

การประยุกต์การพิกัดสองมิติเพื่อจำแนกข้อผิดพลาด

ด้วยวิธีการแบบทวิภาคี

LOCAL BINARY PATTERN FOR DEFECT CLASSIFICATION OF
HARD-DISK SURFACES

วิลล็อก เอสเตอานเดา

WILLOCK ESTEANDEA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMUTL 2009-EN-K-260-086

การแยกชนิดความผิดปกติของพื้นผิวฮาร์ดดิสก์
ด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น

LOCAL BINARY PATTERN FOR DEFECT CLASSIFICATION OF
HARD-DISK SURFACES



วิมุกต์ เศรษฐนันท์

WIMOOK SETHANANDHA

01746
2052

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....105291
วันเดือนปี.....1.8.พ.ย. 2552

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL 2009-EN-M-230-086

**LOCAL BINARY PATTERN FOR DEFECT CLASSIFICATION OF
HARD-DISK SURFACES**

WIMOOK SETHANANDHA

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2009
KMITL 2009-EN-M-230-086**

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การแยกชนิดความผิดปกติของพื้นผิวฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น
Thesis Title Local Binary Pattern for Defect Classification of Hard-Disk Surfaces
นักศึกษา นายวิมุกต์ เศรษฐนันท์
รหัสประจำตัว 47061139
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-230-086

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.พิทักษ์ ชรรณวาริน	
ผศ.ดร.สมเกียรติ อุดมทรราชกุล	
รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	
ดร.วีระพล โมนยะกุล	
รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 08.30-10.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแยกชนิดความผิดปกติของพื้นผิวฮาร์ดดิสด้วยวิธีกระสวน ไบนารีท้องถิ่น
นักศึกษา	นายวิมุกต์ เศรษฐนันท์
รหัสนักศึกษา	47061139
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

เพื่อพัฒนากระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต อุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสได้มีการพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพจากแบบเดิมที่อาศัยผู้เชี่ยวชาญซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากความล่าช้าของสายตา จึงแทนที่ด้วยระบบทัศนจักรอัตโนมัติ งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกชนิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนฐานรองฮาร์ดดิสด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น ผลที่ได้สามารถระบุตำแหน่งของความผิดปกติ บ่งชี้ว่าวิธีการที่นำเสนอนี้สามารถนำมาใช้ระบุความผิดปกติของฐานรองฮาร์ดดิสได้

Thesis Title	Local Binary Pattern for Defect Classification of Hard-Disk Surfaces
Student	Mr. Wimook Sethanandha
Student ID.	47061139
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

To enhance quality control of the hard disk industry, visual inspection paradigm has been shifted from human expert to automatic machine vision due to fatigue load of human eyes. In this research, defect classification of hard disk surfaces was studied using method of local binary pattern. The results reveal of applicability of the proposed method for hard disk inspection.

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณพระเจ้าที่ทรงอวยพระพร

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยความช่วยเหลือ คำแนะนำและคำปรึกษาจากท่าน รศ.ดร.ปิติเขต สุริรักษา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์ จากท่านอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้สนับสนุนทางด้านเงินทุน ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในทุกด้าน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบเกียรติแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิมุกต์ เศรษฐนันท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิจัย.....	5
2.1 ส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิส.....	5
2.2 ระบบทัศนจักร.....	6
2.3 การปรับปรุงฮิสโทแกรม.....	8
2.4 การตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิวฮาร์ดดิส.....	10
2.4.1 กระจกสแกนไบนารีท้องถิ่น.....	10
2.4.2 ลำดับของกระจกสแกนไบนารีท้องถิ่น.....	10
2.4.3 สเปกตรัมของกระจกสแกนไบนารีท้องถิ่น.....	11
บทที่ 3 การออกแบบระบบ.....	15
3.1 เงื่อนไขของเกณฑ์การออกแบบระบบ.....	15
3.2 โครงสร้างการทำงานของระบบ.....	15
3.3 การประมวลผลเบื้องต้น.....	16
3.3.1 การตัดขอบภาพและปรับขนาดภาพ.....	16
3.3.2 การปรับปรุงฮิสโทแกรม.....	17
3.4 การวิเคราะห์ค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิ.....	18

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	20
4.1 การหาตำแหน่งที่ผิดปกติโดยวิธีพื้นผิวหนึ่งหน่วยและกระสวนไบนารีท้องถิ่น.....	20
4.2 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับอัลกอริทึมตรวจสอบ.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา.....	33
 บรรณานุกรม.....	 35
 ภาคผนวก.....	 36
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	36
 ประวัติผู้เขียน.....	 48

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 เวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับอัลกอริทึมตรวจสอบ.....	32

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แผนผังขอบเขตการวิจัย..... 3
2.1	พื้นที่มอเตอร์ของฮาร์ดดิสขนาด 2.5 นิ้ว..... 5
2.2	โครงสร้างของเครื่องจักรตรวจสอบความผิดปกติของฐานรองฮาร์ดดิส..... 6
2.3	ส่วนประกอบหลัก 3 สถานีของเครื่องตรวจสอบความผิดปกติของฐานรองฮาร์ดดิส..... 6
2.4	ภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิส..... 7
2.5	ภาพด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิส..... 8
2.6	ตัวอย่างการคำนวณฮิสโทแกรม..... 9
2.7	ค่าน้ำหนักสำหรับการแปลงกระสวนไบนารีท้องถิ่น..... 11
2.8	ตัวอย่างการแปลงกระสวนไบนารีท้องถิ่นและค่าลำดับของรูปแบบที่ได้..... 11
2.9	ภาพพื้นผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของภาพพื้นผิว..... 12
2.10	ลักษณะการเกิดสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่น..... 13
3.1	โครงสร้างการทำงานของระบบ..... 15
2.13	การออกแบบย้อนหลัง..... 15
2.14	การออกแบบไปข้างหน้า..... 16
3.1	ระบบที่สนใจที่ได้ออกแบบ..... 17
3.2	การตัดขอบภาพ..... 16
3.3	การปรับขนาดก่อนการประมวลผล..... 17
3.4	ภาพก่อนทำการปรับปรุงฮิสโทแกรม..... 17
3.5	ภาพหลังทำการปรับปรุงฮิสโทแกรม..... 18
3.6	การสร้างภาพอ้างอิง..... 19
4.1	ขั้นตอนการหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่น..... 21
4.2	ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่ไม่มีตำหนิ..... 22
4.3	ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยขีดข่วน..... 22
4.4	ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยขาว..... 23
4.5	ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยปนเปื้อน..... 23
4.6	ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่ไม่มีตำหนิ..... 24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ตัวอย่างของภาพพื้นผิว และสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน.....	24
4.8 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยกาว.....	25
4.9 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยปนเปื้อน.....	25
4.10 ด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์ปราศจากตำหนิ.....	26
4.11 ด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยปนเปื้อน.....	26
4.12 ต้นแบบที่ถูกสร้างเป็นภาพอ้างอิง.....	27
4.13 ตัวอย่างทดสอบที่มีรอยปนเปื้อนถูกนำมาวิเคราะห์.....	27
4.14 ผลจากการวิเคราะห์ภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์.....	28
4.15 ด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิสก์ปราศจากตำหนิ.....	28
4.16 ด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยขีดข่วน.....	29
4.17 ต้นแบบที่ถูกสร้างเป็นภาพอ้างอิง.....	29
4.18 ตัวอย่างทดสอบที่มีรอยขีดข่วนถูกนำมาวิเคราะห์.....	30
4.19 ผลจากการวิเคราะห์ภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์.....	30
4.20 สเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยและกระสวนไบนารีท้องถิ่นของฮาร์ดดิสก์ด้านหน้า.....	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีความโดดเด่นมากในด้านผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) โดยบริษัท Seagate Technology ซึ่งเป็นผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่ที่สุดในโลก ได้เข้ามาจัดตั้งกิจการในประเทศไทยในปี 2526 ส่วนบริษัททีเคซีของญี่ปุ่นซึ่งเป็นผู้ผลิต Spindle Motor ที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดย Spindle Motor นับเป็นชิ้นส่วนสำคัญซึ่งทำหน้าที่หมุนแผ่นดิสก์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ได้รับการชักชวนจากบริษัทซีเกทให้มาตั้งฐานการผลิตที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยาและเริ่มผลิตในปี 2534 ส่วนบริษัท ไอบีเอ็มสตอเรจโปรดักส์ (ประเทศไทย) จำกัด (ปัจจุบัน คือ บริษัท ฮิตาชิโกลบอลสตอเรจเทคโนโลยี จำกัด) ซึ่งเป็นผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่เป็นอันดับ 3 ของโลก ได้ตั้งฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่เขตอุตสาหกรรม 304 อำเภอศรีมหาโพธิ์ จังหวัดปราจีนบุรี และเปิดดำเนินการในเชิงพาณิชย์เมื่อต้นปี 2541 ล่าสุดบริษัท เวสเทิร์นดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รายใหญ่อันดับ 2 ของโลก เริ่มผลิตที่โรงงานในเขตอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี เมื่อปี 2545 จากการเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กลายเป็นอุตสาหกรรมใหญ่ที่สุดของประเทศไทย โดยมีมูลค่าการส่งออกคิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 31 ของมูลค่าส่งออกทั้งสิ้น มีมูลค่าเพิ่มในปี 2550 เป็นเงิน 412,660 ล้านบาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 13.7 ของ GDP ของภาคอุตสาหกรรมการผลิต และร้อยละ 4.9 ของ GDP รวมทั้งประเทศ และมีการจ้างงานมากถึง 500,000 คน [1] ในปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และชิ้นส่วนในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่ก่อให้เกิดกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่อประเทศไทยอย่างมาก โดยมีสัดส่วนของปริมาณการผลิตรวมเป็นอันดับ 1 ของโลก [2] อย่างไรก็ตามการพัฒนาความสามารถในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ไม่ได้จำกัดอยู่แต่เพียงในประเทศไทยเท่านั้นประเทศเพื่อนบ้านและประเทศพัฒนาใหม่ในเอเชียต่างล้วนพัฒนาเทคโนโลยีใหม่และโครงสร้างการผลิต เพื่อรองรับการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีขนาดเล็กลง มีความจุเพิ่มมากขึ้น มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

ดังนั้นการพัฒนาคุณภาพและการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับประเทศไทยอย่างยิ่ง เพราะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการคงอยู่ของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย หนึ่งในขั้นตอนของการตรวจสอบคุณภาพคือการตรวจสอบความเรียบร้อยของสภาพรอบนอกโดยรูปแบบการตรวจสอบในขั้นตอนนี้โดยทั่ว ๆ ไปแล้วใช้การตรวจสอบโดยการมองด้วยตา ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวนมากในขั้นตอนการตรวจสอบนี้ อย่างไรก็ตามถึงแม้จะเป็นการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญก็

ยังมีความผิดพลาดได้เนื่องจากข้อจำกัดของการทำงานโดยมนุษย์ ซึ่งก็คือความเหนื่อยล้า เนื่องจากการตรวจสอบต้องมองผ่านกล้องที่มีกำลังขยายตั้งแต่ 3 ถึง 10 เท่าเพื่อตรวจสอบตำหนิที่เกิดขึ้นในระดับไมครอน ความเบื่อหน่ายในการทำงานที่ซ้ำ ๆ อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากในการตรวจสอบรอยกาวบางประเภทที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตฐานรองฮาร์ดดิสก์นั้นจะสามารถตรวจพบได้ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ตเท่านั้นซึ่งนั่นเป็นข้อแตกต่างโดยสิ้นเชิงกับการทำงานโดยเครื่องจักรหรือคอมพิวเตอร์เพราะเครื่องจักรจะทำงานได้ดีและแม่นยำเมื่อทำงานที่ซ้ำรูปแบบเดิม ดังนั้นระบบการควบคุมคุณภาพแบบอัตโนมัติจึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากปัญหาในการควบคุมคุณภาพในภาคอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นจึงเป็นที่มาในการศึกษาและพัฒนาระบบการตรวจสอบความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการผลิตซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการผลิตและลดอันตรายที่จะเกิดขึ้นแก่มนุษย์ โดยจะได้กล่าวถึงส่วนประกอบที่สำคัญของฐานรองฮาร์ดดิสก์และทฤษฎีต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยในบทถัดไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และผลจากงานวิจัยนี้จะเอื้อประโยชน์ในเชิงวิชาการในแง่การสร้างองค์ความรู้เรื่องระบบทัศน์เครื่องจักร (Machine vision) ซึ่งต่อยอดจากความรู้พื้นฐานในตำราวิศวกรรม ในแง่การต่อยอดงานวิจัยนี้สู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์นั้น ผลสัมฤทธิ์ที่ได้จะมีคุณูปการต่ออุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์ซึ่งเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเร่งด่วนที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางในการผลิตฮาร์ดดิสก์เพื่อการส่งออกไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลก

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

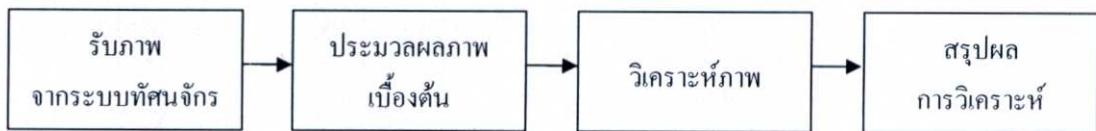
ระบบตรวจสอบคุณภาพจะสามารถตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติบนฐานรองฮาร์ดดิสก์และแยกชนิดความผิดปกติ เพื่อที่จะทราบต้นเหตุของความผิดปกตินั้น ทำให้สามารถตรวจสอบย้อนกลับไปทำการแก้ไขได้อย่างเหมาะสม การวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น (Local binary pattern) จะสามารถประมวลผลได้เร็วกว่าวิธีพื้นผิวหนึ่งหน่วย (Texture Unit) ซึ่งได้ถูกนำเสนอใน [3] โดยให้ผลการวิเคราะห์ได้ถูกต้องใกล้เคียงกัน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการประมวลภาพเบื้องต้นเพื่อเตรียมภาพให้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ในการประมวลผลภาพเบื้องต้นได้ใช้วิธีการปรับปรุงฮิสโทแกรม (Histogram equalization) ต่อมานำวิธีการวิเคราะห์ภาพด้วยวิธีกระสวนไบนารีที่ท้องถิ่น [3] มาประยุกต์ใช้ทำการตรวจสอบหาความผิดปกติบนฐานร่องฮาร์ดดิสและทำการวิเคราะห์แยกชนิดความผิดปกติ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ต่อยอดจากโครงการวิจัย Auto Inspection Machine, IQC auto inspection machine (VMI) (KMITL) [5] โดยนำภาพฐานร่องฮาร์ดดิสที่ได้จากระบบที่สนจักรในโครงการดังกล่าวมาทำการตรวจสอบความผิดปกติบนฐานร่องฮาร์ดดิสและทำการแยกชนิดความผิดปกติที่ตรวจสอบได้ด้วยวิธีกระสวนไบนารีที่ท้องถิ่นและพื้นผิวหนึ่งหน่วย และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงาน แผนผังขอบเขตการวิจัยแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนผังขอบเขตการวิจัย

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

- 1.6.1 ค้นคว้าเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 ศึกษาเอกสารและข้อมูลที่รวบรวมได้
- 1.6.3 ทดสอบวิธีคิด (Algorithm) และสร้างโปรแกรมประยุกต์
- 1.6.4 ทดสอบระบบที่ได้ออกแบบ
- 1.6.5 ปรับปรุงแก้ไขระบบเพื่อประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น
- 1.6.6 สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบระบบ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลอง

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

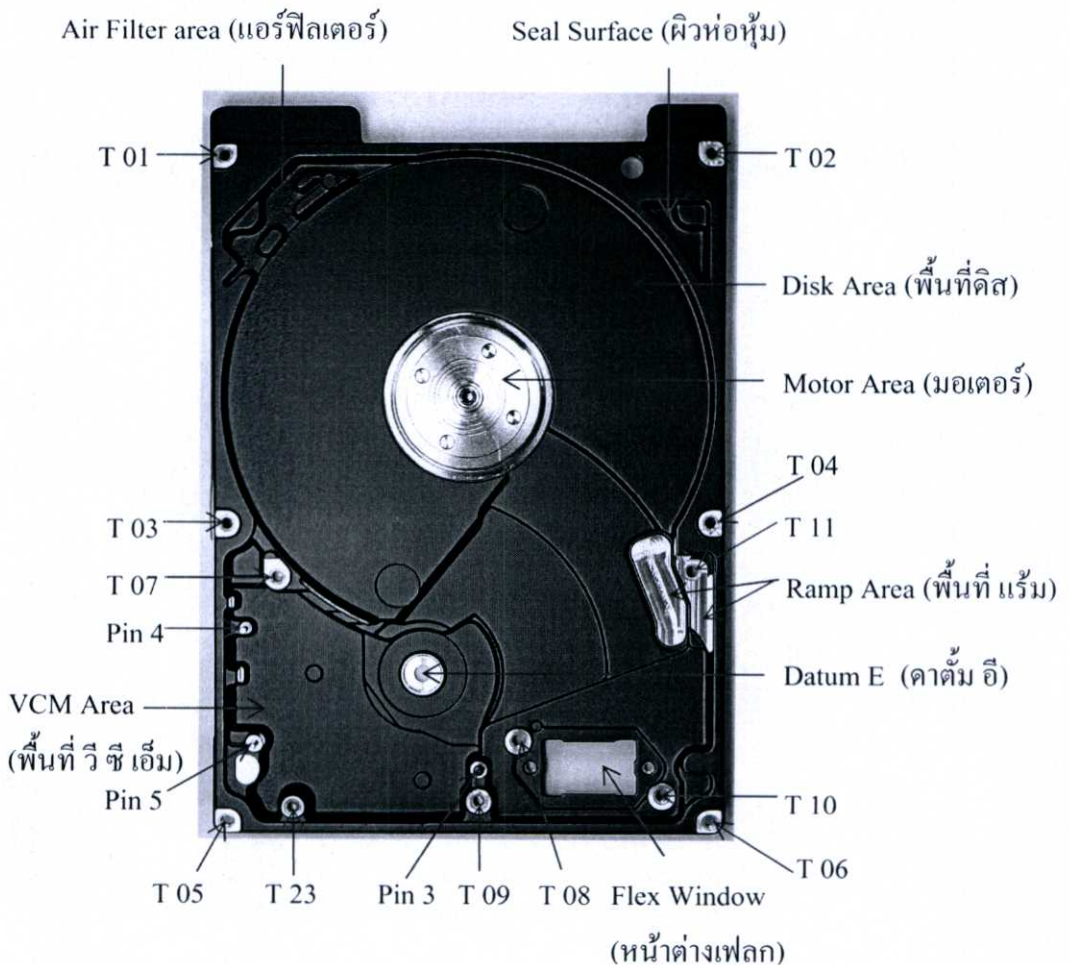
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย อันได้แก่ ส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิส และ การประมวลผลภาพซึ่งประกอบด้วย การประมวลผลเบื้องต้น และการตรวจสอบหาความผิดปกติด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น

2.1 ส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิส

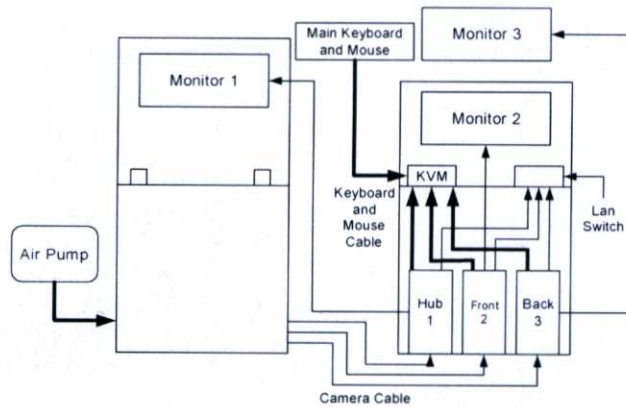
ส่วนประกอบของฐานรองฮาร์ดดิสที่สำคัญที่เราต้องพิจารณาให้มีความสมบูรณ์อย่างมากก็คือ ส่วนของฐานรอง ซึ่งเป็นส่วนที่รองรับจานแม่เหล็กบันทึกข้อมูล (แพลตเตอร์: platter) ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.1



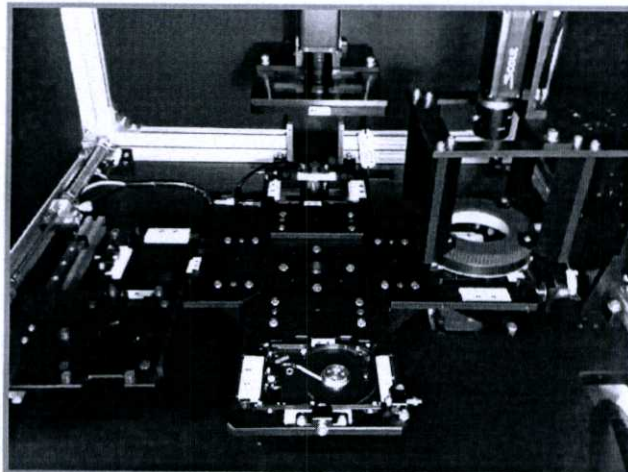
รูปที่ 2.1 พื้นที่มอเตอร์ของฮาร์ดดิสขนาด 2.5 นิ้ว [6]

2.2 ระบบทัศนจักร

ระบบทัศนจักรที่ใช้ในการตรวจสอบหาตำหนิบนฐานรองฮาร์ดดิสด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวของโลหะในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทางด้านทุนและข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจาก บริษัทนิเค็ค อิเลคทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด ภายใต้โครงการการวิจัย Auto Inspection Machine, IQC auto inspection machine (VMI) (KMITL) [7] ระบบดังกล่าวมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 และมีส่วนประกอบหลักที่ทำการถ่ายภาพของฐานรองฮาร์ดดิสดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครื่องจักรตรวจสอบความผิดปกติของฐานรองฮาร์ดดิส

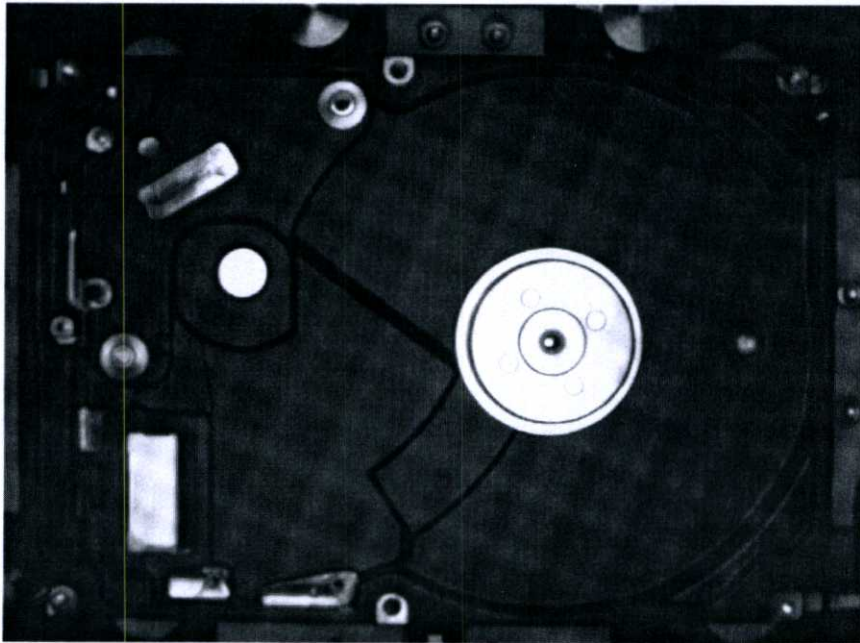


รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลัก 3 สถานีของเครื่องตรวจสอบความผิดปกติของฐานรองฮาร์ดดิส

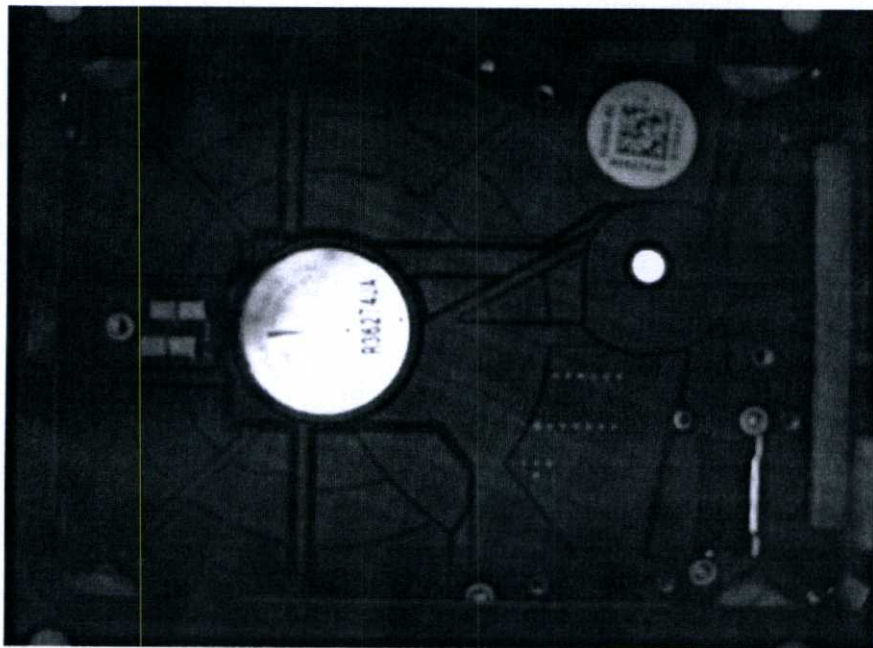
สถานีทั้ง 3 ในรูปที่ 2 นั้นประกอบไปด้วย

- สถานีที่ 1 ทำการจับภาพของ Hub
- สถานีที่ 2 ทำการจับภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิส และ
- สถานีที่ 3 ทำการจับภาพด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิส

เนื่องจากในสถานีที่ 1 ภาพของ Hub ในด้านบนจะมีบาลานซ์โฮล 4 จุดที่หมุนได้อิสระ การวิเคราะห์ภาพด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวจึงไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ในส่วนองสถานีที่ 2 และ 3 เท่านั้น โดยภาพที่ได้จากระบบทัศนจักรแสดงดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.4 ภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิส



รูปที่ 2.5 ภาพด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิส

2.3 การปรับปรุงฮิสโทแกรม (Histogram Equalization) [8]

การปรับปรุงฮิสโทแกรมนั้นทำให้ข้อมูลจากภาพมีความชัดเจนขึ้น โดยวิธีการปรับปรุงฮิสโทแกรมสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. หาค่าผลรวมของจำนวนในฮิสโทแกรม
2. กำหนดค่ามาตรฐานด้วยการหารค่าระดับสีเทาแต่ละค่าด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 1
3. นำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณด้วยค่าระดับสีเทาที่มากที่สุดในภาพเริ่มต้นและประมาณเป็นค่าจำนวนเต็มที่ใหญ่ที่สุด
4. แทนที่ค่าระดับสีเทาเริ่มต้นด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 โดยได้แสดงตัวอย่างการคำนวณการแปลงฮิสโทแกรมในรูปที่ 2.6

ภาพตัวอย่าง (ระดับสีเทาที่ 1-8)

5	2	7	4	6	3
2	1	2	4	2	6
2	3	8	2	3	2
6	5	4	5	2	1
5	7	8	1	8	6

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าผลรวม

ของจำนวนในฮิสโทแกรม

ค่าระดับสีเทา	จำนวนของจุด (ค่าของฮิสโทแกรม)	ผลรวมค่าฮิสโทแกรม
1	3	3
2	8	11
3	3	14
4	3	17
5	3	21
6	4	25
7	2	27
8	3	30

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดค่ามาตรฐานด้วยการหารค่าระดับสีเทาแต่ละค่าด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 1
 $3/30; 11/30; 14/30; 17/30; 21/30; 25/30; 27/30; 30/30$

ขั้นตอนที่ 3 : นำค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณด้วยค่าระดับสีเทาที่มากที่สุดในการเริ่มต้นและ
 ประมาณเป็นค่าจำนวนเต็มทีใกล้เคียงที่สุด

(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) \longrightarrow (1, 3, 4, 5, 6, 7, 7, 8)

ขั้นตอนที่ 4 : แทนที่ค่าระดับสีเทาเริ่มต้นด้วยค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

6	3	7	5	7	4
3	1	3	5	3	7
3	4	8	3	4	3
7	6	5	6	3	1
6	7	8	1	8	7

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการคำนวณฮิสโทแกรม

2.4 การตรวจสอบความผิดปกติบนพื้นผิวฮาร์ดดิส

2.4.1 กระสวนไบนารีท้องถิ่น (Local Binary Pattern) [3]

ภาพในรูปแบบดิจิทัลอนันต์แต่ละพิกเซลของภาพจะมีพิกเซลล้อมรอบ 8 พิกเซล พิจารณาองค์ประกอบย่อยโดยทำการตัดภาพออกเป็นหน้าต่างย่อย ๆ ขนาด 3×3 พิกเซลเพื่อทำการพิจารณาโดยแทนพิกเซลทั้ง 9 ด้วย $V = \{v_0, v_1, \dots, v_8\}$ โดยที่ v_0 แทนค่าความเข้มของพิกเซลกลางของหน้าต่างย่อยและ v_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) เป็นค่าความเข้มของพิกเซลที่ล้อมรอบ และแทนค่ากระสวนไบนารีท้องถิ่นด้วยเซตที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้ง 8 ด้วย $LBP = \{E_1, E_2, \dots, E_8\}$ เมื่อ E_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 8$) กำหนดโดยสมการ (2.1)

$$E_i = \begin{cases} 0 & \text{if } v_i + T < v_0 \\ 1 & \text{if } v_i + T \geq v_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

เมื่อ $i = (1, 2, \dots, 8)$ และ T คือค่าขีดแบ่งสำหรับการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงในพื้นที่ผิว (โดยใน [3] กำหนด $T = 0$) จากสมการค่าที่เป็นไปได้ของแต่ละองค์ประกอบ (E_i) มีเพียง 3 ค่าหรือ มีรูปแบบที่เป็นไปได้ของเมตริกซ์ย่อยทั้งหมดเป็น 2^8 หรือ 256 รูปแบบ

2.4.2 ลำดับของกระสวนไบนารีท้องถิ่น (Local Binary Pattern Number: N_{LBP})

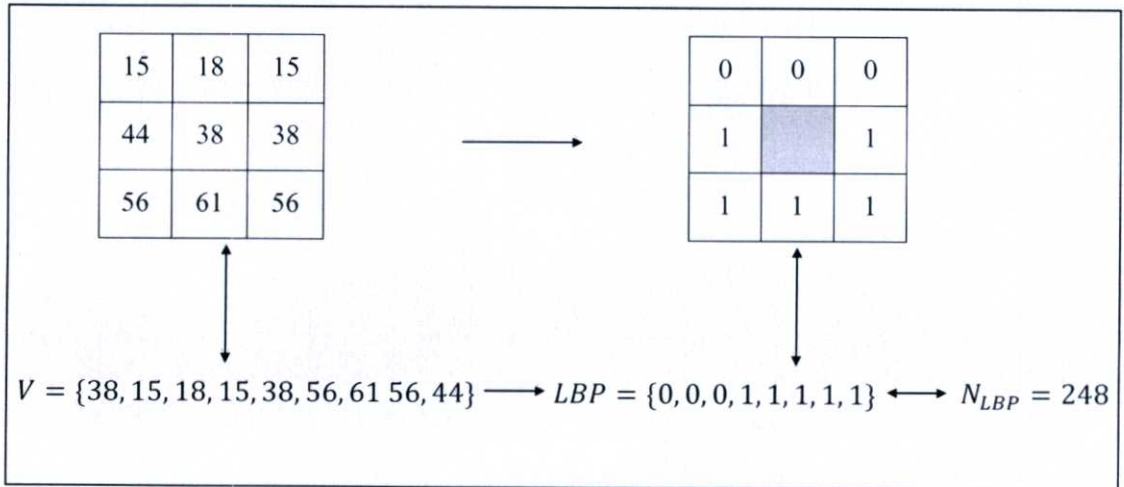
การกำหนดเลขลำดับหรือการสร้างเครื่องหมาย (label) ให้กับกระสวนไบนารีท้องถิ่นนั้นไม่ได้มีวิธีการเพียงวิธีเดียว โดยในงานวิจัยนี้เลือกรูปแบบของพื้นผิว 256 รูปแบบจากหัวข้อข้างต้นซึ่งการกำหนดลำดับให้กระสวนไบนารีท้องถิ่นจะกำหนดตามสมการที่ (2.2)

$$N_{LBP} = \sum_{i=1}^8 E_i \cdot 2^{i-1} \quad (2.2)$$

เมื่อ N_{LBP} แสดงค่าเฉพาะรูปแบบของกระสวนไบนารีท้องถิ่นและ E_i คือ องค์ประกอบที่ i^{th} ของเซตของกระสวนไบนารีท้องถิ่น $LBP = \{E_1, E_2, \dots, E_8\}$ ด้วยเหตุนี้องค์ประกอบทั้ง 8 จะมีลำดับทวิคูณที่แตกต่างกันโดยกำหนด $i = 1$ ที่มุมบนซ้ายของกระสวนไบนารีท้องถิ่นและเปลี่ยนแปลงค่า i ตามเข็มนาฬิกาแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างของการแปลงกระสวนไบนารีท้องถิ่นและลำดับของกระสวนไบนารีท้องถิ่น

2^0	2^1	2^2
2^7		2^3
2^6	2^5	2^4

รูปที่ 2.7 คำนวณน้ำหนักสำหรับการแปลงกระสวนไบนารีท้องถิ่น



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการแปลงกระสวนไบนารีท้องถิ่นและค่าลำดับของรูปแบบที่ได้

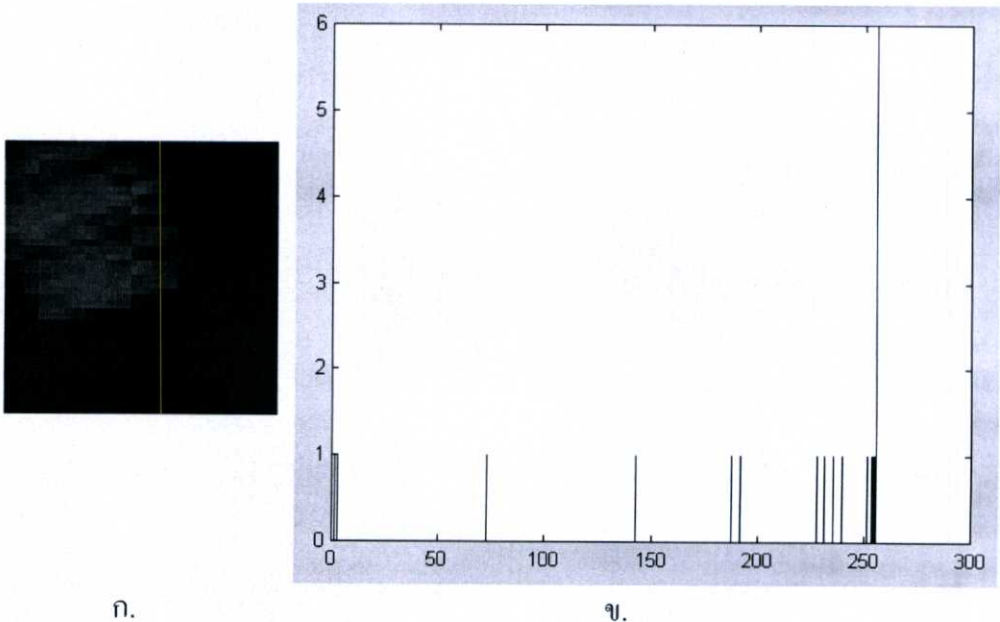
2.4.3 สเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่น (Local Binary Pattern Spectrum)

จากหัวข้อที่ 2.4.2 ได้กำหนดสมาชิกของเซตของกระสวนไบนารีท้องถิ่นจำนวน 256 รูปแบบซึ่งอธิบายถึงลักษณะพื้นผิวเฉพาะส่วนที่ได้จากค่าพิกเซลแต่ละพิกเซล นั่นก็คือความสัมพันธ์ระหว่างพิกเซลกลางกับพิกเซลรอบข้าง ดังนั้นค่าสถิติของความถี่ของการเกิดขึ้นในทุก ๆ พื้นผิวหน้าต่างย่อไปจนถึงพื้นที่ขนาดใหญ่ของภาพจะแสดงถึงรายละเอียดของพื้นผิว โดยสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่นแสดงความถี่ของการกระจายของกระสวนไบนารีท้องถิ่น

โดยปรกติภาพพื้นผิวจะประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วนคือ องค์ประกอบของพื้นผิวและองค์ประกอบของสิ่งรบกวน (noise) หรือพื้นหลัง เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบพื้นผิวกับพื้นหลังมีสัดส่วนที่สูงกว่าจะทำให้ผลที่ได้คือการแบ่งแยกโดยสายตามนุษย์ ในสเปกตรัมของพื้นผิวนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณองค์ประกอบพื้นผิวของภาพจะมีผลต่อแนวโน้มของรูปแบบการกระจายโดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระจายของค่าสูงสุด (peaks) ยิ่งไปกว่านั้นพื้นผิวที่แตกต่างกันจะประกอบด้วยกระสวนไบนารีที่เฉพาะเจาะจงที่มีการกระจายที่แตกต่างกันในสเปกตรัมของพื้นผิวนั้น ๆ จากเหตุผลข้างต้นพื้นผิวของภาพจึงสามารถแยกแยะได้ด้วยสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่น บ่อยครั้งเราอาจกล่าวได้ว่าพื้นผิวเฉพาะส่วนสำหรับจุดที่อ้างถึง และจุดรอบข้างจะแสดงคุณสมบัติซึ่งสอดคล้องกับกระสวนไบนารีท้องถิ่น แม้ว่าลักษณะเฉพาะของพื้นผิวสำหรับภาพ

พื้นผิวที่เหมือนกันแสดงโดยการคำนวณสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่นนั้น ๆ ด้วยขนาดของหน้าต่างที่เหมาะสม โดยที่ขนาดของหน้าต่างที่ใช้จะขึ้นกับลักษณะพื้นฐานของภาพพื้นผิว

รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของสเปกตรัมของภาพพื้นผิวตัวอย่างที่มีรอยขีดข่วนโดยรูป ก. คือตัวอย่างของพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน และ ข. คือสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่นที่ได้จากรูป ก. ซึ่งจะพบว่าสเปกตรัมของพื้นผิวมีการกระจายตัวสูงในบริเวณฝั่งซ้ายของค่าสเปกตรัมมาตรฐาน ทำให้ทราบว่าภาพส่วนย่อยนี้มีสิ่งแปลกปลอมเกิดขึ้น เนื่องจากหากภาพย่อยมีพื้นผิวที่เรียบเสมอกันสเปกตรัมจะไม่เกิดการกระจายตัว



รูปที่ 2.9 ภาพพื้นผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของภาพพื้นผิว (ก. ส่วนของฐานรอกฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยขีดข่วนขนาด 40x40 พิกเซล และ ข. สเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่นของรูป ก.)

จากรูปที่ 2.9 สามารถอธิบายการกระจายตัวของสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่นจากค่าลำดับของกระสวนไบนารีท้องถิ่นอย่างง่ายได้ดังนี้ ค่าลำดับของกระสวนไบนารีท้องถิ่นที่เป็นเอกพันธ์นั้นเกิดเมื่อนำค่าของหน้าต่างย่อยนั้นมีความต่อเนื่องกันของพื้นผิว กล่าวคือความเข้มแสงของพิกเซลรอบข้างกับพิกเซลกลางของกระสวนไบนารีท้องถิ่นนั้นมีความแตกต่างกันไม่เกินค่าขีดแบ่ง T ค่าลำดับของกระสวนไบนารีท้องถิ่นที่มีค่ามากกว่าค่าเอกพันธ์นั้นเกิดเมื่อกความเข้มแสงพิกเซลรอบข้างใด ๆ ตั้งแต่หนึ่งพิกเซลมีความแตกต่างกับพิกเซลกลาง และค่าลำดับของกระสวนไบนารีท้องถิ่นที่มีค่าน้อยกว่าค่าเอกพันธ์จะเกิดเมื่อกความเข้มแสงของพิกเซลรอบข้างใด ๆ มีความแตกต่างกับพิกเซลกลางน้อยกว่าค่าขีดแบ่ง T ดังแสดงในรูปที่ 2.10

15	15	15
15	20	16
15	16	17

→

0	0	0
0		0
0	0	0

$$V = \{20, 15, 15, 15, 16, 17, 16, 15, 15\}$$

$$LBP = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$N_{LBP} = 0$$

ก.

50	30	33
41	21	35
28	25	40

→

1	1	1
1		1
1	1	1

$$V = \{21, 50, 30, 33, 35, 40, 25, 28, 41\}$$

$$LBP = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

$$N_{LBP} = 255$$

ข.

19	18	19
8	15	17
19	16	19

→

1	1	1
0		1
1	1	1

$$V = \{15, 19, 18, 19, 17, 19, 16, 19, 8\}$$

$$LBP = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0\}$$

$$N_{LBP} = 127$$

ค.

11	13	12
20	20	20
20	20	20

→

0	0	0
1		1
1	1	1

$$V = \{20, 11, 13, 12, 20, 20, 20, 20, 20\}$$

$$LBP = \{0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

$$N_{LBP} = 248$$

ง.

21	21	23
25	21	21
15	15	15

→

1	1	1
1		1
0	0	0

$$V = \{21, 21, 21, 23, 21, 15, 15, 15, 25\}$$

$$LBP = \{1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0\}$$

$$N_{LBP} = 143$$

จ.

รูปที่ 2.10 ลักษณะการเกิดสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่น (ค่า $T = 1$) (ก. ภาพพื้นผิวเกิดจุดสว่างบริเวณกลาง ข. ภาพพื้นผิวมีความเรียบเสมอกัน ค. ภาพพื้นผิวเกิดจุดดำซ้ายกลาง ง. ภาพพื้นผิวเกิดดำหนิมืดบริเวณขอบบน จ. ภาพพื้นผิวเกิดดำหนิมืดบริเวณขอบล่าง)

ในบทถัดไปจะได้กล่าวถึงกระบวนการออกแบบระบบตรวจสอบความผิดปกติโดยอ้างอิงตามเงื่อนไขการตรวจสอบของผู้ผลิต ซึ่งได้นำเอาทฤษฎีต่าง ๆ ที่ได้กล่าวในบทที่ 2 นี้ไปใช้งานเพื่อค้นหา และตรวจสอบความผิดปกติอันอาจจะเกิดขึ้นได้ในกระบวนการผลิตฐานรองฮาร์ดดิสซึ่งมีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้แสดงในรูปที่ 2.1

บทที่ 3

การออกแบบระบบ

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการออกแบบระบบจากทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยเริ่มจากเกณฑ์ในการออกแบบระบบ จากนั้นกล่าวถึงโครงสร้างการทำงานของระบบซึ่งประกอบไปด้วยการประมวลผลภาพเบื้องต้น การวิเคราะห์ภาพพื้นผิวด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่นและวิธีพื้นผิวหนึ่งหน่วยเพื่อตรวจสอบหาความผิดปกติบนพื้นผิวฮาร์ดดิส

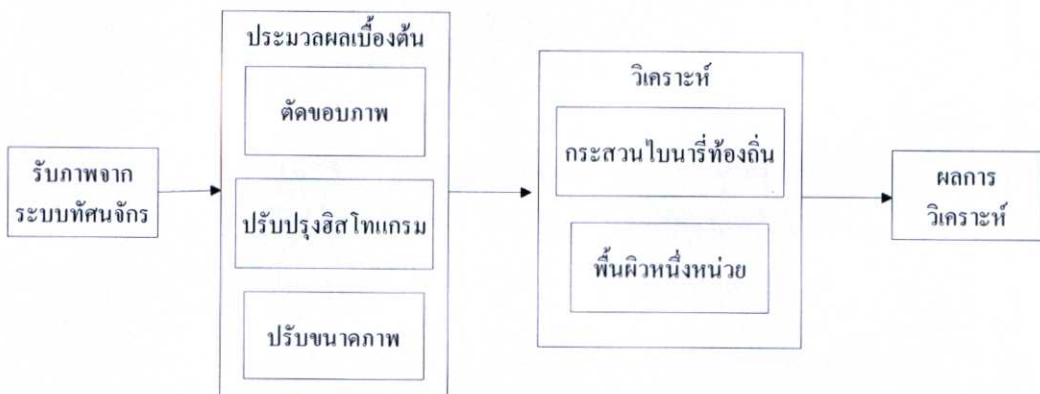
3.1 เกณฑ์ในการออกแบบระบบ

ระบบที่ออกแบบนี้มีเกณฑ์ในการออกแบบดังนี้

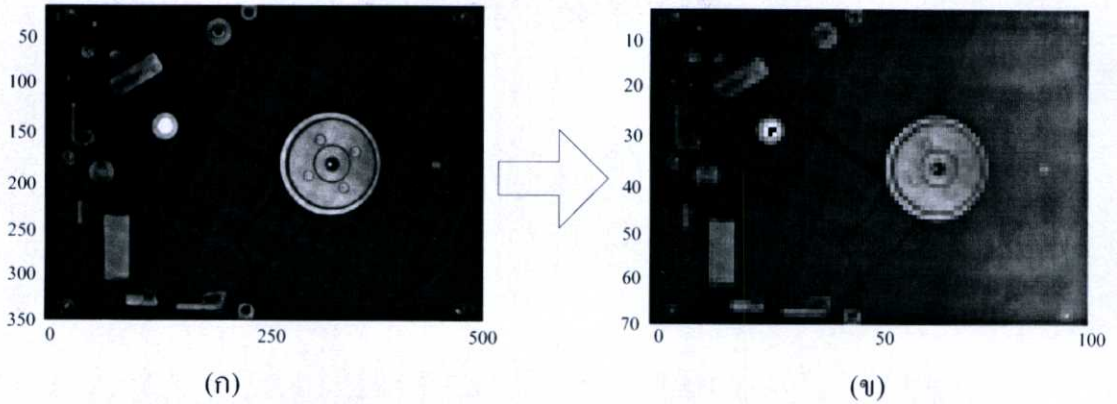
- 1) จำกัดพื้นที่ในการตรวจสอบเฉพาะพื้นที่ดิส (Disk area) เท่านั้น
- 2) เนื่องจากความผิดปกติในพื้นที่ดิสที่มีขนาดไม่ถึง 1 มิลลิเมตรจะไม่สนใจ ดังนั้นความผิดปกติที่ตรวจสอบได้จะมีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตรขึ้นไป

3.2 โครงสร้างการทำงานของระบบ

โครงสร้างการทำงานของระบบดังรูปที่ 3.1 เริ่มต้นการทำงานจากการนำภาพพื้นผิวฮาร์ดดิสมาทำการประมวลผลเบื้องต้น (Preprocessing) ซึ่งประกอบไปด้วยการตัดขอบภาพ การปรับปรุงฮิสโทแกรม และการปรับขนาดภาพ จากนั้นทำการวิเคราะห์ (Analysis) ภาพเพื่อตรวจสอบหาความผิดปกติด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่นและวิธีพื้นผิวหนึ่งหน่วย จากนั้นทำการแยกชนิดความผิดปกติ (Classification) ด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญได้เป็นผลการวิเคราะห์



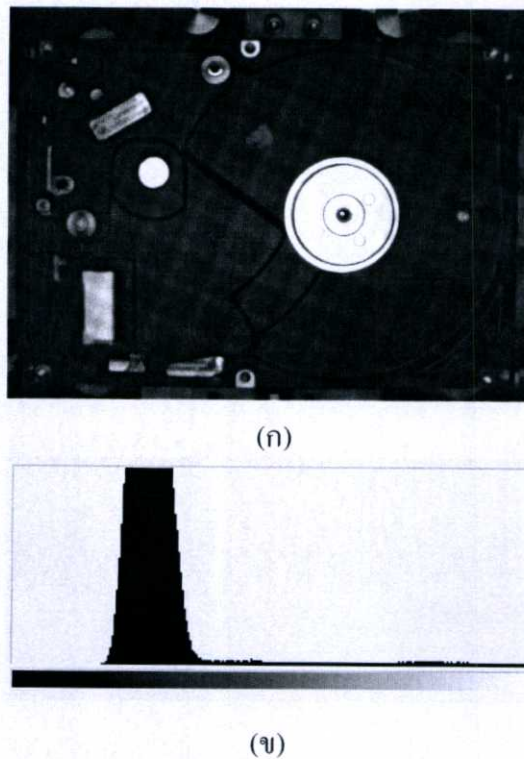
รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ



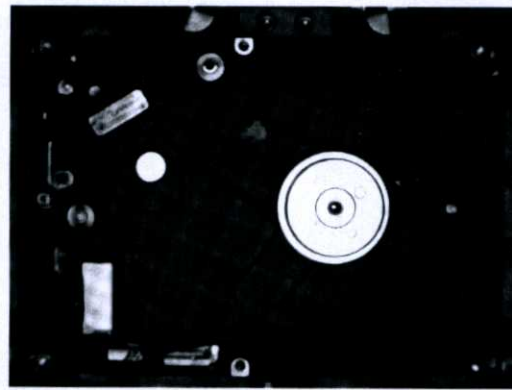
รูปที่ 3.3 การปรับขนาดก่อนการประมวลผล
(ก. ภาพต้นแบบ ข. ภาพที่ถูกปรับขนาด 1 พิกเซลต่อ 1 มิลลิเมตร)

3.3.2 การปรับปรุงฮิสโทแกรม

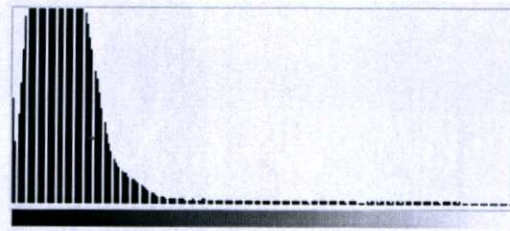
เพื่อให้การคำนวณในขั้นต่อไปสามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้ง่ายและมีมาตรฐานเดียวกัน อีกทั้งทำให้เห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงต้องทำการกำหนดมาตรฐานของจุดสีของภาพทุกภาพให้มีมาตรฐานเดียวกัน โดยเลือกใช้การปรับปรุงฮิสโทแกรมดังได้นำเสนอวิธีการไว้ในหัวข้อที่ 2.3 ภาพก่อนและหลังทำการปรับปรุงฮิสโทแกรมแสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 ก่อนทำการปรับปรุงฮิสโทแกรม (ก. ฮาร์ดดิส ข. ฮิสโทแกรมของภาพ ก.)



(ก)



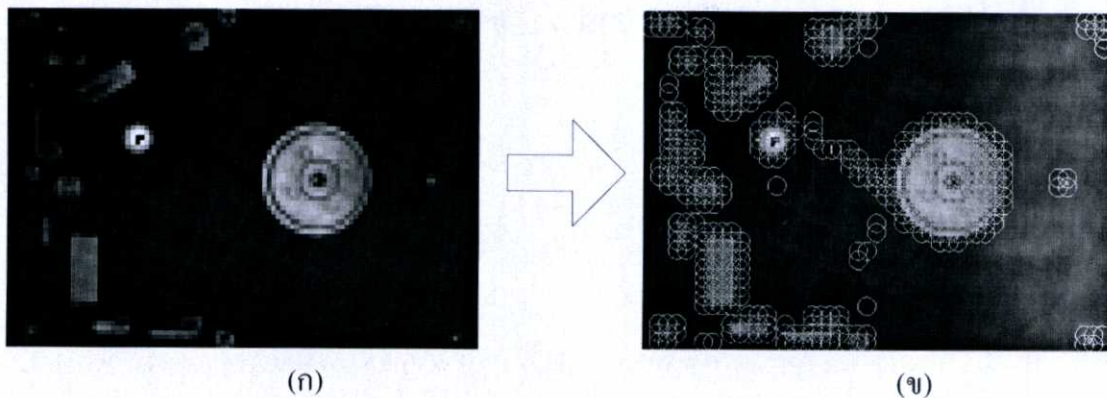
(ข)

รูปที่ 3.5 หลังทำการปรับปรุงฮิสโทแกรม (ก. ฮาร์ดดิส ข. ฮิสโทแกรมของภาพ ข.)

3.4 การวิเคราะห์ค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิ

ในระบบทัศนจักรสำหรับอุตสาหกรรมความเร็วในการตรวจสอบความผิดพลาดจากการผลิตถือเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความเร็วการพิจารณาเพื่อค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิเกิดขึ้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งหากตรวจสอบไม่พบตำแหน่งของตำหนิบนภาพก็จะทำให้ไม่เสียเวลาในการประมวลผลในส่วนถัดไป จากการทดสอบในงานวิจัย [5] ได้นำวิธีพื้นผิวหนึ่งหน่วยมาทำการวิเคราะห์หาความผิดปกติและพบว่าสามารถทำได้รวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบภาพพื้นผิว

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิด้วยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ง่ายในการประยุกต์ใช้งานและมีความรวดเร็วในการค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิ ซึ่งได้นำเสนอในหัวข้อที่ 2.4 หากระบบตรวจพบตำหนิก็จะทำการแจ้งเตือนว่าพื้นผิวฮาร์ดดิสที่พิจารณาอยู่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ โดยการตรวจสอบกระทำโดยการสร้างภาพอ้างอิงจากภาพฐานรองฮาร์ดดิสที่สมบูรณ์ดังรูปที่ 3.6 จากนั้นทำการวิเคราะห์ภาพที่ต้องการทดสอบด้วยวิธีการเดียวกัน และนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาจุดที่เกินจากภาพอ้างอิงซึ่งคือตำแหน่งของความผิดปกติที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวฮาร์ดดิส



รูปที่ 3.6 การสร้างภาพอ้างอิง (ก. ภาพต้นแบบ ข. ภาพอ้างอิงที่สร้างขึ้น)

ในบทถัดไปจะกล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองที่ทำการทดสอบระบบที่ได้ออกแบบมาข้างต้น เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่นและวิธีพื้นผิวหนึ่งหน่วย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

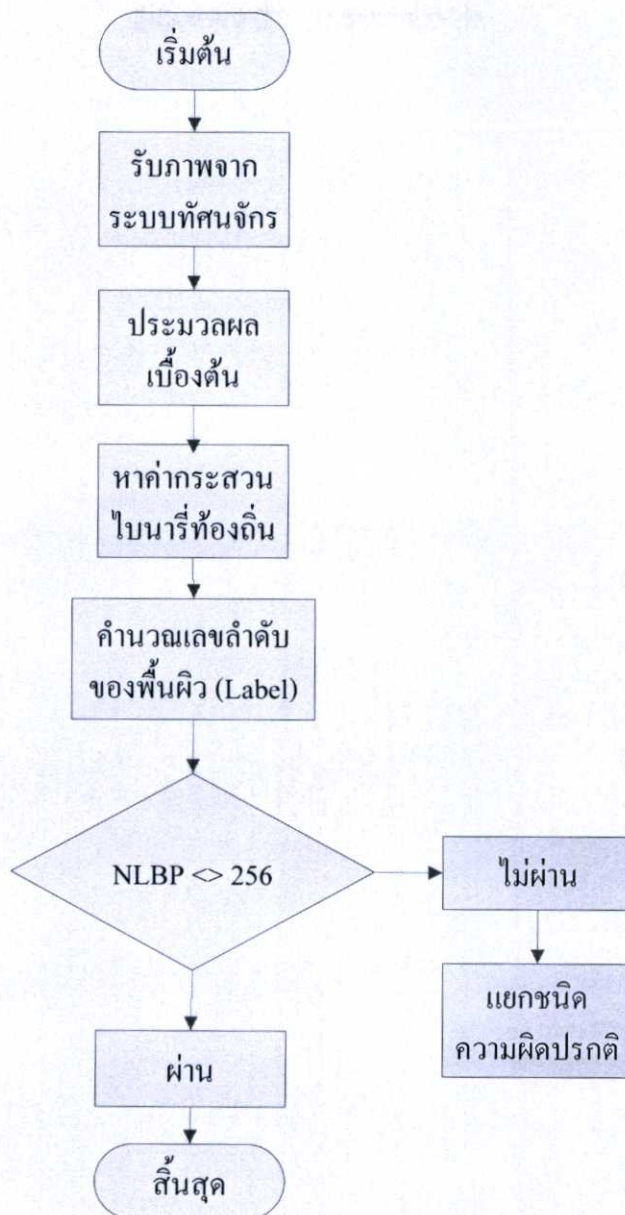
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองโดยวิธีการที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 โดยได้แบ่งผลการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ

1. การหาตำแหน่งที่ผิดปกติโดยวิธีการพิจารณาสเปกตรัมของพื้นผิว
2. การพิจารณารูปแบบของข้อบกพร่องโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.1 การหาตำแหน่งที่ผิดปกติโดยวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่นและพื้นผิวหนึ่งหน่วย

ในการค้นหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยวิธีการหาสเปกตรัมของพื้นผิวนั้นจะทำการพิจารณาจากคุณสมบัติของสเปกตรัมที่คำนวณได้จากกระสวนไบนารีท้องถิ่น ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ทราบว่าภาพที่พิจารณานั้นมีตำหนิหรือไม่ ซึ่งวิธีการคำนวณของวิธีกระสวนไบนารีท้องถิ่น

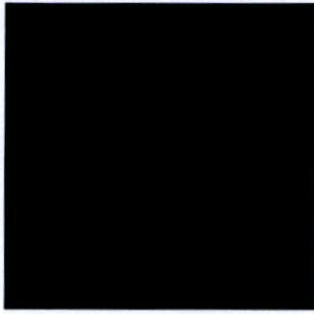
ขั้นตอนเริ่มต้นจากการนำภาพที่ได้จากระบบทัศนจักรมาทำการประมวลผลเบื้องต้นเช่น การตัดขอบภาพ การปรับขนาดภาพ การปรับปรุงฮิสโทแกรม จากนั้นจะทำการแบ่งภาพออกเป็นหน้าต่างย่อย โดยมีขนาดหน้าต่าง 3×3 เป็น 9 พิกเซล และทำการคำนวณเลขลำดับของพื้นผิวโดยสมการที่ (2.2) หากลำดับของพื้นผิวขนาดหนึ่งหน่วยที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 256 สำหรับกระสวนไบนารีท้องถิ่น ซึ่งเป็นลำดับของพื้นผิวที่เรียบเสมอกันแล้วก็จะนำไปทำการพิจารณารูปแบบของตำหนิในลำดับถัดไป ดังแสดงขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งที่บกพร่องโดยสเปกตรัมของพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วย

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างภาพพื้นที่ผิวและการคำนวณลำดับของพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยจากภาพตัวอย่างซึ่งไม่มีรอยตำหนิ รูปที่ 4.3 ถึง 4.5 แสดงตัวอย่างของภาพพื้นที่ผิวและการคำนวณลำดับของพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยจากภาพตัวอย่างที่มีรอยขีดข่วน รอยขาว และรอยปนเปื้อน ตามลำดับ

รูปที่ 4.6 ถึง 4.9 แสดงตัวอย่างภาพพื้นที่ผิวและสเปกตรัมของพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากภาพพื้นที่ผิวตัวอย่างโดยรูปที่ 4.6 เป็นภาพพื้นที่ผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากภาพซึ่งไม่มีรอยตำหนิ รูปที่ 4.7 ถึง 4.9 เป็นภาพพื้นที่ผิวตัวอย่างและสเปกตรัมของพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยที่ได้จากภาพที่มีรอยขีดข่วน รอยขาว และรอยปนเปื้อน ตามลำดับ



21	21	21	21	21	22	21	21
21	21	21	21	21	21	21	22
21	21	21	22	21	21	21	23
21	21	22	22	21	21	21	23
22	22	22	22	22	22	23	24
22	23	23	23	23	23	24	24
23	23	23	24	24	24	24	25
23	24	24	25	25	26	25	26

22	21	21
22	21	21
22	22	22



1	1	1
1		1
1	1	1

$V = \{21, 22, 21, 21, 21, 21, 22, 22, 22, 22\}$

$LBP = \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$

$N_{LBP} = 255$

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่ไม่มีคำหนี



159	163	140	112	54	50	50	50
190	221	240	206	12	50	54	54
256	244	213	159	12	54	54	54
175	221	229	209	14	78	58	58
128	229	248	194	12	66	62	62
78	120	85	70	70	66	66	66
62	62	62	66	66	66	66	66
62	62	62	62	66	66	66	66

194	128	66
70	70	66
66	66	66



1	1	0
1		0
0	0	0

$V = \{70, 194, 128, 66, 66, 66, 66, 66, 70\}$

$LBP = \{1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1\}$

$N_{LBP} = 131$

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยขีดข่วน



235	214	214	235	245	245	245	224
255	245	245	255	255	245	235	235
245	224	214	214	204	184	163	204
214	194	165	173	163	173	204	245
204	194	168	170	214	224	224	224
194	204	204	204	204	214	204	204
184	194	194	194	194	194	194	194
184	194	194	194	194	194	194	184

214	214	204
165	173	163
168	170	214



1	1	1
0		0
0	0	1

$V = \{173, 214, 214, 204, 163, 214, 194, 184, 173\}$ $LBP = \{1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0\}$
 $N_{LBP} = 23$

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยขาว



200	208	200	176	224	232	240	256
200	192	160	168	232	240	240	248
208	192	184	208	208	184	208	248
200	200	184	184	216	232	240	248
184	200	216	232	232	240	248	256
200	184	176	200	232	248	248	240
208	208	192	224	232	248	256	256
216	200	208	200	224	248	248	232

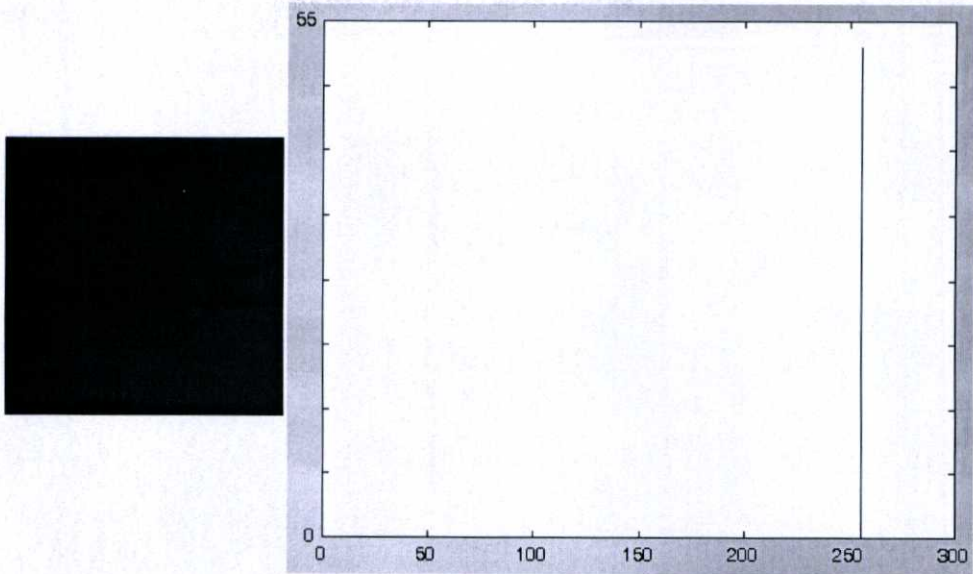
184	176	200
208	192	224
200	208	200



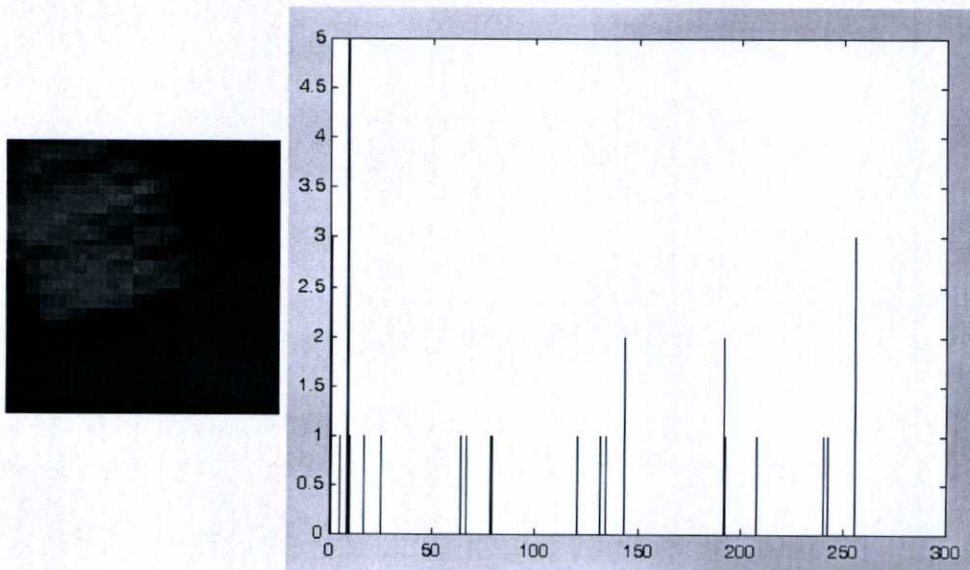
0	0	1
1		1
1	1	1

$V = \{192, 184, 176, 200, 224, 200, 208, 200, 208\}$ $LBP = \{0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$
 $N_{LBP} = 252$

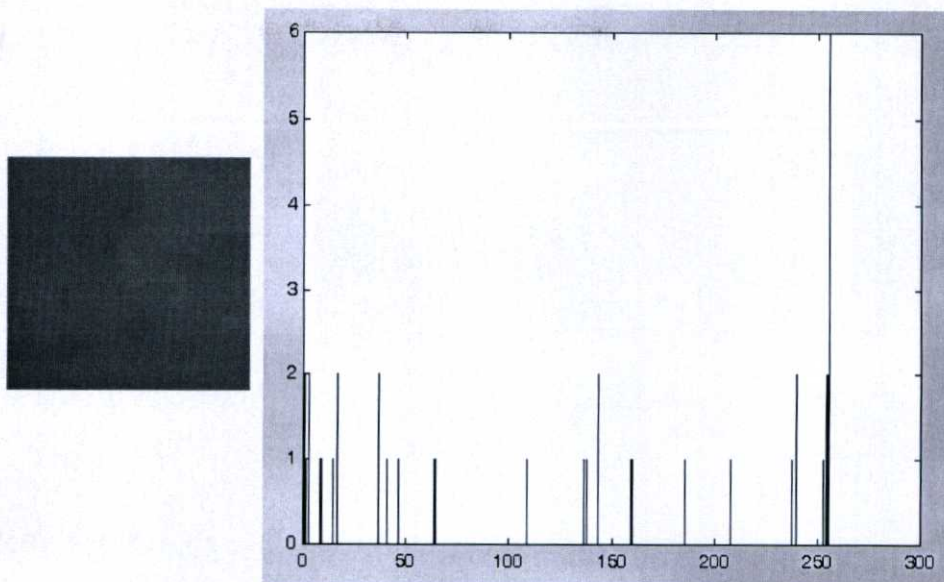
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการคำนวณลำดับของพื้นผิวหนึ่งหน่วยของภาพที่มีรอยปนเนียน



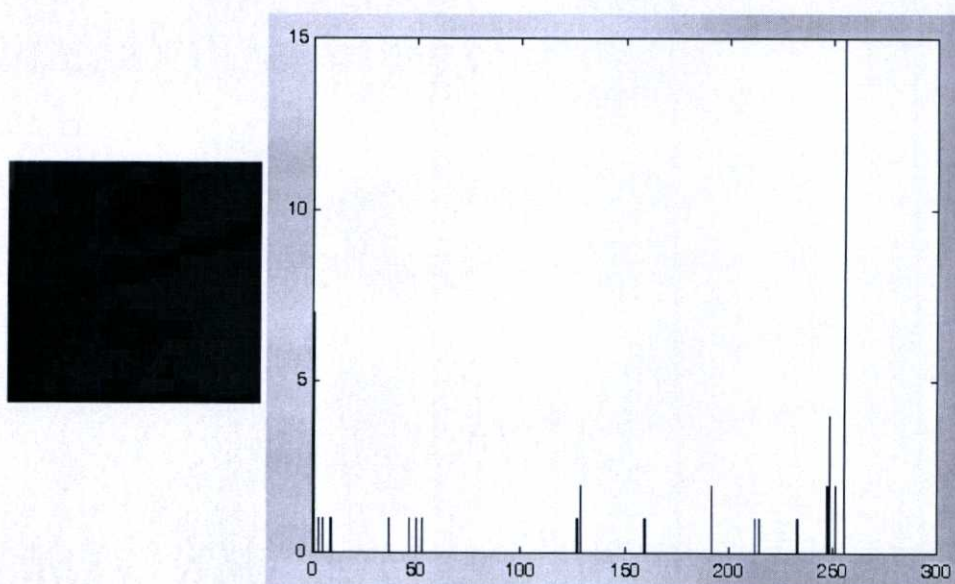
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่ไม่มีตำหนิ
(ซ้าย ส่วนของฐานรอนฮาร์ดดิสที่ไม่มีตำหนิขนาด 40*40 พิกเซล และ
ขวา สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างของภาพพื้นผิว และสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยขีดข่วน
(ซ้าย ส่วนของฐานรอนฮาร์ดดิสที่มีรอยขีดข่วนขนาด 40*40 พิกเซล และ
ขวา สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)

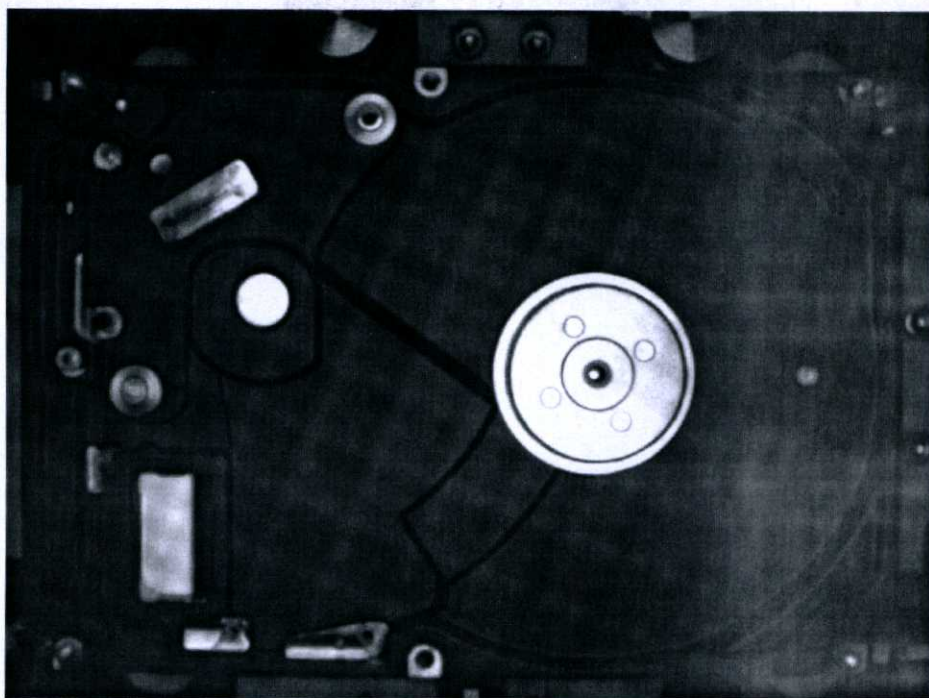


รูปที่ 4.8 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยขาว
(ซ้าย ส่วนของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยไขมันขนาด 40*40 พิกเซล และ
ขวา สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)

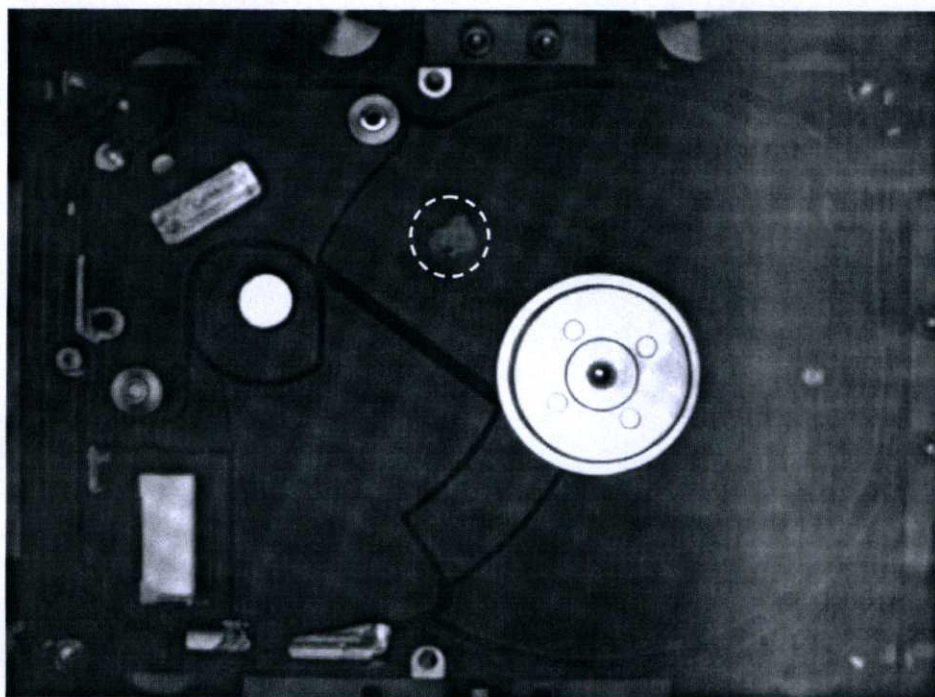


รูปที่ 4.9 ตัวอย่างภาพพื้นผิวและสเปกตรัมของพื้นผิวที่มีรอยปนเปื้อน
(ซ้าย ส่วนของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ไม่มีตำหนิขนาด 40*40 พิกเซล และ
ขวา สเปกตรัมของพื้นที่หนึ่งหน่วยของรูปซ้าย)

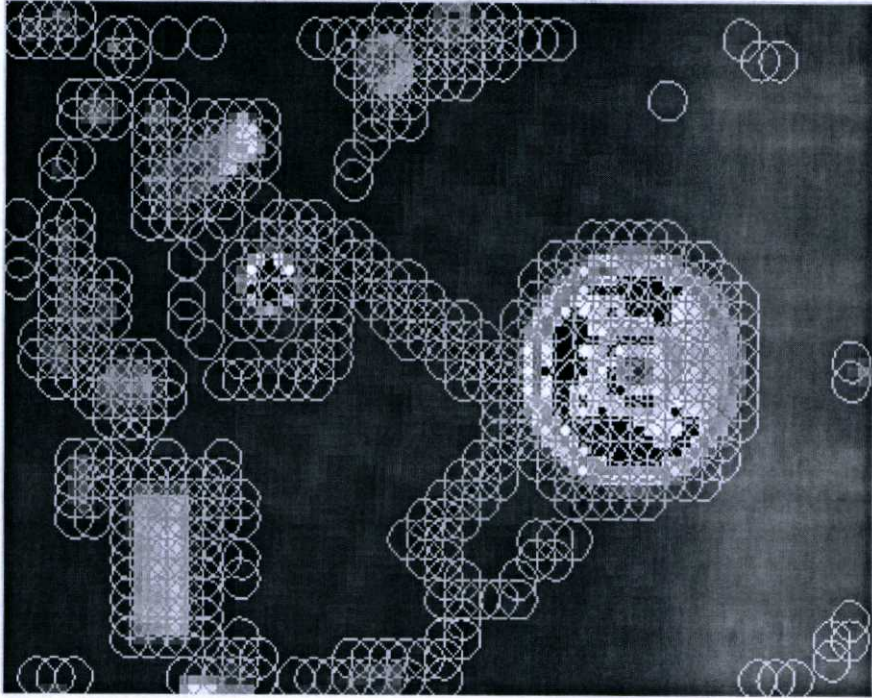
เมื่อทำการวิเคราะห์พื้นผิวด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการอ้างอิงและภาพที่มีรอยความผิดปกติดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบภาพอ้างอิงที่แสดงในรูปที่ 4.12 กับภาพที่มีรอยความผิดปกติที่ทำการวิเคราะห์แล้วดังรูปที่ 4.13 โดยหากพบจุดนอกเหนือจากภาพอ้างอิงให้แสดงผล ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 4.12



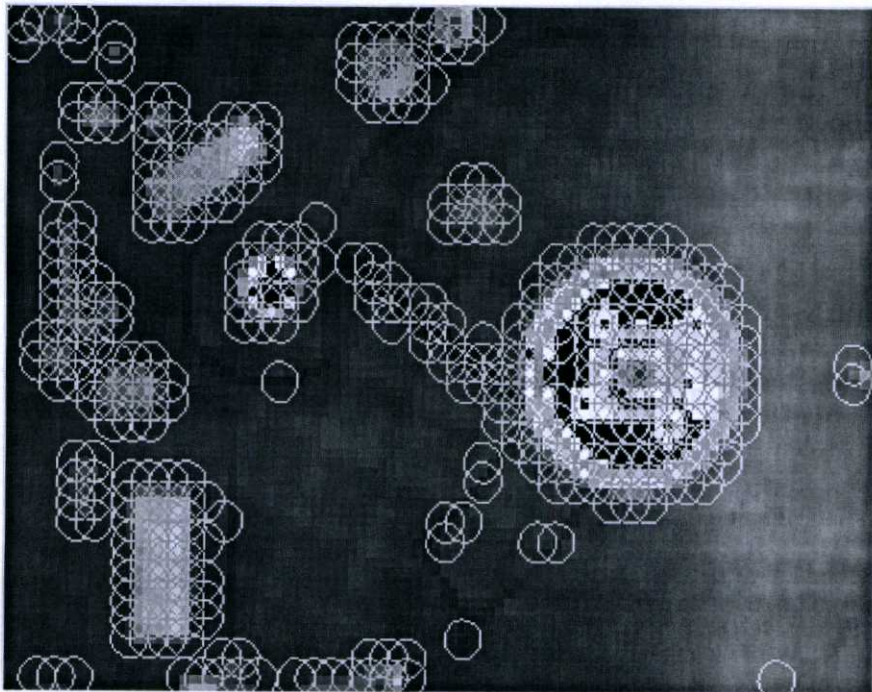
รูปที่ 4.10 ด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์ปราศจากตำหนิ



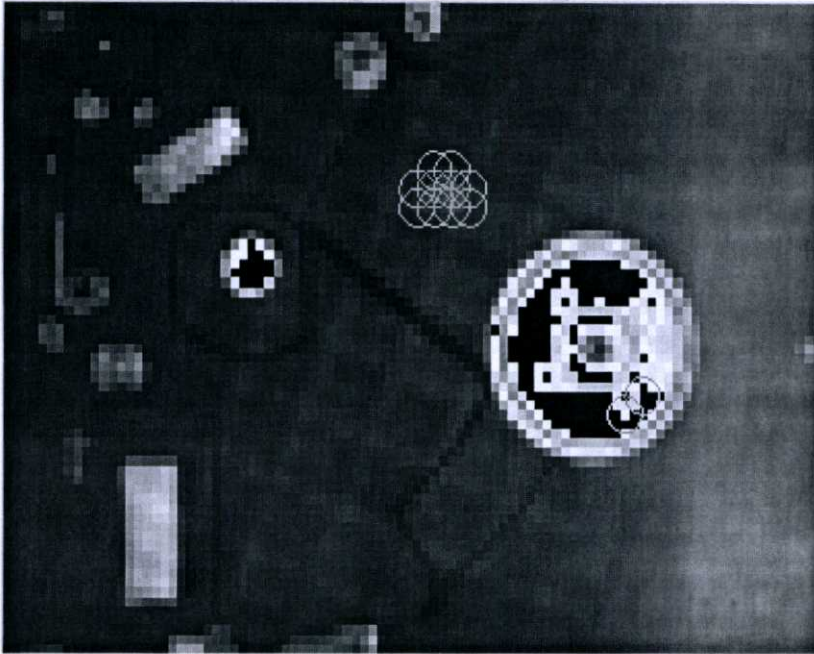
รูปที่ 4.11 ด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยปนเปื้อน



รูปที่ 4.12 ต้นแบบที่ถูกสร้างเป็นภาพอ้างอิง

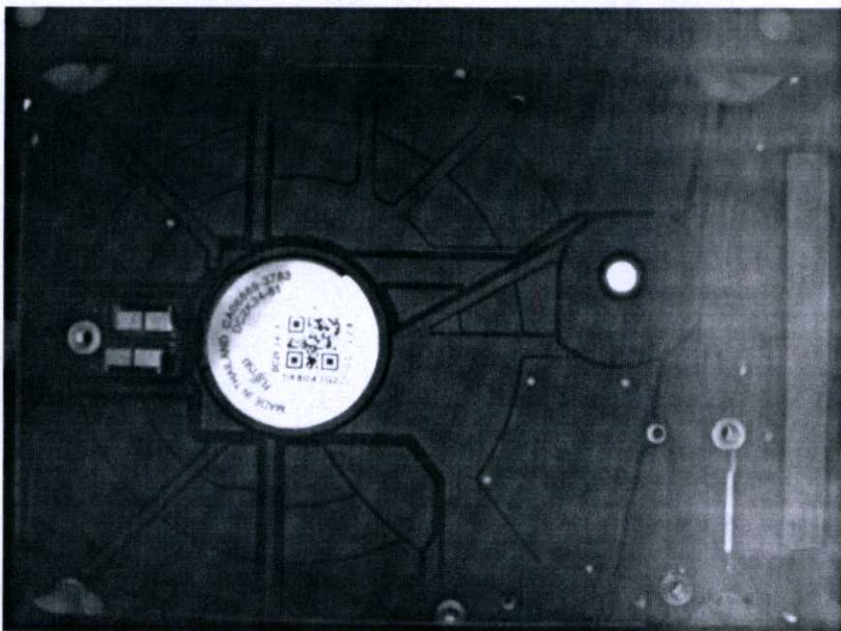


รูปที่ 4.13 ตัวอย่างทดสอบที่มีรอยปนเปื้อนถูกนำมาวิเคราะห์

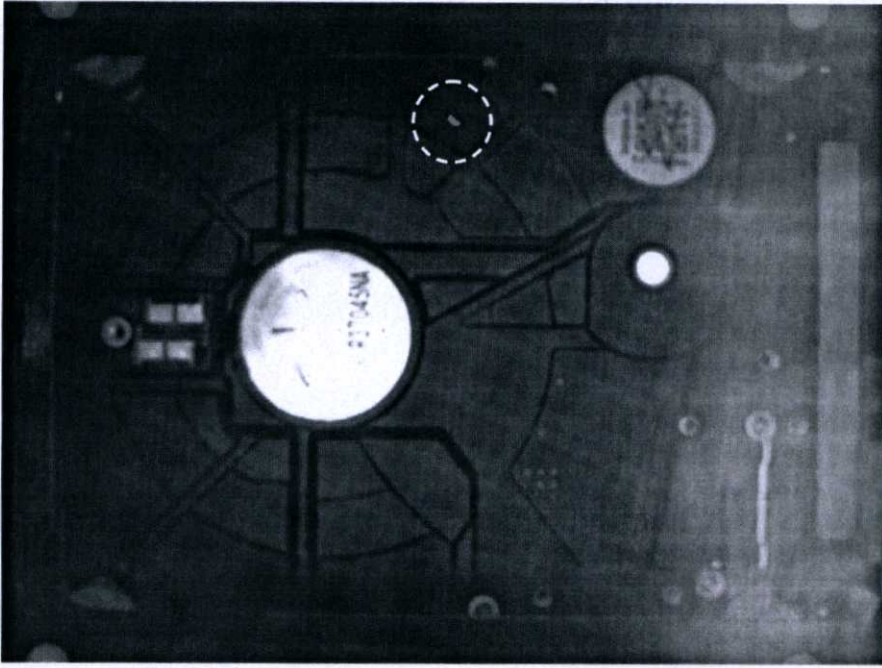


รูปที่ 4.14 ผลจากการวิเคราะห์ภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิส

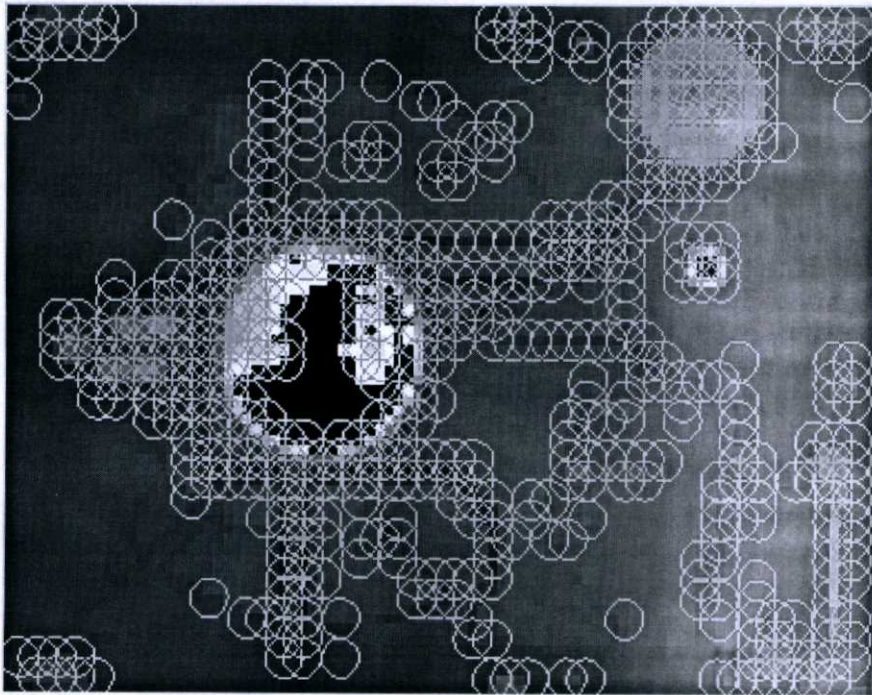
และทำการทดสอบด้วยกระบวนการเดียวกันกับภาพฐานรองฮาร์ดดิสด้านหลังได้ผลรูปที่ 4.13 ถึง 4.17



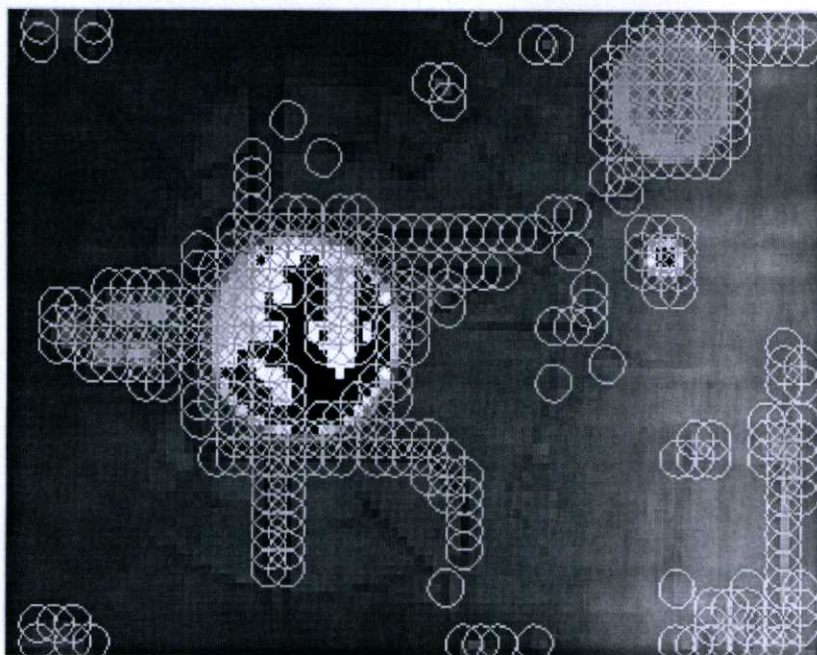
รูปที่ 4.15 ด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิสปราศจากตำหนิ



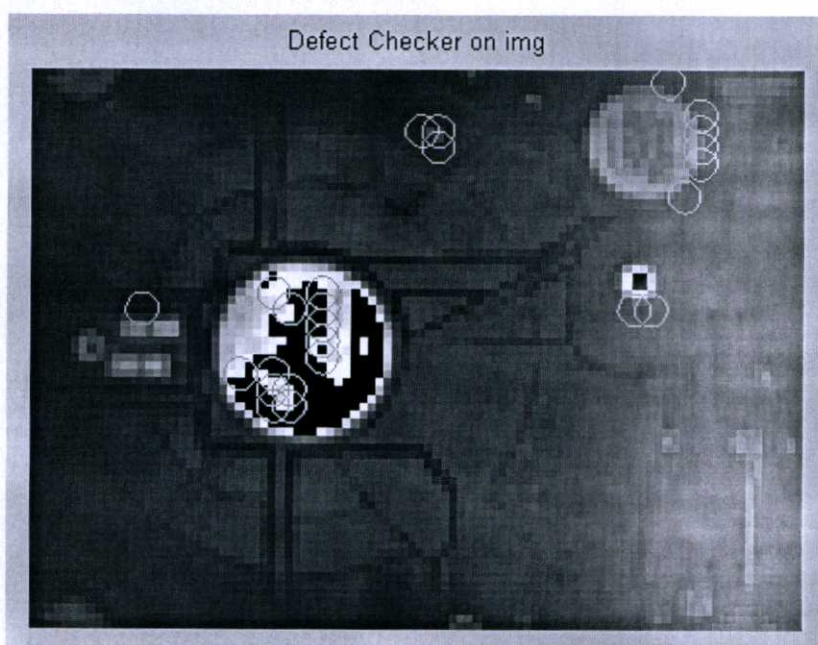
รูปที่ 4.16 ด้านหลังของฐานรองฮาร์ดดิสก์ที่มีรอยขีดข่วน



รูปที่ 4.17 ดัชนีแบบที่ถูกสร้างเป็นภาพอ้างอิง

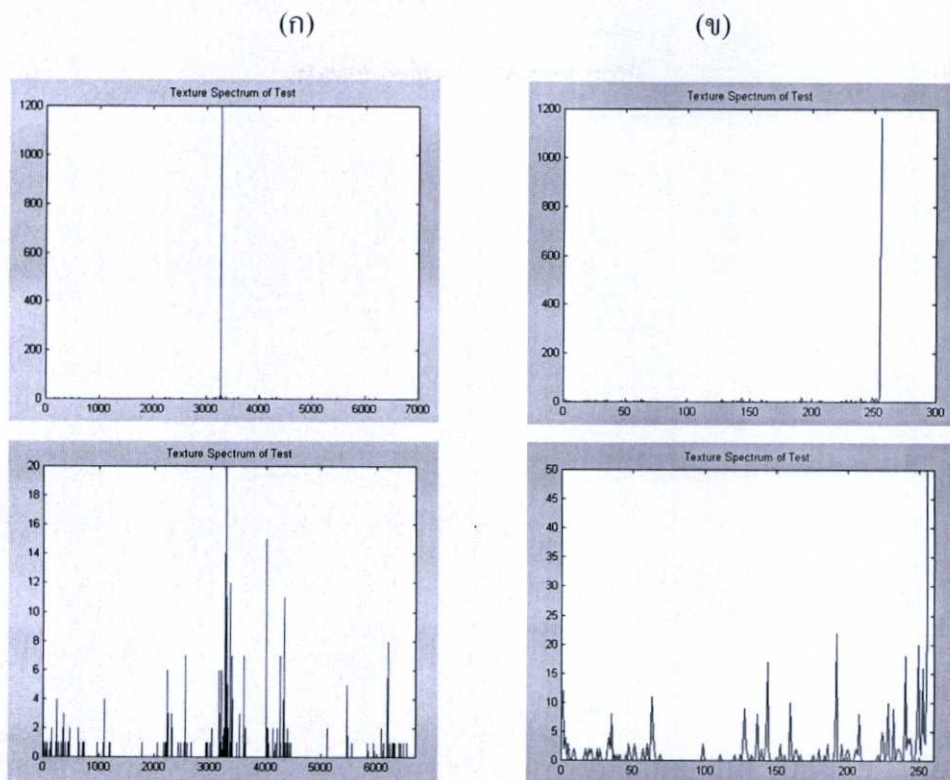


รูปที่ 4.18 ตัวอย่างทดสอบที่มีรอยขีดข่วนถูกนำมาวิเคราะห์



รูปที่ 4.19 ผลจากการวิเคราะห์ภาพด้านหน้าของฐานรองฮาร์ดดิส

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการวิเคราะห์พื้นผิวฮาร์ดดิสด้วยวิธีการสวนไบนารี
ท้องถิ่นและพื้นผิวหนึ่งหน่วยสามารถตรวจสอบหาความผิดปกติได้เหมือนกัน



รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วยและกระสวนไบนารีท้องถิ่นของฮาร์ดดิสก์ด้านหน้า

รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมของเลขลำดับของพื้นผิวของกระสวนไบนารีท้องถิ่นและพื้นผิวหนึ่งหน่วย ภาพชุด ก. แสดงสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย ภาพบนซ้ายที่เห็นกราฟตรงกลางเป็นจุดสูงสุดคือเลขลำดับที่ 3280 หมายถึงพื้นผิวที่ไม่มีคามผิดปกติ ภาพล่างซ้ายคือภาพขยายให้เห็นองค์ประกอบต่าง ๆ ของสเปกตรัม ภาพชุด ข. แสดงสเปกตรัมของกระสวนไบนารีท้องถิ่น ภาพบนขวาเห็นจุดสูงสุดคือเลขลำดับที่ 255 หมายถึงพื้นผิวที่ไม่มีคามผิดปกติ ภาพล่างขวาคือภาพขยายให้เห็นองค์ประกอบต่าง ๆ ของสเปกตรัม

4.2 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับอัลกอริทึมตรวจสอบ

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการคำนวณสำหรับอัลกอริทึมตรวจสอบ

Algorithm	Computational time (s) for Defects		
	Scratch	Dust Contamination	Glue Contamination
TU (back)	7.171	7.56	7.1
LBP (back)	6.599	6.99	6.55
TU (front)	8.492	7.151	7.321
LBP (front)	6.68	6.89	6.749
Average	TU = 7.465 and LBP = 6.743		

หมายเหตุ: ทำการรัน โปรแกรมบน CPU mobile AMD Athlon 518MHz 224 MB of RAM Matlab version 5.1.0.421

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการตรวจสอบคุณภาพของฐานรองฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการผลิต โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์พื้นผิวฮาร์ดดิสก์ของวิธีกระสวนไบนารีกับพื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย และแยกชนิดความผิดปกติด้วยค่าเทรสโสด์ที่เหมาะสม

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลของการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์กระสวนไบนารีที่ถ่วงถ่วงนั้นสามารถช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้นกว่าการวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยและสเปกตรัมของพื้นผิวหนึ่งหน่วย โดยผู้วิจัยได้นำการวิเคราะห์กระสวนไบนารีที่ถ่วงถ่วงมาใช้ในการค้นหาตำแหน่งที่มีตำหนิเท่านั้น จากผลการทดลองพบว่าวิธีการแบบพื้นผิวหนึ่งหน่วยนั้นสามารถตรวจพบตำแหน่งที่มีตำหนิได้มากกว่า 90 % ในบริเวณพื้นที่ที่คิดส์สำหรับข้อมูลตัวอย่างที่ใช้งาน ให้ผลการตรวจสอบที่รวดเร็วกว่าการวิเคราะห์พื้นผิวโดยการวิเคราะห์พื้นผิวหนึ่งหน่วยที่ใช้เวลาในการตรวจสอบในแต่ละภาพมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

สำหรับผลวิเคราะห์ตำแหน่งที่ตรวจพบรอยขีดข่วนนั้นจะให้ผลที่ดีในส่วนพื้นที่ที่คิดส์เท่านั้นในบริเวณอื่น ๆ ยังให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควรจึงทำให้ผลของการตรวจสอบไม่ดีเท่าที่ควร และตำแหน่งที่ตรวจพบที่ได้อาจไม่ถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังมีจำนวนน้อยเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ได้จากสายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจริง

ผู้วิจัยพบว่าปัญหาหนึ่งที่ทำให้ผลการตรวจสอบมีความแม่นยำลดลงคือเรื่องของแหล่งกำเนิดแสงเนื่องจากฐานรองฮาร์ดดิสก์นั้นมีขอบที่โค้งขึ้นในหลาย ๆ ส่วน จึงทำให้แสงบางส่วนถูกบดบังก่อให้เกิดเงาในบางบริเวณซึ่งอาจมีตำแหน่งที่ตรวจพบได้จึงควรมีการพัฒนาแหล่งกำเนิดแสงเพื่อใช้สำหรับระบบนี้ และหมายรวมถึงในระบบทัศนจักรอื่น ๆ เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทจะมีรูปร่าง และคุณสมบัติต่าง ๆ กันไป อีกทั้งแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้นั้นมีมูลค่าที่สูงมากเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างระบบทัศนจักรเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมของไทยจึงควรที่จะวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ขึ้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบในอนาคต

สำหรับในส่วนของการประมวลผลนั้นผู้วิจัยพบว่าการแก้ไขปัญหานี้เนื่องจากอุปกรณ์ด้วยโปรแกรมนั้นยังให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควรทั้งนี้เนื่องจากการแก้ไขการลดทอนเนื่องจากเลนส์นั้นทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ลดลงอีกทั้งยังทำให้รายละเอียดบางอย่างสูญหายไปทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น โดยในระหว่างการศึกษาและทดลองผู้วิจัยได้พบว่าการแก้ไขการลดทอนของภาพเนื่องจากเลนส์นั้นสามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนชนิดของเลนส์รับภาพซึ่งการแก้ไขปัญหานี้ที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ด้วยการเปลี่ยนอุปกรณ์นั้นจะให้ผลที่ดีว่าการแก้ไขทางโปรแกรม โดยเลนส์ที่แนะนำคือเลนส์ชนิดเทเลเซนทริกซ์เลนส์ อย่างไรก็ตามเลนส์ชนิดนี้มีราคาที่สูงมาก

บรรณานุกรม

- [1] ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์, “ความท้าทายของอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ของไทย” [Online]. Available from: www.boi.go.th, Retrieved date: Jul. 15, 2008.
- [2] โปรแกรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard disk drive program), NECTEC ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ [Online]. Available from: <http://lanta.giti.nectec.or.th/drupal/?q=node/442>, Retrieved date: Jul. 20, 2008.
- [3] Ojala T, Pietikainen M & Harwood D, “A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions”, **Pattern Recognition**, vol.29, 1996, pp.51-59.
- [4] HE, D.C. and Wang, L. “Texture Unit, Texture Spectrum, and Texture Analysis”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol.28, No.4, Jul. 1990, pp.509-512.
- [5] พิเชฐ คุณากรวงศ์, “Automatic visual inspection of harddisk base in manufacturing process”, วิทยานิพนธ์ วศ.ม. วิศวกรรมสารสนเทศ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [6] Manual training data V.M.I. 10x Final Nidec Corporation (Internal Report).
- [7] P. Sooraksa et. al., The First Year Report, “Auto Inspection Machine IQC auto inspection machine (VMI)(KMITL)”, Jul. 2006, (Internal Report).
- [8] Utanon, W. “**Texture Classification using Co-occurrence matrix based Feature and Multi-Scale representation**”, The Degree of Master of Science, Mahidol University, 2003
- [9] Petrovic S., “Basic Architecture of an Expert System” [Online]. Available from: www.cs.nott.ac.uk/~sxp/ES3/index.html, Retrieved date: Jan. 15, 2007.

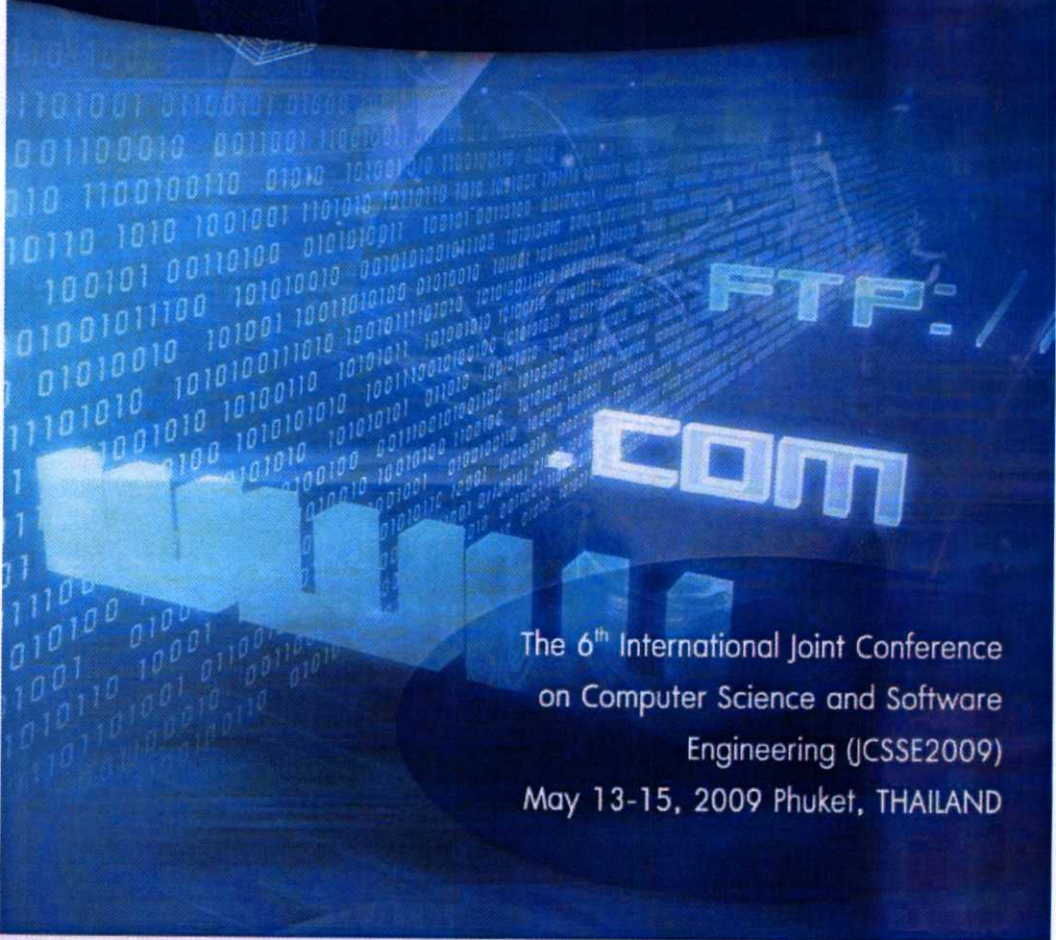
ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. Wimook Sethanandha and Pitikhate Sooraksa, "Ternary-Binary System for Defect Detection of Hard Disk Drive Base," **International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2009)**, vol. 1, May 13-15, 2009, pp. 31-35.
2. Nuttapon Jinjakam, Wimook Sethanandha and Pitikhate Sooraksa, "Effect of Recessing Return Pole Gap on Side Track Erasure," International Data Storage Technology Conference (DST-CON2009), May 13-15, 2009.



Beyond boundaries



The 6th International Joint Conference
on Computer Science and Software
Engineering (JCSEE2009)
May 13-15, 2009 Phuket, THAILAND



Ternary-Binary System for Defect Detection of Hard Disk Drive Base

Wimook Sethanandha and Pitikhate Sooraksa

Department of Information Engineering

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Email: wimook@gmail.com, kspitikh@kmitl.ac.th

Abstract

This paper presents an investigation of defect detection of the surface of hard disk drive (HDD) bases using local ternary and local binary algorithms. The two algorithms are first described and examined on general performance. Comparisons on ease-of-implementation, accuracy, and computational speed were carried out. The tests have been done on a pattern recognition machine in a rotational table platform. The results revealed that both algorithms perform sufficiently well on the defect detection.

Key Words: ternary system; local binary pattern; hard disk; defect; detection

1. Introduction

With the constant effort to increase quality control and attain "zero defects" goals, it is a need for making machine vision systems to be powerful, easy-to-program, and being cost-effective. Even though today technology has contributed to satisfy this demand with faster and more powerful PC platform, but one problem still remains. It is algorithms, the mathematics used for processing image data to perform operation and decision, have not perfectly well suited the problems in hand. The existence algorithms [1-5] are dating back over 20 years which have severely limited the performance potential of the fast and easy to program system.

Most algorithms in open-source literatures possess their laboratory heritage and cannot be ensured the use for industrial environments. For the real-world machine vision, the environment consideration include strategically placed lighting, minimal part scale change, detection for precise part position and placement, strict limitations on allowable scratches and contamination, hub rotation, and texture changes. This environmental condition emerges inheritably causing difficulty to use the direct approach of the methods available in the laboratory to the industrial

scale. If the industrial environments are enforced as the conditions, the textbook algorithms, without any modification, cannot operate properly and fail. As a result, the machine vision system cannot perform properly and also fails at its task of automatic visual inspection. This paper presents investigation on texture defect detection in searching for effective algorithms for defect detection of HDD bases.

In [6], five commonly known methods have been investigated, which are:

- Pixel-to-pixel direct method,
- Support Vector Machine (SVM),
- Signature method by Hash functions,
- Index method, and
- Method of rotational invariant.

The pixel-to-pixel approach is very straight forward and is a common sense method to perform. The method is derived from the simple fact that there is at least a different between the reference (OK) image and the defected (NG) one. Two images are pre-processed and then compared to each other. The changes in the pixels indicate the location of changes in the sample compared to the reference under the pass/fail criteria. The shortcoming of this method is lied on the fact that it is sensitive to the background noise contaminated during image capturing process.

SVM [7] is a neural network algorithm which can be employed to predict OK/NG samples. Like a typical neural network scheme, a training set of data is prepared as an input entered to the magic black box comprised learning algorithms. After the teaching procedure, error of model has been reduced to zero, the model is now obtained. A test set of data needs to feed into the model to verify the accuracy. Like any neural network architecture, drawback of this method is illustrated by inadequate learning by few defect samples to be learnt. In fact, many factories have been adopted six-sigma defect criteria so that few defects were obtained and not adequate for learning.

Hash function is one way function which generate the signature function $s[m]$, from the image matrix,

$I_{M \times N}$. With the unique property created each signature for each image data, each defect case can be recognized as a signature in detection database corresponding to each type of classification. The recognition can be done by comparing testing signature with a reference. Nevertheless, this algorithm still has problem for being too sensitive to noise and dislocated image.

The classification process of the Index method can be easily performed by comparing each index to the reference ID. An index can be defined as a set of energy, entropy, correlation, inertia, or any other image features. The inputs for the index method can be obtained from a co-occurrence matrix in [1]. This could lead to computational burden compared to the LBP and LTP which will be mentioned later.

Method of rotational invariant for the frequency domain has been developed in [9]. This method can be effectively used to identify differences between two images regardless orientation of the images. Since the phase of transformation is not taken into account, the method cannot be employed to pin point the defect area. Another drawback is that a transform procedure like Fourier transform is needed. This is not economical computation for real-time testing.

As mentioned in the above, defect detection and classification by utilizing texture characteristics of a surface of an object has been introduced. Besides the aforementioned, many methods have been proposed and compiled to be textbooks. Among various algorithms for the texture recognition, a method named texture unit and texture spectrum (TUTS) in [2] has been proposed in 1990 by He and Wang using ternary number system for assisting calculation. The method is interesting in the sense of reducing computational complexity compared to method using co-occurrence matrix [1]. In addition, the procedure is quite simple and can be done only a few step of computation. A successful example of employing this method is provided in [3].

The local binary pattern (LBP) with similar terminology and concept using binary system has been studied in [5]. In [5], a comparison between LBP and TUTS on metal strip inspection reveals no significant difference in term of classification accuracy but the former was faster in computational speed. For convenience and parallel ideas, the TUTS is called local ternary pattern (LTP) throughout this paper. However, our problem in hand is different from [5] by which the surface of a HDD is coated with different material. Moreover, the industrial environment is not exactly the same. The objective of this investigation is to compare general performance between LBP and LTP for defect detection of HDD bases.

2. Brief review on the algorithms

This section provides a brief review on the LBP [5] and LTP [2] for defect recognition. For LTP algorithm, a 3x3 matrix containing 9 elements of pixels is considered. Given v_0 as a value or an intensity of grey level at the middle of the referent cell and v_i as the value of the grey level of the i -th cell surrounded the middle cell, with the threshold T , we can assign the ternary system for relative values between a pair of middle cell and its neighbors. A texture unit is defined as a set $TU = \{E_1, E_2, \dots, E_8\}$

where $E_i (i = 1, 2, \dots, 8)$ and

$$E_i = \begin{cases} 0 & \text{if } v_i - v_0 < -T \\ 1 & \text{if } -T \leq v_i - v_0 \leq T \\ 2 & \text{if } T < v_i - v_0 \end{cases} \quad (1)$$

An index which is a sum of each pair of product of E_i in Equation (1) and weighting values in Fig. 1 is assigned to make a unique character for each number. The index of texture number can be shown in Equation (2).

3^0	3^1	3^2
3^7		3^3
3^6	3^5	3^4

Figure 1. Weighting values for texture number as index

$$N_{TU} = \sum_{i=1}^8 E_i \cdot 3^{i-1} \quad (2)$$

Examples of the calculation can be found in [2]. For LBP, E_i in Equation (1) will be reduced to merely be 0 or 1; whereas, weighting values in Fig 1 can be changed the base from 3 to be 2 with the same exponents. The rest of the calculation is the same.

3. Hardwares

A machine has been built as a test bed for testing the two algorithms. Stations and connection diagram for detecting defects on the surface of the components of HDD bases can be shown in Fig. 2. According to the diagram, Station 1 is used for checking the hub of the HDD base; Station 2 is employed for checking at the front; and Station 3 is used for checking at the back of the HDD base. Each station is connected to each other via the KVM switching. In practice, it is

important to ensure that the image resolution is adequately set; hence, lighting system is a key element for machine vision. Our machine use green light produced peak signals matching the same quantum number of the cameras' sensitivity at the optimal wavelength for electron-hole regeneration.

During operation, an operator in the clean room feeds samples to the machine. The machine then turns the first sample in the position at Station 1 for checking any defect at the hub of the sample. The decision making for OK(passed) / NG (No Go or defect) will be made when the round table turns back for a complete cycle within 18 seconds. In other words, each station has 6 seconds for detection process. This includes pre-processing time in order to prepare the raw image suitable for image analyzing process. For NG decision making, a cylinder will push the NG sample to the collecting place at Station 4 separated from routine check without stopping the entire process. Figure 3 shows the top of the rotating table of the hardware prototype and the corresponding concept is described in Fig. 2.

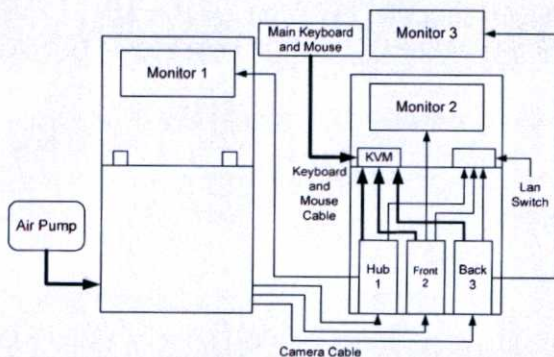


Figure 2. Stations and connection diagram for the defect detection

A PLC is used as the control unit for conveying a sample to each station. To guarantee the same capture position in preprocess such as filtering, orientation correcting, and masking for the HDD base, the sample is locked during transfer by means of pneumatic control. A standard safety for alarms and hazard prevention is also implemented. For example, the system will be halted if any extruder is accidentally passed though a curtain of IR sensors at the front side of the machine to prevent injury for operators. The turning table has three walls to limit the background light noise during detection and for safety reasons during operation. The open front has an infrared light curtain to prevent an accident from collision or cutting fingers and hands of the operator

by the turning table when the organ is accidentally entering the stations during the operation.

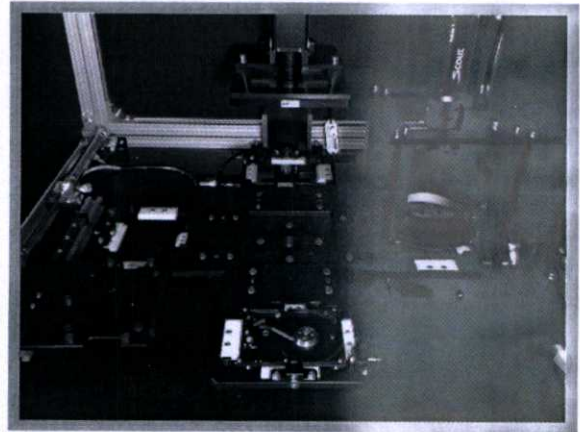


Figure 3. Major components of the detection stations

4. Results

To validate the effectiveness of LBP and LTP algorithms claimed from the literatures [2] and [5], the algorithms are implemented using VB 6. For purpose of presentation, the figures here are imported and plotted by MATLAB version 6.5. Since the hub has four free-rotated balance holes, this phenomenon causes complication for having a good reference and difficulty in justification. Hence, the tests for these algorithms are not suitable to implement at the first station. Other algorithms will be employed to deal with this situation which is not in the scope of this study.

In this paper, we use Station 2 and Station 3 to capture the testing images at the front and back sides of the 2.5 inch-HDD bases, respectively. The captured images for NG decision are shown in Figs 4-5 for defect detection at the front and the back sides of a HDD base. The corresponding texture spectrums using the LBP and the LTP algorithms are shown in Figs 6 and 7. The processing time for using LBP and LTP algorithms is also compared in Table 1. The CPU in use is a 518MHz mobile AMD Athlon with 224 MB of RAM. According to Table 1, the processing time on average for LBP is faster than that of LTP. This can be expected by inspection of calculation for texture units which is significantly reduced by the order of exponents from base 3 to base 2.

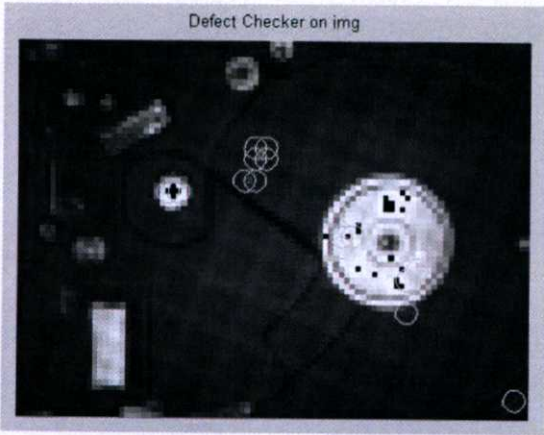


Figure 4. Scratches on the front side of a HDD surface is classified as "NG."

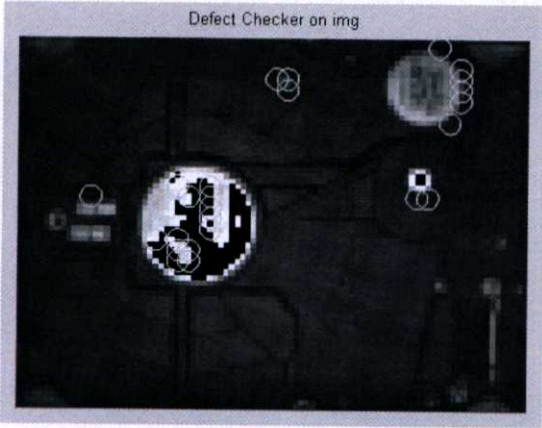


Figure 5. Scratches on the back side of a HDD surface is classified as "NG"

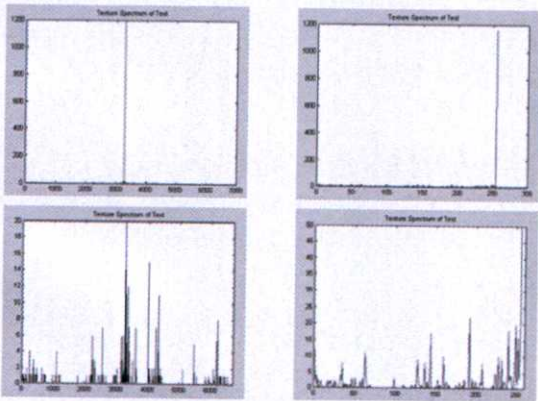


Figure 6. Texture spectrum obtained from the detection at the front side

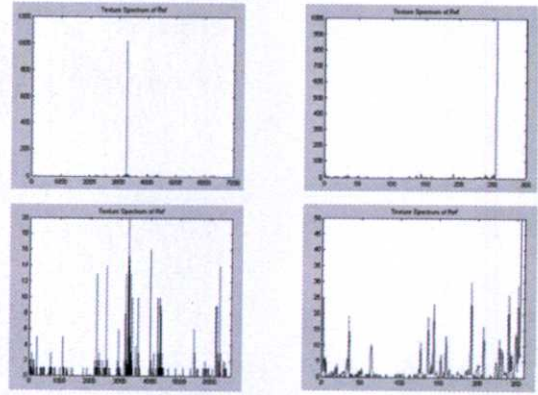


Figure 7. Texture spectrum obtained from the detection at the back side

According to Fig 6, the upper corner subplot (1,1) on the matrix corresponding to the referent spectrum using LTP. A peak is located at texture number at 3,280 or at the middle of the spectrum, meaning that the local texture of the surface is homogeneous. Similar to the LTP portion, the LBP referent figure is shown on the upper right of the matrix or the subplot (1,2). Unlike using LTP, the homogeneous representation on the texture spectrum is shown by peak of the texture number at the location 255 or at the right-most of the spectrum. In this case, a breaking of symmetry occurs because only two numbers, "0" or "1", are used for computation instead of using ternary in which "0" is inherently located in the middle. The lower left subplot (2,1) and the lower right corner subplot (2,2) are results of the detection by LTP and LBP corresponding to the above same column as image references. Remark that it is easily seen, in case of scratching on the surface, the coated material is peeled off revealing a silver color surrounded with black cover. In this experiment, criterion for rejection is setting for any scratched area is larger than one square millimeter. Figure 7 presents the texture spectrum for back side of a HDD base.

Table 1. Time usage for detection algorithms

Algorithm	Computational time (in seconds)		
	Scratch	Dust Contamination	Glue Contamination
LTP (back)	7.171	7.56	7.1
LTP (front)	8.492	7.151	7.321
LBP (back)	6.599	6.99	6.749
LBP (front)	6.68	6.89	6.749
Average	LTP = 7.465 sec LBP = 6.743		

5. Conclusion

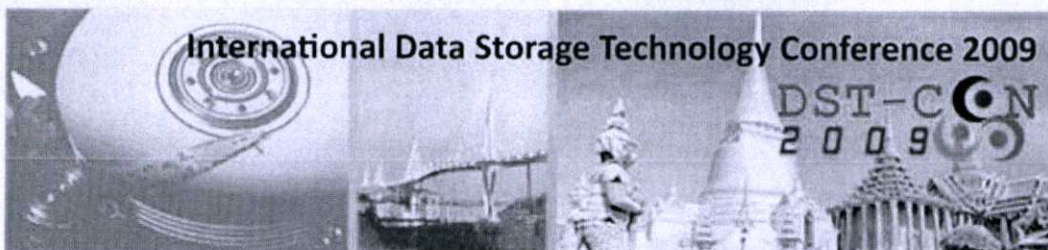
This paper presents further investigation on performance comparison in term of ease-of-implementation, accuracy and computational speed of the algorithms for defect detection of surface of HDD bases using LBP and LTP. The two methods are recognized as easy-to-implement algorithms and are simple computational ones compared to other conventional methods [1,4]. The LBP method gains an advantage over LTP on computational speed from the reducing of the number of quantization level and having more compactness of texture spectrum for ease-of-implementation. However, in term of accuracy both methods are not significantly different. The results are agreed with the report in [5] even though the two researches employed different materials. For detection speed, there is a room for improvement when the faster CPU is employed. This should be integrated into the final prototype.

6. Acknowledgment

The authors would like to thank Thailand Research Funds for partial support under grant MRG-WII15E041. Thanks also to major financial support from NIDEC Electronics (Thailand) Co. Ltd. under the contract project-- Auto-inspection Machine, Auto-VMI (KMITL).

7. References

- [1] R. M. Haralick, "Statistical and Structural Approaches to Texture," *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, pp. 786-804, 1979.
- [2] D. C. He and L. Wang, "Texture Unit, Texture Spectrum, and Texture Analysis," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, no.4, pp. 509-512, 1990.
- [3] L. Hepplewhite, and T. J. Stonham, "Surface Inspection using Texture Recognition," *IEEE Proceedings of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 589-591, 1994.
- [4] M. Mirmehdi, X. Xie, and J. Suri, (eds.), *Handbook of Texture Analysis*, Imperial College Press, 2008.
- [5] J. Heikkinen, *Applications of texture analysis and classification methods to metal surface inspection problems*, Diploma thesis, University of Oulu, 1993.
- [6] P. Sooraksa and others, *Auto-inspection Machine, Auto-VMI (KMITL), Second Year Report*, KMITL, 2007.
- [7] J. Zhang, Y. Zhang, and T. Zhou, "Classification of hyperspectral data using support vector machine," *International Conference on Image Processing*, vol. 1, pp. 882 – 885, 2001.
- [8] R. Venkatesan, S. M. Koon, M. H. Jakubowski, P. Moulin, P., "Robust image hashing," *International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 664 – 666, 2000.
- [9] P. Thumwarin, "An automatic system for firearm identification," *International Symposium on Communications and Information Technologies*, pp. 100-103, 2008.



International Data Storage Technology Conference 2009

DST-CON 2009

'Breaking through the performance limit of HDD Technology'

May 13-15 2009
Thailand Science Park Convention Center Bangkok, Thailand

Menu

- [About](#)
- [Call for Papers](#)
- [Committee](#)
- [Registration](#)
- [Final Program](#)
- [Venue](#)
- [Accommodation](#)
- [Gallery](#)
- [Abstract](#)
- [Paper Submission](#)
- [Plenary Talks](#)

Attention

***Job fair, special for DST -CON2009 ***

Final Program

Type of Registration

Important Dates

Full paper submission due date:	15 March 2009
Notification of Acceptance Date:	31 March 2009
Conference Advanced Registration:	24 April 2009
Camera-ready paper submission:	30 April 2009
Conference Date:	13 - 15 May 2009

Now the paper template is downloadable



About DST -CON 2009

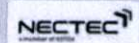
The 2nd International Data Storage Technology Conference (DST -CON2009) will be the forum for academic and industry to present their recent research works and exchange ideas in the area of Hard Disk Drive (HDD) or Data Storage Technology (DST). It is organized by a cooperative HDD group between HDD industry and academic institutes, represented by Industry/University Cooperative Research Centers (I/U CRC) i.e. I/U CRC in HDD Component, I/U CRC in HDD Advanced Manufacturing, and I/U CRC in Data Storage Technology and Applications. The National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC) is the main organizer this collaborated activity.

A 15-minute oral power-point-edited presentation is allowed for postgraduate students and researchers and a parallel Thai/English-spoken poster presentation is exhibited by undergraduate students.

This year, HDD in advanced manufacturing will be the host and we gladly welcome every one to share experience and knowledge to improve our HDD society. If you have any comments or questions

Please feel free to contact DST -CON secretary at dst-con2009@kmutt.ac.th

Supported by



Effect of Recessing Return Pole Gap on Side Track Erasure

Nuttapong Jinjakam

College of Data Storage Technology and Application
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, Email: n_jinjakam@yahoo.com

Wimook Sethanandha and Pitikhate Sooraksa

Department of Information Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, Email: kspitikh@kmitl.ac.th

Abstract— In this paper, we present an experiment of Return Pole (RP) gap with larger range of gap recess on recording performance, in particular, Side Track Erasure (STE) on continuous media. We set up an experiment by varying RP1 gap and recess to measure the STE performance based on BER loss at 100k write cycles. Four features of the writer were built: 1) with RP1 gap=900nm, recess=900nm, 2) with RP1 gap=900nm, recess=2000nm, 3) with RP1 gap=200nm, recess=900nm and 4) with RP1 gap=200nm, recess=2000nm. It is found that the writer Feature 2) shows slightly better STE performance than other features which means that RP1 gap and recess have less sensitive to STE performance.

Keywords Side Track Erasure, STE, Erasure

I. INTRODUCTION

Recently, an exciting new magnetic recording technology was introduced into hard drive storage. Perpendicular magnetic recording (PMR) offers greater data densities to be stored on the disk surface than longitudinal magnetic recording (LMR), meaning that it allows for larger capacity (GB) hard drives to be developed.

In a conventional LMR head, the magnetic field for writing is generated from a thin non-magnetic gap in the ring head, and it has a higher longitudinal component than perpendicular component. In PMR, the media has been magnetized and oriented in the up-down direction. To achieve efficient writing, a PMR write head needs to generate fields having the perpendicular components stronger than the longitudinal components. As illustrated in Figure 1, a "single pole" PMR head combined with a soft-under-layer (SUL) offers a strong perpendicular write field, while the longitudinal component is much reduced.

The second-generation technology involved changes to the write head; the write-head is modified by placing a "trailing-shield"[1] spaced closely to the trailing edge of the pole-tip where the data is recorded, as in Figure 2. This can impact the field-strength slightly but has a great advantage in that the fields die away very rapidly as the medium moves from under the pole-tip to under the shield. This rapid gradient in field means that the bits that are written can be much more sharply.

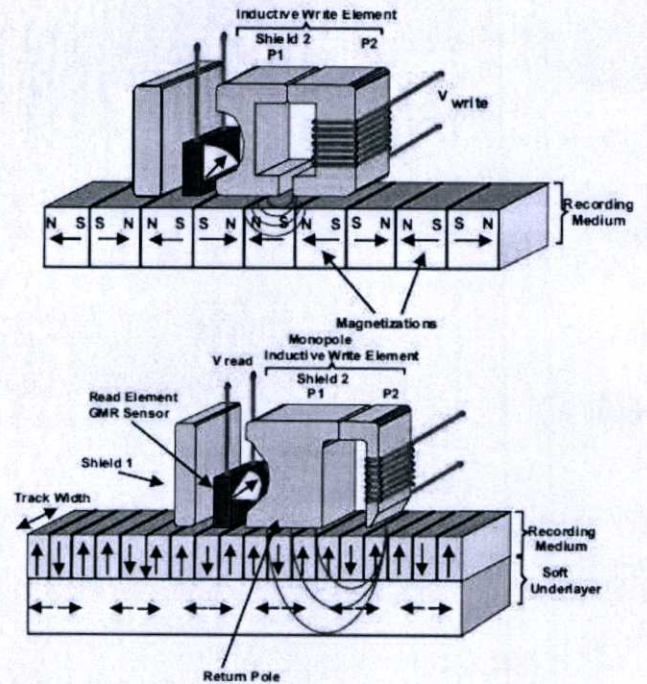


Figure 1. Top: Longitudinal recording diagram
Bottom: perpendicular recording diagram

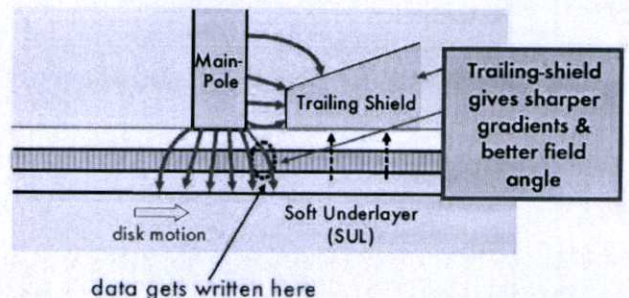


Figure 2. Cross-sectional schematic of a trailing shield head a thin magnetic shield placed in the proximity of the trailing edge of the writing pole.

The unique feature in the perpendicular system is the “soft magnetic under layer” incorporated into the disk. This under layer conducts magnetic flux very readily. When the write head is energized, flux concentrates under the small pole-tip and generates an intense magnetic field in the short gap between the pole-tip and soft under layer. The recording layer that stores the data is directed in this gap where the field is most intense. Higher fields allow “higher coercivity” media to be used. Such media require higher fields to set the magnetization, but once set, the magnetization is inherently more stable.

The field from a PMR write-head is generated from the pole surface, collected by the SUL and return to the return pole. Figure 3 shows the corners of a rectangular pole will cut into neighboring tracks when the head is operating at a skew angle.

In drives, the head has a skew angle with respect to the track direction when the head operates at inner or outer radii. Fabricating a narrow trapezoidal pole with a well-controlled bevel angle is essential to prevent the fields from the pole surface erasing data in neighboring tracks [2].

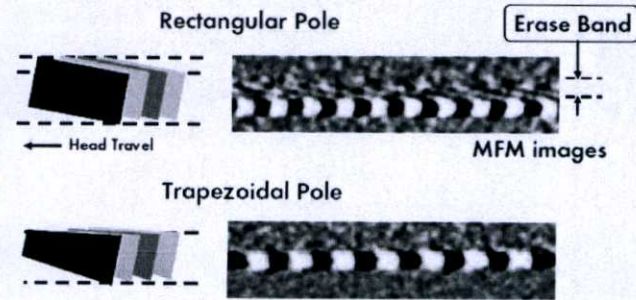


Figure 3. Trapezoidal pole shape in a PMR write head to avoid data erasure in neighboring tracks when the head is operated at a skew angle, e.g., at inner or outer radius.

II. ERASURE IN PERPENDICULARS RECORDING

In perpendicular recording, substantial erasure of the stored data patterns can occur during the writing process. Among all those erasure processes, side track erasure (STE)[3] is one of the critical issues in drive head/media integration. Unlike the adjacent track erasure (ATE) process[4], the locations of the STE affected areas are often many tens of tracks away from the central writing track location.

As illustrated in Figure 4 the strong return flux in SUL to return pole can erase the stored data during writing process, this erasure called STE. For ATE, the erasure of the stored data occur at adjacent track due to leaking flux from the write pole itself, the locations of the ATE affected area close to written track.

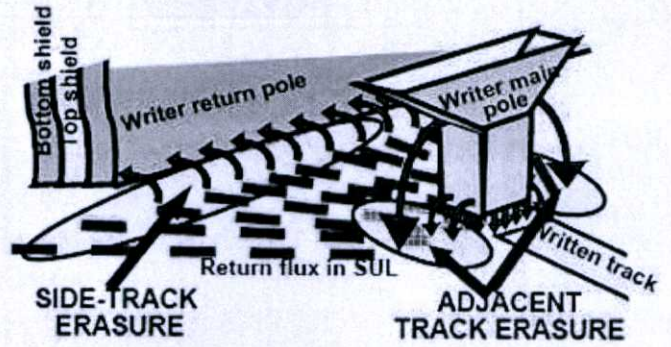


Figure 4. Erasure in Perpendiculars Recording

III. EXPERIMENTAL METHOD

Figure 5 shows a spin stand tester used to measure STE as follows. First, full piezo range $-300 \sim +300$ uin erase. Second, write data tracks from $+150$ to -150 uin and read Bit Error Rate (BER) of all tracks location as initial BER, the equation used for calculation of BER shows in (1). Third, the head is repositioned at the center track and writes data up to 100000 cycles with 120 mA of write current. Fourth, re-measure BER of each tracks location every 10k, 30k, 60k and 100k write cycles.

$$\text{BER} = \text{Log} (\text{Number of errors} / \text{Total transmitted bits}) \quad (1)$$

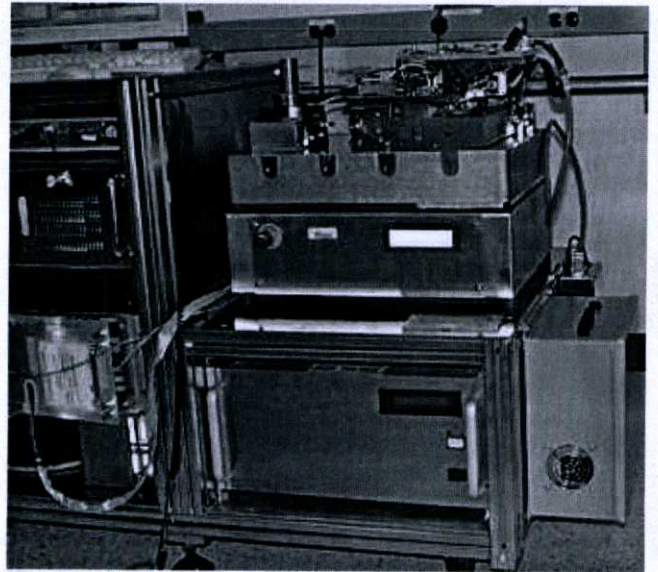


Figure 5. Spin stand tester

For evaluation heads, we separate all heads to 4 features by varying RPI and gap recess to measure the STE performance based on BER loss at 100k writes cycles. Four features of the

writer were built: 1) with RPI gap=900nm, recess=900nm; 2) with RPI gap=900nm, recess=2000nm; 3) with RPI gap=200nm, recess=900nm; and 4) with RPI gap=200nm, recess=2000nm. Figure 6 illustrates head structure in cross section view by lapping slider from left side to the center of the slider. At left section view we can visualize Return Pole1&2, Coil, Front Shield (FS), Write Pole (WP), Yoke, Leading Shield (LS) and Gap. Figure 7 illustrates enlarged view of the head structure from figure 6

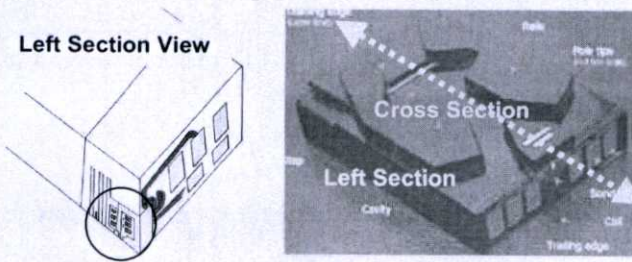


Figure 6. Head structures in left cross section view.

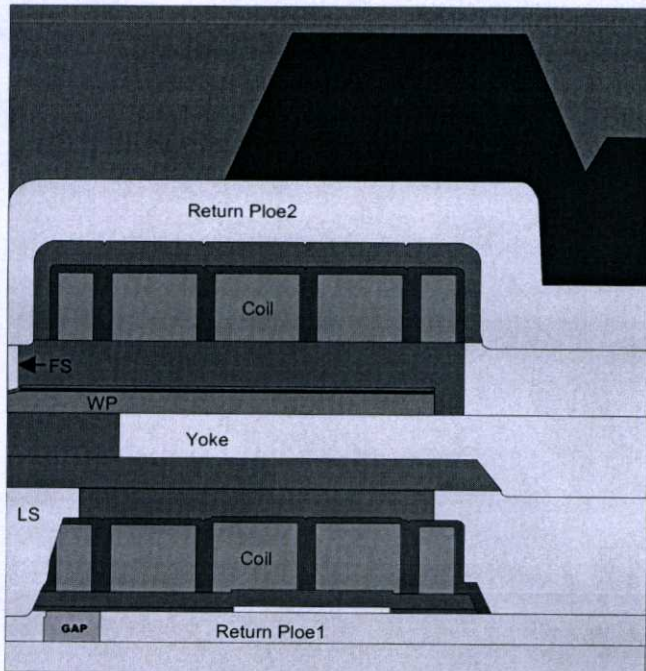


Figure 7. Enlarge view of Head structures.

Figure 8 shows two parameters for varying on RPI, which are Recess and Gap to validate the effect of them on STE performance.

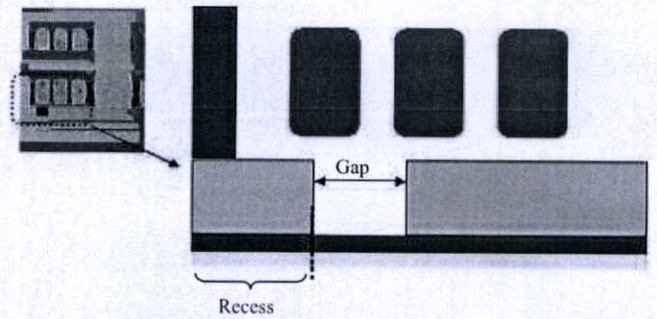


Figure 8. The location of Recess and Gap on Return Pole 1

The decision making criterion for having good or bad STE performance is that; if Delta BER (Final BER – Initial BER) greater than 1 decade, the poor performance is obtained.

IV. RESULTS & CONCLUSION

Table 1 summarizes experimental results. Results are as follows: F2 indicates lowest STE failure compared to others, while F1 indicates worse STE failure. Comparison between F1 and F2, we found that F1 shows less STE performance than that of F2. For F3 and F4, F3 shows slightly better STE performance than F4.

However, all features yield poor results implying that both gap and recess have less sensitive to STE performance, although we adjust gap and recess range from 200-900 nm and 900-2000 nm.

TABLE I. EXPERIMENTAL RESULTS

Detail	F1	F2	F3	F4
	Gap-Recess (nm) 900-900	Gap-Recess (nm) 900-2000	Gap-Recess (nm) 200-900	Gap-Recess (nm) 200-2000
#Failures of Total	17 of 18	15 of 19	17 of 20	17 of 19
% of STE failures	94%	79%	85%	89%

Figures 9-12 show Delta BER vs. track location plot on F1 to F4. The origin 0 along the X-Axis represents center track and +/-2, +/-3 to +/-9 are tracks away from the center track. Y-Axis represents Delta BER.

We found that all groups show high Delta BER (>1 decade) around the center track at ±50 um. Preferably, the Delta BER should be less than 1 decade. According to the results, it is obviously to see that varying recess and gap on the head provides weak impact on STE performance. This confirms results in Table 1 as aforementioned. The new design needs to be substituted the current one in order to satisfy the desired performance.

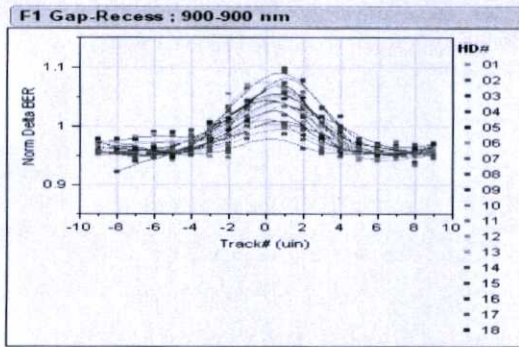


Figure 9. Delta BER vs. track location of F1.

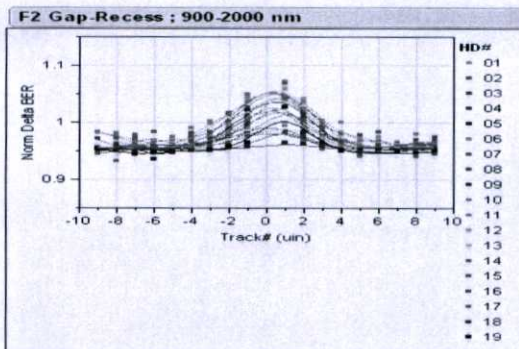


Figure 10. Delta BER vs. track location of F2.

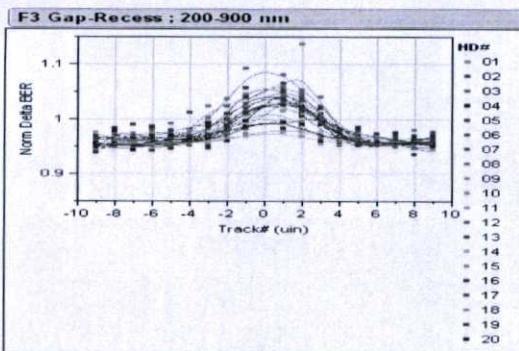


Figure 11. Delta BER vs. track location of F3.

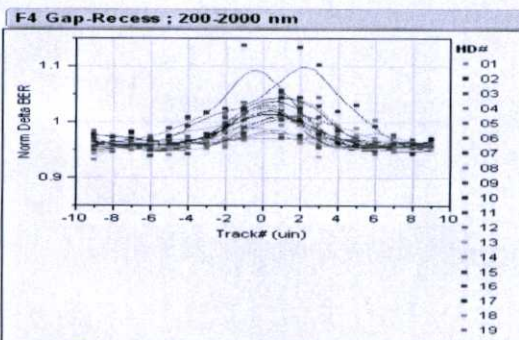


Figure 12. Delta BER vs. track location of F4.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported in part by Thailand Research Fund under grant MRG-WII515E041.

REFERENCES

- [1] Eric Meloche, "Perpendicular Recording at High Areal Densities," *Seagate Technology, February 14th, 2008*.
- [2] Roger Wood, Yimin Hsu and Marilee Schultz, "Perpendicular Magnetic Recording Technology," *Hitachi Global Storage Technologie, 2007*.
- [3] Davide Guarisco, Monica Lin Li, G. Herbert Lin, Christian H. Back, and Yves Acremann, "Side Track Erasure of Stitched-Pole Magnetic Recording Heads," *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 36, NO. 5, pp. 2527-2529*.
- [4] Yuhui Tang¹, Xiaodong Che², Hyung Jai Lee², and Jian-Gang Zhu¹, "Understanding Adjacent Track Erasure in Discrete Track Media," *IEEE Transactions on Magnetics, September 2008, pp.1-4*.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นายวิมุกต์ เศรษฐนันท์
วัน เดือน ปีเกิด 12 มิถุนายน ค.ศ. 1982
ที่อยู่ 259/24 ซอย ปรีดีพนมยงค์ 15 ถนน สุขุมวิท 71 แขวง พระโขนงเหนือ
เขต วัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย

- [1] Wimook Sethanandha and Pitikhate Sooraksa, "Ternary-Binary System for Defect Detection of Hard Disk Drive Base," **International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE2009)**, vol. 1, May 13-15, 2009, pp. 31-35.
- [2] Nuttapon Jinjakam, Wimook Sethanandha and Pitikhate Sooraksa, "Effect of Recessing Return Pole Gap on Side Track Erasure," **International Data Storage Technology Conference (DST-CON2009)**, May 13-15, 2009.