การพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพ สำหรับการวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์

DEVELOPMENT OF A CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL SYSTEM FOR HARD DISK SURFACE DEFECT DIAGNOSIS

โดย

ณัฐสิทธิ์ เหล่าสุวรรณ

NUTTHASIT LAOSUWAN

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. นพพร โชติกกำธร

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการพัฒนาระบบงาน

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2552

DEVELOPMENT OF A CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL SYSTEM FOR HARD DISK SURFACE DEFECT DIAGNOSIS

NUTTHASIT LAOSUWAN

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE

REQUIREMENTS OF THE COURSE

SYSTEM DEVELOPMENT PROJECT

MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1/ 2009

ใบรับรองโครงการพัฒนาระบบงาน (SYSTEM DEVELOPMENT PROJECT)

เรื่อง

การพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพ
สำหรับวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์

DEVELOPMENT OF A CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL
SYSTEM FOR HARD DISK SURFACE DEFECT DIAGNOSIS

นายณัฐสิทธิ์ เหล่าสุวรรณ
รหัสประจำตัว 50066401

ขอรับรองว่ารายงานฉบับนี้ ข้าพเจ้าไม่ได้คัดลอกมาจากที่ใด
รายงานฉบับนี้ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาวิชาโครงการระบบงาน หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ)
ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2552

....**อาจารย์ที่ปรึกษา**
(รศ.ดร. นพพร โชติกกำธร)

....**กรรมการสอบ**
(รศ.ดร. บุญวัฒน์ อัตชู)

....**กรรมการสอบ**
(ผศ.ดร. ธนารัตน์ ชลิดาพงศ์)

หัวข้อ	การพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพสำหรับการวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์
นักศึกษา	นายณัฐสิทธิ์ เหล่าสุวรรณ
รหัสนักศึกษา	50066401
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา	วิทยาการสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2552
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. นพพร โชติกกำธร

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เสนอผลการศึกษาและพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพสำหรับการวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์ ด้วยหลักการของการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ค้นคืนรูปภาพ โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญต่างๆของรูปภาพที่ต้องการกับภาพตัวอย่างที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการค้นคืนข้อมูลรูปภาพจากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และมีรูปแบบที่หลากหลายมากขึ้น โดยแบ่งแนวทางการศึกษาและการพัฒนาเป็น 3 ส่วน คือ การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing), การดึงคุณลักษณะสำคัญของภาพถ่าย (Feature Extraction) ด้วยวิธีการเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-Occurrence Matrix) ร่วมกับสมการคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค (Haralick's Feature) และการวัดความคล้ายคลึงของภาพถ่าย (Similarity Measure) ด้วยวิธีการวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean Distance)

ในการทดลองได้ใช้ภาพถ่ายรอยตำหนิ 2 ประเภท คือประเภทที่เป็นรอยขูด กับไม่ใช่รอยขูด โดยผลการทดลองของระบบการค้นคืนโดยเนื้อหาที่พัฒนาให้ผลดีกว่าระบบค้นคืน LIRe เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบด้วยค่าของ Precision และ Recall สำหรับการทดลองและพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาได้ใช้โปรแกรม MATLAB 7.5.0(R2007b)

Title	Development of a Content-Based Image Retrieval System for Hard disk Surface Defect Diagnosis
Student	Mr. Nutthasit Laosuwan
Student ID	50066401
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Major	Information Science
Academic Year	2009
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Nopporn Chotikakamthorn

ABSTRACT

This report proposed the study and development of a content base image retrieval system for hard disk surface defect diagnosis. The content-based image retrieval (CBIR) is the technique to retrieve the images. CBIR technique is used to compare the important characteristic of each sample image with the all image in the database for optimize image retrieval from large image database and various image types. This study approach is 3 parts including preprocessing, feature extraction by co-occurrence matrix technique with Haralick's feature equation and similarity measure by Euclidean distance technique.

In the image classification experiments using defect images of 2 categories that is scratch image and non-scratch image. The results using the propose system was compared with these obtained by using lire image retrieval system. It was found that the proposed system performed better, when measured in term of precision and recall. In this project be developed by using MATLAB 7.5.0 (R2007b).

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพัฒนาระบบงานฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ยิ่งจาก รศ.ดร. นพพร โชติกกำธร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณไพรริน ฐานะสุนทรฤกษ์ ตำแหน่ง Lead Engineer บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการศึกษาและพัฒนาโครงงาน

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการด้านสื่อประสม (Interactive Media and E-Learning Laboratory: IME LAB) และนักศึกษาแขนงวิทยาการสานสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ให้ความ ช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำโครงการพัฒนาระบบงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ณัฐสิทธิ์ เหล่าสุวรรณ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) 4

2.1.1 การหาขอบภาพ (Edge Detection) 5

2.1.2 การขยายขนาดองค์ประกอบรูปภาพ (Dilation) 5

2.1.3 การลดขนาดองค์ประกอบรูปภาพ (Erosion) 6

2.2 การดึงคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพ (Feature Extraction) 7

2.2.1 การดึงคุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง 8

2.2.2 การดึงคุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง (Shape Feature) 10

2.2.3 การดึงคุณลักษณะสำคัญด้วย Hough Transform 12

2.2.4 เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-occurrence Matrix) 13

2.2.5 สมการคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค (Haralick's Feature) 15

2.3 การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean Distance) 16

2.4 การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน (Performance Measure) 17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการพัฒนาระบบ 18

3.1 โครงสร้างการประมวลผล 18

3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) 19

3.2.1 การปรับมาตราส่วนของภาพ 19

3.2.2 การตัดภาพ 19

3.2.3 การกำหนดขอบเขตรอยตำหนิ (Bounding Box Area) 20

3.3 การดึงคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) 23

3.3.1 การสร้างเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-occurrence Matrix) 23

3.3.2 การคำนวณสมการคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค 28

3.4 การวัดความคล้ายคลึง (Similarity Measure) 37

บทที่ 4 การทดลองและการวัดประสิทธิภาพการค้นคืน 39

4.1 ตัวอย่างภาพสำหรับการทดลอง 39

4.2 ระบบค้นคืนรูปภาพ Lucene Image Retrieval 40

4.3 ผลการทดลอง 40

4.3.1 ผลการทดลองการค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิ ด้วยตัวอย่างภาพจากกลุ่มที่ 1 40

4.3.2 ผลการทดลองการค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิ ด้วยตัวอย่างภาพจากกลุ่มที่ 2 44

4.3.3 ผลการทดลองสำหรับการปรับมาตราส่วนภาพถ่ายก่อนการค้นคืน 47

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 49

5.1 สรุปผลการออกแบบและพัฒนาระบบ 49

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 49

5.3 ข้อเสนอแนะ 50

บรรณานุกรม 51

ประวัติผู้เขียน 52

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Horizontal (0°)..........23
3.2 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Vertical (90°)............24
3.3 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Diagonal (45°)..........24
3.4 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Anti-Diagonal (135°)24
3.5 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนว Horizontal (0° และ 180°)...................25
3.6 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนว Vertical (90° และ 270°)......................25
3.7 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนว Diagonal (45° และ 225°).....................26
3.8 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนวAnti-Diagonal (135° และ 315°)..........26
3.9 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Horizontal (0° และ 180°).............27
3.10 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Vertical (90° และ 270°)...............27
3.11 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Diagonal (45° และ 225°)..............28
3.12 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°) ...28
3.13 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°)..........29
3.14 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°)..........29
3.15 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°)..........30
3.16 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°)..........30
3.17 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°)..........31
3.18 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°)..........31
3.19 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°)..........32
3.20 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°)..........32

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.21 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°) 33
3.22 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°) 33
3.23 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°) 34
3.24 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°) 34
3.25 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°) 35
3.26 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°) 35
3.27 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°) 36
3.28 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°) 36
3.29 ตารางแสดงค่าคุณลักษณะสำคัญทั้ง 4 ทิศทาง และค่าเฉลี่ยแต่ละคุณลักษณะสำคัญ 37
3.30 ตัวอย่างการคำนวณ Euclidean Distance จากคุณลักษณะสำคัญของภาพถ่ายรอยตำหนิตัวอย่างกับภาพถ่ายรอยตำหนิที่อยู่ในฐานข้อมูล 38
3.31 ตัวอย่างผลการค้นคืนเรียงลำดับตาม Euclidean Distance จากน้อยไปมาก 38

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงผลการทำ Edge Detection เพื่อหาขอบภาพ	4
2.2	แสดงผลการใช้งาน Dilation เพื่อขยายส่วนประกอบในรูปภาพ	5
2.3	แสดงผลการใช้งาน Erosion เพื่อลบส่วนประกอบในรูปภาพ	7
2.4	แสดงผลการค้นหาเส้นตรงด้วย Hough Transform	12
2.5	ตัวอย่างเซตของความสัมพันธ์ของพิกเซลในแนวราบ ระยะทาง =1 ของรูปภาพขนาด 4*4	13
2.6	แสดงตัวอย่างของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยวิธีการของ Haralick	14
3.1	โครงสร้างการประมวลผล	18
3.2	ภาพถ่ายรอยตำหนิที่มีมาตราส่วนที่ต่างกัน	19
3.3	ตัวอย่างการตัดภาพเพื่อกำจัดตัวอักษรใต้ภาพ	20
3.4	ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทำ Entropy Filter	20
3.5	ตัวอย่างการสร้างภาพขาวดำจากภาพ Entropy	21
3.6	ตัวอย่างการสร้าง Bounding Box Area โดยใช้ภาพขาวดำเป็นตัวแบบ	21
3.7	ตัวอย่างการหมุนภาพเพื่อสร้าง Bounding Box Area	22
3.8	เมตริกซ์ตัวอย่างสำหรับการกำหนดตำแหน่งพิกเซลใน Bounding Box Area	22
3.9	องค์ประกอบของ Feature Vector ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของ Contrast, Correlation, Energy และ Homogeneity	37
4.1	ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิ กลุ่มที่ 1	39
4.2	ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิ กลุ่มที่ 2	39
4.3	ระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe	40
4.4	ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 (รอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน	41
4.5	กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe	41
4.6	กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe	41
4.7	ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 (รอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน	42
4.8	กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 42

4.10 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 (รอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน 43

4.11 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 43

4.12 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 43

4.13 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 (ไม่มีรอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน 44

4.14 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 44

4.15 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 45

4.16 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 (ไม่มีรอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน 45

4.17 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 45

4.18 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 46

4.19 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 (ไม่มีรอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน 46

4.20 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe 46

4.21 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพของการค้นคืนด้วยตัวอย่างภาพที่ 3 ของกลุ่มที่ 2 47

4.22 ผลการทดลองการค้นคืนด้วยตัวอย่างภาพแบบมาตราส่วนปกติกับตัวอย่างภาพที่ผ่านการปรับมาตราส่วนก่อนการค้นคืน 48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการผลิตอุปกรณ์จานบันทึกแม่เหล็กหรือฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive) ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคือ ความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวของจานทึกข้อมูล ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพละวินิจฉัยสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหาสาเหตุของปัญหาและนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไข แต่ในปัจจุบันกระบวนการตรวจสอบและวินิจฉัยสาเหตุนั้น ยังคงอาศัยความสามารถของผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ภาพถ่ายของรอยตำหนิที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง (Optical Microscope หรือ OM) ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่งกราด (Scanning Electron Microscope หรือ SEM) ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของการอาศัยความสามารถของผู้เชี่ยวชาญ คือการใช้เวลานานในการวินิจฉัยในบางกรณีที่ไม่คุ้นเคย จึงจำเป็นต้องค้นหาภาพจากคลังข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายรอยตำหนิที่ต้องการ ซึ่งนับวันภาพถ่ายที่อยู่ในคลังข้อมูลจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

ด้วยปัญหาที่เกิดจากการค้นคืนรูปภาพจากคลังรูปภาพขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้เวลามากและอาจเกิดความผิดพลาดได้ ทำให้การวิเคราะห์และวินิจฉัยเพื่อหาสาเหตุของความผิดพลาดในการผลิตล่าช้าออกไป ส่งผลต่อการแก้ไขปัญหาที่ล่าช้า มีผลโดยตรงต่อสัดส่วนปริมาณของเสียและคุณภาพของสินค้าที่ผลิต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการ, ขั้นตอนและวิธีการของการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา (Content-Based Image Retrieval)
2. เพื่อพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพสำหรับวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพแบบ Open Source ที่มีชื่อว่า Lucene Image Retrieval หรือ LIRe

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

การค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา (Content-Based Image Retrieval) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับค้นคืนรูปภาพที่ผู้ใช้ต้องการจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการค้นคืนจะพิจารณาถึงเนื้อหาของรูปภาพ ซึ่งประกอบด้วย สี, พื้นผิว และรูปทรง ขององค์ประกอบของรูปภาพ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

โครงงานนี้ เป็นการศึกษาและพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา จากตัวอย่างภาพ โดยทำการศึกษา 1.การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) 2.การดึงคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพ (Feature Extraction) 3.การวัดค่าความเหมือนของวัตถุ (Similarity Measures) 4.การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน (Performance Measure) โดยการเปรียบเทียบระหว่างระบบค้นคืนที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ Lire

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

รายงานฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ และพื้นฐานของระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา (Content-Based Image Retrieval) ซึ่งประกอบด้วยเทคนิคการทำการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) การดึงคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) และการวัดค่าความเหมือนของวัตถุ (Similarity Measure)

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการในการพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา โดยใช้ทฤษฎีต่างๆที่ศึกษามา

บทที่ 4 กล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพที่พัฒนา พารามิเตอร์ที่ใช้และผลที่ได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพที่พัฒนา กับระบบค้นคืนรูปภาพ Lire เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถที่ช่วยให้ระบบการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการค้นคืนรูปภาพ และเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา (Content-Based Image Retrieval)
2. ระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา ที่สามารถค้นคืนรูปภาพรอยตำหนิที่อยู่ในฐานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบวินิจฉัยสาเหตุการเกิดรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์แบบอัตโนมัติ

บทที่ 2

ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้อง

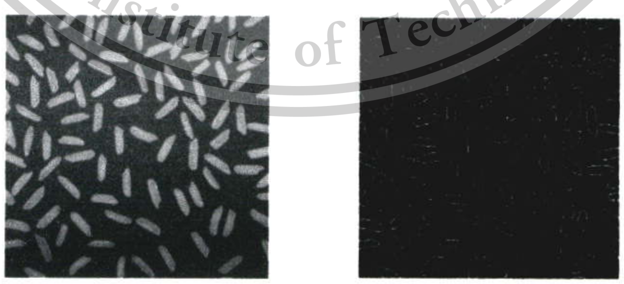
ในบทนี้ จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาและพื้นฐานของการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา เช่น เทคนิคที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) และเทคนิคการดึงคุณลักษณะสำคัญของรูป (Feature Extraction) เป็นต้น เนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและการวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพ

2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing)

การประมวลผลภาพเบื้องต้น(Preprocessing) คือ กระบวนการในการปรับแต่งหรือกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อให้ภาพที่ได้มาเป็นภาพที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประมวลผลในขั้นต่อไป และส่วนใหญ่จำเป็นต้องใช้ หลายๆวิธีการประกอบกัน ดังนี้

2.1.1 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการที่เรียกว่า เซกเมนเทชั่น (Segmentation) ซึ่งจะทำการแบ่ง และระบุพื้นที่แต่ละพื้นที่ที่มีลักษณะต่างๆกัน โดยวัตถุต่างๆจะถูกแยกจากกันด้วยขอบภาพ ขอบภาพ คือ การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันหรือการเกิดความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ของความเข้มแสง ดังนั้นการหาขอบภาพ คือ การระบุถึงตำแหน่งของพิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงของของความเข้มดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปของเส้นพรมแดนระหว่างพื้นที่ต่างๆ ตัวดำเนินการที่ใช้สำหรับการหาขอบภาพ ได้แก่ Sobel Operator, Canny Operator, Prewitt Operator, LoG Operator เป็นต้น



(ก) (ข)

รูปที่ 2.1 แสดงผลการทำ Edge Detection เพื่อหาขอบภาพ (Gonzalez, Rafael C. 2002)

(ก) ภาพต้นฉบับก่อนการทำ Edge Detection

(ข) ภาพที่ผ่านการทำ Edge Detection

การหาขอบภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาขอบของวัตถุต่างๆในภาพ เพื่อทำให้เห็นถึงลักษณะรูปร่าง และขอบเขตของรอยตำหนิ ได้อย่างชัดเจน

2.1.2 การขยายขนาดขององค์ประกอบรูปภาพ (Dilation)

การขยายขนาดขององค์ประกอบในรูปภาพ เป็นเทคนิคการเพิ่มข้อมูลภาพบริเวณขอบของวัตถุหรือองค์ประกอบ (Component) ในรูปภาพ สามารถทำได้โดยการสร้างหน้ากากขึ้นแล้วนำหน้ากากไปสแกนบนข้อมูลภาพ

กำหนดเซต A และ B คือ เซตของจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 ในรูปภาพขาวดำ การทำ Dilation ของ A โดย B สามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ $A \oplus B$ และกำหนดนิยามดังนี้

$$A \oplus B = \left\{ z \mid [(\hat{B})_z \cap A] \subseteq A \right\} \tag{2.1}$$

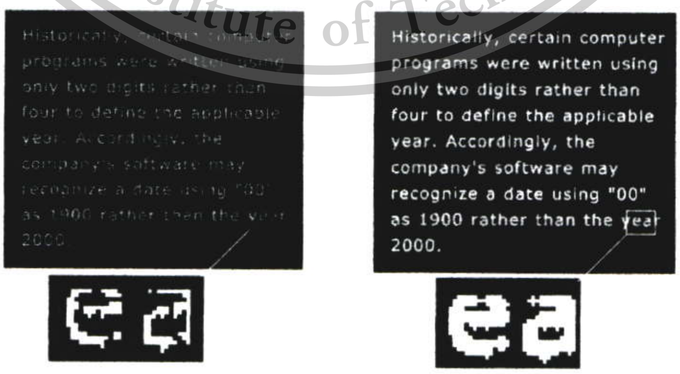
กำหนดให้

A คือ รูปภาพที่ต้องการทำ Dilation

B คือ หน้ากาก หรือ Structure Element (SE)

z คือ เซตของจุดบนรูปภาพ

จากนิยามสามารถทำ Dilation ได้โดยเลื่อนหน้ากาก B ไปที่ละจุดบนรูปภาพ พร้อมกับตรวจสอบว่าขณะที่จุดเริ่ม (Origin) ของหน้ากากตรงกับตำแหน่งข้อมูลภาพที่พิกเซลมีค่าเท่ากับ 1 นั้นก็จะทำการยูเนียนหน้ากากนี้เข้ากับข้อมูลภาพ วัตถุที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพหลังจากผ่านการทำ Dilation จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นจึงเปรียบการทำ Dilation เหมือนการทับถมวัตถุต่างๆในรูปภาพให้ใหญ่ขึ้นนั่นเอง



(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 แสดงผลการใช้งาน Dilation เพื่อขยายส่วนประกอบในรูปภาพ

(Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E. 2002)

(ก) รูปภาพขาวดำของตัวอักษรที่มีความละเอียดต่ำและขาดช่วง

(ข) รูปภาพที่ผ่านการ Dilation ตัวอักษรที่ขาดช่วงได้รับการเชื่อมต่อ

การขยายขนาดขององค์ประกอบรูปภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อขยายเส้นขอบของรอยตำหนิที่ขาดหายไปจากกระบวนการอื่นทำให้ได้ขอบภาพที่ต่อเนื่องและชัดเจนมากขึ้น

2.1.3 การลดขนาดขององค์ประกอบรูปภาพ (Erosion)

การลดขนาดขององค์ประกอบในรูปภาพ เป็นเทคนิคการลบข้อมูลภาพบริเวณขอบของวัตถุหรือองค์ประกอบ(Component) ในรูปภาพ สามารถทำได้โดยการสร้างหน้ากากขึ้นแล้วนำหน้ากากไปสแกนบนข้อมูลภาพ

กำหนดเซต A และ B คือ เซตของจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 ในรูปภาพขาวดำ การทำ Erosion ของ A โดย B สามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ $A \theta B$ และกำหนดนิยามดังนี้

$$A \theta B = \{ z \mid (B)_z \subseteq A \} \tag{2.2}$$

กำหนดให้

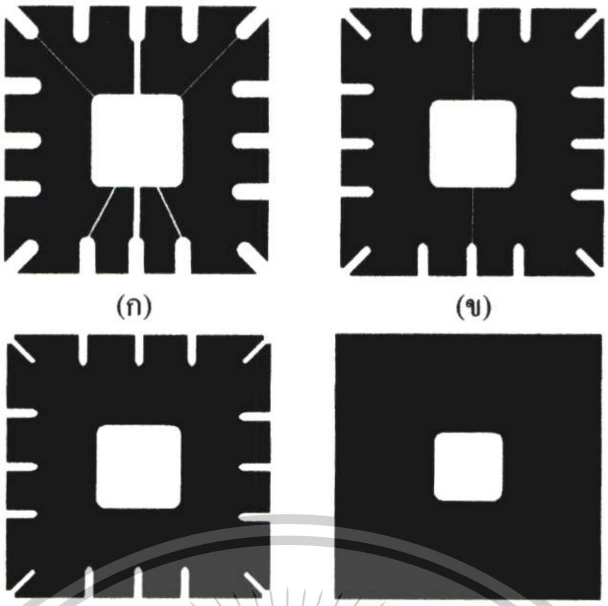
A คือ รูปภาพที่ต้องการทำ Erosion

B คือ หน้ากาก หรือเรียกว่า Structure Element (SE)

z คือ เซตของจุดบนรูปภาพ

จากนิยามสามารถทำ Erosion ได้โดยเลื่อนหน้ากาก B ไปทีละจุดบนรูปภาพ พร้อมกับตรวจสอบว่าข้อมูลภายในหน้ากากเป็นซับเซตของรูปภาพภายในหน้ากากหรือไม่ ถ้า B เป็นซับเซตของรูปภาพภายในหน้ากากแล้ว ให้กำหนดจุดกึ่งกลางของรูปภาพผลลัพธ์มีค่าเป็น 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า วัตถุที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพหลังจากผ่านการทำ Erosion จะมีขนาดเล็กลง หรืออาจสูญหายไปเลยก็ได้ ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นจึงเปรียบการทำ Erosion เหมือนการกัดกร่อนวัตถุต่างๆในรูปภาพให้เล็กลงนั่นเอง

การลดขนาดขององค์ประกอบรูปภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดรอย Marker และรอยสิ่งรบกวน (Noise) เล็กๆน้อยๆที่ปรากฏอยู่ในภาพในขั้นตอนของการทำ Preprocessing



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 2.3 แสดงผลการใช้งาน Erosion เพื่อลบส่วนประกอบในรูปภาพ
(Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E. 2002)
(ก) รูปภาพขาวดำของ Wire bond mask
(ข) รูปภาพที่ผ่านการ Erosion ด้วย SE แบบ square ขนาด 11*11
(ค) รูปภาพที่ผ่านการ Erosion ด้วย SE แบบ square ขนาด 15*15
(ง) รูปภาพที่ผ่านการ Erosion ด้วย SE แบบ square ขนาด 45*45

2.2 การดึงคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพ (Feature Extraction)

การดึงคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพ (Feature Extraction) เป็นขั้นตอนหรือกระบวนการในการดึงคุณลักษณะสำคัญหรือคุณลักษณะเด่นของรูปภาพแต่ละรูปออกมา คุณลักษณะสำคัญนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ คุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง (Brightness and Color Feature), คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง (Shape Feature) และคุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย (Texture Feature) ซึ่งคุณลักษณะสำคัญแต่ละประเภทก็ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญต่างๆ มากมาย โดยแต่ละคุณลักษณะสำคัญจะมีความสามารถในการอธิบายลักษณะเฉพาะของรูปภาพที่แตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่ารูปภาพที่เหมือนกันหรือมีลักษณะที่คล้ายกันก็จะมีกลุ่มของค่าคุณลักษณะสำคัญที่คล้ายกันด้วย ดังนั้นสำหรับการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาก็อาศัยการเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพที่กำลังพิจารณากับรูปภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลภาพ

2.2.1 การดึงคุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง (Brightness and Color Feature)

คุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง เป็นคุณลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสีและความสว่างของรูปภาพ ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

1. Histogram Probability : $P(g)$

Histogram เป็นแบบจำลองเชิงสถิติเพื่อใช้อธิบายถึงความน่าจะเป็นของการกระจายตัวของความเข้มแสงแบบหลายระดับ (Gray Level) ที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งจะทำให้เราทราบถึงลักษณะเฉพาะบางประการของภาพนั้น

$$P(g) = \frac{N(g)}{M} \tag{2.3}$$

กำหนดให้

M	คือ จำนวนของพิกเซลทั้งหมดในภาพถ่าย
g	คือ ค่าความเข้มแสงหลายระดับที่พิกเซลใดๆ(Intensity)
$N(g)$	คือ จำนวนของพิเซลที่มีความเข้มแสง เท่ากับ g

2. Mean (Average) Intensity : $\overline{g}$

Mean Intensity เป็นค่าตัวเลขที่บอกถึงลักษณะของค่าความสว่างเฉลี่ยของรูปภาพ โดยรูปภาพที่มีค่า Mean Intensity สูง แสดงว่ารูปภาพนั้นอยู่ในโทนสว่าง และหากรูปภาพมีค่า Mean Intensity ต่ำ แสดงว่ารูปภาพนั้นอยู่ในโทนมืด

$$\overline{g} = \sum_r \sum_c \frac{I(r,c)}{M} \tag{2.4}$$

กำหนดให้

$I(r,c)$	คือ ค่าความเข้มแสงที่พิกเซล (r,c)
r	คือ ตำแน่งในแนวแถว (Row)
c	คือ ตำแหน่งในแนวหลัก (Column)
M	คือ จำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพถ่าย

3. Standard Deviation : σ

Standard Deviation หรือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงการกระจายตัวของข้อมูลในภาพ โดยรูปภาพที่มีค่า Standard Deviation สูง แสดงว่ารูปภาพนั้นมีรายละเอียดหรือลวดลายมาก และหากรูปภาพมีค่า Standard Deviation ต่ำ แสดงว่ารูปภาพนั้นเป็นรูปภาพแบบพื้นๆ ไม่มีลวดลายมากนัก

$$\sigma = \sqrt{\sum_{g=1}^{L}(g-\bar{g})^2 \cdot P(g)} \tag{2.5}$$

กำหนดให้

L คือ จำนวนค่าความเข้มแสงทั้งหมดที่เป็นไป ได้โดยไม่ซ้ำกัน

g คือ ค่าความเข้มแสงหลายระดับใดๆ(Intensity)

$\bar{g}$ คือ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย (Mean Intensity)

$P(g)$ คือ Histogram Probability

4. Skew

Skew เป็นค่าตัวเลขที่ใช้วัดความไม่สมมาตร สิ่งที่ได้จะบอกเกี่ยวกับการกระจายตัวของความเข้มแสง (Gray Level Intensity) ในภาพถ่าย

$$Skew = \frac{\bar{g} - \text{mod}}{\sigma} \tag{2.6}$$

กำหนดให้

mod คือ ค่ามัธยฐาน

$\bar{g}$ คือ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย (Mean Intensity)

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5. RGB Color Space Ratio : $ColorRatio(C)$

Color Ratio เป็นค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงสัดส่วนของแต่ละสี (แดง, เขียว, น้ำเงิน) ที่อยู่ในภาพถ่ายเมื่อเทียบกับทุกสีรวมกัน

$$ColorRatio(C) = \frac{\bar{g}(C)*100}{\bar{g}(R)+\bar{g}(G)+\bar{g}(B)} \tag{2.7}$$

กำหนดให้

C คือ สีที่พิจารณา (R,G,B)

$\bar{g}(R)$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของสีแดง

$\bar{g}(G)$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของสีเขียว

$\bar{g}(B)$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของสีน้ำเงิน

2.2.2 การดึงคุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง (Shape Feature)

คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง เป็นคุณลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างหรือลักษณะทางกายภาพของวัตถุในรูปภาพ ซึ่งพิจารณาจากพิกเซลที่ประกอบกันเป็นรูปวัตถุ โดยสามารถหาค่าคุณลักษณะสำคัญได้จากค่าดังต่อไปนี้ ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

1. เส้นรอบวง (Perimeter)

เป็นการหาระยะทางเส้นรอบวงของวัตถุ โดยพิจารณาจากจำนวนของพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ หากการเชื่อมต่อกับพิเซลข้างเคียงในแนวราบหรือแนวดิ่งให้กำหนดค่าเป็น 1 หน่วย และการเชื่อมต่อในแนวทะแยงมุมให้กำหนดค่าเป็น 1.414 หน่วย

2. พื้นที่ (Area)

เป็นการหาพื้นที่ภายในของวัตถุ โดยพิจารณาจากจำนวนของพิกเซลที่อยู่ภายในวัตถุและพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุด้วย

3. Roundness

เป็นการหาอัตราส่วนความโค้งมนหรือความกลมของวัตถุ โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นวัตถุจะมีลักษณะกลมอย่างสมบูรณ์ เมื่อ Roundness = 1 และวัตถุจะมีลักษณะค่อยๆเพี้ยนไปจากวงกลม เมื่อ Roundness เริ่มลดค่าจาก 1 จนเป็น 0

$$Roundness = \frac{4\pi \cdot Area}{Perimeter^2} \tag{2.8}$$

4. Major Axis Length

เป็นการหาระยะทางระหว่าง 2 พิกเซล ที่มีระยะห่างกันมากที่สุด ที่สามารถลากผ่านภายในวัตถุได้เมื่อพิจรณาจากทุกๆพิกเซลที่ประกอบกันเป็นขอบของวัตถุ

$$MajorAxisLength = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{2.9}$$

กำหนดให้

$(x_i, y_i) and (x_j, y_j)$ คือจุดปลายทั้ง 2 ด้านของแกนหลัก

5. Major Axis Angle

เป็นการหามุมระหว่างแนวแกนหลักกับแนวแกน X ซึ่งจะมีค่า 0- 360 องศา

$$MajorAxisAngle = \tan^{-1}\left(\frac{(y_i - y_j)}{(x_i - x_j)}\right) \tag{2.10}$$

กำหนดให้

$(x_i, y_i) and (x_j, y_j)$ คือจุดปลายทั้ง 2 ด้านของแกนหลัก

6. Elongation

เป็นการหาอัตราส่วนการยืดตัวของวัตถุ โดยกำหนดให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้น วัตถุจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือวงกลม เมื่อ Elongation = 1 และวัตถุจะมีรูปร่างค่อยๆยืดออก เมื่อ Elongation เริ่มลดค่าจาก 1 จนเป็น 0

$$Elongation = \frac{MinorAxisLength}{MajorAxisLength} \tag{2.11}$$

7. Bounding Box Area(BBA)

เป็นการหาพื้นที่ภายในกรอบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่จุดปลายของแกนหลักและแกนรองสัมผัสกับกรอบสี่เหลี่ยมอย่างพอดี

$$BBA = MajorAxisLength * MinorAxisLength \tag{2.12}$$

8. Center of Mass(Centroid)

เป็นการหาตำแหน่งของพิกเซลที่เป็นจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ

$$X = \frac{\sum x - pixel}{Number\ of\ all\ pixel} \tag{2.13}$$

$$Y = \frac{\sum y - pixel}{Number\ of\ all\ pixel} \tag{2.14}$$

กำหนดให้

(X, Y) คือ พิกเซลที่เป็นจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ

$x - pixel$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลในแกน X

$y - pixel$ คือ ตำแหน่งของพิกเซลในแกน Y

2.2.3 การดึงคุณลักษณะสำคัญด้วย Hough Transform

Hough Transform เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจดจำวัตถุในรูปแบบต่างๆ เช่น เส้นตรง วงกลม วงรี โดยสมการที่ใช้ในการหาเส้นตรง (Straight Line Hough Transform) คือ

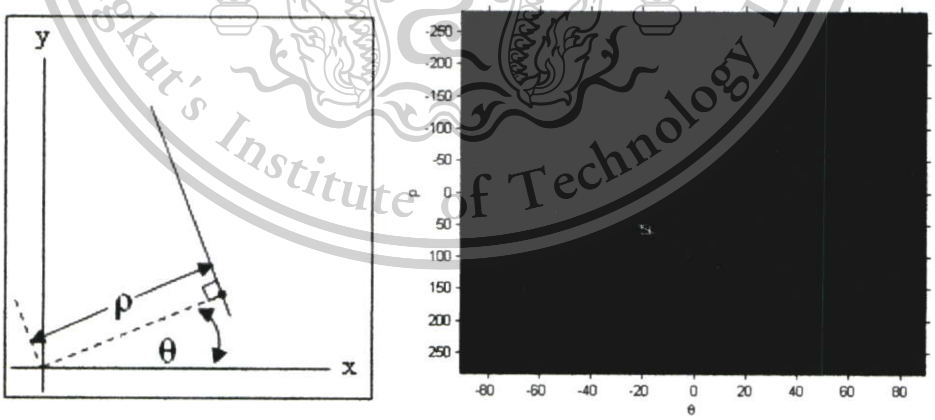
$$x\cos\theta + y\sin\theta = \rho \qquad (2.15)$$

กำหนดให้

ρ คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงเส้นตรง

θ คือมุมระหว่าง ρ กับแนวแกน x

เมื่อกำหนดจุดของค่า ρ และ θ สำหรับทุกๆ ค่า x และ y ที่เป็นไปได้แล้ว จะได้เป็นภาพในรูปของฮัฟสเปซ (Hough Space) โดยฮัฟสเปซสามารถระบุค่าที่เป็นค่าสูงสุด (Local Maxima) ที่มีอยู่ได้ ซึ่งจุดนั้นจะ เป็นจุดที่เส้นตรงอยู่นั่นเอง



(ก) (ข)

รูปที่ 2.4 แสดงผลการค้นหาเส้นตรงด้วย Hough Transform

(ก) ภาพการคำนวณคุณลักษณะของเส้นตรง (ρ, θ)

(ข) ภาพ Hough Space แสดง Local Maxima

Hough Transform สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหา จำนวน ตำแหน่งและทิศทางของเส้นตรง ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญประเภทหนึ่งของรูปภาพรอยตำหนิ

2.2.4 เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-occurrence Matrix)

Co-occurrence Matrix คือ เมตริกซ์ที่แสดงความถี่ของความสัมพันธ์ ของค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนความเข้มแสงของพิกเซลที่กำลังพิจารณา (i) กับพิกเซลที่อยู่ติดกัน (j) ด้วยระยะห่าง (d) โดยงานวิจัยนี้พิจารณาที่ $d = 1$ในทิศทาง (θ) ซึ่งเกิดขึ้นได้ทั้ง 8 ทิศทาง สามารถเขียนในรูปแบบดังนี้ $P(i, j, d, \theta)$ แต่เราสามารถพิจารณาเพียง 4 ทิศทาง และคำนวณ 4 ทิศทางที่เหลือจากส่วนกลับของ 4 ทิศทางแรก (R. M. Haralick. 1979)

(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)
(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)
(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)
(4,1)	(4,2)	(4,3)	(4,4)

Lr = {1, 2, 3, 4}

Lc = {1, 2, 3, 4}

$$R_H = \{((k,l),(m,n)) \in (L_y \times L_x) \times (L_y \times L_x) \mid k - m = 0, |l - n| = 1\}$$
$$= \{((1,1),(1,2)), ((1,2),(1,1)), ((1,2),(1,3)), ((1,3),(1,2)), ((1,3),(1,4)), ((1,4),(1,3)),$$
$$((2,1),(2,2)), ((2,2),(2,1)), ((2,2),(2,3)), ((2,3),(2,2)), ((2,3),(2,4)), ((2,4),(2,3)),$$
$$((3,1),(3,2)), ((3,2),(3,1)), ((3,2),(3,3)), ((3,3),(3,2)), ((3,3),(3,4)), ((3,4),(3,3)),$$
$$((4,1),(4,2)), ((4,2),(4,1)), ((4,2),(4,3)), ((4,3),(4,2)), ((4,3),(4,4)), ((4,4),(4,3))\}$$

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเซตของความสัมพันธ์ของพิกเซล ในแนวราบ ระยะทาง =1 ของรูปภาพขนาด 4*4

การคำนวณจำนวนครั้งของการเกิดร่วมของความสัมพันธ์ ระหว่างพิกเซลที่กำลังพิจารณากับพิเซลข้างเคียงที่มีระยะห่างเท่ากับ 1 และมีช่วงห่างของมุม (Interval) เท่ากับ 45 องศา สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P(i,j,d,0°) &= \#\{((k,l),(m,n) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\ &\quad k - m = 0, \quad |l - n| = d, \\ &\quad I(k,1) = i, \quad I(m,n) = j\} \end{aligned} \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned} P(i,j,d,45°) &= \#\{((k,l),(m,n) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\ &\quad k - m = d, \quad l - n = -d \\ &\quad or(k - m = -d), \quad l - n = d, \\ &\quad I(k,1) = i, \quad I(m,n) = j\} \end{aligned} \tag{2.18}$$

$$P(i,j,d,90°) = \#\{((k,l),(m,n) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\ |k-m| = d, \quad l-n=0, \\ I(k,1)=i, \quad I(m,n)=j\} \tag{2.19}$$

$$P(i,j,d,135°) = \#\{((k,l),(m,n) \in (L_r \times L_c) \times (L_r \times L_c) \\ (k-m=d, \quad l-n=d) \\ or(k-m=-d), \quad l-n=-d, \\ I(k,1)=i, \quad I(m,n)=j\} \tag{2.20}$$

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

(ก)

#(0,0)	#(0,2)	#(0,2)	#(0,3)
#(1,0)	#(1,1)	#(1,2)	#(1,3)
#(2,0)	#(2,1)	#(2,2)	#(2,3)
#(3,0)	#(3,1)	#(3,2)	#(3,3)

(ข)

$$P(i,j,1,0^{o}) = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

(ค)

$$P(i,j,1,45^{o}) = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 10 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(ง)

$$P(i,j,1,90^{o}) = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

(ข)

$$P(i,j,1,135^{o}) = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 10 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(ฉ)

รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์โดยวิธีการของ Haralick

(ก) ตัวอย่างเมตริกซ์สำหรับการแบ่งช่วงความเข้มแสง 4 ระดับ

(ข) รูปแบบมาตรฐานของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ $P(i,j,d,\theta)$

(ค) Co-occurrence Matrix ที่ $(d,\theta) = (1,0°)$

(ง) Co-occurrence Matrix ที่ $(d,\theta) = (1,45°)$

(ข) Co-occurrence Matrix ที่ $(d,\theta) = (1,90°)$

(ฉ) Co-occurrence Matrix ที่ $(d,\theta) = (1,135°)$

เมื่อได้เมตริกซ์ร่วมสมมาตรทั้ง 4 ทิศทางแล้ว ก็เข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์แบบสมมาตร(Symmetrical Matrix) เพื่อให้ได้ข้อมูลความสัมพันธ์ ทั้ง 8 ทิศทางและการปรับให้เป็นเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์มาตรฐาน หรือการทำ Normalization ซึ่งจะได้ Probability Co-occurrence Matrix ที่จะนำไปใช้คำนวณคุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย

$$Symmetrical\ Matrix = Count\ Matrix + Count\ Matrix^{T} \tag{2.21}$$

$$Pobability\ Co-occurrence\ Matrix = \frac{Symmetrical\ Matrix}{Sum\ of\ Element} \tag{2.22}$$

2.2.5 สมการคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค (Haralick's Features)

สมการแสดงคุณลักษณะสำคัญ เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณคุณลักษณะเด่นในรูปแบบต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสมการแสดงคุณลักษณะของฮาราลิค ซึ่งเป็นสมการที่เป็นที่นิยมและมีประสิทธิภาพ ในการแยกแยะรูปแบบต่างๆของลวดลาย ดังนี้ (R. M. Haralick. 1979)

$$\text{Contrast (Inertia)} = \sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-j)^2 C(i,j) \tag{2.23}$$

$$\text{Correlation} = \frac{\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-\mu_i)(j-\mu_j)C(i,j)}{\sigma_i\sigma_j} \tag{2.24}$$

$$\text{Energy (Angular Second Moment)} = \sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}C(i,j)^2 \tag{2.25}$$

$$\text{Homogeneity} = \sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{C(i,j)}{1+|i-j|} \tag{2.26}$$

กำหนดให้

$C(i,j)$ คือ ค่าของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่ตำแหน่ง (i,j) ในเมตริกซ์ C

Ng คือ ค่าสูงสุดในเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ C

$$\mu_i = \sum_{i=1}^{Ng} i \sum_{j=1}^{Ng} C(i,j)$$

$$\mu_j = \sum_{j=1}^{Ng} j \sum_{i=1}^{Ng} C(i,j)$$

$$\sigma_i = \sum_{i=1}^{Ng}(i-\mu_i)^2 C(i,j)$$

$$\sigma_j = \sum_{j=1}^{Ng}(j-\mu_j)^2 C(i,j)$$

จากคุณสมบัติของเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์นั้นใน 1 ภาพเราสามารถสร้างเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่แสดงความสัมพันธ์ 8 ทิศทาง เป็นเมตริกซ์ 4 เมตริก และสามารถคำนวณค่าตามสมการได้ถึง 4 สมการ สมการละ 4 ชุดจาก 4 เมตริกซ์ แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาใช้งานต่อไป

2.3 การวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean Distance)

การวัดระยะแบบยูคลิด(Euclidean Distance) เป็นวิธีการคำนวณค่าความเหมือนของวัตถุ 2 ชิ้น โดยพิจารณาจากกลุ่มของคุณลักษณะสำคัญ (Feature Vector) ของวัตถุนั้น ค่าความเหมือนที่คำนวณได้นั้นจะถูกแทนค่าในลักษณะของระยะทาง และระยะทางที่ได้จะมีค่าแปรผันแบบผกผันกับความคล้ายคลึงกันของวัตถุ (Similarity) กล่าวคือ ถ้าค่า Euclidean Distance ของวัตถุ 2 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าวัตถุ 2 ชิ้นนั้นมีลักษณะเหมือนกันหรือมีคุณลักษณะสำคัญเท่ากันทุกประการ แต่ถ้าค่า Euclidean Distance มีค่าเริ่มมากกว่า 0 แสดงว่าวัตถุ 2 ชิ้นที่กำลังพิจารณานั้น เริ่มมีค่าคุณลักษณะสำคัญต่างกันออกไป, มีความเหมือนกันน้อยลงหรือเริ่มต่างกันมากขึ้นนั่นเอง

$$D(A,B) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} |a_i - b_i|^2} \tag{2.27}$$

กำหนดให้

$D(A,B)$	คือ ค่าระยะยูคลิด(Euclidean Distance)
A	คือ วัตถุชิ้นที่ 1
B	คือ วัตถุชิ้นที่ 2
a_i	คือ คุณลักษณะสำคัญตัวที่ i ของวัตถุ a
b_i	คือ คุณลักษณะสำคัญตัวที่ i ของวัตถุ b
i	คือ ลำดับของคุณลักษณะสำคัญของวัตถุ มีค่าตั้งแต่ 1- n
n	คือจำนวนของคุณลักษณะสำคัญที่อยู่ใน Feature Vector

การวัดระยะแบบยูคลิด สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเปรียบเทียบว่ารูปภาพรอยตำหนิที่อยู่ในฐานข้อมูลแต่ละรูปมีลักษณะที่เหมือนกับรูปภาพรอยตำหนิตัวอย่างมากน้อยเพียงใด

2.4 การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน (Performance Measure)

ประสิทธิภาพการค้นคืน คือความสามารถในการค้นคืนข้อมูลของระบบและเป็นข้อมูลที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ระบบ โดยค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการค้นคืนข้อมูลที่รู้จักและนิยมใช้กันมากที่สุดนั้น คือ Precision และ Recall นอกจากนี้ยังมีค่าอื่นที่ถูกนำเสนอเพื่อวัดประสิทธิภาพการค้นคืนข้อมูล คือ Error Rate. (Hwang. et al 1999), Retrieval Efficiency. (Muller and Rigoll. 1999) และ Fall Out

1. Precision คือคือค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าระบบสามารถค้นคืนรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างออกมาได้จำนวนเท่าไหร่ เมื่อเทียบกับจำนวนรูปภาพที่ค้นคืนได้ทั้งหมด

$$precision = \frac{No.relevant\ images\ retrieved}{Total\ No.images\ retrieved} \qquad (2.28)$$

2. Recall คือค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าระบบสามารถค้นคืนรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างออกมาได้จำนวนเท่าไหร่ เมื่อเทียบกับจำนวนรูปภาพที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลภาพ

$$recall = \frac{No.relevant\ images\ retrieved}{Total\ No.relevant\ images\ in\ database} \qquad (2.29)$$

ตัวอย่างการคำนวณ Precision และ Recall

กำหนดให้

1. รูปภาพทั้งหมดในฐานข้อมูลภาพมีจำนวน 100 ภาพ
2. รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับภาพตัวอย่างมีจำนวน 30 ภาพ
3. ผลลัพธ์การค้นคืนมีจำนวน 20 ภาพ

ผลการค้นคืน

1. รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างมีจำนวน 15 ภาพ
2. รูปภาพที่ไม่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างมีจำนวน 5 ภาพ

ผลการคำนวณ

1. Precision = 15/20 = 0.75
2. Recall = 15/30 = 0.5

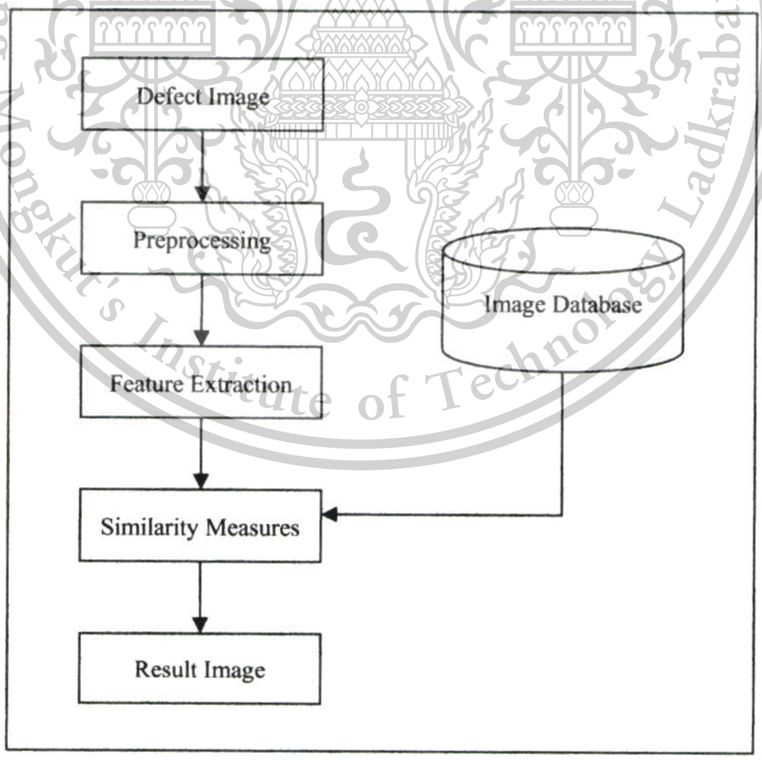
การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นว่ามีความถูกต้อง และมีประสิทธิภาพหรือไม่

บทที่ 3
ขั้นตอนและวิธีการพัฒนาระบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีที่ได้นำเสนอแล้วในบทที่2 มาใช้งานจริง โดยมุ่งเน้นที่แนวคิดการออกแบบโครงสร้างการประมวลผล เพื่อให้ได้ระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่มีประสิทธิภาพ

3.1 โครงสร้างการประมวลผล

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงขั้นตอนการทำงานโดยรวมของการค้นคืนภาพโดยเนื้อหา ที่ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนสำคัญ คือ การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing), การดึงคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) และการหาค่าความคล้ายคลึง (Similarity Measure) จากรูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างการประมวลผลทั้งหมดของระบบ เมื่อผ่านการประมวลผลทั้งหมดแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากค้นคืน คือรูปภาพและข้อมูลของรอยตำหนิในฐานข้อมูล ที่มีคุณลักษณะสำคัญใกล้เคียงกับคุณลักษณะสำคัญของภาพรอยตำหนิตัวอย่างมากที่สุด

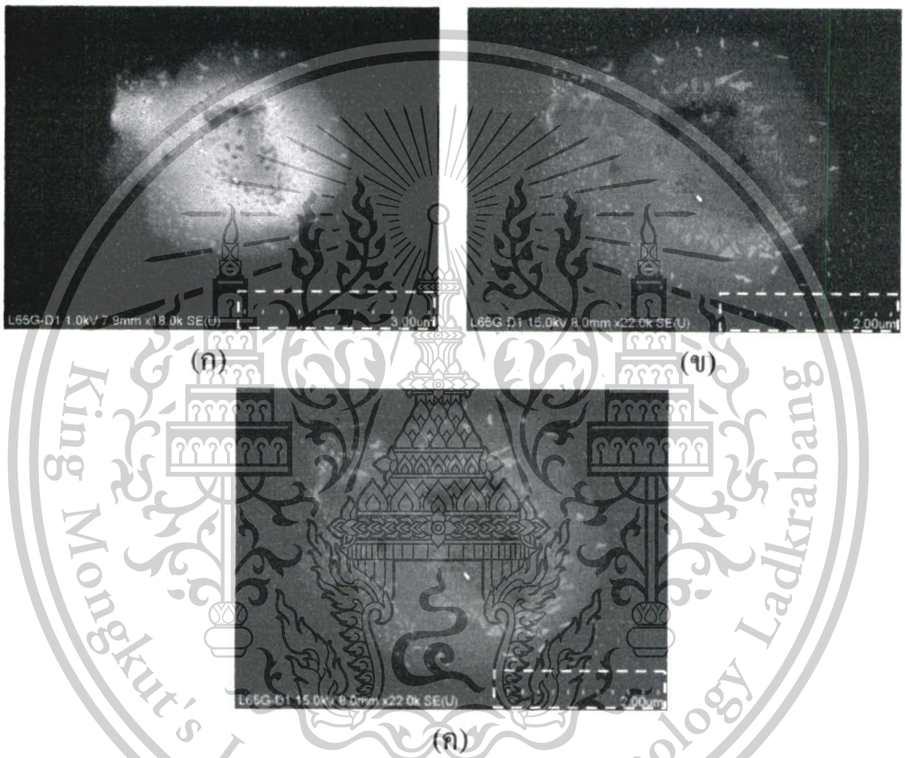


รูปที่ 3.1 โครงสร้างการประมวลผล

3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing)

3.2.1 การปรับมาตราส่วนของภาพ

มาตราส่วน (Scale) คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดบนภาพถ่ายเมื่อเทียบกับขนาดของรอยตำหนิจริงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวฮาร์ดดิสก์ แต่เนื่องจากการถ่ายภาพรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในหนึ่งรอยจะมีการถ่ายในรูปแบบและกำลังขยายที่ต่างกัน ดังรูปที่ 3.2 ส่งผลให้แต่ละภาพมีมาตราส่วนที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นเพื่อให้การประมวลผลภาพเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการปรับภาพของรอยตำหนิให้มีมาตราส่วนเดียวกัน



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายรอยตำหนิที่มีมาตราส่วนที่ต่างกัน

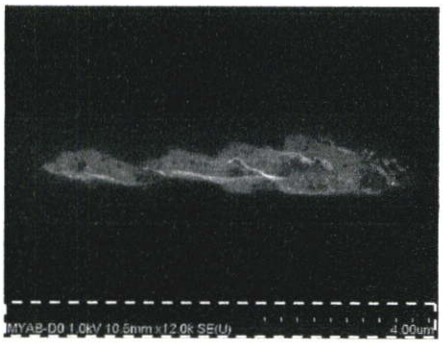
(ก) ภาพมาตราส่วน 25 Pixel: 3 Micron (1 Pixel: 0.12 Micron)

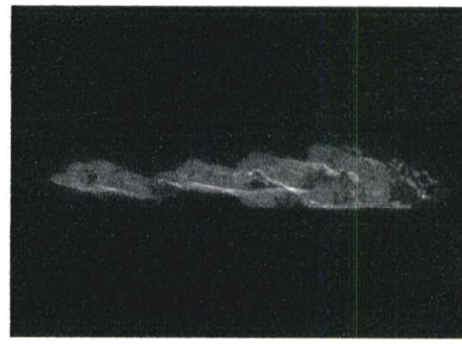
(ข) ภาพมาตราส่วน 20 Pixel: 2 Micron (1 Pixel: 0.10 Micron)

(ค) ภาพ (ข) เมื่อผ่านการปรับมาตราส่วนให้เท่ากับ ภาพ (ก)

3.2.2 การตัดภาพ

เนื่องจากภาพของรอยตำหนิที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด หรือภาพ SEM นั้นประกอบด้วยส่วนของรูปรอยตำหนิ และตัวอักษรที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของภาพนั้น คือ Detail of Sample, Accelerating Voltage, Working Distance, Magnification, Type of Detector and Scale ดังนั้นก่อนการประมวลผลภาพ ต้องกำจัดส่วนของข้อมูลต่างๆออกให้หมดด้วยการตัดภาพ (Crop Image)





(ก) (ข)

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการตัดภาพเพื่อกำจัดตัวอักษรใต้ภาพ

(ก) ภาพรอยตำหนิที่ได้จากกล้อง SEM

(ข) ภาพรอยตำหนิที่ผ่านการตัดภาพเพื่อกำจัดตัวอักษรใต้ภาพ

3.2.3 การกำหนดขอบเขตรอยตำหนิ (Bounding Box Area)

การค้นหาและกำหนดขอบเขตรอยตำหนิ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากการดึงคุณลักษณะเด่นของรอยตำหนิ (ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) จะมีประสิทธิภาพหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่กำลังพิจารณาว่ามีองค์ประกอบอื่นนอกจากรอยตำหนิอยู่มากน้อยแค่ไหน หากสามารถกำหนดให้พิจารณาคุณลักษณะสำคัญเฉพาะบริเวณที่เป็นรอยตำหนิเท่านั้น คุณลักษณะสำคัญที่ได้เหล่านั้นก็มีคุณภาพมากขึ้นด้วย

การกำหนดขอบเขตรอยตำหนิ มีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า Entropy ของภาพเพื่อกำหนดบริเวณอย่างคร่าวๆ ด้วยการทำ Entropy Filter บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงของพื้นผิวมากก็จะมีค่า Entropy สูงกว่า นั่นแสดงว่าบริเวณที่เป็นตัวรอยตำหนิจะมีค่า Entropy สูงกว่าบริเวณพื้นผิว

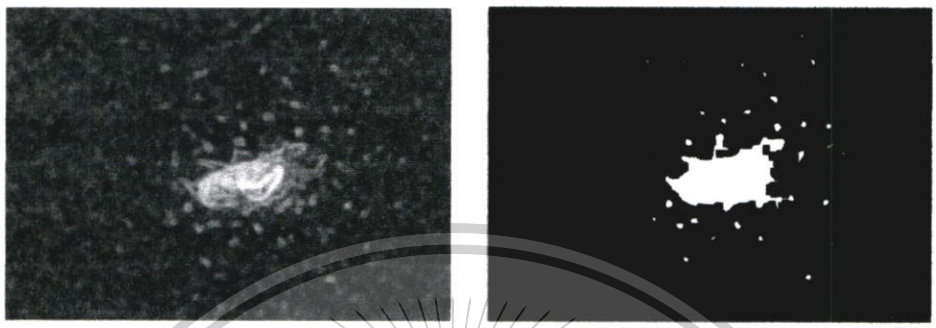
(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างภาพที่ได้จากการทำ Entropy Filter

(ก) ภาพรอยตำหนิตัวอย่าง (gray scale)

(ข) ภาพรอยตำหนิที่ผ่านการทำ Entropy Filter

2. นำภาพที่ได้จากการทำ Entropy Filter มาหาบริเวณของรอยตำหนิซึ่งประกอบด้วยด้วยกระบวนการ Morphological (Opening and Closing) และ Region Filling ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถแบ่งพื้นที่ของรอยตำหนิและพื้นหลังออกจากกันในลักษณะภาพขาวดำได้



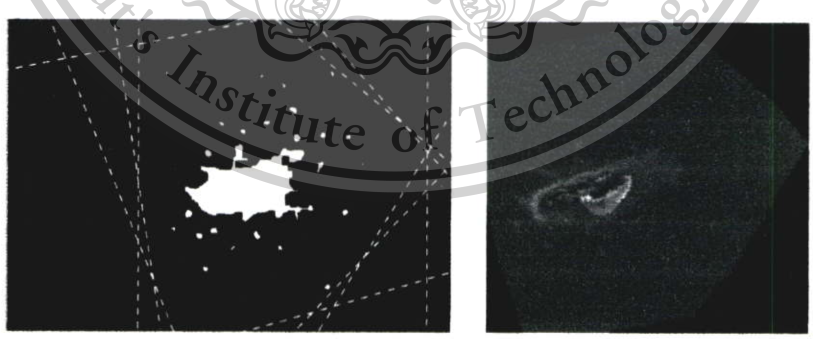
(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการสร้างภาพขาวดำจากภาพ Entropy

(ก) ภาพถ่ายรอยตำหนิที่ผ่านการทำ Entropy Filter

(ข) ภาพขาวดำที่ได้จากภาพ Entropy

3. สร้าง Bounding Box Area ของรอยตำหนิโดยการนำภาพที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาเป็นเทมเพลท เพื่อกำหนดเส้นหรือตำแหน่งของพิกเซล ทั้งในแนวตั้งและแนวนอนที่สามารถล้อมกรอบวัตถุสีขาวได้ทั้งหมด ในทุกๆค่ามุม 10 องศา และนำไปกำหนดตำแหน่งบนภาพรอยตำหนิจริง

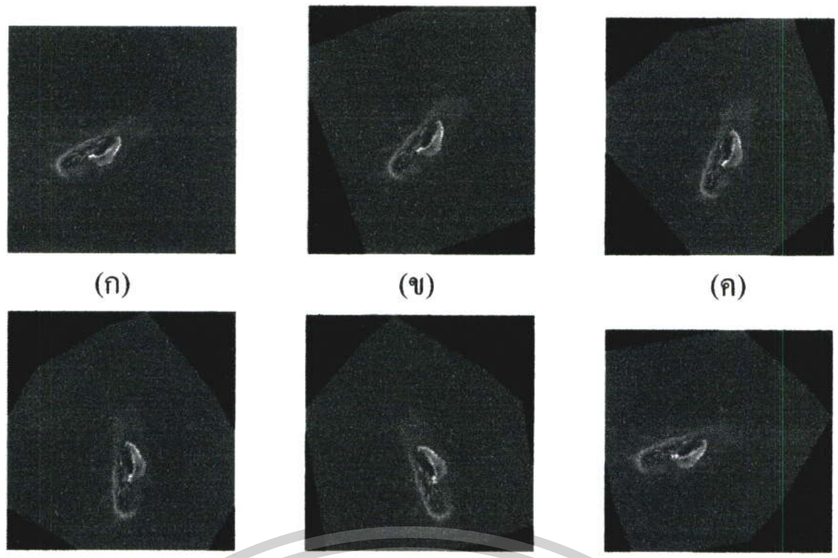


(ก) (ข)

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการสร้าง Bounding Box Area โดยใช้ภาพขาวดำเป็นตัวแบบ

(ก) ภาพขาวดำที่ใช้เป็นตัวแบบสำหรับสร้าง Bounding Box Area

(ข) ภาพรอยตำหนิที่ผ่านการทำ Bounding Box Area



(ก) (ข) (ค)

(ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการหมุนภาพเพื่อสร้าง Bounding Box Area

(ก) ภาพที่ผ่านการหมุน 10 องศา เพื่อสร้าง Bounding Box

(ข) ภาพที่ผ่านการหมุน 30 องศา เพื่อสร้าง Bounding Box

(ค) ภาพที่ผ่านการหมุน 50 องศา เพื่อสร้าง Bounding Box

(ง) ภาพที่ผ่านการหมุน 70 องศา เพื่อสร้าง Bounding Box

(จ) ภาพที่ผ่านการหมุน 90 องศา เพื่อสร้าง Bounding Box

(ฉ) ภาพรอยตำหนิที่ผ่านการทำ Bounding Box Area

4. สร้างเมตริกเก็บตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ภายในบริเวณของ Bounding Box Area เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงของพิกเซลที่จะนำมาคำนวณหาคุณลักษณะสำคัญต่อไป

Row	Column
37	38
37	220
37	272
37	480
38	70
38	82
38	88
...	...
n	m

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างเมตริกซ์ที่ใช้เก็บตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ใน Bounding Box Area

3.3 การดึงคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction)

เมื่อภาพถ่ายรอยตำหนิได้ผ่านการประมวลผลภาพเบื้องต้นมาแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเข้าสู่ขั้นตอนของการดึงคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพ ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง, คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง และคุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย จากการศึกษาและทดลองพบว่า คุณลักษณะที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้กับภาพรอยตำหนิ คือคุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย ดังนั้นวิธีการที่นำมาใช้ในการดึงคุณลักษณะสำคัญของภาพถ่ายรอยตำหนิ คือวิธีการเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-Occurrence Matrix) ร่วมกับสมการหาค่าคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค (Haralick's Feature)

3.3.1 การสร้างเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ (Co-occurrence Matrix)

การพิจารณาคุณสมบัติของรอยตำหนิด้วยคุณลักษณะของลวดลายหรือพื้นผิวนั้น ได้ใช้เมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.2.6 ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของความเข้มแสงของแต่ละพิกเซลที่กำลังพิจารณากับพิกเซลรอบข้าง ความสัมพันธ์เหล่านี้จะบอกให้ทราบว่าพื้นผิวที่กำลังพิจารณามีความต่อเนื่องกันมาน้อยแค่ไหน และจะถูกใช้คำนวณหาคุณลักษณะสำคัญด้วยสมการคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.5

ตารางที่ 3.1 – 3.4 เป็นตาราง Count Matrix ที่ใช้สำหรับการนับจำนวนครั้งของการเกิดความสัมพันธ์ของพิกเซลที่กำลังพิจารณากับพิกเซลข้างเคียงใน 4 ทิศทาง

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Horizontal (0°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	28982	0	181	1	0	0	0	0
2	0	91	31	2	2	0	0	0
3	352	35	89402	1385	20	5	0	0
4	1	0	1385	3770	264	14	1	2
5	0	0	21	258	579	57	9	1
6	0	0	6	17	48	61	17	7
7	0	0	2	4	6	14	11	6
8	0	0	0	0	6	5	5	6

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Vertical (90°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	28888	0	297	2	0	0	0	0
2	0	91	34	0	1	0	0	0
3	350	32	89292	1463	26	3	0	0
4	0	1	1453	3685	273	19	6	0
5	0	2	30	265	547	67	13	1
6	0	0	7	17	65	49	12	6
7	0	0	2	2	11	15	8	5
8	0	0	0	3	2	3	4	10

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Diagonal (45°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	28494	0	515	1	0	0	0	0
2	0	82	42	2	0	0	0	0
3	350	36	88846	1611	44	6	4	0
4	0	3	1600	3498	299	27	6	3
5	0	4	44	298	501	59	16	3
6	0	1	12	22	65	40	10	6
7	0	0	2	3	12	16	6	4
8	0	0	1	2	4	8	1	6

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงผลการคำนวณ Count Matrix จากภาพรอยตำหนิในแนว Anti-Diagonal (135°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	28518	0	320	1	0	0	0	0
2	0	83	40	1	2	0	0	0
3	543	36	88906	1638	35	4	1	0
4	0	3	1620	3481	310	16	6	1
5	0	4	40	286	514	12	12	2
6	0	0	13	25	51	8	8	8
7	0	0	1	3	11	13	13	4
8	0	0	1	2	2	3	3	7

เมื่อได้ Count Matrix มาแล้วจึงนำ Count Matrix ที่ได้มาคำนวณหาความสัมพันธ์ในอีกทิศทางที่เหลือ เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าเป็นทิศทางที่ตรงข้ามกับ 4 ทิศทางแรก ดังนั้นจึงสามารถใช้การคำนวณโดยการนำ Count Matrix มาบวกกับค่า Transpose ของตัวเอง ดังตารางที่ 3.5 - 3.8 ซึ่งเรียกว่า เมตริกซ์สมมาตร ซึ่งต่อจากนี้ไปจะขอเรียกทิศทางของความสัมพันธ์ทั้ง 8 ทิศทางเหลือแค่ 4 ทิศทางคือ

1. Horizontal หมายถึง ทิศทางในแนวราบ 0° และ 180°
2. Vertical หมายถึง ทิศทางในแนวดิ่ง 90° และ 270°
3. Anti-Diagonal หมายถึง ทิศทางในแนวทะแยงมุมขวา 45° และ 225°
4. Diagonal หมายถึง ทิศทางในแนวทะแยงมุมซ้าย 135° และ 315°

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนว Horizontal (0° และ 180°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	57964	0	533	2	0	0	0	0
2	0	182	66	2	2	0	0	0
3	533	66	178804	2770	41	11	2	0
4	2	2	2770	7540	522	31	5	2
5	0	2	41	522	1158	105	15	7
6	0	0	11	31	105	122	31	12
7	0	0	2	5	15	31	22	11
8	0	0	0	2	7	12	11	12

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนว Vertical (90° และ 270°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	57776	0	647	2	0	0	0	0
2	0	182	66	1	3	0	0	0
3	647	66	178584	2916	56	10	2	0
4	2	1	2916	7370	538	36	8	3
5	0	3	56	538	1094	132	24	3
6	0	0	10	36	132	98	27	9
7	0	0	2	8	24	27	16	9
8	0	0	0	3	3	9	9	20

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนว Diagonal (45° และ 225°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	56988	0	910	2	0	0	0	0
2	0	164	78	5	4	1	0	0
3	910	78	177792	3211	88	18	6	1
4	2	5	3211	6996	597	49	9	5
5	0	4	88	597	1002	124	28	7
6	0	1	18	49	124	80	26	14
7	0	0	6	9	28	26	12	5
8	0	0	1	5	7	14	5	12

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์สมมาตรในแนวAnti-Diagonal (135° และ 315°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	57036	0	863	1	0	0	0	0
2	0	166	76	4	6	0	0	0
3	863	76	177812	3258	75	17	2	1
4	1	4	3258	6962	596	41	9	3
5	0	6	75	596	1028	118	23	4
6	0	0	17	41	118	102	19	15
7	0	0	2	9	23	19	26	7
8	0	0	1	3	4	15	7	14

เมื่อได้เมตริกซ์สมมาตรมาแล้ว เนื่องจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ คือความน่าจะเป็นของการเกิดความสัมพันธ์ดังนั้นเราสามารถร้างเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ได้จากการนำเมตริกซ์สมมาตรมาหารด้วยผลรวมของจำนวนครั้งของการเกิดความสัมพันธ์ หรือผลรวมของตัวเลขทั้งหมดในเมตริกซ์สมมาตรดังตารางที่ 3.9 – 3.12

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Horizontal (0° และ 180°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2281	0	0.0021	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0021	0.0003	0.0000	0.7036	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0021	0.0001	0.0001	0.0000
5	0	0.0000	0	0.0002	0.0046	0.0004	0.0004	0.0000
6	0	0	0	0.0000	0.0004	0.0005	0.0005	0.0000
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Vertical (90° และ 270°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2274	0	0.0025	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0025	0.0003	0.7027	0.0115	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0115	0.0290	0.0021	0.0001	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0002	0.0021	0.0043	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0000	0.0001	0.0005	0.0004	0.0001	0.0000
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

ตารางที่ 3.11 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Diagonal (45° และ 225°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2249	0	0.0036	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0006	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
3	0.0036	0.0003	0.7016	0.0127	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0127	0.0276	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0040	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
8	0	0	0.0000	0.0000	00000	0.0001	0.0000	0.0000

ตารางที่ 3.12 ตารางแสดงผลการคำนวณเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนวAnti-Diagonal (135° และ 315°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2251	0	0.0034	0.0000	0	0	0	0.
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0034	0.0003	0.7016	0.0129	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0219	0.0275	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0041	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0001	0.0002	0.0005	0.0004	0.0001	0.0001
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001

3.3.2 การคำนวณสมการคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิค (Haralick's Feature)

ข้อมูลที่ได้จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทั้ง 4 เมตริกซ์ เราสามารถคำนวณหาค่าคุณลักษณะสำคัญทางลวดลายด้วยคุณลักษณะสำคัญของฮาราลิคได้ โดยค่าคุณลักษณะสำคัญที่นำมาใช้ได้แก่ Contrast (Inertia), Correlation, Energy (Angular Second Moment) และ Homogeneity ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในสมการที่ 2.23 – 2.26 ซึ่งค่าคุณลักษณะสำคัญแต่ละตัวนั้น สามารถคำนวณได้ 4 ค่า จาก 4 เมตริกซ์ ดังนั้นค่าคุณลักษณะที่นำไปใช้งานจึงเป็นค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสำคัญทั้ง 4 ทิศทาง

การคำนวณค่าคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทั้ง 4 ทิศทาง จากสมการที่ 2.3 แสดงดังตารางที่ 3.13 - 3.16

ตารางที่ 3.13 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2281	0	0.0021	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0021	0.0003	0.0000	0.7036	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0021	0.0001	0.0001	0.0000
5	0	0.0000	0	0.0002	0.0046	0.0004	0.0004	0.0000
6	0	0	0	0.0000	0.0004	0.0005	0.0005	0.0000
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Contrast _Horizontal			$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-j)^2 C_{Horizontal}(i,j) = 0.0500$					

ตารางที่ 3.14 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2274	0	0.0025	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0025	0.0003	0.7027	0.0115	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0115	0.0290	0.0021	0.0001	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0002	0.0021	0.0043	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0000	0.0001	0.0005	0.0004	0.0001	0.0000
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Contrast _Vertical			$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-j)^2 C_{Vertical}(i,j) = 0.0558$					

ตารางที่ 3.15 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2249	0	0.0036	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0006	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
3	0.0036	0.0003	0.7016	0.0127	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0127	0.0276	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0040	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
8	0	0	0.0000	0.0000	00000	0.0001	0.0000	0.0000
Contrast _Anti-Diagonal			$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-j)^2 C_{Anti-Diagonal}(i,j)$ = 0.0710					

ตารางที่ 3.16 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Contrast จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2251	0	0.0034	0.0000	0	0	0	0.
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0034	0.0003	0.7016	0.0129	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0219	0.0275	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0041	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0001	0.0002	0.0005	0.0004	0.0001	0.0001
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
Contrast _Diagonal			$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-j)^2 C_{Diagonal}(i,j)$ = 0.0678					

การคำนวณค่าคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทั้ง 4 ทิศทาง จากสมการที่ 2.4 แสดงดังตารางที่ 3.17 - 3.20

ตารางที่ 3.17 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Horizontal (0° และ 180°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2281	0	0.0021	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0021	0.0003	0.0000	0.7036	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0021	0.0001	0.0001	0.0000
5	0	0.0000	0	0.0002	0.0046	0.0004	0.0004	0.0000
6	0	0	0	0.0000	0.0004	0.0005	0.0005	0.0000
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Correlation _Horizontal	$\frac{\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-\mu_i)(j-\mu_j)C_{Horizontal}(i,j)}{\sigma_i\sigma_j} = 0.9708$							

ตารางที่ 3.18 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ในแนว Vertical (90° และ 270°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2274	0	0.0025	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0025	0.0003	0.7027	0.0115	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0115	0.0290	0.0021	0.0001	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0002	0.0021	0.0043	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0000	0.0001	0.0005	0.0004	0.0001	0.0000
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Correlation _Vertical	$\frac{\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-\mu_i)(j-\mu_j)C_{Vertical}(i,j)}{\sigma_i\sigma_j} = 0.9674$							

ตารางที่ 3.19 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2249	0	0.0036	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0006	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
3	0.0036	0.0003	0.7016	0.0127	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0127	0.0276	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0040	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
8	0	0	0.0000	0.0000	00000	0.0001	0.0000	0.0000
Correlation_Anti-Diagonal	$\dfrac{\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-\mu_i)(j-\mu_j)C_{Anti-Diagonal}(i,j)}{\sigma_i\sigma_j} = 0.9584$							

ตารางที่ 3.20 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Correlation จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2251	0	0.0034	0.0000	0	0	0	0.
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0034	0.0003	0.7016	0.0129	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0219	0.0275	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0041	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0001	0.0002	0.0005	0.0004	0.0001	0.0001
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
Correlation_Diagonal	$\dfrac{\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-\mu_i)(j-\mu_j)C_{Diagonal}(i,j)}{\sigma_i\sigma_j} = 0.9602$							

การคำนวณค่าคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทั้ง 4 ทิศทาง จากสมการที่ 2.5 แสดงดังตารางที่ 3.21 - 3.24

ตารางที่ 3.21 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2281	0	0.0021	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0021	0.0003	0.0000	0.7036	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0021	0.0001	0.0001	0.0000
5	0	0.0000	0	0.0002	0.0046	0.0004	0.0004	0.0000
6	0	0	0	0.0000	0.0004	0.0005	0.0005	0.0000
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Energy _Horizontal	$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng} C_{Horizontal}(i,j)^2 = 0.5482$							

ตารางที่ 3.22 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2274	0	0.0025	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0025	0.0003	0.7027	0.0115	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0115	0.0290	0.0021	0.0001	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0002	0.0021	0.0043	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0000	0.0001	0.0005	0.0004	0.0001	0.0000
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Energy _Vertical	$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng} C_{Vertical}(i,j)^2 = 0.5467$							

ตารางที่ 3.23 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2249	0	0.0036	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0006	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
3	0.0036	0.0003	0.7016	0.0127	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0127	0.0276	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0040	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
8	0	0	0.0000	0.0000	00000	0.0001	0.0000	0.0000
Energy_Anti-Diagonal		$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng} C_{Anti-Diagonal}(i,j)^2 = 0.5439$						

ตารางที่ 3.24 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญ Energy จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2251	0	0.0034	0.0000	0	0	0	0.
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0034	0.0003	0.7016	0.0129	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0219	0.0275	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0041	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0001	0.0002	0.0005	0.0004	0.0001	0.0001
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
Energy_Diagonal		$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng} C_{Diagonal}(i,j)^2 = 0.5441$						

การคำนวณค่าคุณลักษณะสำคัญ Homogeneity จากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ทั้ง 4 ทิศทาง จากสมการที่ 2.6 แสดงดังตารางที่ 3.25 - 3.28

ตารางที่ 3.25 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Horizontal (0° และ 180°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2281	0	0.0021	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0021	0.0003	0.0000	0.7036	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0109	0.0021	0.0001	0.0001	0.0000
5	0	0.0000	0	0.0002	0.0046	0.0004	0.0004	0.0000
6	0	0	0	0.0000	0.0004	0.0005	0.0005	0.0000
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Homogeneity_Horizontal	$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{C_{Horizontal}(i,j)}{1+\lvert i-j\rvert}=0.9827$							

ตารางที่ 3.26 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Vertical (90° และ 270°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2274	0	0.0025	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0025	0.0003	0.7027	0.0115	0.0002	0.0000	0.0000	0
4	0.0000	0.0000	0.0115	0.0290	0.0021	0.0001	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0002	0.0021	0.0043	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0000	0.0001	0.0005	0.0004	0.0001	0.0000
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Homogeneity _Vertical		$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{C_{Vertical}(i,j)}{1+\lvert i-j\rvert}=0.9812$						

ตารางที่ 3.27 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Diagonal (45° และ 225°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2249	0	0.0036	0.0000	0	0	0	0
2	0	0.0006	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0	0
3	0.0036	0.0003	0.7016	0.0127	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0127	0.0276	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0040	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0.0000	0.0001	0.0002	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001
7	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
8	0	0	0.0000	0.0000	00000	0.0001	0.0000	0.0000
Homogeneity_Anti-Diagonal			$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{C_{Anti-Diagonal}(i,j)}{1+\lvert i-j\rvert} = 0.9780$					

ตารางที่ 3.28 ตารางแสดงผลการคำนวณคุณลักษณะสำคัญHomogeneityจากเมตริกซ์ร่วมสัมพันธ์ ในแนว Anti-Diagonal (135° และ 315°)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.2251	0	0.0034	0.0000	0	0	0	0.
2	0	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0	0	0
3	0.0034	0.0003	0.7016	0.0129	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0219	0.0275	0.0024	0.0002	0.0000	0.0000
5	0	0.0000	0.0003	0.0024	0.0041	0.0005	0.0001	0.0000
6	0	0	0.0001	0.0002	0.0005	0.0004	0.0001	0.0001
7	0	0	0	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000
8	0	0	0	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
Homogeneity_Diagonal			$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{C_{Diagonal}(i,j)}{1+\lvert i-j\rvert} = 0.9783$					

จากตารางที่ 3.13 – 3.28 เป็นการคำนวณหาค่าคุณลักษณะสำคัญของ 4 คือ Contrast, Correlation, Energy, Homogeneity ซึ่งแต่ละคุณลักษณะสำคัญจะสามารถคำนวรออกมาได้จำนวณ 4 ค่า จาก 4 ทิศทาง ดังนั้นเราจึงต้องหาค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะสำคัญทั้ง 4 ก่อนนำไปใช้ในการหาความคล้ายคลึงของภาพถ่ายในขั้นตอนต่อไป ดังตารางที่ 3.29

ตารางที่ 3.29 ตารางแสดงค่าคุณลักษณะสำคัญทั้ง 4 ทิศทาง และค่าเฉลี่ยแต่ละคุณลักษณะสำคัญ

Haralick's Feature	Horizontal	Vertical	Diagonal	Anti-Diagonal	Mean
1. Contrast	0.0500	0.0558	0.0710	0.0678	0.0612
2. Correlation	0.9708	0.9674	0.9584	0.9602	0.9642
3. Energy	0.5482	0.5467	0.5439	0.5441	0.5457
4. Homogeneity	0.9827	0.9812	0.9780	0.9783	0.9801

จากการคำนวณทั้งหมด คุณลักษณะสำคัญที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยทั้ง 4 ทิศทางของภาพถ่ายรอยตำหนิ จำนวน 4 ตัว คือ Contrast, Correlation, Energy และ Homogeneity โดยค่าคุณลักษณะสำคัญเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ในลักษณะของชุดข้อมูลที่เรียกว่า Feature Vector เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บในฐานข้อมูลและการนำมาใช้คำนวณความคล้ายคลึงกับภาพถ่ายรอยตำหนิอื่นๆต่อไป

Feature Vector = [Contrast Correlation Energy Homogeneity]

รูปที่ 3.9 องค์ประกอบของ Feature Vector ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของ Contrast, Correlation, Energy และ Homogeneity

3.4 การวัดความคล้ายคลึง (Similarity Measure)

จากกระบวนการทั้งหมดที่ผ่านมา ทำให้เราสามารถหาคุณลักษณะสำคัญของภาพถ่ายรอยตำหนิ 1 ภาพได้จำนวน 4 ค่า ค่าคุณลักษณะสำคัญเหล่านี้จะถูกนำมาจัดเก็บในรูปของ Feature Vector การค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิจากฐานข้อมูล ใช้หลักการเปรียบเทียบค่าของคุณลักษณะสำคัญที่อยู่ใน Feature Vector ของภาพถ่ายรอยตำหนิในฐานข้อมูลกับ Feature Vector ของภาพตัวอย่าง เพื่อหารูปภาพที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดออกมา

วิธีการหาค่าความคล้ายคลึง(Similarity Measure) วิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือ การหาค่าความคล้ายคลึงด้วยวิธีการวัดระยะแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความคล้ายคลึงของรูปภาพรอยตำหนิตัวอย่างกับรูปภาพรอยตำหนิแต่ละตัวในฐานข้อมูล และนำขึ้นมาแสดงพร้อมกับข้อมูลประกอบอื่นๆ ตามจำนวนของผลลัพธ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3.30 ตัวอย่างการคำนวณ Euclidean Distance จากคุณลักษณะสำคัญของภาพถ่ายรอยตำหนิตัวอย่างกับภาพถ่ายรอยตำหนิที่อยู่ในฐานข้อมูล

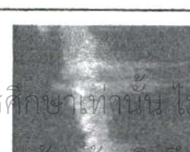
รอยตำหนิ	คุณลักษณะสำคัญ			
	Contrast	Correlation	Energy	Homogeneity
รอยตำหนิตัวอย่าง	0.2120	0.9374	0.1911	0.9100
รอยตำหนิในฐานข้อมูล	0.2048	0.9396	0.1933	0.9148

Euclidean Distance =

$$\mathrm{Sqrt}\,(|0.2120-0.2048|^2 + |0.9374-0.9396|^2 + |0.1911-0.1933|^2 + |0.9100-0.9148|^2)$$

Euclidean Distance = 0.0092

ตารางที่ 3.31 ตัวอย่างผลการค้นคืนเรียงลำดับตาม Euclidean Distance จากน้อยไปมาก

ตัวอย่างภาพสำหรับการค้นคืน	ผลการค้นคืน	Euclidean Distance
		0
		0.0231
		0.0392
		0.0448
		0.0599
		0.0739
		0.0811

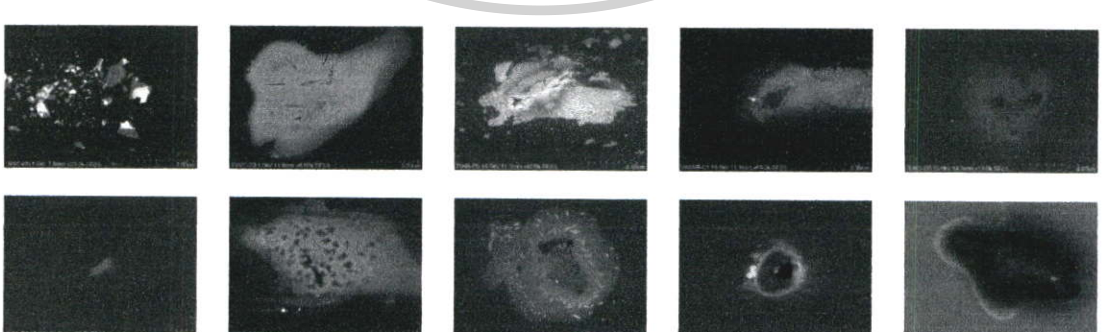
บทที่ 4
การทดลองและการวัดประสิทธิภาพการค้นคืน

ในบทนี้ เป็นการกล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพการค้นคืนรูปภาพของระบบค้นคืนรูปภาพ โดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe โดยการวัดประสิทธิภาพของการค้นคืนสามารถวัดได้จากการเปรียบเทียบค่า Precision และ Recall ที่คำนวณได้

4.1 ตัวอย่างภาพสำหรับการทดลอง

ในการทดลองนี้ รูปภาพที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นภาพถ่ายรอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนผิวฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope) หรือที่เรียกว่า SEM Image จำนวน 87 ภาพ โดยสามารถจัดกลุ่มภาพถ่ายรอยตำหนิตสำหรับใช้ในการทดลองได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นรอยตำหนิประเภทที่มีลักษณะเป็นรอยขูด (Scratch) จำนวน 40 ตัวอย่าง และกลุ่มที่ 2 เป็นรอยตำหนิประเภทที่ไม่ใช่รอยขูด จำนวน 50 ตัวอย่าง

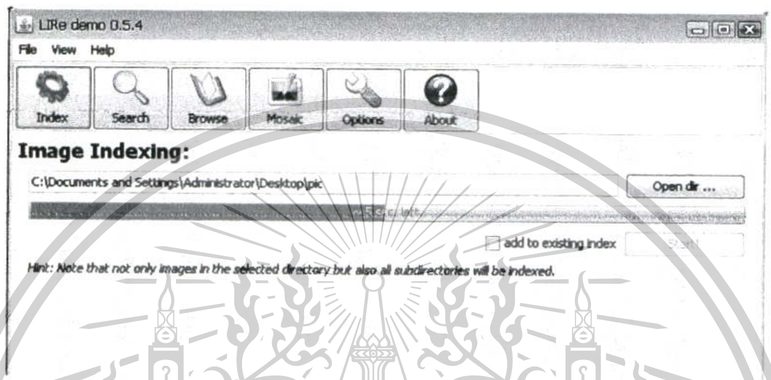
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิ กลุ่มที่ 1



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิ กลุ่มที่ 2

4.2 ระบบค้นคืนรูปภาพ Lucene Image Retrieval (LIRe)

Lucene Image Retrieval หรือ LIRe (Mathias Lux. 2008) เป็นซอฟท์แวร์เสรี (Open source) ที่พัฒนาโดย Mathias Lux อาจารย์ประจำ Klagenfurt University โดยโปรแกรม Lire ได้พัฒนาขึ้นด้วยภาษา Java และเป็นโปรแกรมสำหรับการค้นคืนรูปภาพจากรูปภาพตัวอย่าง ซึ่งเป็นการค้นคืนที่อยู่บนพื้นฐานของลักษณะทางสี (Color characteristic) และลักษณะทางพื้นผิว (Texture characteristic) โดยเทคนิคที่ใช้ในการดึงคุณลักษณะคือ CEDD



รูปที่ 4.3 ระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

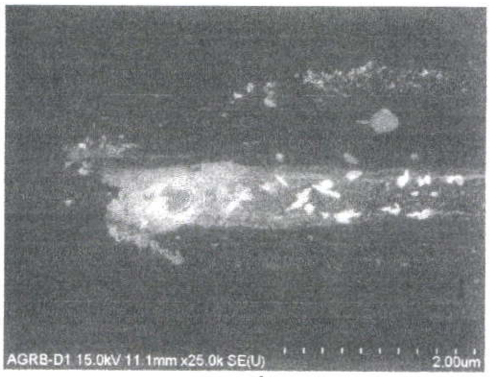
4.3 ผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการค้นคืนของระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนาขึ้นจะทำการเปรียบเทียบผลการค้นคืนด้วยค่า Precision และ Recall ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.4 โดยใช้การเปรียบเทียบกับผลการค้นคืนของระบบค้นคืน LIRe โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

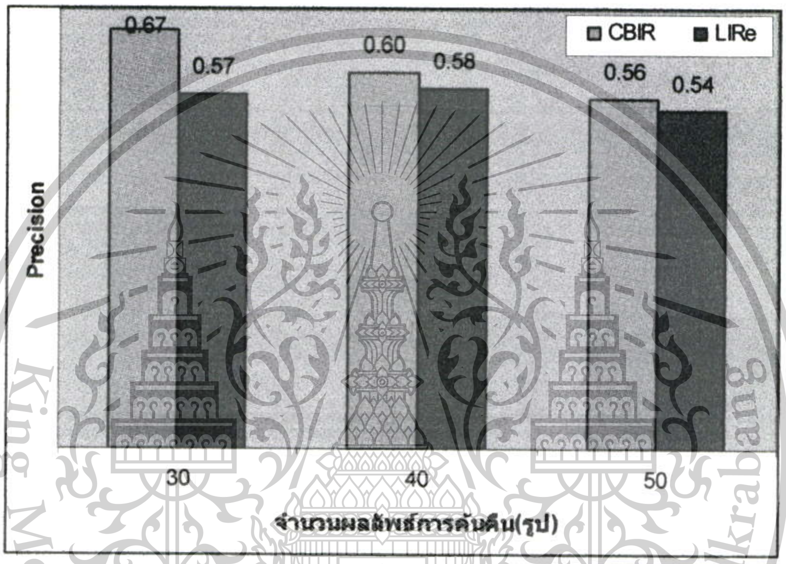
1. การทดลองการค้นคืนด้วยตัวอย่างภาพจากภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 จำนวน 3 ตัวอย่าง
2. การทดลองการค้นคืนด้วยตัวอย่างภาพจากภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 จำนวน 3 ตัวอย่าง

4.3.1 ผลการทดลองการค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิ ด้วยตัวอย่างภาพจากกลุ่มที่ 1

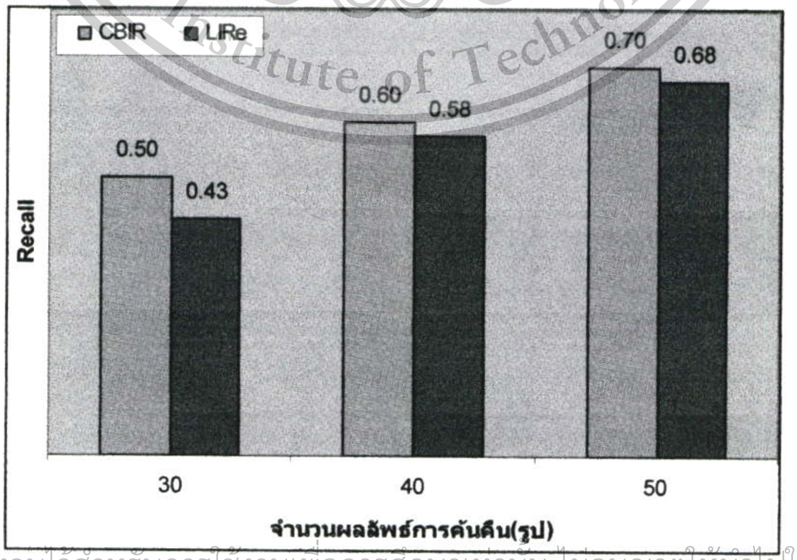
จากการทดลองค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิ ด้วยตัวอย่างภาพจากภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 โดยกำหนดจำนวนผลลัพธ์การค้นคืนที่ 20, 30 และ 40 รูป เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการค้นคืนด้วยระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนาขึ้น กับระบบค้นคืน LIRe ปรากฏว่า ระบบการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ของภาพถ่ายรอยตำหนิที่อยู่กลุ่มเดียวกับตัวอย่างภาพที่ใช้ในการค้นคืน อยู่ในลำดับการค้นคืนที่ดีกว่า ส่งผลให้ค่าPrecision และ Recall มีค่าสูงกว่าระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe ดังรูปที่ 4.4-4.12



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 (รอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน

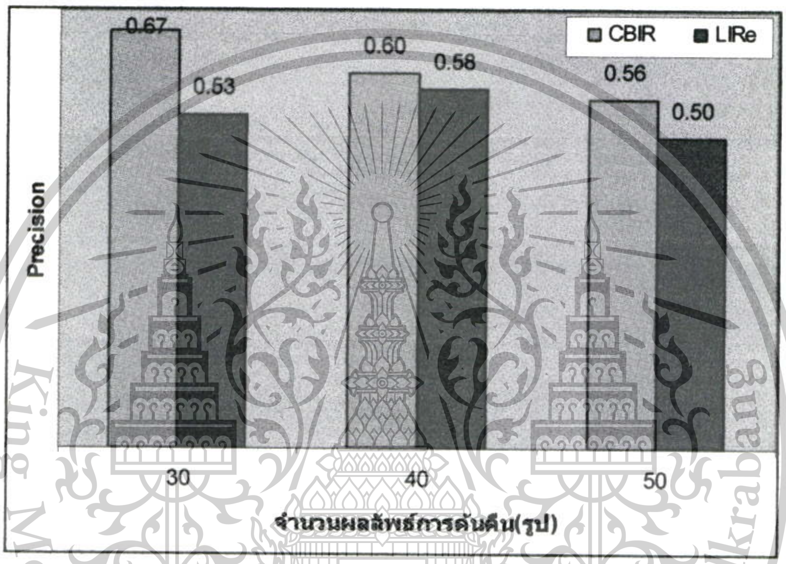


รูปที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

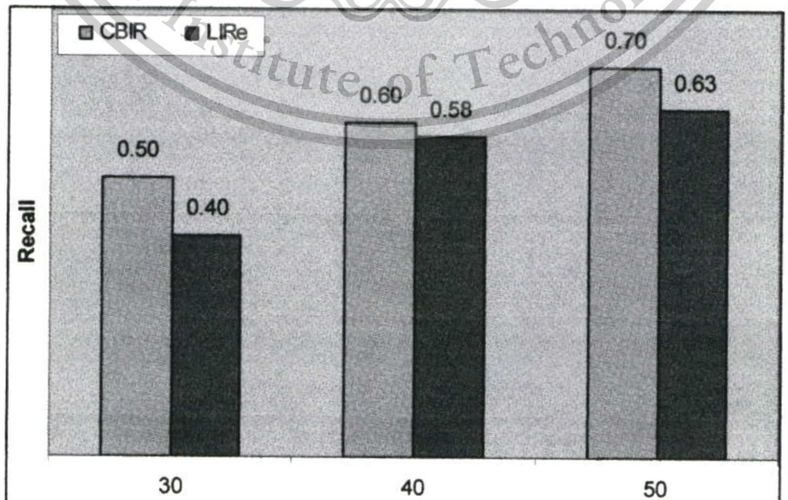


รูปที่ 4.6 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 (รอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน

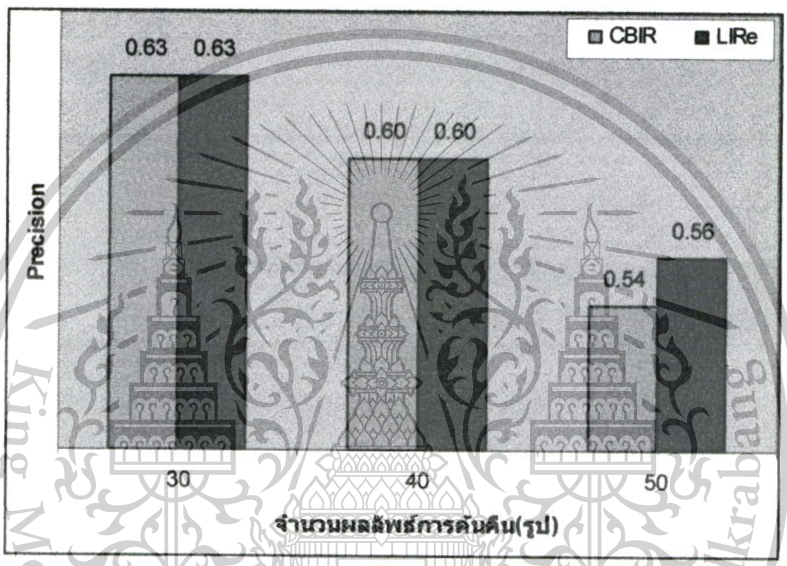


รูปที่ 4.8 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

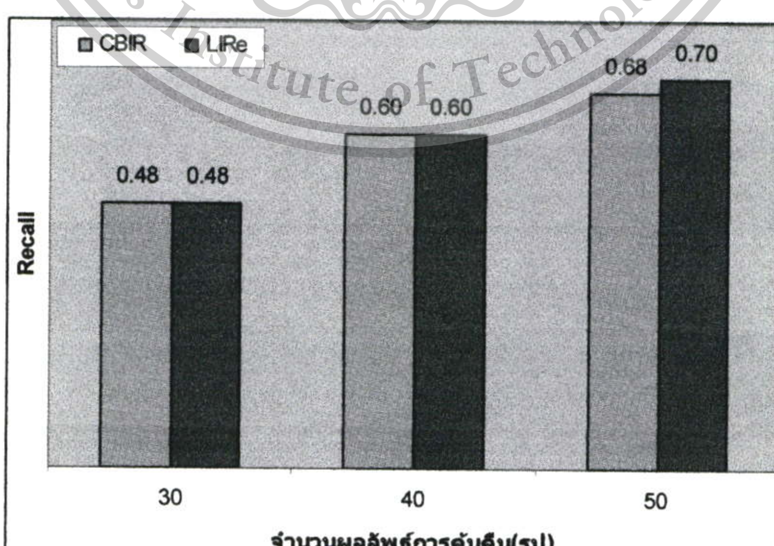


รูปที่ 4.9 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 1 (รอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน



รูปที่ 4.11 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

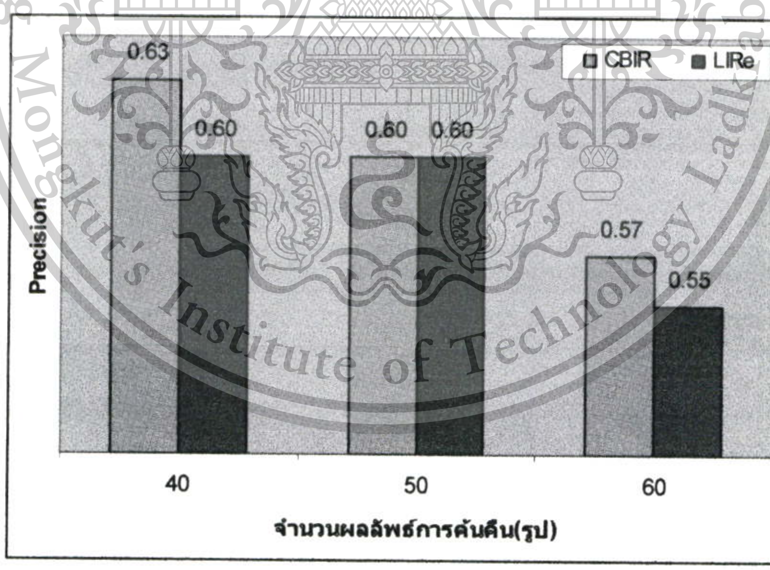


รูปที่ 4.12 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

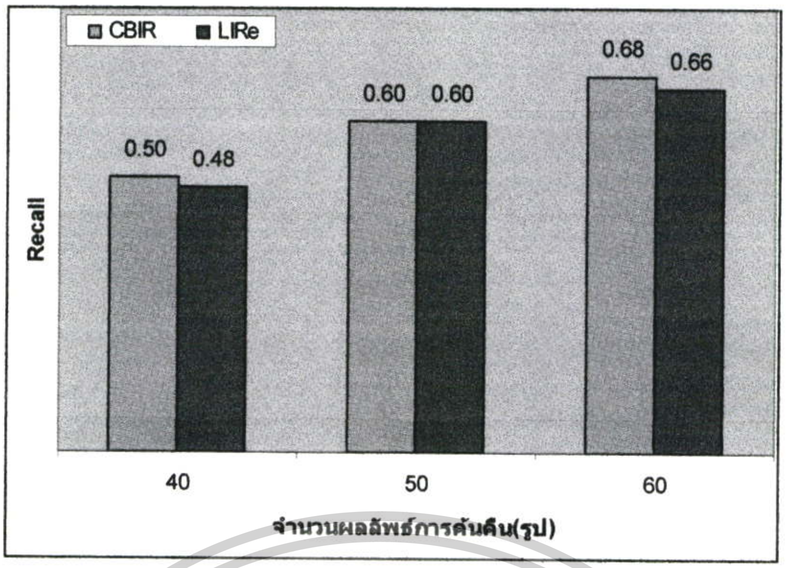
4.3.2 ผลการทดลองการค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิ ด้วยตัวอย่างภาพจากกลุ่มที่ 2

จากการทดลองค้นคืนภาพถ่ายรอยตำหนิ ด้วยตัวอย่างภาพกลุ่มที่ 2 โดยกำหนดจำนวนผลลัพธ์การค้นคืนที่ 30, 40 และ 50 รูป เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการค้นคืนด้วยระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนาขึ้น กับระบบค้นคืน LIRe ปรากฏว่า ระบบการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ของภาพถ่ายรอยตำหนิที่อยู่กลุ่มเดียวกับตัวอย่างภาพที่ใช้ในการค้นคืนอยู่ในลำดับการค้นคืนที่ดีกว่า ส่งผลให้ค่าPrecision และ Recall มีค่าสูงกว่าระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe ดังรูปที่ 4.13-4.20

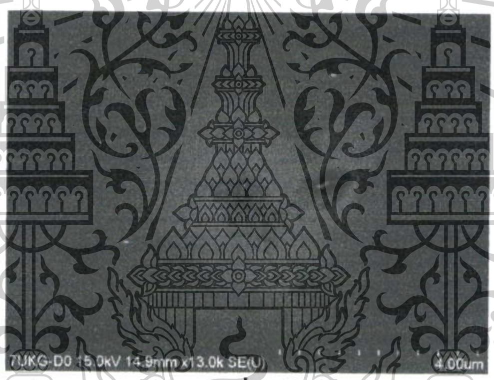
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 (ไม่มีรอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน



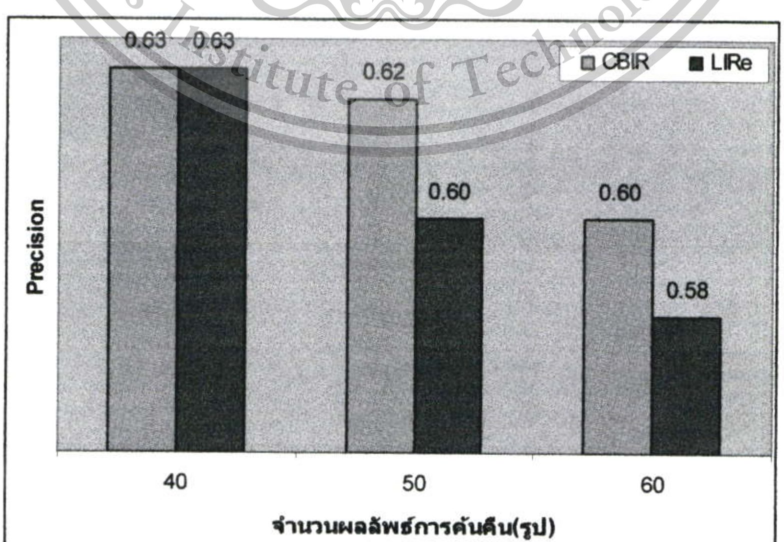
รูปที่ 4.14 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe



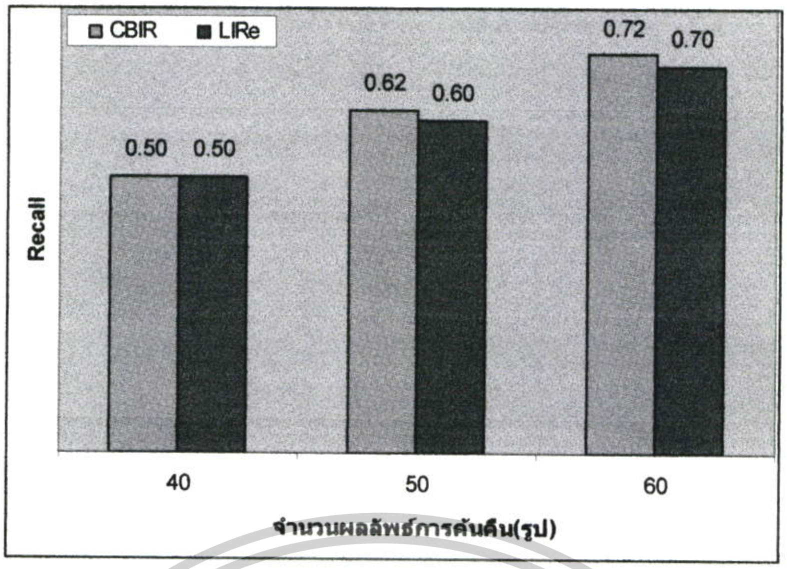
รูปที่ 4.15 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 (ไม่มีรอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน

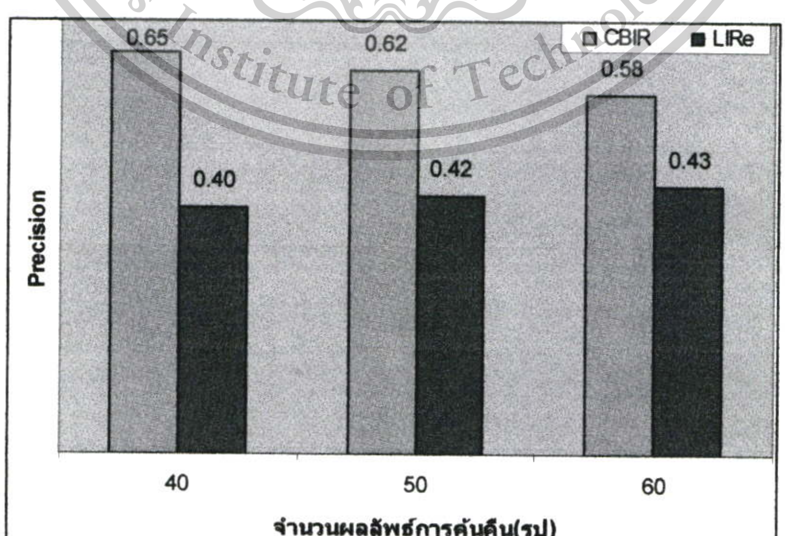


รูปที่ 4.17 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

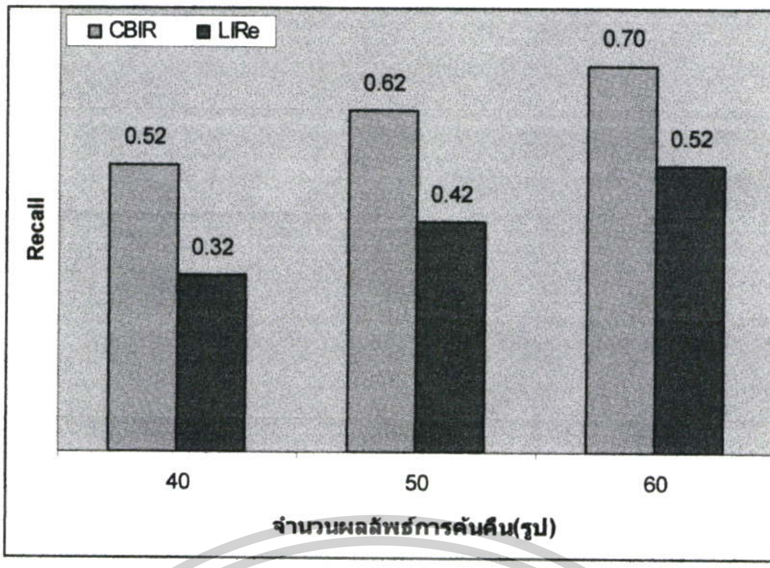


รูปที่ 4.18 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างภาพถ่ายรอยตำหนิกลุ่มที่ 2 (ไม่มีรอยขูด) สำหรับทดสอบการค้นคืน



รูปที่ 4.20 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Precision ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe



รูปที่ 4.21 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบค่า Recall ของการค้นคืนระหว่างระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่พัฒนากับระบบค้นคืนรูปภาพ LIRe

4.3.3 ผลการทดลองสำหรับการปรับมาตราส่วนภาพถ่ายก่อนการค้นคืน

เมื่อพิจารณาถึงภาพถ่ายรอยตำหนิจะสังเกตได้ว่า แต่ละภาพถ่ายจะมีมาตราส่วนของการถ่ายและการพลอตรูปที่ต่างกัน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าภาพถ่ายรอยตำหนิที่ถูกถ่ายในมาตราส่วนที่ต่างกันมากๆ จะเป็นภาพที่มีสาเหตุการเกิดที่ต่างกัน จึงมีการทดลองการปรับมาตราส่วนก่อนการทดลองเพื่อ ทำการค้นคืนเฉพาะภาพถ่ายรอยตำหนิที่มีมาตราส่วนใกล้เคียงกันเท่านั้น มีขั้นตอนดังนี้

1. นำตัวอย่างภาพมาสร้างภาพให้หยาบขึ้นอีก 4 ระดับคือ 1.5, 2, 2.5 และ 3 เท่า
2. เมื่อทำการค้นคืน หากรูปใดในฐานข้อมูลมีมาตราส่วนที่ต่างจากตัวอย่างภาพมากก็จะไม่นำมาพิจารณา
3. ให้เปรียบเทียบให้เลือกใช้ค่า Euclidean Distance ที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบในทุกมาตราส่วน

จากการทดลองพบว่า ผลการค้นคืนเมื่อทดสอบกับภาพที่มีการปรับมาตราส่วนแล้วนั้น ทำให้ภาพที่มีมาตราส่วนต่างกับตัวอย่างภาพจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ทำให้ภาพที่เกี่ยวข้องเลื่อนขึ้นมาอยู่ในตำแหน่งที่ดีขึ้น ซึ่งส่งผลต่อ Precision และ Recall ที่ดีขึ้นด้วย

	CBIR	Scale
1	19	19
2	25	25
3	26	26
4	47	47
5	9	9
6	42	42
7	7	7
8	21	21
9	6	6
10	1	1
11	37	37
12	14	14
13	X46	28
14	28	32
15	32	5
16	5	22
17	22	27
18	X24	30
19	27	34
20	X2	33

(ก)

	CBIR	Scale
1	26	26
2	25	25
3	7	7
4	47	47
5	9	9
6	6	6
7	42	42
8	14	14
9	21	21
10	19	19
11	28	28
12	1	1
13	X46	37
14	37	5
15	5	22
16	X24	32
17	22	34
18	32	27
19	34	33
20	X4	43

(ข)

	CBIR	Scale
1	25	25
2	19	19
3	26	21
4	47	47
5	9	9
6	42	42
7	21	26
8	7	7
9	6	6
10	14	14
11	1	1
12	37	37
13	X46	28
14	28	5
15	5	32
16	32	22
17	22	27
18	X24	34
19	27	41
20	X4	33

(ค)

รูปที่ 4.22 ผลการทดลองการค้นคืนด้วยตัวอย่างภาพแบบมาตราส่วนปกติกับตัวอย่างภาพที่ผ่านการปรับมาตราส่วนก่อนการค้นคืน

(ก) ผลการค้นคืนของตัวอย่างภาพที่ 1

(ข) ผลการค้นคืนของตัวอย่างภาพที่ 2

(ค) ผลการค้นคืนของตัวอย่างภาพที่ 3

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงบทสรุปของการออกแบบและพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพสำหรับการวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพต่างๆ ตามที่ได้ศึกษา ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนาระบบ รวมถึงข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์

5.1 สรุปผลการออกแบบและพัฒนาระบบ

ในการทำโครงงานพัฒนาระบบนี้ สามารถที่จะสร้างระบบที่ใช้สำหรับการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีประสิทธิภาพได้ ด้วยหลักการของ Content Based Image Retrieval สามารถช่วยในการค้นคืนรูปภาพ โดยการใช้ตัวอย่างภาพในการค้นคืนแทนการค้นคืนด้วยชื่อหรือข้อมูลประกอบอื่นๆ ทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการทดลองพบว่า เมื่อนำระบบที่พัฒนาด้วยวิธีการที่ได้ศึกษามาเปรียบเทียบกับระบบค้นคืนรูปภาพที่ใช้วิธีการที่แตกต่างกัน พบว่าระบบค้นคืนข้อมูลที่พัฒนาขึ้น สามารถให้ผลการค้นคืนที่ดีกว่า แต่ถ้ามองในเรื่องของ Recall ของระบบพบว่ายังเป็นค่า Recall ที่ไม่สูงมากนัก อันเนื่องมาจากการแบ่งกลุ่มรูปภาพที่ค่อนข้างยากและไม่ชัดเจน เพราะรอยตำหนิที่พบมีรูปแบบและสาเหตุการเกิดที่หลากหลาย รวมไปถึงวิธีการและการเลือกคุณลักษณะสำคัญที่ใช้อาจจะยังไม่เหมาะสมเพียงพอ

ด้วยกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถนำมาพัฒนาเป็นระบบค้นคืนรูปภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์ได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

จากการศึกษาและพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพสำหรับการวินิจฉัยรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์ สามารถสรุปปัญหาและอุปสรรค ดังนี้

1. ปัญหาความหลากหลายของรูปแบบรอยตำหนิ ในบางกรณีรอยตำหนิที่มีลักษณะของสาเหตุที่ใกล้เคียงกันแต่กลับมีรูปลักษณะที่แตกต่างกันมาก
2. ปัญหาจากการถ่ายด้วยกำลังขยายที่ใช้ในการถ่ายต่างกัน เช่น การถ่ายแบบ SE(U) เหมาะกับการรอยตำหนิประเภท Thin Contamination, การถ่ายแบบ SE(L) เหมาะกับรอยตำหนิประเภทรอยขูดบนพื้นผิว เป็นต้น
3. ปัญหาจากปริมาณอิเลคตรอนที่ยิงไปยังวัตถุที่ต่างกัน เช่น 1.0Kv, 15.0kV เป็นต้น
4. ปัญหาที่เกิดจากการใช้มาตราส่วนต่างกัน เช่น 5 พิกเซล ต่อ 3 ไมครอน สำหรับรอยตำหนิขนาดกลาง 10 พิกเซล ต่อ 0.5 ไมครอน สำหรับรอยตำหนิขนาดเล็กมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากปัญหาเรื่องการแบ่งกลุ่มของรอยตำหนิ ในขั้นต้นนี้ขอนำเสนอข้อแนะนำเบื้องต้นว่า เราอาจจะแบ่งกลุ่มของรอยตำหนิเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มของรอยตำหนิประเภทรอยขูด และกลุ่มของรอยตำหนิประเภทที่ไม่ใช่รอยขูด ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของรอยตำหนิได้ครอบคลุมและชัดเจนพอสมควร ด้วยแนวทางนี้ทำให้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดรอยตำหนิได้

บรรณานุกรม

Acharya, Tinku. And Ray, Ajoy K. 2005. **Image Processing: Principles and Applications.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Baxes, Gregory A. 2005. **Digital Image Processing: Principles and Applications**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Castleman, Kenneth R. **Digital Image Processing**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Gary Bradski and Adrian Kaeble. 2008. **Learning OpenCV Computer Vision with the OpenCV Library**. USA: O'Reilly Media, Inc.

Dong-Chen HE and Li Wang. 1990. **Texture Unit, Texture Spectrum, and Texture Analysis.** IEEE Trans. On Geosciences and Remote Sensing, Vol. 28, No. 4, p.509-512.

F. Long, H.J Zhang, D. D Feng. 2003. **Fundamentals of content-based image retrieval.** Multimedia Information Retrieval and Management, Springer, Berlin.

Gonzalez, Rafael C. and Woods, Richard E. 2002. **Digital Image Processing**, 2nd Ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Mathias Lux. 2008. **LIRE: An Open Source Java Content Based Image Retrieval Library.** [Online]. Available: http://www.semanticmetadata.net/lire/

R. M. Haralick, K. Shanmugam and I. Dinstein. 1973. **Texture Feature for Image Classification.** IEEE Trans. Systems Man Cybern, 3, p.610-621.

R. M. Haralick. 1979. **Statistical and Structure Approaches to Texture**. In Proceeding of the IEEE, Vol. 67, No. 5, p. 786-804.

S.J. Sangwine, R.E.N. Horne. 1998. **The Colour Image Processing Handbook.** Great Britain: Cambridge.

Virach Sornlertlamvanich. 2005. **Search Engine**. Thai Computational Linguistics Laboratory.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายณัฐสิทธิ์ เหล่าสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด	16 ธันวาคม 2520
สถานที่เกิด	จ. สงขลา
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างสำรวจ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ จ.สงขลา ปีการศึกษา 2538 จบการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างสำรวจ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ จ.สงขลา ปีการศึกษา 2540 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีการศึกษา 2545
การทำงาน	ตำแหน่ง ครู อันดับ ค.ศ 1 สังกัด โรงเรียนพิมานพทยาสรรค์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาสตูล สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ