค้นหาซึ่งใช้ในการค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการแก้ปัญหานั้นๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมกับปัญหาโดยอาศัยข้อมูลในการช่วยค้นหา ซึ่งข้อมูลหรือวิธีการที่ใช้นี้จำลองมาจากกฎเกณฑ์การคัดเลือกสายพันธุ์ตามธรรมชาตินั่นเอง

จีเนติกอัลกอริทึมมีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 องค์ประกอบ ได้แก่

1. นำเสนอปัญหาด้วยรูปแบบโครโมโซม และทางเลือกที่เป็นไปได้ของแต่ละปัญหา
2. วิธีการสร้างประชากรต้นกำเนิด (Initial population) ของทางเลือกที่เป็นไปได้
3. ฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) เพื่อให้คะแนนแต่ละทางเลือก
4. จีเนติกโอเปอเรเตอร์ (Genetic operator) ซึ่งใช้ปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลตลอดกระบวนการ
5. ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งต้องใช้ในจีเนติกอัลกอริทึม เช่น ขนาดของประชากร ความน่าจะเป็นของการใช้จีเนติกโอเปอเรเตอร์ เป็นต้น

จีเนติกอัลกอริทึมแตกต่างจากวิธีการโดยทั่วไป คือ

1. เป็นวิธีการที่ค้นหาคำตอบภายใต้โครงสร้างของปัญหา อันเกิดจากการเข้ารหัส (Encoding) รูปแบบปัญหา
2. โครงสร้างจากกลุ่มตัวแปรต่างๆ ของปัญหานั้น ไม่ใช่การค้นหาคำตอบจากค่าของกลุ่มตัวแปรนั้นโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการค้นหาคำตอบจากกลุ่มประชากรคำตอบ (Population) แทนการหาคำตอบใดคำตอบหนึ่ง
4. ทำการค้นหาคำตอบจากผลลัพธ์ของกลุ่มค่าตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ไม่สนใจข้อมูลข่าวสารแวดล้อมอื่นๆ
5. ใช้ความน่าจะเป็น (Probability) ในการค้นหาคำตอบ

3.8.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยากับจีเนติกอัลกอริทึม

ตามธรรมชาติ สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและพฤติกรรมที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากโครโมโซมและสภาพแวดล้อมการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน ลักษณะที่แตกต่างกันนี้มีผลต่ออัตราการมีชีวิตรอดและอัตราการสืบพันธุ์ โดยสิ่งมีชีวิตมีแนวโน้มจะถ่ายทอดคุณลักษณะพิเศษให้กับประชากรรุ่นลูกหลาน (Offspring) และให้กำเนิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะพิเศษแตกต่างไปจากเดิมที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อให้สามารถดำรงอยู่รอดได้ต่อไปในสภาพแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ประชากรจะมีแนวโน้มที่จะมีคุณลักษณะที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตมากกว่ารุ่นบรรพบุรุษ เมื่อเวลาผ่านไปหลายๆ รุ่น (Generation) ของวิวัฒนาการ สิ่งมีชีวิตนั้นก็จะได้สายพันธุ์ใหม่ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของวิวัฒนาการเหล่านี้ เช่น มีการสันนิษฐานว่ายีราฟในสมัยโบราณอาจจะมีลำคอไม่ยาวเท่ากับยีราฟในยุคปัจจุบัน ยีราฟดำรงชีวิตด้วยการกินใบไม้ตามยอดไม้ เมื่อจำนวนประชากรยีราฟมีมากขึ้น การแก่งแย่งอาหารเพื่อความอยู่รอดจึงสูงขึ้นตาม ยีราฟตัวที่สามารถกินยอดไม้สูงๆ เท่านั้นจึงจะมีชีวิตอยู่ต่อไป คุณสมบัติที่ดีในการดำรงชีวิตนี้จึงถูกคัดเลือกและถ่ายทอดมายังยีราฟรุ่นลูกหลาน นั่นหมายถึงยีราฟที่คอยาวเท่านั้นที่จะมีโอกาสหาอาหาร และรอดชีวิตสูงกว่ายีราฟคอสั้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าจีเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่เลียนแบบมาจากหลักการทางชีววิทยา จึงมีการนำศัพท์ต่างๆ ในด้านพันธุศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ดังต่อไปนี้

3.8.1.1 พันธุศาสตร์ทางชีววิทยา

ในแต่ละเซลล์ (Cell) ของสิ่งมีชีวิตจะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยที่มีความสำคัญมากอยู่ในนิวเคลียส (Nucleus) ของเซล นั่นคือโครโมโซม (Chromosome) แต่ละโครโมโซมจะประกอบไปด้วยยีนส์ (Genes) ซึ่งเป็นหน่วยเก็บลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต ภายในยีนส์จะมีค่าแสดงลักษณะต่างๆ หรือแอลลี (Allele) รูปแบบของยีนส์ที่แตกต่างกันเรียกว่าจีโนไทป์ (Genotype) ส่วนลักษณะภายนอกที่ปรากฏเรียกว่าฟีโนไทป์ (Phenotype) [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1.2 พันธุศาสตร์ทางจีเนติกอัลกอริทึม

สำหรับจีเนติกอัลกอริทึม ตัวแปรของปัญหาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง (String) ว่า โครโมโซม ภายในโครโมโซมจะประกอบไปด้วยอักขระ (Character) หรือบิท (Bit) แต่ละตำแหน่งของบิทจะเก็บค่าอักขระ (Character value) หรือค่าของบิท (Bit value) ที่แสดงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมของปัญหาที่แตกต่างกัน สรุปความหมายของคำสำคัญต่างๆ ได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 คำสำคัญที่ใช้ในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม

Natural Genetic Terms	Genetic Algorithm Terms
Chromosome	String
Gene	Feature, Character, Bit
Allele	Feature value, Character value, Bit value
Locus	String position
Genotype	Structure
Phenotype	Decoded structure, Alternative solution

3.8.2 ขั้นตอนการทำงานของจีเนติกอัลกอริทึม

3.8.2.1 การกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation)

การกำหนดปัญหาโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึมนั้น จะต้องมีการนำปัญหามาเข้ารหัสข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสม เช่น อาจนำเสนอในรูปแบบของเลขฐานสอง (Binary) เลขจำนวนจริง (Real Number) ตัวอักษร (Character) การสลับลำดับกันในพีชคณิต และแบบทรี (Tree) เป็นต้น สำหรับจีเนติกอัลกอริทึมในระบบนี้จะใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย (Simple Genetic Algorithm)

3.8.2.2 ประชากร (Population)

ประชากรในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ประชากรรุ่นเก่า (Old Population) และประชากรรุ่นใหม่ (New Population) ประชากรรุ่นเก่าจะถูกสร้างขึ้นมาเพื่อที่จะคัดเลือกไปเป็นประชากรรุ่นใหม่ และสำหรับประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) สามารถทำได้โดยการสุ่มสร้างค่าที่เป็นไปได้ของแต่ละบิทของแต่ละโครโมโซมตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2.3 กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function)

การกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมคือ การสร้างฟังก์ชันเพื่อคำนวณหาความเหมาะสมของประชากรว่าเหมาะสมที่จะถูกคัดเลือกมาเพื่อสร้างประชากรรุ่นต่อไปมากน้อยเพียงใด อาจเป็นการวัดจากค่าความเหมาะสมที่สูงสุด (Max) หรือเป็นค่าความเหมาะสมที่ต่ำสุด (Min) ก็ได้ โดยฟังก์ชันความเหมาะสมนั้นจะแตกต่างกันออกไปสำหรับแต่ละปัญหา

3.8.2.4 การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

เป็นขั้นตอนการถอดรหัสโครโมโซม โดยนำค่าที่ได้จากการถอดรหัสนี้ไปแทนค่าในฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหา ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณนี้เรียกว่า ค่าความเหมาะสม ซึ่งค่านี้จะเป็นสิ่งที่แสดงว่า แต่ละโครโมโซมมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้แก้ปัญหามากน้อยเพียงใด หรืออาจเปรียบเทียบได้กับค่าความสามารถในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม และเป็นการกำหนดโอกาสหรือสัดส่วนที่แต่ละโครโมโซมจะถูกคัดเลือกมาเป็นต้นแบบในการให้กำเนิดประชากรรุ่นต่อไป

3.8.2.5 การคัดเลือก (Selection)

เป็นขั้นตอนที่จำลองแบบการคัดเลือกประชากรตามธรรมชาติ เพื่อคัดเลือกโครโมโซมรุ่นเก่าให้เป็นโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อใช้ในการสร้างประชากรรุ่นลูกต่อไป สำหรับการคัดเลือกทำได้โดยการวัดค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง แล้วคัดเลือกโครโมโซมจำนวนหนึ่งที่มีค่าความเหมาะสมเป็นที่น่าพอใจเก็บไว้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.16 โดยอาจจะคัดเลือกเอาเฉพาะโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดหรือในบางครั้งอาจเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมปานกลางและต่ำบางส่วนเข้ามาด้วย เพราะบางกรณีการนำสายพันธุ์ที่มีค่าปานกลางหรือต่ำมาผสมกันจะสามารถทำให้เกิดสายพันธุ์ที่ดีในรุ่นต่อไปได้

รูปที่ 3.16 การคัดเลือกประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคัดเลือกข้อมูลมีลักษณะเป็นไปตามหลักการที่ว่า การอยู่รอดของสิ่งที่เหมาะสมที่สุด (Survival of the Fittest) [43][44] ถ้าเป็นการวัดค่าความเหมาะสมจากค่าสูงสุด (Maximized Value) ความน่าจะเป็นของของแต่ละโครโมโซม ที่จะได้รับการสุ่มเลือกแต่ละครั้ง (Probability of Value Selection : P_{Si}) จะเป็นไปดังสมการที่ (3.39)

$$P_{Si} = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{n} f_i} \tag{3.39}$$

เมื่อ ค่าความเหมาะสมของแต่ละทางเลือก (f_i) เทียบกับผลรวมค่าความเหมาะสมทั้งหมด

หากเป็นการวัดค่าความเหมาะสมจากค่าต่ำสุด (Minimized Value) ความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซมที่จะได้รับการสุ่มเลือกแต่ละครั้ง จะเป็นไปดังสมการที่ (3.40)

$$P_{Si} = 1 - \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{n} f_i} \tag{3.40}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความคาดหวังที่จะสุ่มได้ (Expected Value : E) ของแต่ละโครโมโซม เป็นไปดังสมการที่ (3.41)

$$E = P_{Si} \times Popsize \tag{3.41}$$

เมื่อ Popsize คือขนาดของประชากรทั้งหมด

ในการสุ่มโครโมโซมของจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย จะใช้แบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel) [45] ซึ่งจะกำหนดขนาดของช่องวงล้อตามความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้ง ของแต่ละโครโมโซมมีวิธีการดังนี้

1. หาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
2. หาความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้ในแต่ละครั้งของแต่ละโครโมโซม
3. หาความถี่สะสม (q_i) ของความน่าจะเป็นของแต่ละโครโมโซม ดังสมการที่ (3.42)

$$q_i = \sum_{i=1}^{j} P_{Si} \tag{3.42}$$

4. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) ที่มีค่าอยู่ในช่วง [0.0, 1.0]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลือกโครโมโซมลำดับที่ r ซึ่ง r มีค่าอยู่ระหว่าง q_{i-1} และ q_i

จากวิธีดังกล่าวจะเห็นได้ว่า โครโมโซมใดที่มีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกน้อยๆ จะมีโอกาสถูกเลือกขึ้นมาน้อยเพราะช่องว่างระหว่าง q_{i-1} และ q_i จะแคบมาก ทำให้โอกาสที่ r จะตกช่องนั้นมีน้อย ในทางตรงกันข้าม โครโมโซมใดที่มีความน่าจะเป็นสูง ก็จะมีโอกาสถูกเลือกมากเนื่องจากช่องว่างระหว่าง q_{i-1} และ q_i จะกว้าง ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ถ้าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกมีค่ามาก ก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกไปเป็นประชากรรุ่นใหม่สูงตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างการใช้แบบจำลองวงล้อถ่วงน้ำหนัก

โครโมโซม	1	2	3	4	5
ค่าความเหมาะสม	8	2	17	7	2
ค่าความน่าจะเป็นที่จะสุ่มได้แต่ละครั้ง (P_{Si})	0.22	0.06	0.47	0.19	0.06
ความถี่สะสมค่าความน่าจะเป็น (q_i)	0.22	0.28	0.75	0.94	1.00
สร้างเลขสุ่มจากการหมุนวงล้อแต่ละครั้ง (r)	0.33	0.84	0.45	0.12	0.28
โครโมโซมที่ถูกเลือก	3	4	3	2	1

3.8.2.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

การครอสโอเวอร์ คือการนำโครโมโซม 2 โครโมโซม มาทำการตามขั้นตอนต่างๆ ซึ่งจะให้ค่าโครโมโซมใหม่ที่จะนำไปใช้ในการคัดเลือกครั้งต่อไป หรือหมายถึงการนำโครโมโซมสองโครโมโซมมาผสมกันเพื่อให้ได้ค่าโครโมโซมขึ้นมาใหม่นั่นเอง ในขั้นตอนนี้จะพยายามสร้างทางเลือกใหม่เพื่อเป็นคำตอบให้กับปัญหา และปรับปรุงทางเลือกให้ดีขึ้นโดยการครอสโอเวอร์ ซึ่งจีเนติกอัลกอริทึมจะพยายามสร้างทางเลือกที่ดีขึ้นโดยการรวมลักษณะที่ดีของแต่ละโครโมโซมเข้าด้วยกัน โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่ามักจะถูกเลือกมาทำการครอสโอเวอร์บ่อยครั้งกว่า ส่งผลให้มีโอกาสในการอยู่รอดไปยังรุ่นต่อไปสูงกว่า การครอสโอเวอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การครอสโอเวอร์หนึ่งจุด (One Point Crossover) การครอสโอเวอร์สองจุด (Two Point Crossover) และการครอสโอเวอร์หลายจุด (Multiple Point Crossover) ซึ่งมีวิธีการโดยทั่วไปดังนี้

1. ประชากรทั้งหมดจะถูกนำมาจับคู่โดยการสุ่ม ซึ่งจะได้ผลการจับคู่ออกมาทั้งหมด N/2 คู่ เมื่อ N คือจำนวนประชากรทั้งหมดในรุ่นนั้นๆ
2. สร้างเลขสุ่มจำนวนจริง (r) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง [0.0, 1.0] โดยถ้าจำนวนจริงที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Probability of Crossover : P_c) แล้ว โครโมโซมคู่นั้นจึงจะเกิดการครอสโอเวอร์
3. ครอสโอเวอร์โดยแลกเปลี่ยนส่วนของคู่โครโมโซมพ่อแม่นั้น โดย

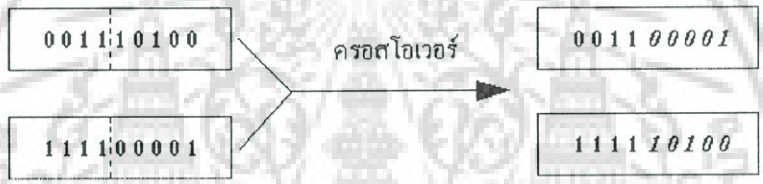
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุ่มเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์
- แลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิทของคู่โครโมโซมพ่อแม่ ตั้งแต่ตำแหน่งที่สุ่มได้จนหมด ซึ่งทำให้เกิดโครโมโซมรุ่นลูกใหม่จำนวน 2 โครโมโซม

การครอสโอเวอร์ในแต่ละรุ่นสามารถทำได้มากกว่า 1 คู่ ขึ้นอยู่กับอัตราค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ซึ่งจำนวนของการครอสโอเวอร์สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3.43

$$\text{จำนวนของการครอสโอเวอร์} = P_c \times (\text{Popsize} / 2) \qquad (3.43)$$

เมื่อ P_c คือความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และ Popsize คือขนาดของประชากรในรุ่นนั้นๆ ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบไบนารี เช่น ถ้าสุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ได้เป็นตำแหน่งที่ 4 การแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมจะเกิดขึ้นหลังตำแหน่งที่ 5 เรื่อยไปจนถึงตำแหน่งสุดท้าย เกิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม ดังแสดงในรูปที่ 3.17

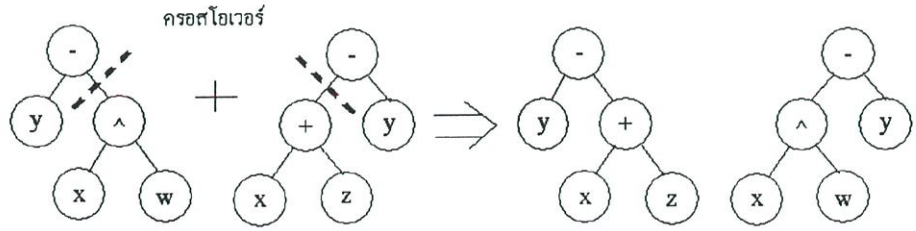


รูปที่ 3.17 แสดงกระบวนการครอสโอเวอร์แบบไบนารี

ตัวอย่างการครอสโอเวอร์โครโมโซมแบบตัวอักษรหลังตำแหน่งที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.18

รูปที่ 3.18 แสดงกระบวนการครอสโอเวอร์แบบตัวอักษร

ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบทรี แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การครอสโอเวอร์ของโครโมโซมแบบทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2.7 การมิวเตชัน (Mutation)

การมิวเตชันหรือการผ่าเหล่า เป็นลักษณะของการนำโครโมโซมเก่ามาสุ่มแก้ไขค่าบางค่า เช่น ทำให้ค่าของบางตำแหน่งเปลี่ยนไป โดยทำการกลับบิทเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งบิทที่สุ่มได้ ตามค่าความน่าจะเป็นของการมิวเตชันในแต่ละบิท (Probability of Mutation : P_m) ที่กำหนด โดยการมิวเตชันจะทำการสุ่มค่า r ของแต่ละตำแหน่งบิทในแต่ละโครโมโซม โดยถ้าค่า r ณ ตำแหน่งของบิทใดเป็นไปดังสมการที่ 3.44

$$r \leq P_m \tag{3.44}$$

ค่าของบิท ณ ตำแหน่งนั้นก็จะถูกทำมิวเตชัน จำนวนบิทที่จะถูกทำการมิวเตชันนั้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.45

$$\text{จำนวนของการมิวเตชัน} = P_m \text{ x } Popsize \text{ x } L \tag{3.45}$$

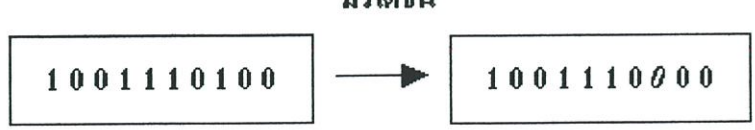
เมื่อ P_m คือ ความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน

$Popsize$ คือ ขนาดของประชากรในรุ่นนั้นๆ

L คือ ความยาวของโครโมโซม

ผลจากการมิวเตชัน ทำให้ได้โครโมโซมใหม่ที่มีรูปแบบของโครโมโซมแตกต่างจากเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเป็นโครโมโซมที่ดีขึ้นหรือเลวลงก็ได้ หากโครโมโซมที่ได้ใหม่เป็นโครโมโซมที่เลวลง คือ มีค่าความเหมาะสมต่ำลง โครโมโซมที่ได้นี้ก็จะถูกคัดออกไปในขั้นตอนการคัดเลือก (Selection) นั่นเอง

วัตถุประสงค์ของการมิวเตชันคือ เพื่อประกันการสูญหายของข้อมูล และเพื่อความหลากหลายของข้อมูล สำหรับไบนารีมิวเตชัน เป็นการปรับเปลี่ยนข้อมูล ณ ตำแหน่งที่กำหนดนั้น โดยเปลี่ยนข้อมูลจาก 0 เป็น 1 หรือกลับกัน ตัวอย่างของการทำมิวเตชันแสดงดังรูปที่ 3.20 ซึ่งเป็นการสุ่มเลือกทำมิวเตชัน ณ ตำแหน่งที่ 8

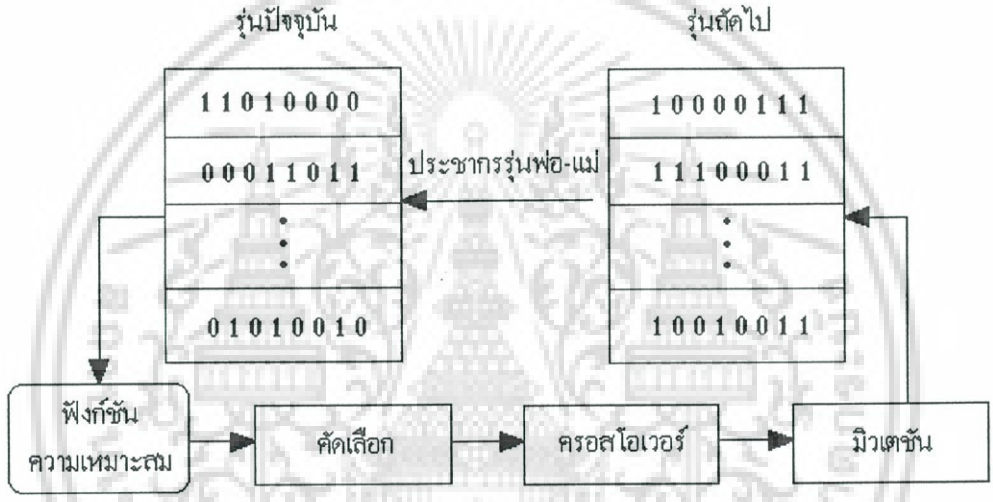


รูปที่ 3.20 แสดงกระบวนการไบนารีมิวเตชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2.8 การสร้างประชากรรุ่นใหม่

ประชากรรุ่นใหม่เป็นกลุ่มโครโมโซมรุ่นลูกที่เกิดจากกระบวนการของวิวัฒนาการต่างๆ ทั้งหมด เริ่มตั้งแต่การวัดค่าความเหมาะสม ทำการคัดเลือก สุ่มเลือกเพื่อนำมาทำครอสโอเวอร์และมิวเตชันตามค่าความน่าจะเป็นที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งเมื่อชุดโครโมโซมรุ่นลูกผ่านวิวัฒนาการต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นก็จะทำให้เกิดประชากรรุ่นใหม่ โดยที่ประชากรรุ่นใหม่นี้จะถูกถ่ายทอดกลายเป็นประชากรรุ่นเก่า สำหรับวิวัฒนาการรุ่นถัดไปเช่นเดียวกัน ซึ่งจะเรียกวิวัฒนาการนี้ว่า การถ่ายทอดแบบทั่วไป หรือรีโพรดักชันแบบทั่วไป (General Reproduction) ขบวนการทั้งหมดในการสร้างประชากรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงกระบวนการสร้างประชากรในรุ่นถัดไป

3.8.2.9 การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ

การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ตัวแปรที่ใช้ควบคุมการทำงานและเงื่อนไขการสิ้นสุดการทำงาน

1) ตัวแปรที่ใช้ควบคุมการทำงาน ตัวแปรในกลุ่มนี้ได้แก่

1. การกำหนดขนาดของประชากร (Population Size) จำนวนขนาดของประชากรมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ ความเร็วในการค้นหาคำตอบ และการใช้ทรัพยากรของระบบ ถ้าจำนวนประชากรน้อยเกินไป อาจทำให้ได้คำตอบที่ขาดประสิทธิภาพในการแก้ปัญหานั้นๆ ได้ แต่หากจำนวนประชากรมีมากเกินไปแล้วจะส่งผลให้การทำงานเพื่อค้นหาคำตอบจะต้องใช้เวลาและทรัพยากรมากขึ้น ดังนั้นการกำหนดจำนวนขนาดของประชากรจะต้องมีความเหมาะสม [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการคัดเลือก (Probability of Selection) การสุ่มเลข เพื่อเข้าสู่การคัดเลือกโดยใช้แบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel) ถ้าตัวเลขที่สุ่มได้ทำให้เกิดช่วงค่าที่แคบเกินไป หรือกว้างเกินไป อาจทำให้โครโมโซมที่ดีไม่ถูกคัดเลือก หรือทำให้เกิดการคัดเลือกโครโมโซมบางตัวซ้ำๆ แม้ว่าในรุ่นนั้นจะมีประชากรโครโมโซมอื่นๆ อีกก็ตาม

3. การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover Probability) ที่เหมาะสม เพื่อผลิตโครโมโซมที่มีความหลากหลายในประชากรรุ่นต่อไป การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมมีส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ

4. การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Mutation Probability) ที่เหมาะสม ซึ่งแต่ละปัญหาก็จะต้องการค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และมิวเตชันที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหา เพื่อให้การค้นหาคำตอบมีประสิทธิภาพมากที่สุด

5. จำนวนรุ่น (Number of Generation) ในการค้นหาคำตอบ

2) เงื่อนไขการสิ้นสุดการทำงาน

โดยปกติการแก้ไขปัญหาจะเสร็จสิ้นเมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุด คือได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด สามารถแก้ไขปัญหาหรือเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้นๆ หรือในแนวทางหนึ่งสามารถกำหนดให้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมสิ้นสุดการทำงานเมื่อถึงรุ่นสูงสุด (Max Generation) ที่กำหนดไว้ แล้วนำโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดมาเป็นคำตอบที่ใกล้เคียง

กล่าวโดยสรุป จีเนติกอัลกอริทึมเป็นเทคนิคที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งเลียนแบบมาจากกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติที่นำมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาในการหาคำตอบต่างๆ ซึ่งพื้นฐานการทำงานเบื้องต้นเป็นจีเนติกอัลกอริทึมแบบง่าย มีรูปแบบโครโมโซมเป็นแบบไบนารี การคัดเลือกใช้แบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก การครอสโอเวอร์เป็นการครอสโอเวอร์แบบหนึ่งจุด และมิวเตชันแบบไบนารี ซึ่งสามารถช่วยแก้ปัญหาในการค้นหาคำตอบให้แก่ระบบได้ ในการประยุกต์ใช้จีเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาต่างๆ นั้นจะต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงในบางส่วน เช่น รูปแบบของโครโมโซม ฟังก์ชันความเหมาะสม หรือค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อให้เข้ากับรูปแบบของปัญหา และเพื่อให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดให้แก่ปัญหานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ

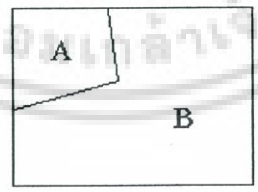
งานวิจัยระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อจะพัฒนาระบบการค้นคืนภาพให้เป็นไปตามแนวคิดระดับสูง (High Level Concept) มีการกำหนดดัชนีให้แก่ภาพโดยคำนึงถึงความหมายควบคู่ไปกับคุณลักษณะต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ในภาพ ผู้ใช้สามารถค้นคืนรูปภาพที่ต้องการได้โดยใช้คำค้น ไม่ต้องใช้ภาพตัวอย่างดังเช่นระบบค้นคืนภาพทั่วไป ซึ่งระบบนี้ได้จัดทำขึ้นภายใต้แบบจำลองเวกเตอร์สเปซ (Vector Space Model) โดยแต่ละคำค้นและรูปภาพในฐานข้อมูลจะแทนให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์

ผู้ใช้สามารถเลือกวิธีการค้นคืนได้ 2 แบบ คือวิธีค้นคืนแบบตรง (Exact match) และวิธีค้นคืนแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) สำหรับวิธีการค้นคืบแบบตรง จะนำคำค้นของผู้ใช้ไปค้นหาภาพโดยตรง ส่วนวิธีการค้นคืนที่ใช้จีเนติกอัลกอริทึมจะทำการปรับปรุงคำค้นของผู้ใช้ให้ขยายครอบคลุมถึงคำสำคัญอื่นๆ จากนั้นจึงจะนำคำค้นที่ปรับปรุงแล้วไปทำการค้นคืนภาพ

ในแต่ละวิธีการค้นคืนข้อมูล ผู้ใช้จะสามารถกำหนดค้นค้น (Query) เพื่อหารูปภาพที่ต้องการได้ 2 ลักษณะคือ ค้นคืนแบบโดยรวม (Global) และค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local)

4.1 การค้นคืนแบบโดยรวม (Global) และแบบเฉพาะที่ (Local)

ระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพนี้ ผู้ใช้สามารถค้นหารูปภาพจากคุณลักษณะสีและพื้นผิวได้ 2 ลักษณะคือแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่ พิจารณารูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างรูปภาพที่มีพื้นผิวต่างกัน 2 พื้นผิว โดย A และ B แทนบริเวณพื้นผิวที่แตกต่างกัน

4.1.1 การค้นคืนแบบโดยรวม (Global)

การค้นคืนแบบโดยรวม จะเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลของคุณลักษณะสี และพื้นผิวที่สนใจ กับจำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ (A+B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

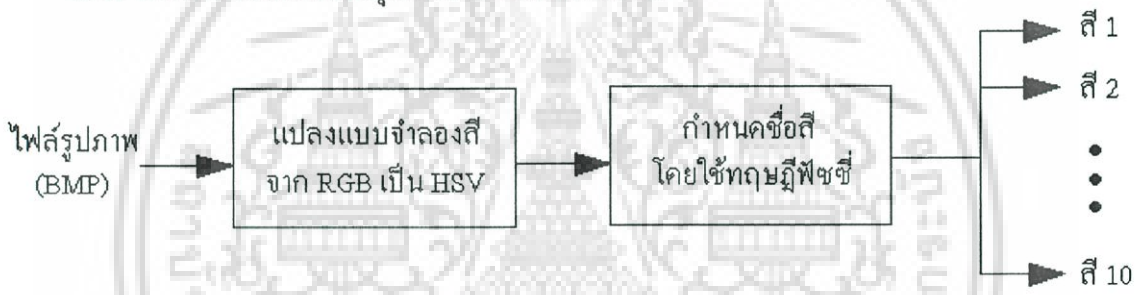
4.1.2 การค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local)

การค้นคืนแบบเฉพาะที่ จะเปรียบเทียบจำนวนพิกเซลของคุณลักษณะสี และพื้นผิวที่สนใจ กับจำนวนพิกเซลเฉพาะบริเวณนั้นๆ (คิดแยกบริเวณ A, B)

4.2 การกำหนดดัชนีให้แก่รูปภาพแบบโดยรวม (Global)

เนื่องจากระบบนี้อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถแสดงคำค้น โดยใช้คุณลักษณะสีและพื้นผิวร่วมกันได้ทั้งแบบโดยรวม (Global) และแบบเฉพาะที่ (Local) ดังนั้นการกำหนดดัชนีให้แก่รูปภาพจึงต้องกำหนดแตกต่างกัน สำหรับการกำหนดดัชนีให้แก่รูปภาพแบบโดยรวม จะกำหนดดังนี้

4.2.1 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบโดยรวม



รูปที่ 4.2 กระบวนการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบโดยรวม

ขั้นตอนของการกำหนดดัชนีคุณลักษณะสีให้แก่รูปภาพแบบโดยรวม เริ่มจากนำไฟล์รูปภาพชนิด BMP ซึ่งมีขนาด 1,024x768 พิกเซล มาทำการแปลงจากแบบจำลองสี RGB ให้เป็น HSI ก่อน จากนั้นจะแยกเอาแต่ละส่วนประกอบ H, S และ I ไปพิจารณาสี การกำหนดสีจะพิจารณาจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและการกระทำยูเนียน (Union Operation; $\mu_{x\cup y}= max[x, y]$) โดยใช้ฟัซซี่เซตในรูปที่ 4.3 และกฎอินเฟอเรนซ์ (Inference Rules) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งจะได้สีทั้งหมด 10 สีได้แก่ สีแดง สีน้ำตาล สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีฟ้า สีม่วง สีเทา สีดำ และสีขาว

จากนั้นจะนับจำนวนพิกเซลของแต่ละสีที่คัดแยกออกมาได้ และทำการเปรียบเทียบกับจำนวนพิกเซลทั้งหมดของภาพ ตามสมการที่ 4.1 เพื่อคิดเป็นสัดส่วนของสีนั้นๆ ในภาพ

$$NC_i = \frac{C_i}{N} \qquad (4.1)$$

เมื่อ NC_i เป็นจำนวนของสี i เทียบกับจำนวนพิกเซลรวมทั้งหมดของภาพ โดยที่

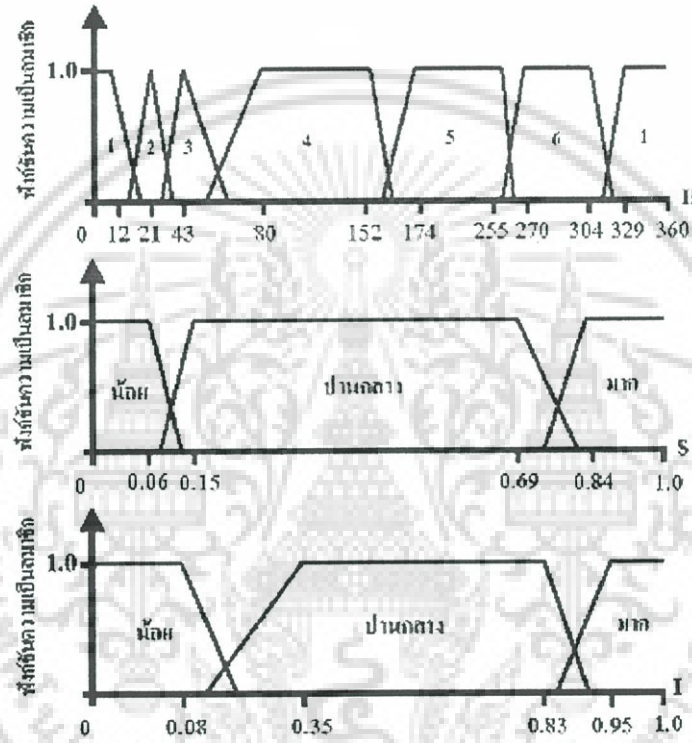
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i = {แดง, น้ำตาล, ส้ม, เหลือง, เขียว, ฟ้า, ม่วง, เทา, ดำ, ขาว}

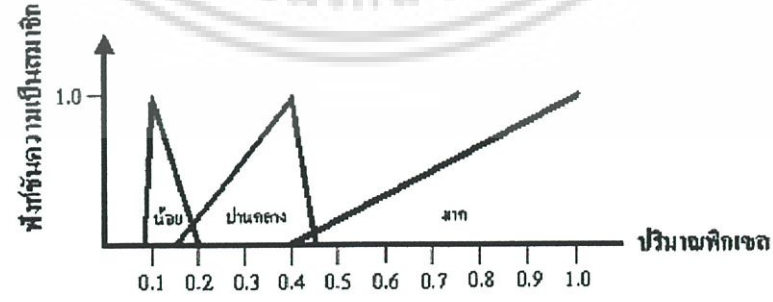
C_i จำนวนพิกเซลของสี i

N จำนวนพิกเซลรวมทั้งหมดของภาพ

จากนั้นจะนำปริมาณของสี (NC_i) ที่ได้นี้ไปพิจารณาในฟัซซี่เซตของดัชนีปริมาณ ในรูปที่ 4.4 เพื่อหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ของแต่ละปริมาณสี และเก็บลงในฐานข้อมูล



รูปที่ 4.3 แสดงฟัซซี่เซตของแต่ละองค์ประกอบสีในแบบจำลองสี HSI



รูปที่ 4.4 แสดงฟัซซี่เซตของดัชนีบอกปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 กฎอินเฟอเรนซ์ (Inference Rules) สำหรับการกำหนดชื่อสี

เงื่อนไขที่ 1 (H)	เงื่อนไขที่ 1 (S)	เงื่อนไขที่ 1 (I)	ผล
1	ปานกลาง	ปานกลาง	สีแดง (Red)
1	มาก	ปานกลาง	สีแดง (Red)
2	ปานกลาง	ปานกลาง	สีน้ำตาล (Brown)
2	มาก	ปานกลาง	สีส้ม (Orange)
3	ปานกลาง	ปานกลาง	สีเหลือง (Yellow)
3	มาก	ปานกลาง	สีเหลือง (Yellow)
4	ปานกลาง	ปานกลาง	สีเขียว (Green)
4	มาก	ปานกลาง	สีเขียว (Green)
5	ปานกลาง	ปานกลาง	สีฟ้า (Blue)
5	มาก	ปานกลาง	สีฟ้า (Blue)
6	ปานกลาง	ปานกลาง	สีม่วง (Purple)
6	มาก	ปานกลาง	สีม่วง (Purple)
หมายเลขใดๆ	น้อย	ปานกลาง	สีเทา (Gray)
หมายเลขใดๆ	ปริมาณใดๆ	น้อย	สีดำ (Black)
หมายเลขใดๆ	ปริมาณใดๆ	มาก	สีขาว (White)

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการเก็บดัชนีสีและค่าสมาชิกดัชนีบอกปริมาณในฐานข้อมูล

ดัชนี / ภาพที่	สี1			สี2			...	สี10		
	น้อย	ปานกลาง	มาก	น้อย	ปานกลาง	มาก	...	น้อย	ปานกลาง	มาก
I1	0.00	0.45	0.00	0.72	0.00	0.00		0.00	0.00	0.88
I2	0.11	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	...	0.00	0.00	0.00
I3	0.00	0.00	0.75	0.44	0.00	0.00		0.63	0.00	0.00

จากตารางที่ 4.2 ค่าความเป็นสมาชิกของสีที่ปริมาณต่างๆ จะเป็นค่าที่จะถูกนำไปพิจารณาการเรียงลำดับรูปภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

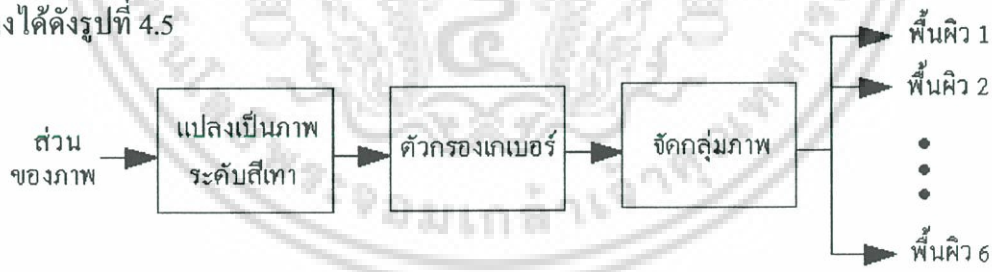
ตัวอย่างการพิจารณาดัชนีบอกปริมาณของคุณลักษณะสี และพื้นผิว ผลที่ได้เป็นการยูเนียนของฟัซซี่เซต $\mu_{\text{น้อย}\cup\text{ปานกลาง}\cup\text{มาก}} = max$[น้อย, ปานกลาง, มาก] ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการกำหนดดัชนีบอกปริมาณให้แก่สีและพื้นผิว

สี / พื้นผิว	ปริมาณพิกเซล	ค่าความเป็นสมาชิก (Membership Value)			
		น้อย	ปานกลาง	มาก	ผล
สีแดง	0.163	0.80	0.00	0.00	สีแดงน้อย
สีเขียว	0.302	0.00	0.51	0.00	สีเขียวปานกลาง
สีขาว	0.711	0.00	0.00	0.48	สีขาวมาก
อิฐ	0.950	0.00	0.00	0.98	อิฐมาก

4.2.2 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวแบบโดยรวม

ขั้นตอนของการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวให้แก่รูปภาพ เริ่มจากการนำแต่ละส่วนของภาพที่ได้ทำการแบ่งส่วนไว้แล้ว มาแปลงเป็นภาพระดับสีเทา เพื่อเข้าสู่การคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวด้วยตัวกรองเกเบอร์ (Gabor Filtering) สำหรับการจัดกลุ่มภาพนั้น ได้ทำการเทรนกลุ่มพื้นผิวไว้ก่อนแล้วด้วยการจัดกลุ่มแบบเค-มีน ซึ่งจะได้ค่ากลาง และค่าโควาเรียนท์ (Covariant) ของแต่ละกลุ่มพื้นผิว จากนั้นจะนำส่วนของภาพที่จะทดสอบ ไปหาค่าระยะทางกับกลุ่มพื้นผิวแต่ละกลุ่ม หากระยะทางใดสั้นที่สุด ก็จะจัดภาพให้เข้ากลุ่มนั้น กระบวนการกำหนดดัชนีคุณลักษณะพื้นผิวแสดงได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กระบวนการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวของรูปภาพ

จากนั้นจะนับจำนวนพิกเซลของพื้นผิวแต่ละบริเวณ และทำการเปรียบเทียบกับจำนวนพิกเซลทั้งภาพ ตามสมการ (4.2) เพื่อคิดเป็นสัดส่วนของพื้นผิวนั้นๆ ในภาพ

$$NTj = \frac{T_j}{N} \qquad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ NT_j เป็นจำนวนของพื้นผิว j เทียบกับจำนวนพิกเซลรวมทั้งหมดของภาพ โดย j = {ขนและหญ้า, อิฐ, เมล็ดพืช, ผิวหนังและพื้นเรียบ, พื้นทราย และกรวด และ กลุ่มพื้นผิวที่ไม่กำหนด }

T_j จำนวนพิกเซลของพื้นผิว j

N จำนวนพิกเซลรวมทั้งหมดของภาพ

จากนั้นจะนำปริมาณของพื้นผิวนี้ (NT_j) ไปพิจารณาในฟัซซี่เซตของดัชนีปริมาณ ในรูปที่ 4.4 เพื่อหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ปริมาณต่างๆ และเก็บลงในฐานข้อมูลต่อไป

ส่วนของภาพที่จะนำมาจัดกลุ่มคุณลักษณะพื้นผิวนั้น จะต้องมีขนาดใหญ่กว่า 128x128 พิกเซล เนื่องจากว่าหากส่วนของภาพมีขนาดเล็กกว่านี้จะไม่สามารถวิเคราะห์พื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.3 ดัชนีของรูปภาพแบบโดยรวม

สำหรับดัชนีของรูปภาพแบบโดยรวม จะกำหนดตามสมการ (4.3)

$$I = [C_1 \ldots C_{10}\ T_1 \ldots T_6] \qquad (4.3)$$

เมื่อ I เป็นเวกเตอร์ของรูปภาพในฐานข้อมูล

C_i เป็นปริมาณของแต่สี โดย i = 1, 2, …, 10 แทนสีแดง, สีน้ำตาล, สีส้ม, สีเหลือง, สีเขียว, สีฟ้า, สีม่วง, สี เทา, สีดำ, สีขาว ตามลำดับ

T_j เป็นจำนวนพิกเซลของพื้นผิวเทียบกับจำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพ โดย j = 1, 2 ,…, 6 แทนพื้นผิวขนสัตว์ หญ้า อิฐ เมล็ดพืช พื้นเรียบ และพื้นทราย ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างดัชนีรูปภาพแบบโดยรวม โดยแสดงค่าสมาชิกเป็นคู่อันดับฟัซซี่

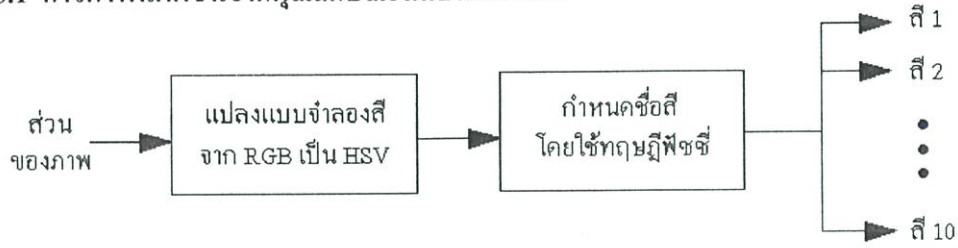
รูปภาพ	ดัชนี
I_1	สีฟ้า(น้อย,0.20) หญ้า(น้อย,0.15) สีแดง(มาก,0.80)
I_2	สีฟ้า(น้อย,0.10) สีเหลือง (ปานกลาง,0.60) สีแดง(มาก,0.70)

จากตัวอย่างดัชนีรูปภาพในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า แม้ว่าทั้งสองภาพจะมีดัชนี “สีแดงมาก” เหมือนกัน แต่สามารถจัดอันดับได้โดยการพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกของ “มาก” ว่ารูปใดมีค่ามากกว่า ก็จะจัดอันดับให้มีความเหมือนกับคำค้นมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การกำหนดดัชนีให้แก่รูปภาพแบบเฉพาะที่ (Local)

4.3.1 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบเฉพาะที่



รูปที่ 4.6 กระบวนการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะสีแบบเฉพาะที่

ขั้นตอนของการกำหนดดัชนีคุณลักษณะสีให้แก่รูปภาพแบบเฉพาะที่ เริ่มจากนำส่วนของรูปภาพ ซึ่งจะให้เหลือขนาด 128x128 พิกเซล มาทำการแปลงจากแบบจำลองสี RGB ให้เป็น HSI ก่อนจะแยกเอาแต่ละส่วนประกอบ H, S และ I ไปพิจารณาเพื่อกำหนดชื่อสี เช่นเดียวกันกับการกำหนดดัชนีคุณลักษณะสีแบบโดยรวม

จากนั้นจะนับจำนวนพิกเซลของแต่ละสีที่คัดแยกออกมาจากแต่ละบริเวณ (Region) และทำการเปรียบเทียบจำนวนสีกับจำนวนพิกเซลของบริเวณนั้น ตามสมการ (4.4) เพื่อคิดเป็นสัดส่วนของสีนั้นๆ ในแต่ละบริเวณของภาพ

$$nc_i = \frac{c_i}{n} \tag{4.4}$$

เมื่อ nc_i เป็นจำนวนพิกเซลของสี i เทียบกับจำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณที่สนใจ โดย i = {แดง, น้ำตาล, ส้ม, เหลือง, เขียว, ฟ้า, ม่วง, เทา, ดำ, ขาว}

c_i จำนวนพิกเซลของสี i ในบริเวณที่สนใจ

n จำนวนพิกเซลทั้งหมดของบริเวณที่สนใจ

จากนั้นจะนำปริมาณของสีเมื่อเทียบกับบริเวณที่สนใจนี้ (nc_i) ไปพิจารณาในฟัซซี่เซตของดัชนีปริมาณ ในรูปที่ 4.4 เพื่อหาค่าความเป็นสมาชิกที่ปริมาณต่างๆ และเก็บลงในฐานข้อมูลต่อไป

4.3.2 การกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวแบบเฉพาะที่

ขั้นตอนของการกำหนดดัชนีจากคุณลักษณะพื้นผิวของบริเวณต่างๆ ในภาพนั้น จะคล้ายกับการกำหนดดัชนีพื้นผิวแบบโดยรวมคือ แต่ละส่วนของภาพที่ผ่านการแบ่งส่วน (Segmentation) ด้วยมือมาแล้ว จะนำมาตัดส่วนภาพย่อย (Subimage) ขนาด 128x128 พิกเซล เพื่อใช้เป็นตัวแทนของภาพบริเวณนั้นๆ จากนั้นจะทำเป็นภาพระดับสีเทา และทำการคัดแยกหากลุ่มของพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะนับจำนวนพิกเซลของแต่ละบริเวณพื้นผิว เพื่อนำไปพิจารณาในฟัซซี่เซตของดัชนีปริมาณ ในรูปที่ 4.4 เพื่อหาค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ปริมาณต่างๆ และเก็บลงในฐานข้อมูลต่อไป

4.3.3 ดัชนีของรูปภาพแบบเฉพาะที่

ดัชนีของรูปภาพแบบเฉพาะที่ แสดงในสมการที่ 4.5

$$I_R = [c_1 \ \ldots \ c_{10} \ T_1 \ \ldots \ T_6] \qquad (4.5)$$

เมื่อ I_R เป็นเวกเตอร์ของรูปภาพแบบเฉพาะที่

c_i เป็นปริมาณของแต่สี โดย $i = 1, 2, \ldots, 10$ แทนสีแดง, สีน้ำตาล, สีส้ม, สีเหลือง, สีเขียว, สีฟ้า, สีม่วง, สี เทา, สีดำ, สีขาว ตามลำดับ

T_j เป็นปริมาณพิกเซลพื้นผิวของบริเวณที่สนใจ

ตารางที่ 4.5 แสดงตัวอย่างดัชนีรูปภาพแบบเฉพาะที่ โดยแสดงค่าสมาชิกเป็นคู่อันดับฟัซซี่

รูปภาพ	ดัชนี
I_3	สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.4) สีแดง(มาก,0.8) อิฐ(มาก,0.8)
I_4	สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.4) สีแดง(มาก,0.8) อิฐ(มาก,0.5)

จากตัวอย่างในตารางที่ 4.5 ทั้งสองบริเวณที่ค้นคืนมาได้แม้จะเป็นพื้นผิวอิฐเหมือนกัน แต่ว่าดัชนีบอกปริมาณแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าผู้ใช้ต้องการค้นคืนเฉพาะที่ "อิฐมาก และ สีน้ำตาลปานกลาง และ สีแดงมาก" ก็จะได้ภาพทั้งสองภาพ โดยที่ภาพ I_3 จะถูกจัดอันดับให้มาก่อนภาพ I_4

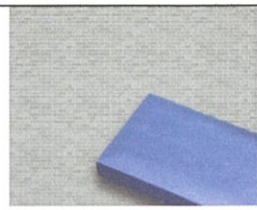
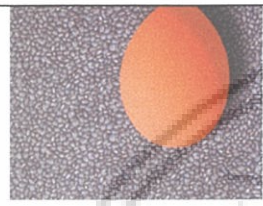
สำหรับตัวอย่างรูปภาพและดัชนี ทั้งแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่ เป็นไปดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงตัวอย่างภาพ และดัชนีสี

ที่	รูปภาพ	ดัชนี
1		Global : สีดำ(ปานกลาง, 0.27) สีน้ำตาล(น้อย, 0.19) สีเขียว(ปานกลาง, 0.54) ขน(มาก, 0.40) หญ้า(น้อย, 0.60) Local : พื้นผิวขน : สีเทา(ปานกลาง, 0.83) สีดำ(ปานกลาง, 0.42) สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.44) สีน้ำเงิน(น้อย, 0.12) พื้นผิวหญ้า : สีดำ(น้อย, 0.92) สีเขียว(มาก, 0.78)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

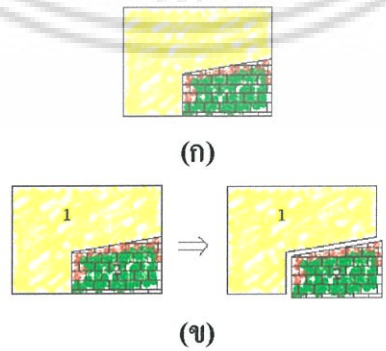
2		Global : สีเทา(ปานกลาง, 0.92) สีเขียว(น้อย, 0.46) สีน้ำเงิน(ปานกลาง, 0.44) อิฐ(มาก, 0.47) พื้นเรียบ(น้อย, 0.94) Local : พื้นผิวอิฐ : สีเทา(มาก, 0.23) สีน้ำตาล(น้อย, 0.61) สีเขียว(ปานกลาง, 0.84) พื้นเรียบ : สีน้ำเงิน(มาก, 1.0)
3		Global : สีเทา(น้อย, 0.52) สีดำ(ปานกลาง, 0.29) สีแดง(ปานกลาง, 0.35)เมล็ด(มาก, 0.50) พื้นเรียบ(น้อย,1.0) Local : พื้นผิวเมล็ด : สีเทา(มาก, 0.55) สีดำ(ปานกลาง, 0.29) พื้นผิวเรียบ : สีแดง(มาก, 0.88) สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.43)

4.4 ระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ

ในงานวิจัยนี้ ได้สร้างระบบการใช้คำ ในการค้นคืนภาพ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างเวกเตอร์ของคำค้น (Query Vector) และเวกเตอร์ของรูปภาพ (Image Vector) ในฐานข้อมูล

4.4.1 การเรียกคุณลักษณะสีและพื้นผิวของรูปภาพ สำหรับผู้ใช้

พิจารณารูปที่ 4.7 และฟัซซี่เซตแสดงปริมาณในรูปที่ 4.4



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการเรียกคุณลักษณะต่างๆ ในภาพ (ก) แบบโดยรวม (ข) แบบเฉพาะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 (ก) เป็นการพิจารณาคุณลักษณะภาพโดยรวม (มองภาพรวม) ซึ่งจะได้ว่า ภาพนี้มีสีเหลืองมาก สีเขียวปานกลาง สีแดงน้อย สีขาวน้อย มีพื้นผิวเรียบปริมาณมาก อิฐปานกลาง

รูปที่ 4.7 (ข) เป็นการพิจารณาคุณลักษณะภาพแบบเฉพาะที่ (มองแยกบริเวณ) ซึ่งจะแยกได้ 2 บริเวณ โดยที่บริเวณ 1 พื้นผิวเรียบมาก มีสีเหลืองมาก สีขาวน้อย สำหรับบริเวณ 2 เป็นพื้นผิวอิฐปานกลาง สีเขียวมาก สีแดงน้อย (สำหรับสีขาวมีปริมาณที่น้อยกว่าฟัซซี่เซต "น้อย" ที่กำหนด ดังนั้นจึงไม่พิจารณา)

4.4.2 รูปแบบของคำค้นคืนแบบโดยรวม (Global)

รูปแบบของคำค้นแบบโดยรวม จะมีลักษณะดังสมการ (4.6) ซึ่งอาจเป็นคำเดี่ยว หรือเป็นกลุ่มคำที่เชื่อมด้วยบูลีน และ (AND), หรือ (OR) โดยผู้ใช้จะเลือกค้นคืนได้อย่างมาก 2 สีและ 2 พื้นผิว

$$Q = \text{"}(C_1 qw \ \langle \text{AND/OR} \rangle \ T_1 qw) \ \text{AND/OR} \ (C_2 qw \ \langle \text{AND/OR} \rangle \ T_2 qw)\text{"} \qquad (4.6)$$

เมื่อ Q คือ คำค้นของผู้ใช้

qw คือ ดัชนีบอกปริมาณ (มาก, ปานกลาง, น้อย)

C_1, C_2 คือ สีใดๆ ที่ต้องการค้นคืน

T_1, T_2 คือ พื้นผิวใดๆ ที่ต้องการค้นคืน

AND, OR คือ บูลีน และ, หรือ ตามลำดับ

ในการค้นคืนแบบโดยรวม (Global) นี้ จะเป็นไปดังที่กำหนดไว้ตั้งแต่ตอนต้น นั่นคือ การคิดปริมาณของสีและพื้นผิวจะเทียบกับจำนวนพิกเซลรวมทั้งภาพ

ตัวอย่างคำค้นคืนแบบโดยรวม

1. ต้องการค้นคืนภาพใดๆ ที่อย่างน้อยมีสีเขียวปานกลางเป็นส่วนประกอบ จะได้ Q = "สีเขียวปานกลาง"
2. ต้องการค้นคืนภาพใดๆ ที่อย่างน้อยมีสีเขียวปานกลาง หรือสีแดงเป็นส่วนประกอบ จะได้ Q = "สีเขียวปานกลาง OR สีแดงน้อย"
3. ต้องการค้นคืนภาพใดๆ ที่มีทั้งสีเขียวปานกลางและสีแดงน้อยเป็นส่วนประกอบในภาพเดียวกัน จะได้ Q = "สีเขียวปานกลาง AND สีแดงน้อย"
4. ต้องการค้นคืนภาพใดๆ ที่มีสีเขียวน้อยและพื้นผิวอิฐมาก หรือ มีสีขาวปานกลางและพื้นทรายมากเป็นส่วนใหญ่ในภาพ จะได้ Q = "(สีเขียวน้อย AND อิฐมาก) OR (สีขาวปานกลาง AND พื้นเรียบมาก)"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 รูปแบบของคำค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local)

สำหรับคำค้นคืนแบบเฉพาะที่นั้นจะกำหนดตามสมการ (4.7)

$$Q = \text{“}(Q_1 qw \text{ AND } Q_2\ qw) \text{ AND/OR } (Q_3\ qw \text{ AND } Q_4\ qw)\text{”} \qquad (4.7)$$

เมื่อ Q คือ คำค้นของผู้ใช้

Q_1, Q_2 คือ สีหรือพื้นผิวที่ต้องการค้นคืน ; $Q_1 \neq Q_2$

Q_3, Q_4 คือ สีหรือพื้นผิวที่ต้องการค้นคืน ; $Q_3 \neq Q_4$

qw คือ ดัชนีบอกปริมาณ (มาก, ปานกลาง, น้อย)

AND, OR คือ บูลีน และ, หรือ ตามลำดับ

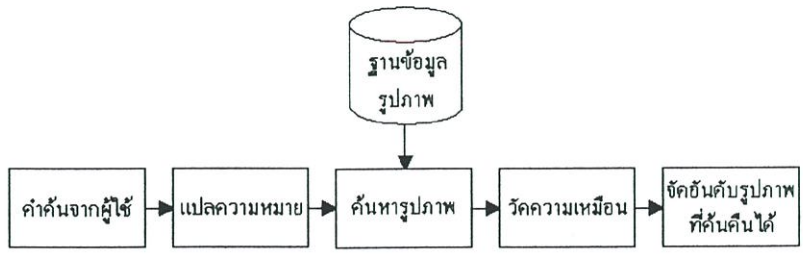
รูปแบบของคำค้นในแบบเฉพาะที่นี้ ดัชนีพื้นผิวจะยังเป็นการคิดสัดส่วนเทียบกับทั้งภาพ แต่สำหรับดัชนีบอกปริมาณของสีจะเป็นการเทียบปริมาณสีกับบริเวณที่สนใจเท่านั้น ดังนั้นถ้าบอกว่าสีเขียวมาก จะหมายถึง เฉพาะในบริเวณนั้น มีส่วนของสีเขียวมากกว่าสีอื่นๆ ยกตัวอย่างรูปที่ 4.7

ตัวอย่างคำค้นคืนแบบเฉพาะที่

1. ต้องการค้นคืนภาพใดๆ ที่มีพื้นผิวหญ้ามาก (เปรียบเทียบกับทั้งภาพ) และในบริเวณนั้นมีสีน้ำตาลปริมาณปานกลาง (เปรียบเทียบเฉพาะบริเวณหญ้า) จะได้ Q = “หญ้ามาก AND สีน้ำตาลปานกลาง”
2. ต้องการคืนคืนภาพใดๆ ที่มีบริเวณเป็นพื้นเรียบเป็นส่วนใหญ่ และ มีสีแดงมากหรือสีม่วงปานกลาง (ปริมาณสีเทียบเฉพาะบริเวณ) จะได้ Q = “พื้นเรียบมาก AND (สีแดงมาก OR สีม่วงปานกลาง)”
3. ถ้าไม่ต้องการระบุพื้นผิว แต่ต้องการค้นคืนบริเวณใดๆ ก็ได้ที่มีสีส้มปานกลางและสีฟ้าน้อย (ไม่สนใจพื้นผิวแต่จะเทียบสีเฉพาะบริเวณนั้น) จะได้ Q = “ไม่ระบุ AND (สีส้มปานกลาง AND สีฟ้าน้อย)”

4.4.4 วิธีการค้นคืนแบบตรง (Exact Matching)

ระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพนี้ มีขั้นตอนของการค้นคืนแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงกระบวนการค้นคืนรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการค้นคืนรูปภาพในระบบนี้ มีขั้นตอนดังนี้

1. ผู้ใช้กำหนดคำค้นให้แก่ระบบ
2. เข้าสู่ขั้นตอนการแปลความหมายคำค้น ซึ่งจะพิจารณาว่าผู้ใช้ต้องการค้นคืนภาพแบบโดยรวมหรือแบบเฉพาะที่ มีคำเชื่อมบูลีนใดบ้าง
3. ทำการค้นหารูปภาพในฐานข้อมูลที่สัมพันธ์กับคำค้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการเปรียบเทียบผลจากการใช้วิธีค้นคืน 2 วิธีได้แก่การค้นคืนแบบตรง (Exact Matching) และการค้นคืนโดยใช้ จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)
4. รูปภาพทั้งหมดที่ถูกค้นคืนขึ้นมาได้ จะนำไปวัดค่าความเหมือน (Similarity Measure) กับคำค้นของผู้ใช้
5. จัดอันดับความเหมือนจากมากไปน้อย และแสดงภาพให้แก่ผู้ใช้

วิธีการค้นคืนแบบแรกที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้คือวิธีการค้นคืนแบบตรง (Exact Matching) ซึ่งจะแสดงตัวอย่างของการค้นคืน ดังนี้

1. ผู้ใช้กำหนดคำค้นแบบโดยรวม Q = "(สีแดงปานกลาง AND อิฐมาก) OR (สีม่วงปานกลาง AND หญ้าน้อย)"
2. ทำการแปลความหมายคำค้น นั่นคือจะค้นหาภาพที่มีคุณลักษณะโดยรวมเป็นไปดังคำค้น เนื่องจากเชื่อมด้วยบูลีน "หรือ" ดังนั้นจึงสามารถแยกคำค้นได้เป็นคำค้นย่อย $q1$, q_2 โดยที่

   q_1 = "สีแดงมาก AND อิฐมาก"

   q_2 = "สีม่วงปานกลาง AND หญ้าน้อย"

   แต่ละคำค้นย่อย เชื่อมด้วย "AND" ดังนั้นการค้นหาจะค้นหาเฉพาะภาพที่มีคุณลักษณะทั้งสองปรากฏอยู่ (ในการค้นคืนแบบโดยรวม คำว่าทั้งสองคุณลักษณะปรากฏอยู่ในภาพ คือปรากฏอยู่พร้อมกันในภาพๆ หนึ่ง แต่จะอยู่ในส่วนใดของภาพก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเป็นบริเวณเดียวกัน หากต้องการให้เป็นบริเวณเดียวกันจะต้องค้นคืนในแบบเฉพาะที่ ซึ่งผู้ใช้จะเลือกการค้นแบบนี้ได้จากโปรแกรมที่ได้เตรียมไว้)
3. ค้นหารูปภาพที่มีดัชนีตรงตามคำค้น โดยครั้งแรกจะค้นคืนตาม q_1 ครั้งที่สองจะค้นคืนตาม q_2 แล้วนำผลที่ได้จากการค้นคืน 2 ครั้งมารวมกัน (ตามคำเชื่อม OR; $q_1 \cup q_2$)
4. เรียงลำดับความเหมือนของรูปภาพทั้งหมดที่ค้นคืนได้ จากมากไปน้อย โดยพิจารณาความสำคัญก่อนหลังตามคำค้นของผู้ใช้ ในกรณีนี้จะได้ว่า

   Q = "(สีแดงปานกลาง AND อิฐมาก) OR (สีม่วงปานกลาง AND หญ้าน้อย)"

   ถ้าภาพที่ค้นคืนมาได้ (R_i) เป็นดังนี้

   R_1 = แดง(ปานกลาง, 0.35) อิฐ(มาก, 0.42) หญ้า(น้อย,0.80)

   R_2 = แดง(ปานกลาง, 0.52) อิฐ(มาก, 0.21) หญ้า(น้อย,0.55)

   R_3 = แดง(ปานกลาง, 0.52) อิฐ(มาก, 0.77) ม่วง(ปานกลาง,0.35)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่จะแสดงให้แก่ผู้ใช้จะเป็น R_3, R_2 และ R_1 ตามลำดับ

5. แสดงภาพที่จัดลำดับแล้วให้แก่ผู้ใช้

4.4.5 วิธีการค้นคืนโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

การใช้จีเนติกอัลกอริทึมมากประยุกต์ใช้ในการค้นคืนข้อมูลนี้ เป็นแนวความคิดที่มาจากการประยุกต์จีเนติกอัลกอริทึมใช้ในการค้นคืนสารสนเทศที่เป็นข้อมูลเอกสาร [2-33] ซึ่งในงานค้นคืนเอกสารนั้น แต่ละเอกสารจะมีคำสำคัญหรือดัชนีอยู่แล้ว แต่สำหรับการค้นคืนข้อมูลที่เป็นรูปภาพจำเป็นจะต้องทำดัชนีให้รูปภาพก่อน

การนำจีเนติกอัลกอริทึมมาในงานค้นคืนข้อมูลนั้นมีวัตถุประสงค์หลัก คือ นำจีเนติกอัลกอริทึมมาปรับปรุงคำค้น โดยการขยาย (Expansion) คำค้นให้ครอบคลุมถึงคำอื่นๆ ที่ไม่ได้ปรากฏในคำค้นแต่มีความหมายใกล้เคียงหรือความสัมพันธ์กัน ซึ่งผู้ใช้อาจให้คำค้นที่ไม่ครอบคลุมข้อมูลที่ตนต้องการ จีเนติกอัลกอริทึมจะทำให้คำค้นมีการขยาย เพิ่มเติมคำสำคัญที่จะค้นคืน เป็นการเปรียบเทียบแบบไม่ตรงกัน (Non-Exact matching) ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.4.2 หลังจากที่ขยายคำค้นแล้ว จึงทำการค้นคืนรูปภาพโดยใช้การค้นคืนจากคำค้นที่ปรับปรุงแล้วอีกครั้งหนึ่ง

สำหรับตัวอย่างของวิธีการค้นคืนโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม จะแสดงได้ดังนี้

1. ยกตัวอย่างคำค้นเดียวกับแบบแรก คือ Q = "(สีแดงปานกลาง AND อิฐมาก) OR (สีม่วงปานกลาง AND หญ้าน้อย)"
2. ทำการแปลความหมายของคำค้น จากรูปแบบของ Q แสดงว่าผู้ใช้ค้นคืนแบบโดยรวม มีบูลีน "หรือ" ดังนั้นจึงสามารถแยกคำค้นได้เป็นคำค้นย่อย $q1$, q_2 โดยที่

   q_1 = "สีแดงปานกลาง AND อิฐมาก"

   q_2 = "สีม่วงมาก AND หญ้าน้อย"
3. นำ q_1 = "สีแดงปานกลาง AND อิฐมาก" มาทำการขยายคำค้น

   ขั้นแรก ค้นคืนรูปภาพที่มีดัชนีตรงกับ q_1 เพื่อนำมาเข้ารหัสสร้างประชากรรุ่นแรก (Initial Population) ตัวอย่าง ในฐานข้อมูลมีรูปภาพที่ตรงกับคำค้น q_1 ดังนี้

   I_1 = {สีแดงปานกลาง, สีน้ำตาลมาก, สีส้มปานกลาง, สีเหลืองน้อย, สีดำน้อย, สีเทาน้อย, อิฐมาก, หญ้าน้อย}

   I_2 = {สีแดงปานกลาง, สีน้ำตาลปานกลาง, สีส้มปานกลาง, สีดำน้อย, สีเขียวน้อย, พื้นเรียบปานกลาง, อิฐมาก}

   I_3 = {สีแดงปานกลาง, สีน้ำตาลน้อย, สีส้มน้อย, สีดำน้อย, ทรายปานกลาง, อิฐมาก}

   I_4 = {สีแดงปานกลาง, สีน้ำตาลปานกลาง, สีส้มน้อย, สีเทาน้อย, สีขาวน้อย, อิฐมาก, ทรายน้อย}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_5 = {สีแดงปานกลาง , สีน้ำตาลมาก, สีเทาปานกลาง, สีเขียวน้อย, อิฐมาก, หญ้าน้อย}

I_6 = {สีแดงปานกลาง, สีน้ำตาลมาก, สีดำน้อย, อิฐมาก, เมล็ดพืชน้อย}

I_7 = {สีแดงปานกลาง, สีน้ำตาลปานกลาง, สีดำน้อย, อิฐมาก, พื้นเรียบน้อย}

จะได้ภาพที่ค้นคืนในขั้นแรกที่ทั้งหมดจำนวน 7 ภาพ

ขั้นที่สอง พิจารณาคำค้น q_1 = "สีแดงปานกลาง AND อิฐมาก"

ในการขยายคำค้นโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึมนี้ จะขยายเฉพาะคุณลักษณะสี ส่วนพื้นผิวจะยึดตามคำค้น ดังนั้นจาก q_1 คำที่จะขยายคือ "สีแดงปานกลาง" ส่วนพื้นผิวนั้นจะยึดอิฐเป็นหลัก

จากนั้นนำชุดรูปภาพที่ค้นคืนได้ในขั้นแรกมาพิจารณาคำสำคัญ จะเห็นว่าทุกภาพมีคำหลักคือ สีแดงปานกลาง และอิฐมาก จึงจะเก็บสองคำหลักนี้ไว้ แล้วเรียงดัชนีสีของภาพที่เหลือ (ไม่นำพื้นผิวมาเพราะต้องการอิฐเท่านั้น) ดังนี้

สีน้ำตาลมาก, สีน้ำตาลปานกลาง, สีน้ำตาลน้อย, สีส้มปานกลาง, สีส้มน้อย, สีเหลืองน้อย, สีเขียวน้อย, สีเทาปานกลาง, สีเทาน้อย, สีดำน้อย, สีขาวน้อย

จากนั้นจึงนำมาแปลงเป็นโครโมโซม โดยใช้ตัวเลข "1" หรือ "0" เพื่อใช้แทนการมีหรือไม่มีคำสำคัญ ณ ตำแหน่งต่างๆ และจะนำเสนอในรูปแบบไบนารี ดังนี้

I_1 = 1001 0100 110

I_2 = 0101 0010 010

I_3 = 0010 1000 010

I_4 = 0100 1000 101

I_5 = 1000 0011 000

I_6 = 1000 0000 010

I_7 = 0100 0000 010

ขั้นตอนนี้เองที่ส่งผลต่อความยาวของโครโมโซม โดยหากชุดของรูปภาพที่ค้นคืนขึ้นมาได้มีดัชนีจำนวนมาก หรือมีดัชนีที่ซ้ำกันน้อยจะทำให้โครโมโซมมีขนาดยาว ถ้าชุดรูปภาพมีดัชนีที่ค่อนข้างเหมือนกันหรือมีดัชนีไม่มากนัก ก็จะทำให้ความยาวโครโมโซมมีขนาดสั้นลง จากตัวอย่างนี้จะได้ความยาวโครโมโซมคือ 11 บิท หลังจากการเข้ารหัสแล้ว จะได้โครโมโซมจำนวนหนึ่ง เรียกว่า ประชากรต้นกำเนิด ซึ่งจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมซึ่งได้แก่ การคัดเลือก การครอสโอเวอร์ และมิวเตชันต่อไป

ขั้นที่สาม ทำการวัดค่าความเหมาะสม กล่าวคือ รูปภาพใดมีค่าความเหมาะสมสูง แสดงว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปภาพในกลุ่มมาก นั่นคือกลุ่มคำสำคัญที่ใช้แทนรูปภาพนั้นสามารถเป็นตัวแทนของกลุ่มรูปภาพหรือเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับกลุ่มรูปภาพนั้นอย่างมาก สำหรับฟังก์ชันความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมที่กล่าวถึงในบทที่ 4 อันได้แก่ สัมประสิทธิ์ของไดซ์ (Dice Coefficient) สัมประสิทธิ์โคซาย (Cosine Coefficient) และสัมประสิทธิ์แจคคาร์ด (Jaccard Coefficient) นั้น จากงานวิจัย [33] พบว่าในการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีขนาดหรือมิติ (Dimension) เท่ากัน ค่าความเหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชันทั้งสามจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับตัวอย่างนี้จะใช้สัมประสิทธิ์แจคคาร์ดเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม เนื่องจากเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่สะดวกในการคำนวณและไม่ซับซ้อน ผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่คำนวณได้จากสัมประสิทธิ์แจคคาร์ด

รูปภาพ	โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม
I_1	1001 0100 110	0.323
I_2	0101 0010 010	0.352
I_3	0010 1000 010	0.282
I_4	0100 1000 101	0.234
I_5	1000 0011 000	0.221
I_6	1000 0000 010	0.347
I_7	0100 0000 010	0.350

ตารางที่ 4.8 ค่าความเหมาะสมและการคัดเลือกโครโมโซม

ที่	โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	P_{Si}	q_i	r	โครโมโซมที่เลือก
1	1001 0100 110	0.323	0.121	0.121	0.530	7
2	0101 0010 010	0.352	0.121	0.242	0.210	2
3	0010 1000 010	0.282	0.086	0.328	0.060	1
4	0100 1000 101	0.234	0.020	0.348	0.117	2
5	1000 0011 000	0.221	0.059	0.407	0.450	6
6	1000 0000 010	0.347	0.086	0.493	0.342	4
7	0100 0000 010	0.350	0.108	0.601	0.597	7
รวม		2.109	1.000			
เฉลี่ย		0.301	0.143			
ค่าสูงสุด		0.352				

สำหรับการคัดเลือก จะใช้ค่าสุ่มแบบจำลองการหมุนวงล้อถ่วงน้ำหนัก (Roulette Wheel) ดังที่ได้อธิบายในบทที่ 3 ชุดโครโมโซมที่ได้รับการเข้ารหัสและวัดค่าความเหมาะสมแล้วจะถูกนำมาทำการคัดเลือกเพื่อเข้าสู่รุ่นต่อไป แสดงดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผ่านขั้นตอนการคัดเลือกแล้ว โครโมโซมที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกทำสำเนาตามจำนวนที่ได้รับคัดเลือก จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน ตารางที่ 4.9 แสดงโครโมโซมที่ได้จากการครอสโอเวอร์หนึ่งตำแหน่ง

ในบางครั้ง ภายหลังจากการครอสโอเวอร์ อาจเกิดปัญหาโครโมโซมมีรูปแบบที่เหมือนกันหลายๆ บิท การที่จะช่วยลดปัญหานี้คือการทำมิวเตชัน ซึ่งทำได้โดยการกลับบิทจาก "1" เป็น "0" หรือ "0" เป็น "1" การทำมิวเตชันนี้จะทำให้โครโมโซมมีรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น นอกจากนี้การทำมิวเตชันยังทำให้โครโมโซมรุ่นก่อนที่ดีแต่ไม่ถูกคัดเลือก ได้มีโอกาสกลับเข้ามาสู่กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมอีกครั้ง ในรุ่นต่อๆ ไป

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงโครโมโซมในขั้นตอนการครอสโอเวอร์

ที่	โครโมโซม	สุ่มจับคู่พ่อแม่	r	สุ่มตำแหน่ง	โครโมโซมที่ได้	ค่าความเหมาะสม
1	0100 1000 101	1,6	0.610	10	0100 1000 100	0.270
2	0101 0010 010				0101 0000 010	0.397
3	1001 0100 110				1001 0100 110	0.623
4	1001 0100 110	4,3	0.731	6	1001 0100 110	0.419
5	0010 1000 010	-	-	-	0010 1000 010	0.297
6	0100 0000 010				0100 0000 011	0.340
7	1000 0000 010	7,2	0.584	4	1000 0010 010	0.301
				รวม		2.647
				ค่าเฉลี่ย		0.378
				ค่าสูงสุด		0.623

ขั้นที่สี่ ดำเนินการตามขั้นตอนที่สามจนกระทั่งถึงรุ่นที่กำหนด จะได้โครโมโซม ที่เหมาะสม (Optimized Query Chromosome) ซึ่งก็คือ คำค้นที่ปรับปรุงแล้ว และจะนำไปค้นค้นรูปภาพต่อไป เช่น $Q_{optimized}$ = 1100 1000 010

ขั้นที่ห้า เป็นขั้นตอนสุดท้าย ที่จะทำการแปลงโครโมโซมที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่สี่มาถอดรหัสหรือแปลงให้เป็นคำค้นที่ปรับปรุงแล้วหรือที่เรียกว่าคำค้นของระบบ (System Query) โดยการเปรียบเทียบค่าบิท ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยถ้าบิทใดมีค่าเป็น 1 จะหมายถึงคำสำคัญ ณ ตำแหน่งนั้นจะถูกนำไปรวมอยู่ในคำค้นของระบบ จาก $Q_{optimized}$ = 1100 1000 010 จะแปลงให้เป็นคำค้นของระบบได้ดังนี้ คือ สีน้ำตาลมาก OR สีน้ำตาลปานกลาง OR สีส้มน้อย OR สีดำน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำคำค้นที่ปรับปรุงแล้วไปรวมกับคำค้นใน q_1 จะได้เป็น

$q_{1(Optimized)}$ = "(สีแดงปานกลาง OR สีน้ำตาลมาก OR สีน้ำตาลปานกลาง OR สีส้มน้อย OR สีดำน้อย) AND อิฐมาก"

สิ่งที่ได้จากกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมนี้ คือ คำค้นที่ปรับปรุงแล้วจากคำค้นเดิมของผู้ใช้ ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมคำสำคัญที่บ่งบอกคุณลักษณะสีบางสีในภาพที่น่าจะเกี่ยวข้องกับความต้องการของผู้ใช้ นอกเหนือจากคำที่ผู้ใช้ใช้ค้นคืนโดยตรง

4. ทำ q_2 เช่นเดียวกันกับ q_1
5. นำผลที่ได้จากการค้นคืน q_1, q_2 มารวมกัน $(q_1 \cup q_2)$ ตามคำค้น Q ที่กำหนดตั้งแต่แรก
6. เรียงลำดับค่าความเหมือนของรูปภาพที่ค้นคืนได้ โดยพิจารณาตามลำดับของคำค้นและเรียงตามค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละคุณลักษณะจากมากไปน้อย
7. แสดงภาพที่จัดลำดับแล้วให้แก่ผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองระบบการใช้คำ ในการค้นคืนรูปภาพ

ระบบการใช้คำ ในการค้นคืนภาพนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูลรูปภาพ

ในขั้นตอนนี้ ระบบจะทำการคัดแยกคุณลักษณะสำคัญในภาพ ได้แก่ สีและพื้นผิว โดยสีจะคัดแยกโดยการทำฮิสโตแกรมสี ร่วมกับการใช้ทฤษฎีฟัซซี่ในการกำหนดดัชนีสีและปริมาณต่างๆ สำหรับพื้นผิว จะใช้ตัวกรองเกเบอร์ในการคัดแยกคุณลักษณะ ก่อนจะทำการจัดกลุ่มเพื่อกำหนดชื่อพื้นผิว เมื่อได้คุณลักษณะต่างๆ เหล่านี้แล้ว จะจัดเก็บลงในฐานข้อมูลต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การค้นคืนรูปภาพ

ในขั้นตอนนี้ ผู้ใช้จะกำหนดคำค้นเพื่อค้นคืนรูปภาพในฐานข้อมูล การกำหนดคำค้นจะเป็นการเลือกคำค้นที่เป็นไปได้ในแต่ละกรณีจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งวิธีการค้นคืน 2 วิธีการคือ

1. การค้นคืนแบบตรง ได้แก่ การค้นคืนด้วยคุณลักษณะต่างๆ ที่กำหนดดังนี้
   - ค้นคืนจากสี 1 สี
   - ค้นคืนจากสี 2 สี
   - ค้นคืนจากพื้นผิว 1 พื้นผิว
   - ค้นคืนจากพื้นผิว 2 พื้นผิว
   - ค้นคืนจากการนำทั้งสองคุณลักษณะมาประกอบกัน ได้แก่ สีอย่างมาก 2 สี และพื้นผิวอย่างมาก 2 พื้นผิว
2. การค้นคืนแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น จะสามารถใช้ในการค้นคืนต่อไปนี้
   - ค้นคืนจากสี 1 สี
   - ค้นคืนจากสี 2 สี
   - ค้นคืนจากการนำทั้งสองคุณลักษณะมาประกอบกัน ได้แก่ สีอย่างมาก 2 สี และพื้นผิวอย่างมาก 2 พื้นผิว อย่างไรก็ตาม คำค้นที่จะถูกขยายได้จะเป็นเพียงสีเท่านั้น เนื่องจากพบว่า คำค้นสีจะถูกปรับปรุงให้ขยายไปยังสีที่ใกล้เคียงกันได้ แต่พื้นผิวนั้นไม่สามารถทำได้

แต่ละวิธีการ สามารถทำการค้นคืนได้ 2 ลักษณะดังนี้

1. การค้นคืนแบบโดยรวม (Global)
2. การค้นคืนแบบเฉพาะที่ (Local)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

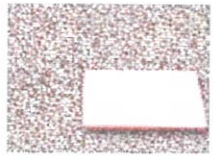
5.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองในขั้นตอนที่ 1 นี้ เป็นคัดแยกค่าคุณลักษณะ (feature value) ต่างๆ ได้แก่ สีและพื้นผิว อันดับแรกจะคัดแยกสีเพื่อกำหนดดัชนีสี โดยใช้การทำฮิสโตแกรมและฟัซซี่อินเฟอร์เรนซ์รูลในการกำหนดชื่อสีและปริมาณ (มาก, ปานกลาง, น้อย)

5.2.1 การกำหนดดัชนีสี แบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่

ตัวอย่างภาพที่ถูกคัดแยกสี และกำหนดดัชนีสีแล้วเป็นไปดังตารางที่ 5.1

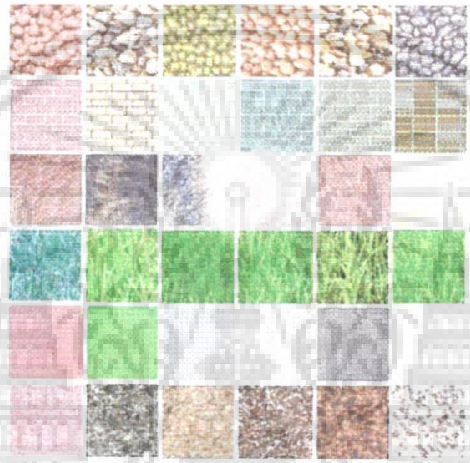
ตารางที่ 5.1 แสดงดัชนีสีของรูปภาพ ทั้งแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่

รูปที่	รูปภาพ	ดัชนีสี
1		Global : สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.94) สีเขียว(มาก,0.20) Local : อิฐ : สีเทา(ปานกลาง,0.41) สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.53) หญ้า : สีเขียว(มาก, 0.92) สีดำ(น้อย, 0.10)
2		Global : สีแดง(น้อย,0.29) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.72) สีเหลือง(น้อย,0.79) สีเขียว(ปานกลาง,0.544) สีดำ(น้อย, 0.60) Local : หญ้า : สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.14) สีเหลือง(น้อย,1.00) สีเขียว(มาก, 0.74) พื้นเรียบ : สีดำ(น้อย, 0.19) สีแดง(ปานกลาง, 0.68) สีน้ำตาล(น้อย, 0.78) สีเหลือง(น้อย, 0.44) สีเขียว(ปานกลาง, 0.48)
3		Global : สีเทา(มาก, 0.18) สีดำ(ปานกลาง, 0.97) สีน้ำตาล(น้อย, 0.93) Local : ขน : สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.38) สีดำ(น้อย, 0.62) สีเทา(น้อย 0.10) พื้นเรียบ : สีเทา(มาก, 0.18) สีดำ(ปานกลาง, 0.97) สีขาว(น้อย, 0.10)
4		Global : สีเทา(ปานกลาง,0.32) สีแดง(ปานกลาง,0.75) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.71) สีเหลือง(น้อย,0.812) Local : พื้นเรียบ : สีขาว(น้อย,1.000) สีแดง(น้อย,0.980) เมล็ด : สีน้ำตาล(มาก,0.728)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว และการกำหนดดัชนีพื้นผิวแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่

เมื่อคัดแยกสีและกำหนดดัชนีสีแล้ว ต่อไปจะเป็นการคัดแยกค่าคุณลักษณะของพื้นผิวเพื่อจะนำมากำหนดดัชนีพื้นผิวให้แก่ภาพ ในการคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวจากภาพนั้น ในขั้นแรกได้ทดลองโดยการนำภาพพื้นผิวขนาด 128x128 พิกเซล ทั้งหมด 6 กลุ่มพื้นผิวได้แก่ เมล็ดพืช อิฐ ขน ทราย พื้นเรียบ และหญ้า เป็นภาพกลุ่มพื้นผิวเมล็ดพืช 98 ภาพ, อิฐ 130 ภาพ, ขน 200 ภาพ, ทราย 108 ภาพ, พื้นเรียบ 168 ภาพและหญ้า 96 ภาพ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.1 โดยใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐานและจัดกลุ่มโดยวิธีการเค-มีน ใช้ระยะทางยูคลิเดียนในการวัดระยะห่างของข้อมูล ผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างภาพพื้นผิว 6 กลุ่มที่ใช้ในการทดลอง

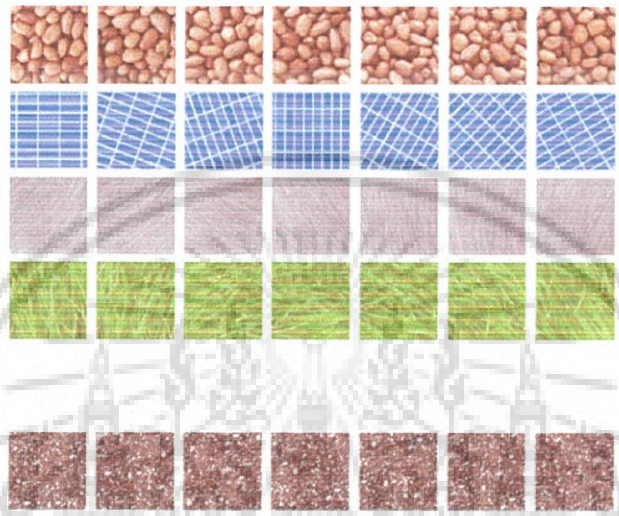
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มพื้นผิว ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐานที่ใช้มีขนาด 60x60, s =5 และ t =6 เมื่อ s และ t คือ scale และ orientation ตามลำดับและใช้ระยะทางยูคลิเดียน ในการจัดกลุ่ม

กลุ่มพื้นผิว	ขน	หญ้า	อิฐ	เมล็ดพืช	ทราย	พื้นเรียบ	% ความถูกต้อง
ขน	122	57	-	-	-	21	61.00
หญ้า	26	63	-	7	-	-	65.63
อิฐ	-	1	99	30	-	-	76.15
เมล็ดพืช	-	2	35	61	-	-	62.24
ทราย	-	-	-	-	76	32	70.37
พื้นเรียบ	-	-	-	-	2	166	98.81
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง							72.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.2 พบว่า เมื่อใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐานคัดแยกคุณลักษณะและทำการจัดกลุ่ม สามารถจัดกลุ่มภาพที่มีลักษณะพื้นผิวใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ โดยได้ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 72.37 %

จากนั้นทำการหมุนภาพ ให้แต่ละภาพมีการหมุนเป็นมุม 20°, 70°, 90°, 120°, 135° และ 150° ดังภาพตัวอย่างในรูปที่ 5.2 แล้วนำมาทำการจัดกลุ่มอีกครั้ง



รูปที่ 5.2 แสดงภาพพื้นผิวที่ถูกทำการหมุนในมุมต่างๆ

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มพื้นผิว เมื่อหมุนเป็นมุมต่างๆ กัน โดยใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐาน

กลุ่มพื้นผิว	ขน	หญ้า	อิฐ	เมล็ดพืช	ทราย	พื้นเรียบ	% ความถูกต้อง
ขน	102	98	-	-	-	-	51.00
หญ้า	46	50	-	-	-	-	52.08
อิฐ	-	-	78	52	-	-	60.00
เมล็ดพืช	-	-	31	67	-	-	68.37
ทราย	-	-	-	3	98	7	90.74
พื้นเรียบ	-	-	-	-	2	166	98.81
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง							70.17

จากตารางที่ 5.3 พบว่า ค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มภาพ มีค่าลดลงเหลือ 70.17 % แม้ว่าจะเป็นกลุ่มภาพกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐานใช้คัดแยกคุณลักษณะภาพที่มีการหมุนได้ไม่ดีนัก เมื่อศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมพบว่าตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลม สามารถคัดแยกคุณลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่มีการหมุนได้ดี [52] จึงทำการทดลองอีกครั้งโดยใช้ภาพกลุ่มเทรนจำนวน 480 ภาพต่อกลุ่มภาพพื้นผิว แต่ละภาพมีการหมุน 4 ทิศทางที่มีการหมุนแตกต่างกันดังนี้ 0°, 30°, 45° และ 60° มาคัดแยกคุณลักษณะและคำนวณค่าโควาเรียนท์ของแต่ละกลุ่ม เพื่อทดลองจัดกลุ่มภาพโดยใช้ระยะทางมหาลาโนบิส จากนั้นนำภาพทดสอบกลุ่มเดิม (กลุ่มภาพที่มีการหมุน 20°, 70°, 90°, 120°, 135° และ 150°) มาทำการหาระยะห่างที่น้อยที่สุดเทียบกับแต่ละกลุ่มพื้นผิว จากนั้นจัดกลุ่มภาพอีกครั้ง ผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มพื้นผิวที่มีการหมุน โดยใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลม F=2.0, 3.17, 5.04 และ 8.0 เมื่อ F คือ รัศมีของตัวกรองในโดเมนความถี่

กลุ่มพื้นผิว	ขน	หญ้า	อิฐ	เมล็ดพืช	ทราย	พื้นเรียบ	% ความถูกต้อง
ขน	170	30	-	-	-	-	85.00
หญ้า	14	82	-	-	-	-	85.41
อิฐ	-	-	99	31	-	-	76.13
เมล็ดพืช	-	-	6	92	-	-	93.88
ทราย	-	-	-	-	100	8	92.59
พื้นเรียบ	-	-	-	-	2	166	98.81
						ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง	88.63

จากตารางที่ 5.4 พบว่า เมื่อใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลมคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวที่ภาพมีการหมุน จะ ให้ค่าความถูกต้องมากกว่าการใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบพื้นฐาน

สำหรับการกำหนดชื่อพื้นผิว (Texture Naming) ให้แก่ภาพที่จะใช้ในระบบการค้นคืน จะเริ่มจากนำรูปภาพพื้นผิวขนาด 1,024x768 พิกเซล จำนวน 250 ภาพ แต่ละภาพประกอบด้วยพื้นผิวที่แตกต่างกัน 2 พื้นผิว มาทำการแบ่งส่วน (Segmentation) ในขั้นนี้จะได้ภาพย่อย (Subimage) จำนวน 500 ภาพ และนับพิกเซลแต่ละส่วนพื้นผิวที่ปรากฏในภาพ นำไปหาดัชนีปริมาณของพื้นผิว ได้แก่ น้อย, ปานกลาง และมาก ซึ่งในแต่ละคำบอกปริมาณนี้จะมีค่าความเป็นสมาชิกด้วย เพื่อที่จะสามารถจัดเรียงภาพที่ค้นคืนขึ้นมาได้ในภายหลัง จากนั้นจะนำส่วนของภาพขนาด 128x128 พิกเซล ไปคัดแยกคุณลักษณะและคำนวณหาระยะทางกับกลุ่มพื้นผิวที่ได้เทรนไว้ก่อนแล้วว่าควรจะจัดอยู่ในกลุ่มใด ผลที่ได้เป็นไปดังตารางที่ 5.5

จากนั้นทำการกำหนดชื่อพื้นผิวให้แก่ภาพตามที่กำหนดไว้ 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มพื้นผิวเมล็ดพืช อิฐ ขน หญ้า พื้นเรียบ และทราย เมื่อได้ดัชนีสี ดัชนีพื้นผิวและดัชนีปริมาณต่างๆ แล้ว จะนำไปรวมกันเป็นดัชนีรวมที่เป็นคำสำคัญ ใช้แทนรูปภาพนั้นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

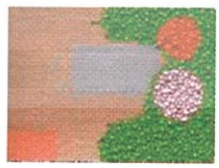
ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่มและกำหนดดัชนีพื้นผิว

กลุ่มพื้นผิว	ขน	หญ้า	อิฐ	เมล็ดพืช	ทราย	พื้นเรียบ	% ความถูกต้อง
ขน	111	13	-	-	-	-	89.52
หญ้า	3	52	2	1	5	-	82.54
อิฐ	1	4	72	1	-	-	92.31
เมล็ดพืช	-	6	-	54	3	-	85.71
ทราย	1	-	2	2	63	-	92.65
พื้นเรียบ	2	-	1	-	-	101	97.11
ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง							89.97

5.2.3 การกำหนดดัชนีพื้นผิวแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่

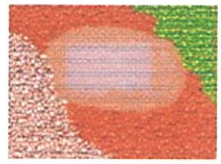
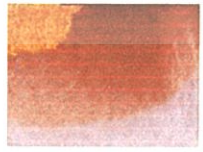
เมื่อได้ดัชนีสีและพื้นผิวแล้ว แต่ละภาพจะมีดัชนีรวมซึ่งเป็นคำสำคัญประจำภาพ ประกอบไปด้วยคุณลักษณะและปริมาณ โดยจะเขียนแสดงเป็นคู่อันดับฟัซซี่ คือ ชื่อคุณลักษณะ(ดัชนีปริมาณ, $\mu(x)$) เมื่อชื่อคุณลักษณะ คือ สีหรือพื้นผิว ส่วน $\mu(x)$ คือ ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณนั้นๆ ตัวอย่างดัชนีรวมของภาพ (ดัชนีสีและดัชนีพื้นผิว) แสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงดัชนีพื้นผิวรวมของรูปภาพ ทั้งแบบโดยรวมและแบบเฉพาะที่

รูปที่	รูปภาพ	ดัชนีสี
1		Global : สีเทา(น้อย,0.300) สีแดง(น้อย,0.64) สีน้ำตาล(ปานกลาง, 0.77) สีเขียว (ปานกลาง, 0.42) พื้นผิวอิฐ(ปานกลาง, 0.49) พื้นผิวเมล็ด(ปานกลาง,0.81) Local : 1. พื้นผิวอิฐ : สีเทา(ปานกลาง,0.580) สีแดง(น้อย,0.844) สีน้ำตาล(มาก,0.388) 2. พื้นผิวเมล็ด : สีดำ(น้อย,0.370) สีแดง(ปานกลาง,0.184) สีเขียว(มาก,0.400) สีม่วง(ปานกลาง,0.542)

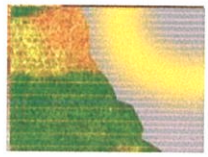
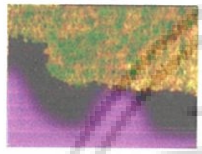
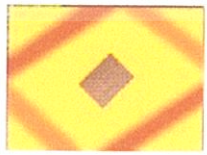
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

2		Global : สีเทา(น้อย,0.310) สีดำ(น้อย,0.900) สีเขียว(น้อย,0.950) สีแดง(ปานกลาง,0.744) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.524) พื้นผิวอิฐ (ปานกลาง,0.632) พื้นผิวเมล็ด(มาก,0.584) Local : 1. พื้นผิวอิฐ : สีเทา(มาก,0.196) สีน้ำตาล(มาก,0.124) 2. พื้นผิวเมล็ด : สีดำ(น้อย,0.710) สีแดง(มาก,0.166) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.204) สีเขียว(น้อย,0.480)
3		Global : สีเทา(ปานกลาง,0.560) สีดำ(น้อย,0.430) สีน้ำตาล(มาก,0.192) สีแดง(น้อย,1.000) พื้นผิวอิฐ (มาก,0.168) พื้นผิวขน(มาก,0.232) Local : 1. พื้นผิวอิฐ : สีเทา(ปานกลาง,0.216) สีแดง(น้อย,0.890) สีน้ำตาล(มาก,0.538) 2. พื้นผิวขน : สีเทา(ปานกลาง,0.884) สีดำ(ปานกลาง,0.580) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.732)
4		Global : สีเทา(น้อย,0.980) สีน้ำตาล(มาก,0.494) สีเขียว(น้อย,0.990) สีเหลือง(น้อย,0.822) พื้นผิวขน(ปานกลาง,0.560) พื้นผิวหญ้า(มาก,0.356) Local : 1. พื้นผิวขน : สีเทา(ปานกลาง,0.260) สีน้ำตาล(มาก,0.726) 2. พื้นผิวหญ้า : สีน้ำตาล(มาก,0.326) สีส้ม(น้อย,0.122) สีเหลือง(น้อย,0.120) สีเขียว(ปานกลาง,0.648)
5		Global : สีเทา(น้อย,0.11) สีน้ำตาล(มาก,0.768) พื้นผิวขน (มาก,0.990) พื้นผิวหญ้า(น้อย,0.950) Local : 1. พื้นผิวขน : สีเทา(ปานกลาง,0.244) สีน้ำตาล(มาก,0.758) 2. พื้นผิวหญ้า : สีน้ำตาล(มาก,0.858) สีส้ม(น้อย,0.660)

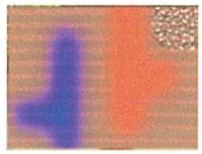
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

6		Global : สีเทา(น้อย,0.300) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.576) สีเหลือง(น้อย,0.520) สีเขียว(ปานกลาง,0.704) พื้นผิวหญ้า(มาก,0.240) พื้นผิวเรียบ(มาก,0.160) Local : 1. พื้นผิวหญ้า : สีดำ(น้อย,0.900) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.340) สีเขียว(มาก,0.452) 2. พื้นผิวเรียบ : สีเทา(ปานกลาง,0.816) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.836) สีเหลือง(ปานกลาง,0.548)
7		Global : สีดำ(ปานกลาง,0.444) สีเขียว(ปานกลาง,0.388) สีม่วง(ปานกลาง,0.472) พื้นผิวหญ้า(มาก,0.224) พื้นผิวเรียบ(มาก,0.176) Local : 1. พื้นผิวหญ้า : สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.996) สีเขียว(มาก,0.164) 2. พื้นผิวเรียบ : สีดำ(มาก,0.102) สีม่วง(มาก,0.298)
8		Global : สีขาว(น้อย,1.000) สีแดง(น้อย,0.670) สีน้ำตาล(ปานกลาง,0.312) สีเหลือง(น้อย,0.812) สีเขียว(น้อย,0.350) สีฟ้า(น้อย,0.12) สีม่วง(น้อย,0.580) พื้นผิวเรียบ(มาก,0.868) พื้นผิวทราย(น้อย,0.340) Local : 1. พื้นผิวเรียบ : สีขาว(น้อย,1.000) สีแดง(น้อย,0.980) สีน้ำตาล(น้อย,0.320) สีเหลือง(น้อย,0.510) สีเขียว(น้อย,0.310) สีฟ้า(ปานกลาง,0.300) สีม่วง(น้อย,0.300) 2. พื้นผิวทราย : สีน้ำตาล(มาก,0.728)
9		Global : สีแดง(ปานกลาง,0.232) สีน้ำตาล(น้อย,1.000) สีเหลือง(มาก,0.380) สีส้ม(น้อย,0.570) พื้นผิวเรียบ (มาก,1.000) พื้นผิวอิฐ(น้อย,1.000) Local : 1. พื้นผิวเรียบ : สีแดง(น้อย,0.206) สีเหลือง(มาก,0.448) สีส้ม(น้อย,0.244) 2. พื้นผิวอิฐ : สีน้ำตาล(มาก,0.920) สีเทา(น้อย,0.900)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ)

10		Global : สีแดง(ปานกลาง,0.580) สีน้ำตาล(มาก,0.140) สีฟ้า(น้อย,0.640) ม่วง(น้อย,1.000) พื้นผิวเรียบ (มาก,1.000) พื้นผิวเมล็ด(น้อย,0.900) Local : 1. พื้นผิวเรียบ : สีแดง(ปานกลาง,0.664) สีน้ำตาล(มาก,0.121) สีฟ้า(น้อย,0.540) 2. พื้นผิวเมล็ด : สีดำ(น้อย,1.000) สีน้ำตาล(มาก,0.904)

5.3 ผลการค้นคืนรูปภาพ

สำหรับขั้นตอนที่ 2 ของระบบการใช้คำในการค้นคืนรูปภาพ เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้ใช้ค้นคืนรูปภาพได้ผ่านโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น การกำหนดคำค้นจะประกอบด้วยคุณลักษณะใดคุณลักษณะหนึ่งได้แก่ สี ปริมาณของสี พื้นผิว และปริมาณของพื้นผิว คำค้นอาจประกอบด้วยหนึ่งคำหรือมากกว่านั้นโดยใช้บูลีนเชื่อมระหว่างคำค้นโดยเป็นไปตามเงื่อนไขที่โปรแกรมกำหนด

5.3.1 ผลการค้นคืนรูปภาพแบบโดยรวม (Global) โดยใช้สี

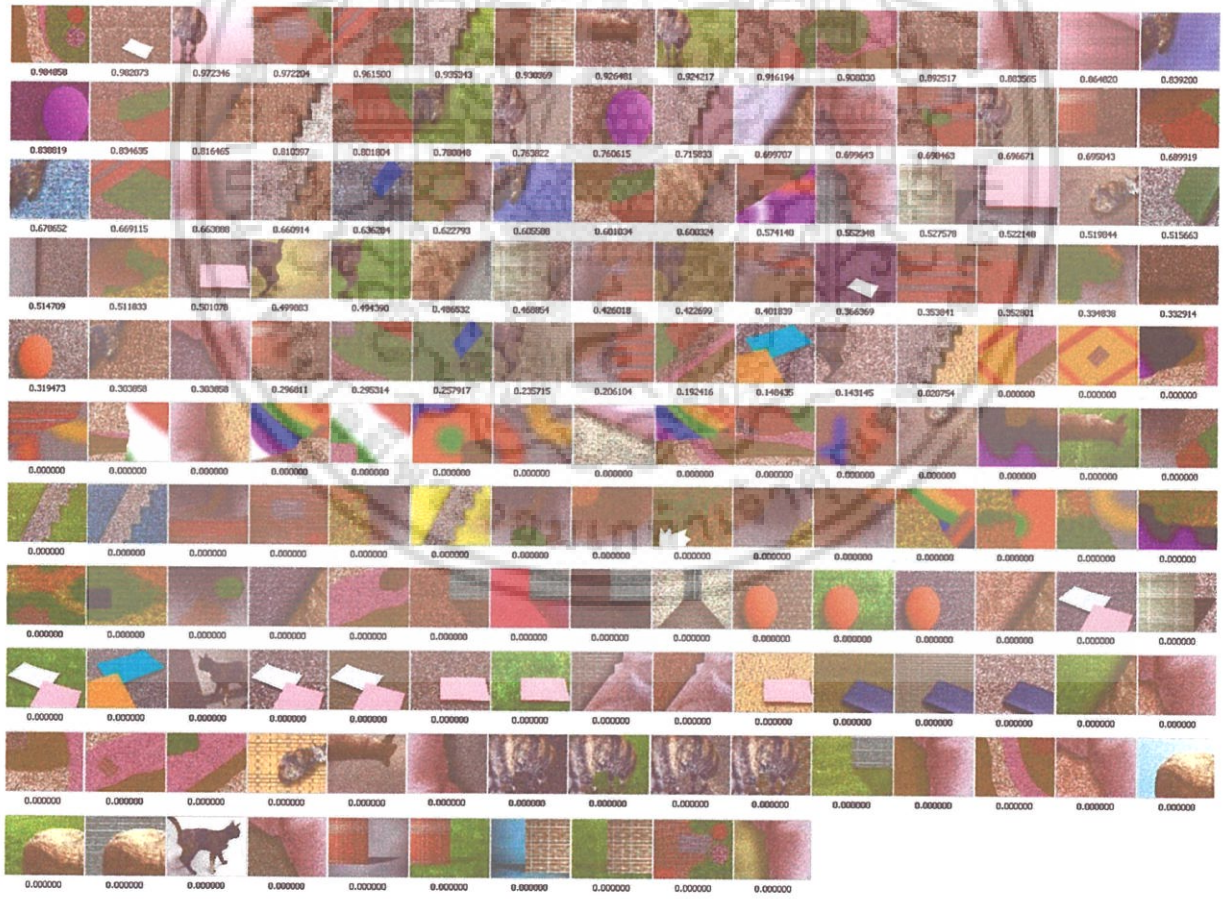
การทดลองค้นคืนรูปภาพโดยรวมโดยใช้คำค้นต่างๆ จะเปรียบเทียบผลการค้นคืนภาพที่ได้จาก 2 วิธีการ คือ การค้นคืนแบบตรงและการใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น ในกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ได้ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์; P(cross)=0.6, ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน; P(mut)=0.01 และจำนวนรอบ(generation)=20 ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยการค้นคืนข้อมูล [33]

5.3.1.1 ผลการค้นคืนรูปภาพโดยใช้สี 1 สี

สำหรับการทดลองโดยการใช้สี 1 สีในการค้นคืนภาพ ผู้ใช้จะกำหนดคำค้นซึ่งประกอบด้วยชื่อสีและปริมาณสี เช่น สีเขียวมาก (green, mostly) สีเขียวปานกลาง (green, many) หรือสีเขียวน้อย (green, few) เป็นต้น ตัวอย่างภาพที่ค้นคืนได้สำหรับแต่ละคำค้นเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

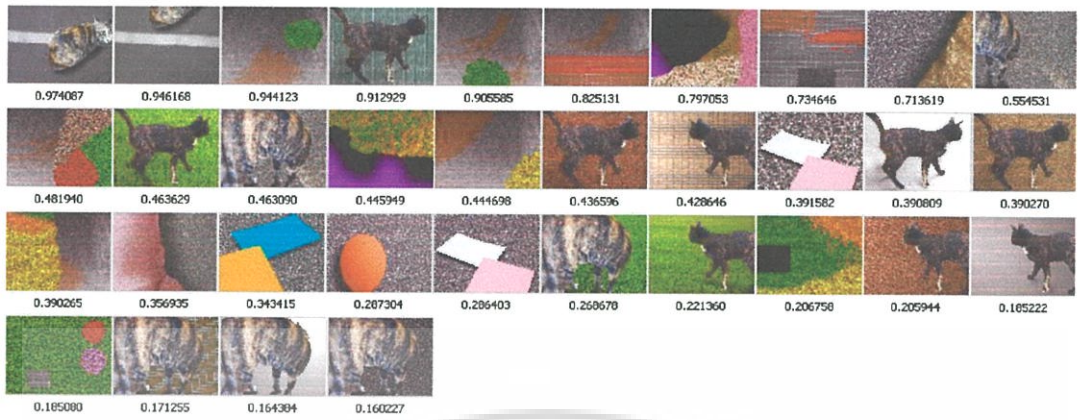


(ข)

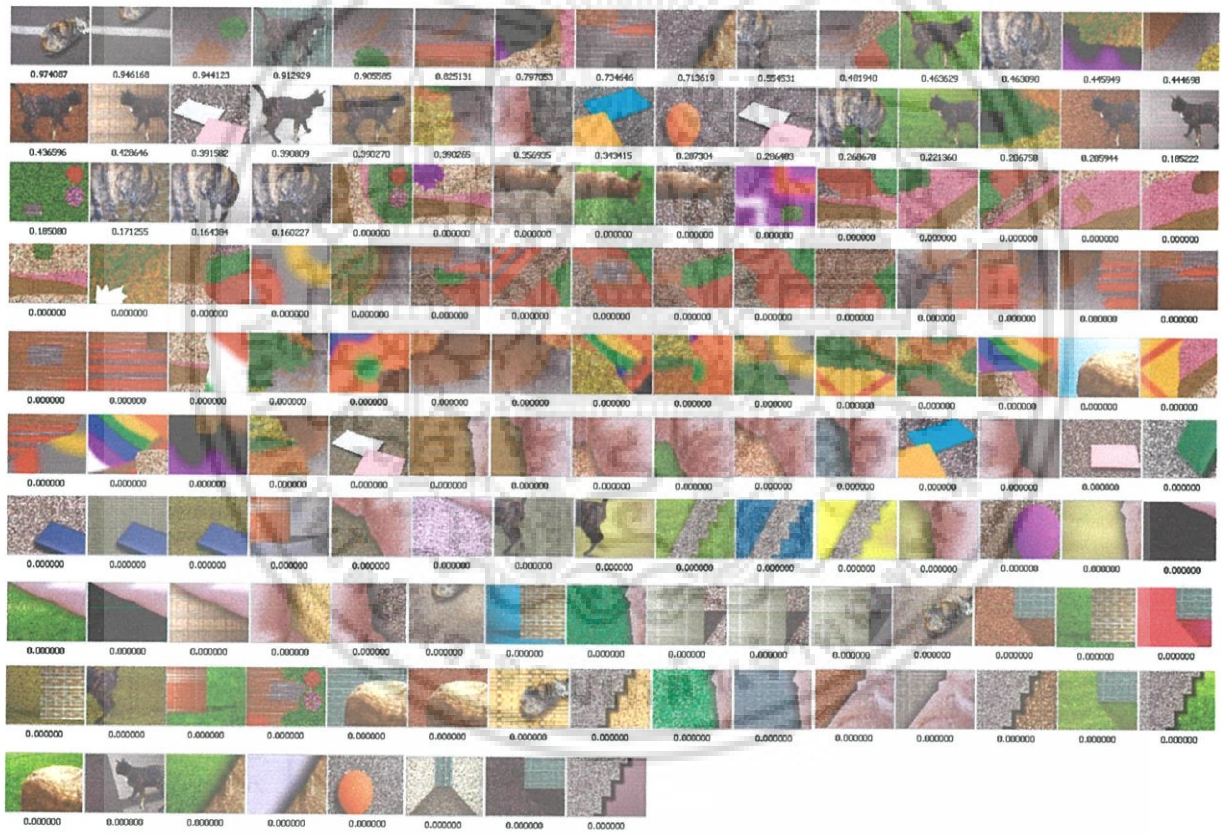
รูปที่ 5.3 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น "black, few"

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



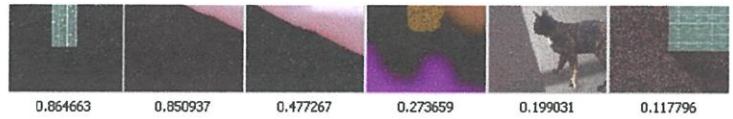
(ก)



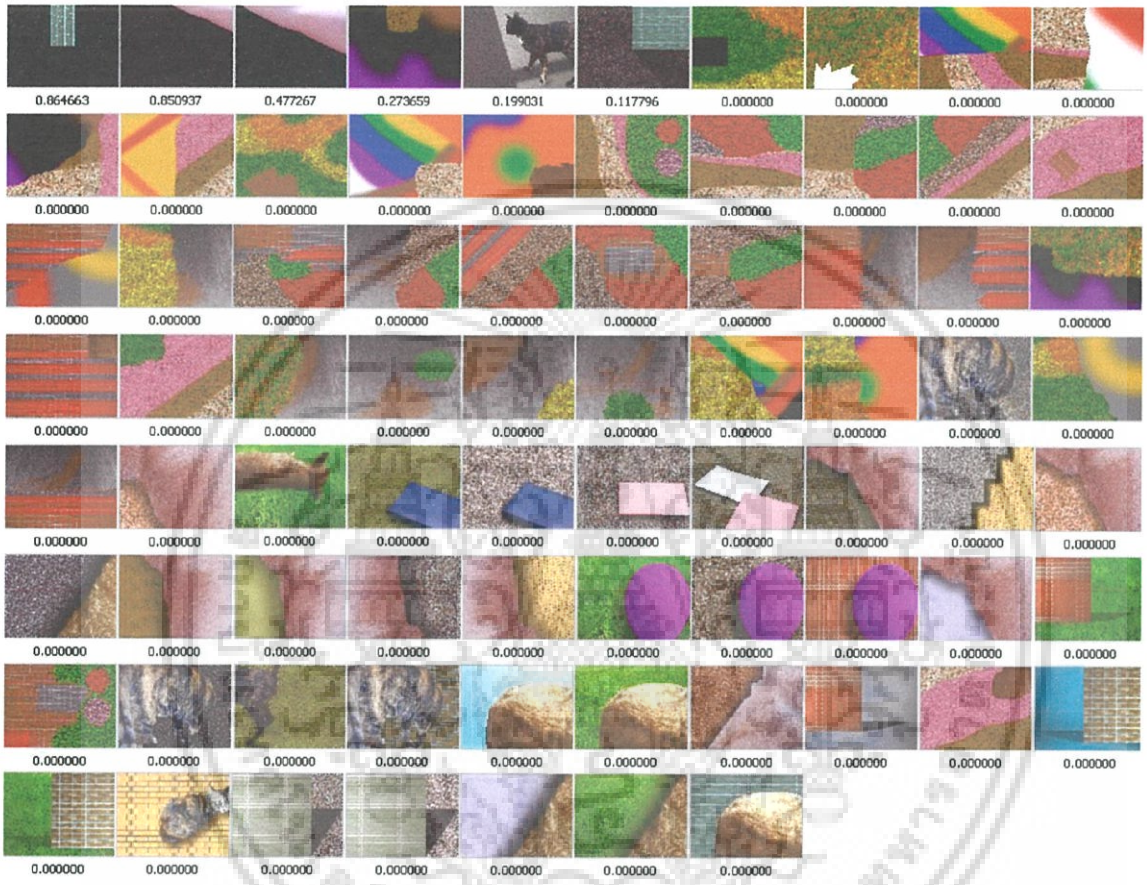
(ข)

รูปที่ 5.4 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “black, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

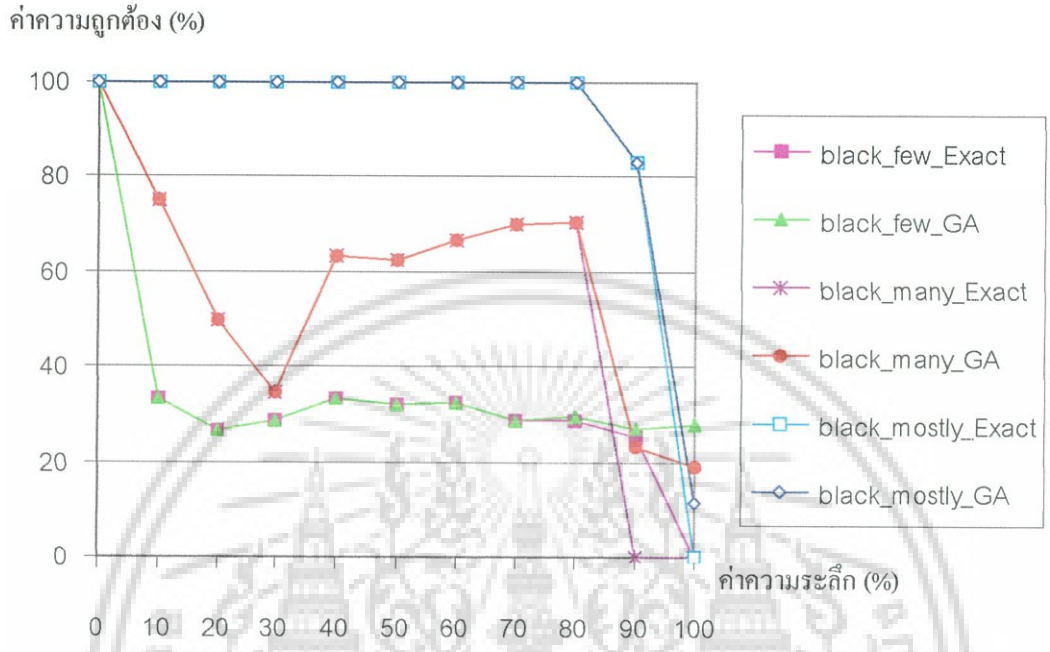


(ข)

รูปที่ 5.5 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น "black, mostly"
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

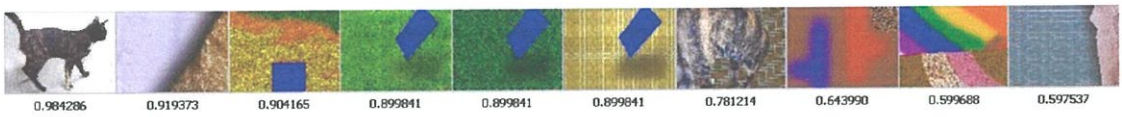
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น “สีดำ” ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



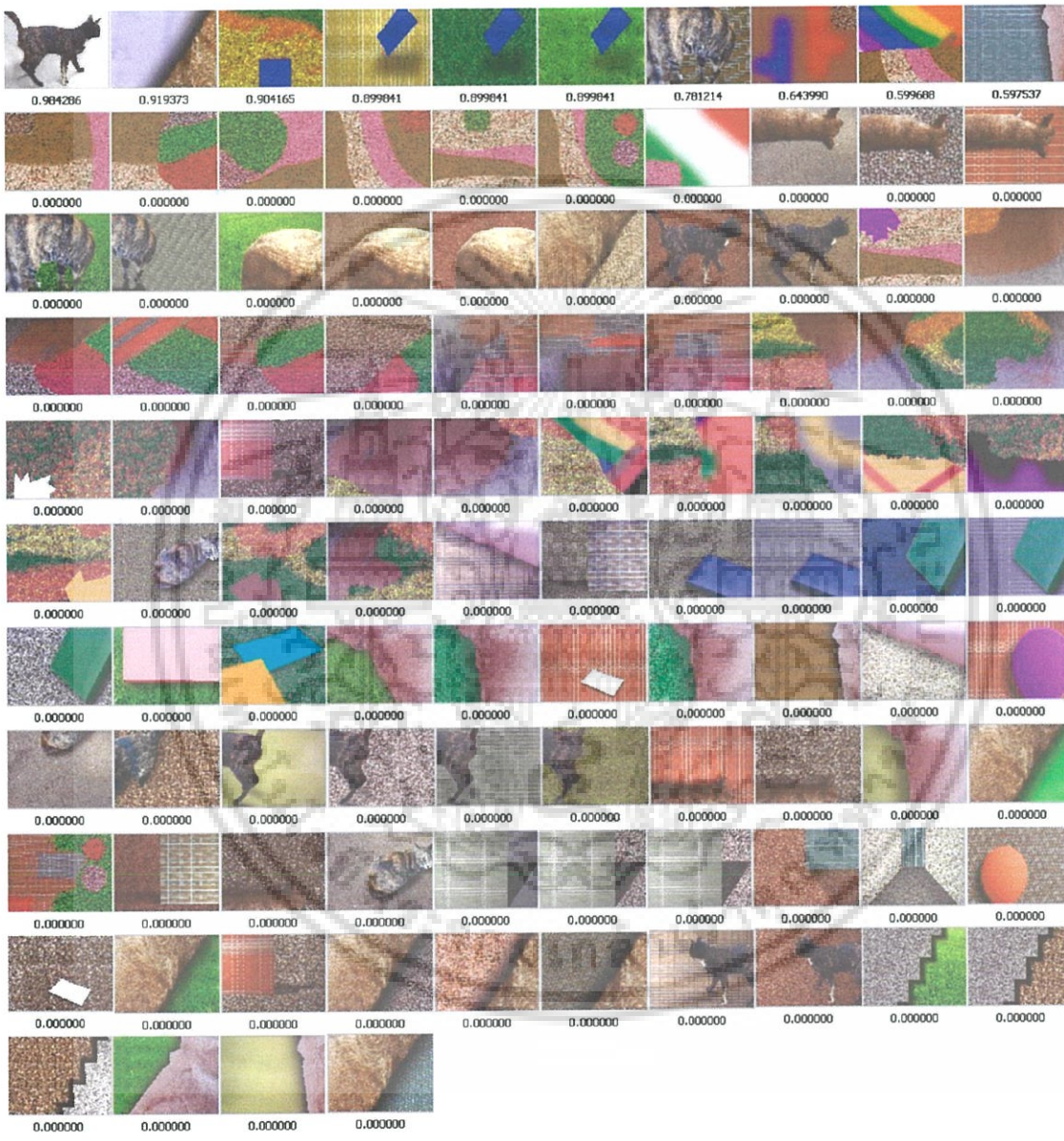
รูปที่ 5.6 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “black, few” , “black, many” และ “black, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.6 พบว่า ปริมาณ “สีดำมาก” จะมีความถูกต้องสูงที่สุดเมื่อพิจารณาในแต่ละระดับค่าความระลึก ทั้งนี้เพราะการกำหนดปริมาณ “มาก” เป็นปริมาณที่เห็นได้ชัดเจน ไม่เกิดความผิดพลาดมากเหมือนคำค้นสีที่เป็นปริมาณ “น้อย” เช่น ในบางกรณี ระบบคัดแยกสีดำในปริมาณที่น้อยได้จากภาพที่มีพิกเซลสีดำกระจายอยู่ทั่วไป เช่น ขอบวัตถุ แต่ในมุมมองของผู้ใช้ไม่ได้มองเห็นปริมาณที่กระจายทั่วไป กลับมองว่าสีนั้นๆ ควรจะอยู่ในบริเวณเดียวกันมากกว่า เป็นต้น สำหรับการนำจีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้นพบว่า สามารถค้นคืนบางภาพที่เกี่ยวข้องกับคำค้นได้ ทำให้บางระดับค่าความระลึก แบบจีเนติกอัลกอริทึมมีค่าความถูกต้องในการค้นคืนสูงกว่าแบบค้นคืนตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



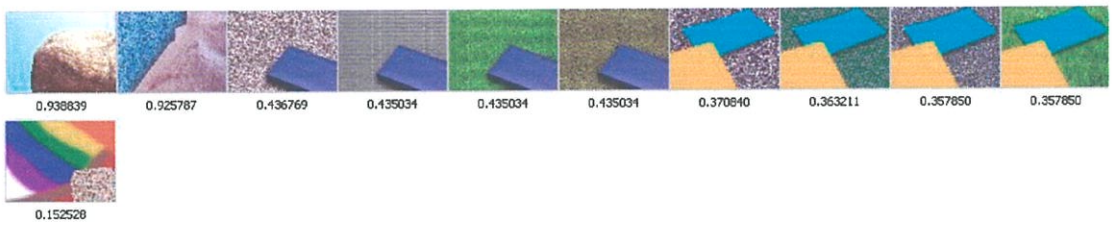
(ก)



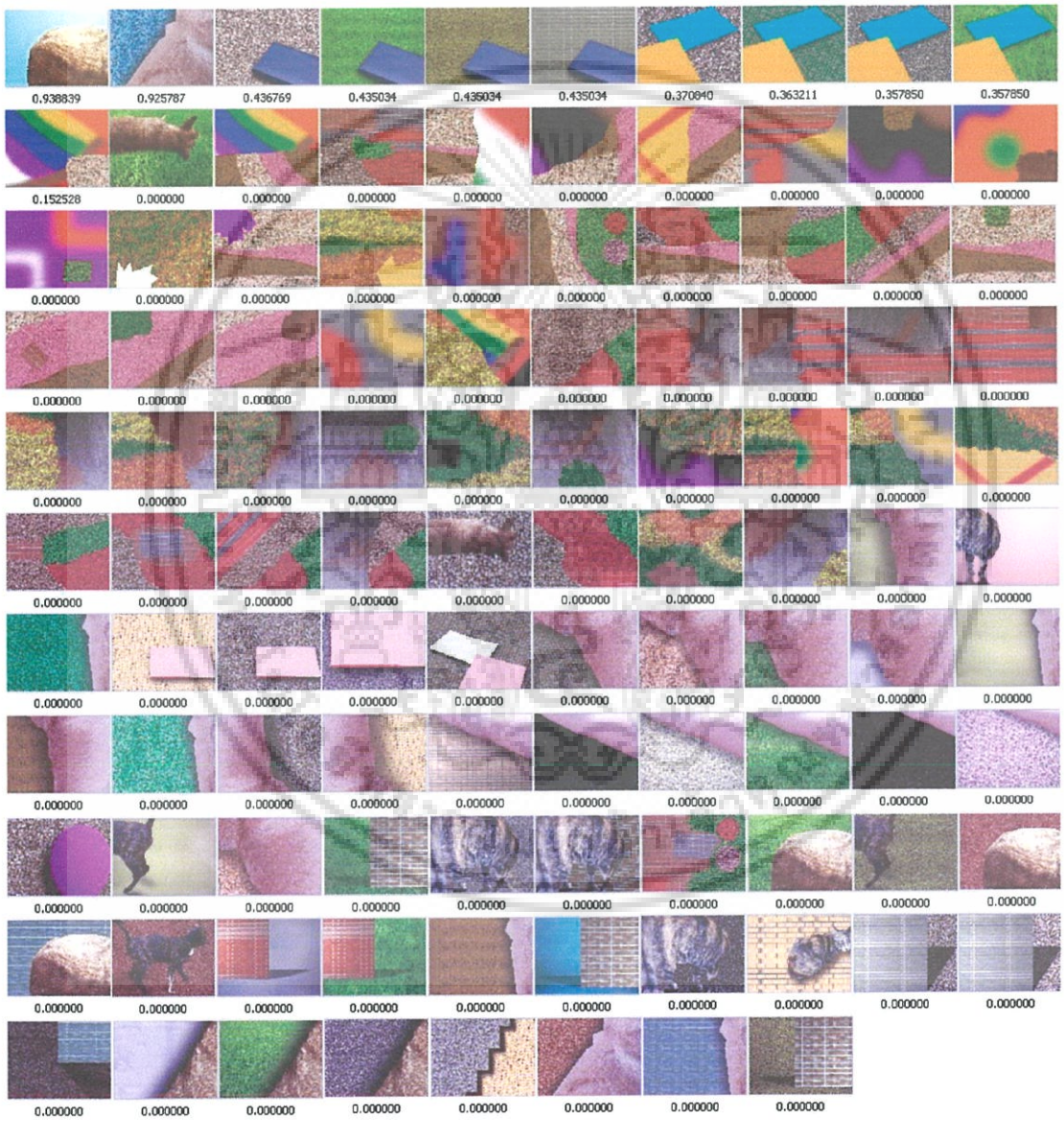
(ข)

รูปที่ 5.7 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น "blue, few"
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

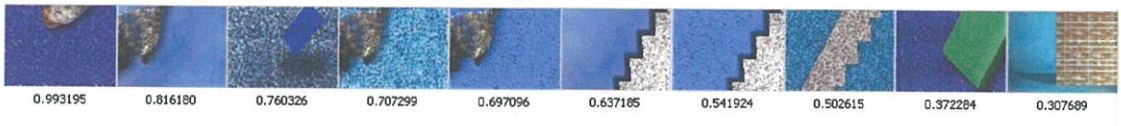


(ข)

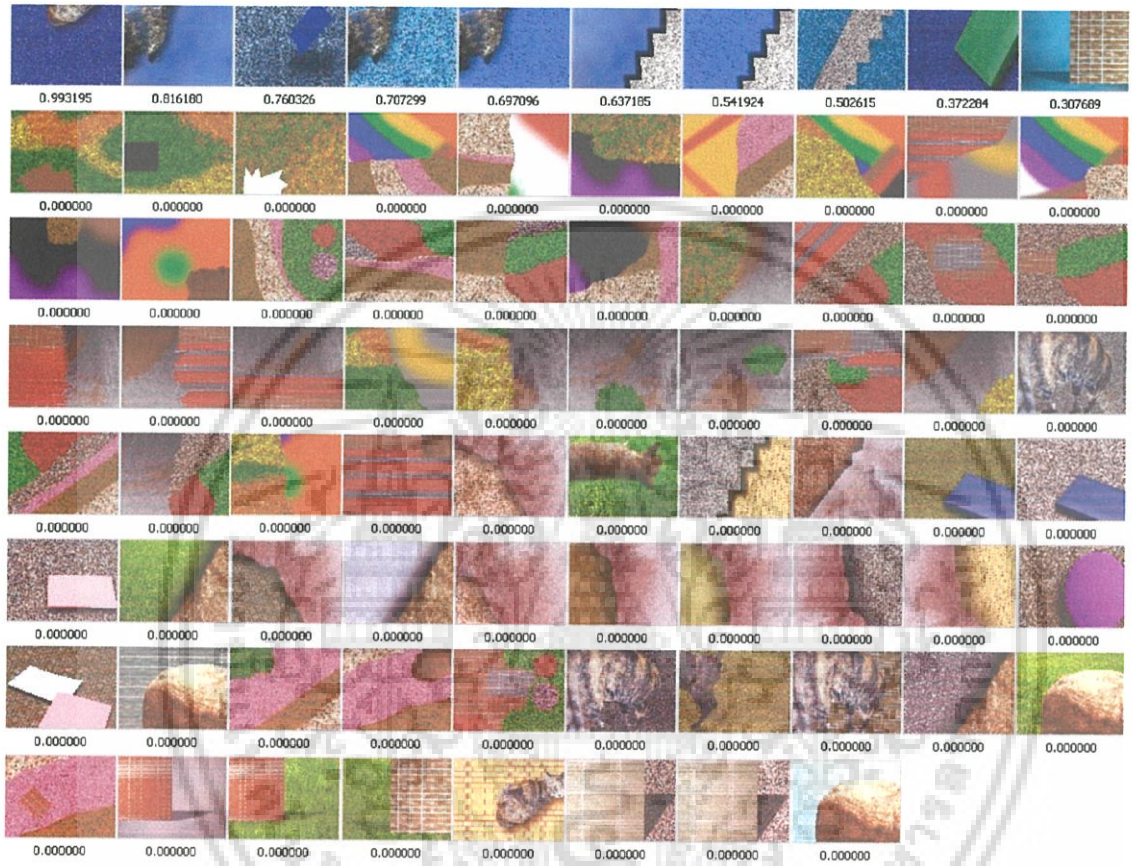
รูปที่ 5.8 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “blue, many”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

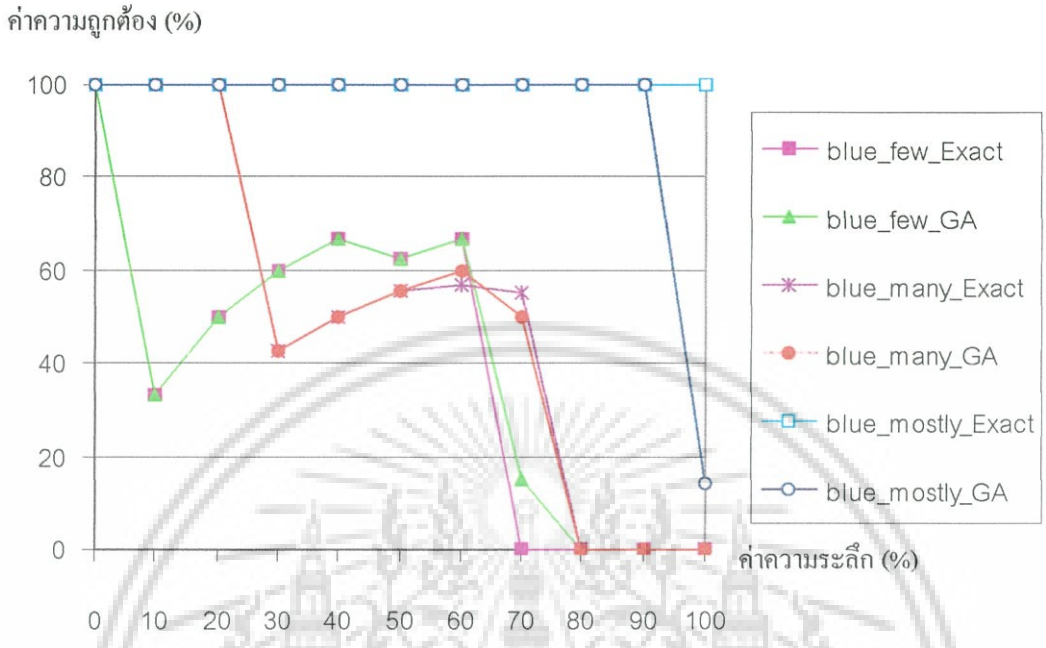


(ข)

รูปที่ 5.9 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น "blue, mostly"
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

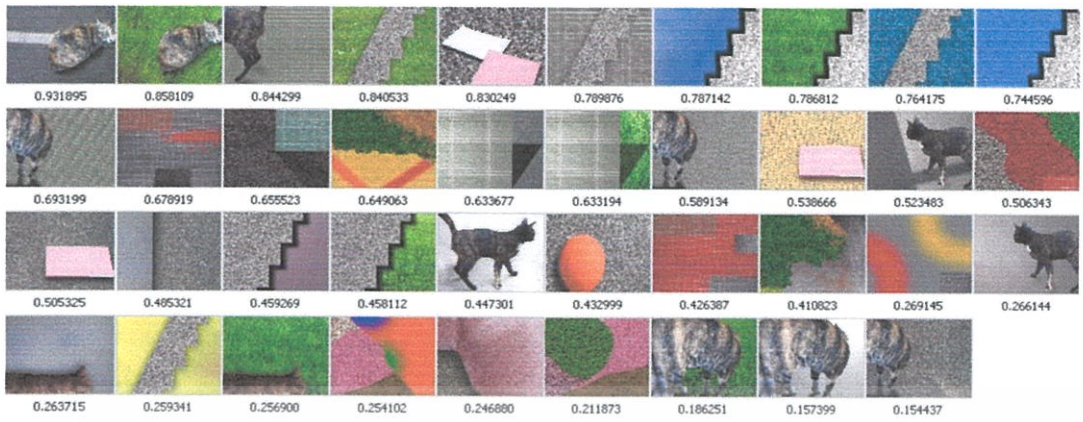
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น "สีฟ้า" ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



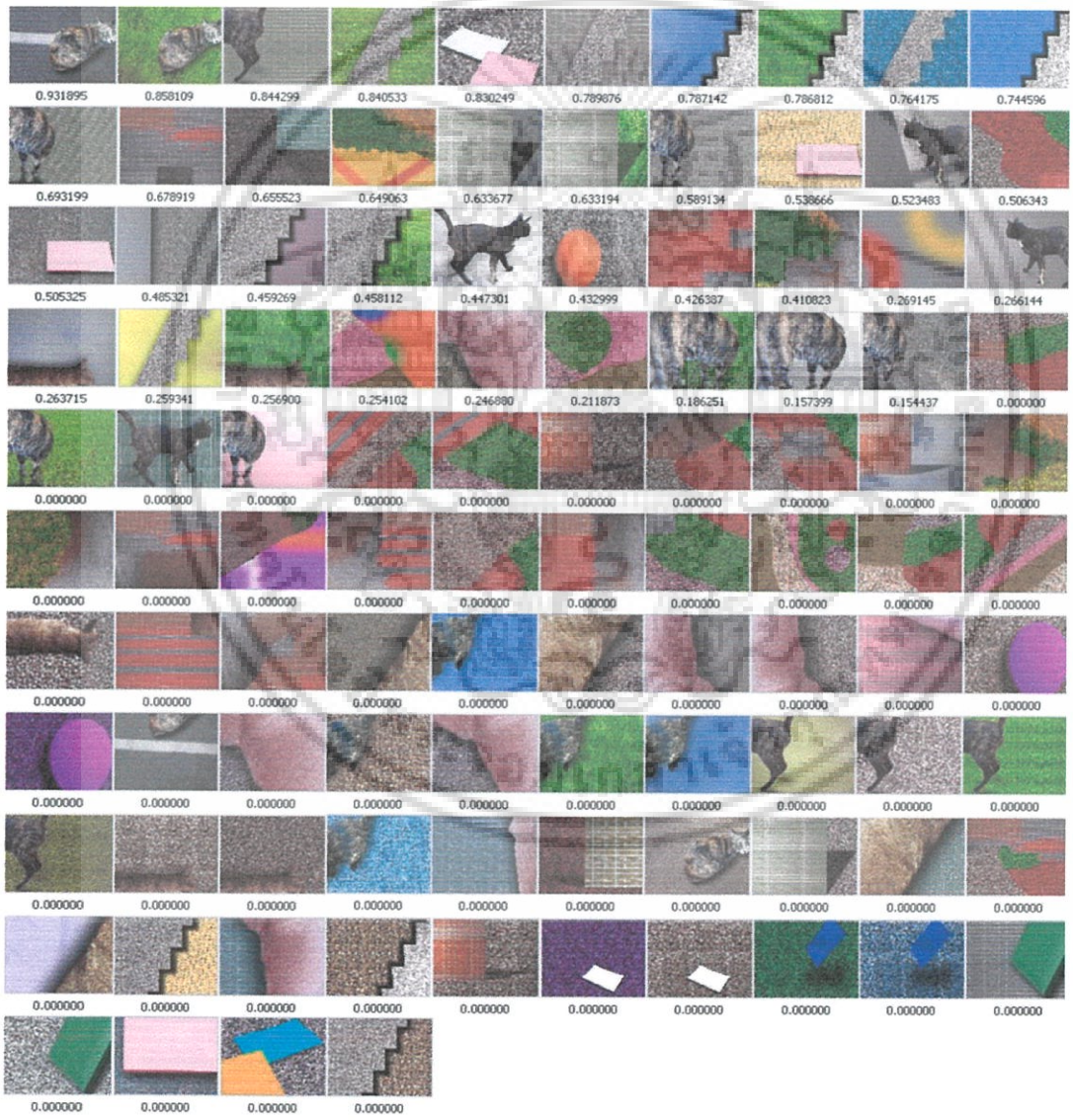
รูปที่ 5.10 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น "blue, few" , "blue, many" และ "blue, mostly" ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.10 พบว่าการค้นคืนสีฟ้าที่ปริมาณมาก จะทำให้ได้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด ณ ทุก ๆ ระดับค่าความระลึก เหตุผลดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

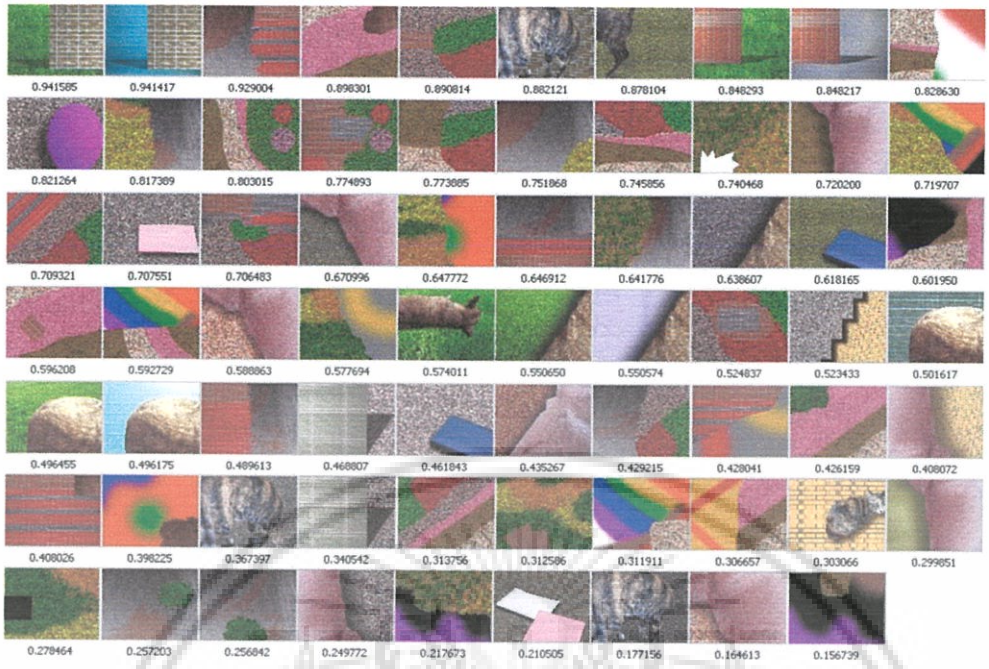


(ข)

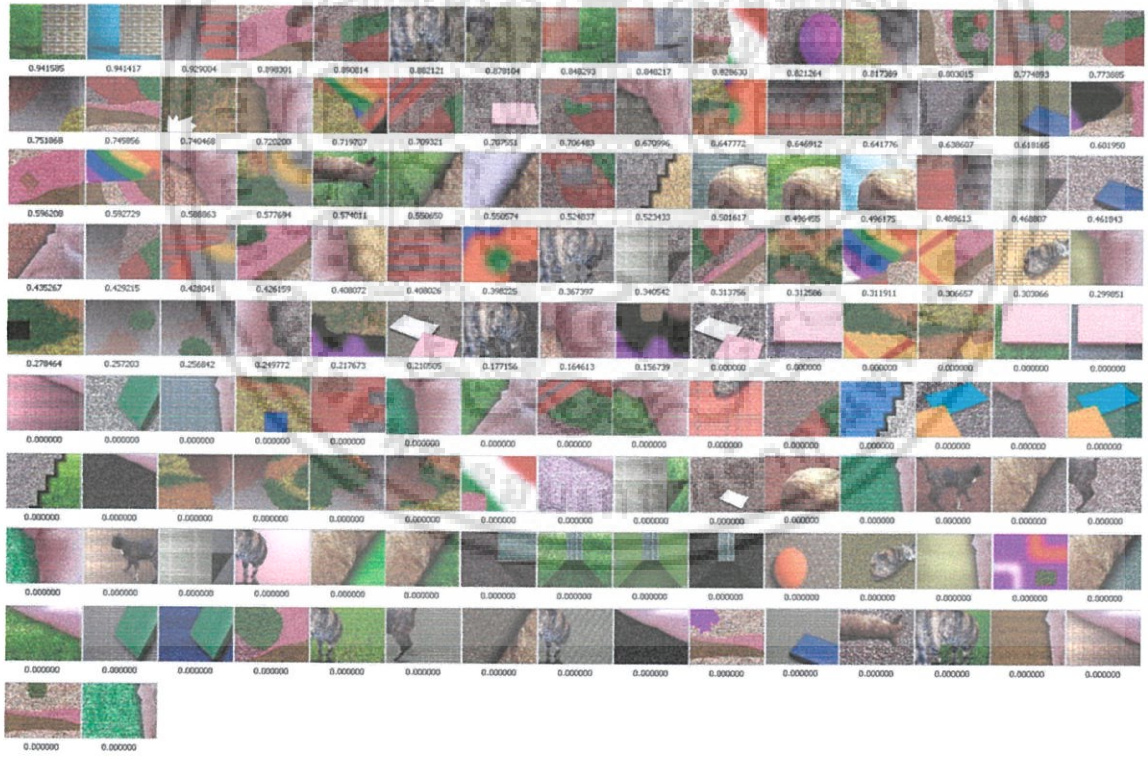
รูปที่ 5.11 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “brown, few”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

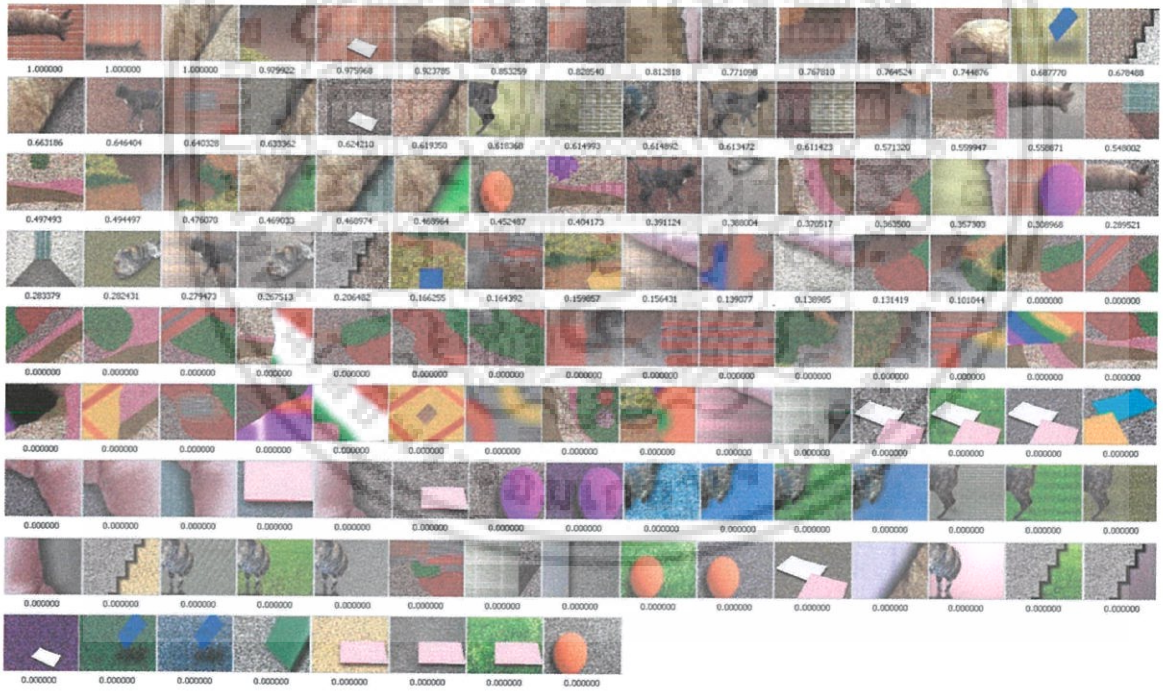


(ข)

รูปที่ 5.12 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “brown, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



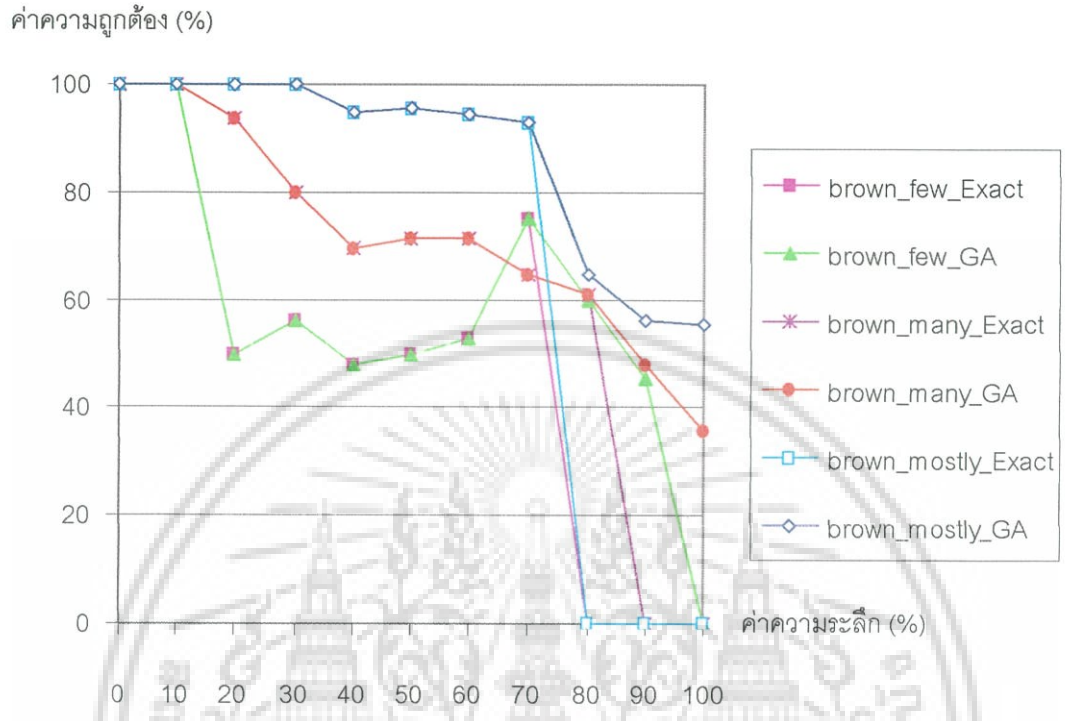
(ข)

รูปที่ 5.13 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “brown, mostly”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

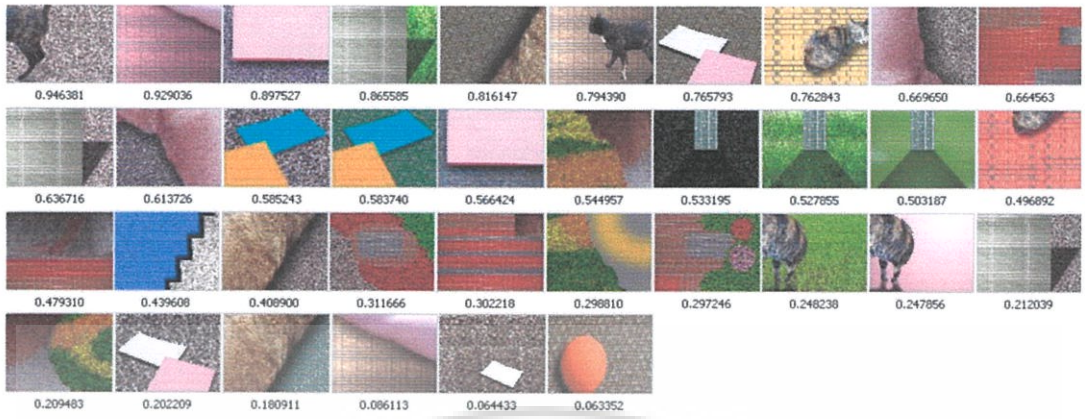
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น "สีน้ำตาล" ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



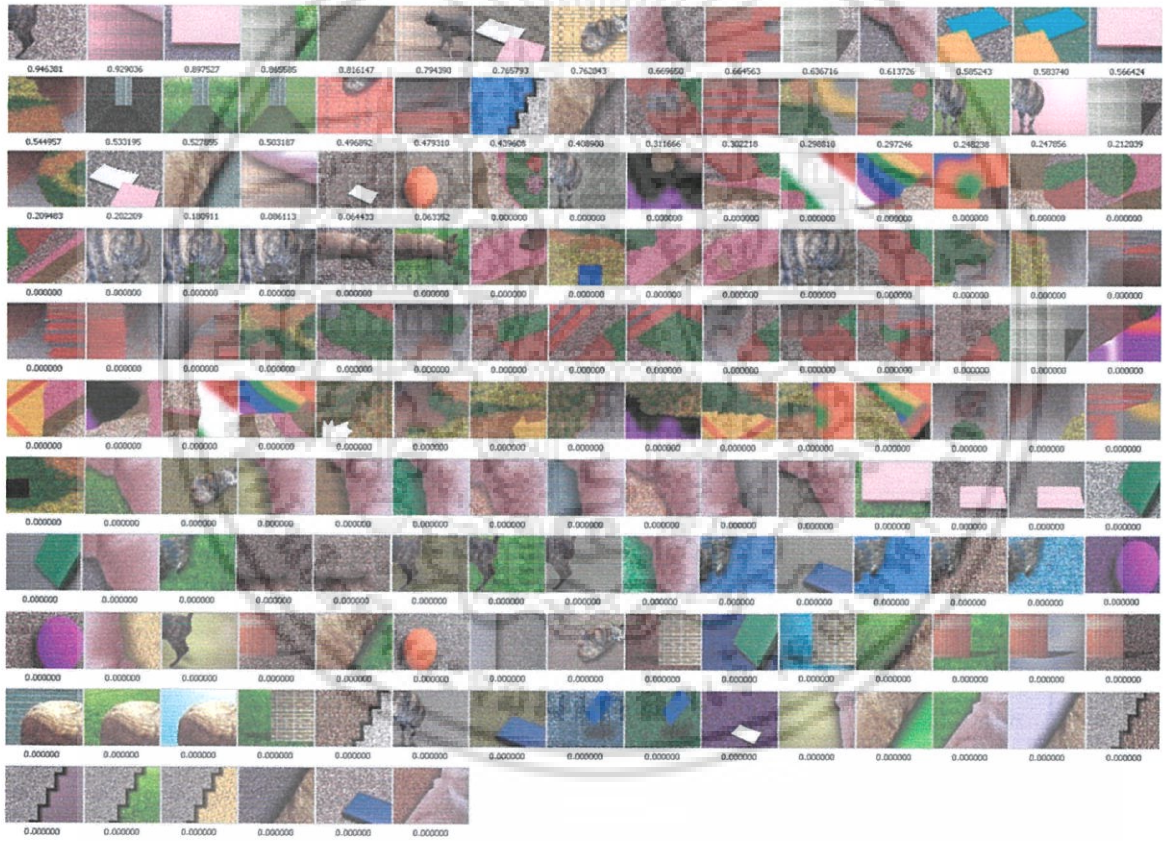
รูปที่ 5.14 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น "brown, few" , "brown, many" และ "brown, mostly" ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.14 พบว่า ค่าความถูกต้องในการค้นคืนของปริมาณ "มาก" มีค่าสูงที่สุด ณ ทุกๆ ระดับค่าความระลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

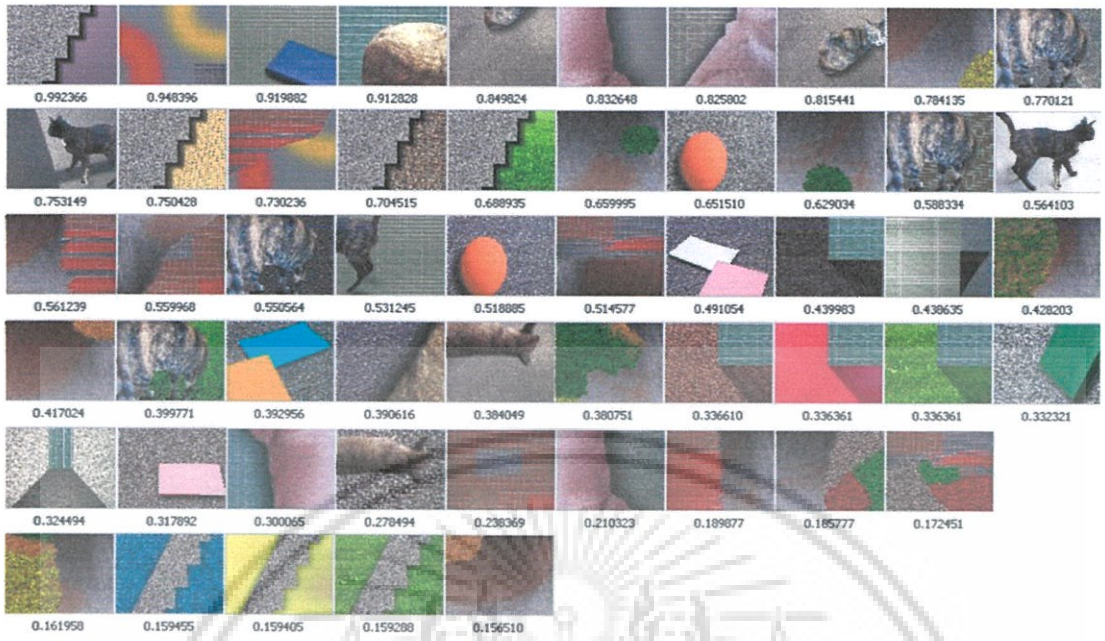


(ข)

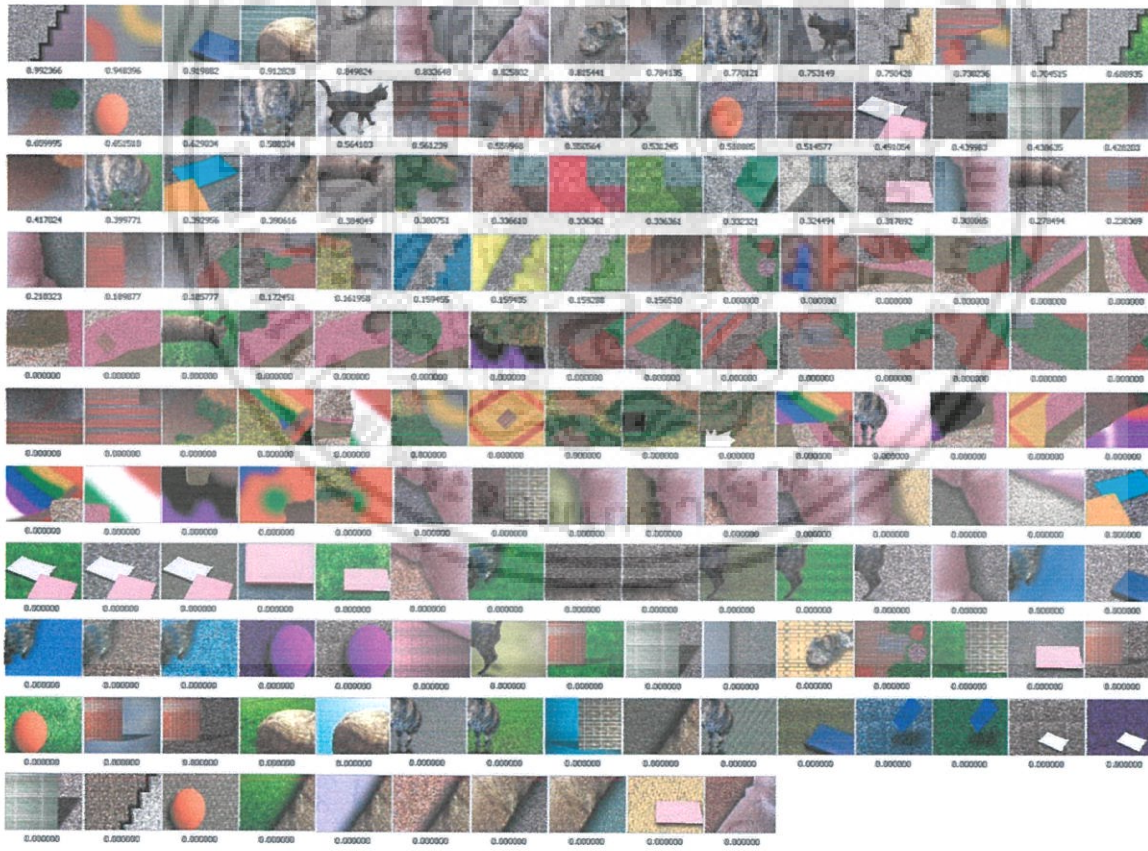
รูปที่ 5.15 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “gray, few”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

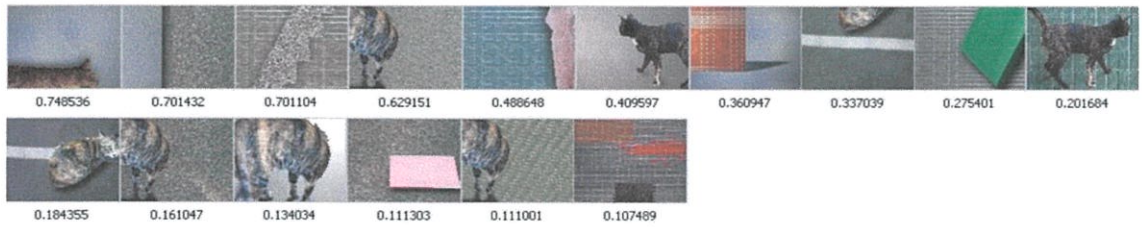


(ข)

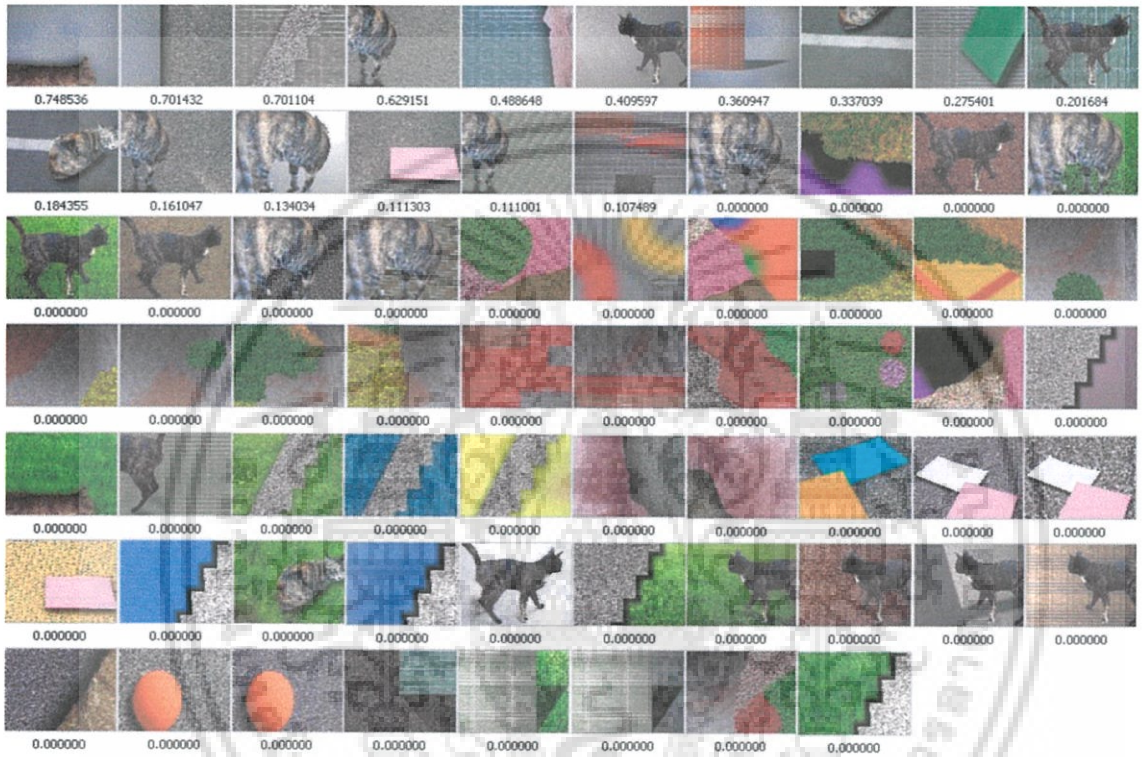
รูปที่ 5.16 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “gray, many”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

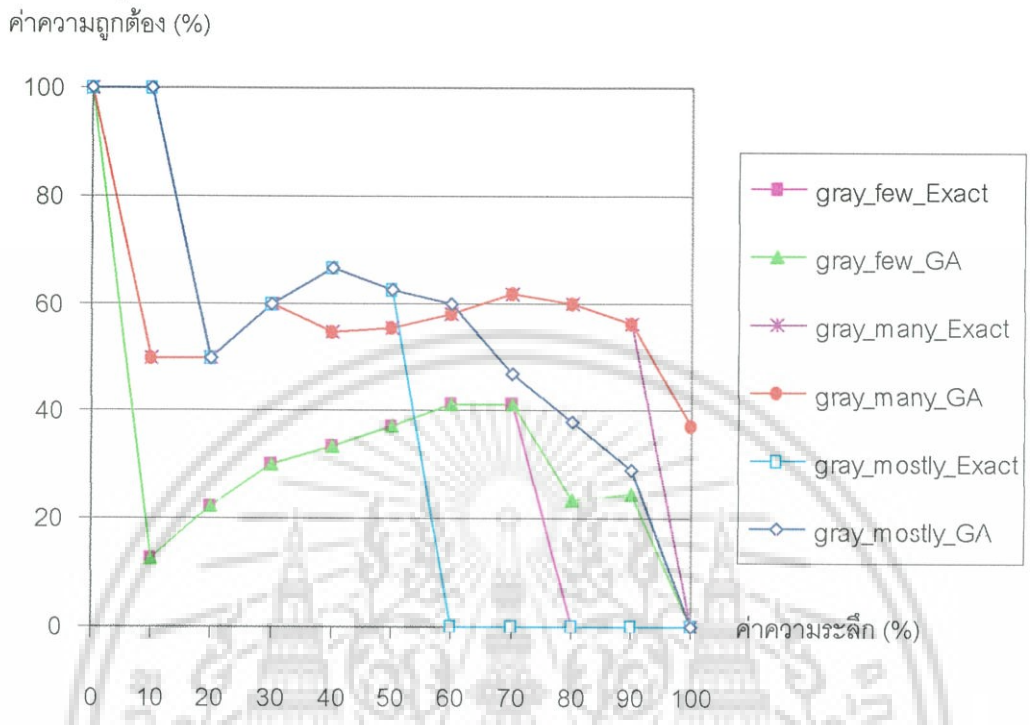


(ข)

รูปที่ 5.17 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “gray, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น "สีเทา" ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้

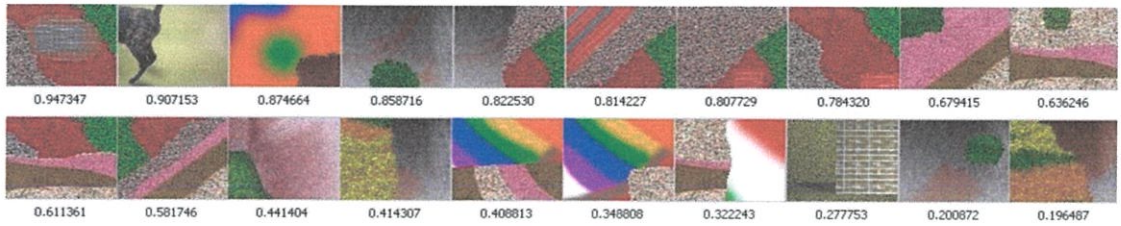


รูปที่ 5.18 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น "gray, few", "gray, many" และ "gray, mostly" ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

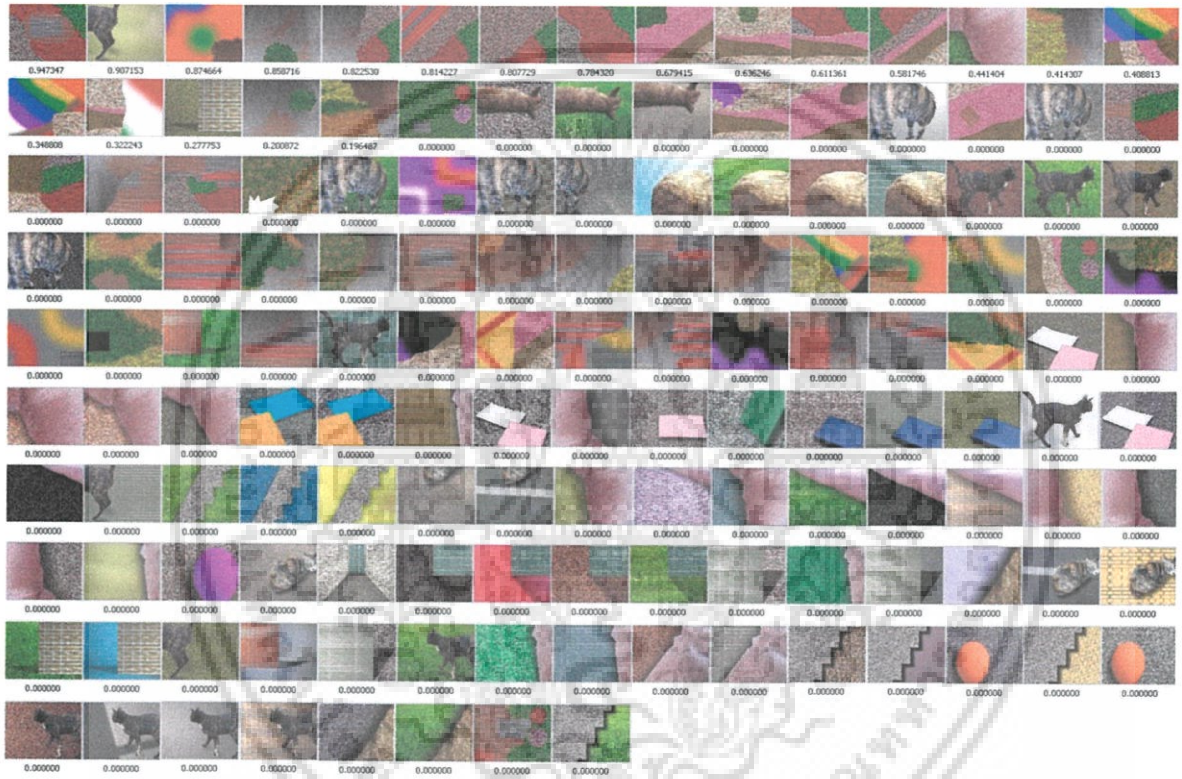
จากกราฟในรูปที่ 5.18 พบว่า ในกรณีของสีเทา ค่าความถูกต้องในการค้นคืนค่อนข้างต่ำในทุกๆ ปริมาณสี อาจเป็นเพราะในกระบวนการคัดแยก ระบบคัดแยกภาพที่มีสีเทาได้ไม่ดีนัก อาจเป็นเพราะภาพมีเฉดสีเป็นสีเทา หรือสีเทากระจายทั่วไปในภาพ หรือความเหลื่อมกันของสีเทา และสีดำ

ในการนำจีเนติกอัลกอริทึมขยายพบว่า แม้จะได้มีการค้นคืนภาพที่น่าจะเกี่ยวข้องกับคำค้นขึ้นมาด้วย แต่พบว่าบางภาพเป็นภาพที่ไม่ถูกต้อง ไม่ตรงกับคำค้น ทำให้ค่าความถูกต้องค่อนข้างต่ำแม้จะค้นคืนภาพขึ้นมาได้เป็นจำนวนมากกว่าการค้นคืนแบบตรงก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

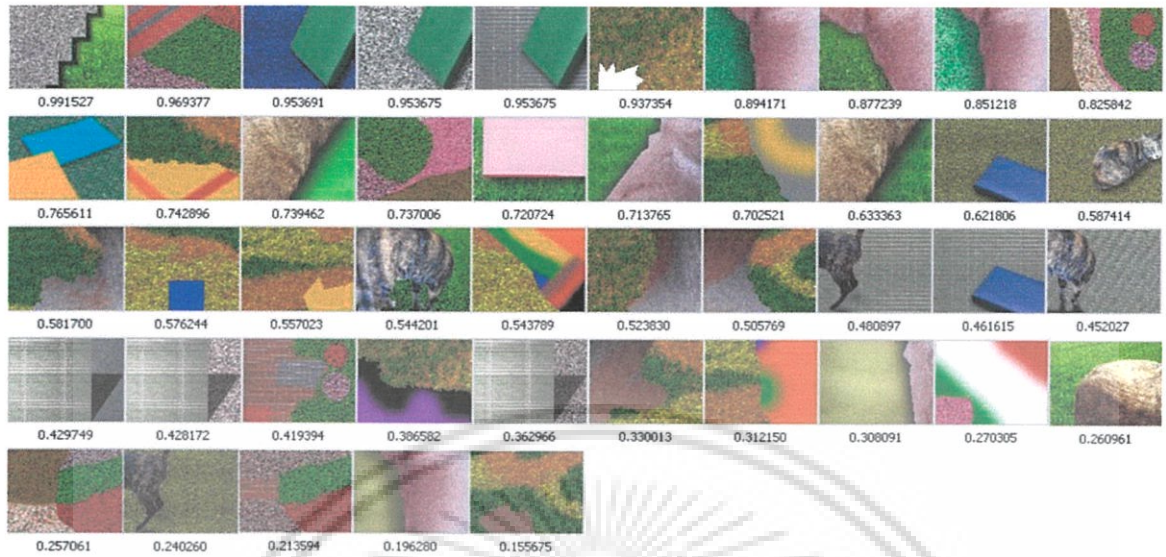


(ข)

รูปที่ 5.19 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “green, few”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



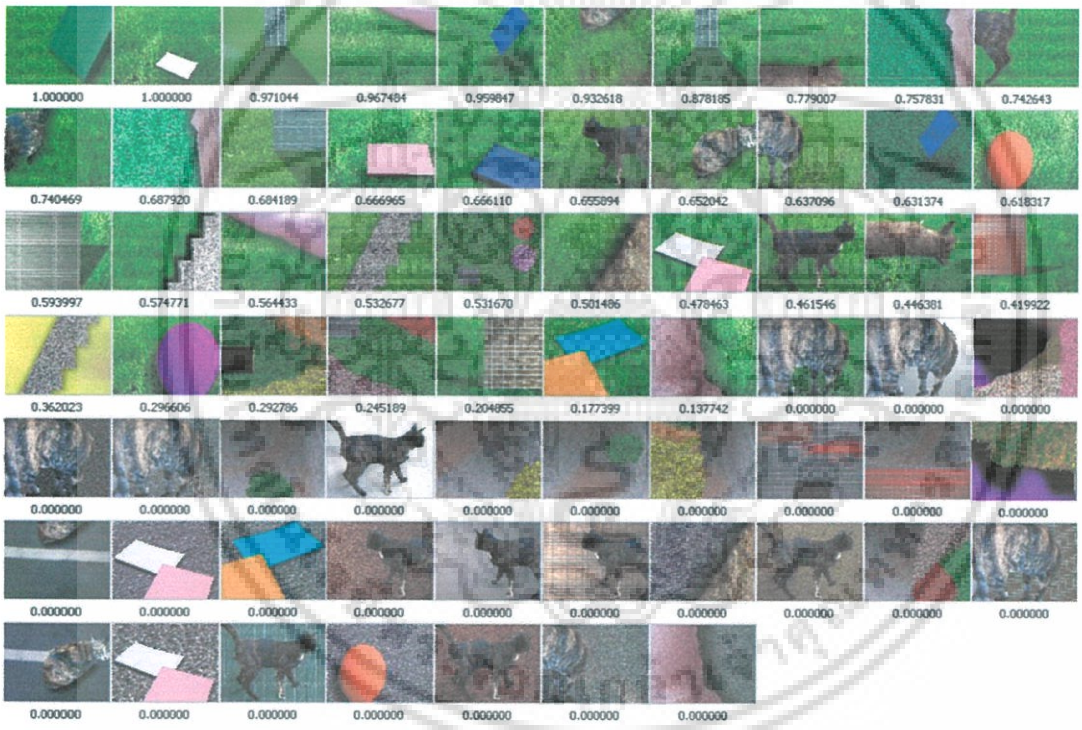
(ก)

(ข)

รูปที่ 5.20 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “green, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

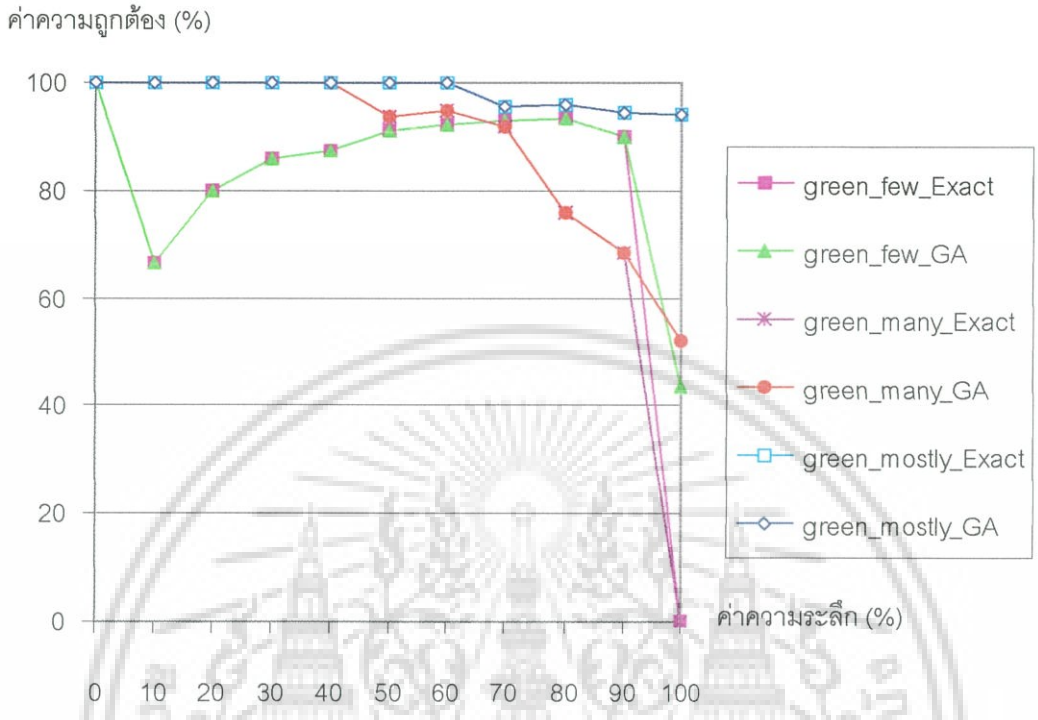


(ข)

รูปที่ 5.21 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “green, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

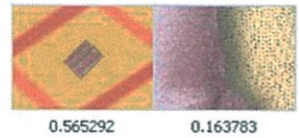
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น “สีเขียว” ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



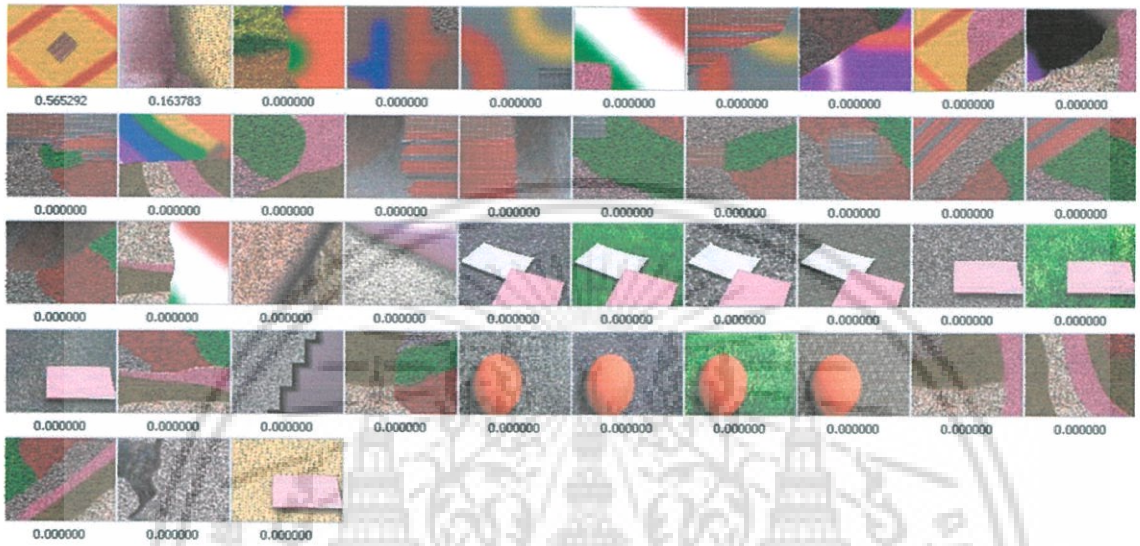
รูปที่ 5.22 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “green, few” , “green, many” และ “green, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.22 พบว่า ค่าความถูกต้องในการค้นคืนของปริมาณ “มาก” ทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากันและสูงกว่าความถูกต้องในการค้นคืนของปริมาณอื่นๆ การใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้นทำให้เกิดการค้นคืนภาพที่เกี่ยวข้องกับคำค้นขึ้นมาด้วย อย่างไรก็ตามก็ไม่ได้ช่วยให้ค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



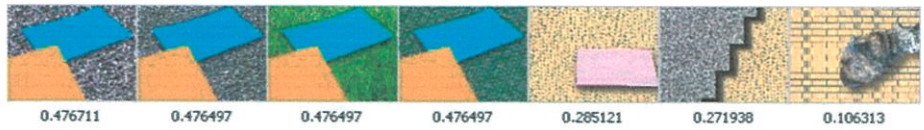
(ก)



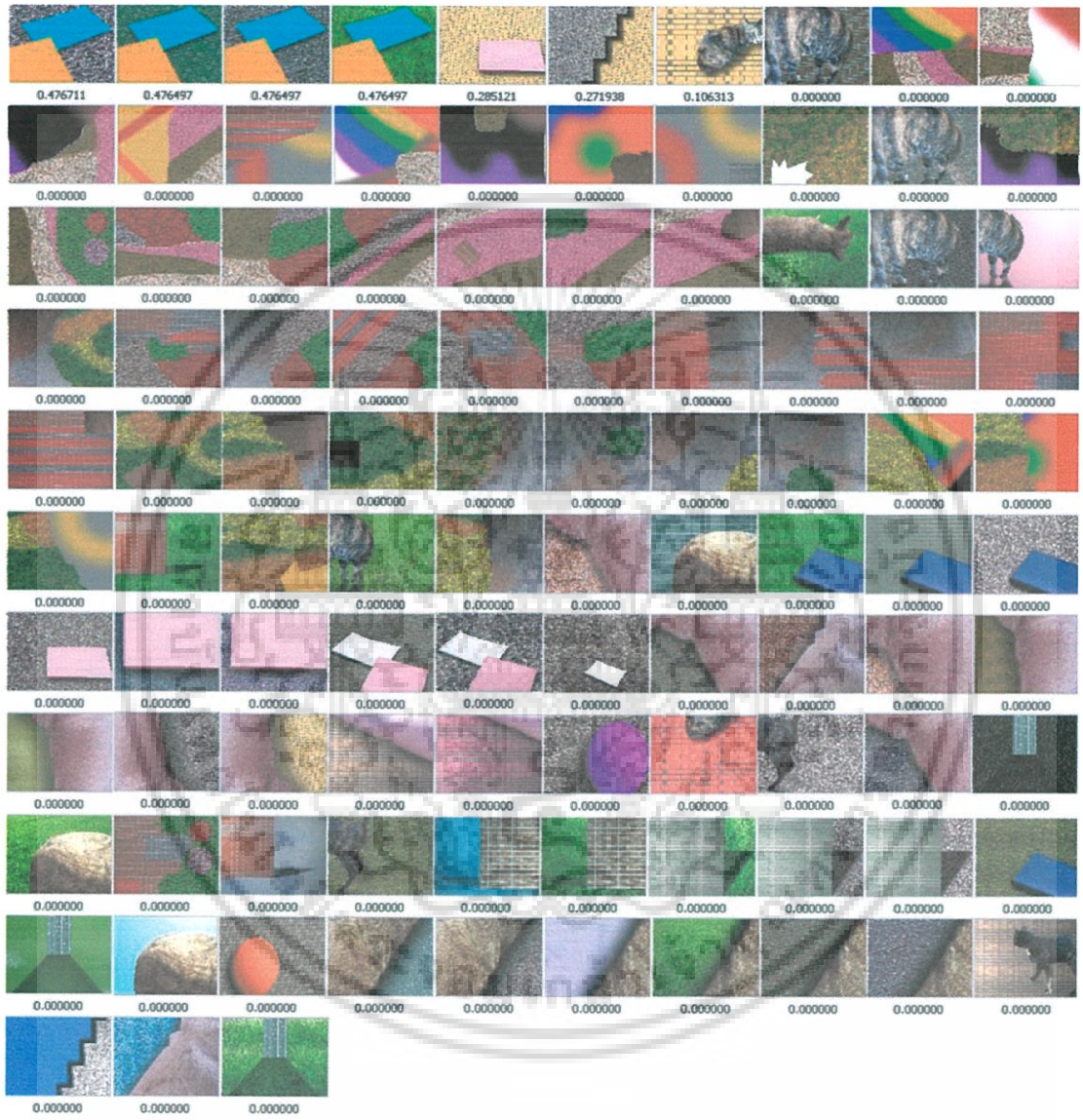
(ข)

รูปที่ 5.23 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “orange, few”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

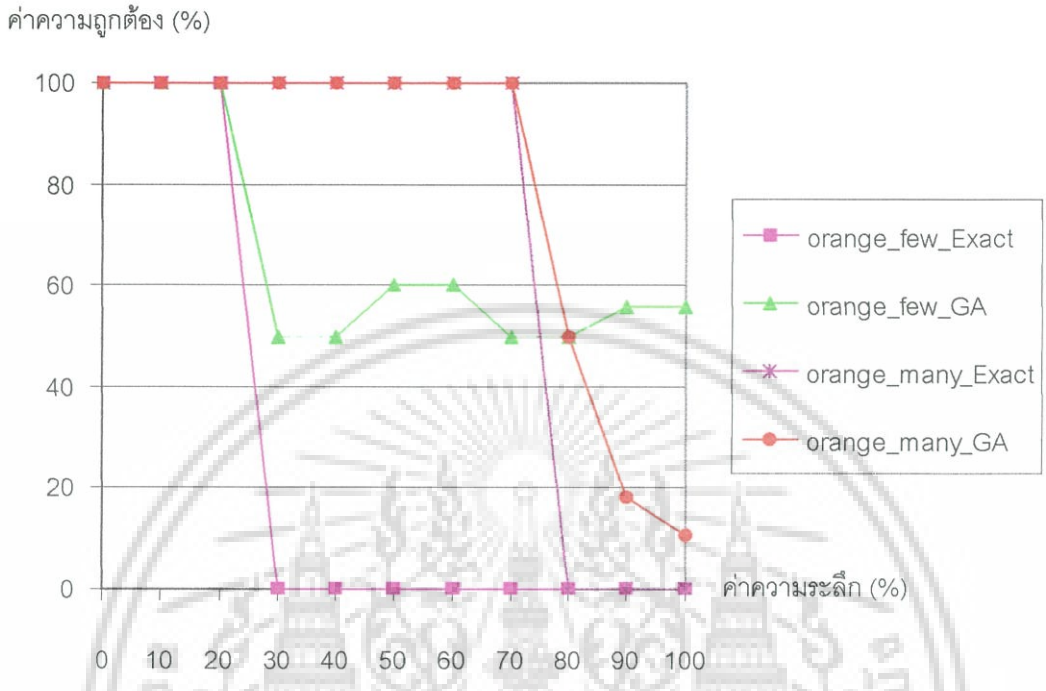


(ข)

รูปที่ 5.24 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “orange, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

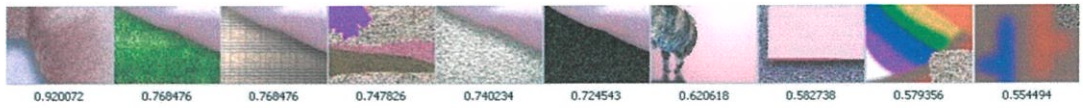
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น "สีส้ม" ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 5.25 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น "orange, few" และ "orange, many" ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

ในกรณีของคำค้น "orange, many" พบว่า หากใช้การค้นคืนแบบตรง ภาพที่ค้นคืนได้มีเพียง 7 ภาพ แต่หากขยายคำค้นด้วยวิธีการจีเนติกอัลกอริทึมพบว่า ระบบสามารถค้นคืนภาพอื่นๆ ที่ไม่สามารถค้นคืนได้ด้วยวิธีการตรงคำค้น ขึ้นมาด้วย เช่น ภาพที่สีใกล้เคียงกันระหว่างสีส้มและสีแดง สีเหลืองและสีส้ม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

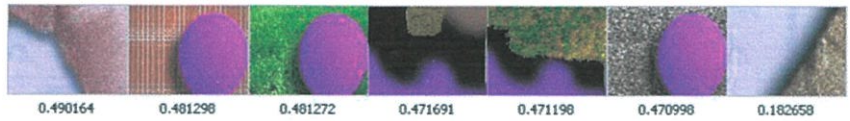


(ก)

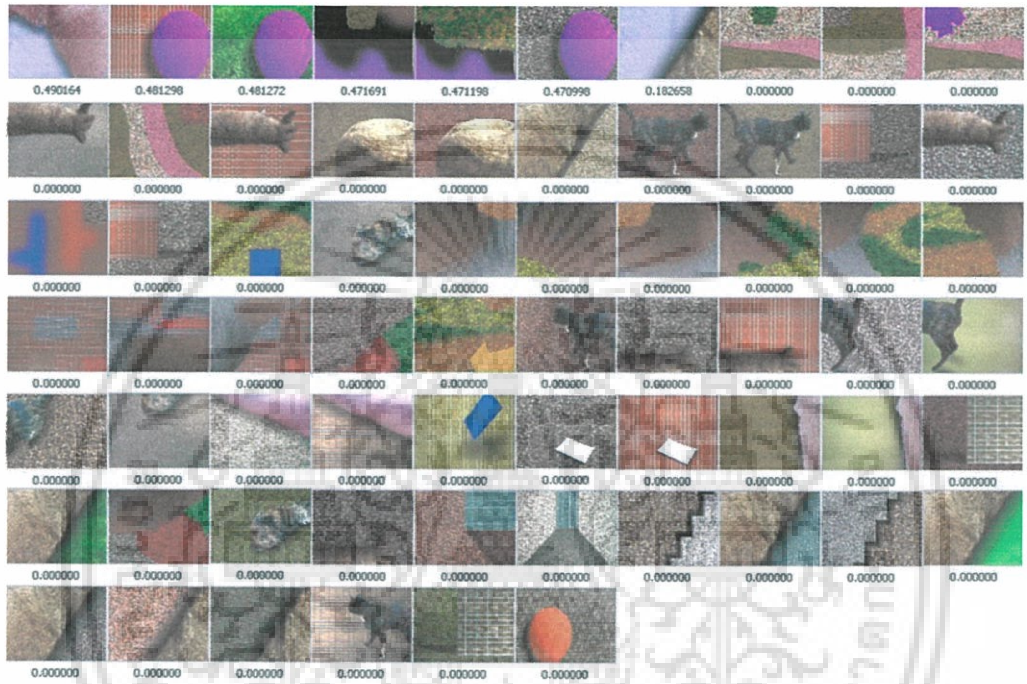
(ข)

รูปที่ 5.26 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “purple, few”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



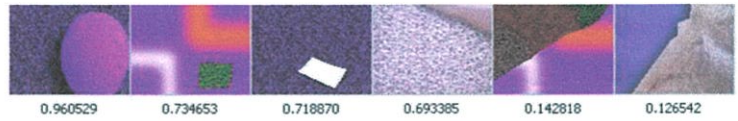
(ก)



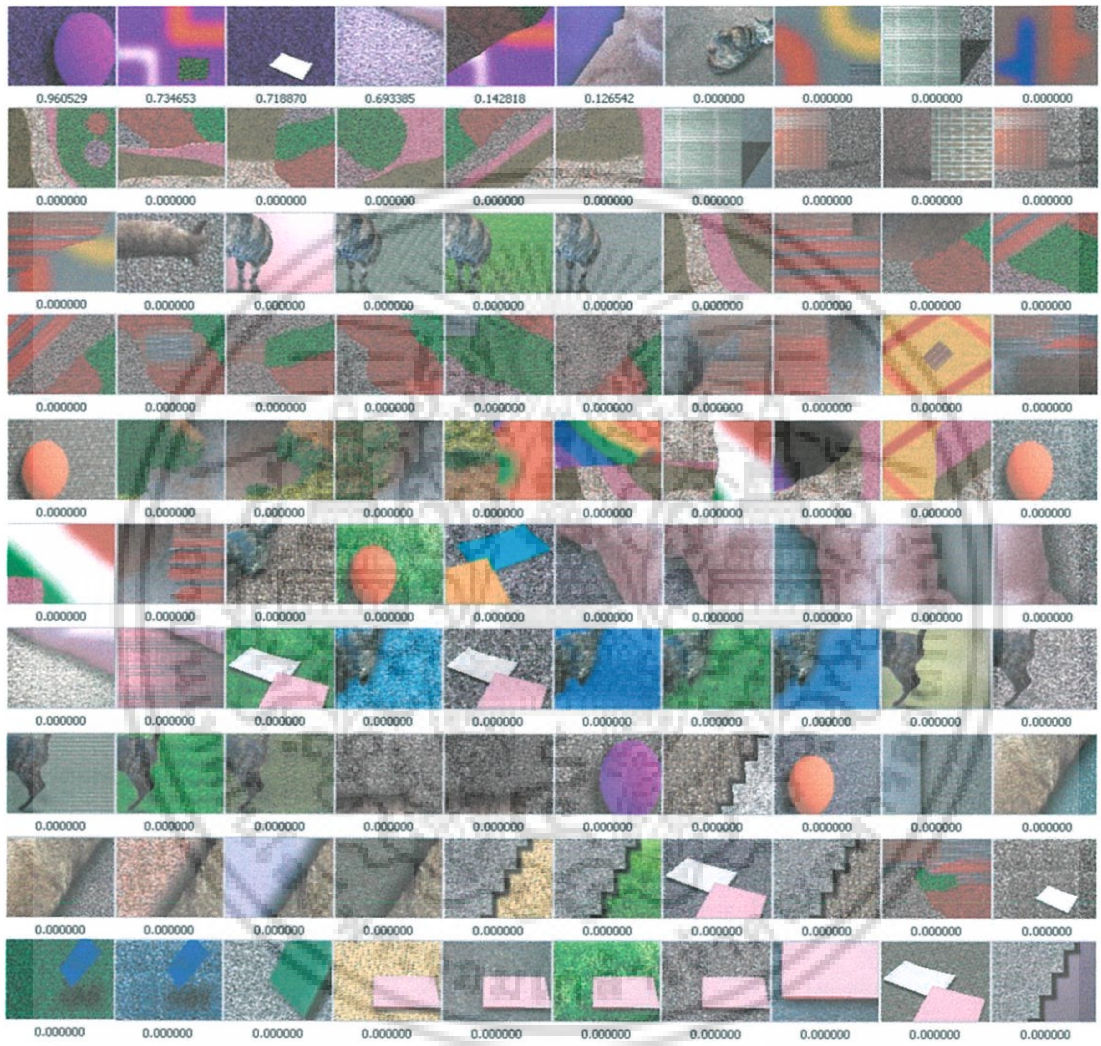
(ข)

รูปที่ 5.27 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “purple, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

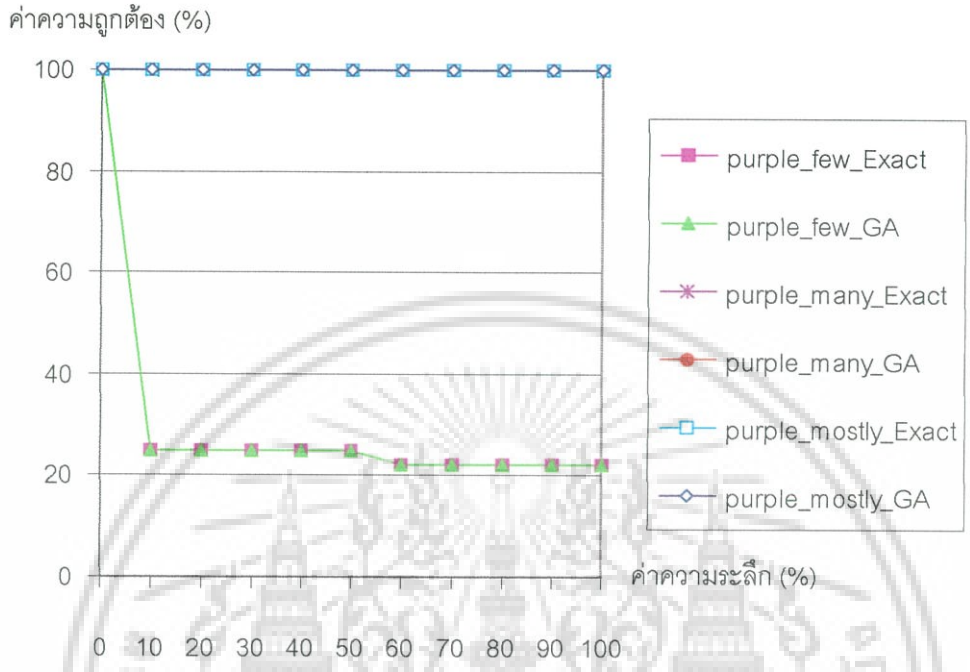


(ข)

รูปที่ 5.28 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “purple, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

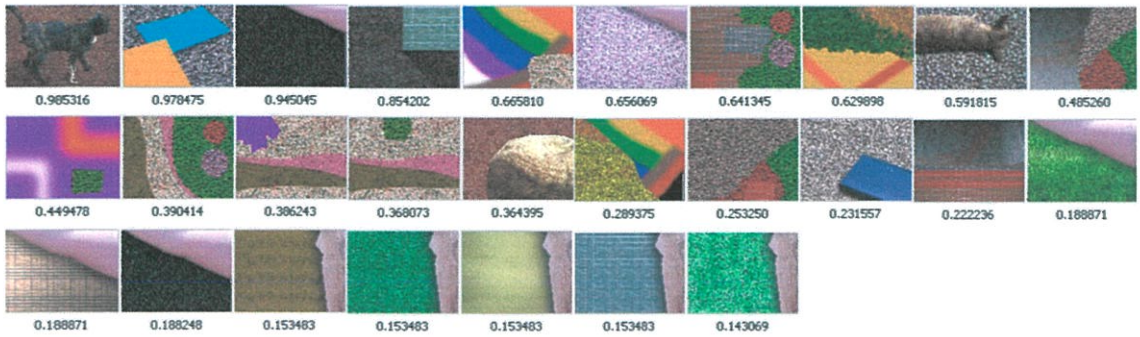
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น “สีม่วง” ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



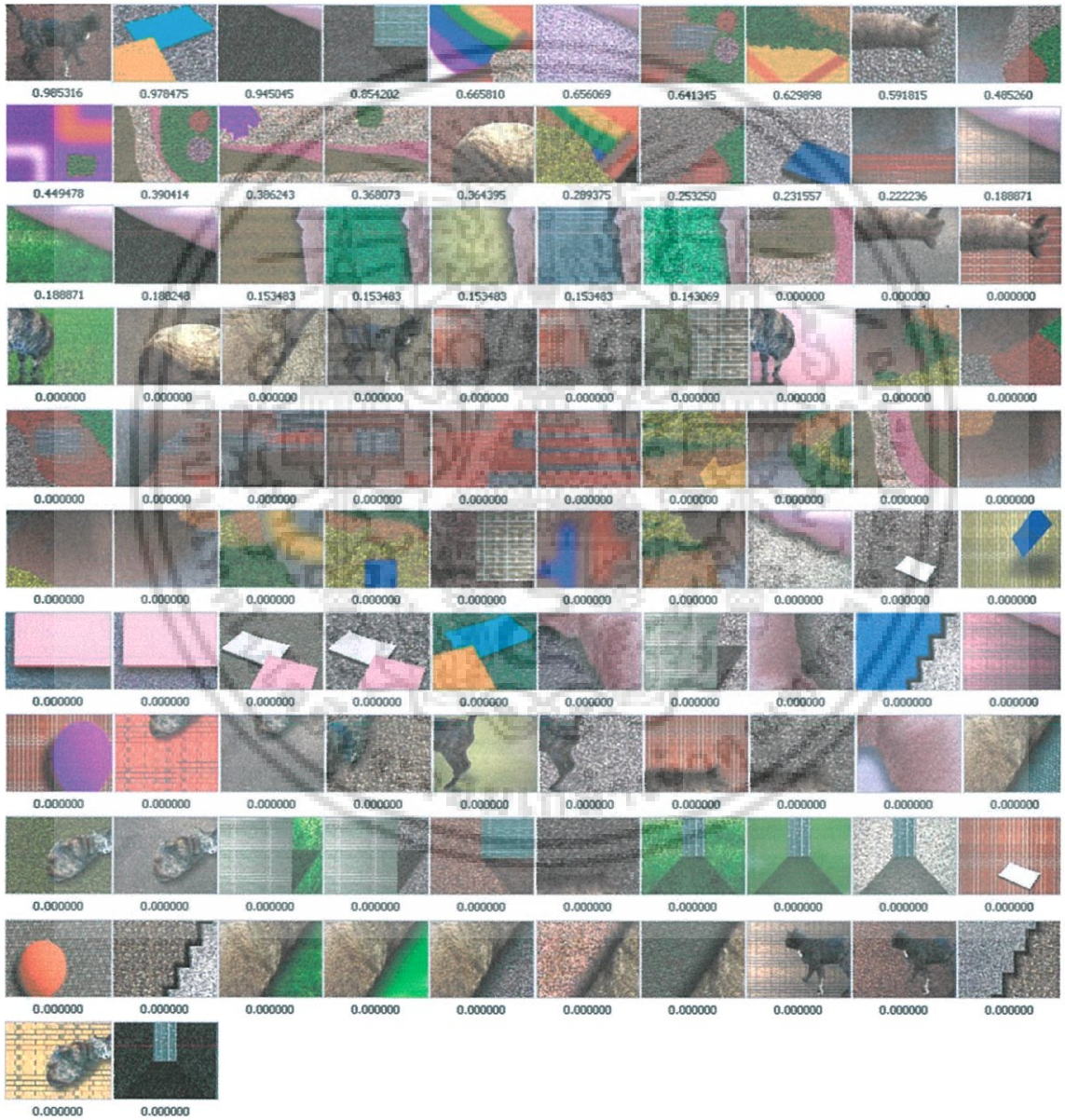
รูปที่ 5.29 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “purple, few” , “purple, many” และ “purple, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.29 พบว่า การค้นคืนทั้งสองวิธี โดยใช้คำค้นปริมาณ “ปานกลาง” และ “มาก” ให้ค่าความถูกต้องเท่ากันคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการค้นคืนสีม่วงที่ปริมาณ “น้อย” ของทั้งสองวิธีพบว่าให้ค่าความถูกต้องเท่ากัน ทำให้กราฟปรากฏเพียง 2 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

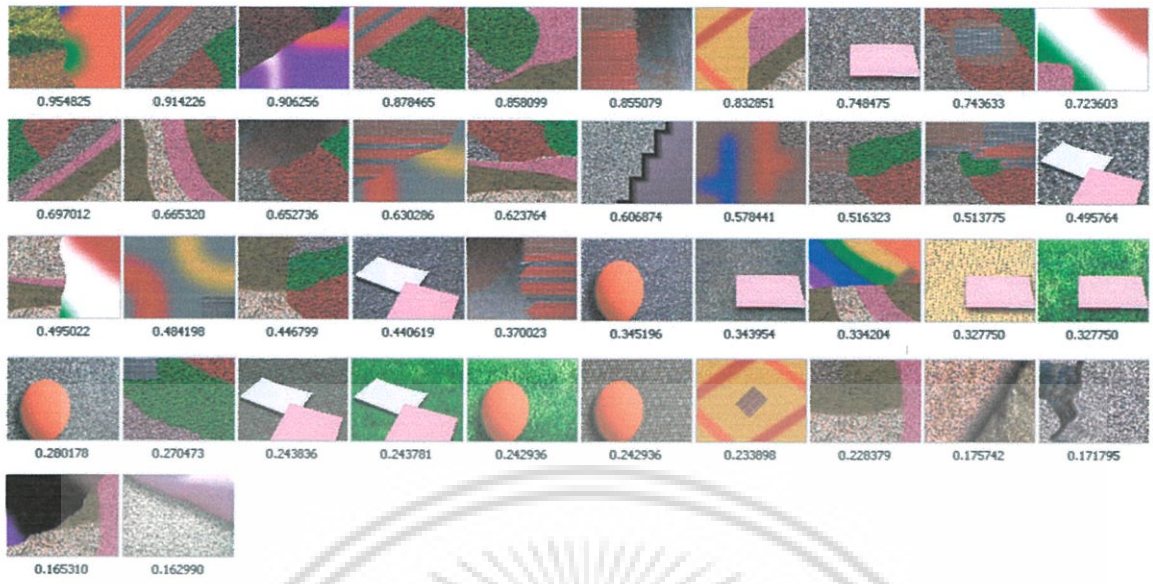


(ข)

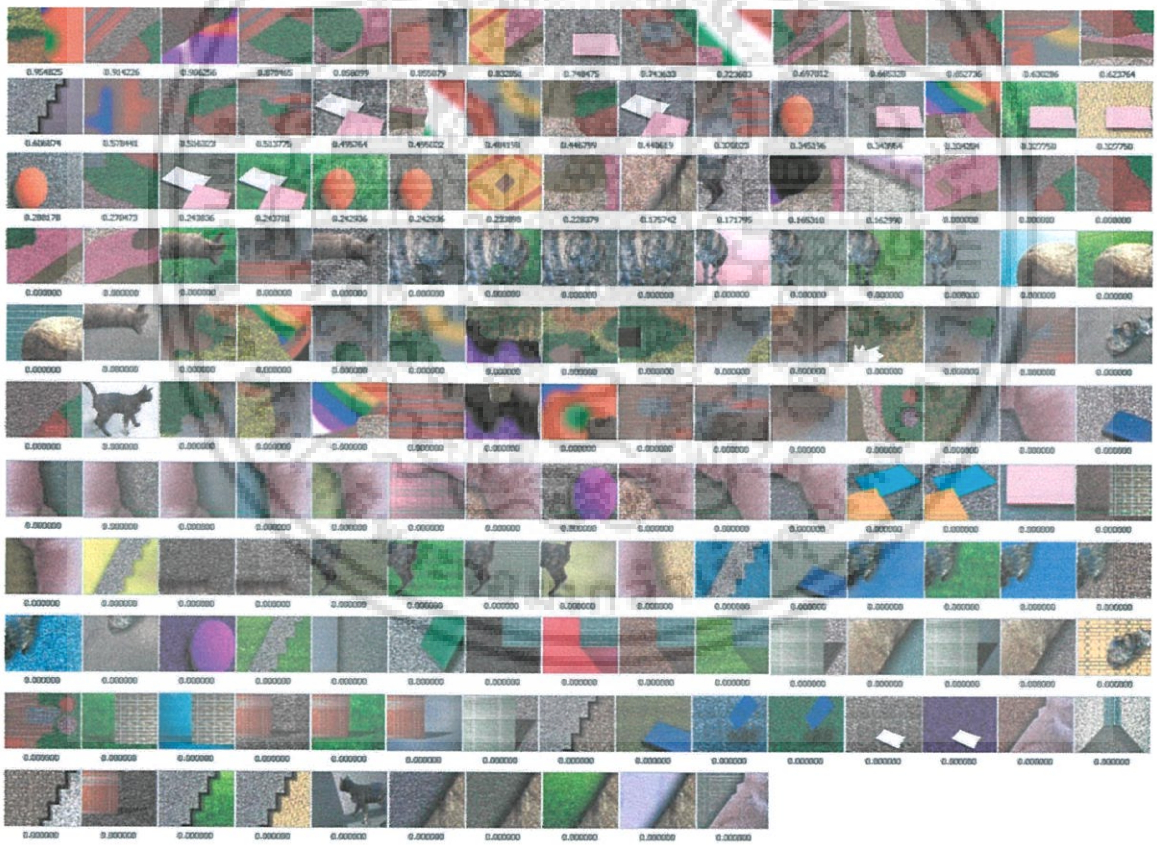
รูปที่ 5.30 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “red, few”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

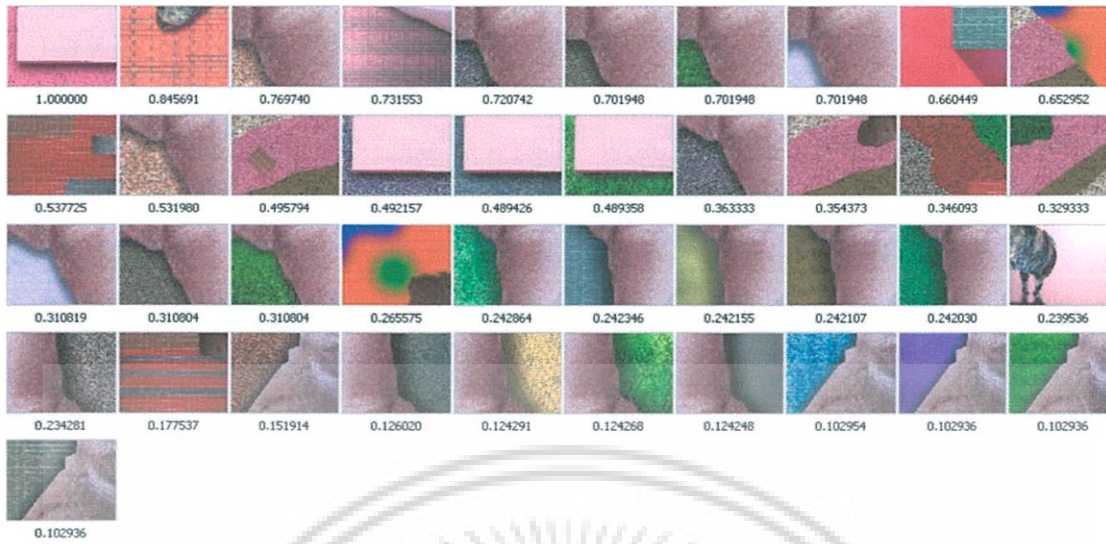


(ข)

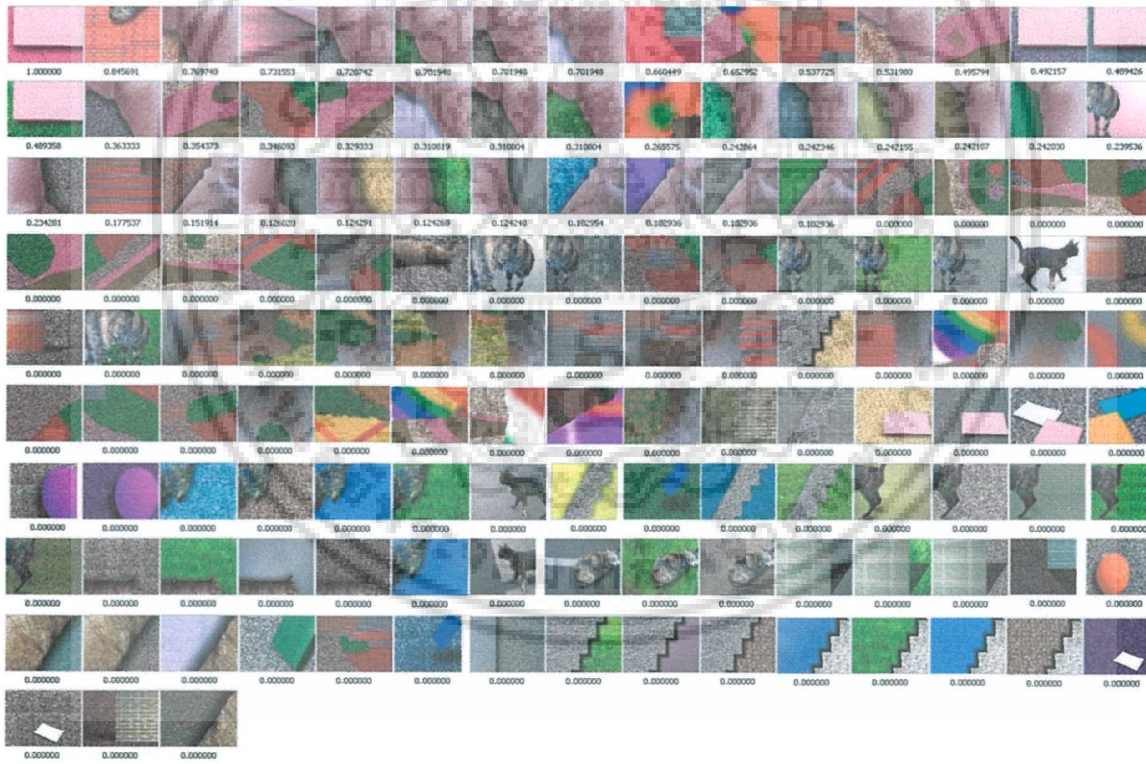
รูปที่ 5.31 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “red, many”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

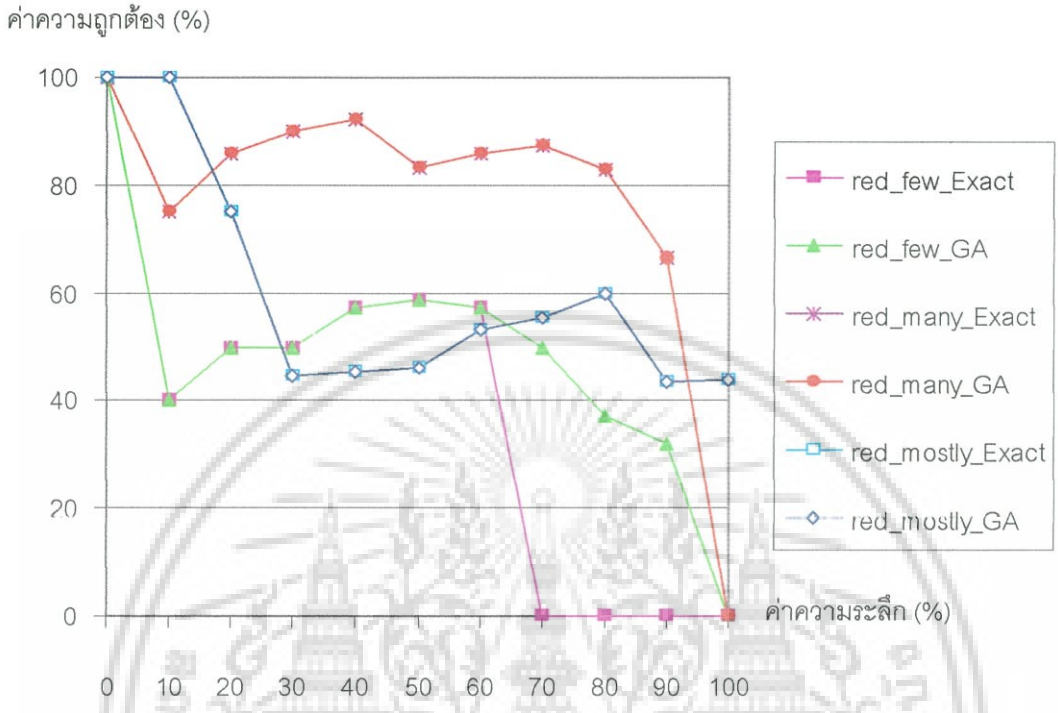


(ข)

รูปที่ 5.32 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “red, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

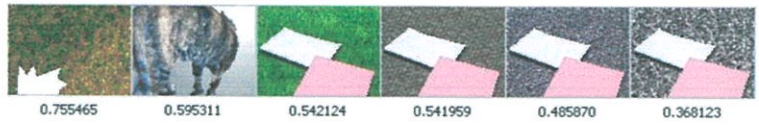
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น “สีแดง” ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



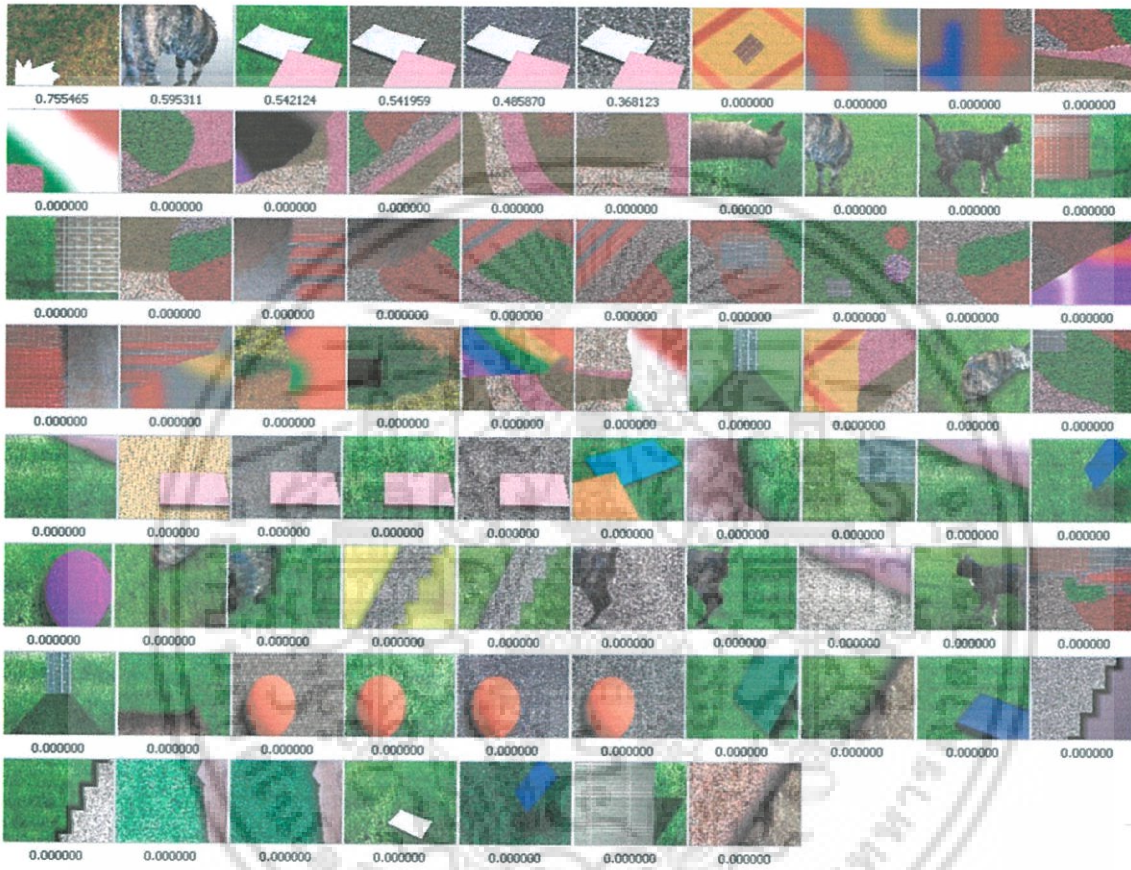
รูปที่ 5.33 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น “red, few” , “red, many” และ “red, mostly” ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.33 พบว่า ค่าความถูกต้องของการค้นคืนสีแดงปริมาณมาก มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับคำค้นปริมาณอื่นๆ สำหรับคำค้นปริมาณปานกลาง พบว่ามีค่าความถูกต้องที่ต่ำ ในช่วงค่าความระลึก 30 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ อาจเป็นเพราะระบบค้นคืนภาพที่ถูกกำหนดดัชนีสีที่ผิดขึ้นมามาก อาจเป็นเพราะระบบคัดแยกสีของภาพแตกต่างจากที่ผู้ใช้มองเห็น ทำให้บางภาพค้นคืนขึ้นมาถูกต้องตามดัชนีสีของภาพ แต่กลับไม่ใช่สีที่ผู้ใช้ต้องการค้นคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

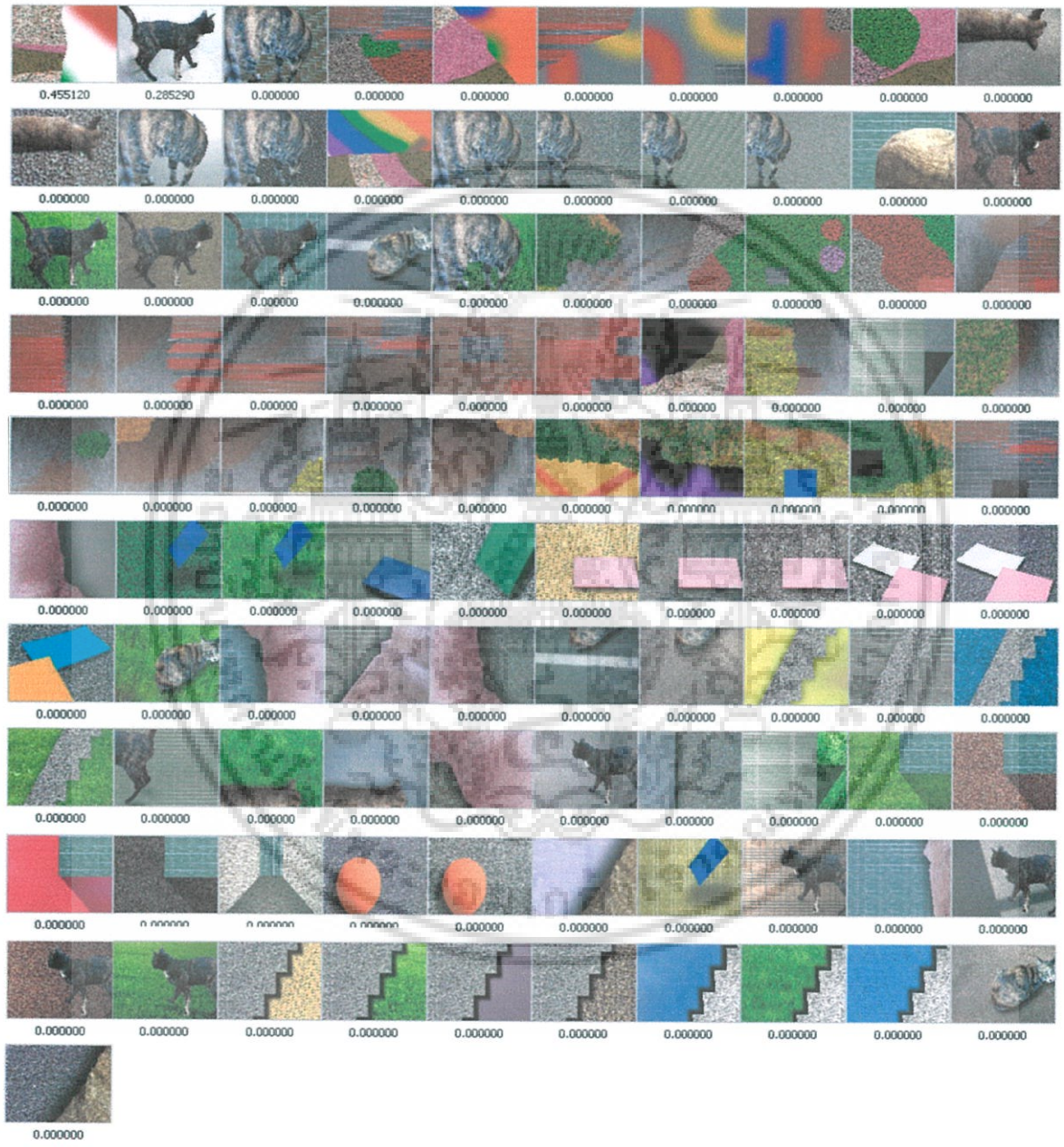


(ข)

รูปที่ 5.34 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “white, few”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



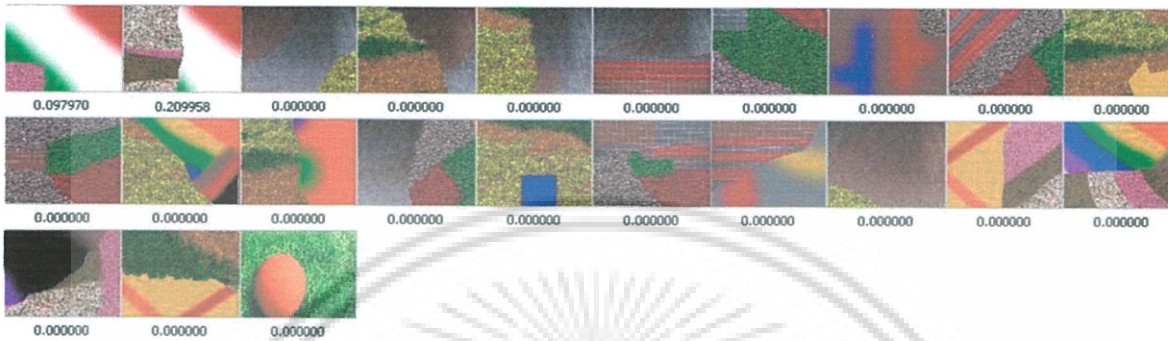
(ข)

รูปที่ 5.35 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “white, many”

(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

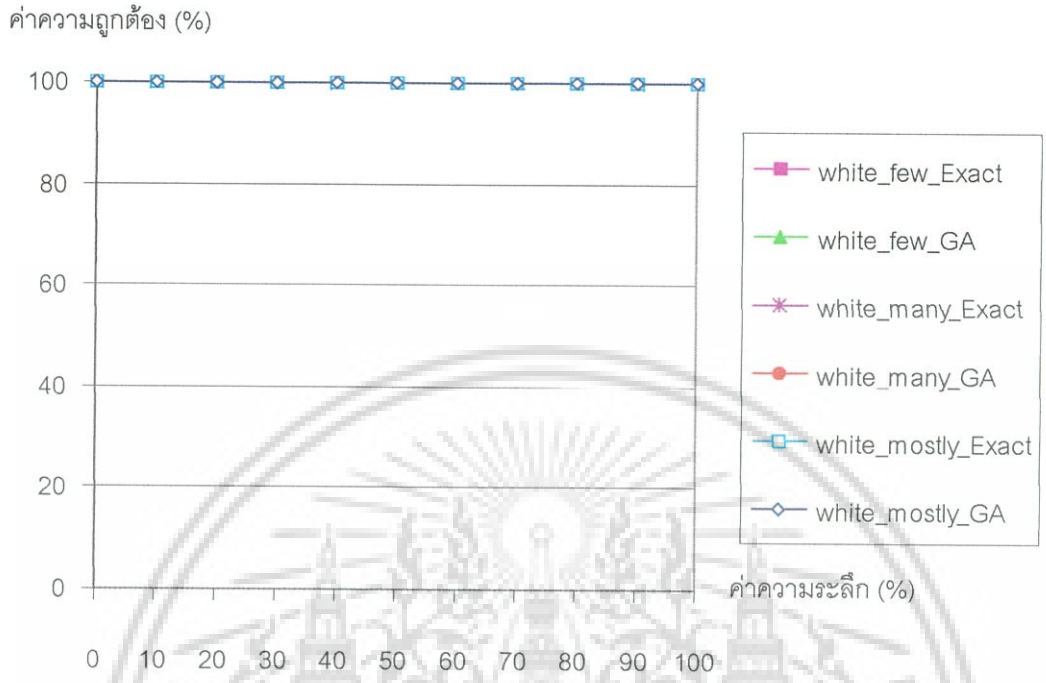


(ข)

รูปที่ 5.36 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “white, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

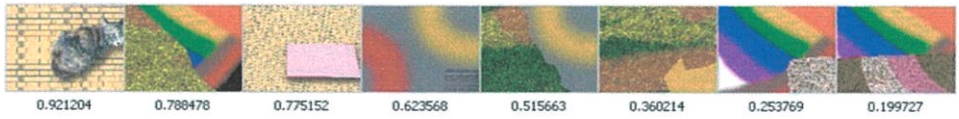
เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น "สีขาว" ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้



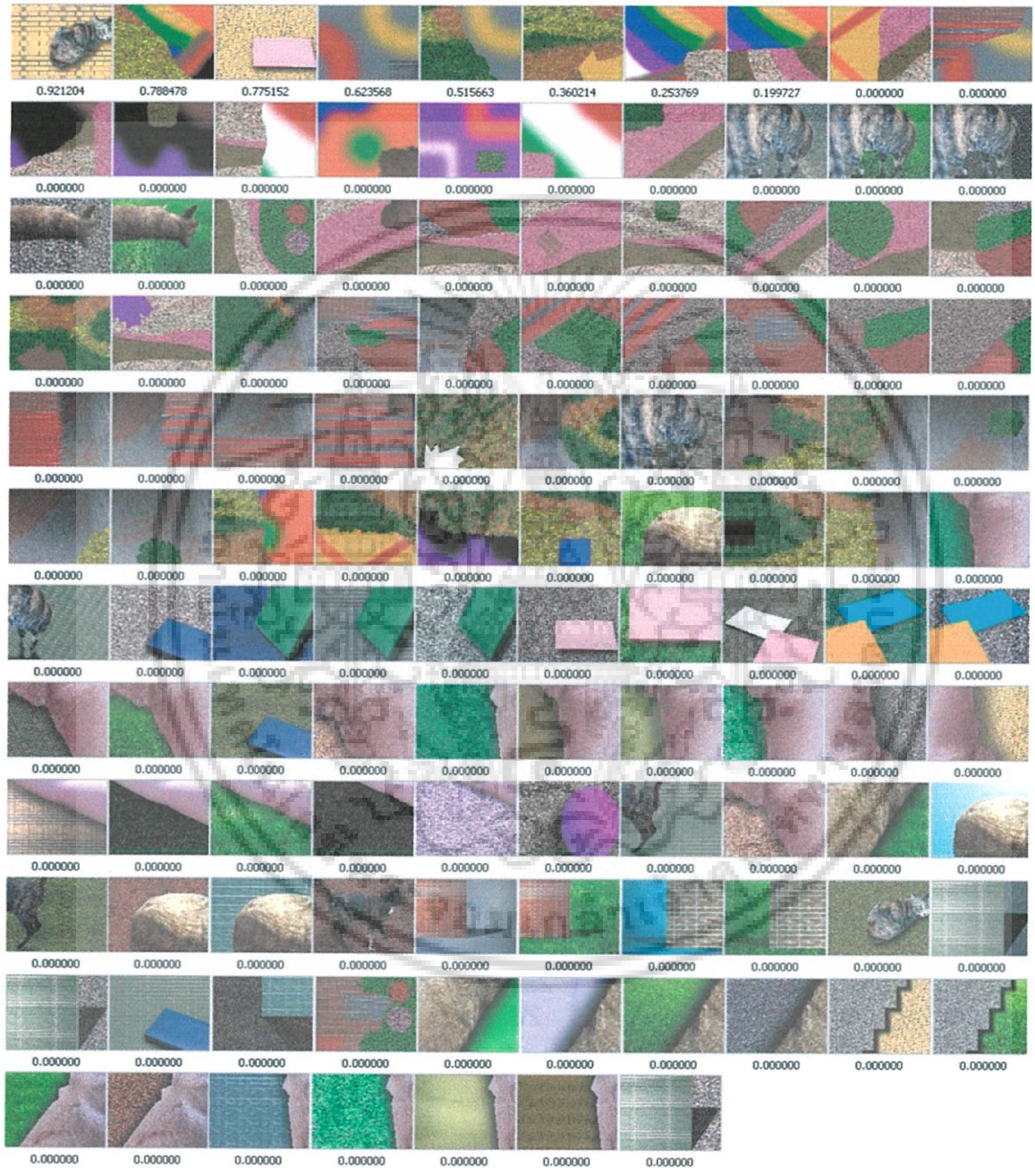
รูปที่ 5.37 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น "white, few" , "white, many" และ "white, mostly" ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.37 พบว่า ทุกๆ ปริมาณของการค้นคืนสีขาว ให้ค่าความถูกต้องเท่ากันคือ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการคัดแยกสีขาวของระบบสามารถทำได้อย่างถูกต้องชัดเจน ทำให้ภาพที่ค้นคืนได้มีความถูกต้องทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



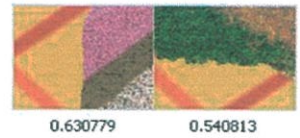
(ก)



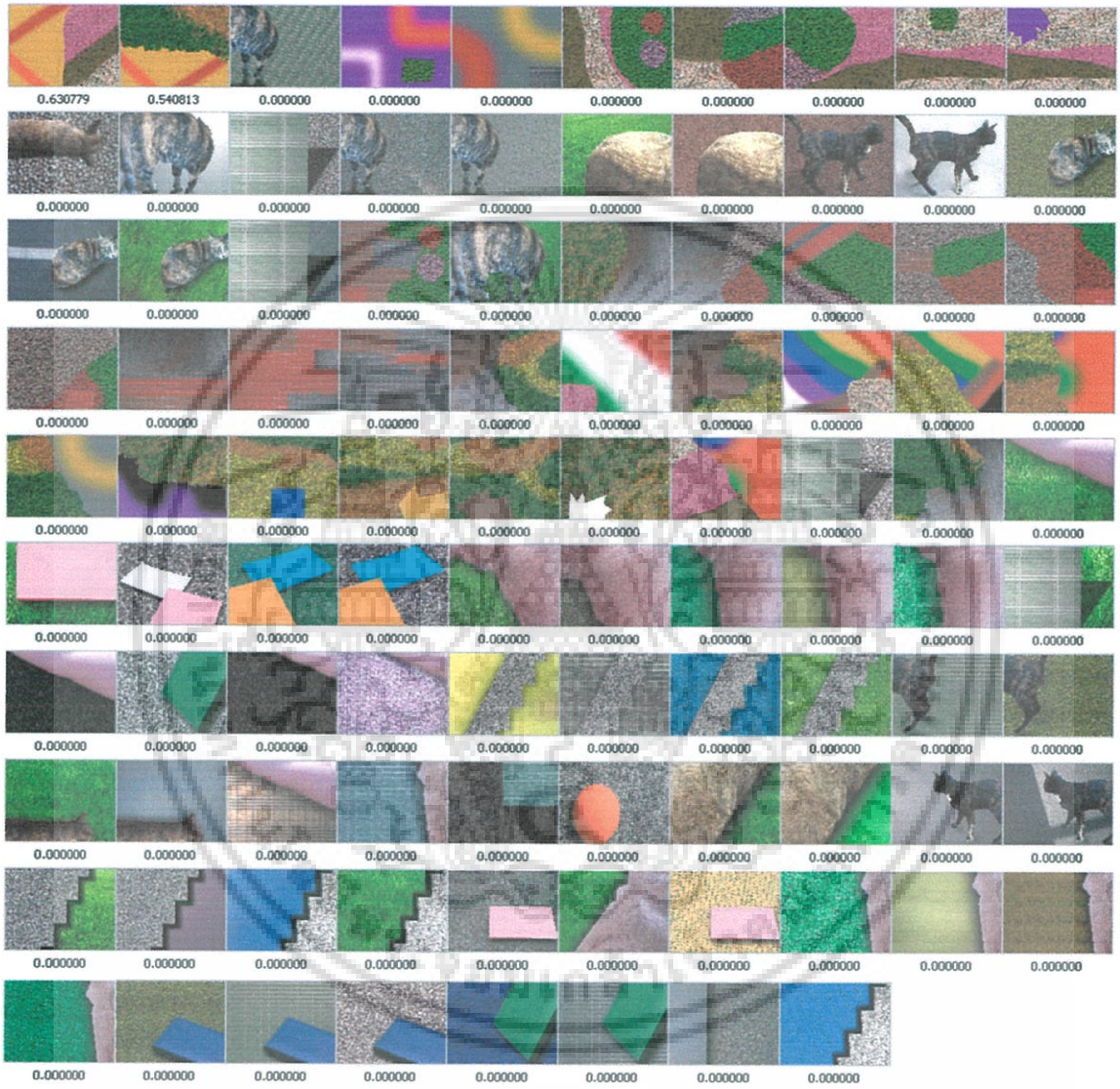
(ข)

รูปที่ 5.38 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “yellow, few”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



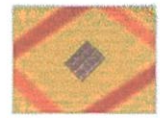
(ก)



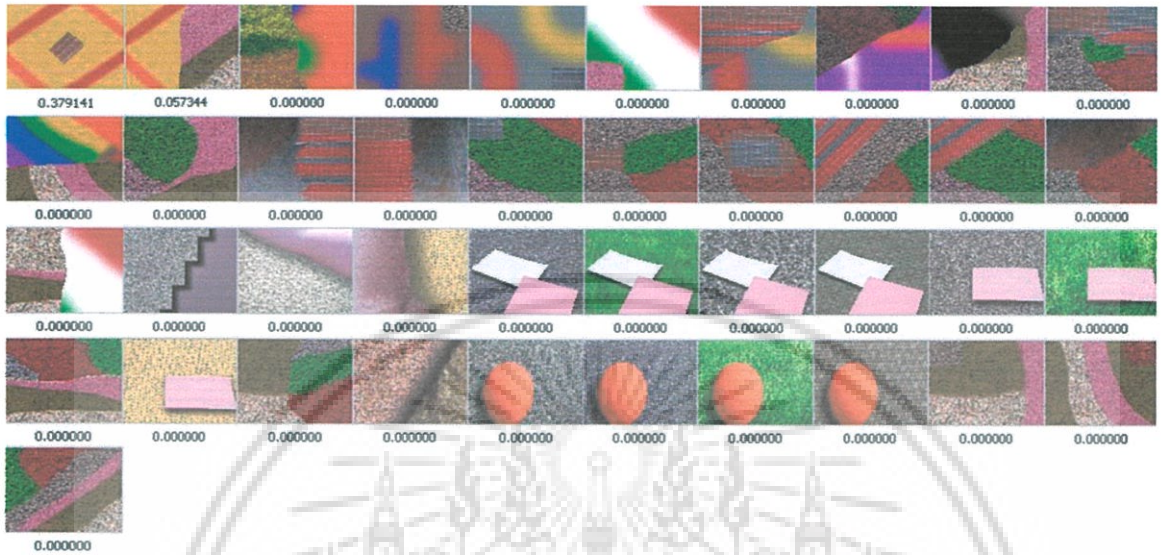
(ข)

รูปที่ 5.39 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “yellow, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

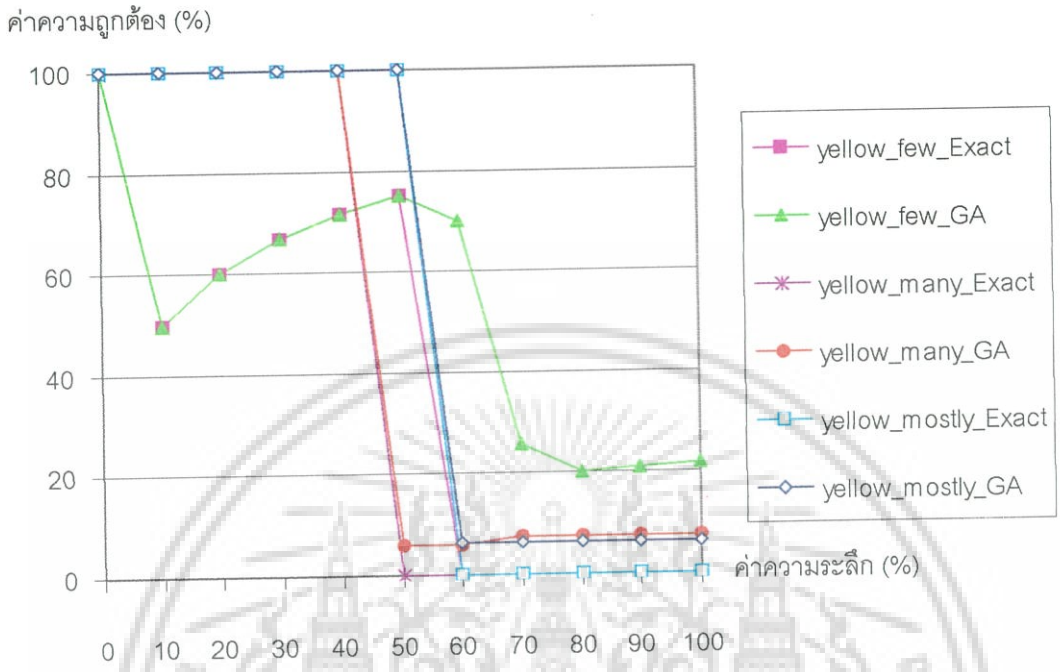


(ข)

รูปที่ 5.40 แสดงผลการค้นคืนภาพแบบโดยรวม โดยใช้คำค้น “yellow, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของคำค้น "สีเหลือง" ทั้งสามปริมาณ กราฟที่ได้เป็นดังนี้

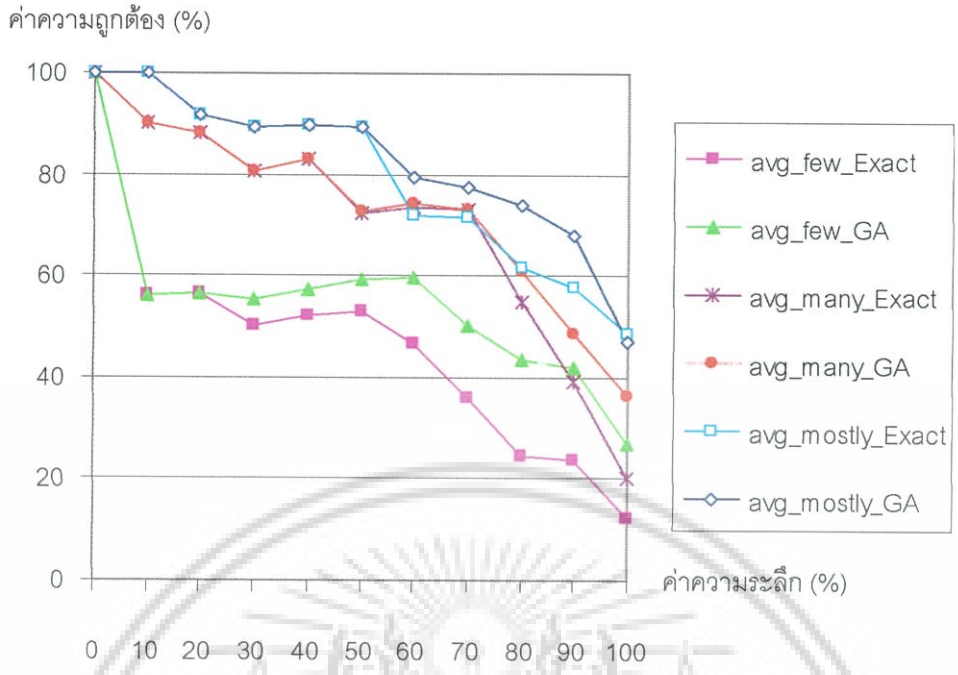


รูปที่ 5.41 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้อง ของคำค้น "yellow, few" , "yellow, many" และ "yellow, mostly" ทั้งวิธีค้นคืนแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.41 พบว่า การค้นคืนภาพ "สีเหลืองมาก" นั้นให้ค่าความระลึกที่ต่ำ คือเป็นศูนย์ที่ระดับค่าความระลึก 50 เปอร์เซ็นต์สำหรับวิธีตรงคำค้น และ 60 เปอร์เซ็นต์สำหรับวิธีจีเนติกอัลกอริทึมขยายคำค้น ทั้งนี้เพราะว่า ภาพที่น่าจะเป็นสีเหลืองกลับถูกกำหนดดัชนีสีให้เป็นสีอื่น ทำให้ระบบไม่สามารถค้นคืนขึ้นมาได้ทั้งหมด แม้จะว่าจะขยายคำค้นแล้วก็ยังไม่ครอบคลุมถึงภาพที่เกี่ยวข้องทั้งหมด สำหรับปริมาณ "ปานกลาง" และ "น้อย" ระบบค้นคืนได้แต่ค่าความถูกต้องที่ต่ำ ซึ่งอาจเป็นเพราะสาเหตุที่ได้กล่าวมาแล้วนั่นคือ ค้นคืนภาพที่ถูกกำหนดดัชนีสีผิด หรือภาพที่ค้นคืนขึ้นมาไม่เกี่ยวข้องกับคำค้นของผู้ใช้ เป็นต้น

จากการค้นคืนภาพข้างต้นโดยใช้คำค้นสีต่างๆ 10 สี และแต่ละสีถูกค้นคืนด้วยคำแสดงปริมาณมาก (mostly) ปานกลาง (many) และน้อย (few) เมื่อนำค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของทุกสี และทุกปริมาณมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ดังกราฟในรูปที่ 5.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของคำค้นสี 10 สี ที่ปริมาณต่างๆ เปรียบเทียบวิธีการทั้งแบบตรงและแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จากกราฟในรูปที่ 5.42 จะเห็นได้ว่า หากใช้คำค้นเป็นสี 1 สีค้นคืนภาพ การกำหนดคำค้นโดยใช้สีคู่กับปริมาณมาก (mostly) จะให้ค่าความถูกต้องที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับปริมาณอื่นๆ ทั้งนี้เพราะปริมาณสีที่มากจะปรากฏอย่างชัดเจนในภาพต่างจากปริมาณอื่นๆ เช่น ปานกลางหรือน้อย ซึ่งอาจจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้หากพิกเซลสีในภาพมีการกระจาย แม้ว่าระบบจะคัดแยกได้ แต่เนื่องจากการไม่เกาะกลุ่มกันเป็นบริเวณที่ชัดเจนทำให้ผู้ใช้ไม่ได้ให้ความสำคัญว่ามีสีนั้นอยู่ในภาพ ตัวอย่างเช่น ปริมาณสีดำน้อย (black, few) ระบบอาจคัดแยกได้เป็นเพราะขอบหรือเงาขององค์ประกอบในภาพ หรือปริมาณสีฟ้าน้อย (blue, few) ที่ระบบคัดแยกได้อาจเป็นเพราะภาพมีเฉดสีเป็นสีฟ้ากระจายไปทั่วทั้งภาพ แต่ในการมุมมองของคนเราจะมองว่า การกำหนดบริเวณสีฟ้าในภาพจะต้องเป็นบริเวณเดียว ด้วยเหตุนี้ปริมาณที่น้อยจึงทำให้การค้นคืนมีความถูกต้องต่ำกว่าปริมาณอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้จีเนติกมาขยายคำค้นนั้นทำให้ระบบค้นคืนภาพที่คาดว่าจะเกี่ยวข้องขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ทำให้บางภาพที่ไม่ถูกค้นคืนด้วยวิธีการค้นคืนแบบตรง กลับถูกค้นคืนมาได้ ทำให้ค่าความถูกต้องของการค้นคืนภาพสูงขึ้นในแต่ละระดับค่าความระลึก

สำหรับการขยายคำค้นโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึมพบว่า สีที่จะถูกขยายคำค้นและค้นคืนภาพอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องขึ้นมาได้ดี คือ สีที่มีช่วงสีใกล้เคียงกันในขั้นตอนการคัดแยก ได้แก่ สีเหลือง, สีแดง, สีส้ม, และสีน้ำตาล ส่วนสีอื่นๆ พบว่า การขยายคำค้นให้ผลที่ไม่ดีนัก

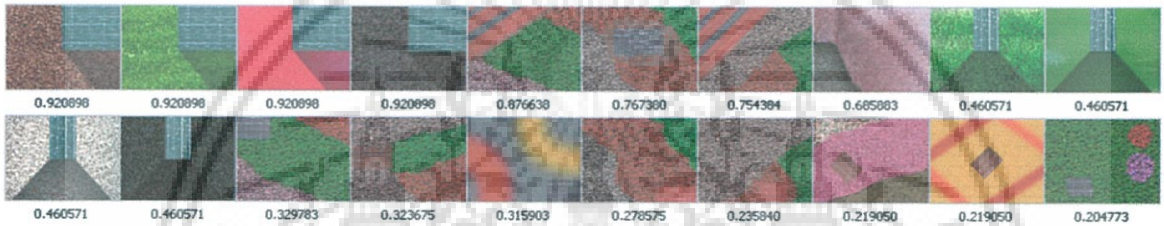
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ผลการค้นคืนรูปภาพแบบโดยรวม (Global) โดยใช้พื้นผิว

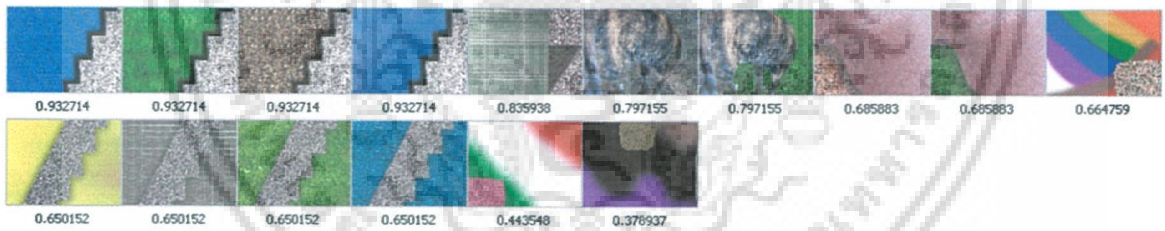
ในการทดลองการค้นคืนรูปภาพโดยใช้พื้นผิวเพียงอย่างเดียวในการค้นคืน พบว่า ในขณะนี้จีเนติกอัลกอริทึมยังไม่สามารถทำการขยายคำค้นดัชนีพื้นผิวได้ ดังนั้นการทดลองจึงจะใช้วิธีการค้นคืนแบบตรงคำค้นเพียงอย่างเดียว โดยจะกำหนดคำค้นที่ประกอบด้วยพื้นผิว 1 พื้นผิวและ 2 พื้นผิว

5.3.2.1 ผลการค้นคืนรูปภาพ โดยใช้คำค้นที่เป็นพื้นผิว 1 พื้นผิว

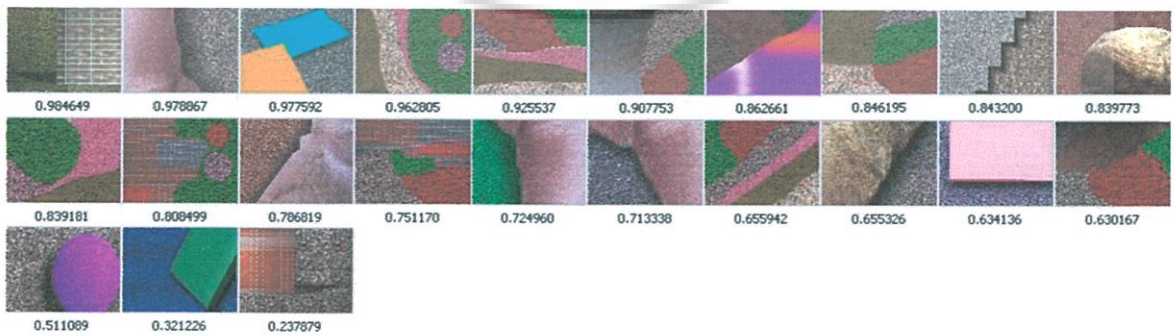
เมื่อกำหนดคำค้นซึ่งเป็นชื่อพื้นผิวที่ต้องการค้นคืน 1 พื้นผิว ระบบสามารถทำการค้นคืนให้แก่ผู้ใช้ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 5.43 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “brick, few”

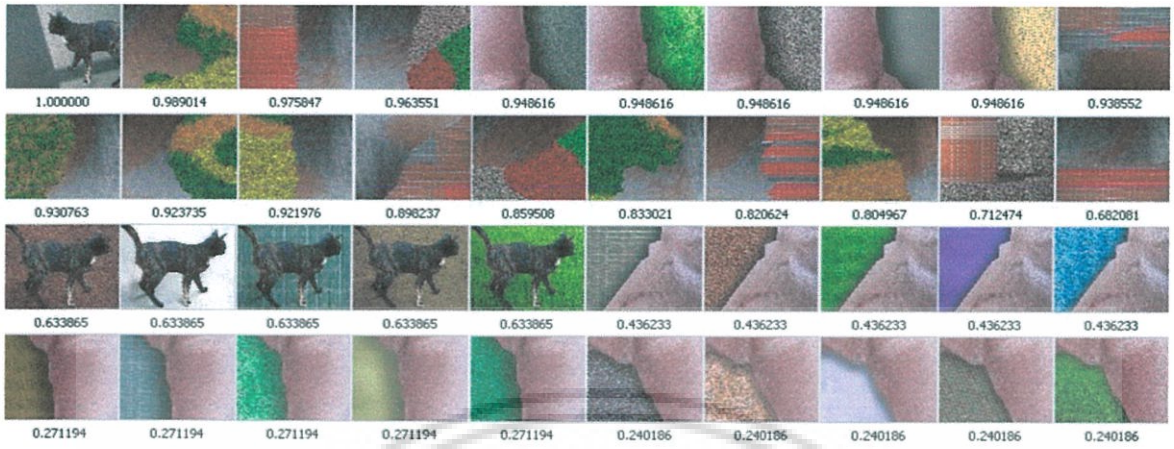


รูปที่ 5.44 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “sand, few”

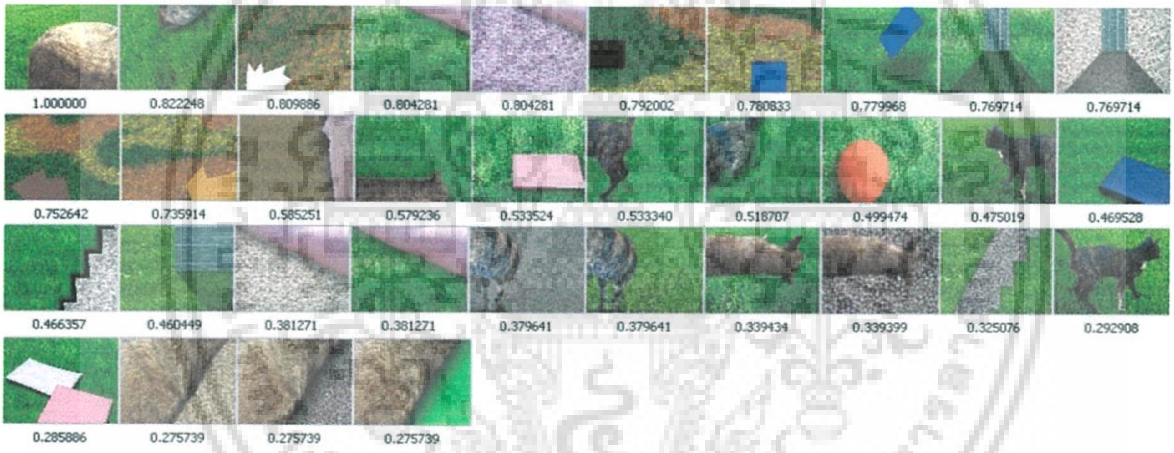


รูปที่ 5.45 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “bead, many”

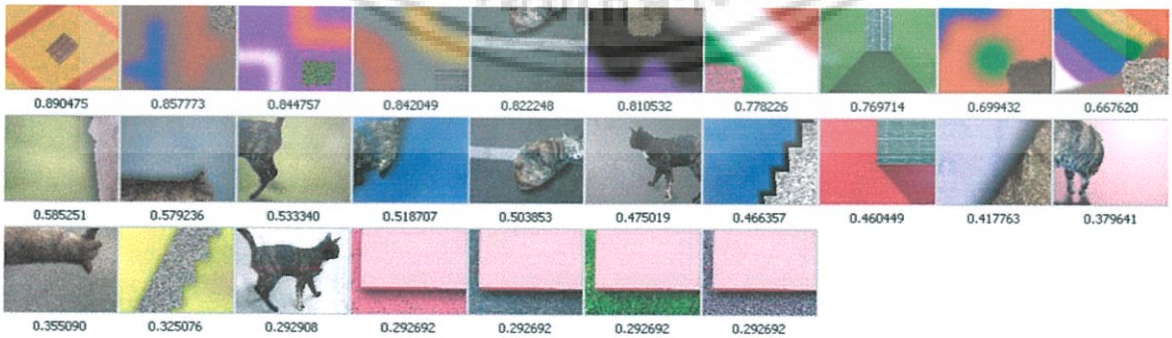
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.46 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “fur, many”

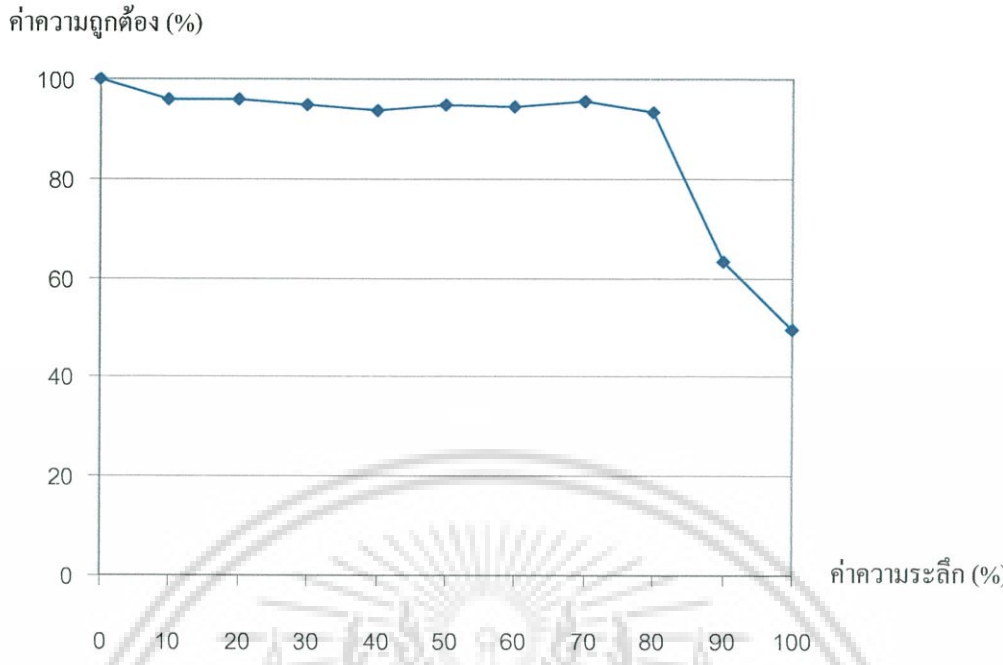


รูปที่ 5.47 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “grass, mostly”



รูปที่ 5.48 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “plane, mostly”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

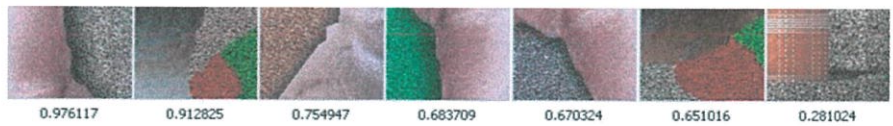


รูปที่ 5.49 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของคำค้น "brick, few" , "sand, few" , "bead, many" , "fur, many" , "grass, mostly" และ "plane, mostly"

จากกราฟข้างต้นพบว่า การค้นคืนภาพที่กำหนดคำค้นเป็นพื้นผิวจะให้ค่าความถูกต้องในการค้นคืนเท่ากับ 100% ในกรณีที่ภาพนั้นได้ถูกกำหนดดัชนีพื้นผิวไว้แล้วอย่างถูกต้อง แต่หากว่าดัชนีพื้นผิวถูกกำหนดมาผิดในขั้นตอนการคัดแยกและกำหนดดัชนีพื้นผิว เช่น ภาพหญ้าแต่ถูกกำหนดดัชนีให้เป็นภาพขนสัตว์ ในกรณีนี้แม้จะใช้วิธีการค้นคืนแบบตรงก็จะได้ภาพที่ผิด ทำให้ความถูกต้องมีค่าลดลง

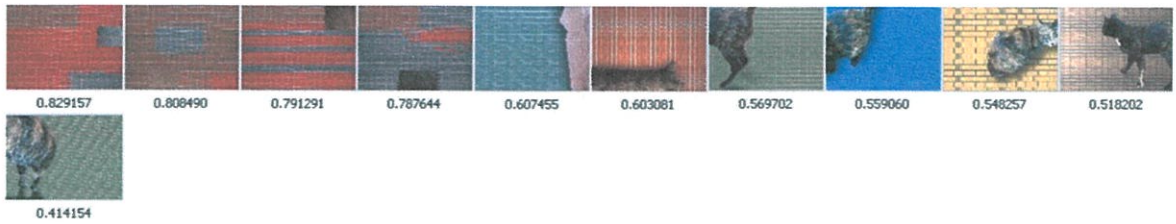
5.3.2.2 ผลการค้นคืนรูปภาพ โดยใช้คำค้นที่เป็นพื้นผิว 2 พื้นผิว

สำหรับการค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำค้นที่เป็นพื้นผิว 2 พื้นผิว จะสามารถค้นคืนได้วิธีเดียวคือค้นคืนแบบตรงคำค้น เนื่องจากจีเนติกอัลกอริทึมยังไม่สามารถขยายคำค้นพื้นผิวได้ ผลการค้นคืนภาพโดยใช้คำค้นพื้นผิวต่าง ๆ ประกอบกัน เป็นดังต่อไปนี้

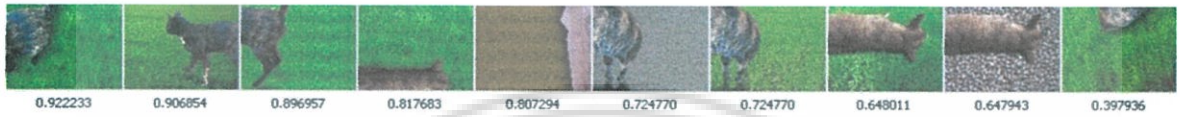


รูปที่ 5.50 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น "bead,many AND fur,many"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



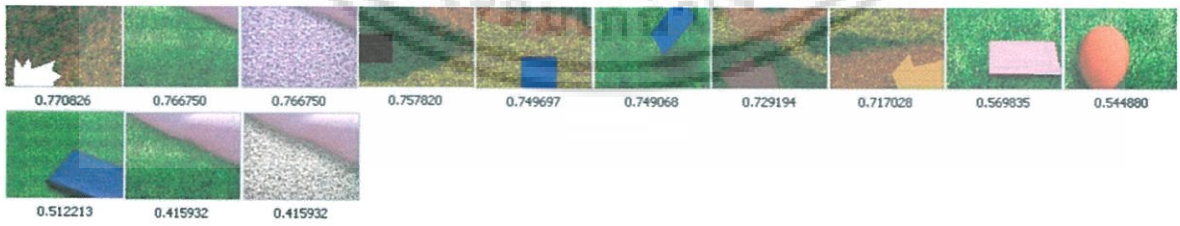
รูปที่ 5.51 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “brick, mostly AND fur, few”



รูปที่ 5.52 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “fur, few AND grass, mostly”

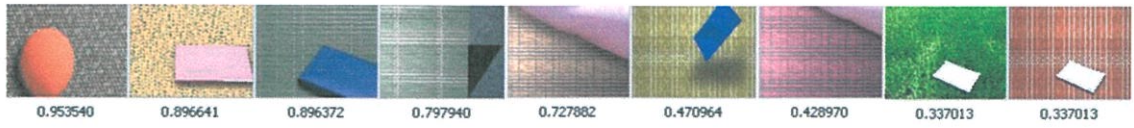
รูปที่ 5.53 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “fur, mostly AND grass, few”

รูปที่ 5.54 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “grass, mostly AND brick, few”

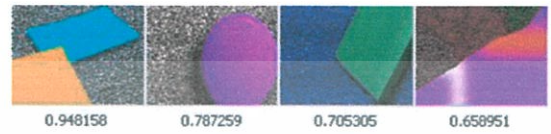


รูปที่ 5.55 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “grass, mostly AND plane, few”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

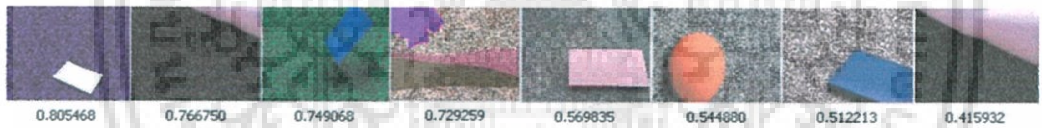


รูปที่ 5.56 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “plane, few AND brick, mostly”



รูปที่ 5.57 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “plane, many AND bead, many”

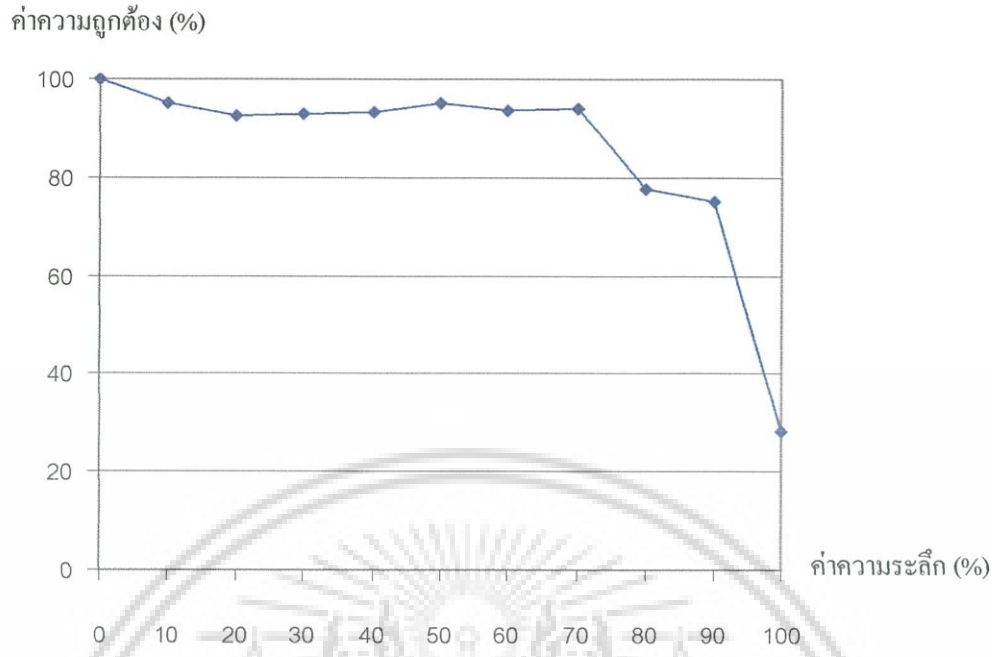
รูปที่ 5.58 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “sand, mostly AND bead, few”



รูปที่ 5.59 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรง โดยใช้คำค้น “sand, mostly AND plane, few”

เมื่อนำค่าความระลึกและค่าความถูกต้องของทั้ง 10 คำค้นข้างต้นมาทำการหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้เป็นไปดังรูปที่ 5.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.60 แสดงกราฟเฉลี่ยการค้นคืนรูปภาพแบบตรง ของคำค้น 10 คำค้น ได้แก่ "bead,many AND fur,many" , "brick, mostly AND fur, few" , "fur, few AND grass, mostly" , "fur, mostly AND grass, few" , "grass, mostly AND brick, few" , "grass, mostly AND plane, few" , "plane, few AND brick, mostly" , "plane, many AND bead, many" , "sand, mostly AND bead, few" และ "sand, mostly AND plane, few"

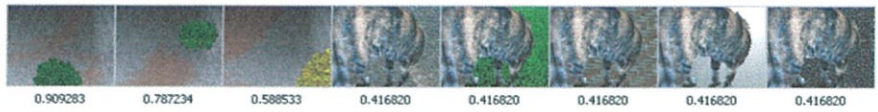
จากกราฟในรูปที่ 5.60 พบว่า ค่าความถูกต้องในการค้นคืนแบบตรงของคำค้น 2 พื้นผิวเป็นไปในลักษณะเดียวกับคำค้นที่เป็นพื้นผิว 1 พื้นผิว ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการค้นคืนแบบตรงจะค้นหาภาพที่มีดัชนีตรงกับคำค้นเท่านั้น ดังนั้นภาพที่ถูกกำหนดดัชนีพื้นผิวผิด ซึ่งเกิดในกระบวนการคัดแยกค่าคุณลักษณะและการกำหนดชื่อพื้นผิว อาจส่งผลให้การค้นคืนภาพตามดัชนีรูปภาพในฐานข้อมูลมีความผิดพลาดได้ เพราะแม้ว่าวิธีการการค้นคืนจะถูกต้อง แต่ดัชนีภาพที่ผิดอยู่ก่อนแล้วจะทำให้ระบบค้นคืนได้ภาพที่ไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้

5.3.3 ผลการค้นคืนรูปภาพแบบเฉพาะที่ (Local) โดยใช้สีร่วมกับพื้นผิว

ในการพิจารณาความหมายของวัตถุ (object) ที่ปรากฏในภาพ ผู้ใช้จะคำนึงถึงคุณลักษณะของสีและพื้นผิวที่มักจะพบเห็นทั่วไป เช่น พื้นหญ้าสีเขียว ขนสัตว์สีน้ำตาล เป็นต้น ในการค้นคืนโดยใช้สองคุณลักษณะเด่นร่วมกันนี้จะทำให้การค้นคืนภาพมีความเฉพาะเจาะจงและให้ผลการค้นคืนที่ตรงกับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการของผู้ใช้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากบางครั้ง การใช้เพียงสีหรือพื้นผิว อาจจะไม่ได้ความหมายที่แท้จริงของภาพ เช่น ถ้าผู้ใช้ต้องการภาพที่มีแมวสีดำปานกลาง แต่ใช้คำค้นเพียง “สีดำปานกลาง” ก็อาจไม่ได้ภาพแมวที่ต้องการก็ได้ แต่หากเปลี่ยนคำค้นเป็น “สีดำปานกลางและขนสัตว์” ก็จะทำให้ภาพแมวที่ต้องการถูกค้นคืนขึ้นมาได้ ผลการทดลองการใช้คำค้นที่เป็นสีร่วมกับพื้นผิวมีดังนี้

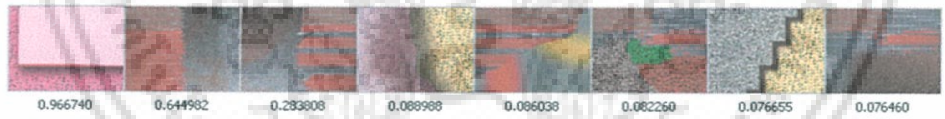


(ก)

(ข)

รูปที่ 5.61 แสดงการค้นคืนภาพโดยใช้คำค้น “black, many AND fur, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

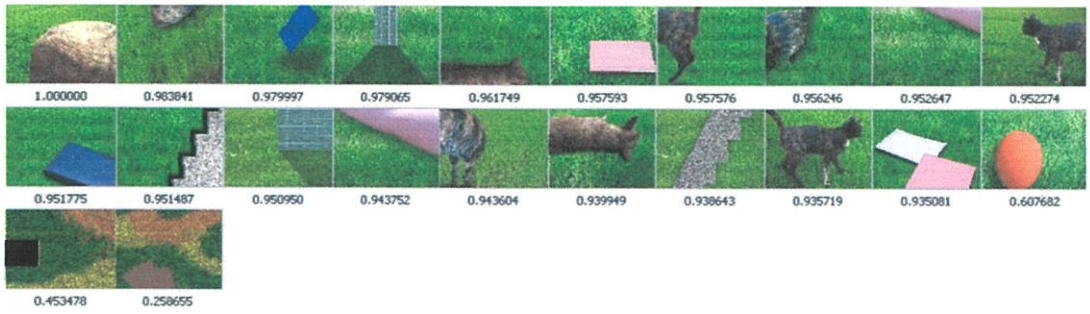
(ก)



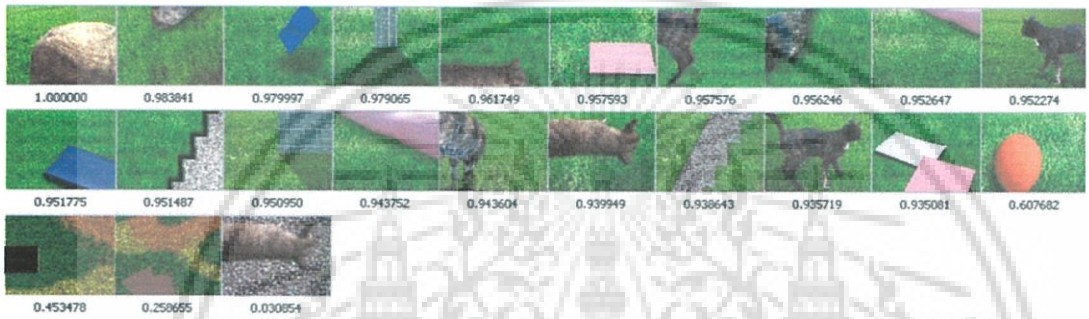
(ข)

รูปที่ 5.62 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “red, mostly AND brick, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

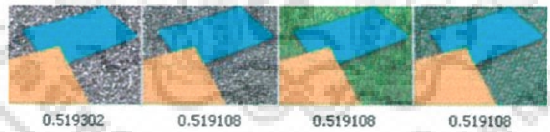


(ก)

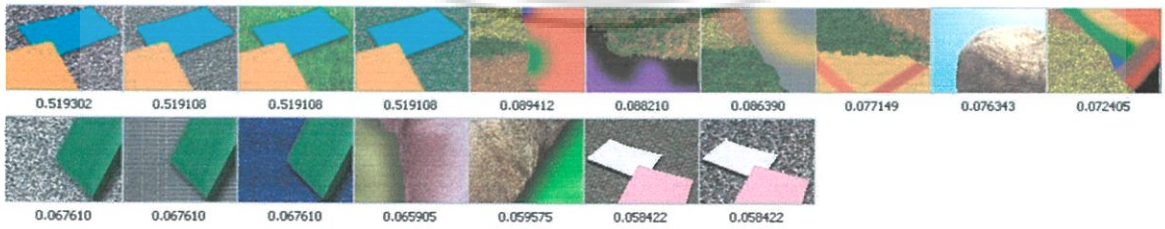


(ข)

รูปที่ 5.63 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “green, mostly AND grass, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น



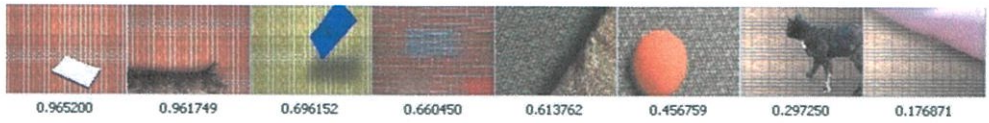
(ก)



(ข)

รูปที่ 5.64 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “orange, many AND plane, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

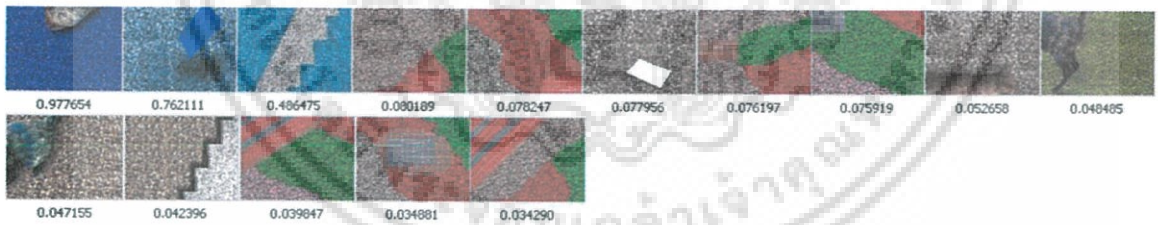


(ก)

(ข)

รูปที่ 5.65 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “brown, mostly AND brick, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

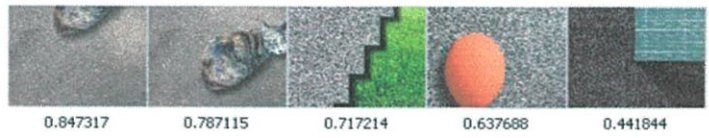
(ก)



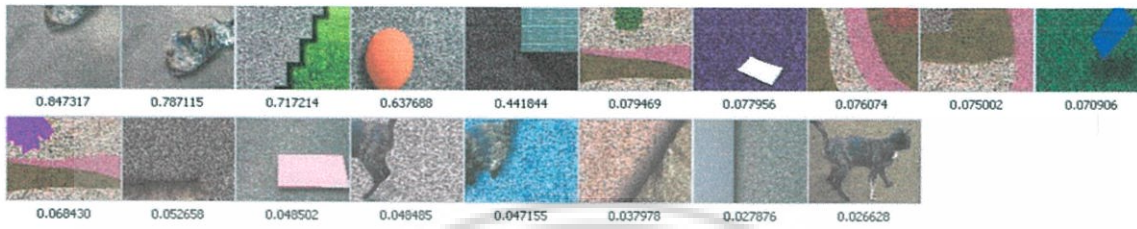
(ข)

รูปที่ 5.66 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “blue, mostly AND bead, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



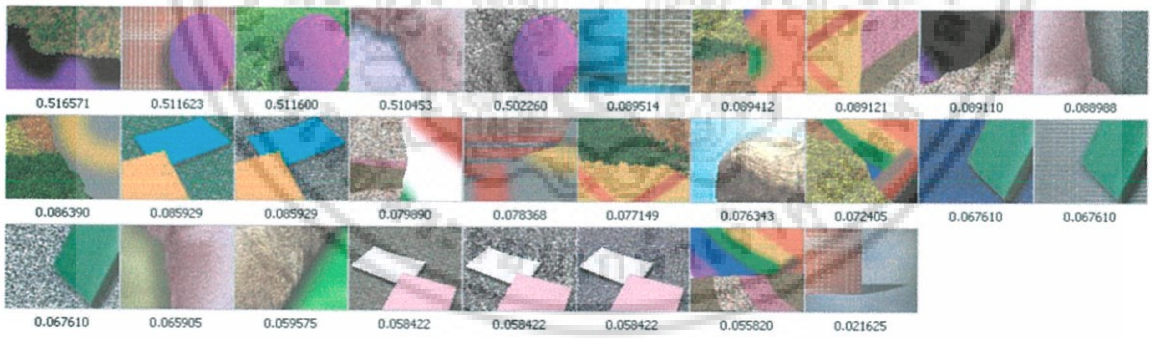
(ก)



(ข)

รูปที่ 5.67 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “gray, many AND sand, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

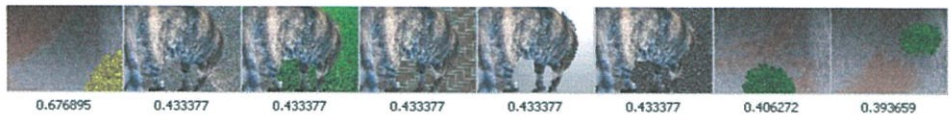
(ก)



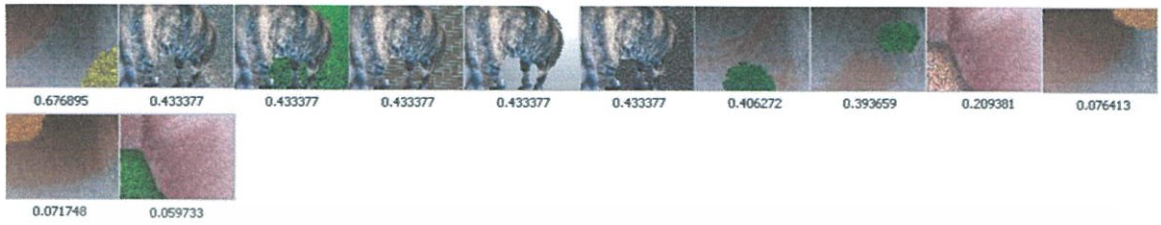
(ข)

รูปที่ 5.68 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “purple, many AND plane, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

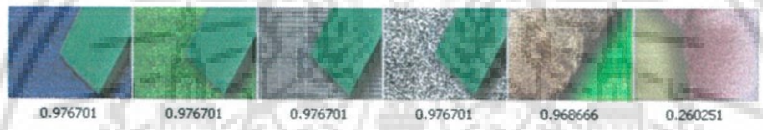


(ก)

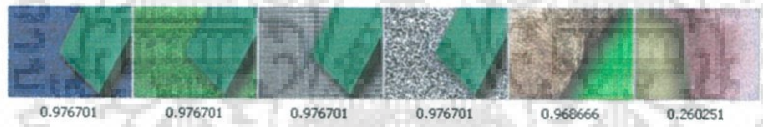


(ข)

รูปที่ 5.69 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “brown, many AND fur, mostly”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น



(ก)



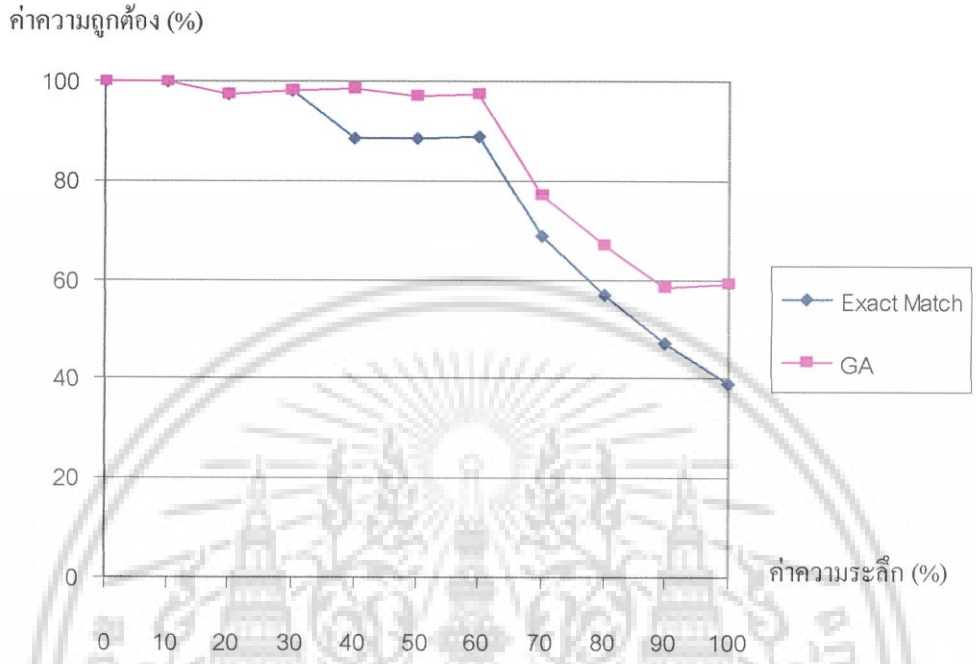
(ข)

รูปที่ 5.70 แสดงการค้นคืนภาพแบบตรงโดยใช้คำค้น “green, mostly AND plane, many”
(ก) แบบตรงคำค้น (ข) แบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น

จะเห็นได้ว่า เมื่อสร้างคำค้นที่ประกอบด้วยสีและพื้นผิว รูปภาพที่ระบบค้นคืนมาได้จะมีความหมายและตรงกับความต้องการที่แท้จริงของผู้ใช้มากกว่าการใช้สีหรือพื้นผิวเพียงอย่างเดียว เช่น ถ้าต้องการภาพแมว ผู้ใช้จะคิดว่าแมวเป็นวัตถุ (object) สีดำและมีพื้นผิวเป็นเส้นขน หากใช้คำค้นเป็นสีอย่างเดียว เช่น “สีดำ” อาจได้ภาพอื่นที่ไม่ใช่ภาพแมวก็ได้ ดังการค้นคืนในรูปที่ 5.4 แต่ถ้าสร้างคำค้น “สีดำและขนสัตว์” ซึ่งสื่อถึงวัตถุสีดำและก็มีพื้นผิวเป็นขนสัตว์ด้วย ก็จะค้นคืนได้ภาพที่เป็นภาพแมวตรงกับความต้องการของผู้ใช้ เช่น การค้นคืนในรูปที่ 5.61 อย่างไรก็ตามในบางกรณีเช่น ในรูปที่ 5.70 จะเห็นได้ว่าผลการค้นคืนทั้งสองวิธีนั้นเหมือนกัน ภาพที่ค้นคืนได้เป็นชุดเดียวกันเนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการจีเนติกอัลกอริทึมแล้วก็ยังได้คำค้นเดิม ไม่มีการขยายไปยังคำค้นอื่นๆ ทำให้ภาพที่ค้นคืนได้เป็นภาพชุดเดียวกับวิธีการค้นคืนแบบตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้คำค้นที่ประกอบด้วยสีและพื้นผิวทั้งหมด 10 คำค้นข้างต้น สามารถนำมาค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยได้ดังกราฟในรูปที่ 5.71



รูปที่ 5.71 แสดงกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยของคำค้น 10 คำค้น ได้แก่
"black, many AND fur, mostly" , "red, mostly AND brick, many" ,
"green, mostly AND grass, mostly" , "orange, many AND plane, many" ,
"brown, mostly AND brick, mostly" , "blue, mostly AND bead, mostly" ,
"gray, many AND sand, mostly" , "purple, many AND plane, many" ,
"brown, many AND fur, mostly" , "green, mostly AND plane, many"

จากกราฟค่าความระลึกและค่าความถูกต้องเฉลี่ยข้างต้นพบว่า การใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้นจะช่วยให้การค้นคืนมีการขยายไปยังภาพอื่นๆ ที่น่าจะเกี่ยวข้องกับคำค้นด้วย ทำให้ที่ ณ แต่ละระดับค่าความระลึก การค้นคืนแบบใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้นจะให้ค่าความถูกต้องที่สูงกว่าการค้นคืนแบบตรงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น คำค้น "orange, many AND plane, many" (รูปที่ 5.64) พบว่า เมื่อค้นคืนแบบตรงจะได้ภาพที่ตรงกับคำค้นเพียง 4 ภาพ แต่เมื่อขยายคำค้นด้วยจีเนติกอัลกอริทึม ทำให้ภาพที่น่าจะเกี่ยวข้องเช่น ภาพที่มีสีใกล้เคียงทั้งสีส้มและสีแดงถูกค้นคืนขึ้นมาด้วย ในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้นจะช่วยให้ผลการค้นคืนหลากหลายขึ้น ภาพที่มีดัชนีสีใกล้เคียงกับคำค้นถูกค้นคืนมาแสดงให้แก่ผู้ใช้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองข้างต้นโดยใช้คำค้นในกรณีต่างๆ และใช้วิธีการค้นคืนทั้งแบบตรงและแบบขยายคำค้นโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึมพบว่า ภาพที่ระบบจะค้นคืนได้และค้นคืนไม่ได้จะเป็นภาพที่มีคุณสมบัติต่อไปนี้

ภาพที่ระบบจะค้นคืนได้ จะต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เป็นภาพที่มีช่วงสีชัดเจน สามารถคัดแยกและกำหนดชื่อสีได้ถูกต้อง
2. เป็นภาพที่มีพื้นผิวชัดเจน สามารถคัดแยกและกำหนดชื่อพื้นผิวได้ถูกต้อง
3. เป็นภาพที่สามารถกำหนดปริมาณสำหรับแต่ละคุณลักษณะ (สี, พื้นผิว) ได้ กล่าวคือ คุณลักษณะที่สนใจปรากฏในภาพไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในฟัซซี่เซตของปริมาณ

สำหรับภาพที่ระบบจะค้นคืนไม่ได้ จะเป็นภาพที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เป็นภาพที่มีสีไม่ตรงกับคำเรียกของผู้ใช้ อาจเกิดจากการกำหนดสีที่แตกต่างกันของระบบและการรับรู้สีของมนุษย์
2. เป็นภาพที่ถูกกำหนดกลุ่มพื้นผิวไม่ถูกต้อง อาจเนื่องการการคัดแยกและการจัดกลุ่มที่ผิดไป
3. บริเวณที่สนใจมีปริมาณน้อยเกินไป สำหรับแต่ละคุณลักษณะ (สี, พื้นผิว) ถ้าหากว่ามีปริมาณน้อยกว่าฟัซซี่ปริมาณที่กำหนดจะทำให้ระบบมองว่าไม่เกิดคุณลักษณะนั้นๆ ในภาพ เมื่อผู้ใช้ต้องการอาจไม่สามารถค้นคืนภาพเหล่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลองและปัญหาที่พบ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอระบบการค้นคืนรูปภาพ โดยพัฒนาให้เป็นไปตามแนวคิดระดับสูง กล่าวคือ คำนึงถึงความหมายของภาพร่วมกับการใช้คุณลักษณะสำคัญต่างๆ เช่น สีและพื้นผิว ผู้ใช้สามารถบอกระบบให้ค้นคืนภาพที่ตนต้องการผ่านคำที่มีความหมาย ไม่ต้องใช้ภาพตัวอย่างเป็นอินพุทป้อนให้ระบบ ในการคัดแยกคุณลักษณะสีและกำหนดชื่อสี ได้ใช้วิธีการฮิสโตแกรมสีร่วมกับทฤษฎีฟัซซี่ เพื่อกำหนดชื่อสีทั้งหมด 10 สีได้แก่ สีดำ สีขาว สีเทา สีน้ำตาล สีแดง สีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีม่วง และสีฟ้า สำหรับคุณลักษณะพื้นผิวนั้น ได้ใช้ตัวกรองเกเบอร์แบบวงกลมในการคัดแยก และจัดกลุ่มพื้นผิวด้วยวิธีเค-มีน โดยใช้ระยะทางมหาลาโนบิสซึ่งได้ค่าความถูกต้องในการจัดกลุ่ม 89.97 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มพื้นผิวถูกแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มได้แก่ พื้นเรียบ อิฐ ขนสัตว์ หญ้า ทรายและเมล็ดพืช สำหรับการกำหนดปริมาณสีและพื้นผิวที่ปรากฏในภาพ ได้ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ ในการกำหนดปริมาณเพื่อบอกว่าแต่ละคุณลักษณะสำคัญมีปริมาณมาก ปานกลาง หรือน้อย เมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นในภาพ ซึ่งผู้ใช้สามารถค้นคืนภาพได้ทั้งแบบโดยรวม (Global) และแบบเฉพาะที่ (Local) โดยใช้วิธีการค้นคืนแบบตรงและแบบนำเอาจีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น ภาพที่ถูกค้นคืนจะถูกจัดอันดับความสำคัญตามคำค้นก่อนนำเสนอให้แก่ผู้ใช้

แม้ว่าระบบการค้นคืนรูปภาพโดยใช้คำค้นนี้ จะสามารถค้นคืนภาพได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการได้ แต่อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาและข้อจำกัด ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

6.1.1 ปัญหาในการคัดแยกและกำหนดดัชนีสี

6.1.1.1 การแบ่งสี

ในการกำหนดกลุ่มสีให้ชัดเจนเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เนื่องจากในระบบจำลองสีแบบ HSI แม้จะแยกองค์ประกอบของสีออกจากความเข้มแสงแล้ว แต่ก็ยังมีปัญหาในการกำหนดช่วงสีที่มีความเหลื่อมกัน เช่น การแยกช่วงสีแดงออกจากสีม่วงแดง และสีส้มแดง การแยกช่วงสีส้มออกจากสีแดง และสีเหลือง การแยกช่วงสีเหลืองออกจากสีเขียว เป็นต้น

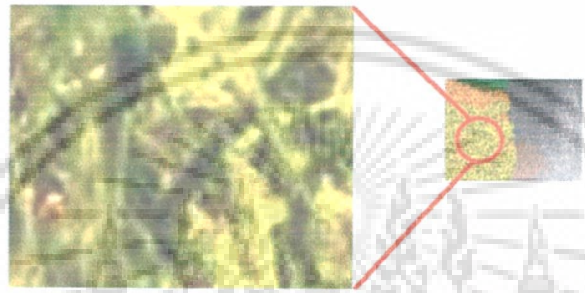
จากการผลทดลองยังพบว่า การรับรู้ทางการมองเห็นของมนุษย์มีความซับซ้อนมากกว่าที่ระบบจะรับรู้ ในบางครั้งสีเดียวกัน เช่น สีส้ม ที่ค่าความเข้มแสงค่าหนึ่ง กลับกลายเป็นสีน้ำตาลเมื่อลดค่าความเข้มแสงลงมาเพียงเล็กน้อย แต่กับสีอื่นเช่น สีเหลือง เมื่อลดค่าความเข้มแสงลงมาก็ยังคงเป็นสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1.2 การรับรู้เรื่องสีของระบบ และการมองเห็นสีของมนุษย์

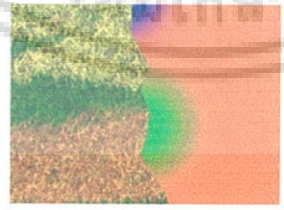
การที่มนุษย์มองเห็นและรับรู้ถึงสีต่างๆ นั้นมาจากการมองเห็นและจากประสบการณ์การรับรู้สีโดยรวม แต่สำหรับระบบแล้ว การคัดแยกสีจะพิจารณาเป็นแต่ละพิกเซลไป ไม่ได้มองโดยรวมเหมือนมนุษย์ ดังนั้นเป็นไปได้ว่าสีที่ระบบคัดแยกกับที่ตาคนรับรู้นั้นแตกต่างกัน

ในบางครั้งเมื่อพิจารณาสีในระดับพิกเซล สีจะอยู่ในช่วงค่าสีที่กำหนด แต่เมื่อมองสีรวมหลายๆ พิกเซลเป็นภาพใหญ่ สายตามนุษย์กลับมองว่าเป็นอีกสีหนึ่ง อาจเป็นไปได้ว่าเกิดจากแสงเงา หรือเกิดจากความรู้สึกของคนมอง



รูปที่ 6.1 แสดงพื้นผิวหญ้าที่มีสีใกล้เคียงกันในช่วงสีเหลืองและสีเขียว โดยภาพที่ขยายเป็นภาพที่อยู่ภายในบริเวณวงกลม

จากรูปที่ 6.1 แม้สายตาคนเรามองเห็นว่าควรจะเป็นพื้นผิวหญ้าสีเหลือง แต่เนื่องจากความใกล้เคียงกันมากระหว่างฟัซซี่เซตของสีเหลืองและสีเขียว เป็นไปได้ว่าเมื่อขยายภาพ (Zoom) เข้าไปถึงระดับพิกเซลแล้ว สีที่ปรากฏกลับเป็นสีเขียวตามช่วงสีที่กำหนด แต่เมื่อมองภาพรวมจากประสบการณ์สีของมนุษย์มองว่าเป็นสีเหลือง นี่เป็นตัวอย่างของการรับรู้ภาพแตกต่างกันระหว่างมนุษย์และอัลกอริทึมการแยกสีในระบบ



รูปที่ 6.2 แสดงภาพพื้นผิวเรียบ ที่มีสีใกล้เคียงกันในช่วงสีส้มและสีแดง

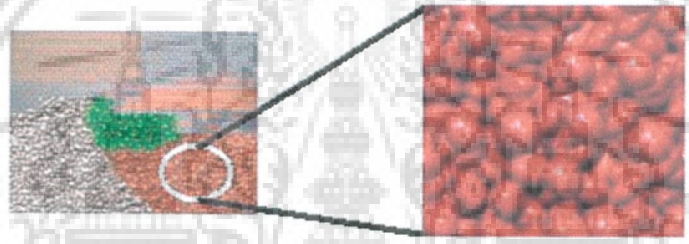
จากรูปที่ 6.2 เป็นอีกตัวอย่างของการรับรู้สีของมนุษย์ที่ต่างจากระบบ ภาพที่ประกอบไปด้วยสีช่วงค่าที่ใกล้เคียงกัน เช่น สีส้มเข้ม สีน้ำตาล สีแดง จะเกิดปัญหาในการแบ่งสี บางภาพสายตาที่คนเรามองเห็นจะเห็นว่ามีสีส้มปรากฏอยู่ในภาพ แต่จากผลที่ได้หลังจากการแยกสีโดยใช้ฟัซซี่เซต สีส้มกลับไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏ เป็นไปได้ว่าเมื่อขยายภาพ (Zoom) เข้าไปจนถึงระดับพิกเซลแล้ว สีที่ปรากฏกลับเป็นสีแดงตามช่วงสีที่กำหนด แต่เมื่อมองภาพรวมจากประสบการณ์สีของมนุษย์มองว่าเป็นสีส้มเข้ม แต่ระบบกลับแยกให้เป็นสีแดงแทน

6.1.1.3 การกระจายของสี และการกำหนดปริมาณสีในภาพ

สีที่เกิดจากการคัดแยกของระบบ เช่น สีดำ จะพบว่าระบบสามารถคัดแยกสีดำออกมาได้จากภาพ แม้ว่าสายตาคนเราจะมองไม่เห็นก็ตาม ซึ่งเมื่อขยายภาพมาพิจารณาแล้วจะพบว่า บริเวณขอบเมล็ดมีสีดำซึ่งเป็นเงาของเมล็ดหรือเส้นขอบของเมล็ด ตามประสบการณ์ของมนุษย์จะไม่ให้ความสำคัญกับสีเล็กๆ น้อยๆ เหล่านี้ แต่เมื่อระบบคัดแยกและนับรวมเม็ดสีดำที่เกิด แล้วมีจำนวนมากกว่าขอบเขตขั้นต่ำของดัชนีปริมาณ “น้อย” จึงเป็นไปได้ที่จะมีสีดำเกิดขึ้นในภาพ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงภาพที่เกิดพิกเซลสีดำบริเวณขอบเมล็ด

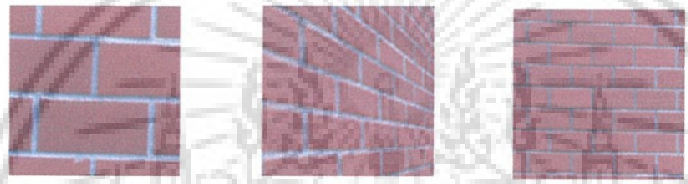
ปัญหาเรื่องการกระจายของสียังพบอีกในการมองภาพรวมที่มีเฉดสีผิดเพี้ยน เช่น ในภาพที่คนมองแล้วไม่เห็นสีฟ้า แต่หากค้นคืนด้วยคำว่า “สีฟ้าน้อย” ภาพที่ถูกค้นคืนได้อาจเป็นภาพที่เป็นภาพที่มีพิกเซลสีฟ้ากระจายอยู่ทั่วไปในภาพ ไม่ได้รวมเป็นบริเวณเดียวกัน ทำให้ระบบเกิดความผิดพลาดในการกำหนดสีและปริมาณขึ้นได้ ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 6.4

รูปที่ 6.4 แสดงภาพที่มีการกระจายของพิกเซลสีฟ้าทั่วไปในภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.2 ปัญหาในการคัดแยกและกำหนดดัชนีพื้นผิว

ในการเตรียมภาพพื้นผิวที่จะใช้ในการทดลอง จำเป็นต้องคำนึงถึงมุมมอง ระยะการถ่ายภาพ และแสงเงาที่เกิดขึ้นในพื้นผิวร่วมด้วย ทั้งนี้เพราะว่า ความเป็นพื้นผิวหรือการซ้ำกันในแบบ (Pattern) หนึ่งๆ จะเกิดขึ้นที่บางมุมมองหรือบางสัดส่วน (Scale) เท่านั้น ตัวอย่างเช่น การถ่ายภาพอิฐ หากถ่ายภาพในระยะใกล้มาก สายตาคนอาจจะพอรับรู้ได้ว่าเป็นพื้นผิวอิฐด้วยประสบการณ์ที่เคยเห็น แต่หากนำภาพนี้เข้ามาพิจารณาในระบบจะพบว่า ระบบจะมองว่าภาพนั้นเป็นเพียงพื้นเรียบที่มีเส้นแนวตั้งและแนวนอน นอกจากนี้ปัญหาที่พบระหว่างการเตรียมภาพคือ การมีมุมมองภาพที่ปรากฏต่อสายตา (Perspective) ที่สายตามนุษย์มองข้ามไป เช่น มองเห็นภาพอิฐก็รับรู้ได้ว่าเป็นพื้นผิวอิฐ แม้จะมีการลู่ของมุมมองหรือเห็นเพียงบางส่วนก็ตาม

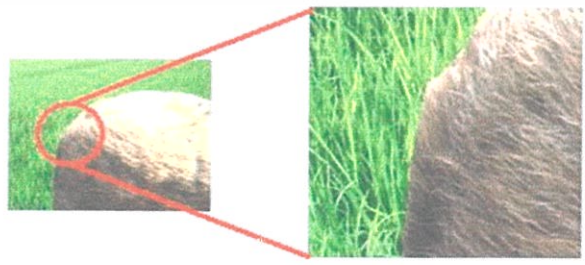


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 6.5 แสดงภาพอิฐที่มีระยะการถ่ายและมุมมองต่างๆ กัน (ก) ภาพที่มีระยะการถ่ายใกล้เกินไป (ข) ภาพแบบ Perspective และ (ค) ภาพที่นำมาคัดแยกคุณลักษณะได้ดี

นอกจากนี้ยังพบว่า ภาพที่มีการบีบอัด จะมีอาร์ติแฟล็กท์ (Artifact) หรือบล็อกสี่เหลี่ยมเล็กๆ เกิดขึ้นในภาพ จะทำให้ไม่สามารถคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวและจัดกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าคุณลักษณะที่คัดแยกโดยใช้ตัวกรองเกเบอร์นั้น จะถูกรบกวนจากค่าของขอบ (Edge) บล็อก ทำให้ค่าคุณลักษณะพื้นผิวผิดเพี้ยน ไม่สามารถจัดกลุ่มได้

สำหรับกลุ่มภาพพื้นผิวที่มีลักษณะรูปแบบคล้ายคลึงกัน เช่น หญ้าและเส้นขน อาจจะมีค่าคุณลักษณะพื้นผิวที่คล้ายกันและถูกจัดให้อยู่กลุ่มเดียวกันถ้าภาพทั้งสองกลุ่มมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6.6 แสดงภาพหญ้าและขนที่มีสัดส่วนและลักษณะการเรียงตัวที่คล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ การเลือกบริเวณภาพพื้นผิวที่จะนำมาเทรนและทดสอบหากลุ่มพื้นผิวก็เป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้การนำเอาตัวอย่างภาพบริเวณมานั้นจะต้องเป็นบริเวณที่แทนความเป็นพื้นผิวได้อย่างชัดเจน การจัดกลุ่มจึงจะได้ผลดี ซึ่งโดยทั่วไปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นคืนภาพพื้นผิวจะใช้พื้นผิวที่มีรูปแบบ (Pattern) เป็นระเบียบ มีการซ้ำกันของรูปแบบในบริเวณหนึ่งๆ ชัดเจน (Invariant Texture) แต่การนำเอาภาพถ่ายจริงมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้จึงต้องคำนึงถึงการเป็นตัวแทนพื้นผิว การถ่ายภาพจะต้องมีความคมชัด และมีระยะที่เหมาะสม จึงจะแสดงลักษณะพื้นผิวได้ดี

6.1.3 ปัญหาในการค้นคืนภาพ

ในการเปรียบเทียบผลการค้นคืนภาพ ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการค้นคืนภาพระหว่างวิธีการค้นคืนแบบตรง กับวิธีการที่ใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้น พบว่าการค้นคืนแบบตรงให้ค่าความถูกต้องที่ดี ส่วนการค้นคืนแบบที่ใช้จีเนติกอัลกอริทึมมาขยายคำค้นนั้นพบว่า แม้ภาพที่ค้นคืนขึ้นมาได้นั้นมีจำนวนมากแต่ก็มีความถูกต้องที่ต่ำ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยอื่นๆ ที่มีการค้นคืนข้อมูลโดยการนำวิธีการจีเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ เช่น งานค้นคืนเอกสาร [32, 33, 45, 48] พบว่า การสร้างดัชนี (Index) ของเอกสารมีความแตกต่างจากการสร้างดัชนีให้แก่รูปภาพ เอกสารที่มีแนวโน้มจะมีความเกี่ยวข้องกันจะมีกลุ่มดัชนีที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งอาจเป็นไปในเชิงความหมายหรือคำพ้อง เช่น ไมโครโพรเซสเซอร์, Z-80, CPU, หน่วยประมวลผลกลาง เป็นต้น แต่การกำหนดดัชนีให้แก่ภาพนั้น เป็นการกำหนดคำที่แทนคอนเทนท์ในภาพ ดังนั้นแม้ว่าคำค้นจะถูกขยาย และภาพที่มีคุณสมบัติบางอย่างที่ตรงกับคำค้นจะถูกค้นคืน แต่ในเชิงความหมายแล้ว ดัชนีภาพไม่ได้สื่อความหมายองค์รวมของภาพในลักษณะเดียวกันกับดัชนีเอกสาร ดังนั้นในการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพโดยคำนึงถึงความหมายภาพ ควรจะได้พัฒนาการกำหนดคำสำคัญในการแทนภาพ เพื่อจะได้ปรับปรุงระบบการค้นคืนภาพโดยใช้กระบวนการจีเนติกอัลกอริทึม ให้ได้ผลดียิ่งขึ้นต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางพัฒนาในอนาคต

สำหรับข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบการค้นคืนภาพต่อไปในอนาคต จะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

6.2.1 การกำหนดดัชนีสี

ในการคัดแยกสีตามช่วงสี หากต้องการระบุสีที่ชัดเจน อาจจะแบ่งช่วงสีให้ละเอียดยิ่งขึ้น และต้องคำนึงถึงองค์ประกอบอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น ค่าความเข้มของแสง ค่าความสะท้อนของแสง เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจจะต้องพิจารณาการกระจายตัวของพิกเซลสีในภาพ เพื่อให้การพิจารณาสีและปริมาณที่ปรากฏในภาพให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 การกำหนดดัชนีพื้นผิว

ภาพที่จะนำมาคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิว ควรเป็นภาพที่มีความคมชัดและมีสัญญาณรบกวน (Noise) น้อยมากหรือไม่มีเลย ขนาดภาพที่จะนำมาคัดแยกคุณลักษณะพื้นผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นควรจะมีขนาด 128x128 พิกเซลขึ้นไป เนื่องจากจะยังให้รายละเอียดความเป็นพื้นผิว สามารถคัดแยกคุณลักษณะและจัดกลุ่มภาพได้ชัดเจน การเตรียมภาพควรจะคำนึงถึงระยะการถ่ายภาพ แสงเงา สัดส่วนของพื้นผิว ลักษณะรูปแบบ (Pattern) ของภาพว่ามีระเบียบมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เพราะว่าแม้จะเป็นพื้นผิวชนิดเดียวกัน เช่น หญ้า แต่ถ้ารูปแบบหลากหลายเกินไป อาจจะทำให้การจัดกลุ่มภาพไม่ได้ผลที่ดีนัก

6.2.3 การพัฒนาระบบค้นคืนภาพที่คำนึงถึงความหมายภาพ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า การสร้างความหมายให้แก่ภาพนั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบโดยรวมของภาพ แม้ว่าจะได้กำหนดชื่อให้แก่คุณลักษณะต่างๆ ในภาพ เช่น ชื่อสีและพื้นผิว ยังไม่เพียงพอที่จะบอกถึงความหมายที่แท้จริงของภาพ ในการพัฒนาต่อไปอาจทำการจัดลำดับชั้นของภาพ (Hierarchy) แยกภาพออกเป็นหมวดหมู่ตามความหมาย เช่น ภาพทิวทัศน์ ภาพชายทะเล เป็นต้น สำหรับการค้นคืนภาพ หากสามารถกำหนดคำแทนความหมายของภาพได้ชัดเจนขึ้น ก็จะสามารถได้ผลการค้นคืนที่มีประสิทธิภาพ และตรงกับความต้องการของผู้ใช้ยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Van Den Berg J. "Subject Retrieval in Pictorial Information Systems." Proceedings of the 18th International Congress of Historical Sciences. Round Table 34. Electronic Filing, Registration, and Communication of Visual Historical Data, 1995. pp. 21-29.

[2] Keefe J.M. "Developing A New Thesaurus for Art and Architecture." Library Trends, vol. 38, no. 4, 1990. pp. 659-681.

[3] Van De Waal H. **ICONCLASS: An Iconographic Classification System**. 17 printed volumes. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW). 1985.

[4] Besser H. "Visual Access to Visual Images : The UC Berkeley Image Database Project." Library Trends, vol. 38, no. 4, 1990. pp. 787-798.

[5] Besser H. "Image Databases: The First Decade, the Present, and the Future". Digital Image Access & Retrieval. University of Illinois at Urbana-Champaign. pp. 11-28. 1997.

[6] Ogle V.E., Stonebraker M. "Chabot: Retrieval From a Relational Database of Image". IEEE Computers, vol. 28, no.9, 1995. pp. 40-48.

[7] Arnheim R. "Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye." The new version (The expanded and revised edition of the original publication of 1954). Berkeley: University of California Press. 1974.

[8] Castleman K.R. Digital Image Processing. New Jersey: Prentice-Hall. 1996. pp. 140-145.

[9] Swain M.J., Ballard D.H. "Color Indexing". International Journal of Computer Vision, vol. 7, no. 1, 1991. pp. 11-31.

[10] Castleman K.R. Digital Image Processing. New Jersey: Prentice-Hall. 1998. pp. 139-145.

[11] Pass G., Zabih R. "Histogram Refinement for Content-Based Image Retrieval". IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Sarasota, Florida, USA, December 1996.

[12] Pass G., Zabih R., Miller J. "Comparing Images Using Color Coherence Vectors". ACM Conference on Multimedia. Boston, Massachusetts, November 1996.

[13] Huang J., Kumar S.R., Mitra M., Zhu W.-J., Zabih R. "Image Indexing Using Color Correlograms". IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Conference. San Juan, Puerto Rico, June 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Huang J., Zabih R. "Combining Color and Spatial Information for Content-based Image Retrieval". European Conference on Digital Libraries, September 1998.

[15] Gong Y., Chua H.C., Guo X. "Image Indexing and Retrieval Based on Color Histograms". Multimedia Tools and Application, no.2, 1996. pp. 133-156.

[16] Cox I.J., Miller M.L., Omohundro S.M., Yianilos P.N. "Target Testing and the PicHunter Bayesian Multimedia Rretrieval System". Proceedings of 3rd Forum on Research & Technology Advances in Digital Libraries. IEEE, 1996. pp. 66-75.

[17] Parker J.R. **Algorithms for Image Processing and Computer Vision**. John Wiley & Sons. 1997. pp. 84-92.

[18] Julesz B. "Visual Pattern Discrimination". IRE Transaction on Information Theory. 1962. pp. 84-92.

[19] Tamura H., Mori S., Yamawaki T. "Texture Feature Corresponding to Visual Perception". IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 8, no. 6, 1978. pp. 460-472.

[20] Ma W.Y., Manjunath B.S. W. Y. Ma and B. S. Manjunath, " A Texture Thesaurus for Browsing Large Aerial Photographs". To appear in Journal of the American Society for Information Science. 1997.

[21] Watt A., Policarpo F. **Computer Image**. Harlow: Addison Wesley Longman. 1998. pp. 102-109.

[22] Flickner M., Sawhney H., Niblack W., Ashley J., Huang Q., Dom B., Gorkani M. "Query by Image and Video Content: The QBIC System." IEEE Computer, vol. 28, no. 9. 1995. pp. 23-32.

[23] Ashley J., Barber R., Flickner M., Hafner J., Lee D., Niblack W., Petkovic D. "Automatic and Semiautomatic Methods for Image Annotation and Retrieval in QBIC." Storage and Retrieval for Image and Video Databases III. San Jose, California, SPIE Proceedings vol. 2420, 9-10 February, 1995. pp. 24-35.

[24] Manjunath B.S. "Image browsing in the Alexandria Digital Library (ADL) Project". D-Lib Magazine. August 1995.

[25] Smith J.R., Chang S.F. "VisualSEEk: a Fully Automated Content-Based Image Query System". In: Proceedings of ACM Multimedia'96 Conference. Boston, USA, November 1996.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[26] Bach J.R., Fuller C., Gupta A., Hampapur A., Horowitz B., Humphrey R., Jain R., Shu C.F. "The Virage Image Search Engine: An Open Framework for Image Management." Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV. 1-2 February 1996. SPIE Proceedings, vol. 2670. pp. 76-87.

[27] Nepal S., Ramakrishna M.V. and Thom J.A., "A fuzzy system for content based image retrieval." IEEE. International Conf. on Intelligent Processing Systems, Aug, 1998. pp. 335-339.

[28] Kulkarni S., Verma B., Sharma P. and Selvaraj H. "Content Based Image Retreival Using a Neuro-Fuzzy Technique." IJCNN'99, Washington, 1999.

[29] Verma B., Sharma P., and Kulkarni S. "An Intelligent On-line System for Content Based Image Retrieval." Third International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, 2000. ICCIMA '99. Proceedings., 23-26 Sept. 1999 pp. 273 –277.

[30] Arnheim R. **Art and Visual Perception: A Psychology of the Creative Eye**. Berkeley : University of California Press. 1974.

[31] Ting-Sheng Lai and John Tait. "CHROMA: A Content-based Image Retrieval System." ACM Conf. On Research and Development in Information Retrieval, Aug, 1999. p. 324.

[32] Yang J., Korfhage P.R. and Rasmussen E. "Query Improvement in Information Retrieval using Genetic Algorithm:A Report on the Experiments of the TREC Project." Text Retrieval Conference (TREC-1). MD:Gaithersburg, 1993. pp. 31-58.

[33] บังอร กลับบ้านเกาะ และเอื้อน ปิ่นเงิน. "การค้นคืนสารสนเทศออนไลน์โดยใช้จีเนติกอัลกอริทึม." วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, 2542.

[34] Zadeh L.A. "Fuzzy Sets.", Information and Control, vol.8, pp. 147-163, 1986.

[35] Zadeh L.A. "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes.", IEEE Trans. System, Man & Cybernetics , vol.1, pp. 24-28, 1973.

[36] Mamdani and Assilian. "Introduction to Fuzzy Theory." 1975. pp. 45-60.

[37] Chen Y.S., Hwang H.Y. and Chen B.T. "Color Image Analysis using Fuzzy Set Theory." 2000.

[38] Chen Y.S., Hwang H.Y. and Chen B.T. "An Image Understanding System Designed for Feeling the Weather State from an Image." 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[39] Gabor D. "Gabor Filtering." IEEE Journ. Theory of communication, pp. 429-457, 1946.

[40] P.C. Mahalanobis. "Data Clustering." Information and Retrieval, 1936. pp. 256-260.

[41] Holland J.H. **Genetic Algorithm**. Scientific American. 1992.

[42] ไพศาล เหล่าสุวรรณ. **พันธุศาสตร์**. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช. 2535.

[43] Darell W. "A Genetic Algorithm Tutorial." [Online]. Available : http://www.air.nrl.navy.mil/galist.html

[44] Lawrence David. Handbook of Genetic Algorithm. New York : Van Nostrand Reinhold. 1991.

[45] David E. Goldberg. **Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning**. Addison-Wesley publishing Company, Inc. 1989. pp. 102-108.

[46] Melanie M. **An Introduction to Genetic Algorithm.** MA : The MIT Press. 1998.

[47] Stephen P. Harter. Online Information Retrieval : Concepts, Principles, and Technique. Orlando : Academic Press. 1986. pp. 120-140.

[48] Gareth Jones et. al. "Non-Hierarchic Document Clustering using A Genetic Algorithm. " 1995. Available : http://www.shef.ac.uk/~is/publications/infres/paper1.html.

[49] Ricardo Baeza-Yates and Berthier Ribeiro-Neto. Modern Information Retrival. New York : Addison – Wesley. 1999.

[50] Robert R. Korfhage. **Information Storage and Retrieval**. New York : Wiley Computer Publishing. 1997.

[51] Buckingham A.J., Dentith M. C., and R. D. List. "Texture and Shape Measures for Content-Based Magnetic Image Retrieval." IEEE International Symposium on Circuits and System, 1999.

[52] Robert P. and Nishan C. "Gabor Filters for Rotation Invariant Texture Classification." IEEE International Symposium on Circuits and System, June 9-12, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. Duanggate C. and Chitsobhuk O. "Keyword Query for Content-Based Image Retrieval using Genetic Algorithm." Proceedings of the 3th International Symposium on Communications and Information Technologies. Sep. 3-5, 2003. pp. 125-130.

2. Duanggate C. and Chitsobhuk O. "Keyword Query for Content-Based Image Retrieval." วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 20, ฉบับที่ 1, มีนาคม, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

น.ส. แคทลียา ดวงเกตุ เกิดเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2522 ที่จ.เชียงราย สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2543 จากนั้นในปีการศึกษา 2544 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้