ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบค้นคืนภาพจากตัวอย่างภาพโดยใช้คุณลักษณะลวดลายของพื้นผิวจานแม่เหล็กที่ได้รับความเสียหาย

A CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL SYSTEM USING TEXTURE FEATURES ON DAMAGED MAGNETIC DISK SURFACE

H006603

อธิณัฐ ไตรอมรวิมาน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....06603
วัน, เดือน, ปี..28 ก.ย. 2555

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบค้นคืนภาพจากตัวอย่างภาพโดยใช้คุณลักษณะลวดลายของพื้นผิวจานแม่เหล็กที่ได้รับความเสียหาย

A CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL SYSTEM USING TEXTURE FEATURES ON DAMAGED MAGNETIC DISK SURFACE

โดย

อธิณัฐ ไตรอมรวิมาน

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A CONTENT-BASED IMAGE RETRIEVAL SYSTEM USING TEXTURE FEATURES ON DAMAGED MAGNETIC DISK SURFACE

ATHINUT TRAIAMORNVIMARN

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGYLADKRABANG
2 / 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2553

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบค้นคืนภาพจากตัวอย่างภาพโดยใช้คุณลักษณะลวดลายของพื้นผิวจานแม่เหล็กที่ได้รับความเสียหาย

A CONTENT-BASE IMAGE RETRIEVAL SYSTEM USING TEXTURE FEATURE ON DAMAGED MEGNETIC DISK SURFACE

ผู้จัดทำ

นายอธิณัฐ ไตรอมรวิมาน รหัสประจำตัว 50070036

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	ระบบค้นคืนภาพจากตัวอย่างภาพโดยใช้คุณลักษณะลวดลายของพื้นผิวจานแม่เหล็กที่ได้รับความเสียหาย
นักศึกษา	นายอธิณัฐ ไตรอมรวิมาน รหัสนักศึกษา 50070036
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร

บทคัดย่อ

ในกระบวนการตรวจสอบและวินิจฉัยสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์นั้นยังมีความล่าช้าอยู่เนื่องจากต้องเปิดไฟล์ข้อมูลประวัติการวินิจฉัยที่มีอยู่แล้วทีละไฟล์เพื่อประกอบการพิจารณาสาเหตุ ดังนั้นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการคืนค้นรูปภาพรอยตำหนิบนพื้นผิวฮาร์ดดิสก์ โดยสามารถนำเข้ารูปภาพรอยตำหนิ รวมถึงสามารถแก้ไขและค้นคืนข้อมูลและรูปภาพรอยตำหนิที่มีอยู่ในฐานข้อมูลโดยใช้คำค้นที่ระบบตระเตรียมไว้ได้ รายงานนำเสนอเทคนิคการประมวลผลภาพเบื้องต้นและวิธีการตัดแบ่งวัตถุในภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคุณลักษณะที่สำคัญของรูปภาพ และการค้นคืนรูปภาพรอยตำหนิโดยการเปรียบเทียบคุณลักษณะดังกล่าวกับตัวอย่างภาพ ระบบถูกพัฒนาขึ้นโดยภาษา C++ ผลจากการทำการทดลองกับขั้นตอนวิธีคิดที่ได้เพื่อวัดประสิทธิภาพ เมื่อสิ้นสุดโครงการได้พบข้อจำกัดของระบบบางประการและมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาเป็นลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A content-based image retrieval system using texture feature on damaged magnetic disk surface
Student	Mr. Athinut Traiamornvimarn Student ID. 50070036
Degree	Bachelor of Science
Program	Information Technology
Year	2010
Advisor	Assoc.Prof. Dr.Nopporn Chotikakamthorn

ABSTRACT

The process of defect diagnosis in the hard disk production process is inefficient because a diagnosis staff has to open past diagnosis data files. This project presents the development of a content-based image retrieval system for hard disk defect diagnosis. This system can import the defect images of hard disk surface from past diagnosis data. The project uses image preprocessing methods and a segmentation technique for efficient feature extraction. This system has been developed using C++ language. Results from experiments with developed methods are reported.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.นพพร โชติกกำธร ที่คอยช่วยเหลือ ให้ข้อมูล คำชี้แนะ แนวทาง ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาระหว่างการจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบฐานข้อมูลและค้นคืนรูปภาพแบบออนไลน์สำหรับการประยุกต์ใช้ในงารตรวจสอบและวินิจฉัยความเสียหายบนพื้นผิวฮาร์ดดิสกีไดร์ฟ รหัสโครงการ HDD-01-51-03M

ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักร่วมด้านเทคโนโลยีการบันทึกข้อมูลและการประยุกต์ใช้งาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ขอขอบคุณข้อมูลจาก ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยีส์ (ประเทศไทย)

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงงาน 1 ดร.ปานวิทย์ ธุวะนุติ, ดร.สุภวรรณ อันนันหนับ และ อาจารย์บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล ที่ได้กรุณาให้คำชี้แนะในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่อาคม ทิพย์มณี และพี่อีกหลายคนในห้องปฏิบัติการ Interactive Media and E-learning Laboratory (IME) ที่คอยให้คำชี้แนะทั้งในส่วนของขั้นตอนวิธีคิด และในส่วนของการพัฒนาระบบ

ขอขอบคุณ นายสิทธิเทพ นราทอง และ นางสาวศริยา กางแก้ว ที่คอยให้คำปรึกษาในเรื่องการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ และส่วนการพัฒนาระบบ

ขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆ ในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้กำลังใจเป็นเพื่อนและน้องที่ดีคอยช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ของข้าพเจ้า ที่คอยกำลังใจเป็นอย่างดีตลอดมา แม้ในยามข้าพเจ้าทุกข์ หรือท้อใจ ท่านจะเป็นพลังให้ข้าพเจ้าสามารถมีแรงกลับมาสู้ได้ใหม่ เป็นผลให้ข้าพเจ้าสามารถจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อธิณัฐ ไตรอมรวิมาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 1

1.4 ขอบเขตการศึกษา 2

1.5 ขั้นตอนการศึกษา 2

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.7 เครื่องมือที่ใช้พัฒนาระบบ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น 4

2.1.1 การหาขอบภาพ 4

2.1.2 การขยายขนาดขององค์ประกอบรูปภาพ 5

2.1.3 การลดขนาดขององค์ประกอบรูปภาพ 6

2.1.4 Opening and Closing 8

2.1.5 การเจริญเติบโตของอาณาเขต 9

2.2 การค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหา 9

2.2.1 คุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง 11

2.2.1.1 Histogram Probability 11

2.2.1.2 Mean (Average) Intensity 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.1.3 Standard Deviation 12

2.2.1.4 Skew 12

2.2.2 คุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย 13

2.2.2.1 Statistical 13

2.2.2.2 Spectral 13

2.2.2.3 Structural 13

2.2.3 คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง 13

2.2.3.1 เส้นรอบวง 14

2.2.3.2 พื้นที่ 14

2.2.3.3 Roundness 14

2.2.3.4 Major Axis Length 14

2.2.3.5 Elongation 14

2.2.3.6 Bounding Box Area(BBA) 15

2.3 การค้นคืนข้อมูลรูปภาพจากคอนเท็นท์ 15

2.3.1 การค้นคืนโดยใช้รูปภาพตัวอย่าง 15

2.3.2 การค้นคืนรูปภาพโดยการกำหนดค่า 15

2.3.3 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้การวาดรูปของผู้ใช้ 15

2.3.4 Relevance Feedback – Query Refinement 15

2.4 การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน 15

2.4.1 Precision 16

2.4.2 Recall 16

2.5 การจำแนกรอยตำหนิบนพื้นผิวจานข้อมูล 17

2.5.1 Scratch 17

2.5.2 Flake Pit 17

2.5.3 Pre-Sputtering Contamination 17

2.5.4 Delimitation 18

2.5.5 Ding 18

2.5.5.1 Disk Manufacturing Process Problem 18

2.5.5.2 Scratch by disk contact head 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.5.3 Disk damage by tooling in HDD process 18

2.5.5.4 Scratch by contamination interface to disk 18

2.6 การจำแนกรอยตำหนิบนพื้นผิวจานข้อมูล 18

2.6.1 Hard Disk Drive Problem Isolation 18

2.6.2 Electrical Analysis 18

2.6.3 Mechanical Analysis 19

2.6.4 Component Analysis 19

บทที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาและการนำเสนอแนวทางแก้ไข 20

3.1 ขั้นตอนการทำงานโดยภาพรวมของระบบ 20

3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) 21

3.3 การประมวลผลภาพเพื่อให้ได้คุณลักษณะสำคัญของภาพ(Feature Extraction) 22

3.3.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ 22

3.3.2 การตัดขอบวัตถุในภาพ (Segmentation) 23

3.3.3 การหาคุณลักษณะจากภาพตัวอย่าง 27

3.3.3.1 การหา Bounding Box Area (BBA) 28

3.3.3.2 การหาค่าคุณลักษณะของพื้นผิว 30

3.3.3.3 ความโค้งมนและความใกล้เคียงกับวงกลม 30

3.4 การค้นคืนข้อมูลรูปภาพจากคอนเท็นท์ 31

3.5 การพัฒนาระบบ 31

3.5.1 การพัฒนาในส่วนการประมวลผลภาพและการดึงคุณลักษณะของภาพ 31

3.5.2 การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ 33

3.5.3 การพัฒนาส่วนการค้นคืนภาพกับฐานข้อมูล 34

บทที่ 4 การทดลองและการวัดประสิทธิภาพ 37

4.1 การตัดแบ่งวัตถุในภาพออกจากพื้นหลังของภาพ 37

4.1.1 การทดลองขั้นตอนวิธีคิดการหาค่าขีดแบ่ง 37

4.2 การหาค่ากรอบวัตถุของภาพ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2.1 การทดลองหาค่ากรอบวัตถุของภาพเพื่อให้ได้แกนเอกและแกนโท 40
4.3 การหาค่าคุณลักษณะของภาพ 44
4.3.1 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของภาพจากระบบที่ได้พัฒนา 44
4.4 การค้นคืนข้อมูลจากภาพตัวอย่าง 48
4.3.1 การทดลองการค้นคืนรูปภาพจากภาพตัวอย่างกับระบบ 48

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 51
5.1 บทสรุปของโครงการ 51
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 51
5.2.1 ปัญหาด้านการออกแบบขั้นตอนวิธีคิด 51
5.2.2 ปัญหาด้านการพัฒนาระบบ 52
5.3 ข้อเสนอแนะ 52

บรรณานุกรม 53
ภาคผนวก 54
ประวัติผู้เขียน 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 ประเภทและคำอธิบายการเก็บค่าในตัวแปรของตาราง info_image 35
3.2 ประเภทและคำอธิบายการเก็บค่าในตัวแปรของตาราง texture 35
4.1 การทดลองขั้นตอนวิธีคิดการหาค่าขีดแบ่ง 38
4.2 การทดลองหาค่ากรอบวัตถุของภาพเพื่อให้ได้แกนเอกและแกนโท 41
4.3 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของภาพจากระบบที่ได้พัฒนา 45
4.4 การทดลองการค้นคืนรูปภาพจากภาพตัวอย่างกับระบบ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะการเกิดของขอบภาพ 4

2.2 ผลการทำ Edge Detection เพื่อหาขอบภาพ (Gonzalez, Rafael C. 2002) 5

2.3 ผลการใช้งาน Dilation เพื่อขยายส่วนประกอบในรูปภาพ 6

2.4 ผลการใช้งาน Erosion เพื่อลบส่วนประกอบในรูปภาพ 7

2.5 ผลการใช้งาน Opening และ Closing จากรูปตัวอย่าง 8

2.6 ภาพตัวอย่างของ Flake Pit 17

2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์และระบุสาเหตุของความเสียหาย 19

3.1 ภาพตัวอย่างที่เป็นภาพต้นฉบับในระบบ (3μm SE(U)) 21

3.2 ภาพตัวอย่างหลังจากตัดอักษรด้านล่าง 31 pixel แล้ว 22

3.3 ภาพตัวอย่างหลังจากการเบลอด้วย mask ขนาด 9x9 22

3.4 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของการหาค่าขีดแบ่งเริ่มต้น 23

3.5 ภาพตัวอย่างการรับค่าสี่จุดในแต่ละช่วง 24

3.6 ภาพ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ทำ Region Growing 25

3.7 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของวิธีการเติบโตของอาณาเขต 26

3.8 ภาพที่ทำ opening and closing 27

3.9 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของพื้นที่กรอบภาพที่เล็กที่สุด 28

3.10 ภาพตัวอย่าง Minimum Bounding box area 30

3.11 แผนผังการทำงานโดยรวมของระบบ 32

3.12 หน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ในการเพิ่มกรณีใหม่เข้าสู่ระบบ 33

3.13 หน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ในการค้นคืนรูปภาพจากระบบ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์มักเกิดปัญหาความเสียหายที่พื้นผิวของจานบันทึกข้อมูลอยู่เสมอ ปัจจุบันนี้กระบวนการตรวจสอบและวินิจฉัยสาเหตุยังคงอาศัยความสามารถของผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ภาพถ่ายของรอยตำหนิ โดยการเปรียบเทียบกับรอยตำหนิเดิมที่เก็บอยู่ในคลังข้อมูลผลการวินิจฉัย การตรวจสอบดังกล่าวจะมีความล่าช้าอยู่มากเนื่องต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเท่านั้นจึงจะสามารถระบุปัญหาต่างๆได้ และความผิดพลาดจากความอ่อนล้าในการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญก็มีส่วนด้วย

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้มีการวินิจฉัยสาเหตุของปัญหาบนรูปภาพรอยตำหนิบนพื้นผิวฮาร์ดดิสก์ โดยมีฟังก์ชั่นประมวลผลภาพเบื้องต้นและการรู้จำภาพ เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชั่นหาคุณลักษณะที่สำคัญของรูปภาพ ในการที่จะวินิจฉัยรูปภาพรอยตำหนิเดิมที่เคยวิเคราะห์ไว้ก่อนหน้านี้โดยใช้ข้อมูลคุณลักษณะที่สำคัญของรูปภาพรอยตำหนิใหม่ที่นำเข้ามาตรวจสอบได้ เพื่อระบุปัญหาและรายงานผล ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อ

1. เพื่อพัฒนาวิธีการหรือหลักการวิเคราะห์ภาพรอยตำหนิบนผิวจานฮาร์ดดิสก์ เพื่อเป็นการจำแนกสาเหตุของความเสียหายบนพื้นผิวจานฮาร์ดดิสก์
2. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์วินิจฉัยความเสียหายพื้นผิวจานฮาร์ดดิสก์ เพื่อระบุสาเหตุของความเสียหายและแจ้งไปยังผู้ใช้

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เมื่อนำรูปภาพรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์เข้าสู่โปรแกรมแล้ว เริ่มต้นรูปภาพจะผ่านการประมวลผลภาพเบื้องต้น และตัดส่วนที่ไม่จำเป็นออก จากนั้นใช้เทคนิคการรู้จำภาพเพื่อดึงค่าตัวแปรที่จำเป็นต่อ กระบวนการวินิจฉัยในขั้นตอนต่อไป

ในการวินิจฉัยนั้น จะใช้เทคนิคการค้นคืนจากคุณลักษณะสำคัญ(Content-based Image Retrieval) ของรอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์ ประกอบด้วย ความสว่างของระดับสีเทา พื้นผิว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปทรงขององค์ประกอบของรูปภาพ การดึงค่าตัวแปรที่จำเป็นต่อการประมวลผล เพื่อให้โปรแกรมสามารถวินิจฉัยภาพและรายงานผู้ใช้ได้ โดยอัตโนมัติ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

เพื่อพัฒนาวิธีการหรือหลักการวิเคราะห์ภาพรอยตำหนิบนผิวจานฮาร์ดดิสก์ ที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะระบุสาเหตุของปัญหาได้ หรือสามารถแสดงรูปภาพที่ได้จากการค้นคืนภาพได้ และยังพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์วินิจฉัยความเสียหายพื้นผิวจานฮาร์ดดิสก์ ซึ่งเป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกับวิธีการหรือหลักการวิเคราะห์ภาพรอยตำหนิบนพื้นผิวจานฮาร์ดดิสก์ รวมถึงส่วนติดต่อผู้ใช้อีกด้วย

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ในส่วนขั้นตอนการศึกษาและพัฒนานั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

1. ส่วนแรกคือการพัฒนาขั้นตอนวิธี โดยในส่วนแรกจะเริ่มจากการศึกษา MatLab เพื่อใช้ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีซึ่งเป็นการใช้งานฟังก์ชั่นทางด้านการประมวลผลภาพ ซึ่งมีให้เลือกใช้อย่างหลากหลายและครอบคลุม โดยได้พัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อใช้ในการดึงคุณลักษณะออกมาจากภาพ
2. ส่วนที่สองคือการนำขั้นตอนวิธีที่ได้ไปพัฒนาเป็นระบบเพื่อใช้งานได้จริง โดยศึกษาไลบารี่ OpenCV version 2.0 และภาษา C++ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้พัฒนาคือ Microsoft Visual Studio 2008 Professional Edition และ MySQL Server 5.1.45 Community Edition และ MySQL Tools for 5.0 เป็นเครื่องมือในการจัดการ เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบเพื่อใช้งานได้จริงเป็นลำดับถัดไป

นอกจากนี้แล้วยังได้ทำเอกสารสรุปผลการทดลองในรูปแบบของปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ด้วยกัน ดังนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้พัฒนาระบบงาน อันประกอบด้วยเทคนิคการทำการประมวลผลภาพเบื้องต้น การดึงคุณลักษณะสำคัญ การรู้จำอักขระทางภาพ และการวัดประสิทธิภาพในการทำงานของระบบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ปัญหาและการนำเสนอแนวทางแก้ไขตามที่กล่าวในบทที่ 2 รวมถึงขั้นตอนและวิธีการในการพัฒนาระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหา โดยใช้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่ศึกษามา

บทที่ 4 จะกล่าวถึงการทดลองและการวัดประสิทธิภาพของระบบงาน

บทที่ 5 จะกล่าวถึงบทสรุป อุปสรรค และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาในขั้นต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโปรแกรม คือช่วยลดระยะเวลาในการพิจารณารอยตำหนิบนผิวฮาร์ดดิสก์โดยผู้เชี่ยวชาญ พร้อมทั้งระบุปัญหาเพื่อสามารถดำเนินการขั้นต่อไปได้

1.7 เครื่องมือที่ใช้พัฒนาระบบ

1. ภาษาที่ใช้พัฒนาคือ ภาษา C++ และใช้ไลบารี่ Intel OpenCV 2.0 เพื่อใช้ฟังก์ชั่นของการจัดการด้าน Image processing
2. เครื่องมือที่ใช้พัฒนาคือ Microsoft Visual Studio 2008 Professional Edition หรือโปรแกรมเครื่องมือพัฒนาภาษา C++ โดยใช้คลังข้อมูลคือ MySQL Server 5.1.45 Community Edition และ MySQL Tools for 5.0 เป็นเครื่องมือในการจัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

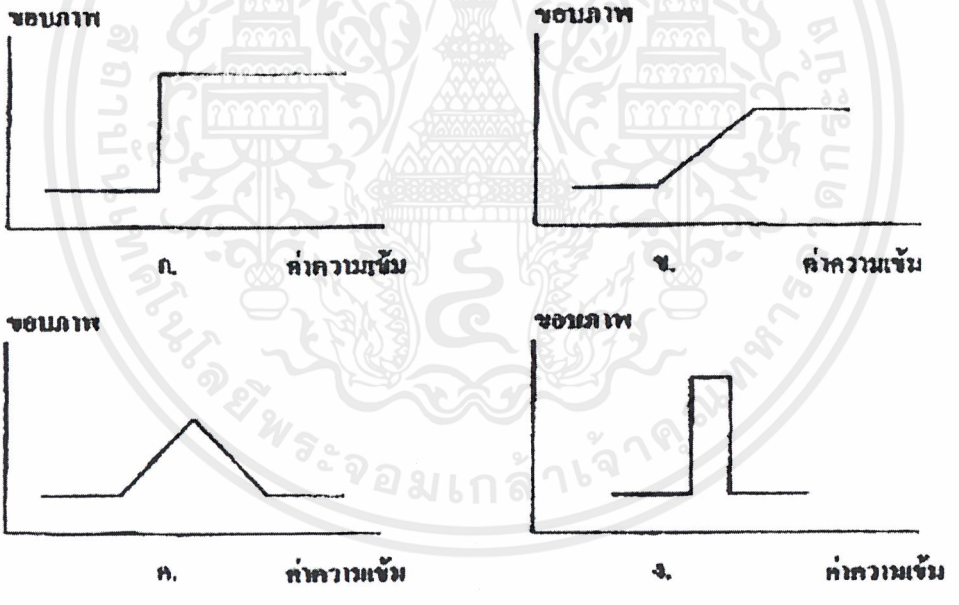
บทที่ 2
ทฤษฎีการประมวลผลภาพเพื่อหาคุณลักษณะสำคัญ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาและพื้นฐานของการค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาได้แก่ เทคนิคที่นำมาใช้ในการประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) และเทคนิคการดึงคุณลักษณะสำคัญของรูป (Feature Extraction) ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและการวัดประสิทธิภาพของระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาจากตัวอย่างภาพ

2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing)

2.1.1 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการที่เรียกว่า การแบ่งออกเป็นส่วน (Segmentation) ซึ่งจะทำการแบ่ง และระบุพื้นที่แต่ละพื้นที่ที่มีลักษณะต่างกัน โดยวัตถุต่างๆจะถูกแยกจากกันด้วยขอบภาพ ซึ่งจะมีได้หลายลักษณะ



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดของขอบภาพ (ก) ภาพแสดงค่าความเข้มเปลี่ยนแปลงในทันที (ข) ภาพแสดงค่าความเข้มค่อยๆเพิ่มขึ้นทีละน้อย (ค) ภาพแสดงขอบภาพที่ค่าความเข้มค่อยๆเพิ่มขึ้นและลดลงทีละน้อย (ง) ภาพแสดงขอบภาพที่เป็นเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้การหาขอบภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาขอบของวัตถุต่างๆในภาพ เพื่อทำให้เห็นถึงลักษณะรูปร่าง และขอบเขตของรอยตำหนิ ได้อย่างชัดเจน

การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันหรือการเกิดความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuity) ของความเข้มแสง ดังนั้นการหาขอบภาพ คือ การระบุถึงตำแหน่งของพิกเซลที่มีการเปลี่ยนแปลงของของความเข้มดังกล่าว ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้จะอยู่ในรูปของเส้นพรมแดนระหว่างพื้นที่ต่างๆ ตัวดำเนินการที่ใช้สำหรับการหาขอบภาพ ได้แก่ Sobel Operator, Canny Operator, Prewitt Operator, LoG Operator เป็นต้น

(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 ผลการทำ 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 ในรูปภาพขาวดำการทำ Dilation ของ A โดย B สามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ $A \oplus B$ และกำหนดนิยามดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

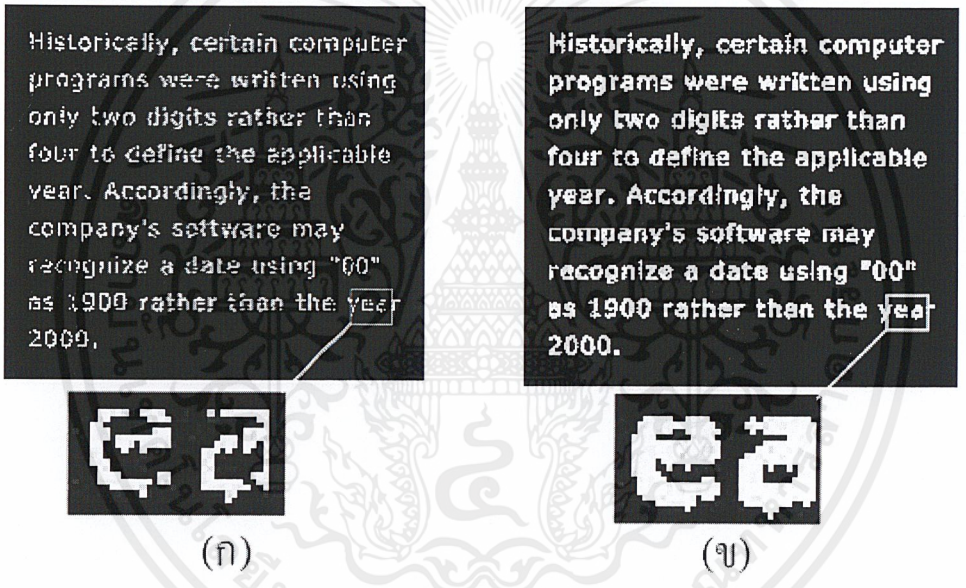
กำหนดให้

A คือ รูปภาพที่ต้องการทำ Dilation

B คือ หน้ากาก หรือ Structure Element (SE)

z คือ เซตของจุดบนรูปภาพ

จากนิยามสามารถทำ Dilation ได้โดยเลื่อนหน้ากาก B ไปทีละจุดบนรูปภาพ พร้อมกับตรวจสอบว่าขณะที่จุดเริ่ม (Origin) ของหน้ากากตรงกับตำแหน่งข้อมูลภาพที่จุดภาพมีค่าเท่ากับ 1 นั้นก็จะทำการยูเนียนหน้ากากนี้เข้ากับข้อมูลภาพวัตถุที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพหลงจากผ่านการทำ Dilation จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นจงเปรียบการทำ Dilation เหมือนการทับถมวัตถุต่างๆ ในรูปภาพให้ใหญ่ขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.3 ผลการใช้งาน Dilation เพื่อขยายส่วนประกอบในรูปภาพ

(Gonzalez and Woods, 2002)

(ก) รูปภาพขาวดำของตัวอักษรที่มีความละเอียดต่ำและขาดช่วง

(ข) รูปภาพที่ผ่านการ Dilation ตัวอักษรที่ขาดช่วงได้รับการเชื่อมต่อ

การขยายขนาดขององค์ประกอบรูปภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อขยายเส้นขอบของรอยตำหนิที่ขาดหายไปจากกระบวนการอื่นทำให้ได้ขอบภาพที่ต่อเนื่องและชัดเจนมากขึ้น

2.1.3 การลดขนาดขององค์ประกอบรูปภาพ (Erosion)

การลดขนาดขององค์ประกอบในรูปภาพ เป็นเทคนิคการลบข้อมูลภาพบริเวณขอบของวัตถุหรือองค์ประกอบ(Component) ในรูปภาพ สามารถทำได้โดยการสร้างหน้ากากขึ้นแล้วนำหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากไปสแกนบนข้อมูลภาพกำหนดเซต A และ B คือ เซตของจุดที่มีค่าเท่ากับ 1 ในรูปภาพขาวดำ การทำ Erosion ของ A โดย B สามารถแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ $A \ominus B$ และกำหนดนิยามดังนี้

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

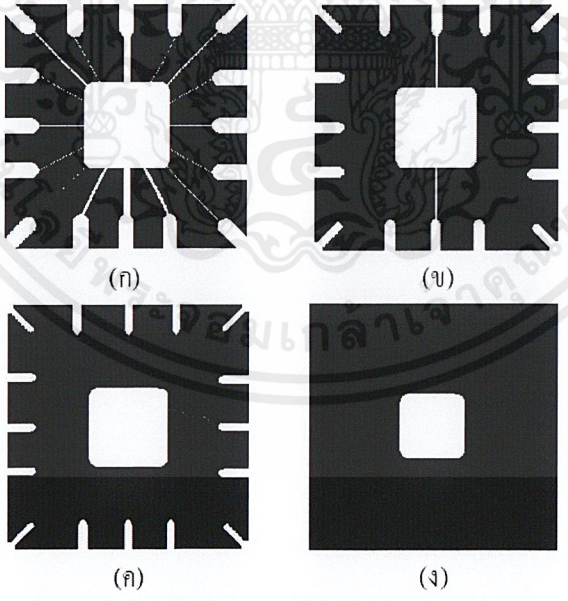
กำหนดให้

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 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวัตถุที่ปรากฏอยู่ในรูปภาพหลังจากผ่านการทำ Erosion จะมีขนาดเล็กลง หรือสูญหายไป ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นจงเปรียบการทำ Erosion เหมือนการกัดกร่อนวัตถุต่างๆในรูปภาพให้เล็กลงนั่นเอง การลดขนาดขององค์ประกอบรูปภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดรอย Marker และรอยสิ่งรบกวน (Noise) เล็กๆน้อยๆที่ปรากฏอยู่ในภาพในขั้นตอนของการทำ Preprocessing



รูปที่ 2.4 ผลการใช้งาน Erosion เพื่อลบส่วนประกอบในรูปภาพ

(Gonzalez and Woods, 2002)

(ก) รูปภาพขาวดำของ Wire bond mask

(ข) รูปภาพที่ผ่านการ Erosion ด้วย SE แบบ square ขนาด 11*11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) รูปภาพที่ผ่านการ Erosion ด้วย SE แบบ square ขนาด 15*15

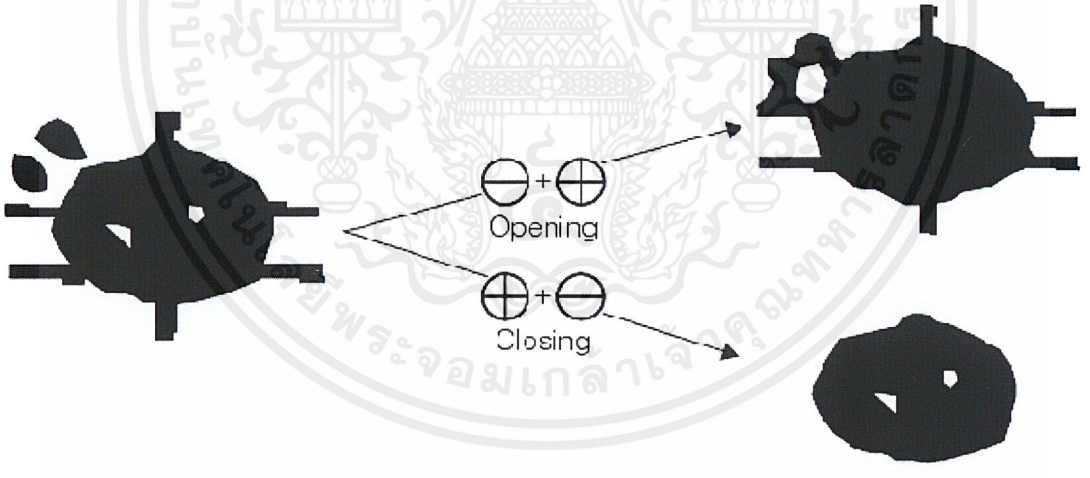
(ง) รูปภาพที่ผ่านการ Erosion ด้วย SE แบบ square ขนาด 45*45

2.1.4 Opening and Closing

การกระทำกับภาพด้วยวิธี Opening และ Closing เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นำเอา Dilation และ Erosion เข้ามาประยุกต์การใช้งานให้มากขึ้น ซึ่งวิธีการ Opening จะเป็นการทำให้ขอบของวัตถุไม่มีมุมแหลมหรือเป็นการลดความคมของขอบภาพ โดยการนำวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า และเป็นรูปทรงต่างๆตัวอย่างเช่นวงกลมเข้าไปกลิ้งตามขอบภายในวัตถุที่ต้องการและเมื่อขอบของวงกลมชนกับเส้นสองเส้นพื้นที่บริเวณที่ถูกปิดล้อม จะถูกตัดทิ้งไป ส่วน closing นั้นจะเป็นการใช้รูปทรงใดๆ เช่นวงกลมกลิ้งตามขอบนอกของภาพเราสามารถเขียนเป็นรูปแบบฟังก์ชั่นคณิตศาสตร์ในรูปของเซตได้ดังนี้

$$\text{Opening} : A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \tag{2.3}$$

$$\text{Closing} : A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.5 ผลการใช้งาน Opening และ Closing จากรูปตัวอย่าง

2.1.5 การเจริญเติบโตของอาณาเขต

การเจริญเติบโตของอาณาเขตเป็นวิธีปรกติของการตัดแบ่งรูปภาพจากการใช้อาณาเขตเป็นตัวกำหนด เป็นการแบ่งโดยใช้จุดภาพในการจำแนกการตัดแบ่งภาพ เพราะขั้นตอนวิธีแบบนี้จำเป็นต้องใช้จุดภาพเริ่มต้นในการเลือกเป็นจุดเริ่มต้นของการเจริญเติบโตของอาณาเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางในการแบ่งอาณาเขตนั้นจะเริ่มตรวจสอบจุดภาพบริเวณใกล้เคียงกับจุดเริ่มต้นที่เปรียบได้กับเมล็ดพืช และกำหนดว่าจุดภาพเพื่อนบ้านนั้นจะเพิ่มพื้นที่หรือไม่ กระบวนการนี้เป็นการวนทำซ้ำกับลักษณะข้างต้นในแบบแผนแบบเดียวกัน จนครบทั้งภาพหรือจนกว่าจะไม่สามารถขยายอาณาเขตได้อีกต่อไป

โดยแนวทางในการเลือกจุดเริ่มต้นหรือ Seed point นั้น เป็นขั้นตอนแรกของการเลือกโดยผู้ใช้ ตัวอย่างเช่นเลือกจุดภาพในช่วงระดับสีเทาหนึ่ง หรือจุดภาพบนช่องตารางหนึ่งๆ เพื่อเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับการเริ่มเติบโตของอาณาเขต

อาณาเขตนั้นจะเติบโตจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดข้างๆ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนสมาชิกของอาณาเขต และกฎเกณฑ์ของการครอบครองที่ได้ตั้งไว้ ตัวอย่างเช่นค่าความเข้มข้นในการเติบโต หรือพื้นผิวระดับสีเทาหรือสี เป็นต้น

ตั้งแต่อาณาเขตได้เติบโตตามกฎเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้แล้ว ตัวอย่างเช่นถ้ากฎเกณฑ์ของความเข้มข้นในการครอบครองของจุดภาพ ซึ่งมีค่าขีดแบ่งเริ่มต้นค่าหนึ่ง ข้อมูลในส่วนของกราฟความถี่ของภาพจำเป็นจะต้องถูกนำมาคำนวณด้วย ซึ่งสิ่งที่ต้องใช้ คือค่าขีดแบ่งเริ่มต้นสำหรับตั้งกฎเกณฑ์ของสมาชิกในการขยายอาณาเขต ซึ่งมีความสำคัญมากในการกำหนดการเติบโตของอาณาเขต

นอกจากนี้ยังสามารถเลือกใช้การเชื่อมต่อเพื่อนบ้านแบบสี่ทิศทาง เพื่อขยายอาณาเขตจากจุดเริ่มต้น หรือการเชื่อมต่อเพื่อนบ้านแบบแปดทิศทางสำหรับจุดภาพที่มีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้นั้นก็เป็นค่าเดียวกันได้ และเป็นการเก็บค่าของจุดภาพอยู่ติดกับจุดภาพเริ่มต้นที่ได้พิจารณาแล้ว กล่าวคือถ้ามีค่าความเข้มข้นกับจุดเริ่มต้นแล้ว เราจะแบ่งแยกมันไปจังจุดเริ่มต้น การกระทำซ้ำนี้จะทำไปเรื่อยๆจนกว่าจะไม่มีค่าใดเปลี่ยนค่าอีกต่อไป โดยเป้าหมายหลักนั้นคือ การจัดกลุ่มความคล้ายคลึงกันของอาณาเขตบนภาพ

2.2 การค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหา

การค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหา (Content-based image retrieval) เป็นขั้นตอนหรือกระบวนการหนึ่งในการค้นคืนสารสนเทศ ในการดึงคุณลักษณะสำคัญหรือคุณลักษณะเด่นของรูปภาพแต่ละรูปออกมา คุณลักษณะสำคัญนี้สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ คุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง (Brightness and Color Feature), คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง (Shape Feature) และคุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย (Texture Feature) ซึ่งคุณลักษณะสำคัญแต่ละประเภทจะประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญต่างๆมากมาย โดยแต่ละคุณลักษณะสำคัญจะมีความสามารถในการอธิบายลักษณะเฉพาะของรูปภาพที่แตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่ารูปภาพที่เหมือนกันหรือมีลักษณะที่คล้ายกันก็จะมีกลุ่มของค่าคุณลักษณะสำคัญที่คล้ายกันด้วย ดังนั้นสำหรับการค้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คืนรูปภาพโดยเนื้อหาก็อาศัยการเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพที่กำลังพิจารณากับรูปภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลภาพ

ในการหาการดึงคุณลักษณะสำคัญของรูปภาพ (Feature Extraction) โดยคุณลักษณะสำคัญนี้ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ คุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง (Brightness and Color Feature) อันได้แก่ Histogram Probability P(g), Mean (Average) Intensity $\bar{g}$, Standard Deviation σ , Skew เป็นต้น คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง (Shape Feature) อันได้แก่ เส้นรอบวง (Perimeter) ,พื้นที่ (Area) , ความโค้งมน (Roundness) , จุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ Center of Mass (Centroid) และคุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย (Texture Feature) ซึ่งคุณลักษณะสำคัญแต่ละประเภทก็ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญต่างๆ มากมาย โดยแต่ละคุณลักษณะสำคัญจะมีความสามารถในการอธิบายลักษณะเฉพาะของรูปภาพที่แตกต่างกันไป เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่ารูปภาพที่เหมือนกันหรือมีลักษณะที่คล้ายกันก็จะมีกลุ่มของค่าคุณลักษณะสำคัญที่คล้ายกันด้วย

การวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidean Distance) เป็นวิธีการคำนวณค่าความเหมือนของวัตถุ 2 ชิ้น โดยพิจารณาจากกลุ่มของคุณลักษณะสำคัญ (Feature Vector) ของวัตถุนั้น ค่าความเหมือนที่คำนวณได้นั้นจะถูกแทนค่าในลักษณะของระยะทาง และระยะทางที่ได้จะมีค่าแปรผันแบบผกผันกับความคล้ายคลึงกันของวัตถุ (Similarity) กล่าวคือถ้าค่า Euclidean Distance ของวัตถุ 2 ชิ้นมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าวัตถุ 2 ชิ้นนั้นมีลักษณะเหมือนกันหรือมีคุณลักษณะสำคัญเท่ากันทุกประการ แต่ถ้าค่า Euclidean Distance มีค่าเริ่มมากกว่า 0 แสดงว่าวัตถุ 2 ชิ้นที่กำลังพิจารณานั้น เริ่มมีค่าคุณลักษณะสำคัญต่างกันออกไปหรือมีความเหมือนกันน้อยลงหรือเริ่มต่างกันมากขึ้นนั่นเอง

$$D(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} |a_i - b_i|^2} \qquad (2.5)$$

กำหนดให้

$D(A, B)$	คือค่าระยะยูคลิด(Euclidean Distance)
A	คือวัตถุชิ้นที่ 1
B	คือวัตถุชิ้นที่ 2
a_i	คือคุณลักษณะสำคัญที่ i วัตถุ a
b_i	คือคุณลักษณะสำคัญที่ i วัตถุ b
i	คือลำดับของคุณลักษณะสำคัญของวัตถุ ที่มีค่าตั้งแต่ $1 - n$
n	คือจำนวนของคุณลักษณะสำคัญที่อยู่ใน Feature value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณลักษณะสำคัญทางสีและความสว่าง (Brightness and Color Feature)

ในเรื่องของสีและความสว่างนั้นเป็นสิ่งที่มนุษย์เห็นได้ชัดเจน ซึ่งการดึงลักษณะสำคัญของสีในที่นี้หมายถึงกระบวนการของการแทนคอนเทนต์ของรูปภาพโดยสีทั้งหมดของรูปภาพ (global color feature) แต่มีบางวิธีที่ใช้การแทนคอนเทนต์เหล่านั้นโดยสีเฉพาะพื้นที่ (local color feature) ซึ่งวิธีนี้อาจจะถูกนำไปรวมกับลักษณะสำคัญอื่น เช่นรูปร่าง หรือพื้นผิว ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป ซึ่งวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยกระบวนการดังต่อไปนี้

2.2.1.1 Histogram Probability: P (g)

กระบวนการโดยทั่วไปแล้วในการแทนลักษณะที่สำคัญของสีในรูปภาพนั้นสิ่งหนึ่งที่สามารถบ่งบอกได้คือ ฮีสโตแกรม ถ้าหากภาพนั้นเป็นภาพสีเทาก็จะสามารถแสดงผลออกมาเป็นจำนวนพิกเซลของระดับสีเทา (Gray Level Histograms) ส่วนภาพสีเราจะเรียกว่าฮีสโตแกรมของสี (color Histograms) โดยทั่วไปแล้วรูปภาพแต่ละรูปจะมีฮีสโตแกรมที่แน่นอน ถึงแม้ว่าจะมีการเคลื่อนย้าย (translation) หรือการหมุน (rotation) ของแกนรูปภาพ และรวมถึงการเปลี่ยนมุมเพียงเล็กน้อยของภาพ ก็จะมีค่าฮีสโตแกรมที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถนำมาใช้สำหรับดัชนีรูปภาพเพื่อแสดงความคล้ายคลึงของรูปภาพทั้งหมดสำหรับค้นคืนข้อมูลรูปภาพ

แต่ปัญหาหลาย ๆ อย่างของฮีสโตแกรมของสี ได้แก่ การแปรผันของความละเอียดของรูปภาพ รวมถึงการแปรผันของความสว่าง อีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญคือรูปที่แตกต่างกันอาจจะมีฮีสโตแกรมของสีเหมือนกันได้ ซึ่งอาจจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดในการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮีสโตแกรมของสีขึ้นได้

โดยสรุปแล้วฮีสโตแกรมเป็นแบบจำลองเชิงสถิติเพื่อใช้อธิบายถึงความน่าจะเป็นของการกระจายตัวของความเข้มแสงแบบหลายระดับ (Gray Level) ที่ปรากฏอยู่ในภาพ ซึ่งจะทำให้สามารถทราบถึงลักษณะเฉพาะบางประการของภาพนั้น

$$P(g) = \frac{N(g)}{M} \tag{2.6}$$

กำหนดให้

M	คือจำนวนของพิกเซลทั้งหมดในภาพถ่าย
g	คือ ค่าความเข้มแสงหลายระดับที่พิกเซลใดๆ (Intensity)
N(g)	คือ จำนวนของพิกเซลที่มีความเข้มแสง เท่ากับค่า g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 Mean (Average) Intensity : g

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

$$\bar{g} = \sum_r \sum_c \frac{I(r,c)}{M} \tag{2.7}$$

กำหนดให้

$I(r, c)$	คือค่าความเข้มแสงที่พิกเซล I(r,c) ใดๆ
r	คือตำแหน่งในแนวแถว (Row)
c	คือตำแหน่งในแนวหลัก (Column)
M	คือจำนวนพิกเซลทั้งหมดในภาพถ่าย

2.2.1.3 Standard Deviation: σ

Standard Deviation หรือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบถึงการกระจายตัวของข้อมูลในภาพโดยรูปภาพที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง แสดงว่ารูปภาพนั้นมีรายละเอียดหรือลวดลายมาก และหากรูปภาพมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำแสดงว่าพื้นผิวรูปภาพนั้นเป็นรูปภาพแบบเรียบ ไม่มีลวดลายมากนัก

$$\sigma = \sqrt{\sum_{g=1}^{L} (g - \bar{g})^2 \cdot P(g)} \tag{2.8}$$

กำหนดให้

L	คือ จำนวนค่าความเข้มแสงทั้งหมดที่เป็นไป ได้โดยไม่ซ้ำกัน
g	คือค่าความเข้มแสงหลายระดับใดๆ (Intensity)
$\bar{g}$	คือ ค่าความเข้มแสงเฉลย (Mean Intensity)
P(g)	คือ Histogram Probability

2.2.1.4 Skew

Skew เป็นค่าตัวเลขที่ใช้วัดความไม่สมมาตร สิ่งที่ได้จะบอกเกี่ยวกับการกระจายตัวของความเข้มแสง (Gray Level Intensity) ในภาพใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Skew} = \frac{\bar{g}-\text{mod}}{\sigma} \tag{2.9}$$

กำหนดให้

Mod คือ ค่ามัธยฐาน

g คือ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย (Mean Intensity)

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.2.2 คุณลักษณะสำคัญทางลวดลาย (Texture Feature)

ลักษณะสำคัญจองพื้นผิวของรูปภาพได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในการแบ่งส่วนของรูปภาพ (region segmentation) ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งประเภทของพื้นผิวของรูปภาพออกเป็น 3 ประเภทคือ ความหยาบ (coarseness) ความเรียบ (smoothness) และ ความสม่ำเสมอ (regularity) โดยมีวิธีการหาลักษณะของพื้นผิว (texture description) อยู่ 3 ประเภทคือ

2.2.2.1 Statistic

เป็นวิธีการที่ใช้พื้นฐานของฮีสโตแกรมของพื้นที่รูปภาพ (region histogram) ซึ่งเป็นเทคนิคที่จะใช้วัดความแตกต่าง (contrast) ความเป็นกลุ่ม (granularity) และความหยาบ (coarseness) ของพื้นผิวของรูปภาพ

2.2.2.2 Spectral

เป็นวิธีการที่ใช้พื้นฐานของฟังก์ชั่นออร์โตโครรีเลชั่นของพื้นที่หรือการยกกำลังของการกระจายใน Fourier transform domain

2.2.2.3 Structure

เป็นวิธีการที่อธิบายลักษณะพื้นผิวของรูปภาพโดยใช้รูปแบบหรือโครงสร้างของพื้นผิวที่มีอยู่แล้วที่สามารถเข้ากับพื้นผิวของรูปภาพได้

2.2.3 คุณลักษณะสำคัญทางรูปร่าง (Shape Feature)

สำหรับวิธีการนี้จะใช้ลักษณะสำคัญของรูปร่างที่ใช้กันอยู่ทั่วไปประกอบด้วย 2 วิธีคือ boundary-based และ region-based ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะใช้กำหนดโครงสร้างของรหัสของรูปภาพ (image coding) เพื่อแทนคอนเทนต์ของรูปภาพโดยสามารถหาค่าคุณลักษณะสำคัญได้จากค่าดังต่อไปนี้ประกอบด้วยคุณลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 เส้นรอบวง (Perimeter)

เป็นการหาระยะทางเส้นรอบวงของวัตถุ โดยพิจารณาจากจำนวนของพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุ หากการเชื่อมต่อกับพิเซลข้างเคียงในแนวราบหรือแนวดิ่งให้กำหนดค่าเป็น 1 หน่วย และการเชื่อมต่อในแนวทแยงมุมให้กำหนดค่าเป็น 1.414 หน่วย

2.2.3.2 พื้นที่ (Area)

เป็นการหาพื้นที่ภายในของวัตถุ โดยพิจารณาจากจำนวนของพิกเซลที่อยู่ภายในวัตถุ และพิกเซลที่เป็นขอบของวัตถุด้วย

2.2.3.3 Roundness

เป็นการหาอัตราส่วนความโค้งมนหรือความกลมของวัตถุ โดยกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ดั้งนั้นวัตถุจะมีลักษณะกลมอย่างสมบูรณ์ เมื่อ Roundness = 1 และวัตถุจะมีลักษณะค่อยๆ เพี้ยนไปจากวงกลม เมื่อ Roundness เริ่มลดค่าจาก 1 ไปเป็น 0

$$\text{Roundness} = \frac{4\pi \cdot \text{Area}}{\text{Perimeter}^2} \tag{2.10}$$

2.2.3.4 Major Axis Length

เป็นการหาระยะทางระหว่าง 2 พิกเซล ที่มีระยะห่างกันมากที่สุด ที่สามารถลากผ่านภายในวัตถุได้เมื่อพิจารณาจากทุกๆ พิกเซลที่ประกอบกันเป็นขอบของวัตถุ

$$\text{MajorAxisLength} = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 - \left(y_i - y_j\right)^2} \tag{2.11}$$

กำหนดให้

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

2.2.3.5 Elongation

เป็นการหาอัตราส่วนการยืดตัวของวัตถุโดยกำหนดใหม่ค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ดังนั้นวัตถุจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือวงกลม เมื่อ Elongation = 1 และวัตถุจะมีรูปร่างค่อยๆยืดออก เมื่อ Elongation เริ่มลดค่าจาก 1 จนเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Elongation} = \frac{\text{MinorAxisLength}}{\text{MajorAxisLength}} \quad (2.12)$$

2.2.3.6 Bounding Box Area (BBA)

เป็นการหาพื้นที่ภายในกรอบสี่เหลี่ยมมุมฉากที่จุดปลายของแกนหลักและแกนรองสัมผัสกับกรอบสี่เหลี่ยมอย่างพอดี

$$\text{BBA} = \text{MajorAxisLength} \cdot \text{MinorAxisLength} \quad (2.13)$$

2.3 การค้นคืนข้อมูลรูปภาพจากคอนเท็นท์ (Query by image content)

2.3.1 การค้นคืนโดยใช้รูปภาพตัวอย่าง (Query by image example)

การค้นคืนแบบนี้จะให้ผู้ใช้เลือกรูปภาพที่จะใช้เป็นรูปภาพตัวอย่างในการค้นคืน และระบบจะวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างรูปภาพตัวอย่างกับรูปภาพที่ได้จัดเก็บไว้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเรียงลำดับตามความคล้ายคลึงกัน

2.3.2 การค้นคืนรูปภาพโดยการกำหนดค่า (Query by image specification)

วิธีการนี้จะเป็นการค้นคืนที่สามารถบอกลักษณะสำคัญของรูปภาพออกมาได้โดยที่จะมีการกำหนดค่าได้โดยตรง ซึ่งจะยอมให้ผู้ใช้สามารถค้นคืนรูปภาพโดยใช้ฮีสโตแกรมของสี ซึ่งสามารถระบุเปอร์เซนต์ของสีในฮีสโตแกรมได้ เช่น การสามารถระบุได้ว่าจะค้นหารูปภาพที่มีสีน้ำเงิน 17% และสีดำ 14%

2.3.3 การค้นคืนรูปภาพโดยใช้การวาดรูปของผู้ใช้ (Query by user construction)

เป็นการค้นคืนที่ให้ผู้ใช้สร้างคอนเท็นต์คร่าว ๆ ของรูปภาพด้วยการวาดจากเครื่องมือวาด

2.3.4 Relevance Feedback (Query Refinement)

คือกระบวนการที่ใช้เพื่อปรับปรุงสูตรของการค้นคืนโดยดัดแปลงจากค้นคืนเริ่มต้น โดยที่จะเพิ่มความสำคัญของพจน์ที่เกี่ยวข้องและลดความสำคัญของพจน์ที่ไม่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการค้นคืนเอกสาร ในปัจจุบันได้มีบางระบบนำหลักการนี้มาใช้เป็น Query refinement สำหรับการค้นคืนข้อมูลรูปภาพ ตัวอย่างเช่น ระบบค้นคืนรูปภาพ Surf image

2.4 การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน (Performance Measure)

ประสิทธิภาพการค้นคืน คือความสามารถในการค้นคืนข้อมูลของระบบและเป็นข้อมูลที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ระบบ โดยค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการค้นคืนข้อมูลที่รู้จักและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.4.1 Precision

Precision คือค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าระบบสามารถค้นคืนรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างออกมาได้จำนวนเท่าไหร่ เมื่อเทียบกับจำนวนรูปภาพที่ค้นคืนได้ทั้งหมด

$$\text{Precision} = \frac{\text{No.of relevant retrieved images}}{\text{Total No.of retrieved images}} \tag{2.14}$$

2.4.2 Recall

Recall คือค่าตัวเลขที่บอกให้ทราบว่าระบบสามารถค้นคืนรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างออกมาได้จำนวนเท่าไหร่ เมื่อเทียบกับจำนวนรูปภาพที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลภาพ

$$\text{Recall} = \frac{\text{No.of relevant retrieved images}}{\text{Total No.of relevant images in DB}} \tag{2.15}$$

ตัวอย่างการคำนวณ Precision และ Recall

กำหนดให้

1. รูปภาพทั้งหมดในฐานข้อมูลภาพมีจำนวน 100 ภาพ
2. รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับภาพตัวอย่างมีจำนวน 35 ภาพ
3. ผลลัพธ์การค้นคืนมีจำนวน 20 ภาพ

ผลการค้นคืน

1. รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างมีจำนวน 15 ภาพ
2. รูปภาพที่ไม่เกี่ยวข้องกับรูปภาพตัวอย่างมีจำนวน 5 ภาพ

ผลการคำนวณ

1. Precision = 15/20 = 0.75
2. Recall = 15/35 = 0.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดประสิทธิภาพการค้นคืน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นว่ามีความถูกต้อง และมีประสิทธิภาพหรือไม่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการค้นคืนให้มีประสิทธิภาพเป็นลำดับไป

2.5 การจำแนกรอยตำหนิบนพื้นผิวจานข้อมูล

ในการจำแนกรอยตำหนิบนพื้นผิวจานบันทึกข้อมูลนั้นมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ การจำแนกจากรูปแบบของรอยตำหนิ และการจำแนกจากสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยตำหนิ

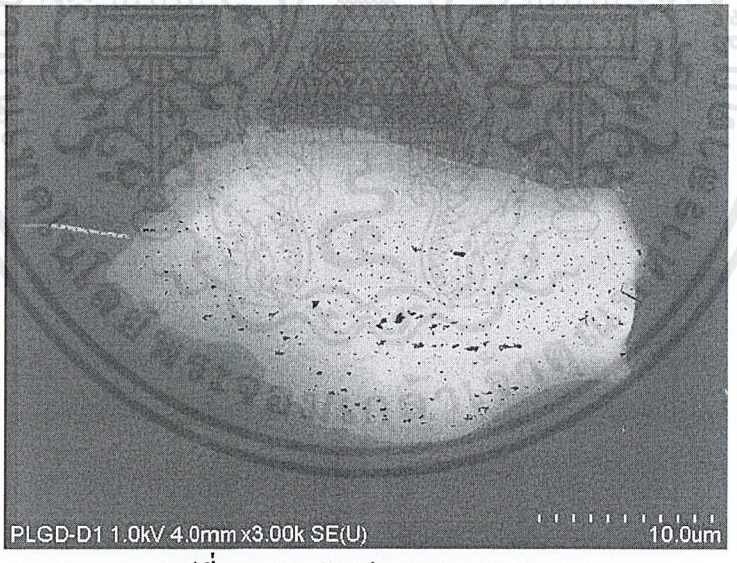
ซึ่งหากจำแนกโดยดูจากรูปแบบของรอยตำหนิแล้วนั้น สามารถจำแนกได้ 5 รูปแบบ ดังนี้

2.5.1 รอยขีดข่วน (scratch)

อาจเกิดจากหัวอ่านข้อมูลไปสัมผัสกับพื้นผิวของจานบันทึกข้อมูลและรวมไปถึงของแข็งใดๆที่ทำให้เกิดรอยขีดบนผิวของจานด้วยเช่นกัน

2.5.2 หลุม (Flake Pit)

เกิดจากมีฟองอากาศแทรกเข้าไปหลังจากผ่านกระบวนการเคลือบสารเคมีบนแผ่นแก้ว (sputtering substrate) ทำให้สปัตเตอร์ (sputter) หรือสารที่ใช้เคลือบเป็นหลุม (pit)



รูปที่ 2.6 ภาพตัวอย่างของ Flake Pit

2.5.3 Pre-Sputtering Contamination (PSC)

ซึ่งเกิดจากมีสิ่งแปลกปลอมอยู่บนพื้นผิวจานบันทึกข้อมูลในขณะผ่านกระบวนการเคลือบสารเคมีบนแผ่นแก้วหรือจานบันทึกข้อมูลที่ยังไม่ผ่านการเคลือบสารเคมี ทำให้สปัตเตอร์นูนขึ้นมา จากนั้นอาจโดนความร้อนหรือหัวอ่านข้อมูลในระหว่างกระบวนการผลิตขั้นถัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
06603

2.5.4 Delimitation

คล้ายกับรูปแบบรอยตำหนิแบบ PSC แต่นอกจากสิ่งแปลกปลอมแล้วยังมีฟองอากาศอยู่ข้างในพื้นผิวจานบันทึกข้อมูล ซึ่งเกิดจากกระบวนการเคลือบสารเคมีบนแผ่นแก้วไม่สมบูรณ์อีกด้วย

2.5.5 Ding

เกิดจากหัวอ่านข้อมูลไปกระทบกับจานบันทึกข้อมูล แต่หากจำแนกโดยดูจากสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายบนพื้นผิวฮาร์ดดิสก์ จะสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

2.5.5.1 Disk Manufacturing Process Problem

เกิดจากกระบวนการผลิตจานบันทึกข้อมูลไม่ได้คุณภาพ รวมถึงรอยที่เกิดจากระหว่างการประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์

2.5.5.2 Scratch by disk contact head

เกิดจากหัวอ่านข้อมูลไปสัมผัสกับพื้นผิวของจานบันทึกข้อมูลในระหว่างกระบวนการผลิต

2.5.5.3 Disk damage by tooling in HDD process

เกิดจากเครื่องมือต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตตกหล่นใส่จานบันทึกข้อมูล

2.5.5.4 Scratch by contamination interface to disk

เกิดจากมีสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็ก เช่น ฝุ่นผง เจือปนเข้าในระหว่างกระบวนการผลิต

2.6 กระบวนการตรวจสอบรอยตำหนิบนพื้นผิวจานบันทึกข้อมูล

เนื่องจากความเสียหายที่เกิดกับฮาร์ดดิสก์สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ แต่ละสาเหตุก็อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ต่างกัน ดังนั้นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุเหล่านั้นจึงมีความยากง่ายแตกต่างกันไปในแต่ละกรณี ในปัจจุบันการตรวจสอบหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อฮาร์ดดิสก์ถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

2.6.1 Hard Disk Drive Problem Isolation

เป็นการตรวจสอบในเบื้องต้นว่าเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตหรือกระบวนการทดสอบการทำงาน

2.6.2 Electrical Analysis

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือทางไฟฟ้าอย่างละเอียด เพื่อทดสอบว่าความเสียหายเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนใด เช่น การทดสอบหัวเขียน/อ่าน การทดสอบแผงควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

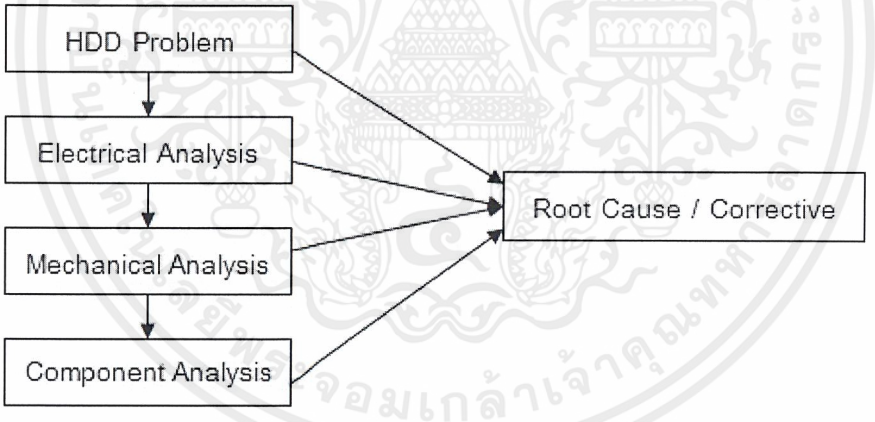
วงจรไฟฟ้า (PCB) เป็นต้น ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาพิจารณาได้ว่าเป็นความเสียหายประเภทใด เช่น Read/Write Error หรือ POR (Power on Reset) Error เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนไหน และเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด

2.6.3 Mechanical Analysis

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสียหายของส่วนประกอบและกลไกการทำงานต่าง ๆ ของฮาร์ดดิสก์อย่างละเอียด โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ หัวอ่าน/เขียน (head) กับมอเตอร์หมุนจานบันทึกข้อมูล และตัวจานบันทึกข้อมูลเอง รวมไปถึงการพิจารณาความเสียหายที่เกิดจากการสัมผัสกันของหัวอ่าน/เขียนกับจานบันทึกข้อมูลอีกด้วย

2.6.4 Component Analysis

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสียหาย โดยการทดสอบองค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการผลิต ทดสอบความถูกต้องสารประกอบ การทดสอบนี้รวมไปถึงการทดสอบสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนอยู่ในชิ้นงาน เครื่องมือต่าง ๆ ที่นำมาใช้ อาทิ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ใช้สำหรับถ่ายรูปของความเสียหาย เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการวิเคราะห์และระบุสาเหตุของความเสียหาย

เมื่อผ่านกระบวนการวิเคราะห์ความเสียหายทั้ง 4 ขั้นตอนแล้ว เจ้าหน้าที่ผู้ชำนาญก็จะเป็นผู้สรุปถึงสาเหตุแลกระบวนการที่ทำให้เกิดความเสียหาย เพื่อแจ้งให้เจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องหาทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป แต่หากยังไม่สามารถระบุได้ ก็จะไม่สามารถทำซ้ำได้อีกเพราะในบางกระบวนการอาจทำให้ชิ้นส่วนเสียหาย ซึ่งอาจจะทำได้แค่รวบรวมผลที่ได้มาเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุอีกครั้งหรืออาจทำการวิเคราะห์โดยการแยกชิ้นส่วนดูต่อไป ซึ่งในโครงการนี้ผู้จัดทำได้วิเคราะห์และวิจัยในส่วนของ Mechanical Analysis ในส่วนของการรับภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์ปัญหาและการนำเสนอแนวทางแก้ไข

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการที่เกี่ยวของกับทฤษฎีที่ได้นำเสนอมาแล้วในบทที่ 2 มาพัฒนาต่อ โดยมุ่งเน้นที่แนวคิดการออกแบบโครงสร้างขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพ เพื่อให้ได้ระบบค้นคืนรูปภาพโดยเนื้อหาที่มีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำมากที่สุด และในบทนี้ยังได้กล่าวถึงขั้นตอนการพัฒนาระบบที่ใช้งานได้จริงจากขั้นตอนวิธีข้างต้นอีกด้วย

โดยความต้องการของโครงงานนี้เพื่อต้องการพัฒนาระบบที่ใช้งานเพื่อช่วยในการค้นคืนข้อมูลรูปภาพทำให้ผู้เชี่ยวชาญสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วกว่าระบบเดิม แต่ด้วยภาพระดับสีเทาที่เป็นข้อมูลนำเข้านั้นมีสัญญาณรบกวนอยู่มากอีกทั้งในการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีความคลาดเคลื่อนสูงทำให้ภาพที่ออกมานั้นทำการประมวลผลภาพแบบปรกติไม่ได้จึงต้องหาวิธีเพื่อให้ได้ภาพที่สมบูรณ์และคุณลักษณะของภาพที่ถูกต้อง เพื่อใช้ในการค้นคืนภาพเป็นลำดับถัดไป

3.1 ขั้นตอนการทำงานโดยภาพรวมของระบบ

ในลำดับแรกจะกล่าวถึงขั้นตอนของการทำงานของการตรวจสอบฮาร์ดดิสก์ ซึ่งส่วนงานที่ทำนั้นจะใช้การตรวจสอบด้วยตาโดยใช้ตาหรือกล้องจุลทรรศน์ในการตรวจสอบ ในกรณีที่รอยตำหนิมีขนาดเล็กมากก็จะใช้การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือภาพ SEM ซึ่งต้องส่งไปให้ในส่วนของ Component Analysis เป็นผู้ถ่ายและส่งกลับให้ฝ่ายของ Mechanical Analysis เพื่อตรวจสอบและบันทึกผลการตรวจสอบต่างๆไว้ในระบบ Lotus Note ซึ่งในการค้นคืนรูปภาพให้ได้นั้นมีความยากลำบากในการค้นหามากเพราะต้องเปิดดูทีละกรณีไป รวมทั้งไม่มีระบบช่วยในการค้นหาให้เร็วยิ่งขึ้น จึงได้พัฒนาขั้นตอนวิธีที่จะใช้ในการค้นคืนรูปภาพให้กับผู้ใช้ได้ทำการตรวจสอบต่อไปได้

ซึ่งภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง SEM นั้นจะเป็นภาพที่มีทั้งรอยขูดและหัวของรอยขูดหรือไม่ก็เป็นในส่วนของการหลุดล่อนของผิวเคลือบจานฮาร์ดดิสก์ ซึ่งในโครงการนี้เราจะสนใจเฉพาะกรณีที่เป็นหัวของรอยขูดหรือส่วนผิวที่หลุดล่อน โดยใช้ค่าคุณลักษณะสำคัญบางประการเพื่อจำแนกและแยกแยะประเภทของรอยต่างๆ

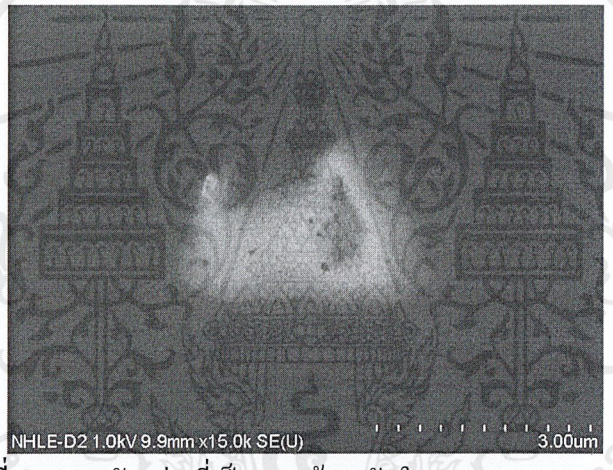
ในส่วนของขั้นตอนการทำงานโดยภาพรวมของการประมวลผลภาพเพื่อให้ได้ซึ่งคุณลักษณะสำคัญที่จะใช้ในการค้นคืนรูปภาพนั้นจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการประมวลผลภาพและส่วนของการค้นคืนรูปภาพ โดยส่วนแรกนั้นจะเป็นการแบ่งส่วนที่ต้องการออกมาจากภาพในที่นี้คือรอยตำหนิที่เกิดขึ้น และพยายามกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือภาพ SEM ซึ่งจะเกิดสัญญาณรบกวนมาก ในขั้นถัดมาคือ การประมวลผลคุณสมบัติของภาพอันได้แก่ แกนเอก แกนโท กรอบวัตถุที่เล็กที่สุด ค่าความขรุขระของพื้นผิว ความโค้งมนของรอยตำหนิ เป็นต้น ในส่วนถัดมาคือการค้นคืนนั้นเมื่อได้คุณสมบัติแล้วก็ทำดัชนี ที่จะใช้เป็นตัวบอกถึงลักษณะสำคัญ เพื่อใช้ในการค้นคืนรูปภาพเป็นลำดับต่อไป

3.2 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

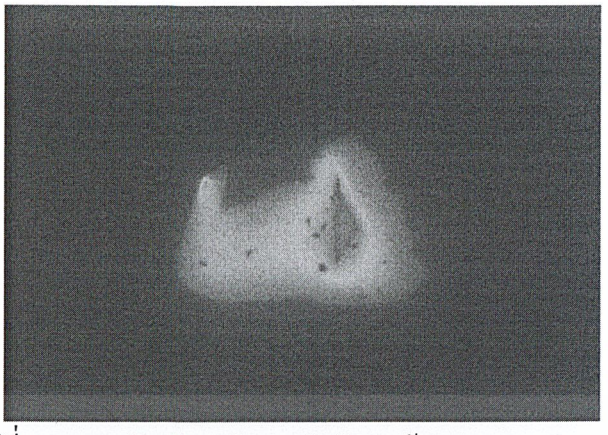
ขั้นตอนแรกของการทำงานทั้งหมดคือการนำรูปเข้าสู่ระบบซึ่งรูปที่ใช้จะมีขนาด 640x480 pixel เท่ากันทุกรูปที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งภาพที่ได้นั้นจะเป็นภาพระดับสีเทาขนาด 8 Bit มีค่าตั้งแต่ 0-255 และมีตัวอักษรสีขาวกำกับด้านล่างและเส้นขีดที่ใช้ในการวัดระยะดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพตัวอย่างที่เป็นภาพต้นฉบับในระบบ (3μm SE(U))

เมื่อเราได้รูปเข้ามาแล้วขั้นตอนแรกคือการตัดส่วนที่ไม่จำเป็นต่อการประมวลผลคือตัวอักษรที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของภาพนั้นได้แก่ Detail of Sample, Accelerating Voltage, Working Distance, Magnification, Type of Detector and Scale ที่อยู่ทางด้านล่างเป็นระยะทั้งหมด 31pixel นับจากด้านล่างขึ้นมาด้านบนดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ภาพตัวอย่างหลังจากตัดอักษรด้านล่าง 31 pixel แล้ว

3.3 การประมวลผลภาพเพื่อให้ได้คุณลักษณะสำคัญของภาพ

3.3.1 การกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ

ในการประมวลผลภาพในโครงการนี้คือการกำจัดสัญญาณรบกวนซึ่งในขั้นตอนแรกนั้นจะทำการเบลอด้วย mask ขนาด 9x9 จะได้ภาพดังตัวอย่างที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ภาพตัวอย่างหลังจากการเบลอด้วย mask ขนาด 9x9

จะสังเกตได้ว่าภาพที่ได้จะมีความคมชัดที่ลดลงและส่วนที่เป็นสัญญาณรบกวนนั้นได้กลืนเข้าไปในภาพแล้ว ซึ่งวิธีการนี้ถึงแม้ว่าจะทำให้ความคมชัดของขอบลดลงแต่ขั้นตอนวิธีดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไปนั้นสามารถกู้คืนข้อผิดพลาดตรงนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การตัดขอบวัตถุในภาพ (Segmentation)

ในขั้นตอนนี้คือการภาพขาวดำซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายแบบและหลายวิธีการเช่นการหาขอบหรือ Edge detection ที่ได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 2 หรือจะใช้การตัดวัตถุในภาพด้วยวิธี Region growing ในขั้นตอนวิธีนี้ต้องมีการกำหนดค่าของ seed point หรือค่าจุดเริ่มต้นนั่นเอง ซึ่งในโครงการนี้ได้คิดค้นวิธีการอย่างหนึ่งเพื่อให้สามารถหาค่า seed point ได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นนั่นคือการเก็บค่าจุดภาพสี่จุดที่มุมกรอบสี่เหลี่ยมและย่อลงครั้งละ 10 pixel จนสุดท้ายแล้วจะได้ค่าเป็นเส้นตรงและค่า threshold ที่เหมาะสมนั้นจะได้จากการประมวลผลด้วยการใช้ค่าจุดสี่จุดในแต่ละช่วงดังภาพมาหาค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของกรอบสี่เหลี่ยมนั้นๆ สามารถเขียน pseudo code ได้ดังรูปที่ 3.4 และอธิบายให้เห็นถึงรอบการทำงานในแต่ละรูปในรูปที่ 3.5

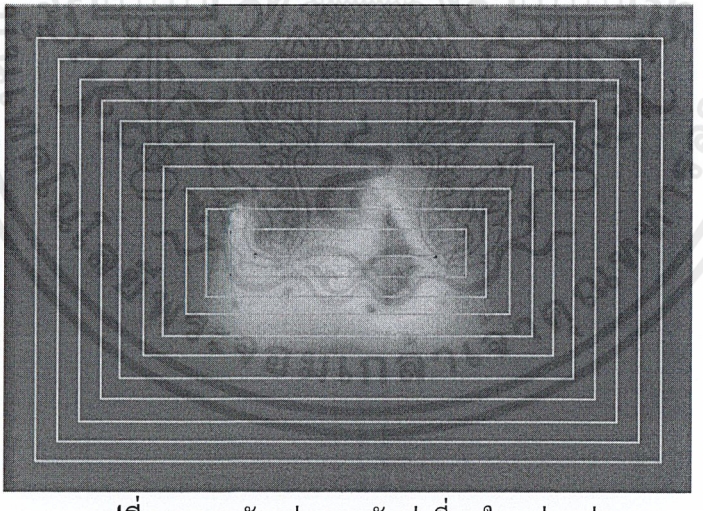
```
Thresholding Algorithm:

Input:   image to find threshold
Output: threshold value

1  INTITIAL image is input image
2  INTITIAL Top, Left, Right, Bottom is pixel value of image
3  INTITIAL AveragePixel is list of number
4  INTITIAL Counter is value for count index of number
5  INTITIAL MinOfPixel, MaxOfPixel is min and max value of dataset ordering
6  INTITIAL MinOfImage, MaxOfImage is min and max value of image ordering
7  WHILE r to false FROM r NOT EQUAL true  DO
8       IF widht OR height LESS OR EQUAL THAN zero
9            FOR cal to zero FROM zero TO Counter BY cal-- DO
10                IF AveragePixel_Cal LESS OR EQUAL THAN MinOfPixel
11                     MinOfPixel set AveragePixel_Cal
12                END IF
```

รูปที่ 3.4 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของการหาค่าขีดแบ่งเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
13                  IF AveragePixel_Cal MORE OR EQUAL THAN MaxOfPixel
14                      MaxOfPixel set AveragePixel_Cal
15                  END IF
16              END FOR
17              threshold  set DIFFIRENT of AVERAGE between (MinOfPixel, MinOfImage)
18              AND (MaxOfPixel, MaxOfImage)
19              r set true;
20      ELSE
21              Top, Left, Right, Bottom set minus ten pixel
22              AveragePixel_Counter set AVERAGE of Top, Left, Right, Bottom
23              Counter set plus
24              r set false;
25      END IF
26 END WHILE
```

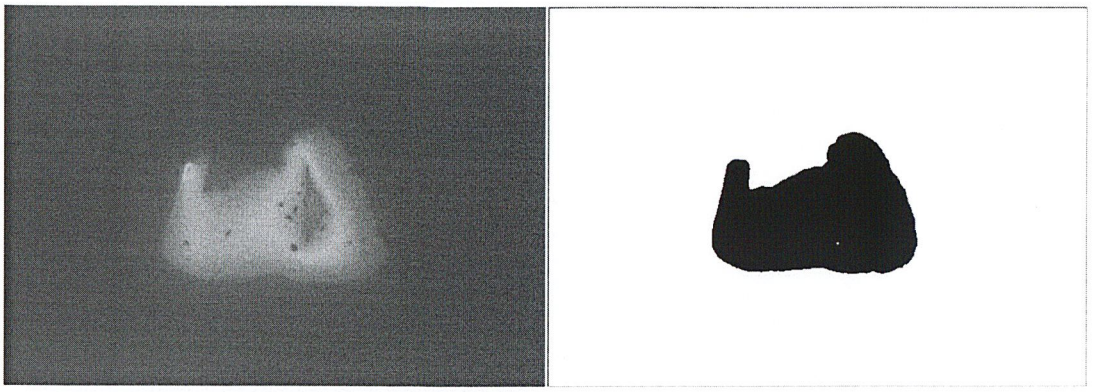
รูปที่ 3.4 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของการหาค่าขีดแบ่งเริ่มต้น (ต่อ)



รูปที่ 3.5 ภาพตัวอย่างการรับค่าสี่จุดในแต่ละช่วง

ซึ่งค่าที่ได้มานั้นจะต้องนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งเป็นการหาค่าจุดต่ำสุดและจุดสูงสุดจากตัวอย่างจุดภาพในภาพ และในอีกทางหนึ่งก็ได้ทำการคำนวณค่าจุดภาพต่ำสุดและสูงสุดของภาพเราก็จะได้ค่า Threshold ที่เหมาะสมในการเลือกดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเราสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.6 ภาพ (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ทำ Region Growing

จากคำอธิบายการหาค่า Threshold ในการเลือกตัวเปรียบเทียบจากคำอธิบายด้านบนจะสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Threshold} = \frac{\left(\text{Max pixel value of } \frac{a_{i,j}+b_{i,j}+c_{i,j}+d_{i,j}}{4}\right)+\text{Max value}}{2} - \frac{\left(Min\ pixel\ value\ of\ \frac{a_{i,j}+b_{i,j}+c_{i,j}+d_{i,j}}{4}\right)+Min\ value}{2} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

$a_{i,j}$	คือค่าจุดภาพหนึ่งในไตรมาสที่ 2 เมื่อ i และ j เป็นค่าตำแหน่งจุดภาพที่เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 pixel จากมุมภาพจนมีค่าเท่ากับ $c_{i,j}$
$b_{i,j}$	คือค่าจุดภาพหนึ่งในไตรมาสที่ 1 เมื่อค่าตำแหน่งจุดภาพ i ลดลง และ j เพิ่มขึ้นครั้งละ 10 pixel จากมุมภาพจนมีค่าเท่ากับ$d_{i,j}$
$c_{i,j}$	คือค่าจุดภาพหนึ่งในไตรมาสที่ 3 เมื่อค่าตำแหน่งจุดภาพ i เพิ่มขึ้นและ j ลดลงครั้งละ 10 pixel จากมุมภาพจนมีค่าเท่ากับ $a_{i,j}$
$d_{i,j}$	คือค่าจุดภาพหนึ่งในไตรมาสที่ 4 เมื่อ i และ j เป็นค่าตำแหน่งจุดภาพที่ลดลงครั้งละ 10 pixel จากมุมภาพจนมีค่าเท่ากับ $b_{i,j}$
Max value	คือค่าจุดภาพที่มีค่าความสว่างมากที่สุด
Min value	คือค่าจุดภาพที่มีค่าความสว่างน้อยที่สุด

จากวิธีการข้างต้นเราสามารถเขียนเป็นของ Pseudo code เพื่อช่วยในการแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาและช่วยในการอธิบายได้อย่างชัดเจนมากขึ้นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Region growing Algorithm:

Input: image to segmentation

Output: binary image

```
1   INTITIAL image is input image
2   INTITIAL mask to true
3   INTITIAL ref1 is pixel value seed point of image
4   INTITIAL ref2 is any pixel value of image
5   INTITIAL threshold is value from
6   FOR r to zeroFROM zero TO max height of image BY r ++ DO
7       FOR c to zero FROM zero TO max width of image BY c++ DO
8                   IF (ref2 - ref1)^2 LESS OR EQUAL THAN threshold^2
9                   mask set true;
10              ELSE
11                  mask set false;
12              END IF
13      END FOR
14  END FOR
```

รูปที่ 3.7 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของวิธีการเติบโตของอาณาเขต

เนื่องจากการทำ Region growing นั้นได้กินบริเวณไปบางส่วนจะเป็นส่วนที่เว้าเข้าไปและมีบางจุดภาพยังไม่ได้ถูกกำจัด หรือยังมีสิ่งสัญญาณรบกวนปนยังคงอยู่ ทั้งนี้ได้ทำการออกแบบ mask สองตัวคือ

$$\text{DilateMask} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

$$\text{ErodeMask} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย mask ตัวแรกจะใช้ในการ dilate เพื่อเป็นการขยายขนาดของอาณาเขตให้ใหญ่ขึ้น และ mask อีกตัวจะใช้ในการ erode เพื่อเป็นการลบสิ่งเจอปนที่ยังคงเหลืออยู่ เนื่องจากไลบารี่ OpenCV นั้นไม่มีฟังก์ชั่นการทำงานOpening และ Closing แต่เพื่อเป็นการปิดรูปอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการของ dilate และ erode ดังสมการที่ (3.4) และ (3.5)

$$\text{Opening} = \text{dilate}(\text{erode}(\text{src}, \text{element}), \text{element}) \quad (3.4)$$

$$\text{Closing} = \text{erode}(\text{dilate}(\text{src}, \text{element}), \text{element}) \quad (3.5)$$

กำหนดให้

src	คือภาพที่นำเข้ามายังสมการ
element	คือเมตริกขนาดใดๆที่ใช้เป็น mask สำหรับดำเนินการ

รูปที่ 3.8 ภาพที่ทำ opening and closing

3.3.3 การหาคุณลักษณะจากภาพตัวอย่าง

ในการหาค่าคุณลักษณะจากภาพนั้นในขั้นตอนแรกเราควรคำนึงถึงภาพที่จะนำเข้ามาหาคุณลักษณะว่าเป็นภาพชนิดใดสีหรือขาวดำมีการเก็บค่าเท่าไหร่ กราฟความถี่ของภาพนั้นเป็นในรูปแบบใดสิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงถึงก่อนการประมวลผลภาพ ในส่วนของคุณลักษณะของภาพนั้นจากในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงโดยภาพรวมไปแล้ว ในบทนี้จะขอหยิบยกส่วนที่เป็นสาระสำคัญที่จะใช้เป็นคุณลักษณะสำคัญในโครงการนี้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.1 การหา Bounding Box Area (BBA)

ในส่วนของการหาพื้นที่กรอบวัตถุนั้นจะหาได้จากสมการที่ 2.18 ซึ่งประกอบด้วยสองตัวแปรนั่นคือ ความยาวแกนเอก (major axis length) และความยาวแกนโท (minor axis length) ซึ่งทั้งสองแกนนี้สามารถหาได้ด้วยวิธีการหมุนรูป ในโครงการนี้เลือกที่จะหมุนรูปตามเข็มนาฬิกา (clockwise) ไปเป็นมุม 90 องศา โดยแต่ละองศาที่หมุนก็จะทำการหา BBA จากสี่ด้านของภาพและทำการเก็บค่าพื้นที่ไว้จนครบ 90 องศาเพื่อหาค่า BBA ที่เล็กที่สุด และเขียนอธิบายด้วย Pseudo code ได้ดังนี้

```
Minimum-Bounding box area Algorithm:

Input:   binary image to find bounding box
Output: major axis length, minor axis length

1  INTITIAL image is input image
2  INTITIAL mask to true
3  INTITIAL Top,Left,Right,Bottom is each side of Bounding box
4  INTITIAL Herizontal is width of boundingbox
5  INTITIAL Vertical is hight of boundingbox
6  INTITIAL MajorAxisLength is major axis of minimum boundingbox
7  INTITIAL MinorAxisLength is minor axis of minimum boundingbox
8  INTITIAL Capacity is list of numbers
9  FOR i to zero FROM zero TO ninty BY i-- DO
10      Rotate image in i degree
11      FOR j to zero FROM zero TO max hight of image BY j-- DO
12          FOR k to zero FROM zero TO max width of image BY k-- DO
```

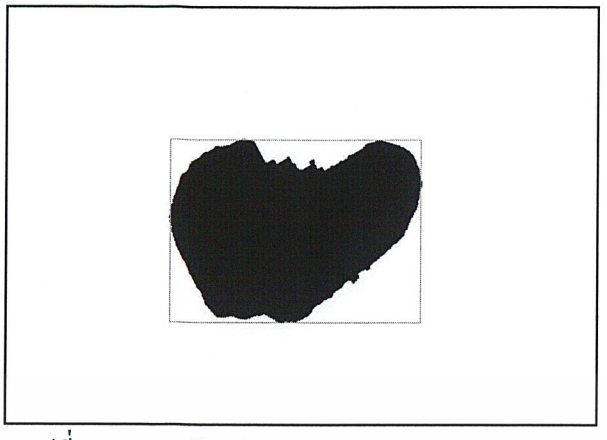
รูปที่ 3.9 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของพื้นที่กรอบภาพที่เล็กที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
13                      IF image(j,k) EQUAL THAN false
14                              find Top of image
15                              find Left of image
16                              find Right of image
17                              find Bottom of image
18                      END IF
19              END FOR
20      END FOR
21      Herizontal set SQUARE ROOT ((ABSOLUTE (Top - Top)^2 ) +
22                                      (ABSOLUTE (Right - Left)^2 ))
23      Veritical set SQUARE ROOT ((ABSOLUTE (Bottom - Top)^2 ) +
24                                      (ABSOLUTE (Left - Left)^2 ))
25      Capacity_i set Herizontal * Veritical
26      IF Capacity_i LESS THEN BBA
27              BBA set Capacity_i
28              IF Herizontal MORE THAN Veritical
29                      MajorAxisLength set Herizontal
30                      MinorAxisLength set Veritical
31              ELSE
32                      MajorAxisLength set Veritical
33                      MinorAxisLength set Herizontal
34              END IF
35      END IF
36 END FOR
```

รูปที่ 3.9 ภาพขั้นตอนวิธีจำลองของพื้นที่กรอบภาพที่เล็กที่สุด (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ภาพตัวอย่าง Minimum Bounding box area

3.3.3.2 การหาค่าคุณลักษณะของพื้นผิว

ในการหาค่าคุณลักษณะพื้นผิวนั้นสำหรับโครงการนี้จะเสนอแนวคิดการเก็บค่าคุณลักษณะจากการใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการระบุค่าของคุณลักษณะโดยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีสูตรคือ

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2}{N}} \tag{3.6}$$

กำหนดให้

X_i คือข้อมูลใดๆในชุดข้อมูล

$\bar{X}$ คือค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลซึ่งมีสูตรคือ $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x}{N}$

N คือจำนวนสมาชิกทั้งหมด

ซึ่งค่าที่ได้จากการหาค่า SD นั้นหากค่าเข้าใกล้ 0 นั่นแสดงถึงมีการกระจายของข้อมูลที่ต่ำบ่งบอกได้ถึงพื้นผิวที่เรียบส่วนค่า SD ที่มากนั้นบ่งบอกได้ถึงความไม่เรียบของจุดภาพ

3.3.3.3 ความโค้งมนและความใกล้เคียงกับวงกลม

ในส่วนนี้จะขอหยิบยกในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการหาความโค้งมน อันได้แก่ Roundness และ Elongation ซึ่งได้อธิบายถึงสมการแล้วในบทที่ 2 จากค่าที่ได้หามาข้างต้นสามารถแทนค่าแล้วได้ค่าของทั้งสองคุณลักษณะได้ โดยค่าที่ได้นั้นจะเป็นตัวที่บอกรูปร่างของรอยตำหนินั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การค้นคืนข้อมูลรูปภาพจากคอนเท็นท์

ในขั้นตอนแรกก่อนที่จะเริ่มค้นคืนรูปภาพ จะต้องทำการหาคุณลักษณะที่สำคัญของแต่ละภาพเพื่อเก็บไว้ทำดัชนีในการค้นหาได้ต่อไป ซึ่งในที่นี้เราได้เก็บค่าไว้ทั้งหมด 3 ค่าอันได้แก่ พื้นผิว เราจะใช้ค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวัดการกระจายตัวของค่าความสว่างในรอยเปื้อน ซึ่งหากมีค่าสูงนั่นแสดงให้เห็นว่าเป็นรอยที่ขรุขระ ประการถัดมาคือค่าความโค้งมนของรอยซึ่งจะได้จากสมการที่ 3.6 โดยจะสามารถหา Area ของสมการได้จากแกนเอกและแกนโทของรอย ซึ่งเราจะสามารถหาได้จากการหา bounding box หรือกล่องสี่เหลี่ยมเล็กที่สุดที่สามารถครอบคลุมรอยเปื้อนได้พอดี ประการสุดท้ายคือค่าอัตราการยืดตัวของวัตถุในภาพซึ่งจะต้องใช้ค่าแกนเอกและแกนโทในการหาค่าของอัตราการยืด ทั้งหมดที่กล่าวมานั้นสังเกตได้ว่าการหาค่ากรอบที่เล็กที่สุดที่ครอบวัตถุในภาพได้นั้นมีความสำคัญสูงมากเพราะถ้าหากผิดพลาดแล้วการหาค่าคุณลักษณะจะทำได้ไม่ถูกต้อง

3.5 การพัฒนาระบบ

ในส่วนของการพัฒนาระบบนั้นจะเป็นการนำขั้นตอนวิธีคิดข้างต้นที่ได้มานั้นมาทำการพัฒนาให้เป็นระบบเพื่อใช้งานได้จริง โดยในส่วนแรกของการพัฒนานั้นจะขอกล่าวถึงการพัฒนาของระบบโดยรวมก่อนโดยระบบจะแบ่งการทำงานออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนแรกได้แก่การทำงานการประมวลผลภาพและการดึงคุณลักษณะ และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนติดต่อผู้ใช้และส่วนสุดท้ายคือฐานข้อมูล

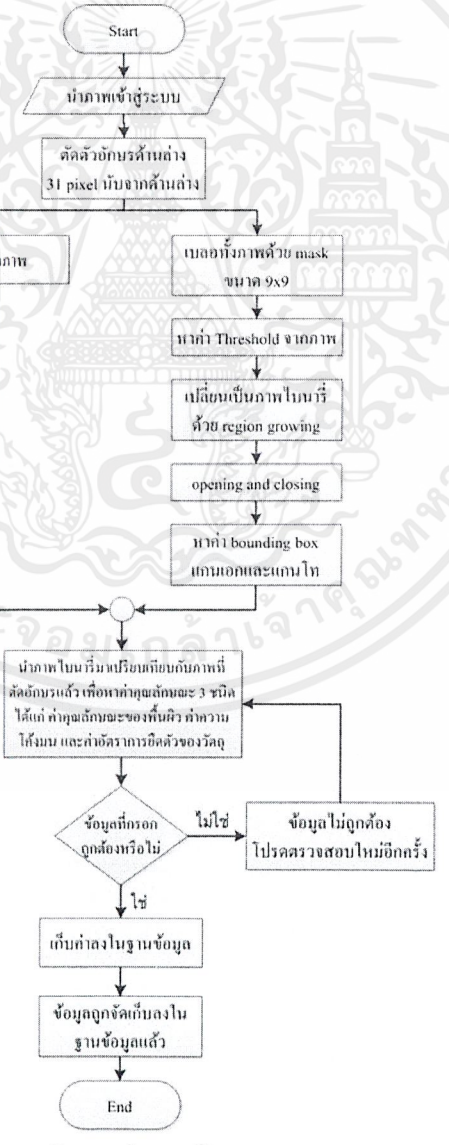
3.5.1 การพัฒนาในส่วนการประมวลผลภาพและการดึงคุณลักษณะของภาพ

ในการพัฒนาของส่วนแรกนั้นเป็นการเน้นด้านการหากรอบวัตถุเพื่อหาค่าคุณลักษณะแต่การที่จะหาค่ากรอบวัตถุได้นั้นต้องมีการแยกวัตถุในภาพออกจากภาพนั้นๆเสียก่อนโดยการแบ่งภาพเป็นสองส่วนคือรูปที่ 3.2 ภาพที่ทำการตัดข้อความด้านล่างออกแล้วและรูปที่ 3.3 เป็นภาพที่นำภาพที่ 3.2 มาทำการเบลอด้วย mask ขนาด 9x9 จากนั้นใช้ขั้นตอนวิธีคิดจากรูปที่ 3.7 กระทำกับรูปที่ 3.3 โดยขั้นตอนวิธีคิดนี้จะเป็นการแบ่งแยกระหว่างวัตถุในภาพและพื้นหลังด้วยการขยายอาณาเขตในพื้นที่ที่เป็นส่วนของพื้นหลังและในขั้นตอนนี้เองจะเป็นการทำภาพให้เป็นภาพขาวดำอีกทั้งจะต้องมีการหาค่าขีดแบ่งด้วยการใช้ขั้นตอนวิธีคิดที่ 3.4 ซึ่งเป็นวิธีการที่คิดขึ้นมาใหม่โดยอธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.3.2 จากนั้นก็ทำการปรับปรุงภาพขาวดำนั้นให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นด้วย mask ดังสมการที่ 3.2 และ 3.3 ซึ่งจะนำ make สองตัวนี้มาทำการ opening and closing โดยทำการ closing 1: opening 2 ที่กระทำกับภาพแบบนี้เนื่องจากภาพขาวดำที่ได้นั้นมีจุดที่ไม่ต้องการปะปนอยู่มากจึงต้องทำการกำจัดจุดรบกวนเหล่านั้นก่อนการปิดช่องว่างที่เหลือของภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นถัดมาของการหาค่าคุณลักษณะอย่างที่กล่าวไปข้างต้นแล้วนั่นคือการหาค่าของกรอบวัตถุที่เล็กที่สุดที่สามารถบรรจุวัตถุในภาพได้อย่างพอดี ดังได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 3.3.3.1 และมีขั้นตอนวิธีตามรูปที่ 3.9 กล่าวคือเมื่อได้กรอบวัตถุที่เล็กที่สุดแล้วสิ่งที่ได้เป็นหลักนั่นก็คือแกนเอกและแกนโทของวัตถุในภาพซึ่งแกนเอกและแกนโทเหล่านี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการหาค่าคุณลักษณะของภาพ และอีกสิ่งที่ต้องการนั่นก็คือการเปรียบเทียบระหว่างภาพขาวดำที่ทำได้ออกมากับภาพที่ 3.2 เพื่อให้ได้ค่าจุดภาพจริงๆที่เข้ามาในระบบไม่ใช่จุดภาพที่ได้หลังจากการเบลอ จากนั้นทำการหาค่าคุณลักษณะสามค่าจากสมการที่ 3.6 คือค่าคุณลักษณะของพื้นผิว อัตราความโค้งมนจากสมการที่ 2.15 และอัตราการยืดตัวของวัตถุในภาพจากสมการที่ 2.17

และท้ายที่สุดของการหาค่าคุณลักษณะของภาพนั้นจะได้ค่าออกมาสามค่าอันได้แก่ ค่าคุณลักษณะของพื้นผิว ค่าอัตราความโค้งมนและค่าอัตราการยืดตัวของวัตถุในภาพซึ่งจะใช้ในการค้นคืนรูปภาพในหัวข้อถัดไปซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

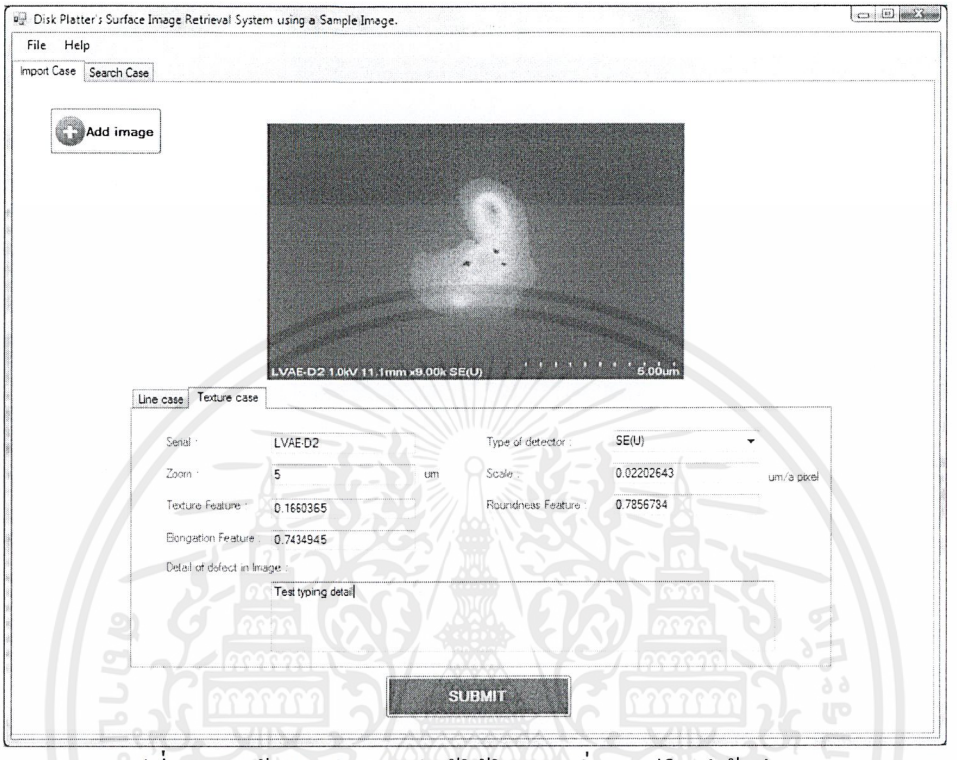


รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานโดยรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้

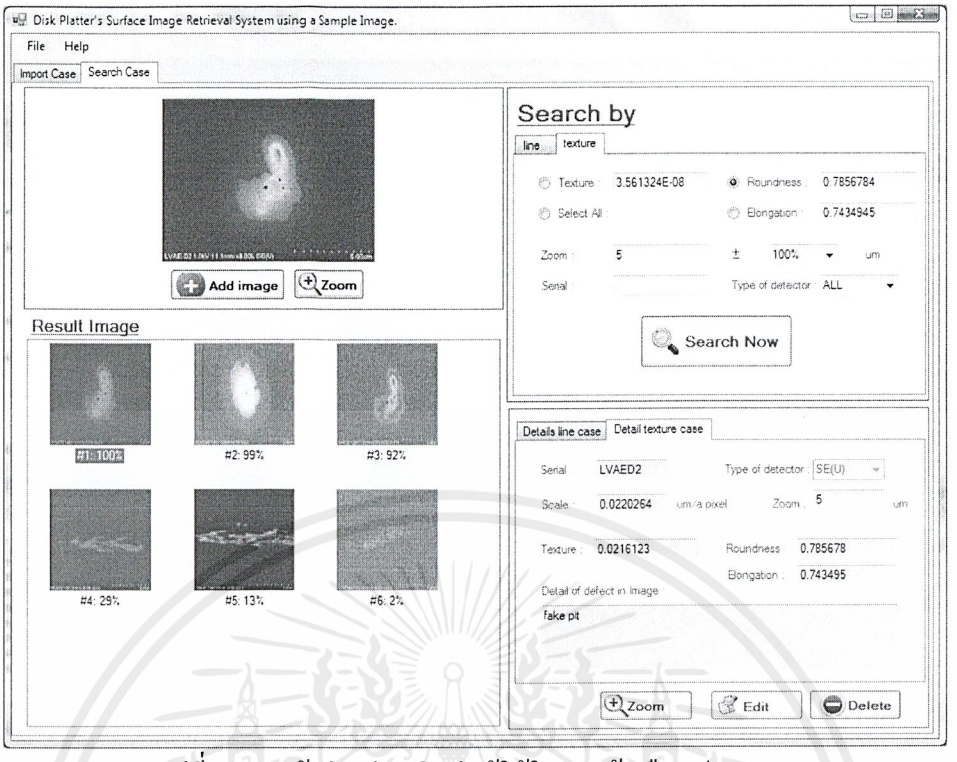
ในระบบของการพัฒนาตัวโปรแกรมนี้ได้มีการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานโปรแกรมได้อย่างสะดวกมายิ่งขึ้นโดยมีหน้าต่างในสองส่วนหลักๆก็คือ



รูปที่ 3.12 หน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ในการเพิ่มกรณีใหม่เข้าสู่ระบบ

ในส่วนติดต่อผู้ใช้นี้จะเป็นส่วนของการนำกรณีใหม่เพื่อเข้าสู่ระบบโดยส่วนหลักคือปุ่ม “Add image” เพื่อเป็นการเลือกรูปภาพเข้ามาสู่ระบบและระบบจะทำการนำค่าคุณลักษณะสามค่าและค่าอัตราการขยายรวมถึงค่าอัตราส่วนหนึ่งจุดภาพต่อไมครอนจากนั้นผู้ใช้จะทำการกรอกในส่วนของ “Serial” เพื่อเป็นการระบุกรณีใหม่รวมถึงการเลือกชนิดของการถ่ายภาพ และสุดท้ายคือคำวินิจฉัยของกรณีนี้ที่ผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้ทำการกรอกลงไปยังระบบเมื่อทำการกดปุ่ม “Submit” จะเป็นการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการค้นคืนเป็นลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 หน้าต่างส่วนติดต่อผู้ใช้ในการค้นคืนรูปภาพจากระบบ

ในส่วนติดต่อผู้ใช้นี้จะเป็นการเปรียบเทียบภาพนำเข้ากับข้อมูลคุณลักษณะที่อยู่ในฐานข้อมูลโดยการกดปุ่ม “Add image” เพื่อเป็นการนำภาพเข้ามาเพื่อการค้นคืนรูปภาพจากคุณลักษณะที่ได้กับฐานข้อมูล ในส่วนของ Search by จะเป็นส่วนทำการค้นคืนซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะค้นคืนจากคุณลักษณะใดหรือจากคุณลักษณะทั้งหมดและสามารถเลือกช่วงของอัตรากำลังขยายรวมถึงแบ่งชนิดของการถ่ายภาพได้อีกด้วยเมื่อกดปุ่ม “Search Now” จะได้ภาพที่มีความคล้ายคลึงกันปรากฏในส่วนของ Result Image ซึ่งเราสามารถดูรายละเอียดของแต่ละกรณีได้จากการคลิกลงไปบนภาพและจะปรากฏข้อมูลภาพทางด้านขวาล่าง ซึ่งสามารถขยาย แก้ไขและลบกรณีนั้นได้

3.5.3 การพัฒนาส่วนการค้นคืนภาพกับฐานข้อมูล

ในการค้นคืนรูปภาพนี้โครงการนี้ได้นำเสนอวิธีการค้นคืนรูปภาพด้วยวิธีการวัดระยะแบบยุคลิด (Euclidean Distance) ดังสมการที่ 2.10 ซึ่งได้อธิบายตัวแปรแต่ละตัวไว้แล้ว และด้วยค่าคุณลักษณะในแต่ละค่านั้นมีค่าไม่เท่ากันการทำให้อยู่ในรูปอย่างง่าย (Normalization) ได้ด้วยวิธีดังนี้

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left| \frac{a_i - b_i}{a_i + b_i} \right|^2} \qquad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

a_i คือคุณลักษณะสำคัญที่ i วัตถุ a

b_i คือคุณลักษณะสำคัญที่ i วัตถุ b

i คือลำดับของคุณลักษณะสำคัญของวัตถุ ทีค่าตั้งแต่ $1 - n$

n คือจำนวนของคุณลักษณะสำคัญที่อยู่ใน Feature value

ในส่วนของการนำมาใช้นั้นเราจะทำการเปรียบเทียบแล้วจะได้ค่าอยู่ในช่วง 0-1 ซึ่งเป็นค่าทศนิยม การแปลงเป็นร้อยละของความถูกต้องนั้นทำได้จาก

$$\text{Similarity Index} = (1 - D) \times 100 \tag{3.8}$$

กำหนดให้

D คือค่าวิธีการวัดระยะแบบยุคลิดที่หาได้จากสมการ 3.7

จากสมการที่ 3.7 ทำให้เราสามารถแปลงจากค่าเป็นร้อยละของความถูกต้องได้หากค่า D เท่ากับ 0 แล้วค่าความถูกต้องก็จะมีค่าเท่ากับ 100 และจะแปรผกผันกับค่าของ D

ในส่วนของฐานข้อมูลนั้นได้ออกแบบตารางไว้สองตารางซึ่งแต่ละตารางจะมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ประเภทและคำอธิบายการเก็บค่าในตัวแปรของตาราง info_image

ชื่อแอททริบิวต์	คำอธิบาย	ชนิดของข้อมูล	ความยาวของข้อมูล	ชนิดของคีย์
serial	ชื่อภาพ	varchar	20	PK
type	ชนิดของการถ่าย	varchar	10	PK
zoom	กำลังขยายภาพ	float		
scale	อัตราส่วน	float		
path	แหล่งที่มาของภาพ	varchar	300	FK
flag_line	ค่าบอกความเป็นเส้นในภาพ	int		
flag_texture	ค่าบอกความเป็นพื้นผิวในภาพ	int		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ประเภทและคำอธิบายการเก็บค่าในตัวแปรของตาราง texture

ชื่อแอททริบิวต์	คำอธิบาย	ชนิดของข้อมูล	ความยาวของข้อมูล	ชนิดของคีย์
path	แหล่งที่มาของภาพ	varchar	300	PK
texture	ค่าคุณลักษณะของพื้นผิว	float		
roundness	ค่าคุณลักษณะความโค้งมน	float		
elongation	ค่าคุณลักษณะอัตราการยืดตัว	float		
detail	แหล่งที่มาของภาพ	varchar	500	

ในตารางที่ 3.1 นั้นจะเป็นการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับภาพที่ได้นำเข้ามาสู่ระบบซึ่งจะมีอีกระบบหนึ่งทำการตรวจสอบแบ่งแยกความเป็นเส้นและพื้นผิวซึ่งให้มีค่าเป็น0 และ 1 โดยถ้าหาค่า flag_texture ของภาพๆนั้นมีค่าเป็น 1 ก็แสดงว่ามีส่วนของพื้นผิวอยู่ในภาพก็จะทำการประมวลผลในส่วนของพื้นผิว และค่าคุณลักษณะต่างๆจะเก็บไว้ที่ตารางที่ 3.2 รวมถึงคำอธิบายที่ผู้เชี่ยวชาญทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและการวัดประสิทธิภาพ

ในส่วนของการทดลองนั้น จากการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำงานระบบซึ่งมีการทดลองจำนวนมากมายที่เกิดขึ้น ในลักษณะการตั้งสมมุติฐานแล้วทำการทดลองตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้จากนั้นก็ทำการบันทึกผลเพื่อทำสรุปผลจากการทดลองนั้นๆ และท้ายที่สุดแล้วการทำการทดลองทั้งหมดได้ข้อสรุปซึ่งมีประสิทธิภาพเพียงพอแก่การใช้งาน

4.1 การตัดแบ่งวัตถุในภาพออกจากพื้นหลังของภาพ

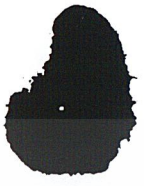
4.1.1 การทดลองขั้นตอนวิธีคิดการหาค่าขีดแบ่ง

วัตถุประสงค์ ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธีคิดที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.3.2 ซึ่งในส่วนของการหาค่าขีดแบ่งนั้นจากการทดลองนี้คาดว่าประสิทธิภาพของการหาค่าขีดแบ่งนั้นจะมีประสิทธิภาพในการตัดแบ่งวัตถุ ซึ่งเป็นการวัดค่าความถูกต้องของภาพที่นำเข้ากับภาพขาวดำที่ได้จากการใช้ค่าความถี่สูงสุดและค่าความถี่ต่ำสุดมาหาค่าขีดแบ่งและการใช้การหาค่าขีดแบ่งด้วยการขยับกรอบครั้งละ 10 จุดภาพ เพื่อวัดประสิทธิภาพในการตัดแบ่งวัตถุออกจากภาพด้วยขั้นตอนวิธี region growing โดยผลจากการทดสอบนี้คาดหวังว่าการตัดแบ่งวัตถุในภาพออกจากพื้นหลังของภาพนั้นจะทำได้ถูกต้องโดยวัดจากประสิทธิภาพจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ผิดไปจากเดิมระหว่างค่าความกว้างยาวที่วันได้จากภาพที่ได้รับการตัดแบ่งว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่โดยคิดเป็นร้อยละของวัตถุภาพทั้งหมด

วิธีการทดลอง การทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้ค่าสูงสุดต่ำสุดของกราฟความถี่ของภาพกับการหาค่าขีดแบ่งจากขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนานั้นมีความแตกต่างและผิดพลาดต่างกันเท่าไหร่โดยเปรียบจากจำนวนจุดภาพของวัตถุบนภาพที่ตัดด้วยมือกับจำนวนจุดภาพของวัตถุบนภาพด้วยการใช้ค่าสูงสุดต่ำสุดในกราฟความถี่ของภาพ (Max&Min) และจำนวนจุดภาพของวัตถุบนภาพที่ตัดด้วยมือกับจำนวนจุดภาพของวัตถุบนภาพที่ใช้ค่าขีดแบ่งที่ได้จากขั้นตอนวิธีคิด (Threshold) และวัดจำนวนจุดภาพที่ผิดพลาดทั้งในส่วนของที่ขาดและเกินออกมาในรูปแบบของร้อยละ โดยแสดงได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การทดลองขั้นตอนวิธีการหาค่าขีดแบ่ง

ลำดับที่	ภาพนำเข้าที่ตัดด้วยมือ	ภาพที่ได้จากการทดลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
1.1			Max&Min 29035 : 33139 =14.14%
1.2			Threshold 29035 : 32819 =13.03%
2.1			Max&Min 29274 : 34125 =16.57%
2.2			Threshold 29274 : 29291 =0.06%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) การทดลองขั้นตอนวิธีการหาค่าขีดแบ่ง

ลำดับที่	ภาพนำเข้าที่ตัดด้วยมือ	ภาพที่ได้จากการทดลอง	ค่าความคลาดเคลื่อน
3.1			Max&Min 11475 : 11461 =0.12%
3.2			Threshold 11475 : 11473 =0.017%
4.1			Max&Min 27123 : 27375 =0.75%
4.2			Threshold 27123 : 27062 =0.22%

วิเคราะห์ผล จากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาอยู่นี้สามารถใช้งานได้ดีเนื่องจากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก และภาพโดยส่วนใหญ่สามารถตัดได้เป็นอย่างดีและสวยงาม ซึ่งหาเทียบเคียงกับในส่วนของภาพที่ตัดด้วยมือแล้วจะเห็นได้ถึงความใกล้เคียงของการตัดวัตถุออกจากภาพ

สรุปผล จากผลการทดลองนี้เราสามารถสรุปได้ว่าเราสามารถใช้ขั้นตอนวิธีคิดได้นำไปพัฒนาในส่วนถัดไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การหาค่ากรอบวัตถุของภาพ

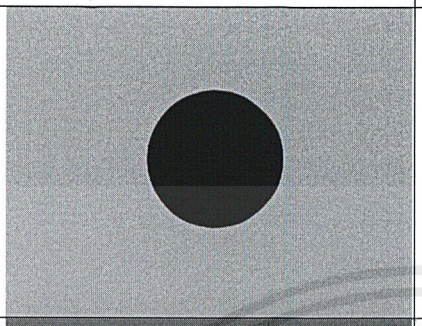
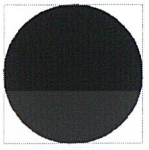
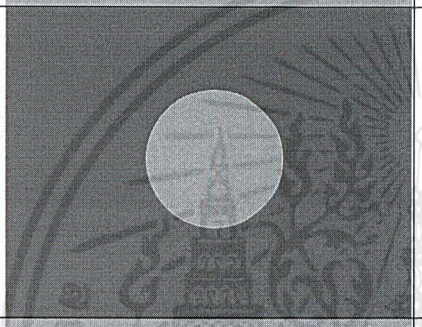
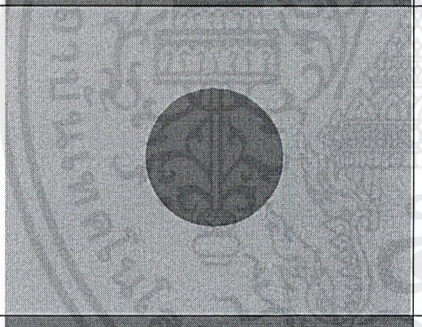
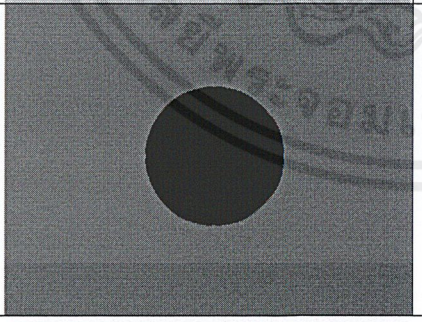
4.2.1 การทดลองหาค่ากรอบวัตถุของภาพเพื่อให้ได้แกนเอกและแกนโท

วัตถุประสงค์ ส่วนของการทดสอบนี้จะเป็นการวัดค่าความถูกต้องของภาพที่นำเข้ากับภาพขาวดำที่ได้จากการสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะคิดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นร้อยละของพื้นที่ภาพทั้งหมด จากภาพตัวอย่างที่ทำขึ้นเอง โดยกำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองส่วนนี้ ซึ่งผลจากการทดสอบนี้คาดหวังว่าการหากรอบวัตถุในภาพออกจากพื้นหลังของภาพนั้นจะทำได้ถูกต้องโดยสมบูรณ์โดยวัดจากประสิทธิภาพจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ผิดไปจากเดิมระหว่างค่าความกว้างยาวที่วัดได้จากภาพที่ได้รับการตัดแบ่งว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่โดยคิดเป็นร้อยละของวัตถุภาพทั้งหมด

วิธีการทดลอง ในขั้นแรกคือการทำรูปภาพตัวอย่างโดยแบ่งออกเป็นภาพธรรมดาซึ่งเป็นภาพวงกลมอยู่ตรงกลางภาพจำนวนสี่ภาพในกรณีที่ต่างกันโดยแบ่งระดับออกเป็นสามระดับคือเทาอ่อน เทา และดำ โดยมีค่าสีเป็น 30, 127,200 ตามลำดับและมีขนาดคือ 212x212 pixel มีค่าฉากหน้าต่อฉากหลังดังนี้คือ 30/200, 200/127, 127/200, 30/127 ที่เลือก 4 กรณีจาก 6 กรณีนั่นก็เพราะว่าเหตุการณ์ที่จะเป็นรอยสีดำสนิทนั้นเกิดขึ้นได้ยากและหากเปรียบเทียบแล้วสีเทาแล้วสีเทามีค่าความต่างของขอบต่ำกว่าจึงเป็นโอกาสที่จะผิดพลาดที่สูงกว่า จากนั้นนำภาพวงกลมที่มีมาทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนรูปแบบปรกติ (Uniform) และภาพวงกลมที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian อย่างละสี่ภาพแล้วทำการทดสอบการหากรอบวัตถุและเปรียบเทียบกับภาพที่ได้กำหนดไว้แล้ว โดยมีการวัดความผิดพลาดได้จากการคิดร้อยละของแกนเอกและแกนโทที่ผิดต่อแกนเอกและแกนโทที่ตั้งไว้ ในที่นี้แกนเอกและแกนโทคือ ซึ่งมีผลสรุปดังต่อไปนี้

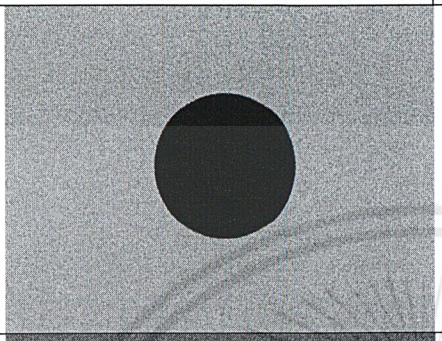
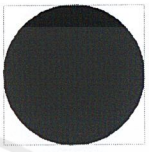
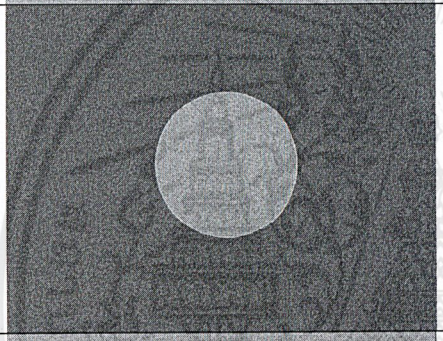
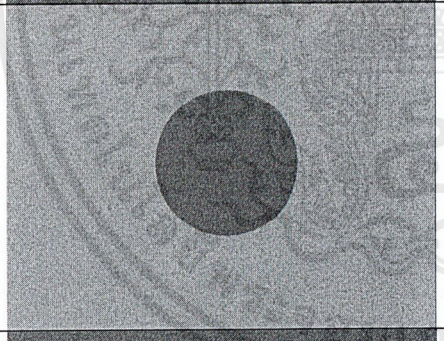
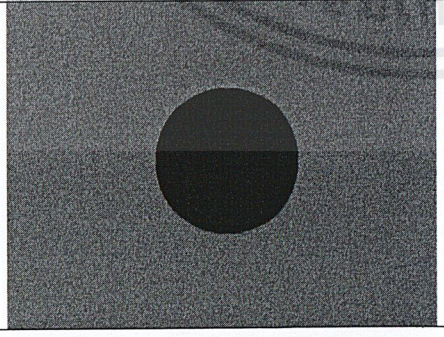
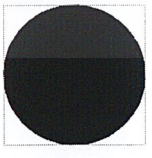
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การทดลองหาค่ากรอบวัตถุของภาพเพื่อให้ได้แกนเอกและแกนโท

ประเภทของภาพ	ภาพนำเข้า(ภาพปรกติ)	ภาพที่ได้จากการหากรอบวัตถุ	ค่าความคลาดเคลื่อน
FG30 BG200			212:212, 212:212 =0.0%
FG200 BG127			212:212, 212:212 =0.0%
FG127 BG200			212:212, 212:213 =0.5%
FG30 BG127			212:212, 212:212 =0.0%

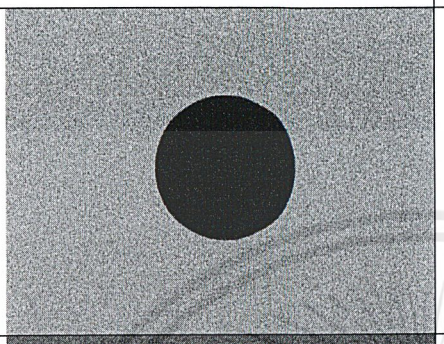
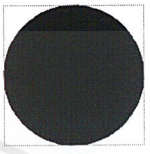
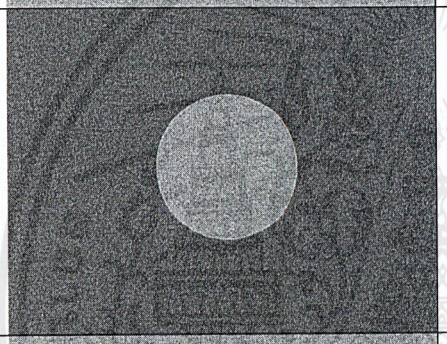
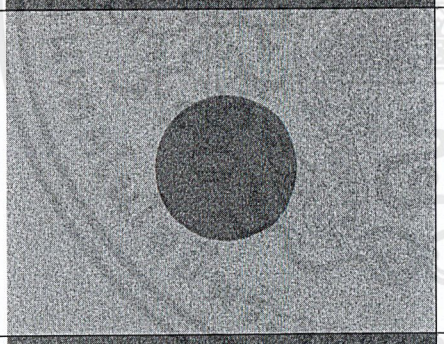
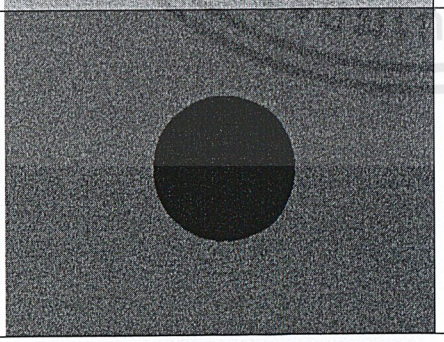
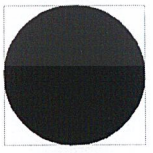
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การทดลองหาค่ากรอบวัตถุของภาพเพื่อให้ได้แกนเอกและแกนโท

ประเภทของภาพ	ภาพนำเข้ามีการใส่สัญญาณรบกวนประเภท Uniform 10%	ภาพที่ได้จากการตัดแบ่ง	ค่าความคลาดเคลื่อน
FG30 BG200			212:212, 213:212 =0.5%
FG200 BG127			212:212, 212:212 =0.0%
FG127 BG200			212:212, 213:213 =1%
FG30 BG127			212:212, 212:212 =0.0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การทดลองหาค่ากรอบวัตถุของภาพเพื่อให้ได้แกนเอกและแกนโท

ประเภทของภาพ	ภาพนำเข้ามีการใส่สัญญาณรบกวนประเภท Gaussian 10%	ภาพที่ได้จากการตัดแบ่ง	ค่าความคลาดเคลื่อน
FG30 BG200			212:212, 212:213 =0.5%
FG200 BG127			212:212, 213:212 =0.5%
FG127 BG200			212:212, 212:213 =0.5%
FG30 BG127			212:212, 211:213 =1.0%

วิเคราะห์ผล จากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาอยู่นี้สามารถใช้งานได้ดี ซึ่งวัดได้จากร้อยละของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการหากรอบภาพที่เล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด และจากการทดลองนี้มีสิ่งที่น่าสังเกตอยู่จุดหนึ่งคือภาพที่มีสัญญาณรบกวน นั้นการหาค่ากรอบวัตถุนั้นจะหาได้ผิดเพี้ยนไปบ้าง

สรุปผล จากผลการทดลองนี้เราสามารถสรุปได้ว่าเราสามารถใช้ขั้นตอนวิธีคิดที่ได้นำไปใช้กับการหาค่าคุณลักษณะได้ โดยการหาค่ากรอบวัตถุนี้เป็นขั้นตอนวิธีที่หาได้สมบูรณ์ในระดับหนึ่งกล่าวคือการหาตั้งแต่มุม1-90องศานั้นเท่ากับเป็นการหากรอบวัตถุด้วยการหมุนภาพ 360 องศา เนื่องจากภาพนั้นสามารถกลับภาพได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน จึงทำให้เกิดความซ้ำซ้อนในการหากรอบวัตถุถ้าหากรอบวัตถุด้วยการหมุนภาพทั้ง 360 องศา

4.3 การหาค่าคุณลักษณะของภาพ

นิยามของกรอบวัตถุคือกรอบที่เล็กที่สุดที่ยังสามารถบรรจุวัตถุในภาพได้ทั้งหมด แต่ในการพัฒนาระบบนี้จะขอพูดถึงกรอบที่เป็นลักษณะสี่เหลี่ยม เนื่องจากในขั้นถัดไปจะต้องหาค่าความโค้งมนซึ่งจะต้องหาค่าแกนเอก (Major axis) และแกนโท (Minor axis) โดยที่แกนเอก (Major axis) จะเป็นแกนที่มีความยาวมากที่สุดของกรอบวัตถุและแกนโท (Minor axis) จะเป็นแกนที่เล็กรองลงมาของกรอบวัตถุ

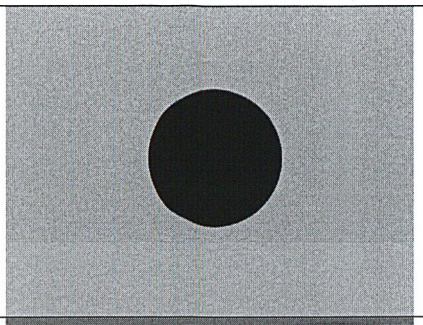
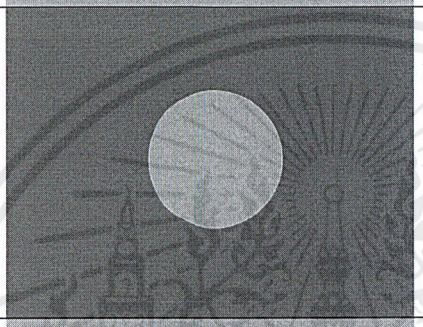
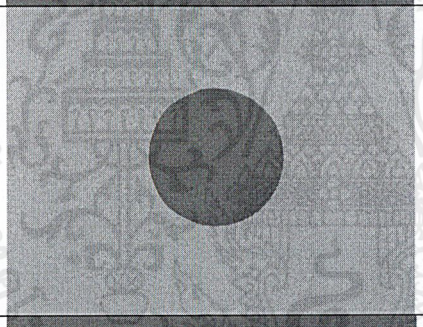
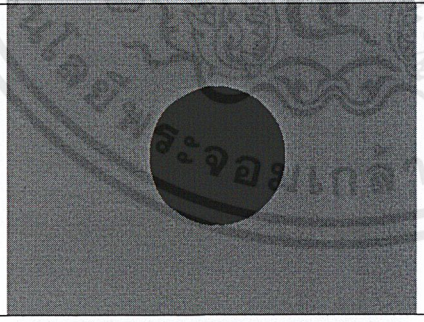
4.3.1 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของภาพจากระบบที่ได้พัฒนา

วัตถุประสงค์ ส่วนของการทดสอบนี้จะเป็นการวัดค่าความถูกต้องของการหาค่าคุณลักษณะที่ต้องการกับภาพที่ผ่านการตัดแบ่งวัตถุและการหาค่ากรอบวัตถุแล้ว ซึ่งค่าดังกล่าวนี้จะเป็นส่วนสำคัญในคำค้นคืนของระบบ โดยคาดหวังการหาค่าคุณลักษณะของภาพนั้นจะทำได้อย่างถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว

วิธีการทดลอง ในขั้นแรกคือการทำรูปภาพตัวอย่างโดยแบ่งออกเป็นภาพธรรมดาซึ่งเป็นภาพวงกลมอยู่ตรงกลางภาพจำนวนสี่ภาพในกรณีที่ต่างกันโดยแบ่งระดับออกเป็นสามระดับคือเทาอ่อน เทา และดำ โดยมีค่าสีเป็น 30, 127,200 ตามลำดับและมีขนาดคือ 212x212 pixel มีค่าฉากหน้าต่อฉากหลังดังนี้คือ 30/200, 200/127, 127/200, 30/127 โดยค่าคุณลักษณะของพื้นผิวมีค่าเข้าใกล้ 0 ค่าความโค้งมนมีค่าเท่ากับ 1 คือวงกลมและค่าจะลดลงเมื่อรูปทรงนั้นผิดเพี้ยนจากวงกลมนั้นๆ และสุดท้ายคืออัตราการยืดของวัตถุถ้าเท่ากับ 1 คือเป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีค่าลดลงเมื่อบิดเบี้ยวไป ซึ่งมีผลสรุปดังต่อไปนี้

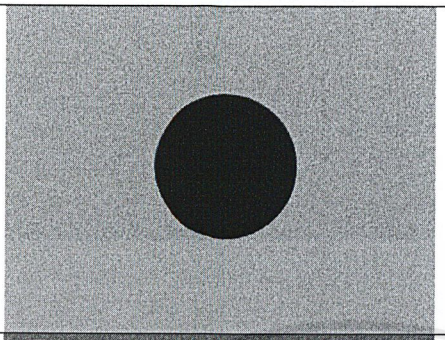
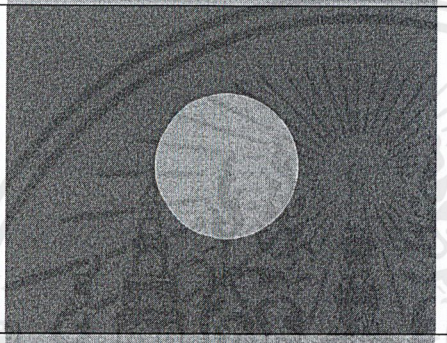
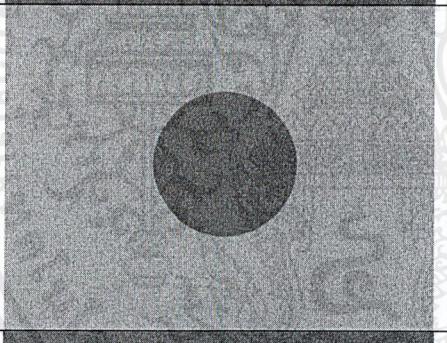
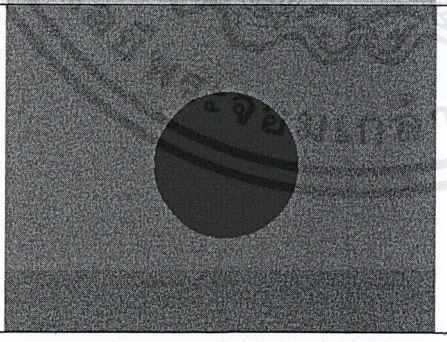
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การทดลองหาค่าคุณลักษณะของภาพจากระบบที่ได้พัฒนา

ประเภทของภาพ	ภาพนำเข้า(ภาพปรกติ)	ค่าที่ได้จากระบบ
FG30 : BG200		Texture : 1.0 Roundness : 0.94 Elongation : 1
FG200 :BG127		Texture : 0.5 Roundness : 0.98 Elongation : 0.99
FG127 :BG200		Texture : 0.2 Roundness : 0.96 Elongation : 1
FG30 : BG127		Texture : 0.51 Roundness : 0.95 Elongation : 1

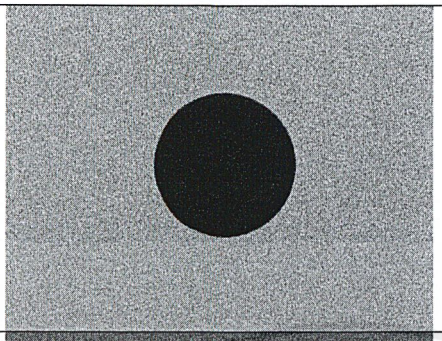
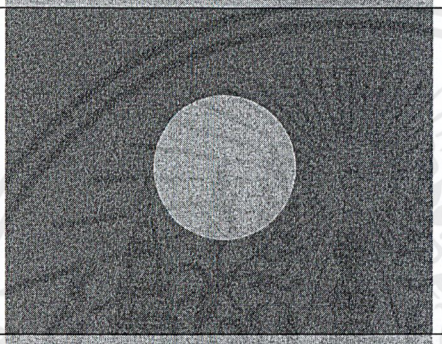
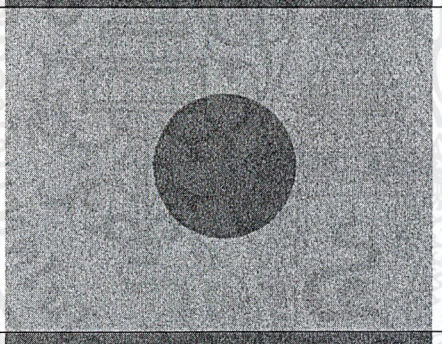
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การทดลองหาค่าคุณลักษณะของภาพจากระบบที่ได้พัฒนา

ประเภทของภาพ	ภาพนำเข้ามีการใส่สัญญาณรบกวนประเภท Uniform 10%	ค่าที่ได้จากระบบ
FG30 BG200		Texture : 1.5 Roundness : 0.98 Elongation : 0.995
FG200 BG127		Texture : 1.6 Roundness : 0.96 Elongation : 1
FG127 BG200		Texture : 1.51 Roundness : 1 Elongation : 1
FG30 BG127		Texture : 0.94 Roundness : 1.012 Elongation : 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) การทดลองหาค่าคุณลักษณะของภาพจากระบบที่ได้พัฒนา

ประเภทของภาพ	ภาพนำเข้ามีการใส่สัญญาณรบกวนประเภท Gaussian 10%	ค่าที่ได้จากระบบ
FG30 BG200		Texture : 1.71 Roundness : 0.983 Elongation : 0.995
FG200 BG127		Texture : 2.6 Roundness : 0.97 Elongation : 1
FG127 BG200		Texture : 2.62 Roundness : 0.96 Elongation : 1
FG30 BG127		Texture : 1.56 Roundness : 1.03 Elongation : 1

วิเคราะห์ผล จากการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาอยู่นี้สามารถใช้งานได้ดี ซึ่งวัดได้จากร้อยละของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการหากรอบภาพที่เล็กที่สุด และจากการทดลองนี้มีสิ่งที่น่าสังเกตอยู่จุดหนึ่งคือภาพที่มีสัญญาณรบกวนนั้นการหาค่ากรอบวัตถุนั้นจะหาได้ผิดเพี้ยนไปบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผล จากผลการทดลองนี้เราสามารถสรุปได้ว่าการหาค่าคุณลักษณะข้างต้นนี้มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะดูได้จากความผิดเพี้ยนไปของค่าที่ระบบแสดงออกมาได้นั้นอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งในการหาค่าคุณลักษณะนี้แล้วเมื่อทำการค้นคืนแล้วภาพที่ได้นั้นสามารถระบุความคล้ายคลึงได้

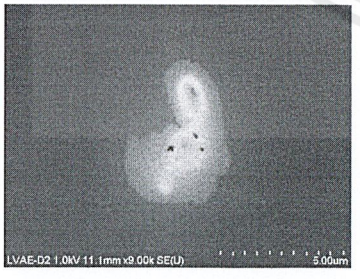
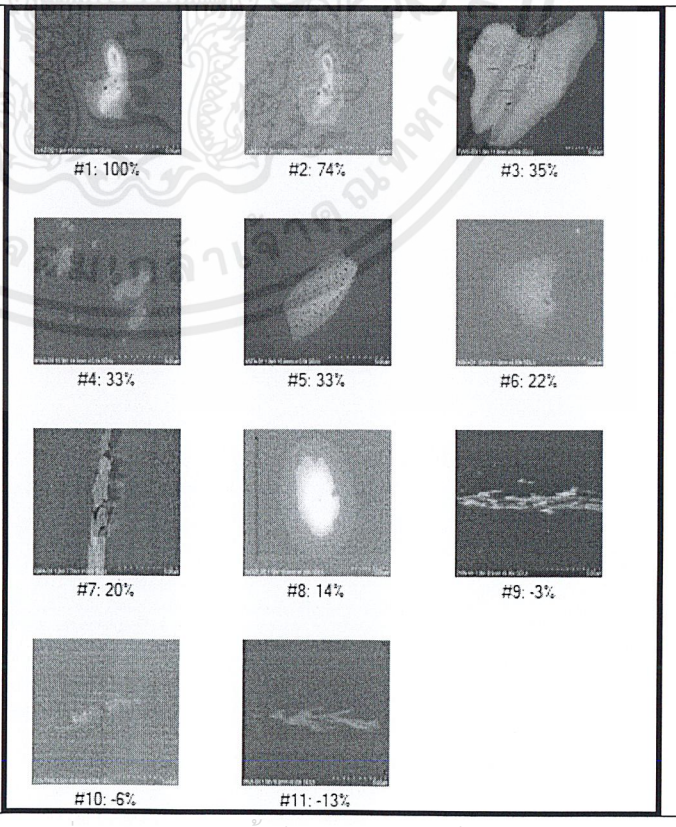
4.4 การค้นคืนข้อมูลจากภาพตัวอย่าง

4.4.1 การทดลองการค้นคืนรูปภาพจากภาพตัวอย่างกับระบบ

วัตถุประสงค์ เพื่อเป็นการทดสอบขั้นตอนวิธีคิดที่ได้นำมาพัฒนาเป็นระบบแล้ว เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการค้นคืนรูปภาพกับภาพตัวอย่างที่นำเค้ามายังระบบ

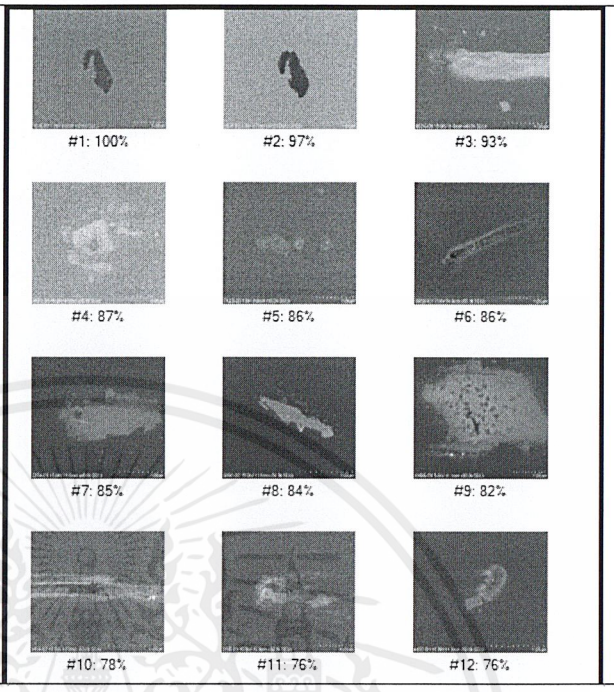
วิธีการทดลอง การทดลองนี้เป็นการเลือกภาพตัวอย่างจำนวน 4 ภาพเพื่อทำการทดลองหาค่าคุณลักษณะและการค้นคืนภาพจากระบบ เพื่อวัดประสิทธิภาพและความถูกต้อง โดยได้ทำการเพิ่มภาพเดียวกันกับภาพตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วยเพื่อดูความถูกต้องในการค้นคืนและภาพตัวอย่างรอยเดียวกันแต่ถ่ายภาพในอีกรูปแบบหนึ่งมาเปรียบเทียบด้วย

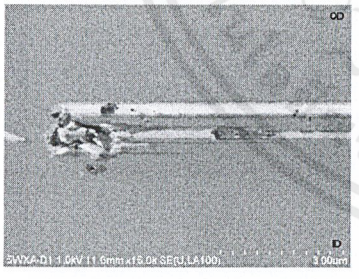
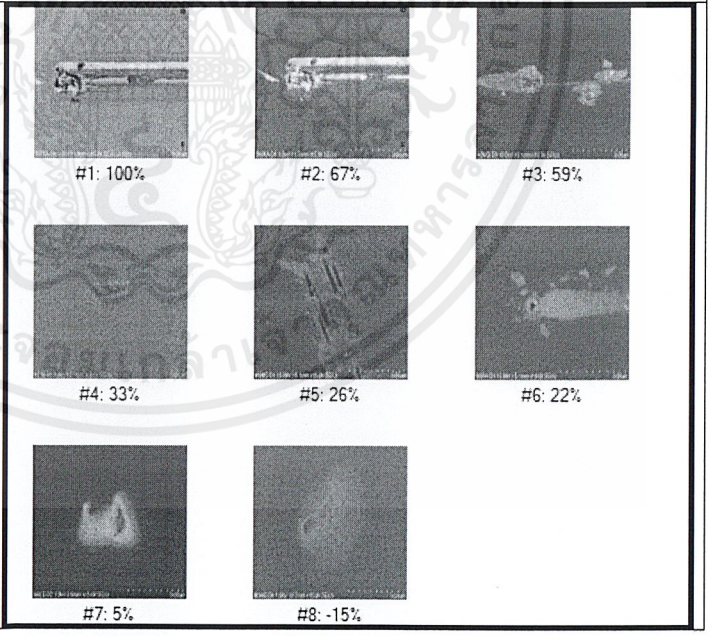
ตารางที่ 4.4 การทดลองการค้นคืนรูปภาพจากภาพตัวอย่างกับระบบ

ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ได้จากการค้นคืน
	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

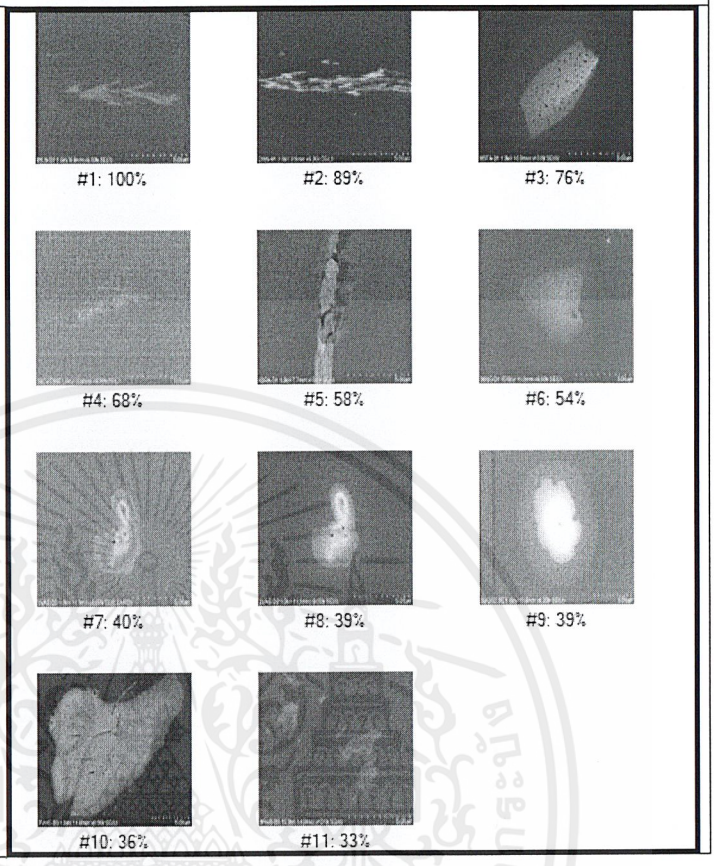
ตารางที่ 4.4 (ต่อ) การทดลองการค้นคืนรูปภาพจากภาพตัวอย่างกับระบบ

ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ได้จากการค้นคืน
	

ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ได้จากการค้นคืน
	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) การทดลองการค้นคืนรูปภาพจากภาพตัวอย่างกับระบบ

ภาพต้นฉบับ	ภาพที่ได้จากการค้นคืน
	

วิเคราะห์ผล จากตารางข้างต้นจะเห็นได้ว่าภาพที่ค้นคืนมาได้นั้นมีภาพที่ตรงกัน 100% นั่นก็เป็นภาพเดียวกันที่ซ้ำกับในส่วนของฐานข้อมูล และภาพที่ค้นคืนมาได้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นภาพที่มาจากประเภทเดียวกันหรือมีขนาดของรอยที่ใกล้เคียงกัน

สรุปผล จากผลการทดลองนี้เราสามารถสรุปได้ว่าการหาค่าคุณลักษณะข้างต้นนี้มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะดูได้จากความสามารถในการค้นคืนรูปภาพที่ทำได้อย่างใกล้เคียงและมีส่วนที่คล้ายคลึงกันแสดงออกมาให้เห็นเด่นชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปของโครงการ

ในโครงการนี้นั้นมีความต้องการอย่างยิ่งว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาการผลิตฮาร์ดดิสก์แบบแม่เหล็กให้มีประสิทธิภาพจากการแก้ไขปัญหาได้ถูกจุด เพื่อการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอันจะนำมาซึ่งการรองรับนวัตกรรมการผลิตใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

จากการที่ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพมาหลายอย่างนั้นทำให้เราได้เห็นถึงความสัมพันธ์ในหลายด้านทั้งด้านการนำคณิตศาสตร์เพื่อมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น นอกจากนี้การได้เรียนรู้สิ่งที่ผู้อื่นได้ทำมานั้นทำให้เราได้แนวทางและสามารถประยุกต์ใช้กับงานได้ สำหรับโครงการนี้แล้วการตัดขอบวัตถุในภาพนั้นเหมือนเป็นปัญหาหลักของการทำงานในครั้งนี้เลยก็ว่าได้เนื่องจากปัญหาของสัญญาณรบกวนในภาพนั้นมีอยู่สูงมาก จึงได้คิดค้นวิธีการตัดขอบวัตถุในภาพให้มีประสิทธิภาพแก่การทำงานในลำดับถัดไป อีกทั้งในส่วนของการหากรอบวัตถุนั้นสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งมีผลทำให้การดึงเอาคุณลักษณะสำคัญออกมานั้นทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพสูง นั่นหมายถึงการค้นคืนรูปภาพนั้นก็จะสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำจากการหาค่าที่สามารถใช้ร่วมกัน ได้ผลเป็นที่น่าพอใจสามารถค้นคืนข้อมูลออกมาได้อย่างมีระบบและเข้าใจได้ง่าย

โครงการนี้ยังได้มีส่วนของการพัฒนาระบบที่สอดคล้องกับขั้นตอนวิธีคิดที่ได้ออกแบบไปแล้วข้างต้น ซึ่งก็มีประสิทธิภาพแก่การใช้งานและมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่สามารถใช้งานได้สะดวก ทั้งหมดนี้ล้วนแล้วแต่ช่วยให้การทำงานตรวจสอบความเสียหายของผู้เชี่ยวชาญมีความสะดวกมากยิ่งขึ้นนั่นเอง

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ปัญหาด้านการออกแบบขั้นตอนวิธีคิด

การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีคิดของโครงการนี้จะมีปัญหาอยู่ที่การค้นคว้าหาข้อมูลหรือแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการประมวลผลภาพในแต่ละเรื่องตัวอย่างเช่นการตัดขอบวัตถุในภาพหรือแม้กระทั่งการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยการ Opening and Closing ที่ได้ออกแบบ mask ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมไปถึงการดึงคุณลักษณะของภาพซึ่งมีหลายชนิดแต่ชนิดไหนจะเหมาะสมที่สุดในการใช้งานกับโครงการที่เราทำนั่นคืออุปสรรค ซึ่งทั้งหมดนี้เกิดจากการสังเกต ตั้งคำถามและทดลองปฏิบัติให้เกิดผลจึงผ่านอุปสรรค์เหล่านั้นมาได้ สิ่งที่ยังคงเป็นปัญหาอยู่ในการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงหัวข้อนี้คือภาพที่มีความเสียหายจากการถ่ายภาพซ้ำๆที่เกิดรอยคล้ำรูปสี่เหลี่ยมที่ยังคงเกิดขึ้นจากการคำนวณบางอย่างที่ผิดพลาด บางกรณีภาพรอยเปื้อนมีขนาดเล็กมากทำให้ต้องเพิ่มกำลังการขยายให้สูงมากขึ้นนั้นหมายความว่าสัญญาณรบกวนจะยิ่งสูงและความต่างระหว่างรอยเปื้อนกับพื้นหลังนั้นแตกต่างกันน้อยมาก มีผลทำให้ในบางภาพนั้นไม่สามารถตัดขอบวัตถุในภาพออกมาได้อย่างชัดเจนเท่าใดนัก

5.2.2 ปัญหาด้านการพัฒนาระบบ

ในส่วนของการพัฒนาระบบนั้นจะมีปัญหาอยู่ที่การค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาระบบเนื่องจากภาษาที่ใช้นั้นถึงแม้ว่าจะไม่ต่างจากภาษาที่เคยพัฒนาในระบบอื่นๆมาแล้วก็ตาม แต่ในบางส่วนนั้นก็ยังต้องทำความเข้าใจอยู่พอสมควร นอกจากนี้การศึกษาไลบารี่ OpenCV ก็เป็นอีกหนึ่งอุปสรรคที่ต้องพบนั่นก็คือในบางฟังก์ชันหรือขั้นตอนการทำงานบางอย่างนั้นทางไลบารี่ไม่ได้เตรียมมาให้หรือไม่ก็เตรียมมาให้ แต่ใช้ไม่ได้เนื่องจากไม่เหมาะสมกับการใช้งานในขั้นตอนวิธีคิดที่ได้คิดเอาไว้แล้ว นั่นหมายความว่าต้องทำการประยุกต์ใช้ฟังก์ชั่นอื่นๆเพื่อทำการพัฒนาระบบตามที่ได้ตั้งไว้ และปัญหาที่พบตามมาคือการจัดการหน่วยความจำซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของความเร็วในการประมวลผล ซึ่งในบางครั้งก็เกิดข้อผิดพลาดจนทำให้เสียเวลาไปมากทีเดียว ซึ่งก็ได้แก้ไขไปแล้วบางส่วนและมีเพียงส่วนน้อยที่ยังคงไม่มีประสิทธิภาพเท่าใดนัก

5.3 ข้อเสนอแนะ

เมื่อสิ้นสุดโครงการนี้แล้วมีอีกหลายๆเรื่องที่ได้ลองพัฒนาต่อไปบ้างแต่ยังไม่ได้ทำการพัฒนาต่อไปเป็นระบบจริงๆนั่นคือส่วนของการคำนวณหาค่าขีดแบ่งต่ำสุดที่จะสามารถทำให้การตัดของวัตถุในภาพนั้นสามารถทำได้อย่างสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น โดยใช้การคำนวณค่าขีดแบ่งสองครั้งซึ่งเป็นแนวคิดของงานวิจัยชิ้นหนึ่ง ในครั้งต่อไปควรลองนำวิธีนี้มาปรับใช้กับตัวขั้นตอนวิธีคิดเพื่อให้การทำงานนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในส่วนถัดมาคือการพัฒนาการค้นคืนที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้ เนื่องจากค่าคุณลักษณะที่ได้นั้นยังไม่ได้บ่งบอกถึงคุณลักษณะของกรณีศึกษาที่ได้ทำการศึกษาเท่าใดนัก แต่สามารถบอกได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งควรจะทำการออกแบบคุณลักษณะให้สอดคล้องมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Gary, B. and Adrian K. 2008. **Learning OpenCV.** Sebastopol: O'Reilly Media.

[2] Rafael, C. G. et al. **Digital image processing using MATLAB**: Prentice Hall.

[3] Rafael,C.G. and Richard, E. W. 2002. **Digital image processing:** Prentice Hall.

[4] สภา จรรยาชัชวัลย์. 2553. **Learning OpenCV.** เข้าถึงได้จาก:

http://sapachan.blogspot.com/2010/04/learning-opencv-delaunay-triangulation.html.

[5] สันติ นุราช. 2553. **Install OpenCV.** เข้าถึงได้จาก :

http://www.shadowwares.com/Tutorials/OpenCV/html/Install_OpenCV_Part01.html

http://www.shadowwares.com/Tutorials/OpenCV/html/Install_OpenCV_Part02.html

http://www.shadowwares.com/Tutorials/OpenCV/html/Install_OpenCV_Part03.html

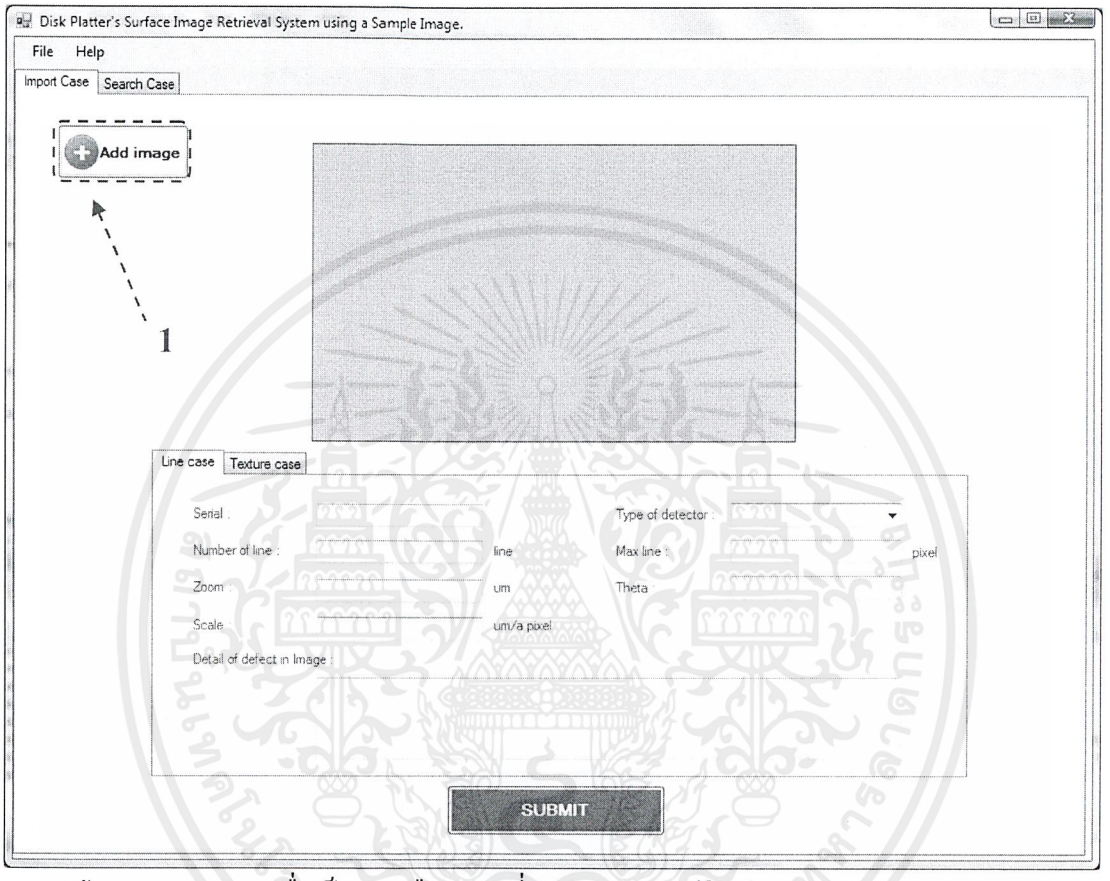
http://www.shadowwares.com/Tutorials/OpenCV/html/Install_OpenCV_Part04.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

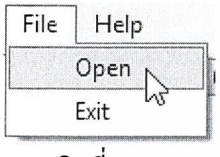
ภาคผนวก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม

ขั้นตอนการบันทึกกรณีใหม่เข้าสู่ระบบ

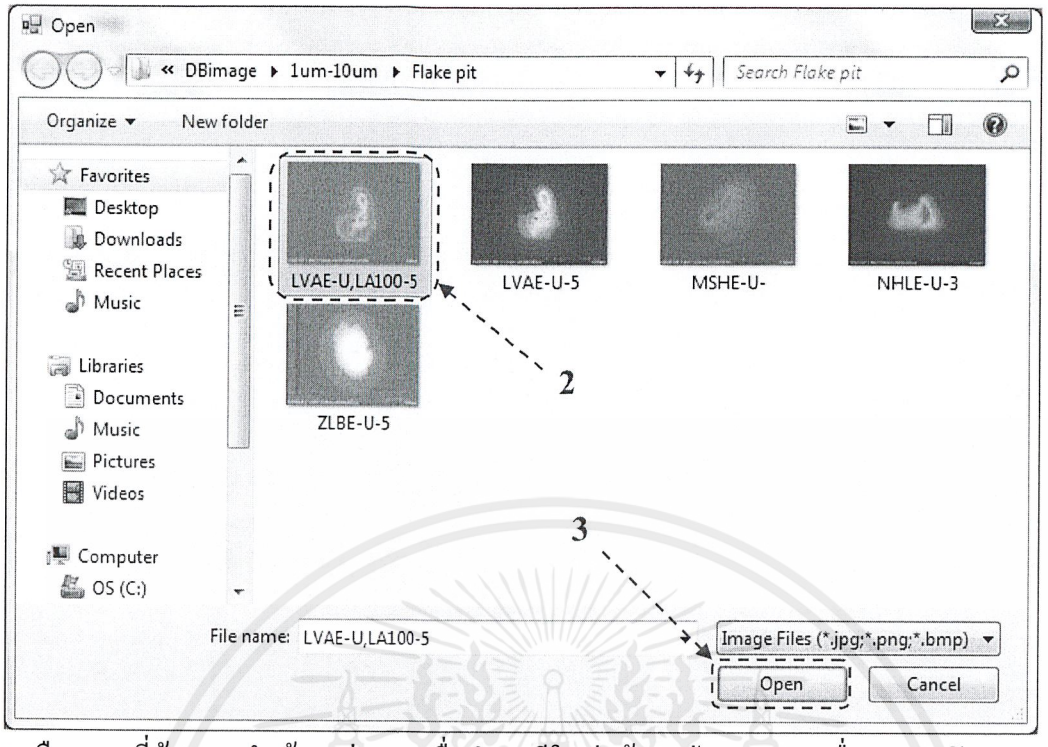


1.1 กดปุ่ม “Add image” เพื่อเป็นการเลือกภาพที่จะนำมาทำกรณีใหม่

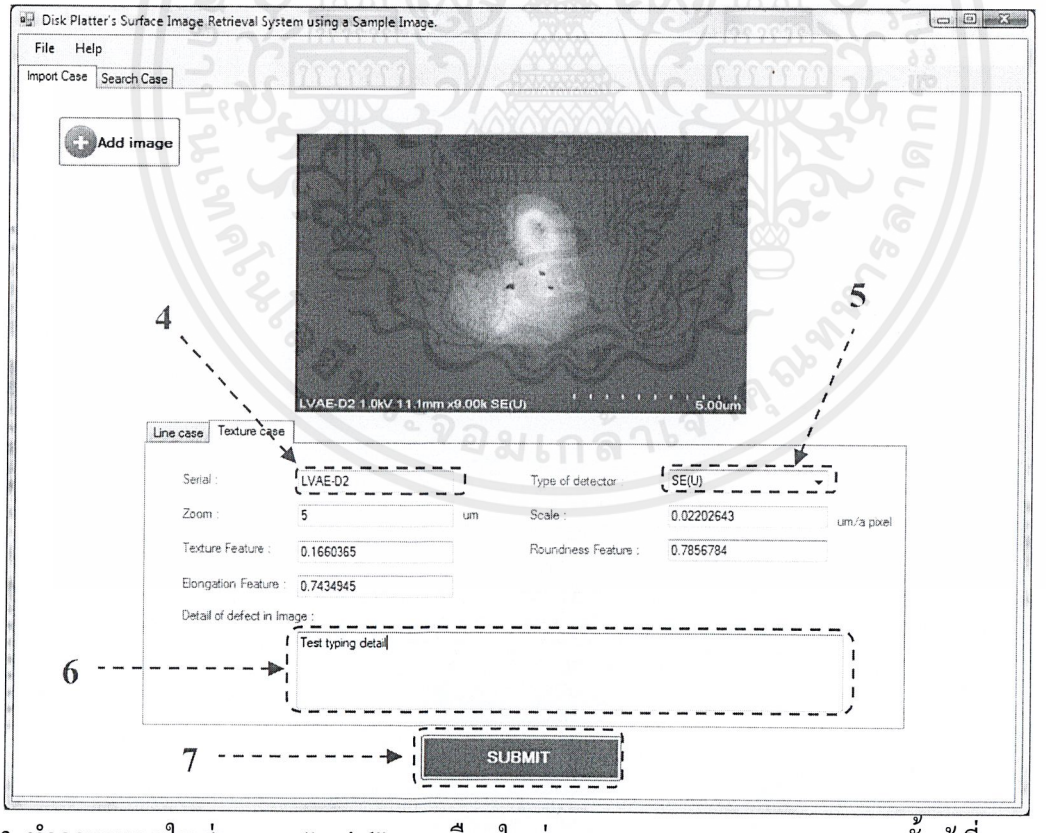


1.2 คลิกที่ “File” และเลือก “Open” เพื่อเป็นการเลือกภาพที่จะนำมาทำกรณีใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

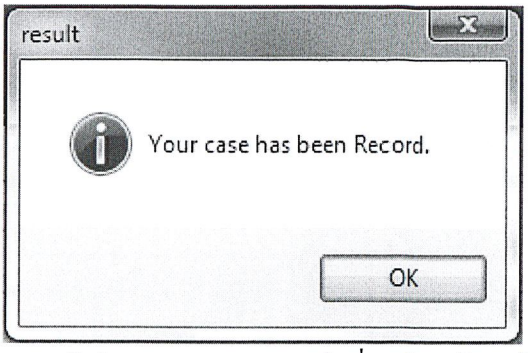


2. เลือกภาพที่ต้องการนำเข้ามาสู่ระบบเพื่อทำกรณีใหม่แล้วกดปุ่ม “Open” เพื่อทำการเปิดภาพ

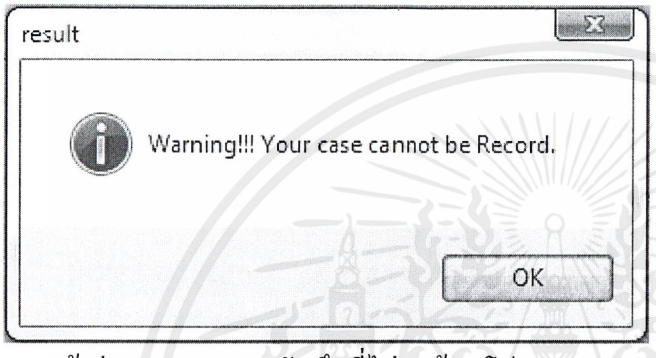


3. ทำการกรอกในส่วนของ “serial” และเลือกในส่วนของ “Type of detector” จากนั้นผู้เชี่ยวชาญจะทำการกรอกรายละเอียดการวิเคราะห์ลงในส่วนของ Detail กดปุ่ม “Submit” เพื่อทำการบันทึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

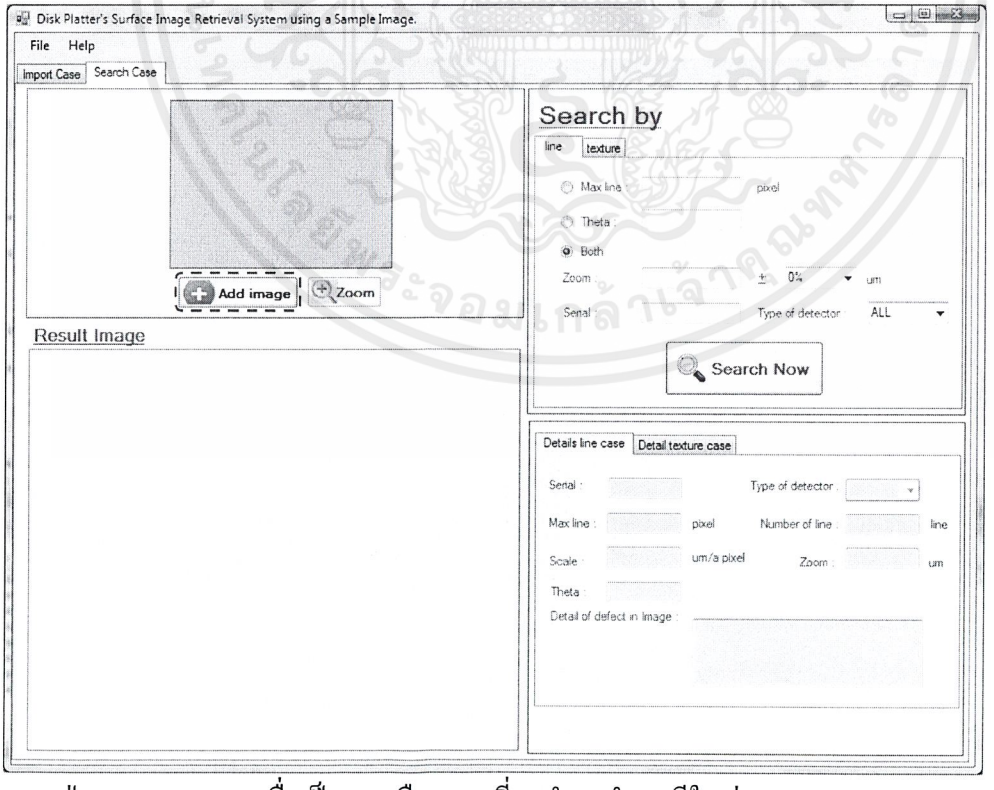


4.1 หน้าต่างแสดงผลการบันทึกที่ถูกต้อง ข้อมูลได้ถูกบันทึกลงฐานข้อมูลแล้ว



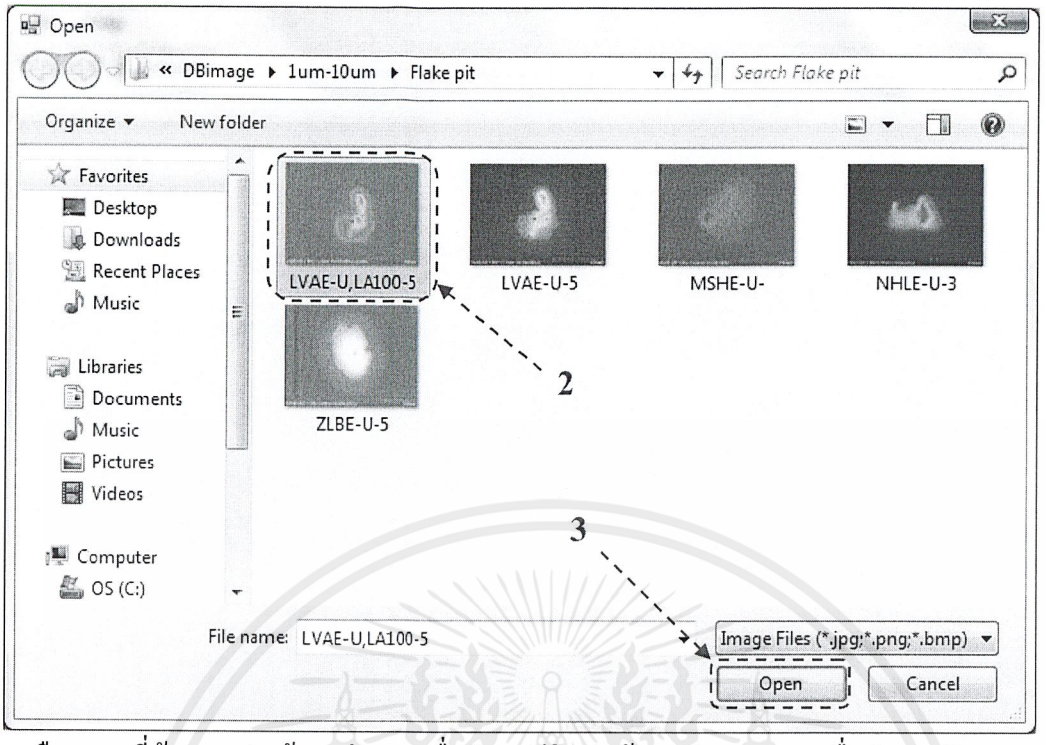
4.2 หน้าต่างแสดงผลการบันทึกที่ไม่ถูกต้อง โปรดตรวจสอบและแก้ไขอีกครั้ง

ขั้นตอนการค้นคืนรูปภาพจากกรณีเก่าในระบบ

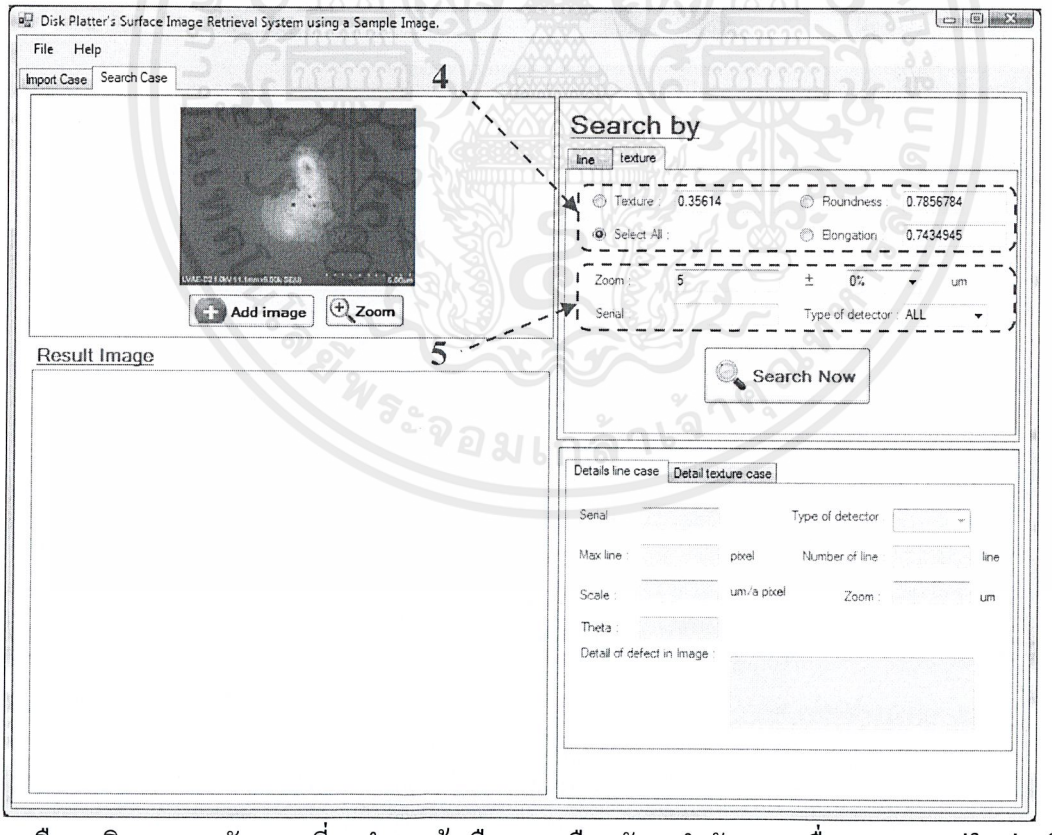


1. กดปุ่ม “Add image” เพื่อเป็นการเลือกภาพที่จะนำมาทำกรณีใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

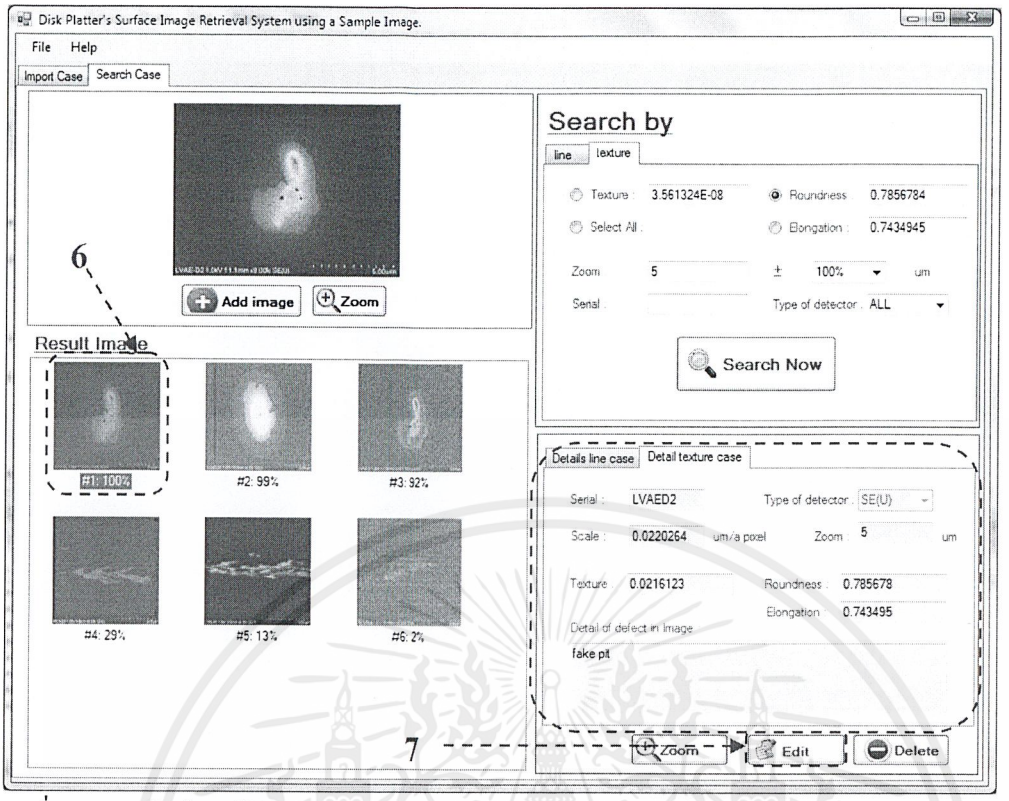


2. เลือกภาพที่ต้องการนำเข้ามาสู่ระบบเพื่อทำกรณีใหม่แล้วกดปุ่ม “Open” เพื่อทำการเปิดภาพ

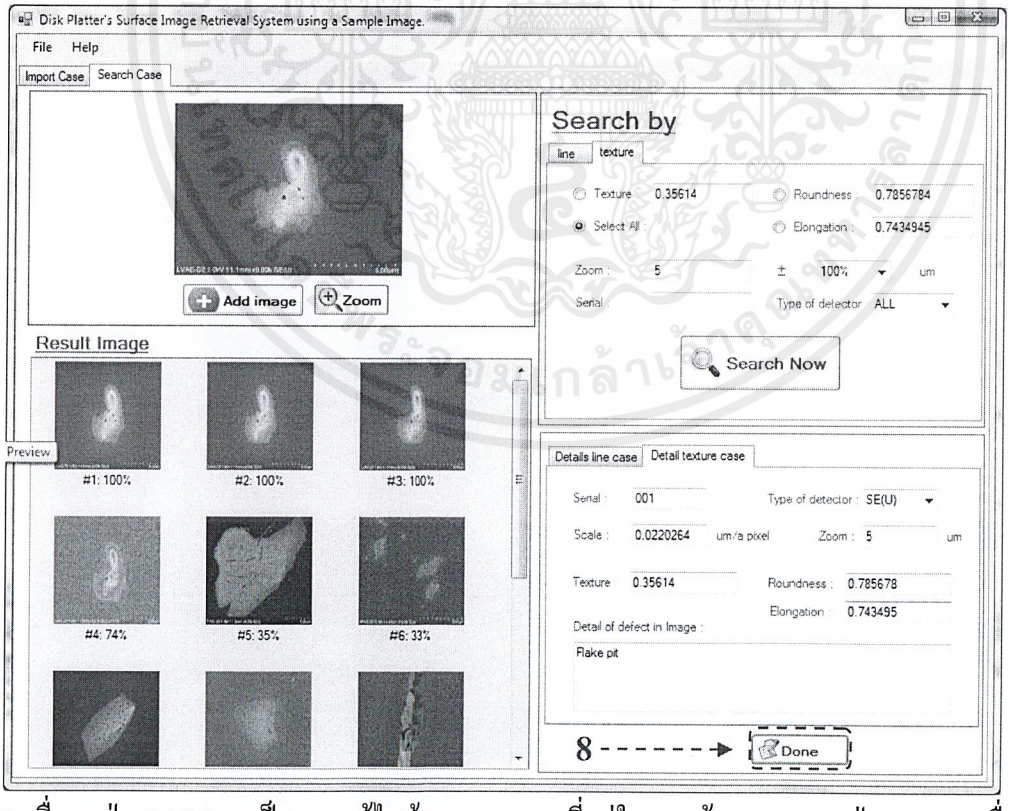


3. เลือกชนิดของคุณลักษณะที่จะทำการค้นคืน และเลือกอัตรากำลังขยายเพื่อแสดงผลอยู่ในช่วงใด จาดนั้นกดปุ่ม “Search Now” เพื่อทำการค้นคืนภาพที่คล้ายคลึงออกมาจากฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

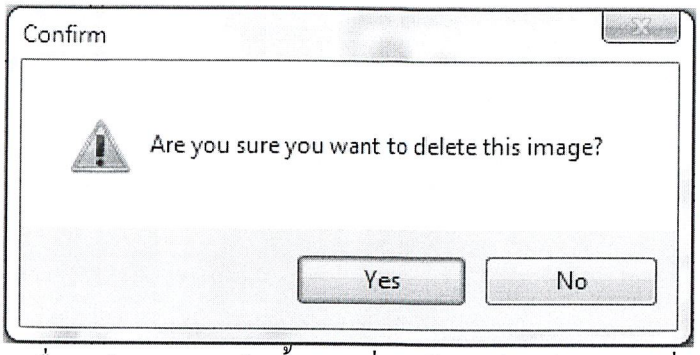


4. เมื่อทำการค้นคืนแล้วระบบจะทำการเรียงลำดับของความคล้ายคลึงออกมาแสดงผล และเมื่อคลิกที่ภาพก็จะปรากฏข้อมูลขึ้นทางด้านขวา



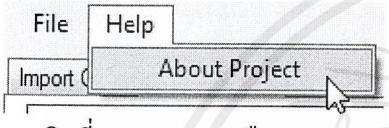
5. เมื่อกดปุ่ม “Edit” จะเป็นการแก้ไขข้อมูลของภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลและกดปุ่ม “Done”เพื่อบันทึกข้อมูลที่ได้แก้ไขไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

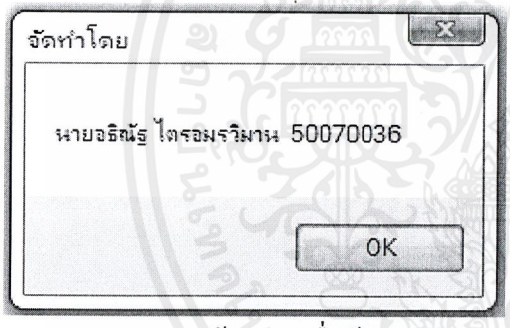


6. เมื่อกดปุ่ม “delete” ในขั้นตอนที่ 4 แล้วจะเป็นการลบภาพที่อยู่ในฐานข้อมูลซึ่งจะมีหน้าต่างให้ยืนยันการลบข้อมูลตอบ “Yes” เพื่อลบข้อมูล และตอบ “No” เพื่อไม่ทำลบข้อมูลหรือยกเลิก

ขั้นตอนการดูรายชื่อผู้จัดทำ



1. คลิกที่ “Help” และเลือก “About Project”



2. ระบบจะแสดงหน้าจอรายชื่อผู้จัดทำและกดปุ่ม “OK” หรือ “X” เพื่อปิดหน้าจอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายอธิณัฐ ไตรอมรวิมาน
วัน เดือน ปีเกิด	24 ตุลาคม 2531 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	16/207 หมู่ 8 ซอยเอกชัย 62 ถนนเอกชัย แขวงบางบอน เขตบางบอน จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10150
อีเมล	siramax@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	
2553	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้