การประยุกต์ใช้แฟร็กทัลไดเมนชันเพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR

FRACTAL DIMENSION-BASED FEATURE EXTRACTION FOR CBIR SYSTEM

มาโนช ประชา

MANOCH PRACHA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. 2554

การประยุกต์ใช้แฟร็กทัลไดเมนชันเพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR

มาโนช ประชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2554

FRACTAL DIMENSION-BASED FEATURE EXTRACTION FOR CBIR SYSTEM

MANOCH PRACHA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

IN ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายมาโนช ประชา

COPYRIGHT © 2011 ลิขสิทธิ์ พ.ศ 2554
FACULTY OF ENGINEERING คณะวิศวกรรมศาสตร์
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แฟร็กทัลไดเมนชันเพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR FRACTAL DIMENSION-BASED FEATURE EXTRACTION FOR CBIR SYSTEM
ชื่อนักศึกษา	นายมาโนช ประชา
รหัสประจำตัว	114970402018-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล
วัน เดือน ปี ที่สอบ	5 มีนาคม 2554
สถานที่สอบ	ห้องประชุมรวงข้าว ชั้น 7 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร. อำนวย เรืองวารี)

..... กรรมการ
(ดร. สมภพ สูงสถิตานนท์)

..... กรรมการ
(ดร. สุรินทร์ แหงมงาม)

..... กรรมการ
(ดร. กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล)

.....
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. สมหมาย ผิวสอาด)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้แฟร็กทัลไดเมนชันเพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR
นักศึกษา	นายมาโนช ประชา
รหัสประจำตัว	114970402018-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม)
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้กระบวนการค้นคืนภาพตามเนื้อหาสาระ หรือ Content-Based Image Retrieval (CBIR) ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการค้นหารูปภาพทางเว็บไซต์ รูปภาพทางการแพทย์ รูปภาพทางด้านความปลอดภัย เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลการค้นหาอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องภาพที่ค้นหาได้ไม่ตรงกับความหมายที่ต้องการของผู้ใช้ (Semantic Gap) ซึ่งเป็นปัญหาที่ท้าทายและน่าสนใจ วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหานี้คือการพัฒนากระบวนการหาคุณสมบัติของภาพเพื่อใช้ในการค้นหา หรือการเพิ่มข้อมูลให้กับภาพโดยผู้ใช้ระบบเป็นผู้ป้อนข้อมูล เพื่อเพิ่มรายละเอียดประกอบของภาพ

งานวิจัยนี้ พัฒนากระบวนการค้นหาและคัดแยกรูปภาพ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเลขาคณิตเศษส่วน (Fractal Geometry Analysis) เพื่อหาความซับซ้อน (Complexity) ของภาพ สำหรับใช้เป็นคุณสมบัติของรูปภาพ (Feature) เพื่อใช้ในระบบการค้นหาข้อมูลภาพตามเนื้อหาสาระ (CBIR) โดยใช้งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการวิเคราะห์แฟรกทัล 3 แบบคือ บอกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting) ฮิกูจิ (Higuchi) และ เอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงเวลา ในการค้นหาของแต่ละวิธีการ

ผลของงานวิจัยนี้มุ่งหวังเพื่อพัฒนาระบบสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของรูปภาพจากรูปภาพโดยตรง สำหรับกระบวนการค้นคืนภาพตามเนื้อหาสาระ สำหรับฐานข้อมูลภาพขนาดใหญ่ ที่ต้องการความเร็วในการประมวลผลภาพสูง

คำสำคัญ : แฟร็กทัลไดเมนชัน, บอกซ์เคาน์ติ้ง, ฮิกูจิ, เอสพีวี, การค้นหารูปภาพ

Thesis Title :	FRACTAL DIMENSION-BASED FEATURE EXTRACTION FOR CBIR SYSTEM
Student Name :	Mr. Manoch Pracha
Student ID :	114970402018-3
Degree Award :	Master of Engineering
Study Program :	Electrical Engineering (Electronic and Telecommunication Engineering)
Academic Year :	2010
Thesis Advisor :	Dr. Kittiwann Nimkerdphol

ABSTRACT

Content-based image retrieval (CBIR) is widely used in various today's application; including web-based image retrieval, medical, security, etc. However, the most research topic is hot to reduce semantic gap which is the different between user specify input and the queried output images.

To solve the problem, ones can develop a method to extract meaningful features from images or give more details to the particular pictures for later classification process. In this research, we investigate the use of fractal geometry analysis to compute the complexity of images as a feature for CBIR system. Different fractal estimators; Box Counting, Higuchi and Scaling Properties of Variance (SPV), have been adopted to compare the computation efficiency and the effectiveness amount the other.

In conclusion, this research aims to develop a method to directly extract relevant information from an input image for CBIR system. Moreover, the proposed method intent to be used for a huge image database in which high retrieval rate is required.

Keywords : Fractal Dimension, Box Counting, Higuchi Method, Scaling Properties of Variance, SPV, Image Retrieval

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้อันประเสริฐในระหว่างที่ได้ทำการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษานี้ ขอขอบคุณ ดร.กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล สำหรับการให้แนวทางและคำปรึกษาสำหรับการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาและเพื่อนร่วมงานภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้คำปรึกษาและคอยเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

มาโนช ประชา

6 มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมาย	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานของการศึกษา	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 การแปลงภาพให้เป็นภาพเชิงดิจิตอล (Digital Image)	6
2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	9
2.4 มาตรฐานของสี (Color Model)	9
2.5 การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน (Convolution)	11
2.6 การหาขอบภาพ (Edge Detection)	16
2.7 หลักการของแฟร็กทัลไดเมนชัน (Fractal Dimension)	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
3.1 ขั้นตอนการศึกษา	29
3.2 การเก็บข้อมูลภาพนิ่ง	31
3.3 การออกแบบ Algorithm ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติภาพ	32
3.4 การออกแบบ Algorithm ที่ใช้ในการค้นหาภาพและภาพคล้ายจากคลังภาพ	33
3.5 ผลที่ได้จากการหาค่าด้วยแฟร็กทัลไดเมนชัน	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	36
4.1 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีบอกซ์เคาน์ติ้ง	36
4.2 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีฮิกูจิ	39
4.3 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีเอสพีวี	44
4.4 ผลการสืบค้นภาพจากค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน	45
4.5 ผลการสืบค้นภาพคล้ายจากค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน	46
4.6 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง	47
4.7 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีฮิกูจิ	48
4.8 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีเอสพีวี	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	50
5.1 การใช้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพเพื่อการสืบค้น	50
5.2 การใช้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพเพื่อหาภาพคล้าย	50
5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านความเร็วของแฟร็กทัลไดเมนชัน	51
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ก ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	55
ข โปรแกรมต้นฉบับ (Source Code)	67
ประวัติผู้เขียน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	จำนวนสีปรากฏต่อจำนวนบิตของรูปภาพ	10
3.1	ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่คำนวณได้ของข้อมูลภาพ	34
4.1	ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการบอกซ์เคาน์ติ้ง	38
4.2	ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการฮิกูจิ	42
4.3	ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการเอสพีวี	44
4.4	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการบอกซ์เคาน์ติ้ง	48
4.5	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการฮิกูจิ	48
4.6	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการเอสพีวี	49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	มุมมองของงานวิจัยการค้นหารูปภาพ และ/หรือ การสืบค้นรูปภาพ	4
2.2	ค่าของสีแยกออกเป็นค่าของแต่ละพิกเซล	7
2.3	ขนาดของจุด (Pixel) ที่ไม่เท่ากัน	7
2.4	ค่าของสีจากภาพและช่วงของสี 0-255	8
2.5	ค่าของสีออกมาเป็นค่าดิจิตอล	8
2.6	ช่วงของค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพ	9
2.7	การอ้างอิงพิกัดของข้อมูลภาพ	9
2.8	ข้อมูลภาพในหนึ่งจุดภาพ	10
2.9	ตัวอย่างการคอนโวลูชัน	12
2.10	ผลของการเติมค่าศูนย์รอบภาพเริ่มต้นก่อนทำการคอนโวลูชัน	13
2.11	เทมเพลตการกรองความถี่ต่ำผ่าน	14
2.12	เทมเพลตการกรองความถี่ต่ำผ่านที่นิยมใช้อีกแบบหนึ่ง	14
2.13	เทมเพลตการกรองความถี่สูงผ่าน	15
2.14	การกรองภาพด้วยเทมเพลต	15
2.15	กระบวนการหาขอบภาพ	16
2.16	ตำแหน่งของตัวแปรของ Low Pass Filter ขนาด 3x3	17
2.17	ตำแหน่งของตัวแปรของ High Pass Filter ขนาด 3x3	17
2.18	เทมเพลตของ s และ t	19
2.19	ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Roberts	19
2.20	ตำแหน่งของตัวแปรของ Prewitt	19
2.21	เทมเพลตของ Prewitt	20
2.22	ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Prewitt	20
2.23	ขั้นตอนของ Canny Edge Detection	20
2.24	ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Canny	22
2.25	ตำแหน่งของตัวแปรของ Sobel	22
2.26	เทมเพลตของ Sobel	23
2.27	ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Sobel	23
2.28	การวัดค่าความยาวของเส้นโค้งในวิธีการวิเคราะห์แบบฮิกูจิ	26
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.2	ไดอะแกรมสำหรับระบบ CBIR	30
3.3	ตัวอย่างภาพทั้ง 4 กลุ่มที่ใช้ในงานวิจัย	31
3.4	หลักการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของแต่ละภาพ	32
3.5	หลักการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของคลังภาพ	32
3.6	หลักการในการค้นหาภาพจากคลังภาพ	33
4.1	ตัวอย่างภาพบุคคล (Portrait) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบอกซ์เคาน์ติ้ง	36
4.2	ตัวอย่างภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบอกซ์เคาน์ติ้ง	37
4.3	ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ (Landscape) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบอกซ์เคาน์ติ้ง	37
4.4	ตัวอย่างภาพวัตถุ รถยนต์ (Car) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบอกซ์เคาน์ติ้ง	37
4.5	ตัวอย่างภาพบุคคล (Portrait) ที่ผ่านกระบวนการ HSV	39
4.6	ตัวอย่างภาพบุคคล (Portrait) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ	40
4.7	ตัวอย่างภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ที่ผ่านกระบวนการ HSV	40
4.8	ตัวอย่างภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ	40
4.9	ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ (Landscape) ที่ผ่านกระบวนการ HSV	41
4.10	ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ (Landscape) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ	41
4.11	ตัวอย่างภาพวัตถุ รถยนต์ (Car) ที่ผ่านกระบวนการ HSV	41
4.12	ตัวอย่างภาพวัตถุ รถยนต์ (Car) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ	42
4.13	ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพด้วยวิธีการบอกซ์เคาน์ติ้ง	46
4.14	ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพด้วยวิธีการฮิกูจิ	46
4.15	ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพด้วยวิธีการเอสพีวี	46
4.16	ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพคล้ายด้วยวิธีการบอกซ์เคาน์ติ้ง	47
4.17	ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพคล้ายด้วยวิธีการฮิกูจิ	47
4.18	ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพคล้ายด้วยวิธีการเอสพีวี	47
5.1	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการสืบค้น	50
5.2	กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการหาแฟร็กทัลไดเมนชันของทั้ง 3 แบบ	51

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BC	Box Counting
CCD	Charge-Coupled Device
D_f	ค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน
$D_{f\,(I/P)}$	ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพที่นำเข้า
$D_{f\,(Input\ Image)}$	ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพที่นำเข้า
$D_{i\,(DB)}$	ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันจากคลังภาพ
$D_{i\,(DB)}$ Image	ภาพของค่าแฟร็กทัลไดเมนชันจากคลังภาพ
fNIRS	Functional Near Infrared Spectroscopy
HM	Higuchi Method
HSV	Hue Saturation Value
MFD	Multi Fractal Dimension
SEM	Scanning Electron Microscopy
SPV	Scaling Properties of Variance

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมานั้นเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการค้นคืนภาพ (Image Retrieval) นั้น จะเป็นการค้นคืนภาพจากการใช้ชื่อไฟล์ (File Name) หรือใช้คำที่อธิบายถึงรูปภาพ (Metadata) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวต้องถูกนำเข้าด้วยผู้ใช้ระบบ เป็นการสืบค้นข้อมูลที่มิได้นำคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะจริงๆ ของภาพ จึงเป็นวิธีที่อาจให้ผลการค้นคืนมีความผิดพลาด ไม่ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Semantic Gap) อันเนื่องจากการให้คำจำกัดความภาพนั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้แต่ละคน อีกทั้งเมื่อฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ขึ้นการให้คำจำกัดความภาพแต่ละภาพที่อาศัยคำเพียงไม่กี่คำนั้นการจำแนกประเภทของรูปภาพทำให้เป็นเรื่องที่ทำได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ในฐานข้อมูลภาพบางประเภทอาจจะประกอบไปด้วยข้อมูลภาพหลายชนิดที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เช่น ฐานข้อมูลภาพทางภูมิศาสตร์อาจประกอบไปด้วยภาพพื้นดินหลายๆ ชนิด ภาพต้นไม้หลายๆ ชนิด เป็นต้น และอีกอย่างหนึ่งวิธีดังกล่าวยังต้องอาศัยมนุษย์เป็นคนให้คำจำกัดความของภาพ ซึ่งต้องใช้เวลานานสำหรับฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ในปัจจุบัน

ระบบค้นหาภาพด้วยระบบอัตโนมัติ (Image Searching) และ/หรือ ระบบค้นหาด้วยผู้ใช้ (Image Browsing) เพื่อให้ได้ภาพที่คล้ายคลึงกัน หรือชนิดเดียวกันบนฐานข้อมูลต่างๆ อาทิเช่น บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต (Internet) ฐานข้อมูลรูปภาพ/คลังภาพ (Image Database) ฯลฯ ระบบค้นหาเหล่านี้มีความต้องการผลการค้นหาที่ถูกต้องและแม่นยำสูง ซึ่งยังคงเป็นปัญหาที่แก้ไขยาก อย่างไรก็ตามการมองเพียงช่วงเวลาสั้นของมนุษย์สามารถบอกถึงความเหมือนและความแตกต่างของภาพได้ เนื่องจากระบบสมองของมนุษย์มีความสามารถในการจดจำและวิเคราะห์ภาพได้ดี ในทางกลับกันการรู้จำและการการค้นหาภาพโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นั้น มีความจำเป็นต้องให้ระบบเรียนรู้เกี่ยวกับข้อมูลจากรูปภาพต่าง ๆ เช่น สี (Color) เส้นขอบเค้าโครง (Contour) ลวดลาย (Texture) โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการ Hough Line ในการหาเส้นตรง สมการ Hough Circle ในการหาวงกลม และสมการ Generalize Hough Transform ใช้ในการหารูปทรงที่ไม่ใช่รูปทรงเลขาคณิต การหาคุณสมบัติรูปทรงของภาพด้วยวิธีการสืบค้นจากรูปภาพโดยตรงแบบนี้จะสามารถหาได้เพียงแค่รูปภาพที่เป็นรูปทรงทางเลขาคณิต หรือภาพที่มีความซับซ้อนน้อย เท่านั้น ในขณะที่รูปภาพที่เกิดจากธรรมชาติที่มีความซับซ้อน ของภาพสูง (High Complexity) เนื่องจากโดยปกติแล้ววัตถุทางธรรมชาติเกิดจากการแบ่งตัวหรือการกระทำซ้ำโครงสร้างเดิมจนเป็นวัตถุรูปต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ ใบเฟิร์น ก้อนเมฆ ผลึกต่าง ๆ เซลล์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งรูปภาพจากวัตถุดังกล่าวหากนำมาขยายบางส่วนจะ

พบว่ามีความคล้ายคลึงกับภาพส่วนวัตถุต้นฉบับ โดยคุณสมบัตินี้เรียกว่า Self-Affine ซึ่งสามารถคำนวณค่าความซับซ้อนได้ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล (Fractal Analysis)

ดังนั้นภาพวัตถุทางธรรมชาติสามารถอธิบายความซับซ้อนได้ด้วยด้วยเลขาคณิตเศษส่วน (The Fractal Geometry of Nature) [1] หรือแฟร็กทัลไดเมนชัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นคุณสมบัติจำเพาะของภาพวัตถุนั้น ๆ เทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพในหลากหลายวงการ อาทิเช่น จำแนกความแตกต่างของรูปทิวทัศน์โดยหาเส้นของแสงเงาของรูปภาพ [2] หาสัญญาณจากนาโนเซนเซอร์ โดยการหาความขรุขระของภาพถ่ายขาวดำพื้นผิวของวัสดุตั้งแต่ระดับไมโครจนถึงระดับนาโน [3],[4],[5] วิเคราะห์หาผลการกำจัดเซลล์มะเร็งจากภาพถ่ายเซลล์มะเร็ง [6] การตอบสนองของสมอง โดยทำการวัดในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า [7],[8],[9]

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เทคนิคนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยใด นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้กับภาพทั่วไปอาทิเช่น ภาพบุคคล (Portrait) ภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพทิวทัศน์ (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการใช้เทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชันประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพทั่วไปที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น

1.2 ความมุ่งหมาย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลสัญญาณเชิงเวลาแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Dynamic Signal Analysis) ของรูปภาพโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting) ฮิกูจิ (Higuchi) และเอสพีวี (SPV) เพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกระบวนการต่าง ๆ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาผลของการเลือกใช้ รูปแบบสี (Color Model) แบบ RGB และ HSV ในกระบวนการแฟร็กทัล

1.3.2 เพื่อศึกษาหลักการของแฟร็กทัลไดเมนชัน ด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง ฮิกูจิ และเอสพีวี ในการหาความซับซ้อนของภาพเพื่อใช้เป็นคุณสมบัติภาพสำหรับใช้ในการสืบค้นภาพ1.3.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความแตกต่างของเทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชันทั้ง 3 แบบ

1.4 สมมุติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าวิธีการของแฟร็กทัลไดเมนชันนั้น สามารถใช้คำนวณค่าความซับซ้อนของภาพ ซึ่งภาพในแต่ละภาพนั้น จะมีค่าความซับซ้อนที่แตกต่างกัน ถ้าเป็นภาพเดียวกันจะต้องมีค่าความซับซ้อนที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก และในกลุ่มภาพที่มีลักษณะที่คลายกันมีแนวโน้มมีความ

ซับซ้อนที่ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยมีแนวความคิดที่จะนำค่าความซับซ้อนที่ได้จากการคำนวณนี้ใช้ในการสืบค้นภาพและหาลักษณะของภาพที่มีความคล้ายคลึงกัน

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1 ใช้หลักการของแฟร็กทัลไดเมนชัน ในการหาคุณสมบัติภาพเพื่อใช้ในการสืบค้นภาพ มีข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในการทดลอง 4 กลุ่ม คือ ภาพบุคคล (Portrait) ภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพทิวทัศน์ (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) จำนวนรวมไม่น้อยกว่า 400 ภาพ

1.5.2 ทำกระบวนการประมวลผลภาพ (Preprocessing) เพื่อหาข้อมูลจำเพาะก่อนใช้ในการวิเคราะห์ความซับซ้อนของรูปภาพ เช่น การแปลงโมเดลสีของภาพ การหาขอบรูปภาพในภาพ

1.5.3 นำวิธีการของบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting, BC) ฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) และเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) มาใช้ในการหาค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน สืบค้นภาพจากคลังภาพทั้ง 4 กลุ่ม ด้วยค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน และสืบค้นภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกับภาพต้นแบบได้ จากคลังภาพทั้ง 4 กลุ่ม ด้วยค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน

1.5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านความเร็วของการวิเคราะห์ความซับซ้อนด้วยวิธีแฟร็กทัลทั้ง 3 แบบได้

1.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1.6.1 การหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันใช้ภาพในโหมดภาพสีเทา

1.6.2 การใช้ขอบภาพในการคำนวณหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน ทำให้เสียรายละเอียดบางส่วนของภาพขาดหายไป

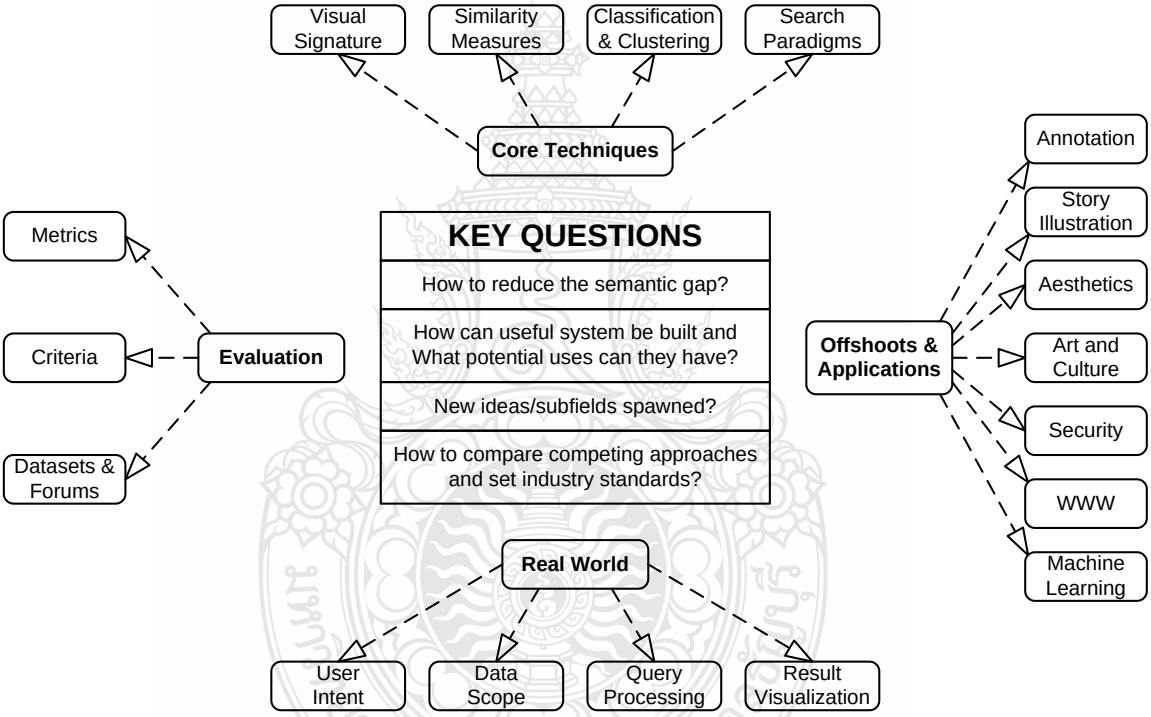
1.6.3 ค่าของแฟร็กทัลไดเมนชันที่คำนวณได้มีโอกาสที่ได้ค่าออกมาเท่ากันทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการสืบค้น

1.6.4 ข้อมูลภาพทั่วไปมีความซับซ้อนน้อย ส่งผลให้การประมวลผลภาพมีความผิดเพี้ยนไป

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้เทคนิคแฟร็กทัลถูกใช้ในการวิเคราะห์ภาพในหลากหลายวงการ อาทิเช่น ทางด้านเกษตร ด้านอุตสาหกรรม และด้านการแพทย์ เป็นต้น ซึ่งมุมมองของนักวิจัยเหล่านั้น ในการจำแนกรูปภาพ (Image Classification) หรือการค้นหารูปภาพ (Image Retrieval) ในระบบค้นหา (Search Engine) ในปัจจุบันแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 มุมมองของงานวิจัยการค้นหารูปภาพ และ/หรือ การสืบค้นรูปภาพ

ซึ่งมุมมองของงานวิจัยทั้งหลายทำเพื่อตอบปัญหาสำคัญคือทำอย่างไรจึงจะสามารถลดความผิดพลาดในการค้นหาภาพ ที่เกิดจากความไม่ถูกต้องของภาพที่ค้นหาได้ กับความต้องการของผู้ใช้ (Semantic Gap) หรือ ทำอย่างไรที่จะสามารถสร้างระบบ/วิธีการ ที่มีประสิทธิภาพ การนำเทคนิคใหม่เข้ามาใช้ หรือทำเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการต่างๆ เพื่อตั้งเป็นมาตรฐานต่อไป

แฟร็กทัลไดเมนชันเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถใช้ในการหาความซับซ้อนและความไม่เป็นระเบียบของภาพได้ ซึ่งวิธีการที่น่าสนใจ หลากหลาย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ 3 วิธีการคือ วิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting, BC) ซึ่งเป็นวิธีการที่กระทำกับภาพต้นแบบแบบ 2 มิติได้โดยตรง ในขณะที่

วิธีการแบบฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) เป็นวิธีการที่กระทำต่อสัญญาณชุดข้อมูลของอนุกรมเวลา และวิธีการแบบเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) เป็นวิธีการที่ทำการหาแฟร็กทัลจากค่าการเบี่ยงเบนของชุดสัญญาณที่มีสเกลของขนาดข้อมูลต่างๆ

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2004 Caroline M. H. และคณะ [1] ได้นำเทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชัน (Fractal Dimension) มาหาเส้นของแสงเงาของรูปทิวทัศน์ (Landscape Silhouette Outlines) และพบว่าเทคนิคแฟร็กทัลนี้สามารถนำมาหาความเหมือนของภาพได้

ในปี ค.ศ. 2005 W. Klonowski และคณะ [2] หาความขรุขระของพื้นผิวของวัสดุในระดับนาโน โดยการถ่ายภาพสีเทาสองมิติ ของวัตถุแบบสามมิติ ซึ่งพบว่าเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้หาความขรุขระของวัสดุระดับนาโนได้ และน่าจะนำไปประยุกต์ใช้ในการหาสัญญาณจากนาโนเซนเซอร์ได้ นอกจากนี้ W. Klonowski และคณะ [3] ยังนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาความขรุขระของภาพถ่ายที่ได้จาก กล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยการนำเทคนิคแฟร็กทัล มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณเชิงเวลาแบบไม่เชิงเส้น โดยทำการเปลี่ยนข้อมูลภาพจาก 2 มิติ เป็น 1 มิติ และในปีเดียวกัน T. Kuparinen และคณะ [4] นำเทคนิคแฟร็กทัลมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาความสว่างของภาพเชิงสถิติที่ได้จากการถ่ายความขรุขระของพื้นผิวกระดาษด้วยกล้องวีดิโอ (Charge-Coupled Device, CCD) โดยทำการพิจารณารูปภาพที่ถ่ายได้ว่าเป็นลวดลาย ซึ่งพบว่าเทคนิคนี้สามารถใช้วัดความขรุขระของกระดาษได้

ในปี ค.ศ. 2010 R. Sullivan และคณะ [5] ทำการถ่ายภาพเซลล์มะเร็งจากกล้องวีดิโอไมโครสโคป (Video Microscope) และนำรูปที่ได้มาเปรียบเทียบการกำจัดเซลล์มะเร็ง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์รูปภาพแบบฮิกูจิ (Higuchi Method) ในการรายงานผลการรักษาแผลของการกำจัดเซลล์มะเร็ง ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์แฟร็กทัลแสดงให้เห็นสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวัดปริมาณของเซลล์มะเร็งที่อยู่รอดและผลการรักษาได้

ในปี ค.ศ. 1978 Benoit Mandelbrot [7] ได้ให้คำนิยาม การอธิบายรูปภาพในธรรมชาติด้วยเลขาคณิตเศษส่วน (The Fractal Geometry of Nature) เทคนิคนี้ สามารถหาค่าคุณสมบัติด้านมิติของวัตถุ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิด ดังนั้นกระบวนการนี้จึงถูกเลือกมาประยุกต์ใช้ในการหาคุณสมบัติจำเพาะของภาพเพื่อใช้ในกระบวนการจำแนกรูปภาพ

ในช่วงปี ค.ศ. 2007-2008 K. Nimkerdphol และ M. Nakagawa [10],[11] ได้การศึกษาถึงการตอบสนองของปลาต่อการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม โดยวิเคราะห์จากสัญญาณชีวภาพทั้งทางไฟฟ้าและทางกล (Non/Electrical Biosignal) และได้นำวิธีการแบบเอสพีวีมาทำการหาค่าการเบี่ยงเบนของชุดสัญญาณที่มีสเกลของขนาดต่างๆ ที่ส่งออกมาจากสิ่งศึกษา โดยทำการวัดในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าและพบว่า วิธีการนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์คลื่นสัญญาณได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2010 André R. Backes และคณะ [12] นำรูปถ่ายสมองที่ได้จากการตรวจเอ็กซ์เรย์ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ เอ็มอาร์ไอ มาทำการวิเคราะห์ความซับซ้อนของภาพด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง ผลที่ได้นำมาใช้กำหนดพื้นที่ในการหาคุณสมบัติของภาพ หาคุณลักษณะของแต่ละพื้นที่ด้วยมัลติแฟร็กทัล (Multi Fractal Dimension, MFD) แล้วทำการเลือก MFD ที่สำคัญ สำหรับการวัดภาพด้วยการวิเคราะห์ฟลูเรียร์

ในปี ค.ศ. 2002 W. Klonowski [13] ได้นำเทคนิคฮิกูจิมาทำการวิเคราะห์ Electroencephalogram (EEG) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทำงานของคลื่นสมอง วิธีการวิเคราะห์แบบฮิกูจินี้ทำให้เห็นความซับซ้อนของคลื่นสัญญาณที่ได้มา โดยพบว่าวิธีการนี้ใช้ในการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2007 T. Q. D. Khoa และ M. Nakagawa [14] ได้ใช้การปรับแก้ของ Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้ในการตรวจสอบการตอบสนองของคลื่นสมองโดยทำการวิเคราะห์สัญญาณที่ได้จาก fNIRS ด้วยเทคนิคฮิกูจิในการหาความเบี่ยงเบนและความซับซ้อนของคลื่นสัญญาณที่ได้ และใช้ Wavelets เป็นตัวแปลงสัญญาณซึ่งทำงานเหมือนกับเป็นตัวกรองสัญญาณ โดยผลที่ได้จะเป็นโมดูลสำหรับการตอบสนองของคลื่นสมอง จากการวิเคราะห์พบว่า การวิเคราะห์โดยใช้ fNIRS สามารถใช้ในการวิเคราะห์การตอบสนองของคลื่นสมองมนุษย์ได้

2.2 การแปลงภาพให้เป็นภาพเชิงดิจิตอล

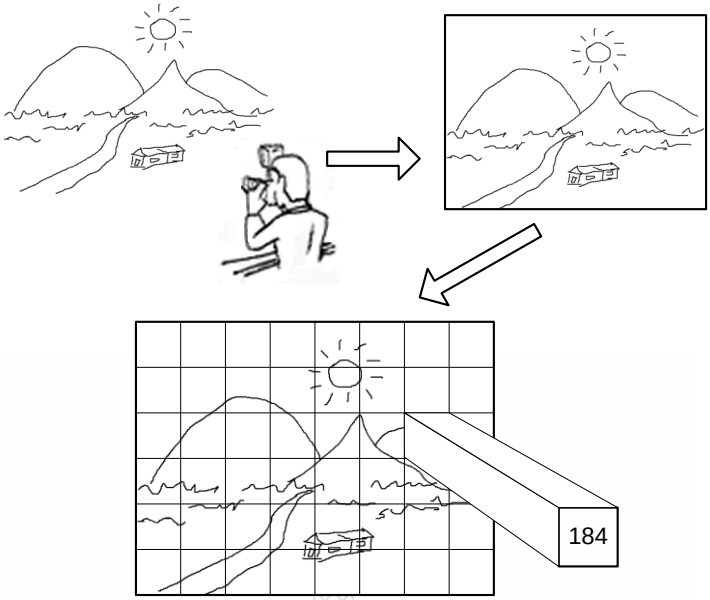
ภาพดิจิตอลนั้นมีลักษณะเป็นฟังก์ชัน 2 มิติ หรือ f(x,y) ของค่าความเข้มของแสงโดยที่ x และ y คือ ค่าที่บอกถึงตำแหน่งในระบบพิกัดฉาก และค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่งใด ๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น กระบวนการแปลงภาพให้เป็นภาพในเชิงดิจิตอลเราเรียกว่า Image Digitization มีกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ การบันทึกภาพ (Image Acquisition) การสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image Sampling) และการประมาณค่าความเข้มของแสง (Image Quantization)

2.2.1 การบันทึกภาพ (Image Acquisition)

การถ่ายภาพเป็นการแปลงภาพเชิงต่อเนื่อง (Continuous Image) จากภาพแบบ 3 มิติ ที่มีองค์ประกอบทั้งความกว้าง ความสูง และความลึก ให้เป็นภาพเชิงต่อเนื่อง 2 มิติที่มีแต่ความกว้างและความสูงเท่านั้น โดยใช้อุปกรณ์เชิงแสง (Optical Device) เช่น กล้องถ่ายรูป เพื่อแปลงภาพให้มาเป็นภาพบนฟิล์ม รูปถ่ายบนกระดาษ หรือภาพบนจอคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนของการบันทึกภาพจะให้กลไกทางแสงในอุปกรณ์การถ่ายภาพทำหน้าที่รับภาพเข้ามา

2.2.2 การสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง (Image Sampling)

การทำภาพปกติให้กลายเป็นภาพดิจิตอลจะใช้วิธีการสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง Spatially Sampling โดยสุ่มเลือกเฉพาะบางตำแหน่งในภาพดังแสดงในรูปที่ 2.2 ถ้าสุ่มเลือกมาละเอียดภาพที่ได้ก็จะมีความละเอียดสูง โดยมีหน่วยของการสุ่มเลือกก็คือ จุด หรือ Pixel



รูปที่ 2.2 ค่าของสีแยกออกเป็นค่าของแต่ละพิกเซล

จุด (Pixel) เป็นหน่วยที่แสดงความละเอียดของรูปในการแสดงผลทางหน้าจอภาพคอมพิวเตอร์ แต่รูปที่มองเห็นจริงด้วยตา ไม่ใช่การเรียงกันของจุด แต่เป็นภาพเชิงต่อเนื่องคือ ไม่สามารถแยกลงไปเป็นทีละจุด ๆ ได้ ดังนั้น เมื่อภาพถูกแสดงทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ภาพจะต้องถูกปรับให้อยู่ในหน้าจอที่ประกอบด้วยจุดสี จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสุ่มเลือกจุดตำแหน่ง ถ้ามีการสุ่มเลือกจุดตำแหน่งถี่สูง คุณภาพของภาพที่ได้ก็จะดีขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.3

(ก) (ข) (ค)

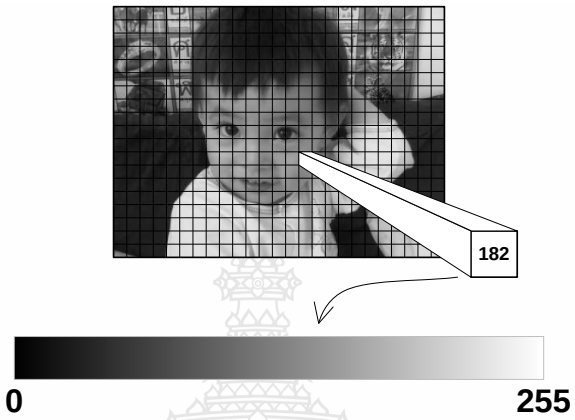
รูปที่ 2.3 ขนาดของจุด (Pixel) ที่ไม่เท่ากัน

รูปที่ 2.3 (ก) ทำการสุ่มเลือกในแนวแกนตั้ง 128 จุด และในแนวแกนนอน 128 จุด รูปที่ 2.3 (ข) ใช้ปริมาณการสุ่มเลือกในแนวแกนตั้ง 64 จุด และในแกนนอนจำนวน 64 จุด รูปที่ 2.3 (ค) ใช้ปริมาณการสุ่มเลือกในแนวแกนตั้ง 32 จุด และในแกนนอนจำนวน 32 จุด จะเห็นได้ว่า ภาพเดียวกัน แต่เมื่อทำการสุ่มเลือกทางจุดมาละเอียดไม่เท่ากัน เมื่อทำการขยายภาพจะให้คุณภาพของภาพ

แตกต่างกัน โดยจากรูป รูปที่ 2.3 (ก) มีความละเอียดสูงที่สุด โดยภาพที่มีความละเอียดสูงจะให้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลขนาดของภาพสูงขึ้นตามไปด้วย

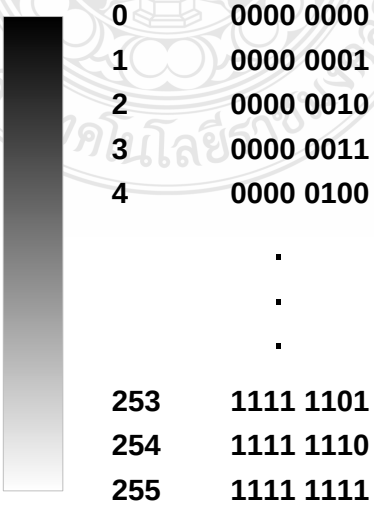
2.2.3 การประมาณค่าความเข้มของแสง

ภาพที่ได้จากการสุ่มเลือก แต่ละจุดในภาพจะถูกแทนด้วยสี ซึ่งภาพในโทนสีเทา (Grayscale) จะประกอบไปด้วยสีดำ และไล่เฉดสีจางลงไปจนถึงสีขาวดังแสดงในรูปที่ 2.4

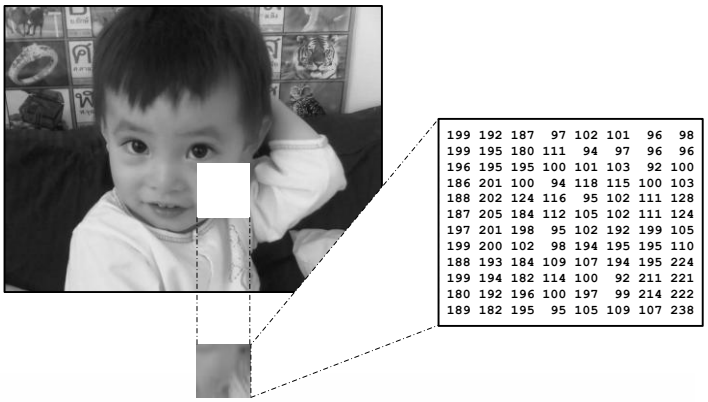


รูปที่ 2.4 ค่าของสีจากภาพและช่วงของสี 0-255

จากรูปสีดำ จะแทนด้วยค่าตัวเลข 0 ในขณะที่สีขาวจะแทนด้วยค่าตัวเลขคือ 255 รวมทั้งสิ้น 256 ระดับสี (0-255) โดยมีจำนวนบิตซึ่งเป็นหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บค่านี้หนึ่งค่า จากรูปสามารถเขียนอยู่ในรูปเลขฐานสอง หรือ 2^8 โดยที่ 8 ก็คือจำนวนบิต ดังนั้น สีดำในภาพจะถูกแทนด้วยรหัสในเลขฐานสองคือ 00000000 และสีขาวก็จะถูกแทนด้วยรหัส 11111111 และสีที่อยู่ตรงกลางระหว่างสีดำกับสีขาว ก็จะไล่ไปตามลำดับการนับของบิตในเลขฐานสองดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



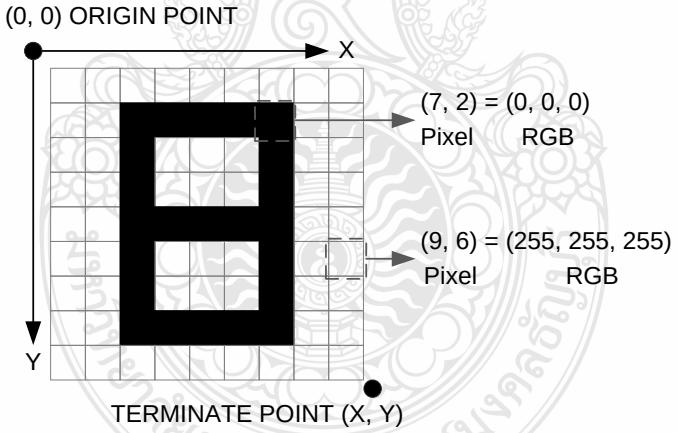
รูปที่ 2.5 ค่าของสีออกมาเป็นค่าดิจิตอล



รูปที่ 2.6 ช่วงของค่าสีในแต่ละพิกเซลของภาพ

2.3 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

เป็นการนำสัญญาณภาพที่ได้จากแหล่งกำเนิด ซึ่งอาจเป็นสัญญาณจากกล้องดิจิตอล หรือจากรูปภาพดิจิตอล จากฟิล์มภาพยนต์ มาทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของภาพ หรืออาจจะนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างของภาพ โดยขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และความต้องการ โดยภาพที่จะทำการประมวลผลมีความจำเป็นจะต้องคัดกรองข้อมูลภาพที่ได้จากภาพเชิงดิจิตอล ซึ่งเป็นข้อมูลในเชิงจุดสีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วเบื้องต้นโดยมีจุดการอ้างอิงของภาพที่จุดต่างๆ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การอ้างอิงพิกัดของข้อมูลภาพ

จากรูปโดยพิกัด X จะหมายถึงพิกัดในแนวแกนนอน โดยเริ่มจากซ้ายที่พิกัด 0 ไปจนถึงพิกัดที่ X และพิกัดของ Y หมายถึงพิกัดในแนวแกนตั้ง โดยเริ่มจากบนที่พิกัด 0 ไปจนถึงพิกัดที่ Y

2.4 มาตรฐานของสี

จำนวนสีสูงสุดที่เป็นไปได้ของแต่ละจุดภาพจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ โดยจำนวนบิตที่มากขึ้นจะให้จำนวนสีมากขึ้นไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.1

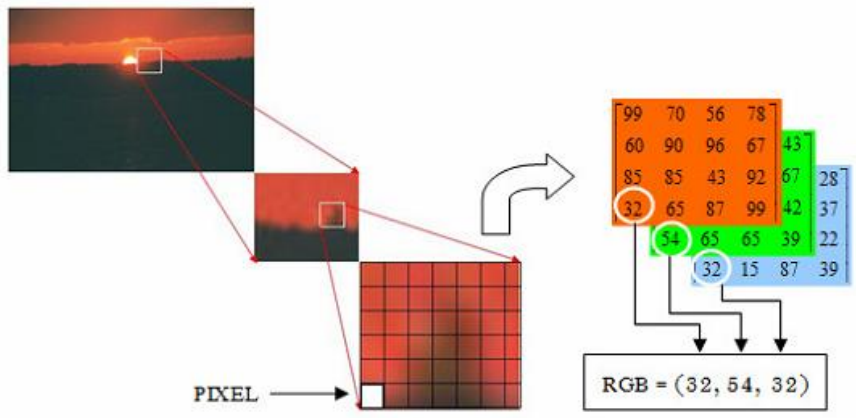
ตารางที่ 2.1 จำนวนสีปรากฏต่อจำนวนบิตของรูปภาพ

จำนวนบิต	เลขฐานสอง	จำนวนสี
1	2^1	2
2	2^2	4
4	2^4	16
8	2^8	256
16	2^{16}	65536

นอกจากนี้มาตรฐานของสีมีหลายแบบแต่ที่นิยมใช้กันได้แก่ ระบบ อาร์จีบี (Red Green Blue, RGB) และระบบ เอชเอสวี (Hue Saturation Value, HSV)

2.4.1 ระบบสีอาร์จีบี (RGB)

เป็นระบบของสีที่เกิดจากการรวมกันของแม่สี สีแดง (R) สีเขียว (G) และสีน้ำเงิน (B) ด้วยรวมกับแบบ เพิ่มเข้าไป อาทิเช่นรูปภาพ 24 บิต จะมีค่าสีแดงเท่ากับ 8 บิต (256 ค่า) สีเขียวมีค่าเท่ากับ 8 บิต (256 ค่า) สีน้ำเงินมีค่าเท่ากับ 8 บิต (256 ค่า) เมื่อนำทั้งสามสีมารวมกันก็จะทำให้เกิดสีขึ้นมาใหม่เป็นสีขาว โดยในแต่ละจุดของภาพจะเกิดจากการรวมสีต่างๆกันแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ข้อมูลภาพในหนึ่งจุดภาพ

2.4.2 ระบบสีเอชเอสวี (HSV)

เป็นระบบที่จะใช้การพิจารณาสีด้วย Hue (H) Saturation (S) และ Value (V) โดย H คือค่าของแม่สีหลัก (แดง เขียว และน้ำเงิน) ในทางปฏิบัติจะอยู่ที่ 0-255 รวมเป็น 256 ค่า ถ้าค่า H มีค่าเท่ากับศูนย์จะแสดงสีแดงและเมื่อค่าเพิ่มขึ้นจะแสดงค่าสีต่าง ๆ กันเปลี่ยนไปตามสเปกตัม

(Spectrum) ของสีจนค่าที่ 255 ก็จะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าค่า H $\in$ [0°, 360°] ซึ่งค่า H สามารถคำนวณจากระบบสี RGB ได้ดังนี้

$$R_H = R - \min(R, G, B) \tag{2.1}$$

$$G_H = G - \min(R, G, B) \tag{2.2}$$

$$B_H = B - \min(R, G, B) \tag{2.3}$$

ค่า S คือค่าความบริสุทธิ์ของสี ซึ่งถ้าค่า S มีค่าเป็นศูนย์ค่าสีที่ได้จะเป็นสีเทา (ไม่มีค่า H) หากค่า S เท่ากับ 255 จะได้ค่าสีเท่ากับ H อาจกล่าวได้ว่า ค่า $S_{HSV} \in$ [0, 1] โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$S = \frac{\max(R, G, B) - \min(R, G, B)}{\max(R, G, B)} \tag{2.4}$$

ค่า V คือค่าความสว่างของสี ณ จุด (Pixel) นั้นๆ ซึ่งสามารถวัดโดยวัดค่าความเข้มของแสงสว่างของสีที่ประกอบกัน โดยค่า V $\in$ [0, 1] โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$V = \max(R, G, B) \tag{2.5}$$

2.5 การกรองโดยวิธีคอนโวลูชัน (Convolution)

วิธีการกรองข้อมูลภาพที่กล่าวมาส่วนใหญ่อาศัยหลักของการหาค่าเฉลี่ย โดยอาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยของจุดเดียวกันจากภาพหลายๆ ภาพ หรืออาจเป็นการหาค่าเฉลี่ยจากจุดต่างๆ ที่อยู่รอบๆ จุดที่เราสนใจ เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล วิธีการที่ผ่านมาจึงใช้ได้ดีกับการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เป็นสัญญาณความถี่สูง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การกรองสัญญาณมีวัตถุประสงค์เพื่อเน้นคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องการในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในขณะที่ลดทอนคุณสมบัติที่ไม่ต้องการลง หากเราต้องการเน้นการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มของจุดต่างๆ ภายในภาพให้เด่นชัดขึ้น ในที่นี้จะเสมือนกับการกรองสัญญาณความถี่สูงผ่าน เราจะไม่สามารถใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยได้ วิธีที่สามารถนำมาใช้ได้คือการคอนโวลูชัน (Convolution)

2.5.1 การคอนโวลูชัน

ในการประมวลผลภาพ การคอนโวลูชันคือการกระทำกันระหว่างเทมเพลต (Template) กับภาพ (Image)

เทมเพลต คือเมตริกซ์ขนาด n x m ของชุดตัวเลขที่จะนำไปซ้อนทับภาพที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาผลลัพธ์ของการคอนโวลูชัน ถ้ากำหนดให้เทมเพลต T(x,y) เป็นเทมเพลตขนาด n x m และภาพ $I'(X,Y)$ มีขนาด N x M การคอนโวลูชันระหว่างเทมเพลตกับภาพสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I'(X,Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{m-1} T(i,j)\cdot I(X-i,Y-j) \tag{2.6}$$

โดย $I'(X,Y)$ คือภาพผลลัพธ์จากการคอนโวลูชัน จากสมการที่ 2.6 จะเห็นว่าระดับความเข้มแสง ณ จุด (X,Y) ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณของระหว่างค่าในเทมเพลตกับค่าระดับความเข้มแสงของภาพในบริเวณที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่ จากสมการ ตัวชี้ตำแหน่งจุดในภาพ (X-i,Y-j) แสดงให้เห็นว่ามีการพลิกเทมเพลตทางแกนนอน และแกนตั้ง สมการที่ 2.7 แสดงการคอนโวลูชันที่ไม่ต้องมีการพลิกเทมเพลต ซึ่งวิธีการนี้มีชื่อที่แท้จริงว่า Cross-Correlation และเป็นที่นิยมใช้ในด้านการประมวลผลภาพ

$$I'(X,Y) = T * I = \sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{m-1} T(i,j)\cdot I(X+i,Y+j) \tag{2.7}$$

ขั้นตอนของการคอนโวลูชันประกอบด้วยการเลื่อน บวก และคูณ เราสามารถใช้การคอนโวลูชันในการประมวลผลภาพได้ในหลายลักษณะ เช่นกรองสัญญาณภาพ การหาขอบภาพ (Edge Detection) หรือการหารูปทรงของวัตถุในภาพ เป็นต้น

โดยทั่วไป ในการคอนโวลูชัน เราจะไม่ยอมให้มีการเลื่อนเทมเพลตออกนอกของเขตของภาพ ดังนั้นถ้าเทมเพลตมีขนาดใหญ่กว่า 1 x 1 ภาพผลลัพธ์จะมีขนาดเล็กกว่าภาพเริ่มต้นเสมอ ตัวอย่างเช่น การคอนโวลูชันระหว่างภาพขนาด 4 x 5 กับ เทมเพลตขนาด 2 x 2 ต่อไปนี้

เทมเพลต		ภาพเริ่มต้น		ภาพผลลัพธ์
		1 1 3 3 4		2 5 7 6 *
1 0	*	1 1 4 4 3	=	2 4 7 7 *
0 1		**2 1** 3 3 3		**3** 2 7 7 *
		1 1 1 4 4		* * * * *

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการคอนโวลูชัน

จะให้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาด 3 x 4 จากตัวอย่างข้างต้น ค่าความเข้มสี 3 ในภาพผลลัพธ์ได้จากการหาผลรวมของผลคูณระหว่างเทมเพลตกับภาพในบริเวณที่แรเงา ซึ่งมีค่าเท่ากับ (1x2) + (0x1) + (0x1) + (1x1) = 3

จากตัวอย่างพบว่าจุดมุมบนซ้ายของเทมเพลตคือจุดอ้างอิงในการกำหนดจุดในภาพผลลัพธ์ ในความเป็นจริงแล้ว เราสามารถเลือกจุดใดๆ ในเทมเพลตให้เป็นจุดอ้างอิงก็ได้ การเลือกเอาจุดกึ่งกลางของเทมเพลตที่มีความกว้างและสูงเป็นจำนวนคี่ (เช่นเทมเพลตขนาด 3x3 3x5 5x5 และ 7x7 เป็นต้น) เป็นจุดอ้างอิงนับว่ามีความเหมาะสมยิ่ง อย่างไรก็ตาม ในแง่ของการเขียนโปรแกรมแล้ว การใช้จุดมุมเป็นจุดอ้างอิงจะลดความซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมลง เนื่องจากไม่มีปัญหาสำหรับการคอนโวลูชันโดยใช้เทมเพลตที่มีขนาดไม่คงที่ ดั้งนั้นจะใช้จุดมุมบนซ้ายเป็นจุดอ้างอิงในการทำคอนโวลูชันทุกครั้ง เว้นแต่มีการกำหนดให้เป็นอย่างอื่น

การคอนโวลูชันที่ไม่ยอมให้เทมเพลตเลื่อนออกนอกบริเวณขอบภาพเรียกว่าการคอนโวลูชันแบบไม่เป็นรายคาบ (Aperiodic Convolution) วิธีการนี้จะได้ภาพที่มีขนาดเล็กลง หากต้องการคงขนาดภาพไว้ จะต้องใช้การคอนโวลูชันแบบเป็นรายคาบ (Periodic Convolution) การคอนโวลูชันแบบนี้เปรียบเสมือนการม้วนภาพให้ขอบซ้ายมาชนกับขอบขวา และม้วนให้ขอบบนมาชนกับขอบล่าง เมื่อเทมเพลตเลื่อนตกขอบข้างใดข้างหนึ่งๆ ส่วนของเทมเพลตที่เลยขอบก็จะไปทาบกับขอบภาพอีกด้านหนึ่ง

วิธีการอย่างง่ายที่ทำให้ภาพผลลัพธ์มีขนาดเท่ากับภาพเริ่มต้นคือการเติมค่าศูนย์บริเวณรอบๆ ภาพเริ่มต้น เพื่อทำให้ภาพเริ่มต้นมีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากการคอนโวลูชันจะได้ภาพผลลัพธ์ที่มีขนาดเท่ากับภาพเริ่มต้นก่อนมีการชดเชย รูปที่ 2.10 แสดงการคอนโวลูชันที่มีการเติมค่าศูนย์ให้กับภาพเริ่มต้น

ภาพเริ่มต้น	ภาพเริ่มต้นหลังจากเติมศูนย์		เทมเพลต		ภาพผลลัพธ์
	0 0 0 0 0				
1 2 3	0 1 2 3 0		1 0 0		6 8 3
4 5 6	0 4 5 6 0	*	0 1 0	=	12 15 8
7 8 9	0 7 8 9 0		0 0 1		7 12 14
	0 0 0 0 0				

รูปที่ 2.10 ผลของการเติมค่าศูนย์รอบภาพเริ่มต้นก่อนทำการคอนโวลูชัน

แม้เป็นกระบวนการประมวลผลภาพที่ง่าย แต่การคอนโวลูชันต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคอนโวลูชันระหว่างภาพและเทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ หากภาพมีขนาด M x M และเทมเพลตมีขนาด n x n จะต้องมีการคูณถึง M^2n^2 ครั้ง ถ้า M=512 และ n=16 จะต้องมีการคูณ

ประมาณ 67 ล้านครั้ง การคำนวณที่มากขนาดนี้ทำให้ไม่สามารถประมวลผลภาพเคลื่อนไหวในเวลาจริง (Real-Time)ได้ เว้นแต่จะมีฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบมาเฉพาะ สำหรับภาพและเทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ (M >= 512 และ N >= 32) การแปลงภาพและเทมเพลตให้อยู่ในรูปของข้อมูลในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) จะช่วยลดการคำนวณลงได้อย่างมาก จากตัวอย่างข้างต้น การคอนโวลูชันในโดเมนความถี่จะลดจำนวนครั้งของการคูณลงเหลือเพียง 256,000 ครั้งเท่านั้น การคอนโวลูชันในโดเมนความถี่จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

2.5.2 เทมเพลตสำหรับกรองความถี่ต่ำผ่าน

เทมเพลตขนาด 3 x 3 ต่อไปนี้สามารถใช้เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของค่าความเข้มแสงในภาพ

1	1	1
1	1	1
1	1	1

รูปที่ 2.11 เทมเพลตการกรองความถี่ต่ำผ่าน

ผลของการคอนโวลูชันกับเทมเพลตนี้จะเหมือนกับการหาผลรวมของจุดภาพทั้ง 9 จุดที่เทมเพลตซ้อนทับอยู่ การเปลี่ยนแปลงใดๆ ในบริเวณดังกล่าวจะถูกเฉลี่ยให้มีความราบเรียบ ผลที่ได้คือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลง (เช่นสัญญาณรบกวนความถี่สูง) จะถูกลดทอนภาพที่ได้จะมีความคมลดลง คุณสมบัติเช่นนี้เปรียบได้กับการกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

1	3	1
3	16	3
1	3	1

รูปที่ 2.12 เทมเพลตการกรองความถี่ต่ำผ่านที่นิยมใช้อีกแบบหนึ่ง

เทมเพลตนี้จะเน้นความสำคัญของจุดที่อยู่ตรงกลางเทมเพลตเป็นพิเศษ โดยจะให้จุดกลางมีน้ำหนัก 50% ของทั้งหมด และให้น้ำหนักรวมของจุดทั้ง 4 ที่อยู่ด้านบน ด้านล่าง ด้านซ้าย และด้านขวาของจุดกลางมีค่าเท่ากับ 40% ส่วนจุดมุมทั้ง 4 มีน้ำหนักเพียง 10% โดยจุดที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางจะมีน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ห่างออกไป

2.5.3 เทมเพลตสำหรับกรองความถี่สูงผ่าน

สัญญาณความถี่สูงคือสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าไปมาอย่างรวดเร็ว ต่างกับสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนค่าอย่างช้าๆ หรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย การกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ก็คือการกรองสัญญาณที่เพิ่มความแรงของสัญญาณที่มีความถี่สูงและลดความแรงของสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ เทมเพลตต่อไปนี้ใช้สำหรับการกรองความถี่สูงผ่าน

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

รูปที่ 2.13 เทมเพลตการกรองความถี่สูงผ่าน

จะเห็นว่าผลรวมของทุกค่าในเทมเพลตมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งหมายความว่า ถ้าวางเทมเพลตนี้ลงบนบริเวณของภาพที่มีค่าความเข้มแสงคงที่ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ถ้าค่าที่บริเวณตรงกลางแตกต่างกับค่ารอบๆ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าความแตกต่างยิ่งขึ้น

ภาพ	หลังจากการกรองความถี่สูงผ่าน	หลังจากการกรองความถี่ต่ำผ่าน
0 0 0 0 0		
0 1 1 1 0	2 1 2	4 6 4
0 1 1 1 0	1 0 1	6 9 6
0 1 1 1 0	1 0 1	6 9 6
0 1 1 1 0	1 -5 1	11 14 11
0 1 6 1 0	-4 20 -4	11 14 11
0 1 1 1 0	2 -4 2	9 11 9
0 0 0 0 0		

รูปที่ 2.14 การกรองภาพด้วยเทมเพลต

จากรูปที่ 2.14 เป็นการแสดงตัวอย่างการกรองภาพด้วยเทมเพตกรองความถี่สูง และความถี่ต่ำ จะเห็นว่าหลังการกรองความถี่สูงผ่านขอบภาพจะเด่นชัด ส่วนที่เป็นค่าคงที่จะกลายเป็นศูนย์ และส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 เป็น 6 ถูกขยายเป็นจาก -4 ไป 20 สำหรับการกรองความถี่ต่ำผ่าน การเปลี่ยนถูกลดทอนลง ภาพผลลัพธ์มีความราบเรียบขึ้น

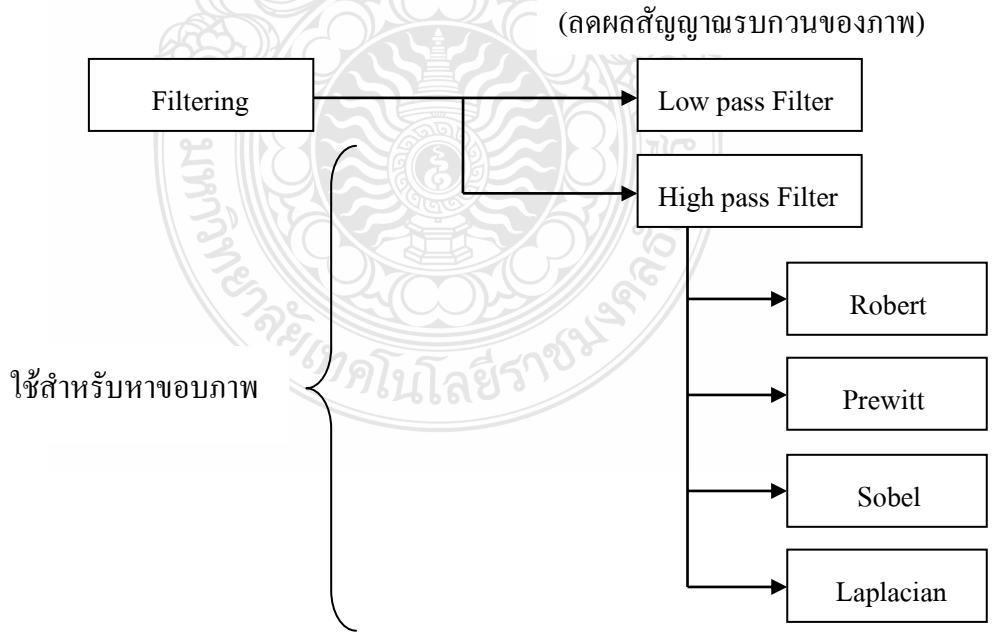
2.6 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ (Edge Detection) คือ การตรวจสอบว่าเส้นขอบลากผ่านหรือใกล้เคียงกับจุดใด โดยวัดจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดดังกล่าว หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการหาเส้นรอบวัตถุที่อยู่ในภาพ เมื่อทราบเส้นรอบวัตถุ เราจะสามารถคำนวณหาพื้นที่ (ขนาด) หรือรู้จำ ชนิดของวัตถุนั้นได้ อย่างไรก็ตามการหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์ไม่ใช่เป็นเรื่องง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาขอบของภาพที่มีคุณภาพต่ำ มีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังน้อย หรือมีความสว่างไม่สม่ำเสมอทั่วภาพ

ขอบภาพเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หากความต่างนี้มีค่ามาก ขอบภาพก็จะเห็นได้ชัด ถ้าความแตกต่างมีค่าน้อย ขอบภาพก็จะไม่ชัดเจน ซึ่งวิธีการหาขอบนั้นมีด้วยกัน ซึ่งวิธีการหาขอบนั้นมีด้วยหลายวิธี

2.6.1 ทฤษฎีการหาขอบภาพ (Edge Detection Methods)

การหาขอบของภาพเป็นโอเปอเรชั่น (Operation) ที่มีความสำคัญในการประมวลผลภาพที่มีขนาดใหญ่ เช่น การทำเซกเมนเตชั่น (Segmentation) กับภาพ การจดจำตัวอักษร และการวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหว ขอบของภาพ คือเส้นรอบรูปที่เกิดจากความสว่างของภาพที่เปลี่ยนไปทันทีโดยดูจากขนาดหรืออัตราการเปลี่ยนขนาด



รูปที่ 2.15 กระบวนการหาขอบภาพ

การกรองสัญญาณมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1) Low Pass Filter มีค่าของ Coefficients ใน Filter Windows ที่ให้ผลเป็นค่าเฉลี่ย โดยค่าตัวเลขทั้งหมดเป็นบวก และผลรวมต้องมีค่าเท่ากับหนึ่ง ดังรูปที่ 2.16

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

รูปที่ 2.16 ตำแหน่งของตัวแปรของ Low Pass Filter ขนาด 3x3

2) High Pass Filter มีค่าของ Coefficients ใน Filter Windows ที่ให้ผลเป็นค่าผลต่าง โดยค่าตัวเลขทั้งหมดเป็นบวก หรือลบผสมกันก็ได้ และผลรวมต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 2.17

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

รูปที่ 2.17 ตำแหน่งของตัวแปรของ High Pass Filter ขนาด 3x3

วิธีที่ใช้ในการหาขอบภาพมีอยู่หลากหลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.15 แต่สามารถแบ่งได้ออกเป็น 4 กลุ่มคือ การสร้างกรอบอย่างง่ายเพื่อหาขอบของวัตถุ การเปลี่ยนแปลงโดยประมาณค่าของแกรเดียน การเปลี่ยนแปลงโดยใช้เทมเพลตที่มีทิศทาง และการเปลี่ยนแปลงที่ใช้ความหนาแน่นของโมเดลของขอบที่เป็นพาราเมตริก จุดมุ่งหมายในการหาขอบก็คืออะไรบางอย่างที่แตกต่างจากขอบที่เราหา ได้บนพื้นฐานของข้อมูลที่เป็นความหนาแน่นของข้อมูลที่ถูกแบ่งออกเป็นหมวดหมู่

2.6.2 การหาขอบภาพแบบเป็นลำดับขั้น

ปัญหาในการหาขอบภาพโดยทั่วไปส่วนหนึ่งมักเกิดจากเน้นขอบภาพที่ไม่ชัดเจนและขอบภาพสั้นๆ ที่ไม่ปะติดปะต่อกัน ขอบภาพเหล่านี้คือสิ่งที่ไม่ต้องการ แต่การใช้วิธีการหาขอบ ภาพธรรมดาจะไม่สามารถกำจัดขอบภาพลักษณะนั้นได้ วิธีแก้ไขคือใช้การหาขอบภาพแบบเป็น ลำดับขั้นซึ่งมีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

1) สร้างภาพใหม่จากภาพเดิม และมีขนาด 1/4 ของภาพเดิม โดยค่าความเข้มของแต่ละจุดในภาพเล็กคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของจุดทั้งสี่ที่ตรงกันในภาพใหญ่

2) สร้างภาพที่เล็กลงไปอีกด้วยวิธีเดียวกันจนกระทั่งภาพที่ได้แสดงเฉพาะขอบภาพที่ต้องการเท่านั้น

3) ทำการหาขอบภาพ อาจใช้วิธีโซเบลหรือวิธีอื่นๆ แล้วทำเทรสโฮลด์

4) ณ ตำแหน่งที่เกิดขอบภาพขึ้น ให้ทำการหาขอบภาพบริเวณจุดทั้งสี่ของจุดที่ตรงกันใน ภาพที่ใหญ่กว่าในอันดับถัดไป

5) ทำซ้ำจนถึงภาพสุดท้ายซึ่งเป็นภาพเริ่มต้นก็จะได้ขอบภาพที่ต้องการ

2.6.3 การตามขอบภาพ (Edge Following)

หากเราทราบจุดใดจุดหนึ่งบนขอบภาพเราสามารถหาจุดข้างเคียงที่เป็นขอบภาพและสามารถวนไปตามขอบภาพจนกลับมายังจุดเริ่มต้นได้ ในบทนี้จะแนะนำวิธีการตามขอบภาพ อย่างง่ายดังต่อไปนี้

1) สมมุติให้จุด (x,y) เป็นจุดใดจุดหนึ่งบนขอบภาพ

2) ตั้งค่าแฟลกให้จุด (x,y) ว่าเคยผ่านมาแล้ว

3) คำนวณหาค่าความแรงของขอบของจุดทั้งแปดที่อยู่รอบจุด (x,y)

4) เลือกจุด 3 จุดที่มีค่าความแรงสูงสุด แล้วใส่ไว้ในอาเรย์แบบ 3 คอลัมน์ โดยเรียงตามลำดับความแรงของขอบ

5) เลือกจุดที่มีค่าความแรงสูงสุด แล้วพิจารณาว่าตำแหน่งของจุดอยู่ในทิศทางใด เมื่อเทียบกับจุด (x,y) หากจุดที่มีค่าความแรงของขอบอยู่ด้านบนเมื่อเทียบกับจุด (x,y) ดังนั้นทิศทางที่กำหนดให้คือ 1

6) กำหนดให้ค่าทิศทางคือ d

7) ทำซ้ำในข้อ 3 แต่พิจารณาเฉพาะจุดที่อยู่ใน 3 ทิศทาง คือ ทิศทาง d ทิศทาง (d+1) mod 8 และทิศทาง (d-1) mod 8

8) หากไม่พบจุดใดเลยที่มีค่าความแรงของขอบสูงพอในทิศทางที่เคลื่อนที่ไป ให้ลบจุดนั้นออกจากอาเรย์ และเลือกจุดที่มีความแรงของขอบน้อยกว่าในอันดับถัดไป แล้วทำซ้ำในข้อที่ 3 หากทั้ง 3 จุดในแถวถูกลบออกหมด ให้ถอยกลับไปใช้จุดที่เหลือใน แถวถัดไป

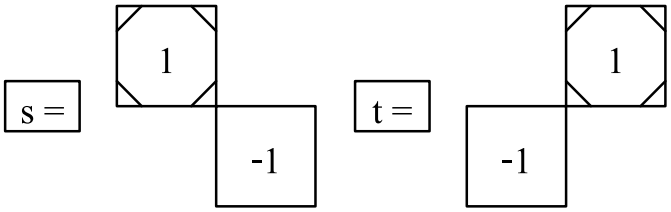
9) หยุดเมื่อวนกลับมายังจุดเดิม หรือเมื่อมีการใช้เวลาตามขอบภาพนานเกินไป

วิธีที่กล่าวมาเป็นวิธีอย่างง่ายซึ่งอาจมีปัญหาบ้างในการใช้งานจริง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.6.4 การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธี Roberts

การหาขอบด้วยวิธีนี้ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการใช้เทคนิคการปรับปรุงขอบที่ไม่ต่อเนื่อง ให้ $a \in R^X$ เป็นภาพต้นฉบับ และขอบที่ได้เป็น $b \in R^X$ วิธีการของ Roberts ก็คือ

$$b(i,j) = \left((a(i,j) - a(i+1,j+1))^2 + (a(i,j+1) - a(i+1,j))^2\right)^{1/2} \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.18 เทมเพลตของ s และ t

รูปที่ 2.19 ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Roberts

2.6.5 การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธี Prewitt

วิธีการนี้จะคำนวณ ขอบที่เป็นแกรเดียนเวคเตอร์ (Gradient Vector) ของทุกจุดบนภาพที่เป็นภาพต้นฉบับ ขอบที่ผ่านการปรับปรุงแล้วนั้นมาจากขนาดของแกรเดียนเวคเตอร์ มาสค์ (Mask) ที่ใช้แทนอนุพันธ์จะเกี่ยวข้องกับ x และอื่นๆ ด้วย y

ให้ $a \in R^X$ เป็นภาพต้นฉบับและ a0,a1,…,a7 เป็นค่าของแต่ละพิคเซล 8 จุดที่ตำแหน่ง (i,j) ตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังรูป

a_3	a_2	a_1
a_4	(i,j)	a_0
a_5	a_6	a_7

รูปที่ 2.20 ตำแหน่งของตัวแปรของ Prewitt

ให้ $u = (a_5 + a_6 + a_7) - (a_1 + a_2 + a_3)$ และ $v = (a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + a_4 + a_5)$ ขอบของภาพเป็น $b \in R^X$ ให้

$$b(i,j) = (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (2.9)$$

และให้ทิศทางของขอบของภาพ $d \in R^X$ ได้

$$d(i,j) = \arctan\left(\frac{v}{u}\right) \quad (2.10)$$

s =

-1	-1	-1
	1	
1	1	1

t =

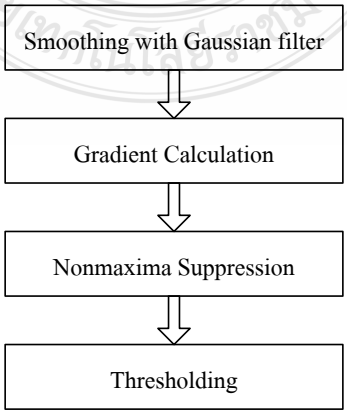
-1		1
-1	1	1
-1		1

รูปที่ 2.21 เทมเพลตของ Prewitt

รูปที่ 2.22 ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Prewitt

2.6.6 การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธี Canny

ขั้นตอนการหาขอบโดยวิธีของ Canny ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ขั้นตอนของ Canny Edge Detection

การทำงานของ Canny Edge Detection นั้นเริ่มต้นจากการปรับภาพให้เรียบ (Smoothing) ด้วยตัวกรองเกาเซียน (Gaussian Filter) เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน หลังจากนั้น คำนวณค่าขนาด (Magnitude) และทิศทาง (Orientation) ของ Gradient โดยใช้การหาอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ในถัดมาจึงใช้ Nonmaxima suppression กับ Gradient Magnitude เพื่อทำให้ได้ขอบที่บางลง และในขั้นตอนสุดท้ายใช้ Double Thresholding Algorithm เพื่อระบุพิกเซลที่เป็นขอบและช่วยเชื่อมต่อขอบ โดยในแต่ขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Smoothing ในขั้นตอนแรกของการหาขอบโดยอัลกอริทึมนี้จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนออกก่อนโดยใช้ Gaussian Filter ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้กรอบ (Mask) ขนาดเล็ก ขนาดของ Gaussian Mask นี้หากมีขนาดกว้างจะมีผลทำให้ลดสัญญาณรบกวนได้มาก แต่ถ้ากว้างมากเกินไปจะมีผลทำให้ขอบย่อยๆ ที่เป็นส่วนรายละเอียดนั้นหายไป สำหรับการคำนวณหาภาพที่ได้จากการใช้ Gaussian Filter เป็นดังสมการที่ 2.11

$$S[i, j] = G[i, j, \sigma] * I[i, j] \qquad (2.11)$$

กำหนดให้ $I[i, j]$ เป็น ภาพที่ต้องการหาขอบ

$G[i, j, \sigma]$ เป็น Gaussian Smoothing Filter

σ เป็น Spread of the Gaussian (ควบคุมระดับของการ Smoothing)

2) Gradient Calculation ในขั้นแรกนำ Smoothing Image S[i, j] มาสร้าง x, y partial derivatives P[i, j] และ Q[i, j] ตามลำดับ ดังสมการที่ 2.12 และ 2.13

$$P[i, j] \approx (S[i, j+1] - S[i, j] + S[i+1, j+1] - S[i+1, j])/2 \qquad (2.12)$$

$$Q[i, j] \approx (S[i, j] - S[i+1, j] + S[i, j+1] - S[i+1, j+1])/2 \qquad (2.13)$$

หลังจากนั้นนำค่า x , y Partial Derivatives มาคำนวณด้วยสูตรมาตรฐานสำหรับการแปลงรูปแบบจาก Rectangular ไปเป็น Polar (Rectangular-to-Polar Conversion) เพื่อหาขนาดและทิศทางของ Gradient ตามสมการที่ 2.14 และ 2.15

$$M[i, j] = \sqrt{P[i.j]^2 + Q[i, j]^2} \qquad (2.14)$$

$$\theta[i, j] = \arctan(Q[i, j], P[i, j]) \qquad (2.15)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถหาค่ามุม θ ออกมาได้เมื่อแทนค่าตัวแปรในฟังก์ชัน $\arctan(x, y)$

3) Nonmaxima Suppression สำหรับการหาขอบโดย Canny Method จุดที่ถือเป็นเส้นขอบได้นั้นต้องเป็นจุดที่ให้ค่าสูงสุดเฉพาะที่และเป็นทิศทางเดียวกับ Gradient ด้วย ซึ่งด้วยวิธีดังกล่าวนี้ทำให้ได้ขอบที่บางเพียง 1 พิกเซล ภาพที่ได้หลังการทำ Nonmaxima Suppression จะให้ค่าเป็นศูนย์ในทุกจุดยกเว้นจุดที่เป็น Local Maxima Points ซึ่งจะยังคงค่าเดิมไว้

4) Thresholding แม้ว่าภาพจะผ่านการ Smoothing ในขั้นตอนแรกแล้วก็ตาม ภาพที่ได้อาจยังมีเส้นขอบที่ไม่ใช่ขอบที่แท้จริงปรากฏอยู่อันเนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือลักษณะของวัตถุในภาพเป็นพื้นผิวที่มีลวดลายหรือมีรายละเอียดภายในมาก ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการกำหนดค่า Threshold ขึ้นมา 2 ค่า คือ High Threshold (T1) และ Low Threshold (T2) โดยพิกเซลที่มีค่ามากกว่า T1 จะถูกปรับเป็น 1 (เป็นพิกเซลที่เป็นขอบ) แต่ถ้าน้อยกว่า T2 จะถูกปรับเป็น 0 ส่วนค่าที่อยู่ระหว่างค่า Threshold ทั้งสอง การปรับเป็นค่า 0 หรือ 1 นั้นขึ้นอยู่กับพิกเซลที่อยู่รอบข้าง หากพบว่าพิกเซลที่อยู่รอบข้างของพิกเซลที่เป็นขอบ (ค่า >T1) มีค่ามากกว่า T2 แล้ว จะปรับค่าพิกเซลดังกล่าวให้มีค่าเป็น 1 และถือเป็นสมาชิกหนึ่งในภาพขอบด้วยเช่นกัน

รูปที่ 2.24 ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Canny

2.6.7 การตรวจหาขอบภาพด้วยวิธี Sobel

วิธีนี้เป็นการหาขอบที่ไม่เป็นเชิงเส้น สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความไม่ต่อเนื่องได้ตามการปรับปรุงขอบ

ให้ $a \in R^X$ เป็นภาพต้นฉบับและ a0,a1,…,a7 แสดงถึงตำแหน่งของแต่ละพิกเซลทั้ง 8 จุดทวนเข็มนาฬิกาดังรูป

a_3	a_2	a_1
a_4	(i,j)	a_0
a_5	a_6	a_7

รูปที่ 2.25 ตำแหน่งของตัวแปรของ Sobel

ขนาดขอบของภาพ Sobel $m \in R^X$ ให้

$$m(i, j) = (u^2 + v^2)^{1/2} \tag{2. 16}$$

ที่ $u = (a_5 + 2a_6 + a_7) - (a_1 + 2a_2 + a_3)$ และ $v = (2a_0 + a_1 + a_7) - (a_3 + 2a_4 + a_5)$
ทิศทางของแกรเดียนของภาพ d คือ

$$\mathrm{d(i, j)} = \arctan\begin{pmatrix} \mathrm{u} \\ \mathrm{v} \end{pmatrix} \tag{2. 17}$$

s =

-1	-2	-1
	1	
1	2	1

t =

-1		1
-2	1	2
-1		1

รูปที่ 2.26 *เทมเพลตของ Sobel*

รูปที่ 2.27 *ภาพที่ได้จากการหาขอบด้วยวิธีของ Sobel*

2.7 หลักการของแฟร็กทัลไดเมนชัน (Fractal Dimension)

เลขาคณิตเศษส่วน (Fractal Geometry) ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Mandelbrot [7] ซึ่งสามารถอธิบายความไม่เป็นระเบียบและความซับซ้อนของโครงสร้างเช่นความซับซ้อนในธรรมชาติ ซึ่งมีวิธีการหลากหลายวิธีเพื่อที่จะใช้ในการอธิบายเลขาคณิตเศษส่วน เช่นวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting) วิธีการแบบคาปาซิตี้ไดเมนชัน (Capacity Dimension Analysis) วิธีการแบบคอร์รีเลชั่น (Correlation Dimension Analysis) วิธีการแบบอินฟอร์เมชั่น (Information Dimension Analysis) วิธีการแบบเฮาซ ดรอฟ (Hausdorff Dimension Analysis) วิธีการแบบเฮิร์สต์ (Hurst Exponent

Analysis) วิธีการแบบลีปูนอฟ (Lyapunov Dimension Analysis) [8],[9] วิธีแบบแบบเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) [10],[11] และวิธีคิว (Q-Dimension Analysis) [15] เป็นต้น

2.7.1 มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension)

เรขาคณิตเศษส่วน (Fractal Geometry) หรือไวยากรณ์แห่งทฤษฎีไร้ระเบียบ มีคนแปลคำว่า Geometry ในเชิงภาษาว่า " การวัดแผ่นดิน " และคำว่า Fractal มาจากภาษาละติน Fractus หรือ Fractrum ซึ่งแปลว่าเป็นภาษาอังกฤษว่า Fragmented หรือ Irregular เมื่อแปลเป็นไทย คือ แตกเป็นชิ้นเป็นเศษ เรขาคณิตเศษส่วน สนใจรูปทรงที่เป็นจริงของธรรมชาติ ซึ่งขรุขระ ไม่เรียบร้อย เช่น ใบไม้ ก้อนเมฆ สายฟ้าแลบ ชายฝั่งทะเล ภูเขาและโตรกผา ปอดของมนุษย์ เป็นต้น มิติของเรขาคณิตเศษส่วนจึงมีลักษณะคล้ายทศนิยมไม่รู้จบ เช่น มิติเศษส่วนของสมอง คือ 2,79 และของก้อนเมฆคือ 2,35 มิติเศษส่วนหรือมิติแฟร็กทัล จะเป็นสองมิติของพื้นที่ หรือเป็นสามมิติของพื้นที่ หรือเป็นสามมิติแบบลูกเต๋าหรือลูกกลมก็ได้ คุณสมบัติสำคัญของแฟร็กทัลหรือเศษส่วนไม่รู้จบ คือ "ความคล้ายตัวเอง" (Self-Similarity) นั่นคือ โครงสร้างของเศษส่วนที่ขยายตัวออกไปอย่างไม่สิ้นสุด ไม่ว่าในมิติทางเวลา (Time) หรือมิติทางเทศะ (Space) ล้วนแล้วแต่มีรูปร่างคล้ายคลึงซ้ำกับแบบแผน (Pattern) อย่างไรก็ตาม เมื่อมองเห็นก็รู้ได้ทันทีว่านี่คือต้นมะม่วง นี่คือต้นมังคุด นี่คือใบโพธิ์ เป็นต้น และนี่เป็นสิ่งที่ทฤษฎีไร้ระเบียบ พยายามตอบคำถามว่าทำไมเกล็ดหิมะแต่ละเกล็ดที่โปรยปรายลงมาจึงมีความแตกต่างกันไปเล็กน้อย ก็เนื่องจากว่าผลรวมของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเกล็ดแต่ละเกล็ดต่างกัน การค้นคว้าในมิติแฟร็กทัล จึงมิใช่การนิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเอง แต่เป็นการนำเสนอให้เห็นคุณสมบัติอันแท้จริงของสภาพแวดล้อมในระดับต่างๆ ตั้งแต่ขนาดเล็ก (Micro) จนถึงขนาดใหญ่ (Macro) ซึ่งปรากฏอยู่ในโลก การพัฒนาที่ดำเนินไปในลักษณะเศษส่วนและไร้ระเบียบนั้นน่าสนใจ มิใช่เพียงว่าได้แสดงให้เห็นโครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอในระบบพลวัตที่ไม่เป็นเส้นตรงเท่านั้น ความสำคัญอีกข้อหนึ่งซึ่งจะมีประโยชน์ในการสังเกตดูแบบแผนของสรรพสิ่งในโลก คือ โครงสร้างไร้ระเบียบ (Chaotic Structure) เป็นโครงสร้างพื้นฐานของกระบวนการสร้างสรรค์ในธรรมชาติ ธรรมชาติมีพลังสร้างสรรค์ในการจัดตั้งรูปแบบอย่างมหัศจรรย์ เมื่อได้สร้างแม่แบบเบื้องต้นขึ้นแล้วรูปแบบอื่นจะลอกเลียนตามมานักวิจัยไร้ระเบียบเรียกเศษส่วนคล้ายธรรมชาตินี้ว่า "ภาษาของธรรมชาติ" โดยเชื่อว่าวิธีการและรูปแบบที่เรขาคณิตเศษส่วนและทฤษฎีไร้ระเบียบได้ถ่ายทอดความเป็นจริงของโลกออกมานั้นพอจะกล่าวได้ว่าทฤษฎีไร้ระเบียบเป็นเสาหลักของโลกทัศน์ใหม่ได้ และความสำคัญของเศษส่วน (Fractal) ในการวิจัยคือ การช่วยทำให้เข้าใจ "จุดดึงดูดไร้ระเบียบ" (Chaotic Attractors) ได้ดีขึ้นเพราะมันมีโครงสร้างเศษส่วน (Fractal Structure) อยู่ในนั้น

มิติแฟร็กทัล เป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยวิธีของการหาเศษส่วนเรขาคณิต ซึ่งลักษณะเฉพาะของ Curve ประเภทนี้ก็คือการทำงานที่เป็นการเวียนเกิด (Recursive) ซึ่งจะยังผลให้

แนวเส้นที่ปรากฏมีลักษณะที่ไม่สิ้นสุด ซึ่งเรียกว่า "อนันต์" ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพธรรมชาติได้เป็นอย่างดี เนื่องจากให้ความละเอียดของภาพที่ปรากฏได้

เป็นอย่างดีและมีคล้ายคลึงกับธรรมชาติมาก ดังเช่น อาจจะได้ ภาพภูเขา ภาพต้นไม้ ทะเลสาบ ซึ่งกราฟฟิคประเภทอื่นไม่สามารถทำได้ หรือแม้แต่ทำได้ก็ให้ความละเอียดได้ไม่ดีเท่า แฟร็กทัลชนิดหนึ่งที่มีชื่อเสียงมากคือ Mandelbrot ซึ่งเกิดการสร้างตามสูตรคณิตศาสตร์ในแนวจำนวนเชิงซ้อน 2 มิติ ซึ่ง Mandelbrot ที่สร้างขึ้นมานี้ยังผลให้เกิดการพัฒนาเป็นรูปแบบอื่นๆ อีกมากมาย เช่น Julia Sets, Dragon Curve, Phoenix Curve เป็นต้น

มิติแฟร็กทับคำนวณจากจำนวนหน่วยของด้านในมิตินั้นๆ คูณกับขนาดของสเกลที่ต้องการใช้วัดยกกำลังด้วยขนาดของมิติ ดังสมการที่ 2.18 และสามารถคำนวณหามิติของ Self-Similarity Fractals ด้วยสมการที่ 2.19

$$ns^{D} = 1 \tag{2. 18}$$

$$D = \frac{Log(n)}{Log(1/s)} \tag{2. 19}$$

เมื่อ n คือจำนวนชิ้นของวัตถุ ที่นำมาสร้างเป็นรูปแบบ

s คือจำนวนสเกล ที่นำมาใช้แบ่งขนาดของวัตถุดิบ

D คือมิติของวัตถุที่สร้างเป็นรูปแบบใหม่

โดยค่า D ที่ได้เป็นตัวแทนค่ามิติแฟร็กทัลในภาพซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกค่าในภาพหนึ่งภาพ ไม่ว่าค่าของ n และ s จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จึงใช้เป็นค่าตัวแทนภาพได้ดี

2.7.2 วิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting, BC)

วิธีนี้เป็นวิธีหามิติแฟร็กทัล จากภาพธรรมชาติ ใช้สมการมิติแฟร็กทัลดังสมการที่ 2.19 โดยที่ตัวแปร n ได้มาจากกระบวนการดังต่อไปนี้

ในหนึ่งภาพจะมีสามมิติ ประกอบด้วย (x,y,z) มิติ (x,y) แทนตำแหน่งของจุดภาพในแนวนอน (x) และแนวแกนตั้ง (y) และมิติ (z) แทนค่าความเข้มของแสงสีเทา ในที่นี้กำหนดให้ตำแหน่ง (x,y) แทนด้วย sxs ในแต่ละจุดแทนด้วย sxsxs ให้ค่าความเข้มของแสงสีเทาที่น้อยที่สุดแทนด้วย k และค่าความเข้มของแสงสีเทาที่มากที่สุดแทนด้วย 1 คำนวณเข้าสูตรเพื่อให้ได้ค่า n_r ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มจุดภาพนั้น ๆ ดังสมการที่ 2.20

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i,j) \tag{2. 20}$$

โดยที่

$$n_r(i,j) = l - k + 1 \tag{2. 21}$$

และผลรวมของค่า $n_r(i,j)$ จะรวมไว้ใน N_r ซึ่งจะมีคำนวณตามจำนวนความต่างของค่า b

$$b = \frac{s}{R} \tag{2. 22}$$

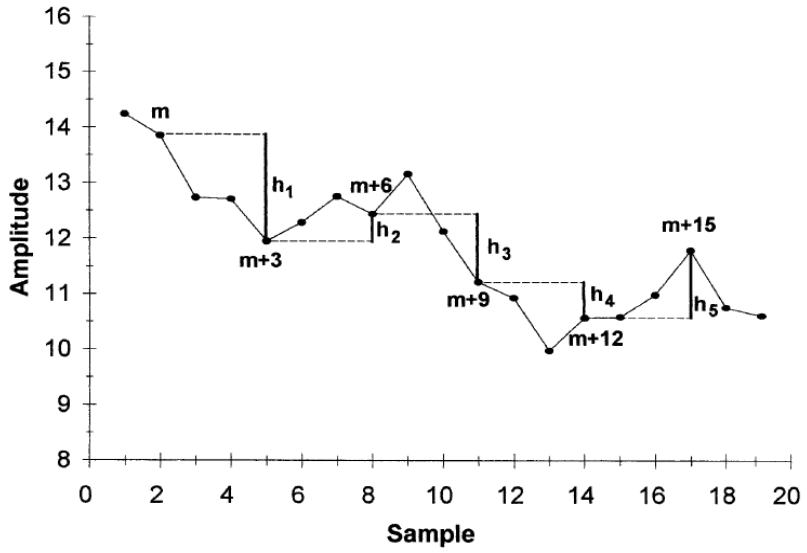
เมื่อ $1 < s \le \frac{R}{2}$

b คือสัดส่วนของพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ลดลง

การคำนวณต้องกระทำในพื้นที่ข้อมูลที่เป็นสีเหลี่ยมจัตุรัสเท่านั้น แล้วกำหนดให้ภาพมีขนาดจำนวน RxR จุดภาพลดจำนวนจุดภาพให้เหลือขนาน sxs จุดภาพ โดยที่ s ต้องเป็นจำนวนเต็มที่ไม่มีทศนิยม มีขนาดมากกว่าหนึ่งและมีขนาดไม่เกินครึ่งหนึ่งของขนาด R ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.22 ในการประมาณค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน (D_f) จะสามารถคำนวณได้จากความชัน (Slope) ของกราฟ โดยการแสดงค่าระหว่าง N_r และ 1/b บนกราฟของฟังก์ชันลอการิทึม (Log-Log Plot)

2.7.3 วิธีการแบบฮิกูจิ (Higuchi Method, HM)

ศาสตราจารย์ ฮิกูจิ [16] ได้นำเสนอวิธีการในการวัดค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน (D_f) ของเวลาที่ต่ออนุกรมกัน ในรูปของโดเมนเวลา (Time Domain) อ้างอิงจากการวัดค่าความยาวของเส้นโค้ง (Curve Length, L(k)) โดยไม่ได้ทำการสร้างตัวดึงวิถีแบบไร้ระเบียบ (Strange Attractor) ดังแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2. 28 การวัดค่าความยาวของเส้นโค้งในวิธีการวิเคราะห์แบบฮิกูจิ

วิธีการแบบฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) นี้จะใช้ในการประมาณค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน ในช่วงเวลาสั้น HM เป็นวิธีการทางอัลกอริธึม (Algorithm) ที่คิดการคำนวณทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของ อนุกรมเวลาแบบจำกัด (Finite Time Series) โดยสร้างอนุกรม X จากชุดอนุกรมสัญญาณต้นฉบับ X = {X(1), X(2), ..., X(N)} โดยค่าอนุกรมเวลา X_m^k สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$X_m^k = \left[X(m), X(m+k), X(m+2k), \ldots, X\left(m + \left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor \bullet k \right) \right] \quad \text{ที่ } m = 1,2,\ldots,k \qquad (2.23)$$

เมื่อ m และ k คือ เลขจำนวนเต็มที่แสดงถึงค่าเวลาเริ่มต้น และค่าเวลาสุดท้ายตามลำดับ $L_m(k)$ คือความยาว ซึ่งในแต่ละช่วงของความยาวของเส้นโค้งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L_m(k) = \frac{1}{k} \left[\left(\sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor} \left| X(m+i \bullet k) - X(m+(i-1) \bullet k) \right| \right) \bullet \frac{N-1}{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor \bullet k} \right] \qquad (2.24)$$

เมื่อ N คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมด และ $\frac{N-1}{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor \bullet k}$ คือสัมประสิทธิ์ของการปรับขนาด (Normalization Factor)

ในการประมาณค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน ค่า D_f จะสามารถคำนวณได้จากความชัน (Slope) ของกราฟ โดยการแสดงค่าระหว่าง L(k) และ k บนกราฟของฟังก์ชันลอการิทึม (Log-Log Plot)

2.7.4 วิธีการแบบเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV)

Generalized Scaling Properties of Variance (GSPV) ถูกนำเสนอโดยห้องวิจัยนาคากาว่า (Nakagawa) [17] เพื่อที่จะทำการวัดค่าแฟร็กทัลจากชุดอนุกรมเวลา โดยค่า GSPV นี้จะใช้สมมุติฐานของวิธีการเฮิร์สต์ (Hurst Exponent, M) ซึ่งการคำนวณที่ได้จะได้มาจากการหาค่าคุณสมบัติของการเคลื่อนที่แบบบราวน์ หลักการของวิธีการนี้จะใช้การคำนวณความแปรปรวนของการเพิ่มขึ้นของคลื่นในชุดข้อมูลของอนุกรมเวลาในช่วงการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณที่แตกต่างกัน สามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\sigma_\alpha(t) = \left\langle \left| f(t+\tau) - f(t) \right|^\alpha \right\rangle \sim |\tau|^{\alpha H_\alpha} \qquad (2.25)$$

เมื่อ α คือกำลังของการเคลื่อนที่ของสัญญาณอนุกรมเวลา โดยเป็นฟังก์ชันกับเวลา $f(t)$

τ คือช่วงของเวลาที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นสมการ Hurst Exponent สามารถประมาณค่าได้ดังสมการต่อไปนี้

$$H_\alpha = \frac{1}{\alpha}\frac{\Delta \log\left\langle \left| f(t+\tau) - f(t) \right|^\alpha \right\rangle}{\Delta \log(|\tau|)} \tag{2. 26}$$

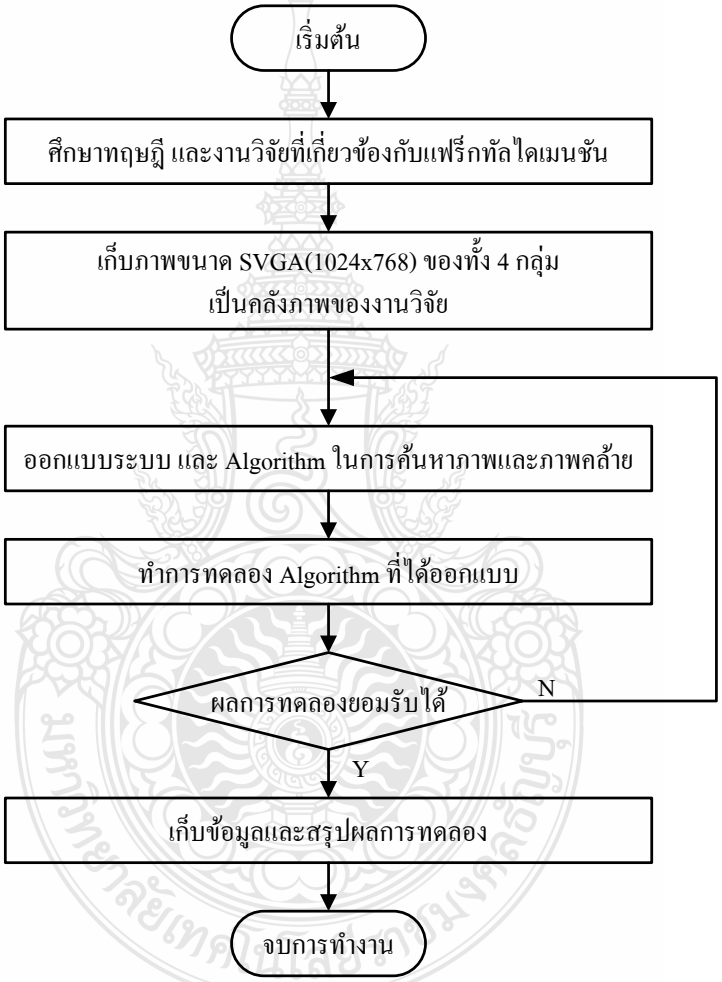
โดยค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน D_α จะมีความสัมพันธ์กับวิธีการของ Hurst Exponent ดังนั้นค่าแฟร็กทัลสามารถหาได้จากสมการ

$$D_\alpha = 1/H_\alpha \tag{2. 27}$$

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในการประยุกต์ใช้แฟร็กทัลไดเมนชัน เพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR มีการศึกษาและแบ่งเป็นขั้นตอนโดยแสดงได้ดังนี้

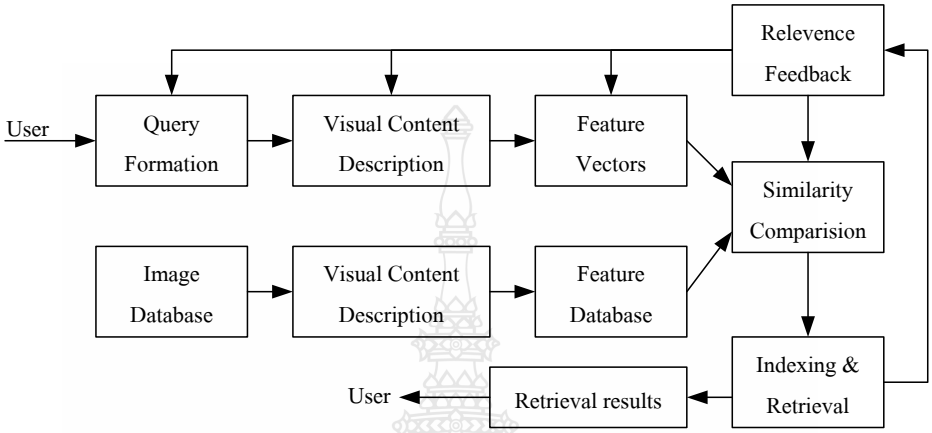


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

ระบบค้นคืนภาพด้วยลักษณะเฉพาะของภาพ เป็นระบบค้นคืนภาพที่อาศัยลักษณะเฉพาะของภาพ เช่น รูปร่าง ขนาด สี หรือ พื้นผิวของวัตถุภายในภาพ ในการจัดเก็บและค้นคืนภาพโดยระบบจะทำการแยกลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพในฐานข้อมูลออกมา ซึ่งจะอยู่ในรูปของค่าตัวเลขที่

เรียกว่า เวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Feature Vectors) เพื่อใช้เป็นดัชนีภาพสำหรับการจัดเก็บภาพในฐานข้อมูล เมื่อต้องการค้นคืนภาพ ผู้ใช้จะทำการเลือกภาพสอบถาม (Query Image) จากนั้นระบบจะทำการดึงเอาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถาม มาทำการเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูล เพื่อค้นหาภาพที่มีลักษณะเฉพาะคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา



รูปที่ 3.2 ไดอะแกรมสำหรับระบบ CBIR

ระบบค้นคืนภาพดิจิตอลส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลัก ๆ ได้แก่

1. การแยกลักษณะเฉพาะของภาพ (Image Feature Extraction)

ลักษณะเฉพาะของภาพเป็นคุณสมบัติที่สามารถหาได้ด้วยขั้นตอนวิธีทางการประมวลผลภาพ (Image Processing Algorithm)

ลักษณะเฉพาะพื้นฐานของภาพ ประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่ สี รูปร่าง และ พื้นผิว โดยมีรายละเอียดดังนี้

- สี (Color) เป็นลักษณะเฉพาะที่มีบทบาทสำคัญในระบบค้นคืนภาพ เนื่องจากสีเป็นสิ่งที่โดดเด่นสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนจากการมองภาพ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการแยกแยะสิ่งต่างๆ ภายในภาพออกจากกันได้ดี

- รูปร่าง (Shape) เป็นลักษณะเฉพาะของภาพที่ใช้อธิบายถึงรูปร่างและลักษณะรวมถึงขนาดของวัตถุภายในภาพ ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะระหว่างวัตถุที่มีรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้

- พื้นผิว (Texture) เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้อธิบายความหยาบ ความละเอียด หรือความซับซ้อนของวัตถุภายในภาพ ซึ่งภาพแต่ละภาพอาจจะประกอบไปด้วยวัตถุที่มีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์พื้นผิวจะช่วยให้สามารถแยกแยะความแตกต่างของวัตถุได้ดียิ่งขึ้น

2. การสร้างดัชนีภาพ (Image Indexing)

การนำเอาลักษณะเฉพาะของภาพ เช่น ฮิสโตแกรมของสีมาสร้างเป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพในฐานข้อมูลและจัดเก็บไว้ ลักษณะเฉพาะของภาพแต่ละภาพที่แยกออกมาจะอยู่

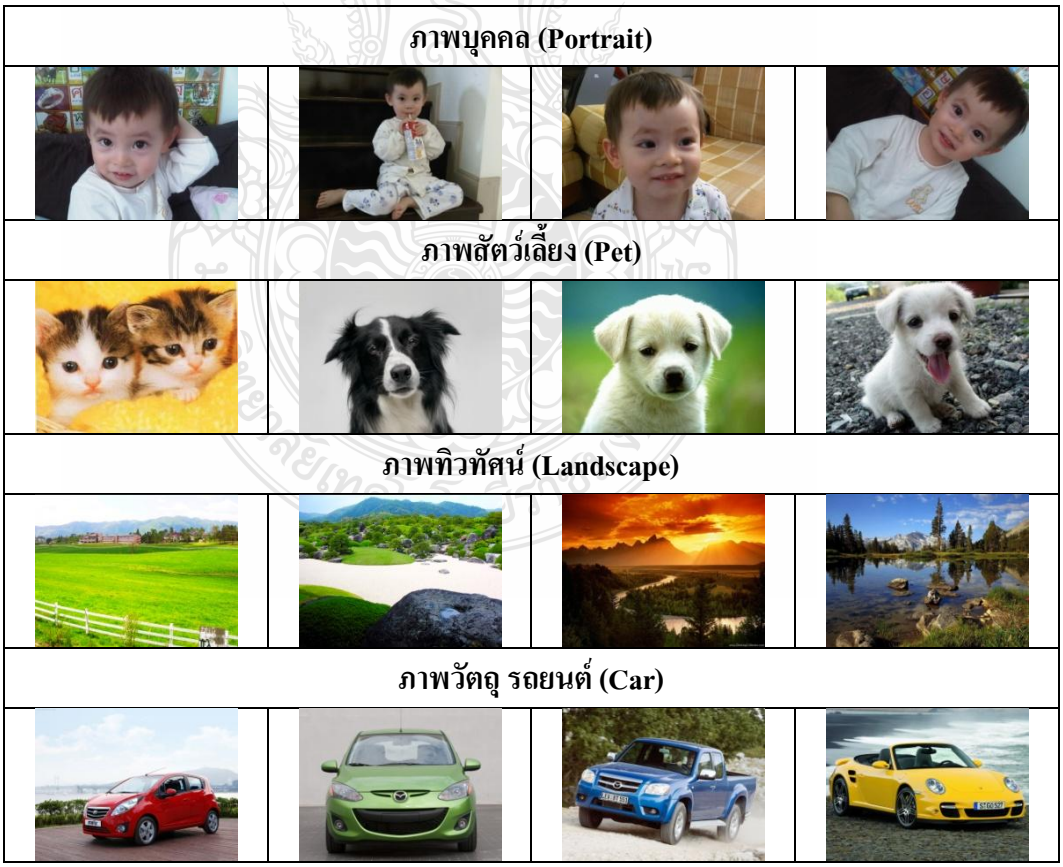
ในรูปของค่าที่เป็นตัวเลขจำนวน n ค่า (ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของแต่ละวิธี) หรือเวกเตอร์ขนาด n มิติ ซึ่งก็คือเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพนั้นๆ โดยเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเหล่านี้จะนำมาใช้เป็นดัชนีภาพซึ่งแทนด้วยจุดในปริภูมิ n มิติ

3. การค้นคืนภาพ (Image Retrieval)

การเลือกภาพสอบถาม (Query Image) จากนั้นจึงทำการดึงเอาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของภาพสอบถามออกมา และนำไปเปรียบเทียบกับลักษณะเฉพาะของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูล เพื่อค้นคืนภาพที่ลักษณะคล้ายกับภาพสอบถามมากที่สุดออกมา โดยการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาพ 2 ภาพ

3.2 การเก็บข้อมูลภาพนิ่ง

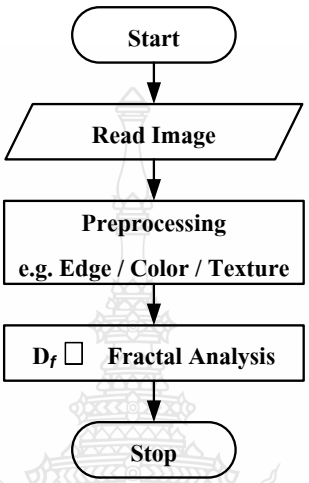
ในการเก็บภาพที่ใช้ในระบบงานได้ใช้กล้องถ่ายรูปปรับความละเอียดของภาพอยู่ที่ขนาด SVGA (1248x768 pixel) แล้วทำการถ่ายภาพนิ่งทั่วไปทั้งหมด 4 กลุ่มภาพ คือ ภาพบุคคล (Portrait) ภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพทิวทัศน์ (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) เป็นจำนวน 100 ภาพต่อ 1 กลุ่มภาพ จะทำให้ได้ภาพทั้งหมดในระบบที่ใช้ในการทดลองรวม 400 ภาพ โดยภาพที่ได้จะนำมาใช้เป็นภาพตัวอย่างสำหรับทำการวิเคราะห์ภาพของระบบงาน ดังตัวอย่างภาพดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างภาพทั้ง 4 กลุ่มที่ใช้ในงานวิจัย

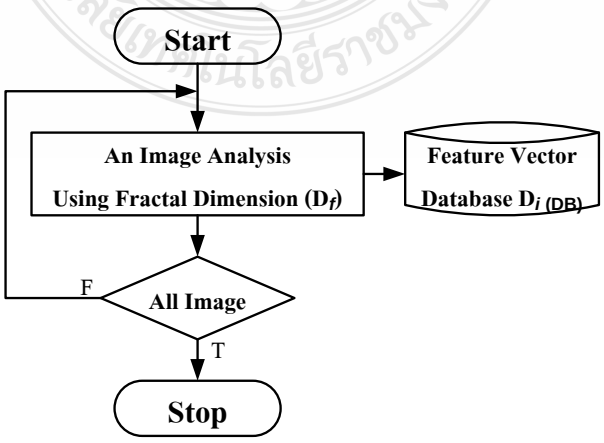
3.3 การออกแบบ Algorithm ที่ใช้ในการหาคุณสมบัติภาพ

ในการออกแบบ Algorithm รวมถึงขั้นตอนที่ใช้ในการประมวลผลภาพและขั้นตอนในการคำนวณหาคุณสมบัตินั้น เริ่มจากการนำภาพที่ต้องหาค่าความซับซ้อน เข้ากระบวนการเปลี่ยนภาพเป็นสีเทา และทำการหาขอบภาพด้วยวิธีการ Canny และเข้ากระบวนการหาคุณสมบัติ (Feature Analysis) ของภาพ ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 หลักการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของแต่ละภาพ

การหาคุณสมบัติของภาพ (Image Feature Extraction) กระทำด้วยกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Analysis) เพื่อหาค่าซับซ้อน (Complexity) ด้วยกระบวนการของแฟร็กทัล (Fractal Analysis) เพื่อสร้างฐานข้อมูลเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Feature Vector) ของภาพ โดยการนำภาพในฐานข้อมูลภาพมาผ่านกระบวนการคำนวณหาความซับซ้อน ด้วยกระบวนการ Fractal Analysis เพื่อหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน D_f ของแต่ละภาพเก็บไว้เป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการค้นคืนภาพต่อไป ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 หลักการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของคลังภาพ

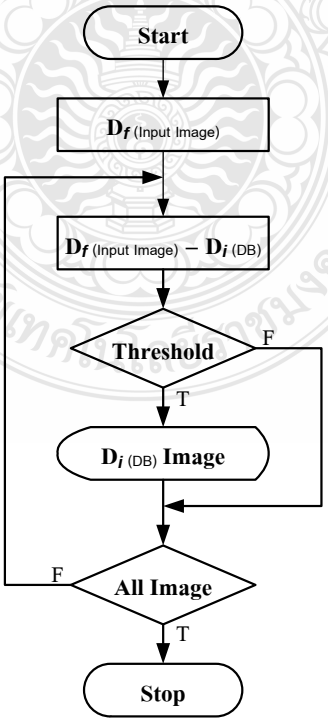
ในกระบวนการของแฟร็กทัลในงานวิจัยนี้เลือกใช้กระบวนการ 3 แบบ คือ

- วิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting, BC) ใช้การคิดค่าความซับซ้อน D_f ด้วยสมการ 2.20 และ 2.22
- วิธีการแบบฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) ใช้การคิดค่าความซับซ้อน D_f ด้วยสมการ 2.24 และค่าเวลาสุดท้าย (k)
- วิธีการแบบเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) ใช้การคิดค่าความซับซ้อน D_f ด้วยสมการ 2.27

3.4 การออกแบบ Algorithm ที่ใช้ในการค้นหาภาพและภาพคล้ายจากคลังภาพ

ในการออกแบบ Algorithm การค้นหาภาพจากคลังภาพนั้น จะทำการรับข้อมูลภาพนำเข้าที่ต้องการค้นหา เพื่อทำการหาค่าแฟร็กทัลของภาพนั้น คือค่า $D_{f\,(\text{Input Image})}$ จากนั้นก็นำค่าแฟร็กทัลที่ได้ตรวจสอบกับค่าแฟร็กทัลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของคลังภาพ คือค่า $D_{i\,(\text{DB})}$ ในการตรวจสอบนั้นจะนำค่าแฟร็กทัลมาลบกัน ถ้าผลที่ได้จากการลบกันออกมาเป็นศูนย์ (0) ก็จะนำภาพ ($D_{i\,(\text{DB})}$ Image) นั้นแสดงให้ผู้ใช้งานระบบทราบผลที่ได้ ระบบจะทำการเปรียบเทียบค่าแฟร็กทัลทุกค่าของคลังภาพ หลักการทำงานแสดงดังรูป 3.6

สำหรับการหาภาพคล้ายกันในคลังภาพนั้น จะมีการตั้งค่า Threshold ให้ใกล้เคียงกับศูนย์ ก็จะทำให้ได้ผลการทำงานได้ภาพออกมามากกว่า 1 ภาพที่ทำการสืบค้น หลักการทำงานจะใกล้เคียงกับการสืบค้นภาพนั่นเอง



รูปที่ 3.6 หลักการในการค้นหาภาพจากคลังภาพ

3.5 ผลที่ได้จากการหาค่าด้วยแฟร็กทัลไดเมนชัน

ในการทำลองจะมีการหาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งในแต่ละวิธีการก็จะได้ผลของค่าความซับซ้อนของภาพออกมาแตกต่างกัน แม้จะค่ามาจากภาพต้นแบบเดียวกัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1 ซึ่ง BC คือค่าจากวิธีบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง HM ค่าจากวิธีฮิกูจิ ที่ค่า m = 30 และ SPV ค่าจากวิธีเอสพีวี

ตารางที่ 3.1 ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่คำนวณได้ของข้อมูลภาพ

Name	BC	HM	SPV	Name	BC	HM	SPV
Car-001	1.7806	1.4435	1.5980	LandScape-001	1.8854	1.7394	1.8023
Car-002	1.8273	1.5765	1.6894	LandScape-002	1.9421	1.8438	1.8610
Car-003	1.8436	1.5293	1.6498	LandScape-003	1.8913	1.7603	1.8069
Car-004	1.9056	1.5793	1.6560	LandScape-004	1.9351	1.8715	1.9054
Car-005	1.8785	1.5646	1.6623	LandScape-005	1.8099	1.7043	1.7845
Car-006	1.7446	1.4107	1.5759	LandScape-006	1.8337	1.6795	1.7513
Car-007	1.8268	1.5116	1.6335	LandScape-007	1.9414	1.8194	1.8676
Car-008	1.7213	1.4718	1.6481	LandScape-008	1.9102	1.8034	1.8581
Car-009	1.7261	1.4454	1.5916	LandScape-009	1.9192	1.8274	1.8827
Car-010	1.7354	1.4095	1.6101	LandScape-010	1.8688	1.7945	1.8624
Car-011	1.8158	1.4793	1.6185	LandScape-011	1.7525	1.5266	1.6843
Car-012	1.9096	1.5964	1.6704	LandScape-012	1.8284	1.5867	1.7154
Car-013	1.8475	1.5451	1.6505	LandScape-013	1.7999	1.5128	1.6756
Car-014	1.7539	1.4765	1.6506	LandScape-014	1.9780	1.8928	1.9224
Car-015	1.7929	1.4290	1.6136	LandScape-015	1.8962	1.9019	1.9219
Car-016	1.7409	1.5114	1.6409	LandScape-016	1.9753	1.8427	1.8684
Car-017	1.8553	1.5951	1.6816	LandScape-017	1.8587	1.7989	1.8582
Car-018	1.8395	1.6017	1.6864	LandScape-018	1.8857	1.8120	1.8388
Car-019	1.8113	1.3944	1.5998	LandScape-019	1.8857	1.8267	1.8681
Car-020	1.8735	1.4764	1.5957	LandScape-020	1.9042	1.8922	1.9096
Car-021	1.7671	1.6410	1.7457	LandScape-021	1.8332	1.6463	1.7340
Car-022	1.8100	1.4751	1.6438	LandScape-022	1.7855	1.7695	1.8066
Car-023	1.5677	1.4292	1.7008	LandScape-023	1.8660	1.8373	1.8851

ตารางที่ 3.1 ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่คำนวณได้ของข้อมูลภาพ (ต่อ)

Name	BC	HM	SPV	Name	BC	HM	SPV
Car-024	1.7757	1.6103	1.7148	LandScape-024	1.8527	1.8814	1.9203
Car-025	1.8247	1.4514	1.6902	LandScape-025	1.7688	1.5122	1.6482
Car-026	1.7658	1.5493	1.6991	LandScape-026	1.7639	1.5761	1.6695
Car-027	1.8761	1.7445	1.8225	LandScape-027	1.7976	1.6207	1.7243
Car-028	1.7917	1.5686	1.7060	LandScape-028	1.7880	1.5144	1.6339
Car-029	1.8952	1.6802	1.7820	LandScape-029	1.7739	1.5512	1.9054
Car-030	1.7363	1.4219	1.6477	LandScape-030	1.8448	1.6261	1.7845
Car-031	1.7883	1.5463	1.6879	LandScape-031	1.8656	1.6201	1.7513
Car-032	1.8043	1.5844	1.7045	LandScape-032	1.8461	1.6231	1.8676
Car-033	1.7647	1.4422	1.6352	LandScape-033	1.8399	1.6302	1.6853
Car-034	1.8282	1.6120	1.7001	LandScape-034	1.8564	1.6433	1.7238
Car-035	1.8142	1.5099	1.6548	LandScape-035	1.8735	1.6193	1.7229
Car-036	1.8451	1.7337	1.8062	LandScape-036	1.7333	1.5830	1.7319
Car-037	1.7229	1.5619	1.7182	LandScape-037	1.7697	1.6232	1.7328
Car-038	1.8438	1.5330	1.6730	LandScape-038	1.7656	1.5116	1.7412
Car-039	1.7812	1.5710	1.7452	LandScape-039	1.8549	1.6275	1.7255
Car-040	1.8701	1.6410	1.7209	LandScape-040	1.7674	1.5548	1.6822
Car-041	1.8369	1.6064	1.7110	LandScape-041	1.7867	1.5393	1.7182
Car-042	1.8009	1.6589	1.7575	LandScape-042	1.8039	1.5813	1.6666
Car-043	1.8197	1.4377	1.5272	LandScape-043	1.8053	1.7315	1.7231
Car-044	1.7968	1.5544	1.6600	LandScape-044	1.8384	1.8203	1.6849
Car-045	1.6516	1.4181	1.5934	LandScape-045	1.8193	1.6858	1.6545
Car-046	1.7126	1.4997	1.6431	LandScape-046	1.8404	1.6925	1.6892
Car-047	1.6578	1.4161	1.6284	LandScape-047	1.7774	1.7066	1.7981
Car-048	1.6636	1.4178	1.6335	LandScape-048	1.8548	1.6919	1.8741
Car-049	1.7755	1.5419	1.6546	LandScape-049	1.8723	1.6843	1.7566
Car-050	1.9236	1.4456	1.5645	LandScape-050	1.8572	1.6191	1.7449

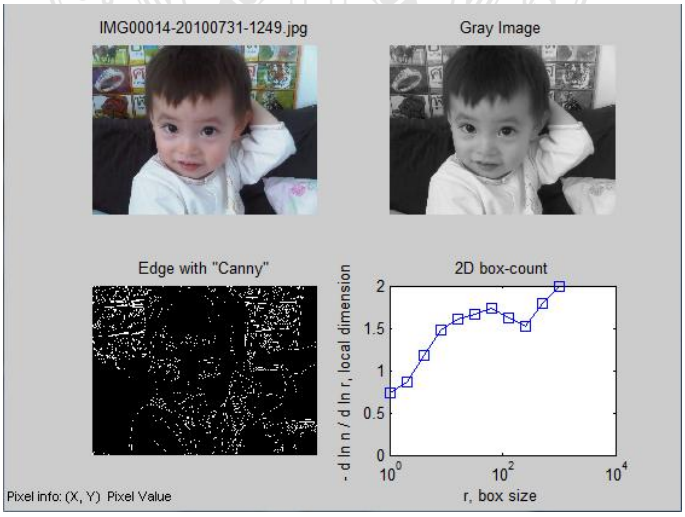
บทที่ 4

ผลการวิจัย

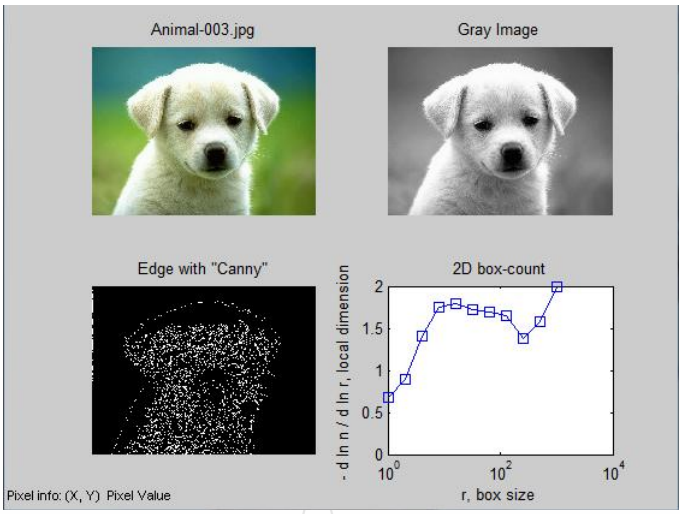
งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อทดสอบวิธีการของแฟร็กทัลไดเมนชันที่หาค่าความซับซ้อนของภาพ สามารถที่นำค่าความซับซ้อนของภาพนั้น มาใช้เป็นคุณลักษณะเฉพาะของภาพสำหรับใช้ในการค้นหาภาพจากคลังข้อมูลภาพ หรือเรียกว่า CBIR ได้ โดยทำการทดสอบด้วยหลักการแฟร็กทัลไดเมนชันที่แตกต่างกันทั้ง 3 แบบ คือ บ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting, BC) ฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) และเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) จากข้อมูลภาพที่มีแตกต่างกันเป็น 4 กลุ่มภาพ ขนาด SVGA (1024x768 pixel) ดังนี้ ภาพบุคคล (Portrait) ภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพวิวทิวทัศน์ (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) การทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้เพื่อการแก้ปัญหาการกำหนดลักษณะเฉพาะของภาพจากคลังภาพ ให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวจากภาพได้โดยตรง ทำให้สามารถสร้างระบบอัตโนมัติสำหรับสร้างฐานข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะได้ โดยไม่ต้องอาศัยการค้นหาจากฐานข้อมูลชื่อของภาพ เพราะจากการใช้ชื่อของภาพในการค้นหาอาจจะได้ข้อมูลที่ไม่ตรงกับภาพนั้น

4.1 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

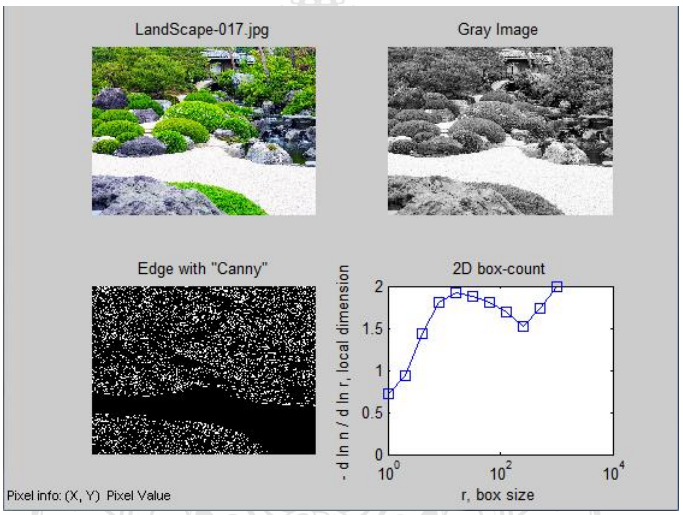
ผลจากการทดลองด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง จะทำการนำภาพต้นฉบับเปลี่ยนเป็นภาพในโหมดสีเทา และนำไปหาขอบภาพก่อนจะเข้าหลักการคำนวณหาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง



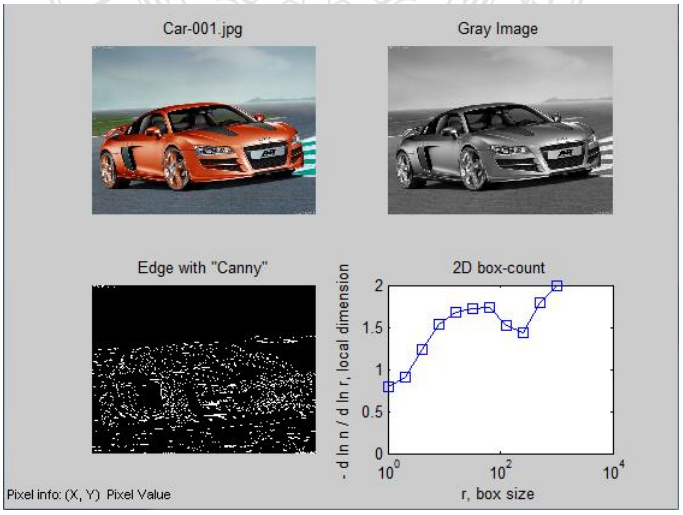
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพบุคคล (Portrait) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ (Landscape) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพวัตถุ รถยนต์ (Car) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

ผลจากการทดลองด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง จะได้ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพบางส่วน ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

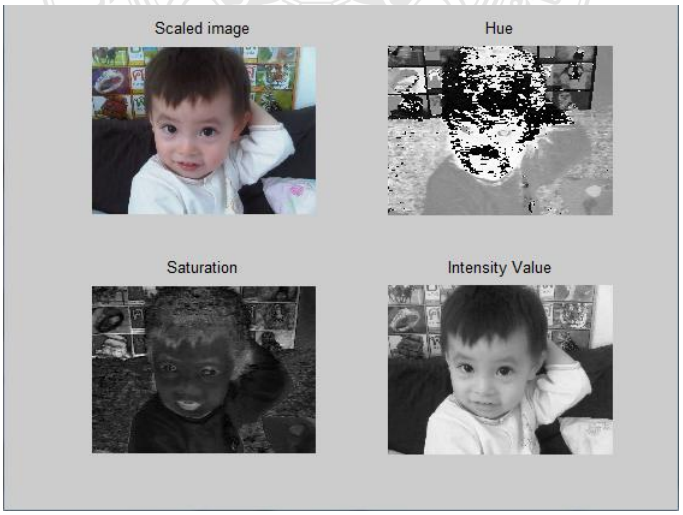
NAME	BC, D_f	NAME	BC, D_f	NAME	BC, D_f
Car-001	1.7806	Baby-001	1.8010	LandScape-001	1.8854
Car-002	1.8273	Baby-002	1.7517	LandScape-002	1.9421
Car-003	1.8436	Baby-003	1.7835	LandScape-003	1.8913
Car-004	1.9056	Baby-004	1.7588	LandScape-004	1.9351
Car-005	1.8785	Baby-005	1.8001	LandScape-005	1.8099
Car-006	1.7446	Baby-006	1.7598	LandScape-006	1.8337
Car-007	1.8268	Baby-007	1.7861	LandScape-007	1.9414
Car-008	1.7213	Baby-008	1.7609	LandScape-008	1.9102
Car-009	1.7261	Baby-009	1.7290	LandScape-009	1.9192
Car-010	1.7354	Baby-010	1.8068	LandScape-010	1.8688
Car-011	1.8158	Baby-011	1.7816	LandScape-011	1.7525
Car-012	1.9096	Baby-012	1.7457	LandScape-012	1.8284
Car-013	1.8475	Baby-013	1.7746	LandScape-013	1.7999
Car-014	1.7539	Baby-014	1.8093	LandScape-014	1.9780
Car-015	1.7929	Baby-015	1.7795	LandScape-015	1.8962
Car-016	1.7409	Baby-016	1.8093	LandScape-016	1.9753
Car-017	1.8553	Baby-017	1.8083	LandScape-017	1.8587
Car-018	1.8395	Baby-018	1.8180	LandScape-018	1.8857
Car-019	1.8113	Baby-019	1.8169	LandScape-019	1.8857
Car-020	1.8735	Baby-020	1.8310	LandScape-020	1.9042
Car-021	1.7671	Baby-021	1.8789	LandScape-021	1.8332
Car-022	1.8100	Baby-022	1.7500	LandScape-022	1.7855
Car-023	1.5677	Baby-023	1.7266	LandScape-023	1.8660
Car-024	1.7757	Baby-024	1.7947	LandScape-024	1.8527
Car-025	1.8247	Baby-025	1.8102	LandScape-025	1.7688
Car-026	1.7658	Baby-026	1.9036	LandScape-026	1.7639

ตารางที่ 4.1 ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (ต่อ)

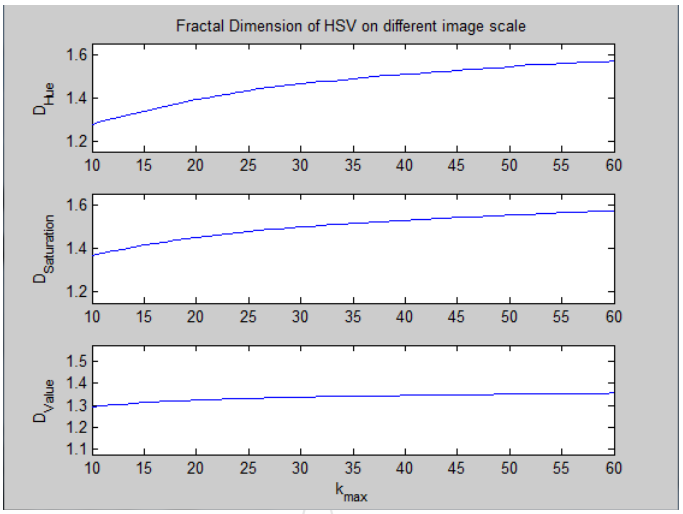
NAME	BC, D_f	NAME	BC, D_f	NAME	BC, D_f
Car-027	1.8761	Baby-027	1.8183	LandScape-027	1.7976
Car-028	1.7917	Baby-028	1.8471	LandScape-028	1.7880
Car-029	1.8952	Baby-029	1.8035	LandScape-029	1.7739
Car-030	1.7363	Baby-030	1.8522	LandScape-030	1.8448
Car-031	1.7883	Baby-031	1.7989	LandScape-031	1.8656
Car-032	1.8043	Baby-032	1.7975	LandScape-032	1.8461
Car-033	1.7647	Baby-033	1.8242	LandScape-033	1.8399
Car-034	1.8282	Baby-034	1.8915	LandScape-034	1.8564
Car-035	1.8142	Baby-035	1.8819	LandScape-035	1.8735
Car-036	1.8451	Baby-036	1.8532	LandScape-036	1.7333
Car-037	1.7229	Baby-037	1.9037	LandScape-037	1.7697
Car-038	1.8438	Baby-038	1.8637	LandScape-038	1.7656
Car-039	1.7812	Baby-039	1.8644	LandScape-039	1.8549
Car-040	1.8701	Baby-040	1.9162	LandScape-040	1.7674

4.2 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีฮิกูจิ

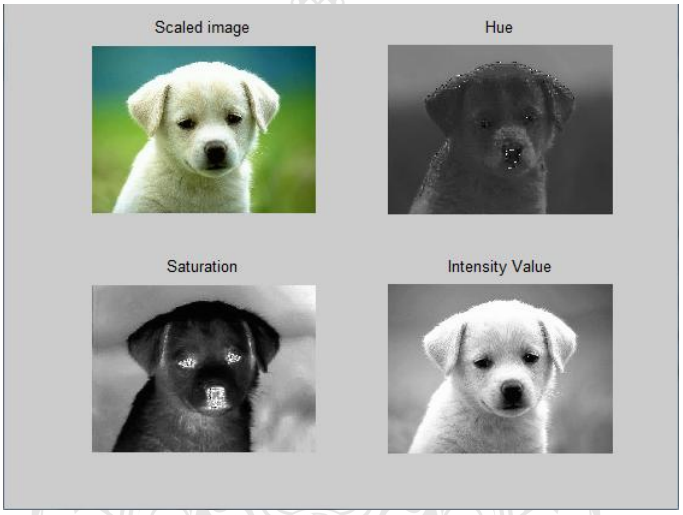
ผลจากการทดลองด้วยวิธีการฮิกูจิ จะทำการนำภาพผ่านกระบวนการ HSV เพื่อแยกข้อมูลภาพออกเป็น 3 ส่วน คือ H, S และ V ก่อนจะใช้ค่า V คำนวณหาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยวิธีการฮิกูจิ



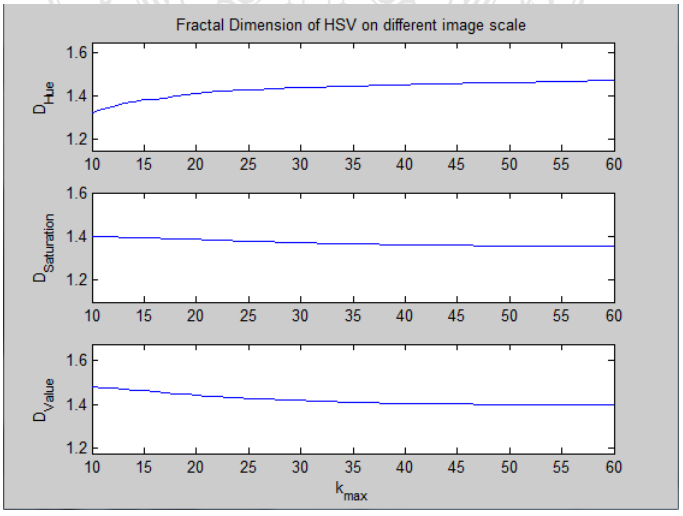
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างภาพบุคคล (Portrait) ที่ผ่านกระบวนการ HSV



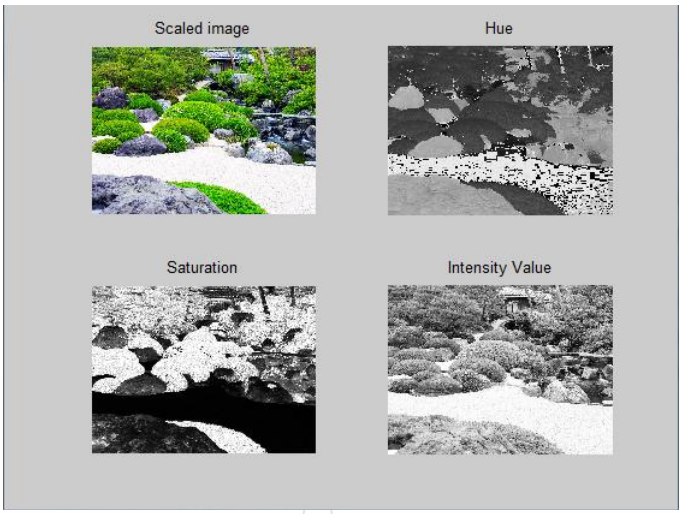
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพบุคคล (Portrait) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ



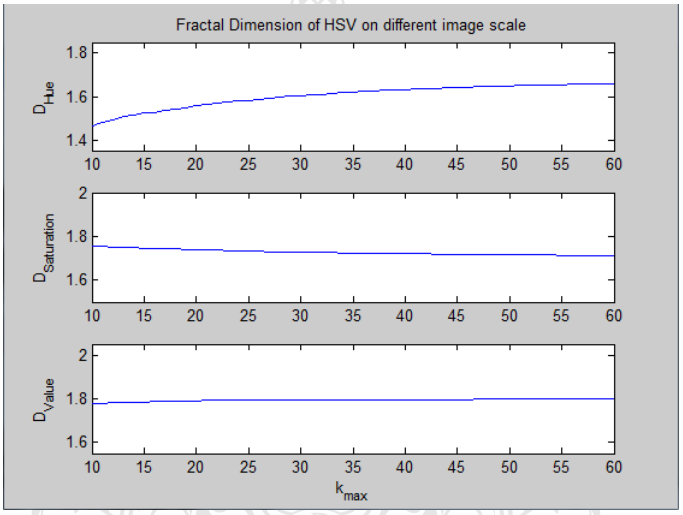
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ที่ผ่านกระบวนการ HSV



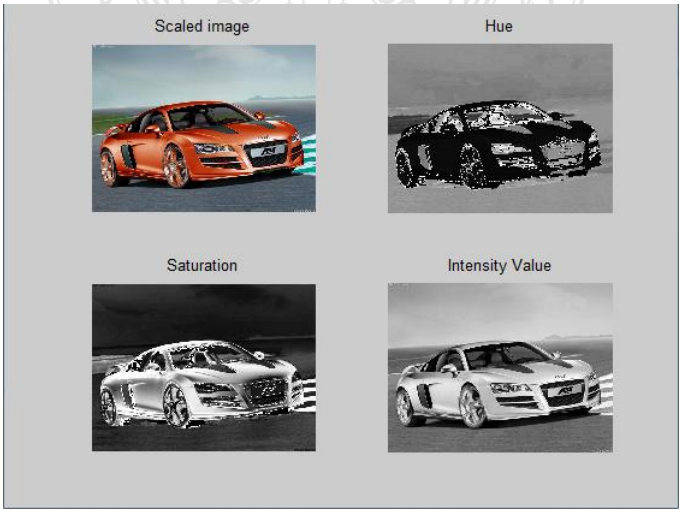
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ



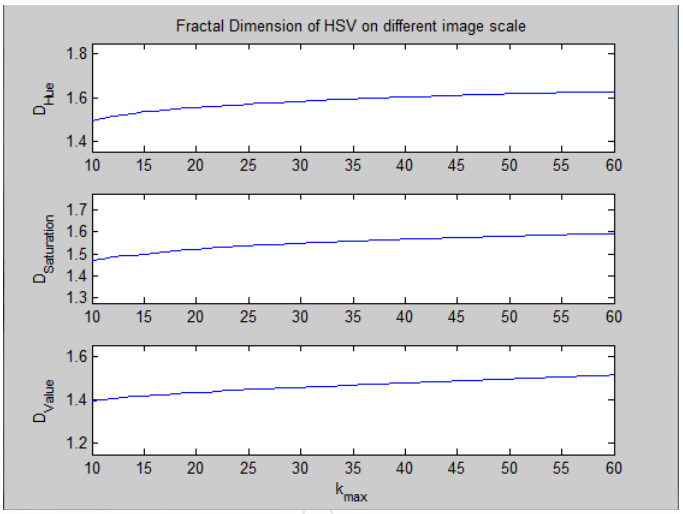
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ (Landscape) ที่ผ่านกระบวนการ HSV



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพทิวทัศน์ (Landscape) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างภาพวัตถุ รถยนต์ (Car) ที่ผ่านกระบวนการ HSV



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างภาพวัตถุ รถยนต์ (Car) ที่หาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยฮิกูจิ

ผลจากการทดลองด้วยวิธีการฮิกูจิ จะได้ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพบางส่วน ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการฮิกูจิ

NAME	HM (30)	NAME	HM (30)	NAME	HM (30)
Car-001	1.4435	Baby-001	1.3812	LandScape-001	1.7394
Car-002	1.5765	Baby-002	1.3238	LandScape-002	1.8438
Car-003	1.5293	Baby-003	1.4275	LandScape-003	1.7603
Car-004	1.5793	Baby-004	1.3129	LandScape-004	1.8715
Car-005	1.5646	Baby-005	1.4638	LandScape-005	1.7043
Car-006	1.4107	Baby-006	1.3810	LandScape-006	1.6795
Car-007	1.5116	Baby-007	1.4100	LandScape-007	1.8194
Car-008	1.4718	Baby-008	1.3083	LandScape-008	1.8034
Car-009	1.4454	Baby-009	1.3322	LandScape-009	1.8274
Car-010	1.4095	Baby-010	1.3940	LandScape-010	1.7945
Car-011	1.4793	Baby-011	1.4655	LandScape-011	1.5266
Car-012	1.5964	Baby-012	1.4831	LandScape-012	1.5867
Car-013	1.5451	Baby-013	1.4806	LandScape-013	1.5128
Car-014	1.4765	Baby-014	1.4736	LandScape-014	1.8928
Car-015	1.4290	Baby-015	1.4228	LandScape-015	1.9019

ตารางที่ 4.2 ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการฮิกูจิ (ต่อ)

NAME	HM (30)	NAME	HM (30)	NAME	HM (30)
Car-016	1.5114	Baby-016	1.4598	LandScape-016	1.8427
Car-017	1.5951	Baby-017	1.4911	LandScape-017	1.7989
Car-018	1.6017	Baby-018	1.5177	LandScape-018	1.8120
Car-019	1.3944	Baby-019	1.4558	LandScape-019	1.8267
Car-020	1.4764	Baby-020	1.4196	LandScape-020	1.8922
Car-021	1.6410	Baby-021	1.4811	LandScape-021	1.6463
Car-022	1.4751	Baby-022	1.4285	LandScape-022	1.7695
Car-023	1.4292	Baby-023	1.4431	LandScape-023	1.8373
Car-024	1.6103	Baby-024	1.4800	LandScape-024	1.8814
Car-025	1.4514	Baby-025	1.4784	LandScape-025	1.5122
Car-026	1.5493	Baby-026	1.5094	LandScape-026	1.5761
Car-027	1.7445	Baby-027	1.4210	LandScape-027	1.6207
Car-028	1.5686	Baby-028	1.4948	LandScape-028	1.5144
Car-029	1.6802	Baby-029	1.4521	LandScape-029	1.5512
Car-030	1.4219	Baby-030	1.5754	LandScape-030	1.6261
Car-031	1.5463	Baby-031	1.4538	LandScape-031	1.6201
Car-032	1.5844	Baby-032	1.4367	LandScape-032	1.6231
Car-033	1.4422	Baby-033	1.4497	LandScape-033	1.6302
Car-034	1.6120	Baby-034	1.7154	LandScape-034	1.6433
Car-035	1.5099	Baby-035	1.5359	LandScape-035	1.6193
Car-036	1.7337	Baby-036	1.3918	LandScape-036	1.5830
Car-037	1.5619	Baby-037	1.5445	LandScape-037	1.6232
Car-038	1.5330	Baby-038	1.5280	LandScape-038	1.5116
Car-039	1.5710	Baby-039	1.6363	LandScape-039	1.6275
Car-040	1.6410	Baby-040	1.5775	LandScape-040	1.5548

4.3 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีเอสพีวี

ผลจากการทดลองด้วยวิธีการเอสพีวี จะทำการนำภาพผ่านกระบวนการ HSV เพื่อแยกข้อมูลภาพออกเป็น 3 ส่วน คือ H, S และ V ก่อนจะใช้ค่า V คำนวณหาค่าความซับซ้อนของภาพด้วยวิธีการเอสพีวี

ผลจากการทดลองด้วยวิธีการเอสพีวี จะได้ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพบางส่วนดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการเอสพีวี

NAME	SPV	NAME	SPV	NAME	SPV
Car-001	1.5980	Baby-001	1.4296	LandScape-001	1.8023
Car-002	1.6894	Baby-002	1.4142	LandScape-002	1.8610
Car-003	1.6498	Baby-003	1.4653	LandScape-003	1.8069
Car-004	1.6560	Baby-004	1.3839	LandScape-004	1.9054
Car-005	1.6623	Baby-005	1.4903	LandScape-005	1.7845
Car-006	1.5759	Baby-006	1.5086	LandScape-006	1.7513
Car-007	1.6335	Baby-007	1.5445	LandScape-007	1.8676
Car-008	1.6481	Baby-008	1.3924	LandScape-008	1.8581
Car-009	1.5916	Baby-009	1.4705	LandScape-009	1.8827
Car-010	1.6101	Baby-010	1.4253	LandScape-010	1.8624
Car-011	1.6185	Baby-011	1.4620	LandScape-011	1.6843
Car-012	1.6704	Baby-012	1.5511	LandScape-012	1.7154
Car-013	1.6505	Baby-013	1.5393	LandScape-013	1.6756
Car-014	1.6506	Baby-014	1.5085	LandScape-014	1.9224
Car-015	1.6136	Baby-015	1.5006	LandScape-015	1.9219
Car-016	1.6409	Baby-016	1.5466	LandScape-016	1.8684
Car-017	1.6816	Baby-017	1.5305	LandScape-017	1.8582
Car-018	1.6864	Baby-018	1.5720	LandScape-018	1.8388
Car-019	1.5998	Baby-019	1.4805	LandScape-019	1.8681
Car-020	1.5957	Baby-020	1.4370	LandScape-020	1.9096
Car-021	1.7457	Baby-021	1.4988	LandScape-021	1.7340
Car-022	1.6438	Baby-022	1.4825	LandScape-022	1.8066

ตารางที่ 4.3 ค่าความซับซ้อนของภาพในฐานข้อมูลภาพด้วยวิธีการเอสพีวี (ต่อ)

NAME	SPV	NAME	SPV	NAME	SPV
Car-023	1.7008	Baby-023	1.4854	LandScape-023	1.8851
Car-024	1.7148	Baby-024	1.4717	LandScape-024	1.9203
Car-025	1.6902	Baby-025	1.4946	LandScape-025	1.6482
Car-026	1.6991	Baby-026	1.5075	LandScape-026	1.6695
Car-027	1.8225	Baby-027	1.4384	LandScape-027	1.7243
Car-028	1.7060	Baby-028	1.4752	LandScape-028	1.6339
Car-029	1.7820	Baby-029	1.4998	LandScape-029	1.6853
Car-030	1.6477	Baby-030	1.6012	LandScape-030	1.7238
Car-031	1.6879	Baby-031	1.5076	LandScape-031	1.7229
Car-032	1.7045	Baby-032	1.4727	LandScape-032	1.7319
Car-033	1.6352	Baby-033	1.4487	LandScape-033	1.7328
Car-034	1.7001	Baby-034	1.7958	LandScape-034	1.7412
Car-035	1.6548	Baby-035	1.6096	LandScape-035	1.7255
Car-036	1.8062	Baby-036	1.4446	LandScape-036	1.6822
Car-037	1.7182	Baby-037	1.5825	LandScape-037	1.7182
Car-038	1.6730	Baby-038	1.6074	LandScape-038	1.6666
Car-039	1.7452	Baby-039	1.7409	LandScape-039	1.7231
Car-040	1.7209	Baby-040	1.6534	LandScape-040	1.6849

จากผลการทดลองค่าความซับซ้อนของภาพจำเป็นตัวเลขทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากข้อมูลที่ได้สามารถใช่ค่าความซับซ้อนของภาพนี้ไปตรวจสอบกับข้อมูลภาพที่ต้องการจะค้นหา

4.4 ผลการสืบค้นภาพจากค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน

ระบบจะทำการรับข้อมูลภาพที่ต้องการจะค้นหา จะเข้ามาผ่านกระบวนการของการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน ของแต่ละวิธีคือ บ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting) ฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) และเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) จากค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่ได้ของภาพ จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าแฟร็กทัลไดเมนชันในตารางฐานข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบว่าตรงกับค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพใด จากนั้นระบบก็จะเลือกภาพนั้นที่มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงที่สุดมาเป็นผลของการค้นคืนภาพ

ภาพที่จะสืบค้น	ภาพจากคลังภาพ
$D_{f\ (I/P)} = 1.7290$	$D_{i\ (DB)} = 1.7290$

รูปที่ 4.13 ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

ภาพที่จะสืบค้น	ภาพจากคลังภาพ
$D_{f\ (I/P)} = 1.3322$	$D_{i\ (DB)} = 1.3322$

รูปที่ 4.14 ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพด้วยวิธีการฮิกูจิ

ภาพที่จะสืบค้น	ภาพจากคลังภาพ
$D_{f\ (I/P)} = 1.4705$	$D_{i\ (DB)} = 1.4705$

รูปที่ 4.15 ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพด้วยวิธีการเอสพีวี

4.5 ผลการสืบค้นภาพคล้ายจากค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน

ระบบจะทำการรับข้อมูลภาพที่ต้องการจะค้นหา จะเข้ามาผ่านกระบวนการของการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน ของแต่ละวิธีคือ บ๊อกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting) ฮิกูจิ (Higuchi Method, HM) และเอสพีวี (Scaling Properties of Variance, SPV) จากค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่ได้ของภาพ จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าแฟร็กทัลไดเมนชันในตารางตฐานข้อมูล เพื่อดูว่าตรงกับค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของรูปใดและใกล้เคียงกับรูปใด จากนั้นระบบก็จะเลือกรูปภาพนั้นที่มีค่าเท่ากันและใกล้เคียงมาเป็นผลของการค้นหาภาพคล้าย

ภาพที่จะสืบค้น	ภาพที่ใกล้เคียง	ภาพที่ใกล้เคียง	ภาพที่ใกล้เคียง
$D_{f\ (I/P)}$ = 1.8681	$D_{i\ (DB)}$ = 1.8677	$D_{i\ (DB)}$ = 1.8681	$D_{i\ (DB)}$ = 1.8700

รูปที่ 4.16 ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพคล้ายด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

ภาพที่จะสืบค้น	ภาพที่ใกล้เคียง	ภาพที่ใกล้เคียง	ภาพที่ใกล้เคียง
$D_{f\ (I/P)}$ = 1.3881	$D_{i\ (DB)}$ = 1.3872	$D_{i\ (DB)}$ = 1.3881	$D_{i\ (DB)}$ = 1.3921

รูปที่ 4.17 ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพคล้ายด้วยวิธีการฮิกูจิ

ภาพที่จะสืบค้น	ภาพที่ใกล้เคียง	ภาพที่ใกล้เคียง	ภาพที่ใกล้เคียง
$D_{f\ (I/P)}$ = 1.8299	$D_{i\ (DB)}$ = 1.8265	$D_{i\ (DB)}$ = 1.8299	$D_{i\ (DB)}$ = 1.8795

รูปที่ 4.18 ผลที่ได้จากการสืบค้นภาพคล้ายด้วยวิธีการเอสพีวี

4.6 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

จากผลการทดลองด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง สามารถหาค่าความซ้ำซ้อนของรูปได้ แต่ผลการทดลองปรากฏว่าได้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่ซ้ำกันอยู่มากเมื่อเทียบกับอีก 2 วิธี ทำให้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของภาพและค้นคืนภาพได้ผลลัพธ์ที่ไม่ดี แต่ก็ยังสามารถใช้วิธีการนี้ในการค้นหาภาพจากค่าแฟร็กทัลไดเมนชันได้ ในส่วนภาพคล้ายก็จะมีผลค่าความผิดพลาดสูงเช่นกัน

ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแฟร์กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง

กลุ่มภาพ	จำนวนข้อมูล	ค่าแฟร์กทัลไดเมนชันที่เกิดการซ้ำค่ากัน	ค่าความถูกต้อง
บุคคล (Portrait)	100	4	96.00 %
สัตว์เลี้ยง (Pet)	100	4	96.00 %
ทิวทัศน์ (Landscape)	100	5	95.00 %
วัตถุ รถยนต์ (Car)	100	4	96.00 %
ค่าเฉลี่ย	**100**	**4.25**	**95.75 %**

ผลจาการทดลองสรุปได้ว่าค่าความถูกต้องที่สืบค้นด้วยวิธีการของแฟร์กทัลไดเมนชันแบบบ๊อกซ์เคาน์ติ้งคิดเป็น 95.75 % มีการเกิดการซ้ำกันของค่าแฟร์กทัลไดเมนชันคิดเป็น 4.25% ซึ่งจะมีประสิทธิภาพด้อยกว่าแบบฮิกูจิ และเอสพีวี

4.7 ผลการหาค่าแฟร์กทัลไดเมนชันด้วยวิธีฮิกูจิ

จากผลการทดลองวิธีการนี้สามารถหาค่าความซ้ำซ้อนของรูปได้ แต่ก็ยังได้ค่าแฟร์กทัลไดเมนชันที่ซ้ำกันอยู่บ้าง แต่เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพในการสืบค้นได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และในส่วนการหาภาพคล้ายวิธีการนี้ก็หาผลออกมาได้ดีกว่าวิธีอื่น วิธีการนี้จำเป็นจะต้องกำหนดช่วงของค่า m ให้เหมาะสมกับขนาดของภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 30

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแฟร์กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการฮิกูจิ

กลุ่มภาพ	จำนวนข้อมูล	ค่าแฟร์กทัลไดเมนชันที่เกิดการซ้ำค่ากัน	ค่าความถูกต้อง
บุคคล (Portrait)	100	1	99.00 %
สัตว์เลี้ยง (Pet)	100	2	98.00 %
ทิวทัศน์ (Landscape)	100	4	96.00 %
วัตถุ รถยนต์ (Car)	100	2	98.00 %
ค่าเฉลี่ย	**100**	**2.25**	**97.75 %**

ผลจาการทดลองสรุปได้ว่าค่าความถูกต้องที่สืบค้นด้วยวิธีการของแฟร์กทัลไดเมนชันแบบฮิกูจิคิดเป็น 97.75 % มีการเกิดการซ้ำกันของค่าแฟร์กทัลไดเมนชันคิดเป็น 2.25% ซึ่งจะมีประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกับแบบเอสพีวี

4.8 ผลการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีเอสพีวี

จากผลการทดลองวิธีการนี้สามารถหาค่าความซ้ำซ้อนของรูปได้ แต่ก็ยังได้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่ซ้ำกันอยู่บ้าง แต่เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพในการสืบค้นได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และในส่วนการหาภาพคล้ายวิธีการนี้ก็หาผลออกมาได้ดีกว่าวิธีอื่น วิธีการนี้จำเป็นจะต้องกำหนดค่า τ ให้เหมาะสมกับขนาดภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 5

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแฟร็กทัลไดเมนชันด้วยวิธีการเอสพีวี

กลุ่มภาพ	จำนวนข้อมูล	ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันที่เกิดการซ้ำค่ากัน	ค่าความถูกต้อง
บุคคล (Portrait)	100	3	97.00 %
สัตว์เลี้ยง (Pet)	100	2	98.00 %
ทิวทัศน์ (Landscape)	100	2	98.00 %
วัตถุ รถยนต์ (Car)	100	3	97.00 %
ค่าเฉลี่ย	**100**	**2.25**	**97.75 %**

ผลจากการทดลองสรุปได้ว่าค่าความถูกต้องที่สืบค้นด้วยวิธีการของแฟร็กทัลไดเมนชันแบบเอสพีวีคิดเป็น 97.75 % มีการเกิดการซ้ำกันของค่าแฟร็กทัลไดเมนชันคิดเป็น 2.25% ซึ่งจะมีประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกับแบบฮิกูจิ

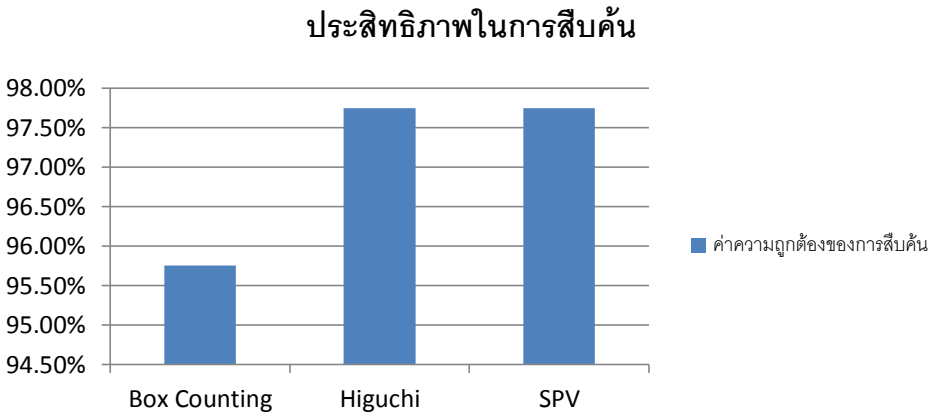
บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเพื่อประยุกต์ใช้แฟร็กทัลไดเมนชัน เพื่อหาคุณสมบัติของรูปภาพสำหรับระบบ CBIR นั้น ระบบสามารถเก็บค่าของแฟร็กทัลไดเมนชันในแบบต่างๆ จากรูปทั้ง 4 กลุ่ม จำนวน 100 ภาพต่อ 1 กลุ่ม รวม 400 ภาพ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะของภาพ สำหรับใช้ในการค้นหาภาพตามข้อมูลเข้าของภาพนั้นๆ ได้ และในส่วนของการเตรียมข้อมูลภาพพื้นฐานด้วย HSV ร่วมกับหลักการฮิกูจิ และเอสพีวี มีประสิทธิภาพในการใช้งานดีกว่าการใช้ข้อมูลภาพพื้นฐานด้วยขอบภาพร่วมกับหลักการบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง จากการทดลองที่ผ่านมาจะถูกสรุปผลตามขั้นตอนการที่ได้ทำการทดลองโดยมีรายละเอียดดังที่จะได้กล่าวดังนี้

5.1 การใช้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพเพื่อการสืบค้น

ผลจากการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันแล้วนำไปใช้ในการสืบค้นภาพของทั้ง 3 แบบ จะเห็นได้ว่าการค้นหาภาพด้วยค่าความซับซ้อนนั้น สามารถนำมาใช้ในการสืบค้นได้ดี โดยวิธีการฮิกูจิ และเอสพีวี จะได้ผลการสืบค้นที่เท่ากันอยู่ที่ 97.75% ซึ่งเป็นผลที่ดีกว่าวิธีการของบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง โดยมีความถูกต้องอยู่ที่ 95.75% แสดงดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการสืบค้น

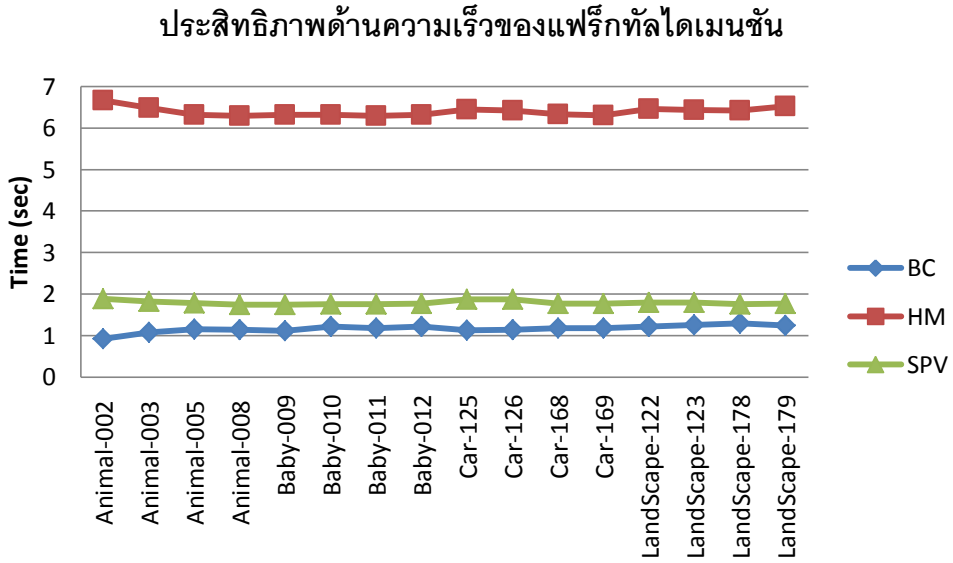
5.2 การใช้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันของภาพเพื่อหาภาพคล้าย

ผลจากการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันแล้วนำไปใช้ในการค้นหาภาพคล้ายของทั้ง 3 แบบ จะเห็นได้ว่า การหาภาพคล้ายด้วยค่าความซับซ้อนนั้น สามารถนำมาใช้ในการหาภาพคล้ายได้ โดยวิธีการ

ฮิกูจิ และเอสพีวี จะได้ผลที่ดีกว่าวิธีการของบ๊อกซ์เคาน์ติ้ง แต่ในงานวิจัยได้นำภาพสีมาเปลี่ยนเป็นโหมดสีเทา แล้วทำการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพของการหาภาพคล้ายได้ผลที่ถูกต้องน้อยกว่าการสืบค้นภาพ

5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านความเร็วของแฟร็กทัลไดเมนชัน

ผลจากการทดลองกับความเร็วในการหาค่าของแฟร็กทัลไดเมนชันของทั้ง 3 แบบ จะเห็นได้ว่าวิธีการของบ๊อกซ์เคาน์ติ้งจะมีความเร็วในการหาค่าความซับซ้อนได้เร็วที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.17 วินาที ตามมาด้วยวิธีการของเอสพีวี ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 1.79 วินาที และวิธีการฮิกูจิจะได้ผลทางด้านเวลาช้าที่สุด ความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.40 วินาที แสดงดังรูป 5.2



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการหาแฟร็กทัลไดเมนชันของทั้ง 3 แบบ

5.4 ข้อเสนอแนะและแนวคิดเพื่อการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต

จากการทดลองที่ผ่านมาและผลการทดลองที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้จะสังเกตได้ว่า การค้นหาข้อมูลภาพโดยการใช้ค่าของแฟร็กทัลไดเมนชันเป็นข้อมูลหลัก สามารถค้นหาภาพได้ตรงกับภาพต้นฉบับ แต่ก็ยังมีข้อผิดพลาดในส่วนของค่าที่ซ้ำกันในบางรูป อันเนื่องมาจาก กระบวนการ Preprocess ที่ทำการหาเค้าโครงภาพ ซึ่งทำให้การค้นหาเกิดข้อผิดพลาด

ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย เพิ่มการวิเคราะห์ข้อมูลภาพพื้นฐานเพิ่มเติมจากการใช้ขอบภาพ เช่น โทนสีของรูป ใช้คำจำแนกประเภทของรูปเป็นข้อมูลประกอบช่วย การเพิ่มจำนวนตัวเลขทศนิยมในการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชันให้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ลด Semantic Gap ได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Hagerhall, C. M., et al., "Fractal Dimension of Landscape Silhouette Outlines as A Predictor of Landscape Preference" **Journal of Environmental Psychology**, Vol 24, 2004. pp. 247-255.

[2] Klonowski, W., et al., "A New Simple Fractal Method for Nanomaterials Science and Nanosensors" **Materials Science-Poland**, Vol 23, No. 3, 2005. pp. 607-612.

[3] Klonowski, W., et al., "SEM Image Analysis for Roughness Assessment of Implant Materials" **Computer Recognition Systems Advances in Soft Computing**, Vol 30, 2005. pp. 553-560.

[4] Kalviainen, T., et al., "Fractal Dimension Analysis and Statistical Processing of Paper Surface Images Towards Surface Roughness Measurement" **SCIA**, LNCS 3540, 2005. pp. 1218-1227.

[5] Sullivan, R., et al., "Fractal Dimension of Breast Cancer Cell Migration in a Wound Healing Assay" **International Journal of Biological and Life Sciences**, Vol 6, No. 3, 2010. pp. 170-174.

[6] Higuchi, T., "Approach to An Irregular Time Series on The Basis of The Fractal Theory" **Physica D**, Vol 31, 1988. pp. 277-283.

[7] Mandelbrot, B. B. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: W. H. Freeman, 1983.

[8] Peitgen, H. O., Jürgens, H., and Saupe, D. "Length, Area and Dimension: Measuring Complexity and Scaling Properties" **In New Frontiers of Science**, Oxford, New York: Springer-Verlag, 1992. pp. 183-228.

[9] Sprott, J. C. Fractal. New York: Oxford University Press, 2003.

[10] Nimkerdphol, K., et al., "3D Locomotion and Fractal Analysis of Goldfish for Acute Toxicity Bioassay", **Int. J. Biomed. Sci.**, Vol.2, no.3, 2007. pp.180-185 (Online journal).

[11] Nimkerdphol, K., et al., "Effect of Sodium Hypochlorite on Zebrafish Swimming Behavior Estimated by Fractal Dimension", **J. Biosci. Bioeng.**, Vol.105, no.5, 2008. pp. 486-492.

[12] André R. B., et al., "Medical Image Retrieval Based on Complexity Analysis" **Machine Vision and Applications**, Vol 21, 2010. pp. 217-227.

[13] Klonowski, W., "Chaotic Dynamics Applied to Signal Complexity in Phase Space and in Time Domain" **Chaos, Solitons and Fractals**, 14, 2002. pp. 1379-1387.

[14] Khoa,T. Q. D. and Nakagawa M., "Recognizing Brain Activities by Functional Near-Infrared Spectroscope Signal Analysis" **Nonlinear Biomedical Physics**, 2:3, 2008. (Online journal).

[15] Grassberger, P. "Generalized Dimensions of Strange Attractors" **Phys. Lett,** A 97, no. 227, 1983.

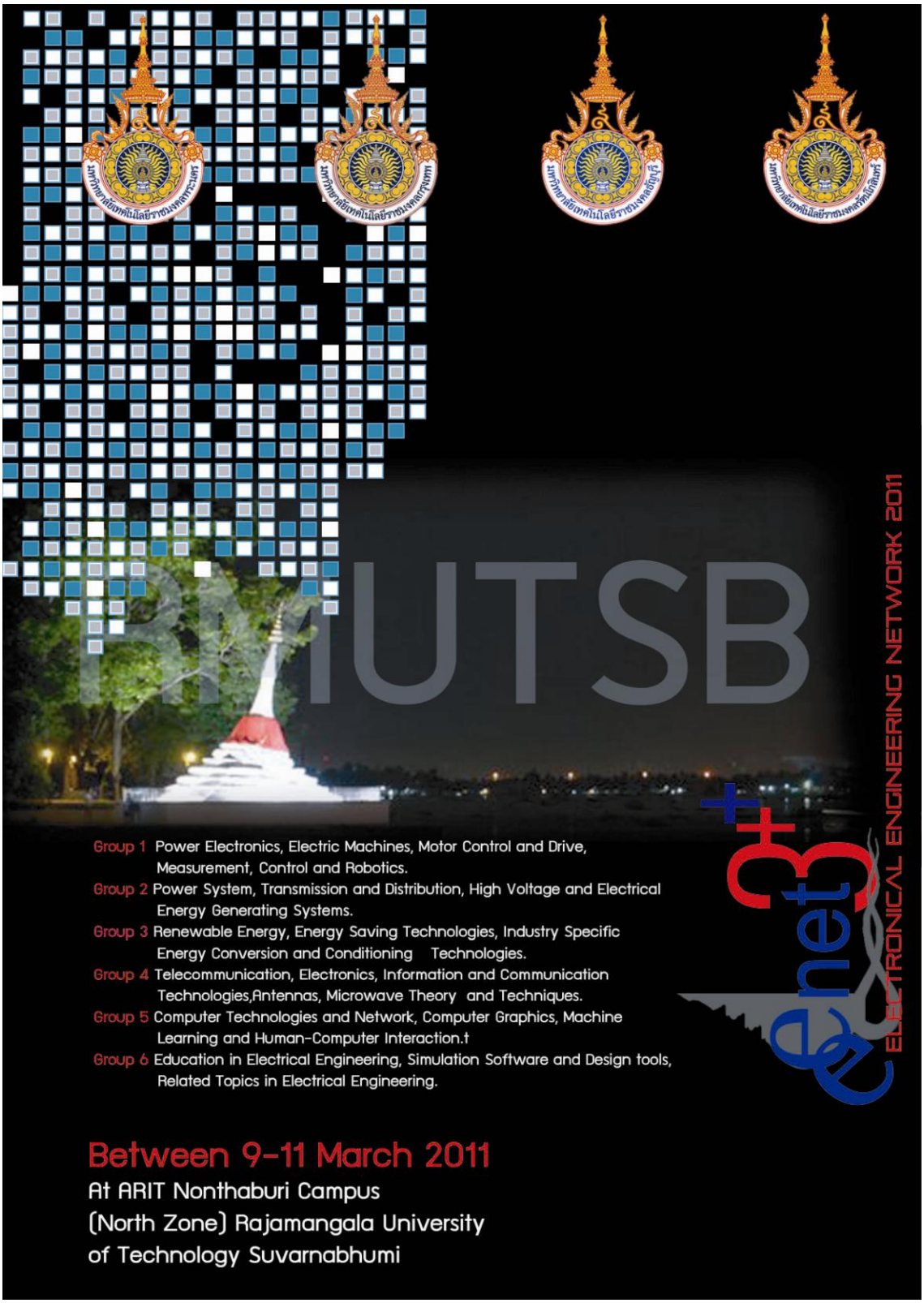
[16] Higuchi, T. "Approach to An Irregular Time Series on the Basis of the Fractal Theory" **Physica D**, Vol. 31, 1988. pp. 277-283.

[17] Noguchi, M. and Nakagawa, M. "Bioassay Technology Based on Chaos and Fractals Theory" 2004. pp. 41-46.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ก

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่


RMUTSB
ELECTRONICAL ENGINEERING NETWORK 2011
Group 1 Power Electronics, Electric Machines, Motor Control and Drive, Measurement, Control and Robotics.
Group 2 Power System, Transmission and Distribution, High Voltage and Electrical Energy Generating Systems.
Group 3 Renewable Energy, Energy Saving Technologies, Industry Specific Energy Conversion and Conditioning Technologies.
Group 4 Telecommunication, Electronics, Information and Communication Technologies,Antennas, Microwave Theory and Techniques.
Group 5 Computer Technologies and Network, Computer Graphics, Machine Learning and Human-Computer Interaction.t
Group 6 Education in Electrical Engineering, Simulation Software and Design tools, Related Topics in Electrical Engineering.
Between 9-11 March 2011
At ARIT Nonthaburi Campus
(North Zone) Rajamangala University
of Technology Suvarnabhumi

เกรียงไกร เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กิจจา ลักษณ์อำนวยพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
กิตติวงศ์ สุธรรมโน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
กิตติวุฒิ จีนนะบุตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
เกษม เนื้อแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
โกศล นิธิโสภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
โกศล โอหารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
จงเจริญ คุ้มบุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
จตุรงค์ จตุรเชิดชัยสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จรินทร์ จุลวานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
จัตตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เจนศักดิ์ เอกบูรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
เจษฎา พรหมเกษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เฉลิมชาติ มานพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
เฉลิมพล เรืองพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
เฉลียว เกตุแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ชลากร สุวรรณสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาญชัย เดชธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ชูศักดิ์ กมลขันติธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ไชยยันต์ บุญมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ณฐภัทร พันธ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ณรงค์ นันทกุศล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ณรงค์ฤทธิ์ พิมพ์คำวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ณัฐพงศ์ สนองคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ณัฐพงษ์ พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ณัฐพล หาอุปละ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดนุพล คำปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
ดุสิต อุทิศสุนทร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ตะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
เติมศักดิ์ แสนเพียง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เตือนใจ อาชีวะพานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ทง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ทัศนะ ถมทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
ธงชัย คล้ายคลึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ธวัช เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ธานี สมวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ธีรพล เหมือนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นคร ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นครินทร์ ศรีปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นพพร พัชรประกิติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
นภัทร วัจนเทพินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
นราวิทย์ กิจเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นรินทร์ หลักทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นาตยา คล้ายเรือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ศรีราชา
นิติพงศ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
นิติพงษ์ สมไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
นิพนธ์ วงค์ทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
นิพนธ์ สุนทรหุต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
นิลมิต นิลาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

นิวัตร จารุวาระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
บุญช่วย เจริญผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปฏิวัติ บุญมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประกาศิต ศรีทะแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
ประดิษฐ์ เผื่อนหมื่นไวย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ประดิษฐ์ แสงยศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประทีป แสงด้วง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ประมุข อุณหเลขกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ประวิช เปรียบเหมือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ปรีชา สาคะรังข์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ณัฐวุฒิ โสมะเกษตรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พร้อมศักดิ์ อภิรติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พันธ์ พิริยะวรรธน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
พิชัย เพ่งพันธุ์พัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
พิชัย อยู่เปล่า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
พินิจ ศรีธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
พิสิษฐ์ ลิ่วธนกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
พีรพล จิราพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
พูนศรี วรรณการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
ภัควัฒน์ จันทร์ตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ภานุมาศ แสนพวง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มงคล ด่านบำรุงตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
มังกร ศิริจันทร์ชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มาณพ ธนะคำดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
มาลียา ตั้งจิตเจษฎา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

มีชัย แจ่มใส่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
ยุทธนา กันทะพะเยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ยุทธนา ขำสุวรรณ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รัก สกุลพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เรวัต ธรรมสนธิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วณพันธ์ วัยวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
วัชชัย สิมมา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วันชัย ทรัพย์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วารุณี กรุดพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วารุณี ศรีสงคราม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วิจิตร กิณเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิชัย ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วิชา จันที	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิชิต สุทธิพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
วิเชียร หทัยรัตน์สิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิฑูรย์ พรมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
วินัย เมธาวิทิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิบูลย์ ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิรัตน์ นักกรองดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
วิวัฒน์ เจริญสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
วีระ ธันยาภิรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระชัย จรบุรมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
วีระยุทธ รัตนคุณศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
วุฒิชัย สง่างาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
วุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
ศรีศักดิ์ น้อยไร่ภูมิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

ศักดิ์ชัย ระวีกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ศิริชัย แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศิริชัย ลาภาสระน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
ศุภลักษณ์ ศรีตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมเกียรติ อุดมหรรษากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สมเกียรติ ทองแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สมชัย หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมชาย เบียนสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สมนึก เครือสอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
สมพร ศรีวัฒนพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สยาม ประจุดทะศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สรรธพล คุ้มทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สรายุธ ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สันติ อัศวศรีพงศ์ธร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
สันติภาพ โคตทะเล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
สาคร ป้นตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สาธิต รุ่งสว่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สายชล ชุดเจือจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
สำเริง ฮินท่าไม้	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สุขุม จุฬาจตุรศิระรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุชาติ จันทร์จรมานิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุทธินันท์ ต้นโพธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ศูนย์กลาง
สุพจน์ จันทร์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สุรเชษฐ์ เดชฟุ้ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ
สุรพันธ์ โล่ห์เพชร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
สุรสิทธิ์ แสนทอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

สุรินทร์ แหงมงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
สุวัลยา ศิริศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
องอาจ แสดใหม่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อนนท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
อนันต์ โสภิณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อโนชา รุ่งโรจน์วัฒนศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อัศวิน แก้วสิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ขอบคุณ ไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อาภาพล มหาวีระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
อิษฎา บุญญาอรุณเนตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อุดม เครือเทพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
อุเทน คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ
อุรา ดันมีแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
เอกชัย ชัยดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
เอกวิทย์ หายักวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

ET4_3	การศึกษาการแยกแยะสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจภายนอกร่างกายสาหรับทารกในครรภ์	308
ET4_4	การศึกษาการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพัฒนาระบบการวินิจฉัยสภาวะตัวเหลืองในทารก	312
ET4_5	การออกแบบและสร้างเครื่องรับส่ง 16 QAM-OFDM ต้นแบบบนบอร์ด FPGA	316
ET4_6	การศึกษาฟังก์ชันถ่ายโอนระบบให้ความร้อนในเตาเผาปลูกผลึก	320
ET4_7	การศึกษาเบื้องต้นสาหรับการคัดกรองภาวะเซลล์ก่อนมะเร็งโดยวิธีอิมพิแดนซ์สเปกโทรสโคปี	324
ET4_8	ระบบแจ้งอุบัติเหตุรถยนต์ผ่านทางโทรศัพท์มือถือ	328
ET4_9	สายอากาศช่องเปิดแถบความถี่กว้างมากที่กระตุ้นด้วยสายส่งแบบท่อนำคลื่นระนาบร่วม	332
ET4_10	ชุดควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไร้สายผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์	336
ET4_11	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบเทคนิคการสกัดคุณลักษณะของสัญญาณที่เป็นเสียงและเสียงรบกวน	340
ET4_12	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบีบอัดเสียงพูดโดยใช้เทคนิคเวฟเล็ต	344
ET4_13	เครื่องต้นแบบรบกวนสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่	348
ET4_14	สายอากาศแพทย์รูปตัว G ย่านความถี่แถบคู่ที่ป้อนสายนำสัญญาณแบบระนาบร่วม	352
ET4_15	เปรียบเทียบคุณลักษณะของสายอากาศไมโครสตริปแบบช่องเปิดรูปเลขแก้าสาหรับการใช้งานในเครือข่ายไร้สายโดยใช้วัสดุฐานรองแบบ RT-Duroid และ FR4	356
ET4_16	The current density effect on plasma parameters	362
CP5_1	Home Electrical Device Control System with Wireless Low Rate Network	365
CP5_2	การศึกษาการตรวจจับสัญญาณกล้ามเนื้อตาสำหรับใช้เชื่อมต่อมนุษย์กับคอมพิวเตอร์	369
CP5_3	การรู้จำตัวอักษรอังกฤษ-ไทยโดยใช้วิธีทางสถิติร่วมกับซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	373
CP5_4	การเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคการประมวลผลภาพในการตรวจหาป้ายจากัดความเร็วในเงื่อนไขที่ถูกสภาพแวดล้อมบดบัง	377
CP5_5	การหาคุณสมบัติของรูปภาพด้วยแฟร็กทัลไดเมนชันสำหรับระบบ CBIR	381
CP5_6	การทา เหมืองความรู้เพื่อทา นายระดับคะแนน	385

CP5_5

การหาคุณสมบัติของรูปภาพด้วยแฟร็กทัลไดเมนชันสำหรับระบบ CBIR

Fractal Dimension-Based Feature Extraction for CBIR System

มาโนช ประชา[1,2] และ กิตติวัฒณ์ นิ่มเกิดผล[1,3]

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์: 02-549-3467

[2]E-mail: manoch.p@en.rmutt.ac.th , [3]E-mail: kittiwann.n@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาภาพโดยใช้ข้อมูลสาระเกี่ยวกับภาพเป็นข้อมูลในการค้นหา หรือที่เรียกว่า Content-Based Image Retrieval (CBIR) กันอย่างแพร่หลายเช่น การค้นหารูปภาพทางอินเทอร์เน็ต ระบบงานอุตสาหกรรม งานทางด้านการแพทย์ เป็นต้น ปัญหาสำคัญในการประยุกต์ใช้ CBIR คือการลดความแตกต่างจากผลการค้นหาจากความหมาย (Semantic Gap) ที่ใช้ระบุในการค้นหา การวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการวิเคราะห์ความซับซ้อนของภาพ (Image Complexity) ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล ซึ่งสามารถนำค่าดังกล่าวในการจำแนกหมวดหมู่ภาพได้ ผลจากการทดลองกับ 4 กลุ่มภาพ จำนวน 1200 ภาพ พบว่า การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์ความซับซ้อนของภาพด้วยแฟร็กทัลนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสาระในการค้นหาภาพได้

คำสำคัญ: แฟร็กทัลไดเมนชัน, บอกซ์เคาน์ติ้ง, การค้นหารูปภาพ

Abstract

Content-based image retrieval (CBIR) is widely used in various today's application; including web-based image retrieval, medical, security, etc. However, most researchers aim to reduce semantic gap. In this study, we utilize fractal analysis to evaluate complexity of a picture to be used as a feature for CBIR system. The image database includes 4 set of image with total number of 1200 pictures. The results show that fractal dimension of a picture can be serve as a feature for CBIR system.

Keywords: Fractal Dimension, Box Counting, Image Retrieval

1. บทนำ

พัฒนาการของระบบค้นหาภาพด้วยระบบอัตโนมัติ (Image Searching) และ/หรือ ระบบค้นหาด้วยผู้ใช้ (Image Browsing) เพื่อให้ได้ภาพที่คล้ายคลึงกัน หรือชนิดเดียวกันบนฐานข้อมูลต่างๆ อาทิเช่น บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต (Internet) ฐานข้อมูลรูปภาพ/คลังภาพ (Image Database) ฯลฯ ระบบค้นหาเหล่านี้มีความต้องการผลการค้นหาที่ถูกต้องและแม่นยำสูง ซึ่งยังคงเป็นปัญหาที่แก้ไขยาก อย่างไรก็ตามการมองเพียงช่วงเวลาสั้นของมนุษย์สามารถบอกถึงความเหมือนและความแตกต่างของภาพได้ เนื่องจากระบบสมองของมนุษย์มีความสามารถในการจดจำและวิเคราะห์ภาพได้ดี ในทางกลับกันการรู้จำและการการค้นหาภาพโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์นั้น มีความจำเป็นต้องให้ระบบเรียนรู้เกี่ยวกับข้อมูลจากรูปภาพต่าง ๆ เช่น สี (Color) เส้นขอบเค้าโครง (Contour) ลวดลาย (Texture) โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เช่น สมการ Hough Line ในการหาเส้นตรง สมการ Hough Circle ในการหาวงกลม และสมการ Generalize Hough Transform ใช้ในการหารูปทรงที่ไม่ใช่รูปทรงเลขาคณิต การหาคุณสมบัติรูปทรงของภาพด้วยวิธีการสืบค้นจากรูปภาพโดยตรงแบบนี้จะสามารถหาได้เพียงแค่รูปภาพที่เป็นรูปทรงทางเลขาคณิต หรือภาพที่มีความซับซ้อนน้อย เท่านั้น ในขณะที่รูปภาพที่เกิดจากธรรมชาติที่มีความซับซ้อน ของภาพสูง (High Complexity) เนื่องจากโดยปกติแล้ววัตถุทางธรรมชาติเกิดจากการแบ่งตัวหรือการกระทำซ้ำโครงสร้างเดิมจนเป็นวัตถุรูปต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ ใบเฟิร์น ก้อนเมฆ ผลึกต่าง ๆ เซลล์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งรูปภาพจากวัตถุดังกล่าวหากนำมาขยายบางส่วนจะพบว่ามีความคล้ายคลึงกับภาพส่วนวัตถุต้นฉบับ โดยคุณสมบัตินี้เรียกว่า Self-Affine ซึ่งสามารถคำนวณค่าความซับซ้อนได้ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล

ดังนั้นภาพวัตถุทางธรรมชาติสามารถอธิบายความซับซ้อนได้ด้วยด้วยเลขาคณิตเศษส่วน (The Fractal Geometry of Nature) [1] หรือแฟร็กทัลไดเมนชัน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นคุณสมบัติจำเพาะของภาพวัตถุนั้น ๆ

เทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชันได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพในหลากหลายวงการ อาทิเช่น จำแนกความแตกต่างของรูปทิวทัศน์โดยหาเส้นของแสงเงาของรูปภาพ [2] หาสัญญาณจากนาโนเซนเซอร์ โดยการหาความขรุขระของภาพถ่ายขาวดำพื้นผิวของวัสดุตั้งแต่ระดับไมโครจนถึงระดับนาโน [3]-[5] วิเคราะห์หาผลการกำจัดเซลล์มะเร็งจากภาพถ่ายเซลล์มะเร็ง [6] การตอบสนองของสมอง โดยทำการวัดในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า [8]-[9]

จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เทคนิคนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยใด นำเทคนิคนี้มาประยุกต์ใช้กับภาพทั่วไปอาทิเช่น ภาพบุคคล (Portrait) ภาพ

สัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพวิว (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการใช้เทคนิคแฟร็กทัลไดเมนชันประยุกต์ใช้กับการจำแนกรูปภาพทั่วไปที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. เลขาคณิตเศษส่วน (Fractal Geometry)

เลขาคณิตแฟร็กทัล หรือ เลขาคณิตเศษส่วน หมายถึงวัตถุทางเลขาคณิตที่มีคุณสมบัติคล้ายตนเอง (Self Similarity) ที่เมื่อแบ่งวัตถุออกเป็นจำนวนย่อย ๆ แล้วในแต่ละส่วนประกอบจะมีความเหมือนกับวัตถุของต้นแบบ คำว่าแฟร็กทัลนี้ให้นิยามโดย เบอนัว มานดัลบรอ (Benoit Mandelbrot) ปี 1975 จากคำว่า "Fractus" ในภาษาลาติน ที่แปลว่า "แตก" หรือ "ร้าว" [1] การคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยแฟร็กทัลจะขึ้นอยู่กับสมการภายใต้การทำซ้ำ ซึ่งรูปแบบของการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับการเวียนซ้ำที่เกิดขึ้น โดยมีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

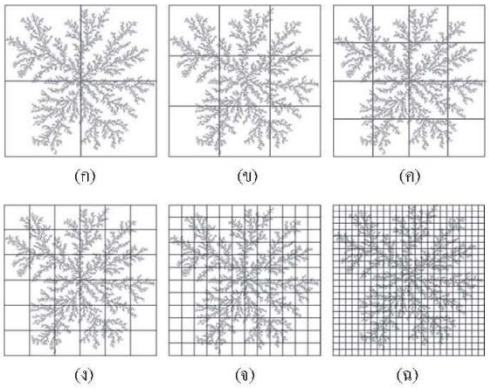
1. ไม่ว่าจะนำวัตถุมาขยายด้วยอัตราขยายเท่าไร ภาพที่ปรากฏจะมีรายละเอียดเหมือนกับภาพต้นวัตถุที่อัตราขยายต่าง ๆ
2. ความไม่สม่ำเสมอของแฟร็กทัลสามารถอธิบายแนวโน้มด้วยภาษาคณิตศาสตร์ ในรูปสมการเรขาคณิตได้
3. มีคุณสมบัติความคล้ายตนเอง
4. มีมิติแบบไม่เป็นจำนวนเต็ม (Hausdorff Dimension) มากกว่า n มิติ (Topological Dimension = n)

เนื่องจากการเกิดของแฟร็กทัลนั้นเป็นการเกิดที่มีความคล้ายคลึงกันในทุกๆจุดที่พิจารณา ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าแฟร็กทัลเป็นรูปแบบที่ไม่มีที่สิ้นสุด หรือเป็น อนันต์ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเกิดภาพในธรรมชาติ อาทิเช่น ก้อนเมฆ ภูเขา ต้นไม้ ทะเลสาบ เกล็ดหิมะ ฯลฯ อย่างไรก็ตามไม่ใช่วัตถุทุกอย่างจะเป็นแฟร็กทัล ยกตัวอย่างเช่น เส้นตรงจริง (เส้นตรงเรขาคณิตของยูคลิด, Euclidean Line) ซึ่งเป็นเส้นที่เกิดจากการลากเชื่อมจุดสองจุด มีรูปแบบอย่างง่ายแต่ไม่ได้มีคุณสมบัติเป็น แฟร็กทัล แต่สามารถอธิบายรูปแบบการเกิดด้วยรูปแบบของยูคลิด (Euclidean Terms)

2.2. บอกซ์เคาน์ติ้ง (Box Counting)

หลักการของบอกซ์เคาน์ติ้งนิยามโดย มินนรอฟสกี้ เบลาลิแกน (Minkowski Bouligand) ในปี ค.ศ. 1991 ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวัดหาแฟร็กทัลไดเมนชัน

ภาพหนึ่งๆ นั้นจะประกอบไปด้วยสามมิติ คือ (x, y, z) โดยมิติ (x, y) แทนจุดภาพในแนวแกนนอน (x) และแนวแกนตั้ง (y) และมิติ (z) แทนสีที่อยู่ในภาพ วิธีการบอกซ์เคาน์ติ้งจะทำการแบ่งรูปภาพออกเป็นส่วนๆ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการแบ่งรูปภาพออกเป็นส่วน ๆ ด้วยวิธีการบอกซ์เคาน์ติ้ง

ที่ความยาว l_b โดยค่าของแฟร็กทัล D_bที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้โดย

$$D_b = \lim_{l_b \to 0} \frac{\log N_b(l_b)}{\log l_b} \qquad (1)$$

เมื่อ N_b คือจำนวนของบอกซ์ (Boxes) ที่ต้องการเพื่อให้ครอบคลุมรูปทรงของวัตถุ

3. วิธีการศึกษา

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ การเก็บข้อมูลภาพนิ่งของทั้ง 4 กลุ่ม การสร้างฐานข้อมูลเก็บคุณสมบัติ (Feature) ที่คำนวณได้จากภาพ การค้นหาภาพจากคลังภาพและการหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบจากคุณสมบัติของภาพ

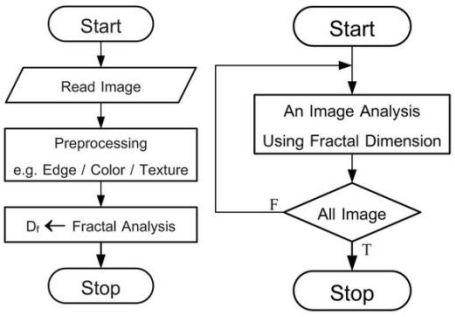
3.1. การเก็บข้อมูลภาพนิ่ง

ถ่ายภาพนิ่งขนาด SVGA (1248x768) ในกลุ่มของข้อมูลภาพทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ ภาพบุคคล (Portrait) ภาพสัตว์เลี้ยง (Pet) ภาพวิว (Landscape) และภาพวัตถุ เช่น รถยนต์ (Car) จำนวน 300 ภาพต่อ 1 กลุ่ม รวม 1200 ภาพ

3.2. การสร้างฐานข้อมูลคุณสมบัติ (Feature) จากภาพ

การสร้างฐานข้อมูลคุณสมบัติของภาพ รูปที่ 2 แสดงถึงขั้นตอนการหาคุณสมบัติของภาพด้วยกระบวนการ (Nonlinear Analysis) เพื่อหาค่าความซับซ้อน (Complexity) ด้วยกระบวนการแฟร็กทัล (Fractal Analysis Method) สำหรับนำไปสร้างฐานข้อมูลภาพ โดยการนำภาพในฐานข้อมูลมาผ่านกระบวนการคำนวณหาความซับซ้อนของภาพ ด้วยกระบวนการ Fractal Analysis เพื่อหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน (D_f)

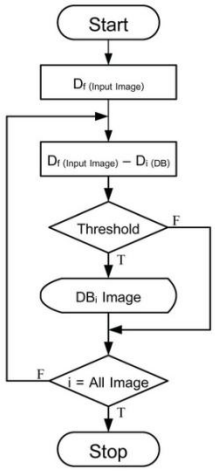
CP5_5



รูปที่ 2 หลักการหาค่าแฟร็กทัลไดเมนชัน (ก) ภาพ (ข) คลังภาพ

3.3. การค้นหาภาพจากคลังภาพ

ในการค้นภาพจากคลังฐานข้อมูลนั้น ระบบจะหาค่าแฟร็กทัลของภาพดังกล่าว D_f (Input Image) แล้วนำค่าที่ได้ไปลบกับค่าแฟร็กทัลของภาพในคลังภาพ คือ D_i (DB) นำผลที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน กรณีที่ผลการประมวลผลที่ได้อยู่ในเกณฑ์ค่าความแม่นยำ (ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าแม่นยำ $1x10^{-4}$) ระบบก็จะแสดงภาพดังกล่าว ภาพทุกภาพในคลังภาพจะถูกทำการประมวลผลภาพด้วยหลักการแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หลักการในการค้นหาภาพจากคลังภาพ

3.4. การหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบ

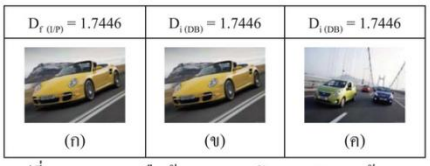
การหาภาพคล้ายในงานวิจัยนี้ จะใกล้เคียงกับหลักการของการค้นหาภาพในข้อ 3.3 จะต่างกันที่การปรับตั้งค่าความแม่นยำในการประมวลผลภาพ เพื่อนำค่าที่ใกล้เคียงมาเป็นกลุ่มของภาพคล้าย ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าแม่นยำ $1x10^{-2}$

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์

ผลการประมวลภาพจากคลังภาพจำนวน 1200 ภาพ ค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน ที่ได้จากการประมวลผลจะมีค่าความถูกต้องทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ($1x10^{-4}$)

4.1. ผลจากการค้นหาภาพจากคลังภาพ

ผลการประมวลผลจากคลังภาพที่ค่าความแม่นยำ $1x10^{-4}$ รูปที่ 4 (ก) เป็นภาพต้นแบบที่ต้องการค้นหา รูปที่ 4 (ข) แสดงภาพที่ถูกต้องจะพบว่าเกิดการซ้ำของค่าของแฟร็กทัลไดเมนชัน D_f ที่ได้ในรูปที่ 4 (ค) ซึ่งทำให้ได้ภาพที่นอกเหนือจากภาพที่ต้องการค้าหา ในการประมวลผลภาพเกิดการซ้ำค่าแฟร็กทัลไดเมนชันคิดเป็น 5% จากปริมาณภาพทั้งหมด

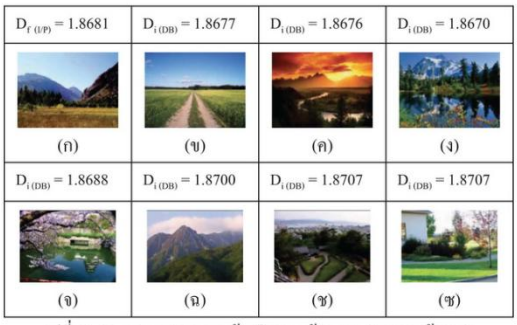


รูปที่ 4 ผลของการสืบค้นภาพจากคลังภาพ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) และ (ค) ภาพที่ได้จากการสืบค้น

ค่าของแฟร็กทัลไดเมนชันที่ซ้ำกันเนื่องจากภาพมีความซับซ้อนใกล้เคียงกัน

4.2. ผลจากการหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบ

ผลของค่าแฟร็กทัลไดเมนชันในแต่ละภาพ นำมาหาภาพคล้ายค่าความแม่นยำ $1x10^{-2}$



รูปที่ 5 ผลจากการหาภาพคล้ายกับภาพต้นแบบ (ก) ภาพต้นแบบ (ข) - (ซ) ภาพที่ได้จากการสืบค้น

จากคลังภาพของข้อมูล 300 ภาพที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม ในการหาภาพคล้ายจากภาพต้นแบบของแต่ละกลุ่มนั้น ยังได้ผลที่มีข้อผิดพลาดอยู่สูง เพราะค่าแฟร็กทัลไดเมนชันอย่างเดียวไม่สามารถช่วยให้หาภาพคล้ายกับภาพต้นฉบับได้

CP5_5

5. สรุป

การค้นหาข้อมูลภาพโดยใช้ค่าแฟร็กทัลไดเมนชันเป็นข้อมูลหลัก สามารถค้นหาภาพได้ตรงกับภาพต้นฉบับ แต่ยังมีข้อผิดพลาดในส่วนของค่าที่ซ้ำกันในบางรูป อันเนื่องมาจาก กระบวนการ Preprocess ที่ทำการหาเค้าโครงภาพ ซึ่งทำให้การค้นหาเกิดข้อผิดพลาดจากภาพที่ได้มากกว่าหนึ่งภาพ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย เพิ่มการวิเคราะห์ข้อมูลภาพพื้นฐานเพิ่มเติมจากการใช้เพียงขอบภาพ เช่น โทนสีของรูป คำจำแนกประเภทของรูป เป็นข้อมูลประกอบ ซึ่งจะทำให้ลด Semantic Gap ได้มากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Mandelbrot, B. B. The fractal geometry of nature. San Francisco: W. H. Freeman, 1983.

[2] Hagerhall, C. M., et al., "Fractal Dimension of Landscape Silhouette Outlines as A Predictor of Landscape Preference" Journal of Environmental Psychology, Vol 24, 2004. pp. 247-255.

[3] Klonowski, W., et al., "A New Simple Fractal Method for Nanomaterials Science and Nanosensors" Materials Science-Poland, Vol 23, No. 3, 2005. pp. 607-612.

[4] Klonowski, W., et al., " SEM Image Analysis for Roughness Assessment of Implant Materials" Computer Recognition Systems Advances in Soft Computing, Vol 30, 2005. pp. 553-560.

[5] Kalviainen, T., et al., "Fractal Dimension Analysis and Statistical Processing of Paper Surface Images Towards Surface Roughness Measurement" SCIA, LNCS 3540, 2005. pp. 1218-1227.

[6] Sullivan, R., et al., "Fractal Dimension of Breast Cancer Cell Migration in a Wound Healing Assay" International Journal of Biological and Life Sciences, Vol 6, No. 3, 2010. pp. 170-174.

[7] Peitgen, H. O., Jürgens, H., and Saupe, D. "Length, area and dimension: measuring complexity and scaling properties" In New frontiers of science, 183-228. Oxford, New York: Springer-Verlag, 1992.

[8] Nimkerdphol, K., et al., "3D Locomotion and Fractal Analysis of Goldfish for Acute Toxicity Bioassay", Int. J. Biomed. Sci., vol.2, no.3, 2007. pp.180-185 (Online journal)

[9] Nimkerdphol, K., et al., "Effect of sodium hypochlorite on zebrafish swimming behavior estimated by fractal dimension", J. Biosci. Bioeng., Vol.105, no.5, 2008. pp. 486-492

[10] Grassberger, P. "Generalized dimensions of strange attractors." Phys. Lett. A 97, no. 227, 1983.

[11] Higuchi, T. "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory." Physica D, Vol. 31, 1988. pp. 277-283

[12] Noguchi, M. and Nakagawa, M. "Bioassay technology based on Chaos and Fractals theory." 2004. 41-46.

[13] André R. B., et al., "Medical Image Retrieval Based on Complexity Analysis" Machine Vision and Applications, Vol 21, 2010. pp. 217-227.

[16] Klonowski, W., "Chaotic Dynamics Applied to Signal Complexity in Phase Space and in Time Domain" Chaos, Solitons and Fractals, 14, 2002. pp.1379–1387.

[17] Khoa,T. Q. D. and Nakagawa M., "Recognizing brain activities by functional near-infrared spectroscope signal analysis" Nonlinear Biomedical Physics, 2:3, 2008. (Online journal)

มาโนช ประชา จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีพ.ศ. 2539 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปัจจุบันศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี งานวิจัยที่สนใจคือการประมวลผลภาพสัญญาณ

กิตติวัณณ์ นิ่มเกิดผล จบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีพ.ศ. 2539 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ระดับปริญญาโท วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ในปีพ.ศ. 2543 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาเอก D.Eng (Integrated Bioscience and Technology) ในปีพ.ศ. 2551 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีนากาโอกะ ประเทศญี่ปุ่น งานวิจัยที่สนใจคือระบบฝังตัว การประมวลผลภาพสัญญาณ และการวิเคราะห์สัญญาณด้วยกระบวนการแฟร็กทัล

CP5_5

ภาคผนวก ข

โปรแกรมต้นฉบับ (Source Code)

(อยู่ใน CD ท้ายเล่มวิทยานิพนธ์)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายมาโนช ประชา
วัน เดือน ปีเกิด	20 สิงหาคม 2516
ที่อยู่	130/289 ตำบลลำผักกูด อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
ประวัติการศึกษา	- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาเทคนิคคอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครเหนือ เมื่อ พ.ศ. 2537 - สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-คอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อ พ.ศ. 2539
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2539-ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลงานวิจัย

มาโนช ประชา, **การหาคุณสมบัติของรูปภาพด้วยแฟร็กทัลไดเมนชันสำหรับระบบ CBIR**, การประชุมเครือข่ายวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3 ประจำปี 2554 (Electrical Engineering Network 2011: EENET2011) วันที่ 9-11 มีนาคม พ.ศ.2554 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี เขตเหนือ