

การประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่า PSA/RSA ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์

Image Processing Method to Measure PSA/RSA of Slider in HDD



รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

การประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่า PSA/RSA ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์

Image Processing Method to Measure PSA/RSA of Slider in HDD



T147140

ปวิพัทธ์ บุญมาตุ้ม

600268235

12850019
.....
.....

สาขา.....
เลขทะเบียน..... 147140
วันเดือนปี 3 ต.ค. 2560

รายงานสหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Image Processing Method to Measure PSA/RSA of Slider in HDD



AN INTERNSHIP REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING
COLLEGE OF ADVANCE MANUFACTURING INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อสหกิจศึกษา

วิธีการประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่าPSA/RSA
ของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
Image Processing Method to Measure PSA/RSA
of Slider in Hard Disk Drive

นักศึกษา

นายปฏิพัทธ์ บุญมาตุ่น

รหัสนักศึกษา

55120021

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมระบบการผลิต



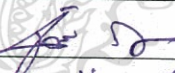

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชานนท์ วิจารณ์

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง อนุมัติให้สหกิจศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชานนท์ วิจารณ์	
นาย เชาวลิต จิญาธรรม์	
นาย จักร์ พจนพิมล	
นาย วิฑูร จูวราหะวงค์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่าPSA/RSAของ
	หัวอ่านฮาร์ดดิสก์
นักศึกษา	นายปฏิพัทธ์ บุญมาตุ่น
รหัสนักศึกษา	55120021
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมระบบการผลิต
พ.ศ.	2558
อาจารย์นิเทศ	ผศ. ดร.ชานนท์ วริสาร
ผู้นิเทศงาน	นายปริญญา วัฒนนุกุลชัย
ชื่อสถานประกอบการ	บริษัทซีเกทเทคโนโลยี(ประเทศไทย)จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำหลักการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการศึกษาการประมวลผลภาพจากกล้องซึ่งเป็นการพัฒนาและต่อยอดจากเครื่องวัดมุมหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ให้สามารถวัดได้จำนวนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มากขึ้นต่อครั้งเพิ่มฟังก์ชันแสดงผลตรวจสอบและเพิ่มฟังก์ชันสอบเทียบอัตโนมัติให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการวัดวิธีการประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่าPSA/RSAของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ประกอบด้วย8ส่วนหลัก (1) ออกแบบเครื่องที่ใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (2) ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Grid Checkerboard (3) ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดGauge Reference plane (4) ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดGauge Calibration (5) ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดGauge Offset (6) ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (7) โปรแกรมหาขอบของชิ้นออกแบบและสร้างส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน (8) สรุปผลการทดลองซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถตรวจสอบมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พร้อมแสดงผลลัพธ์และสามารถเก็บค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบ

คำสำคัญ : การประมวลผลภาพ , PSA/RSA , ฟังก์ชันสอบเทียบอัตโนมัติ

Thesis Title	Image Processing Method to Measure PSA/RSA of Slider in Hard Disk Drive
Student	Mr. Patipat Boonmatun
Degree	Bechalar of Engineering in Manufacturing System Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2015
Thesis Advisor	Asst Prof Dr. Chanon Warisarn
Mentor	Mr. parinya wattananukulchai
Company	Seagate Technology (Thailand) Ltd.

Abstract

Project is Image Processing method for measuring angle slider of hard disk drive. To Study and develop the prototype machine by perform muliti head and add function show result and calibration automatic for measuring. Method of image processing for measuring PSA/RSA slider of hard disk drive contains 8 main sections: (1) design tools that are used to measure the angle of the Slider in hard disk drive (2) design a program for the measure. Grid Checkerboard (3) Design program to be used to measure Gauge Reference plane (4) designed the program to be used to measure Gauge Calibration (5) designed the program to be used to measure Gauge Offset (6) designed the program to be used to measure angles slider of a hard disk drive (7) for the application of design and build the user interface with the user (8) Conclusion. The results obtained to determine the angle of the slider with a hard disk drive output. And can report the results of the inspection.

KEYWORD : Image Processing method , PSA/RSA , Calibration automatic

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเรื่องนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ที่ส่งผลให้ปริญญาโทฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบริษัทซีเกทเทคโนโลยี(ประเทศไทย)จำกัดและแผนก Metrology ที่ให้การสนับสนุนและให้โอกาสทำวิจัยที่บริษัท

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชานนท์ วรรณสารอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท สำหรับความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขรายงานทำให้ปริญญาโทเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณ คุณปริญญา วัฒนนกุลชัยที่ให้คำแนะนำเป็นที่เล็งและให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัย สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวของผู้วิจัยสำหรับกำลังใจ ความห่วงใย และคอยช่วยเหลือในทุกๆด้านทำให้ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

นายปฏิพัทธ์ บุญมาตุ่น

ผู้จัดทำรายงาน

27 พฤศจิกายน 2558

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อุปกรณ์ในระบบตรวจจับแบบวีทัศน์.....	4
2.2 การประมวลผลภาพ(Image Processing).....	13
2.3 พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับรูปภาพ.....	13
2.4 ไฟล์ภาพ.....	18
2.5 การแปลงข้อมูลภาพในสองมิติ.....	19
2.6 การหาขอบภาพ (Edge Detection).....	25
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 หลักการและแนวคิด.....	32
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	32

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	53
4.1 ผลการวัดGrid Checkerboard.....	53
4.2 ผลการวัดGauge Reference plane.....	53
4.3 ผลการวัดการวัดGauge Calibration.....	54
4.4 ผลการวัดการวัดGauge Offset.....	59
4.5 ผลการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ Model 4 Head.....	63
4.6 ผลการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ Model 2 Head.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
เอกสารอ้างอิง.....	74
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก Grid Checkerboard.....	76
ภาคผนวก ข Gauge Reference plane& Gauge Calibration.....	78
ประวัติผู้จัดทำ.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
4.1 ผลการวัด Grid Checkerboard.....	53
4.2 ผลการวัด Gauge Reference plane.....	53
4.3 แสผลการวัด Gauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่1.....	54
4.4 ผลการวัด Gauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่2.....	54
4.5 ผลการวัด Gauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่3.....	55
4.6 ผลการวัด Gauge Calibrationจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 1.....	55
4.7 ผลการวัด Gauge Calibrationวัดจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 2.....	56
4.8 ผลการวัด Gauge Calibrationจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 3.....	56
4.9 ผลการวัด Gauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่ 1.....	59
4.10 ผลการวัด Gauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่ 2.....	59
4.11 ผลการวัด Gauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่ 3.....	60
4.12 ผลการวัด Gauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่ 1.....	60
4.13 ผลการวัด Gauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่ 2.....	61
4.14 ผลการวัด Gauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่ 3.....	61
4.15 ผลการวัดมุมผลการวัดมุม PSA/RSA(4Head).....	62
4.16 ผลการวัดมุมผลการวัดมุม PSA/RSA(2Head).....	63
5.1 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสีนใจ (R^2).....	71
5.2 Gage Repeatability and Reproducibilityของโมเดล 4 หัวอ่าน.....	71
5.3 Gage Repeatability and Reproducibilityของโมเดล 2 หัวอ่าน.....	72

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างกล้องชนิดต่าง ๆ.....	4
2.2 ขนาดตัวตรวจจับภาพในกล้อง.....	4
2.3 ลักษณะภาพต่าง ๆ ของเลนส์.....	5
2.4 ข้อดีและข้อเสียของหลอดไฟแต่ละประเภทแสดงเป็นกราฟเพชร.....	6
2.5 สเปคตรัมที่ออกมาจากหลอดชนิดต่าง ๆ.....	7
2.6 สเปคตรัมกล้องที่ได้รับ.....	8
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคการให้แสง ผิวดัตถุและลักษณะของผิว.....	10
2.8 การให้แสงแบบต่าง ๆ.....	11
2.9 วงกลมสี.....	12
2.10 ภาพลูกอมที่ใช้แสงแบบต่าง ๆ.....	12
2.11 พิกัดของระบบภาพดิจิทัล 1/4 ของแบบ double array.....	14
2.12 ระบบสี RGB	15
2.13 ตัวอย่างระบบสี Indexed Color.....	16
2.14 ตัวอย่างระบบสี Bitmap.....	16
2.15 ตัวอย่างระบบสี Gray Scale.....	16
2.16 ตัวอย่างระบบสี CMYK	17
2.17 ตัวอย่างระบบสี LAB Color.....	18
2.18 การหมุนจุด (x,y) รอบจุดเริ่มต้น.....	19
2.19 การหมุนจุด P รอบจุด(x_r, y_r).....	20
2.20 การบิดภาพตามแนวแกน x และแกน y.....	22
2.21 เปรียบเทียบระบบพิกัดคาที่เขียนกับระบบพิกัดโฮโมจีเนียส.....	23
2.22 การสะท้อนภาพตามแกน x	24
2.23 การสะท้อนภาพตามแกน y.....	25
2.24 โครงสร้างพื้นฐานของระบบรู้จำภาพ.....	30

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	32
3.2 งานวิจัย HSA Metrology Tools.....	32
3.3 แสดงภาพรวมของขั้นตอนCalibration Coordinate.....	33
3.4 ภาพ Grid Checkerboard.....	33
3.5 แสดงการหาเส้นขอบของGrid.....	34
3.6 แสดงภาพรวมของขั้นตอนCalibration Front Plane.....	34
3.7 รับภาพของGauge Reference plane.....	35
3.8 แสดงการหาเส้นขอบของGauge Reference plane.....	35
3.9 ภาพรวมของขั้นตอนCalibration Side Plane.....	36
3.10 รับภาพของGauge Reference Side plane.....	36
3.11 แสดงการหาเส้นขอบของGauge.....	36
3.12 ภาพรวมของขั้นตอนCalibration Coordinate.....	37
3.13 รับภาพของGauge Reference plane(ด้านข้างและด้านหน้าของวัตถุ).....	38
3.14 มุม Pitch และ RollของReference plane.....	38
3.15 Reference plane Camera.....	39
3.16 Reference plane Camera.....	39
3.17 ภาพรวมของขั้นตอนวัดGauge Calibration.....	40
3.18 แสดงการจดจำภาพต้นแบบ.....	41
3.19 แสดงภาพรูปแบบอ้างอิง.....	41
3.21 ภาพการหาเส้นขอบบนของเกจด้านหน้า.....	41
3.22 Gauge Calibration มุมPitch.....	42
3.23 แสดงภาพรวมของขั้นตอนCalibration Offset gauge.....	42
3.24 รับภาพชิ้นงานต้นแบบ.....	43
3.25 แสดงการหาตำแหน่งกึ่งกลางวงกลม.....	43
3.26 แสดงฟังก์ชันการหาOffset.....	43
3.27 แสดงภาพรวมของขั้นตอนออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุมRSA.....	44
3.28 รับภาพชิ้นงานต้นแบบ.....	44
3.29 แสดงขั้นตอนการจํารูปแบบ.....	45
3.30 ภาพการหามุมRoll.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังผู้อื่นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.31 แสดงภาพรวมของการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุม PSA.....	46
3.32 ภาพจากกล้องด้านข้างวัตถุ.....	46
3.33 แสดงขั้นตอนการจดจำรูปแบบมุม Pitch.....	46
3.34 แสดงการหาขอบด้านข้างวัตถุ.....	47
3.35 แสดงการหาจุดตัดของมุม.....	47
3.36 แสดงการหาความสูงจากเส้นอ้างอิง.....	47
3.37 แสดงภาพรวมการออกแบบและสร้างส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	48
3.38 ภาพหน้าแรกของหน้าต่างโปรแกรม.....	48
3.39 ภาพหน้าต่าง Engineering Mode.....	49
3.40 แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรมโหมด Grid Calibration.....	49
3.41 แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรมโหมด Coordinate Setup(Side view).....	50
3.42 ภาพหน้าต่างโปรแกรมGauge Calibration(Front view).....	50
3.43 แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรมหา Slop Offset.....	51
3.44 แสดงภาพหน้าต่างโหมด Head Offset Calibration.....	51
3.45 แสดงภาพหน้าต่างโหมด Operation(1D).....	52
3.46 แสดงภาพหน้าต่างโหมด Operation(2D).....	52
4.1 Regression Analysis มุม Pitch ขอบบนของ Gauge.....	57
4.2 Regression Analysis มุม Pitch ขอบล่างของ Gauge.....	57
4.3 Regression Analysis มุม Roll ขอบบนของ Gauge.....	57
4.4 Regression Analysis มุม Roll ขอบล่างของ Gauge.....	58
4.5 Regression Analysis ค่าOffsetของ Gauge.....	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญในชีวิตประจำวันในเรื่องของการจัดเก็บข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการส่งออกของประเทศ ประเทศไทยส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอันดับต้นๆของโลกอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นอุตสาหกรรมที่จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักรกลในกระบวนการผลิตเป็นกำลังสำคัญ เครื่องจักรเหล่านี้จะทำงานตลอดเวลาและในแต่ละชั่วโมงเครื่องจักรกลเหล่านี้สามารถผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้เป็นจำนวนมาก แต่บ่อยครั้งที่ยอดการผลิตต้องลดลงเนื่องจากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากตัวบุคคลและเครื่องมือ ซึ่งข้อผิดพลาดดังกล่าวรวมไปถึงในเรื่องของมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ซึ่งการตรวจสอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่สามารถใช้การมองจากตามนุษย์ได้เนื่องจากมีขนาดเล็กดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์วัดที่มีความละเอียดแม่นยำมาใช้ในการวัดโดยการวัดดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธีเช่น ใช้สะท้อนจากอินฟราเรด ใช้หลักการประมวลผลภาพ [1]

ปัจจุบันกระประมวลผลภาพมีบทบาทและความสำคัญต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมมากขึ้น ความต้องการความแม่นยำและความรวดเร็วในการวัดเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้การแข่งขันทางเทคโนโลยีการประมวลผลภาพในอุตสาหกรรมมีมากขึ้นดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาแนวทางและความเป็นไปได้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยนำเอาเทคโนโลยีประมวลผลภาพมาใช้ในการตรวจสอบ จึงมีโครงการที่วัดมุมหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพแต่เนื่องจากปัจจุบันความต้องการความจุฮาร์ดดิสก์ต่อตัวเพิ่มขึ้นหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นผู้จัดทำจึงนำโครงการนี้มาพัฒนาต่อเพื่อให้สามารถวัดจำนวนได้มากขึ้นโดยใช้ระยะเวลาสั้นที่สุดมีฟังก์ชันแสดงผลตรวจสอบและฟังก์ชันสอบเทียบอัตโนมัติเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม VistionPro - COGNEX ร่วมกับ Microsoft Visual C#2010
2. เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเครื่องวัดมุมหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัดและตรวจสอบค่ามุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จำนวน 2Head และ 4Head ต่อตัว ในรูปของ HSA
2. .สอบเทียบค่าที่วัดจากโปรแกรมประมวลผลภาพกับเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
3. สร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลอง
4. เขียนโปรแกรมและสอบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐาน
5. วัดตรวจสอบค่าและเก็บข้อมูล
6. ประมวลและวิเคราะห์ผลข้อมูล
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ
8. จัดพิมพ์รายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และความเข้าใจถึงหลักการประมวลผลภาพโดยใช้ VistionPro - COGNEX ร่วมกับMicrosoft Visual C#2010
2. มีความรู้ความเข้าใจในเครื่องวัดมุมหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายการ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■			
2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง		■		
3. สร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลอง		■		
4. เขียนโปรแกรมและสอบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐาน			■	
5. วัดตรวจสอบค่าและเก็บข้อมูล			■	
6. ประมวลผลและวิเคราะห์ผลข้อมูล				■
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ				■
8. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์			■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

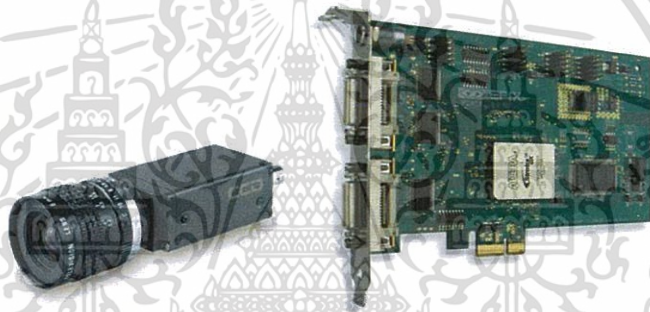
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุปกรณ์ในระบบตรวจจับแบบวีทัศน์

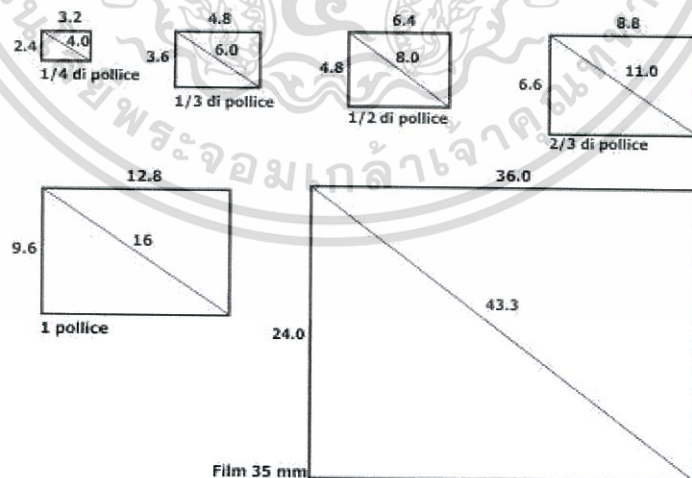
อุปกรณ์ในระบบตรวจจับแบบวีทัศน์ประกอบด้วย กล้อง เลนส์ ส่วนเชื่อมต่อหรือการ์ดในการแปลงสัญญาณกล้องเป็นดิจิทัลสายสัญญาณต่าง ๆ หลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดแสง [1]

2.1.1 กล้อง

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับภาพซึ่งมีด้วยกันหลายแบบ เช่น กล้องแบบมีการประมวลผลภาพภายในตัวกล้องแบบอนาล็อกและกล้องแบบดิจิทัลเป็นต้น รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างกล้องชนิดต่าง ๆ ปกติขนาดของกล้องจะกำหนดพารามิเตอร์แต่มีพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ขนาดของตัวตรวจจับภาพหรือที่เรียกว่า Image sensor ซึ่งแสดงขนาดปกติไว้ในรูปที่ 2.2 ขนาดของตัวตรวจจับภาพจะส่งผลโดยตรงต่อความละเอียดของกล้อง



รูปที่ 2.1 (ก) กล้องพร้อมเลนส์ (ข) Frame Grabberใช้ในการเชื่อมต่อกล้องเข้ากับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.2 ขนาดตัวตรวจจับภาพในกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์อีกชุดที่จำเป็นในการเลือกซื้อกล้องคือความเร็วกล้องหรือเฟรมต่อวินาทีในกล้องที่ต้องการความไวสูงจะต้องมีค่า fps หรือเฟรมต่อวินาทีที่สูงเช่น งานตรวจจับวัตถุแบบไม่หยุดเป็นต้น

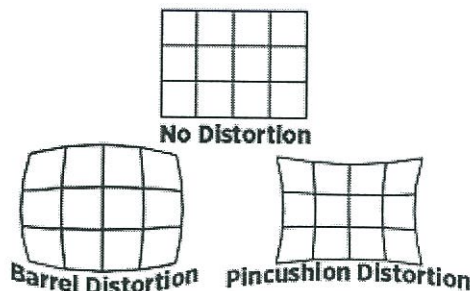
อัตราส่วนความคมชัด (Conteast Raio) นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่บ่งบอกถึงไดนามิกของกล้อง นิยามของค่านี้คืออัตราส่วนของความสว่างมากที่สุดต่อความสว่างน้อยที่สุดที่กล้องจับได้โดยปกติกล้องอุตสาหกรรมทั่วไปมี fps ประมาณ 25-30 HZ และมีค่าอัตราส่วนความคมชัดอยู่ที่ประมาณ 500:1 อย่างไรก็ตามหากในงานที่ตรวจจับวัตถุที่มีความไวหรือใช้ในงานกลางแจ้งที่มีการเปลี่ยนแปลงแสงมาก เช่น จราจร เป็นต้นอัตราส่วนความคมชัดของกล้องแบบนั้นจะอยู่ที่ 10,000:1 จนถึง 100,000:1 ซึ่งเป็นกล้องที่มีราคาแพง

คอมพิวเตอร์และการประมวลผลคอมพิวเตอร์นับว่ามีผลอย่างยิ่งต่อความเร็วในการประมวลผลซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในการใช้งานในอุตสาหกรรม ตัวอย่างของ CPU ความเร็ว 133MHz จะใช้เวลาในการคัดลอกรูปเท่ากับ 1.2 มิลิวินาทีในขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ 1.4 GHz จะใช้เวลาอยู่ที่ 0.109 มิลิวินาทีเป็นต้น

เลนส์ เป็นอุปกรณ์สำคัญในการปรับอัตราขยายและการปรับขนาดภาพสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเลือกเลนส์คือพื้นที่ของมุมมองเห็นหรือ Field of View (FOV) กับความลึกของสนามหรือ Depth of Field เป็นการกำหนดว่าวัตถุจะมีค่าห่างจากกล้องได้ในระยะเท่าใดจึงจะไม่ทำให้ภาพเบลอไปปกติค่าอัตราขยายหรือ magnification จะคำนวณจาก

$$m = W_{camera}/W_{FOV} \quad (2.1)$$

มีเลนส์ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เทเลเซนทริกเลนส์ เป็นเลนส์ที่มีความยาวมากแต่ใช้งานเมื่อมีวัตถุขนาดเล็กเลนส์ประเภทนี้เหมาะกับงานอุตสาหกรรมที่ต้องการวัดชิ้นส่วนขนาดเล็กมากและไม่ต้องการให้กล้องอยู่ในวัตถุ หลักการทำงานของเลนส์ชนิดนี้คือเลนส์จะมีขนาดใหญ่และภาพจะไม่เปลี่ยนแม้ว่าวัตถุจะมีระยะห่างจากกล้องเท่าใดก็ตามเลนส์แบบเทเลเซนทริกเป็นเลนส์ที่ให้ภาพที่ไม่มีบิดเบี้ยวน้อยที่สุดสาเหตุที่ภาพบิดเบี้ยวไปเนื่องจากเลนส์ที่เราใช้งานมีความโค้งดังนั้นจากทฤษฎีของแสงที่อธิบายได้ว่าแสงที่ผ่านมายังเลนส์ซึ่งไม่ใช่แสงขนานจะเกิดการหักเหที่ผิดเพี้ยนไป

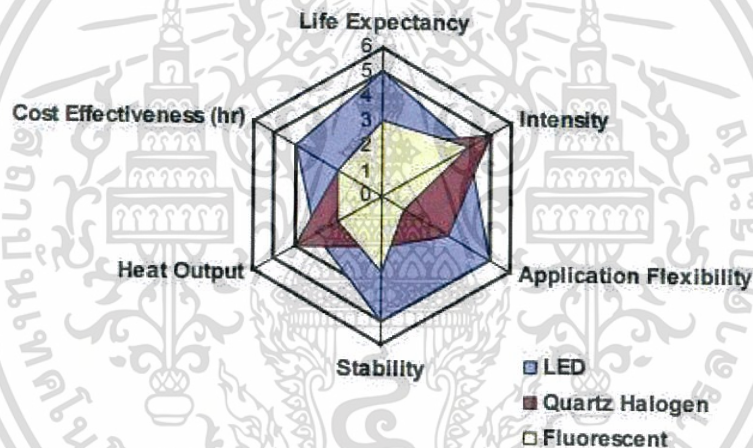


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้รับรู้เด็ดขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา การวิจัย การพัฒนา หรือการดำเนินงานอื่น ๆ ได้โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง แหล่งกำเนิดแสงจะมาพร้อมอุปกรณ์ประกอบเช่น ตัวหรีแสง ขาดัง ฯลฯ ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงจะมีหลายแบบขึ้นกับชนิดของหลอด โดยปกติมีประเภทดังนี้

- ก. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent)
- ข. หลอดควอตซ์ฮาโลเจน (Quartz Halogen)
- ค. หลอดแอล อี ดี (Light Emitting Diode)
- ง. หลอดเมอคิวรี่ (Mercury)
- จ. หลอดซีนอน (Xenon)
- ฉ. หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)

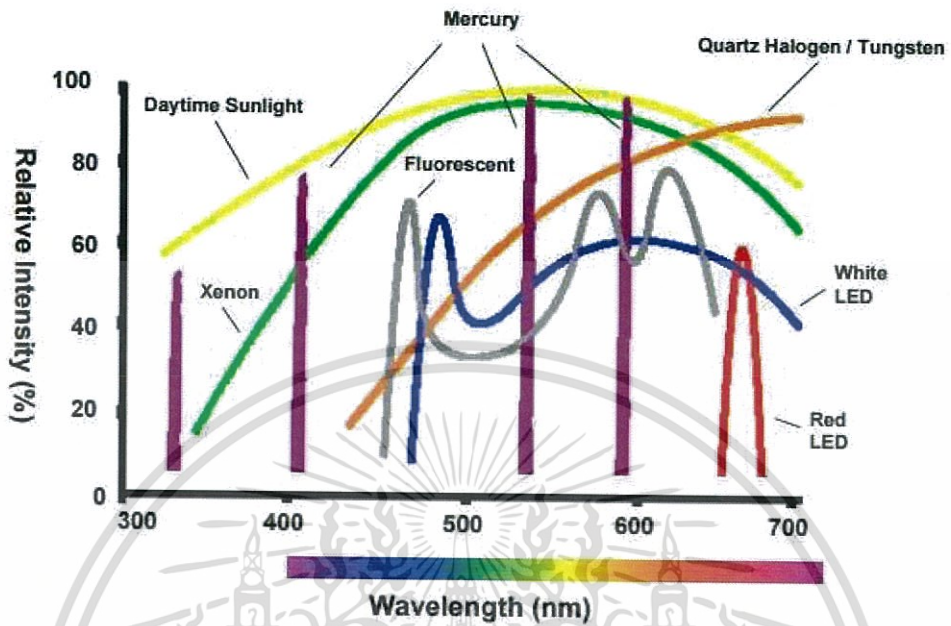
อายุการใช้งาน ราคา ความสว่างความง่ายในการประยุกต์ใช้ความเสถียรของแสงเมื่อเวลาผ่านไป ความร้อนแสดงในรูปที่ 2.4 จากรูป จะเห็นได้ว่าหลอด LED จะมีอายุการใช้งานที่ดีกว่าแต่ความสว่างจะน้อยกว่า หลอดควอตซ์ฮาโลเจน (Quartz Halogen)



รูปที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียของหลอดไฟแต่ละประเภทแสดงเป็นกราฟเพชร[2]

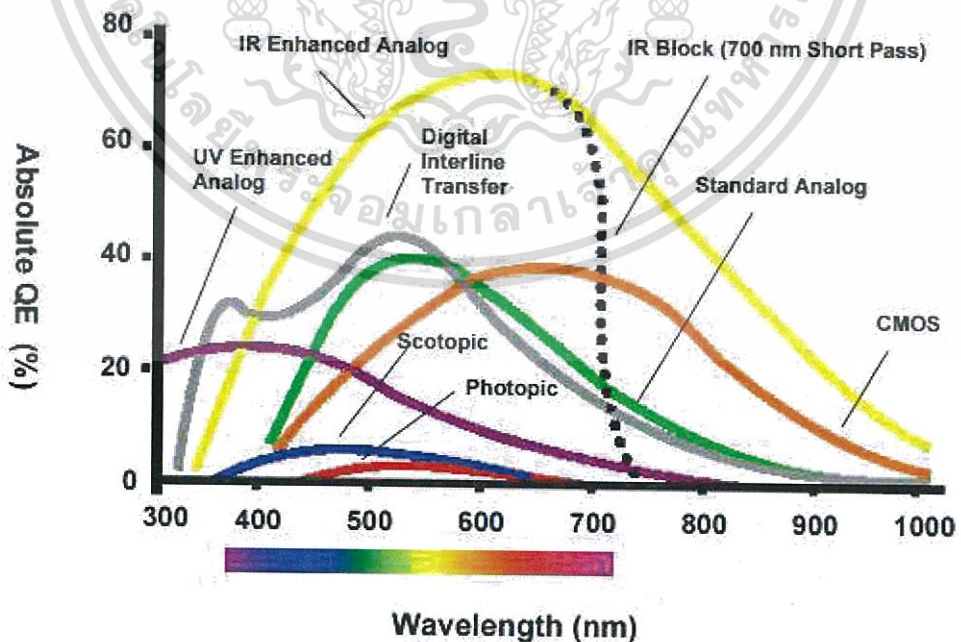
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 จะแสดงค่าสเปกตรัมของแสงที่ได้ออกมาจากหลอดชนิดต่างๆ ซึ่งจากกราฟพบว่า หลอดแต่ละประเภทและแต่ละสีจะให้ค่าสเปกตรัมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมที่ออกมาจากหลอดชนิดต่าง ๆ [2]

สเปกตรัมของแสงเหล่านี้จะสามารถนำไปใช้ให้เหมาะกับกล้องชนิดต่างๆ ได้สำหรับกราฟ แสดงการรับภาพสเปกตรัมต่างๆ เมื่อเทียบกับกล้องชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมกล้องที่ได้รับ[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรพิจารณาในการเลือกชนิดและสีของหลอดกับชนิดของกล้องคือให้ค่าสูงสุดของการส่องสว่างมีสเปกตรัมเดียวกับค่าสูงสุดของการรับภาพของกล้อง โดยแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะมีลักษณะที่ต่างกันไปควรเลือกตามการใช้งาน


ตารางที่ 2.1 แสดงแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

ชื่อ	ภาพ	ลักษณะการใช้งาน
Ring Light		อุปกรณ์ให้แสงแบบ Ring Light ชนิดมุมแสงตกกระทบสูง (Direct Light) ซึ่งจะให้ ความเข้มของแสงสว่างสูง บริเวณส่วนกลางของชิ้นงาน จึงเหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไป
Low-angle Ring Light		อุปกรณ์ให้แสงแบบ Ring Light ชนิดมุมแสงต่ำ (Low-angle Light) เหมาะสำหรับ งานที่ต้องการเน้นขอบของ ชิ้นงานรอยขีดข่วนหรือสิ่ง สกปรกที่อยู่บนผิวของชิ้นงาน
Bar Light		อุปกรณ์ให้แสงแบบแท่งจะ ประกอบไปด้วย LEDs หนาแน่นบนแผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์ เป็นรุ่นที่ให้ ความยืดหยุ่นในการติดตั้ง มากและเหมาะสำหรับการใช้ งานหลากหลายประเภท เพราะว่าสามารถที่จะเชื่อมต่อของแสงได้อย่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flat-ring Lights		<p>อุปกรณ์ให้แสงชนิด Ring Light แบบ Flat ซึ่งสามารถที่จะให้ปริมาณแสงสม่ำเสมอผ่านแผ่นกรองแสงเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความสม่ำเสมอของไฟทั่วๆกันบนผิวของชิ้นงาน</p>
Back Lights		<p>อุปกรณ์ให้แสงแบบไฟหลังเหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่ต้องการแสงสว่างจากด้านหลังของชิ้นงาน</p>
Dome Light		<p>อุปกรณ์ให้แสงชนิดโดม ซึ่งสามารถที่จะให้แสงได้สม่ำเสมอเป็นอย่างมากเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความสม่ำเสมอของแสงบนชิ้นงานสูงและยังสามารถใช้งานกับงานที่มีลักษณะผิวไม่เรียบหรือผิวมันวาวโดยไม่ก่อให้เกิดเงา</p>
Spotlights		<p>น้ำหนักเบากระทัดรัดและใช้พลังงานต่ำเป็นคุณสมบัติของสปอตไลท์เหล่านี้มีความที่หลากหลายของการใช้งาน</p>
Coaxial Lights		<p>เหมาะกับพื้นผิวชิ้นงานที่สะท้อนแสงสูงสามารถส่องสว่างสม่ำเสมอกับหน่วยแสงเหล่านี้Coaxialเหมาะสำหรับการถ่ายภาพรอยขีดข่วนและรอยบุบหรือตัวอักษร</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

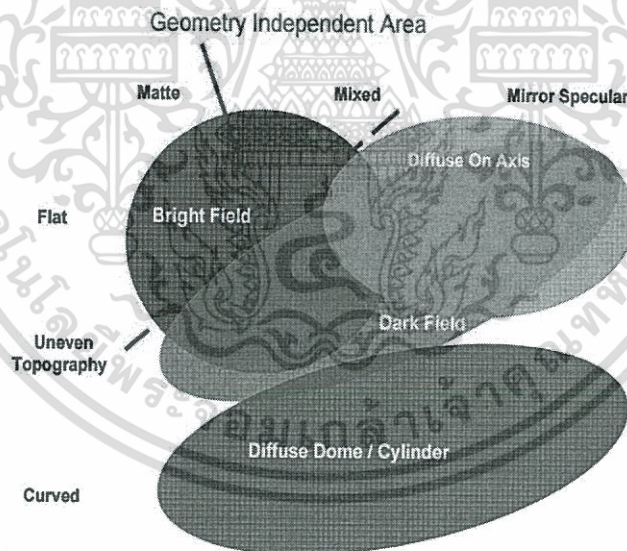
Ultraviolet Lights		ใช้ไฟ LED เดิมที่มีการปล่อยความยาวคลื่น 365nm เหมาะการถ่ายภาพโดยใช้ความแตกต่างในอัตราการกระเจิง
--------------------	---	---

2.1.2 การให้แสงและเทคนิคเบื้องต้นในการให้แสง

เป้าหมายของการให้แสงและเทคนิคการให้แสงเพื่อให้เกิดสิ่งต่อไปนี้มากที่สุด

- ก. เพื่อให้เกิดความคมชัดเกิดขึ้นที่วัตถุหรือสิ่งที่ต้องการวัดมากที่สุด
- ข. เพื่อลดความคมชัดบริเวณที่ไม่ต้องการตรวจจับ
- ค. เพื่อให้เกิดความคงทนในการวัดระบบมีความเชื่อถือมากที่สุด

การจัดแสงนั้น พื้นผิวของวัตถุที่ต้องการตรวจจับนับว่ามีความสำคัญต่อการวัดเป็นอย่างมาก ในบางครั้งตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงติดตั้งไม่เหมาะสมภาพที่ได้อาจจะไม่สามารถนำไปประมวลผลได้หรืออาจไม่บรรลุวัตถุประสงค์ของการให้แสงทั้งสาข้อ้างต้นเทคนิคการให้แสงกับพื้นผิวมีความสัมพันธ์กันตามรูป 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคการให้แสง พื้นผิววัตถุและลักษณะของผิว[2]

ตัวอย่างเช่น หากต้องการให้แสงกับวัตถุที่มีผิวโค้งเทคนิคการให้แสงแบบกระเจิงแสงรูปโดม (Diffuse Dome) จะเหมาะสมที่สุดเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

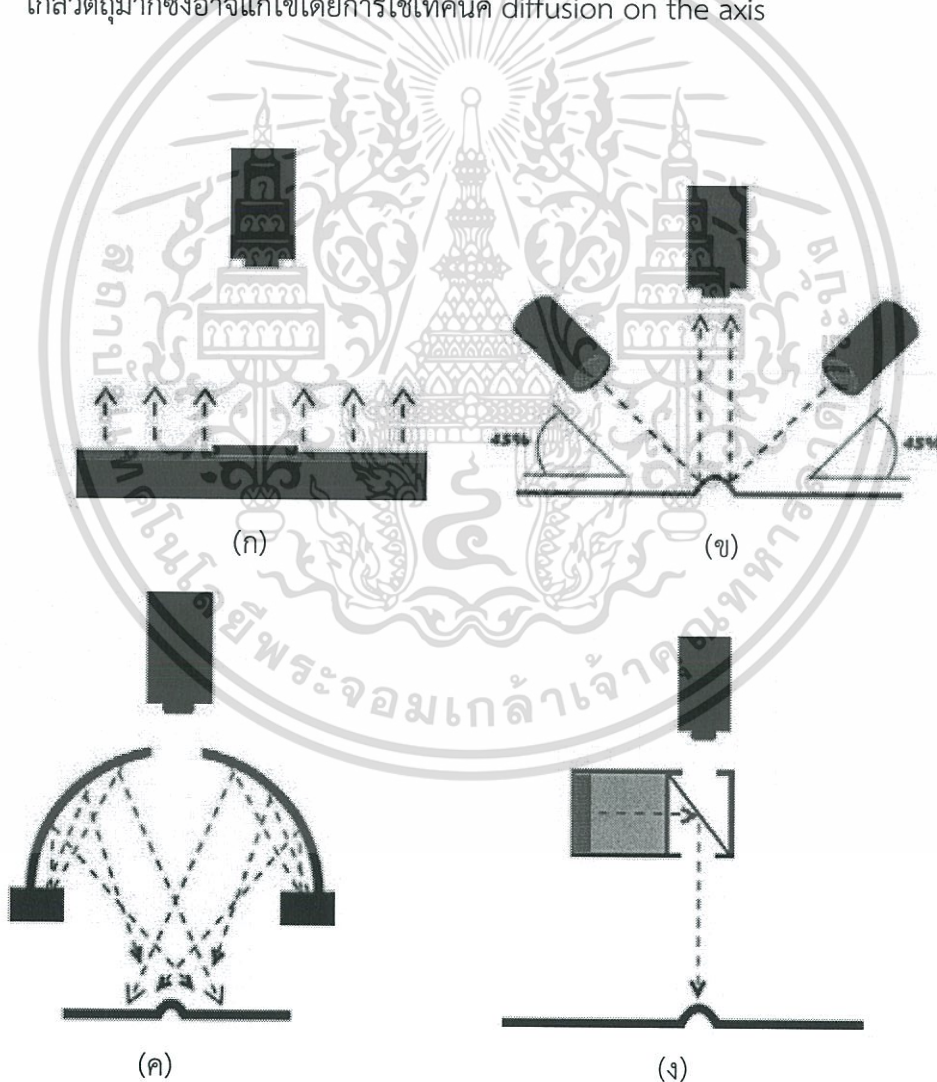
รายละเอียดของเทคนิคการให้แสงแต่ละแบบมีดังนี้

ก. เทคนิคการให้แสงด้านหลัง(Back Lighting) ลักษณะแสงจะยิงผ่านทางด้านหลังของวัตถุในที่จะให้เห็นวัตถุเป็นสีดำเทคนิคนี้เหมาะอย่างมากในงานนักรูและงานที่สามารถวางแสงไว้ด้านหลังวัตถุได้โดยมากใช้ตรวจจับการมีหรือไม่มีวัตถุ

ข. เทคนิคการให้แสงโดยตรง(Bright Field) เป็นการให้แสงโดยตรง เหมาะกับการต้องการความเข้มแสงมากใช้กับงานวัตถุที่มีผิวเรียบและสะท้อนแสงไม่มาก

ค. เทคนิคการให้แสงแบบมืด(Dark Field) เหมาะกับวัตถุที่ไม่เรียบแต่ไม่ถึงกับโค้งหรือวัตถุที่ค่อนข้างผิวสะท้อนแสงเช่นโลหะเป็นต้น

ง. เทคนิคการให้แสงแบบกระเจิง(Diffuse Lighting)เหมาะกับการงานที่วัตถุมีผิวสะท้อนแสงมากหรือผิวโค้งที่มีโอกาสสะท้อนแสงสูง ข้อเสียของเทคนิคนี้คือแหล่งกำเนิดต้องใกล้วัตถุมากซึ่งอาจแก้ไขได้โดยการใช้เทคนิค diffusion on the axis

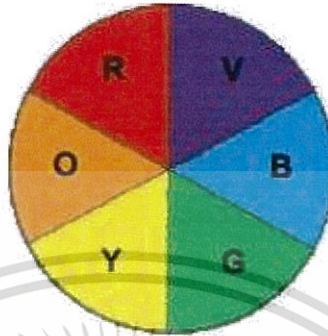


รูปที่ 2.8 การให้แสงแบบต่าง ๆ (ก)แบบด้านหลัง(Back Lighting)(ข) Dark Field(ค)แบบกระเจิงแสงแบบโดม(ง)แบบกระเจิงแสงแบบบนแกน[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

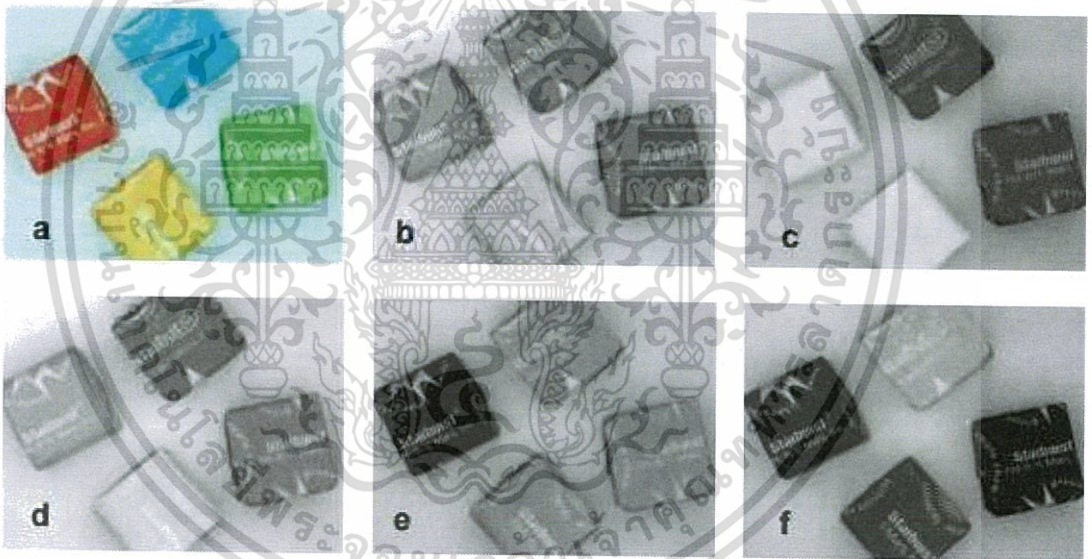
2.1.3 สีและการมองเห็น

สีนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการจัดระบบวิทัศน์การให้สีที่เหมาะสมสามารถจะกรองสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากสิ่งที่ต้องการได้ทางหนึ่งในการวิเคราะห์สามารถใช้ทฤษฎีสีตามวงกลมในรูปที่ 2.9 [1]



รูปที่ 2.9 วงกลมสี[2]

ตัวอย่างของผลของกาให้แสงแสดงดังรูป 2.10[2]



- รูปที่ 2.10
- (a) ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีขาวและกล้องสี
 - (b) ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีขาวและกล้องเทา (กล้องขาวดำ)
 - (c) ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีแดงและกล้องเทา (กล้องขาวดำ)
 - (d) ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีแดงและเขียวและกล้องเทา (กล้องขาวดำ)
 - (e) ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีเขียวและกล้องเทา (กล้องขาวดำ)
 - (f) ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีน้ำเงินและกล้องเทา (กล้องขาวดำ)

จากรูปจะพบว่า ในรูป 1.9b สีขาวจะประกอบด้วยทุกสีดังนั้นภาพจึงปรากฏทุกสีในกล้องแบบขาวดำ
 ในรูป 1.9c ภาพลูกอมสีแดงและเหลืองจะสว่างขึ้นเพราะใช้แสงสีแดง ส่วนลูกอมที่เป็นสีน้ำเงินและเขียวจะมีดลง พิจารณาได้จากวงกลมสีซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน(กล้องขาวดำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 1.9d ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีแดงและเขียวรวมกันเป็นเหลืองทำให้ลูกอมที่มีสีเหลืองเข้มสุด

ในรูปที่ 1.9e ภาพลูกอมที่ใช้แสงสีเขียวลูกอมที่มีสีเขียวและน้ำเงินจะสว่างส่วนสีแดงจะจางลง

2.2.การประมวลผลภาพ(Image Processing)

Image Processing คือการนำเสนอรายละเอียดของวัตถุ (Object) โดยการจับเอาหรือถ่ายเท (Manipulation) รายละเอียดของภาพที่ได้จากวัตถุเพื่อนำรายละเอียดของภาพเหล่านั้นไปทำประโยชน์ให้มากยิ่งขึ้นวิธีการทาง Image Processing จะต่างกับวิธีการทาง Computer graphic กล่าวคือ วิธีการทาง Computer graphic ตัวคอมพิวเตอร์เองที่จะเป็นตัวที่สร้างภาพแต่เทคนิคทาง Image Processing นั้นใช้คอมพิวเตอร์สำหรับจัดเก็บข้อมูล

2.3พื้นฐานทั่วไปเกี่ยวกับรูปภาพ

2.3.1 ชนิดของรูปภาพทั่วไป

รูปภาพสามารถแบ่งตามวิธีการจัดเก็บทั่วไปได้เป็น 2 ชนิด ใหญ่ๆดังนี้ คือ

1.รูปภาพแบบเวกเตอร์ (Vector Graphic) เป็นรูปภาพที่ไม่ขึ้นกับความละเอียดของภาพเนื่องจากภาพชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นจากสมการของเส้นต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเส้นตรงเส้นโค้งเมื่อทำการย่อขยายรูปภาพแบบนี้คอมพิวเตอร์จะทำการคำนวณรูปภาพใหม่ทำให้ภาพคมชัดเสมอ

2. รูปภาพแบบบิตแม็พ (Bitmap Image) เป็นรูปภาพที่เกิดจากจุดเล็กๆประกอบกันขึ้นมาจนเห็นเป็นภาพคุณภาพของรูปภาพชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดหากภาพมีความละเอียดมากก็จะยิ่งชัดเจนมากขึ้นเมื่อทำการย่อขยายรูปภาพ

คอมพิวเตอร์จะทำการขยายภาพขึ้นด้วยความละเอียดที่มีอยู่ทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะหยาบ

2.3.2 พิกเซล (Pixel) และด็อท (Dot)

พิกเซล คือจุดที่เล็กที่สุดของภาพพิกเซลหนึ่งสามารถแสดงได้หลายสีส่วนด็อทคือจุดที่เล็กที่สุดที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์การสร้างพิกเซลขึ้นมาหนึ่งพิกเซลจะต้องใช้ด็อทหลายด็อทเพื่อทำให้เกิด ภาพ ความเข้มและสีต่าง ๆ กันหน่วยด็อทต่อนิ้ว (dpi) จะใช้บอกความละเอียดของเครื่องพิมพ์ส่วนหน่วยพิกเซลต่อนิ้ว (ppi) จะใช้บอกความละเอียดของเครื่องสแกนและจอภาพ

2.3.3 ความละเอียดของภาพ

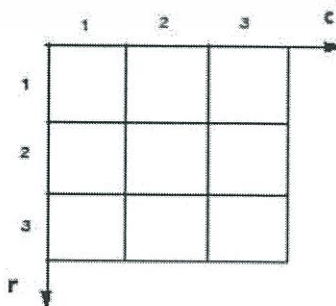
ความละเอียดของภาพเป็นสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของภาพนั้นหน่วยที่นิยมใช้บอกถึงความละเอียดของภาพคือพิกเซลต่อนิ้ว (Pixel/Inch) ค่านี้บอกให้ทราบว่าภาพมีจำนวนพิกเซลกี่พิกเซลในหนึ่งนิ้ว แล้ว ยังสามารถคำนวณหาจุดทั้งหมดของภาพได้อีกด้วย

2.3.4 แบบจำลองของสี (Color Model)

เป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับสีที่แสดงบนหน้าจคอมพิวเตอร์ แต่รูปแบบของสีโดยทั่วไปที่พบในรูปภาพแบบบิตแม็พมักจะเป็น RGB หรือเรียกว่าAdditive Model ซึ่งเป็นรูปแบบสีที่ถูกใช้ในการควบคุมการแสดงผลออกทางหน้าจอมากที่สุด แต่ละพิกเซลจะประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วนที่แสดงด้วยตัวเลขที่ใช้แทนค่าสีแดง(Red)เขียว(Green)น้ำเงิน(Blue) ค่าสีที่แสดงออกมาแต่ละสีจะถูกสร้างขึ้นโดยรวมองค์ประกอบสีทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกันในแต่ละองค์ประกอบค่า 0 หมายถึงไม่มีสี และค่าที่สูงที่สุดคือ 255 แสดงถึงค่าความเข้มสีทั้งหมดขององค์ประกอบสีนั้นถ้าในแต่ละองค์ประกอบมี 8 บิต (0 ,0,0) จะหมายถึงสีดำ(255 ,0,0) หมายถึงสีแดงและ (255 ,255,255) หมายถึงสีขาว นั่นคือในแต่ละพิกเซลจะถูกเก็บในหน่วยความจำด้วยขนาด 24 บิต

2.3.5 ความรู้พื้นฐานด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัลจะเกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลเพื่อที่จะสามารถนำเอาข้อมูลนี้ไปผ่านกระบวนการต่างๆด้วยคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งการทำงานของคอมพิวเตอร์ระบบการรับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกจะอยู่ในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น ในการประมวลผลภาพดิจิทัลเมื่อระบบได้รับข้อมูลภาพเข้าไปแล้วจะทำการคำนวณและส่งออกมาเป็นข้อมูลที่ใช้แทนข้อมูลภาพดิจิทัลเหล่านั้นการเก็บข้อมูลภาพลงหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สามารถทำได้โดยการจองหน่วยความจำของเครื่องไว้ในรูปแบบของตัวแปร array ดังรูปที่ 2.11 โดยค่าในแต่ละช่องจะแสดงถึงคุณสมบัติของจุดภาพ (pixel) และตำแหน่ง ของช่อง array เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของจุดภาพ



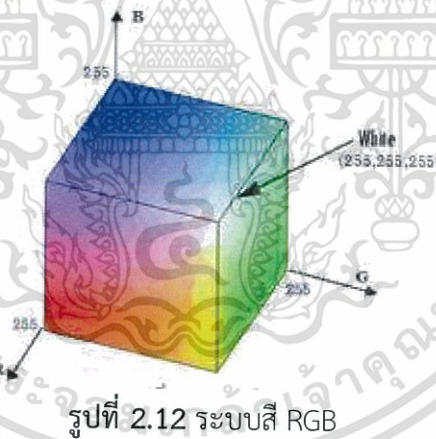
รูปที่ 2.11 พิกัดของระบบภาพดิจิทัล 1/4 ของแบบ double array

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแปลงภาพเป็นภาพขาวดำมีขั้นตอนคือแปลงภาพสีเป็น Gray scale แล้วแปลงภาพ Gray scale เป็นภาพขาวดำอีกทีการแปลงภาพ Gray scale เป็นภาพขาวดำจำเป็นต้องกำหนดค่า Threshold เพื่อให้ได้ภาพขาวดำที่เหมาะสมค่า Threshold มีไว้สำหรับกำหนดว่าค่าความสว่างของรูปในแต่ละ Pixel เมื่อแปลงเป็นภาพขาวดำแล้ว Pixel ดังกล่าวควรจะเป็นสีดำหรือสีขาวตัวอย่างเช่น เรากำหนดค่า Threshold ไว้ที่ 128 แล้วอ่านค่าความสว่างใน Pixel แรกของรูปได้ 200 ดังนั้นเมื่อทำการแปลงเป็นภาพขาวดำแล้ว Pixel แรกนี้จะต้องเป็นสีขาว เป็นต้น Gray scale ไม่ใช่ภาพภาพขาวดำแต่ความจริงแล้ว Gray scale เป็นภาพที่มีระดับของความสว่างอยู่โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 0-255 ภาพ Gray scale ก็คือภาพที่มีค่าสี R,G,B เท่ากันหมดส่วนภาพขาวดำมีแค่ 0 กับ 1

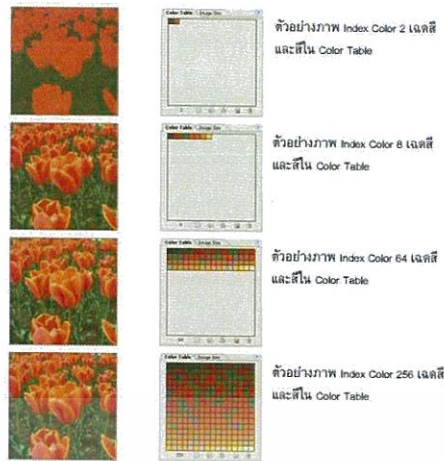
2.3.6 โหมดสีต่าง ๆ ของรูป ภาพ

1. อาร์จีบีคัลเลอร์ (RGB Color) เป็นโหมดที่ใช้แกนแนลสีจำนวน 3 สีคือ แดง เขียว และน้ำเงิน โดยแต่ละสีจะมีการไล่ลำดับสีได้ถึงระดับ 256 ระดับ เมื่อรวมกันทั้ง 3 สีจะสามารถแสดงสีได้สูงถึง 16.7 ล้านสีโหมดนี้เป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับการตกแต่งสีเพราะสามารถแทนสีได้มากและยังเป็นโหมดสีเดียวที่ใช้ในจอมอนิเตอร์อีกด้วย



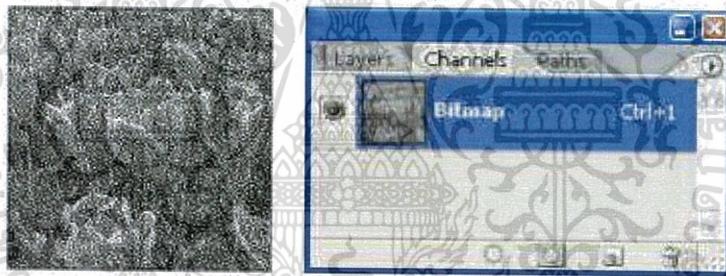
2. อินเด็กซ์คัลเลอร์ (Indexed Color) เป็นโหมดสีที่ใช้ในตารางในการเทียบสีโดยใช้ข้อมูลจำนวน 8 บิตต่อพิกเซลนั่นคือภาพในโหมดนี้สามารถแสดงได้สูงสุดได้เพียง 256 สีต่อพิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



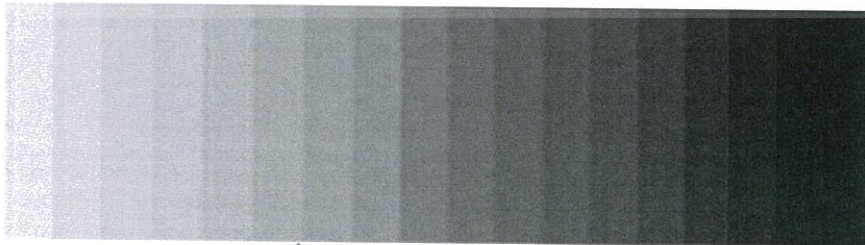
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างระบบสี Indexed Color

3. บิตแมพ (Bitmap) เป็นโหมดสีที่มีการเก็บข้อมูลของสีเพียง 1 บิตต่อพิกเซลนั่นคือรูปภาพในโหมดนี้สามารถแสดงได้เพียงสีขาวและสีดำทำให้ภาพที่ได้มีความหยابมากที่สุดแต่ข้อดีของโหมดนี้คือ ได้ไฟล์รูปภาพที่มีขนาดเล็กและเหมาะสำหรับภาพลายเส้น



รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างระบบสี Bitmap

4. เกรย์สเกล (Gray Scale) เป็นโหมดสำหรับภาพขาวดำสามารถไล่เฉดสีได้ถึง 256 ลำดับ แม้ว่าโหมดนี้จะมีการใช้ข้อมูล 8 บิต ในการเก็บข้อมูลสำหรับ 1 พิกเซลเหมือนโหมด Indexed Color แต่ก็ไม่ได้ใช้ตารางในการอ้างค่าสี



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างระบบสี Gray Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพระดับสีเทาจะมีการไล่ระดับความอ่อนแก่ของสีซึ่งอยู่ระหว่างสีขาวและสีดำ Halftone Image อย่างต่อเนื่องโดยที่ค่าแต่ละพิกเซลของภาพจะหมายถึงความเข้มแสงแต่ละตำแหน่งของพิกเซลที่อยู่ในรูประดับสีเทา การเปลี่ยนภาพจากระบบสีอาร์จีบี (RGB) เป็นระดับสีเทา (Gray Scale) จะใช้สมการดังนี้ในการเปลี่ยน

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B \tag{2.2}$$

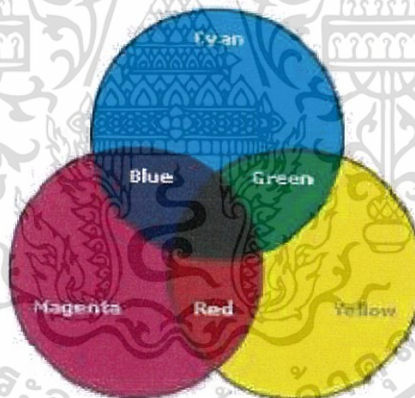
โดย Y แทน ค่าระดับสีเทา ณ จุดพิกเซล ที่เราต้องการหา

R แทน ค่าสีแดง ณ จุด ที่ต้องการหา

G แทน ค่าสีเขียว ณ จุด ที่ต้องการหา

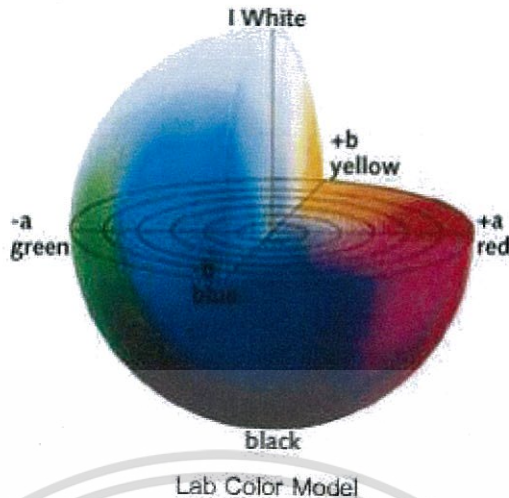
B แทน ค่าสีน้ำเงิน ณ จุด ที่ต้องการหา

5. ซีเอ็มวายเค (CMYK) เป็นโหมดสีที่มีแกนแนลสีจำนวน 4 สี คือฟ้าบานเย็นเหลืองดำ โดยแต่ละสีเก็บข้อมูล 8 บิตนั่นหมายความว่าในโหมดนี้ต้องใช้ถึง 32 บิตต่อพิกเซล โหมดนี้ใช้มากในกระบวนการพิมพ์แต่ข้อเสียของโหมดนี้คือไม่สามารถแสดงสีทั้งหมดที่มีในธรรมชาติได้



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างระบบสี CMYK

6. แอลเอบีคัลเลอร์ (LAB Color) เป็นโหมดที่ให้สีเหมือนจริงมากที่สุด โดยโหมดนี้จะใช้ค่า L (lightness) แทนความสว่างโดยมีค่า ตั้งแต่ 0 ถึง 100 ค่า A แทนสีเขียวถึง สี ดง และค่า B แทนสีน้ำเงินถึงสีเหลืองค่าทั้งสองจะมีค่าตั้งแต่ -120 ถึง +120



รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างระบบสี LAB Color

2.4 ไฟล์ภาพ

ไฟล์ฟอร์แมตของรูปภาพดิจิทัล(Digital Image File Format) ไฟล์ฟอร์แมตของรูปภาพจะแบ่ง เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ Bitmapped Format และ Vector Format แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ Bitmapped Format ซึ่งเป็นฟอร์แมตของรูปภาพที่เก็บข้อมูลดิจิทัลของรูปภาพทั้งหมด ส่วน Vector Format จะเก็บข้อมูลแต่ละองค์ประกอบของภาพแยกออกจากกัน

1. วินโดว์บีเอ็มพีฟอร์แมต (Window BMP Format) เป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานที่ใช้กันทั่วไปในวินโดวส์ไฟล์รูปแบบนี้รองรับโหมดสีแบบ RGB, Indexed Color, Gray Scale และ Bitmap เป็นรูปภาพในวินโดว์ที่มีการเก็บข้อมูล 4 บิต และ 8 บิต ต่อหนึ่งพิกเซล

2. พีซีเอกซ์ฟอร์แมต (PCX Format) เป็นรูปแบบที่ใช้กับเครื่อง IBM Compatible ซึ่งโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปจะรองรับ ไฟล์ PCX Version 5 ไฟล์ PCX รองรับโหมดสีแบบ RGB, Indexed Color, Gray Scale และ Bitmap

3. จีไอเอฟฟอร์แมต(GIF Format: Graphics Interchange Format) เป็นไฟล์ที่ใช้กันมากเพื่อแสดงภาพที่อยู่ในโหมด Indexed Color และรูปภาพที่เป็นไฟล์เอกสารแบบ HTML (Hypertext Markup Language) ซึ่งใช้กัน มากในเว็บไซด์และบริการออนไลน์ต่าง ๆ ไฟล์แบบนี้จะใช้วิธีบีบอัดแบบ LZW ทำให้ไฟล์มีขนาดเล็กและสามารถส่งผ่านระบบเครือข่ายได้รวดเร็ว GIF รองรับโหมดสีแบบ Bitmap Mode, Gray Scale และ Indexed Color

4. ทีไอเอฟเอฟ (TIFF: Tagged-Image File Format) ถูกใช้ในการแลกเปลี่ยนไฟล์ระหว่างโปรแกรมและแพลตฟอร์มของเครื่องรุ่นต่าง ๆ ไฟล์ TIFF รองรับโหมดสีแบบ CMYK, RGB, Gray Scale, LAB, IndexedColor และ Bitmap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปลงข้อมูลภาพในสองมิติ

การแปลงข้อมูลภาพ (Image Transformation) เป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับการประมวลผลภาพเนื่องจากเป็นกระบวนการที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ภาพ (Digital Image Analysis) ในบทนี้จะกล่าวถึงการแปลงข้อมูลภาพในระบบพิกัดสองมิติเท่านั้น

2.5.1 การแปลงข้อมูลภาพแบบพื้นฐาน

การแปลงข้อมูลภาพพื้นฐานแบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

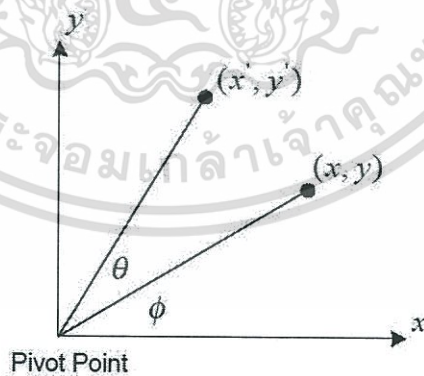
1. การเลื่อนภาพ(Translation) เป็นการเลื่อนตำแหน่งของภาพตามระยะการกระจัดทางแนวแกน x (T_x)และตามแนวแกน y (T_y) เมื่อกำหนดให้พิกัดเดิมคือ (x, y) และพิกัดใหม่คือ (x', y') จะได้สมการของการเลื่อนภาพดังนี้คือ

$$\begin{aligned}x' &= x + T_x \\y' &= y + T_y\end{aligned}\quad (2.3)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกได้มีลักษณะดังนี้คือ $P' = P + T$ เมื่อ

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ } T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \end{bmatrix}\quad (2.4)$$

2. การหมุนภาพ(Rotation)เป็นการหมุนภาพในระนาบ xy เมื่อจุดศูนย์กลางการหมุน (Pivot Point) อยู่ที่จุดเริ่มต้น(Origin)



รูปที่ 2.18 การหมุนจุด (x,y) รอบจุดเริ่มต้น

จากรูปที่ 2.17 จะได้ว่า

$$\begin{aligned}x &= r \cos(\phi) \\y &= r \sin(\phi)\end{aligned}\quad (2.5)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}x' &= r \cos(\phi + \theta) = r (\cos \phi \cos \theta - \sin \phi \sin \theta) \\y' &= r \sin(\phi + \theta) = r (\sin \phi \cos \theta + \cos \phi \sin \theta)\end{aligned}\quad (2.6)$$

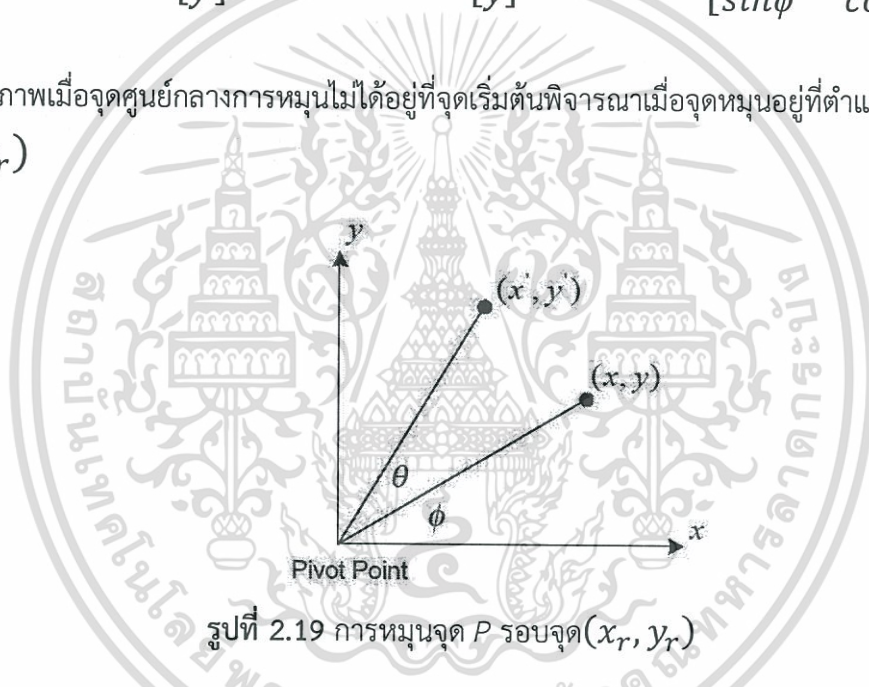
เพราะฉะนั้นจากสมการที่ (2.5) และ (2.6) จะได้สมการของการหมุนรอบจุดเริ่มต้นดังนี้

$$\begin{aligned}x' &= x \cos(\theta) - y \sin \theta \\y' &= x \sin(\theta) + y \cos \theta\end{aligned}\quad (2.7)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูป แบบของเมตริกได้ดังนี้ $P' = R.P$ เมื่อ

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad R = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

การหมุนภาพเมื่อจุดศูนย์กลางการหมุนไม่ได้อยู่ที่จุดเริ่มต้นพิจารณาเมื่อจุดหมุนอยู่ที่ตำแหน่ง (x_r, y_r)



รูปที่ 2.19 การหมุนจุด P รอบจุด (x_r, y_r)

วิธีการในการหมุนภาพเมื่อจุดหมุนไม่ได้อยู่ที่จุด Origin สามารถทำได้ดังนี้คือ

- ทำ การเปลี่ยนจุด Pivot ไปยังจุด Origin

$$x_1 = x - x_r$$

$$y_1 = y - y_r$$

(2.9)

- ทำ การหมุนรอบจุด Origin ย้ายกลับไปยังจุดเดิมโดยการบวกด้วย x_r และ y_r สมการการหมุนรอบจุด Pivot ไต ๆ ที่ไม่ใช่จุด Origin มีลักษณะดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}x' &= (x - x_r) \cos\theta - (y - y_r) \sin\theta + x_r \\y' &= (x - x_r) \sin\theta + (y - y_r) \cos\theta + y_r\end{aligned}\quad (2.10)$$

3. การย่อและขยายภาพ (Scaling) การย่อและการขยายภาพสามารถทำได้โดยใช้ Scaling factor ได้แก่ S_x และ S_y ซึ่งใช้สำหรับการย่อและการขยายภาพในทางแกน x และ y ตามลำดับ โดยถ้า

$0 < S_x, S_y < 1$ แสดงว่าเป็นการย่อภาพ

$S_x, S_y > 1$ แสดงว่าเป็นการขยายภาพ

$S_x = S_y$ แสดงว่าย่อและขยายจะเป็นไปตามสัดส่วน

$S_x \neq S_y$ แสดงว่าย่อและขยายจะไม่เป็นอัตราส่วน

สมการของการ Scaling จะมีลักษณะดังนี้

$$\begin{aligned}x' &= x \cdot S_x \\y' &= y \cdot S_y\end{aligned}\quad (2.11)$$

ดังนั้นย่อและขยายภาพโดยใช้เมตริกจะมีลักษณะดังนี้คือ $P' = S \cdot P$ เมื่อ

$$P' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad S = \begin{bmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{bmatrix}\quad (2.12)$$

สังเกตว่าการย่อขยายภาพโดยใช้สมการที่ 7.10 จะทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของภาพการย่อและขยายภาพเมื่อจุด Fixed ไม่ได้อยู่ที่จุด Origin วิธีการในการย่อและขยายภาพเมื่อจุด Fixed ของการย่อและขยายไม่ได้อยู่ที่จุด Origin สามารถทำได้ดังนี้คือ

- ให้ย้ายตำแหน่งไปยังจุด Origin
- ทำ การย่อและขยายรอบจุด Origin
- ย้ายไปยังจุด Fixed Point เหมือนเดิม

ซึ่งจะได้สมการของย่อและขยายภาพดังนี้คือ

$$\begin{aligned}x' &= (x - x_f) S_x + x_f \\y' &= (y - y_f) S_y + y_f\end{aligned}\quad (2.13)$$

จะแปลงได้เป็นดังนี้คือ

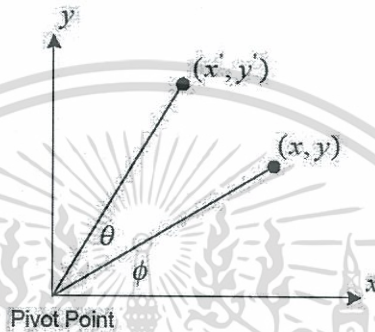
$$\begin{aligned}x' &= x S_x + x_f (1 - S_x) \\y' &= y S_y + y_f (1 - S_y)\end{aligned}\quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการย่อและขยายภาพโดยใช้เมตริกจะมีลักษณะดังนี้คือ

$$P' = \begin{bmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_f(1 - S_x) \\ y_f(1 - S_y) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

4. การบิดภาพ (Shearing) การบิดภาพสามารถบิดภาพได้ทั้งแนวแกน x และ y ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการบิดภาพตามแนวแกน x และแกน y

โดยที่การบิดภาพตามแนวแกน x จะใช้สมการต่อไปนี้

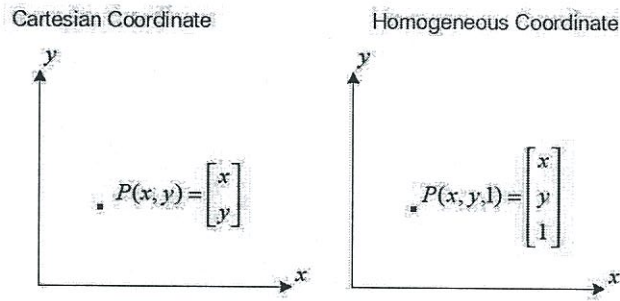
$$y' = y, x' = x + y.shX \quad (2.16)$$

และการบิดภาพตามแนวแกน y จะใช้สมการต่อไปนี้

$$x' = x, y' = y + x.shY \quad (2.17)$$

2.5.2 Homogeneous Coordinate

การอ้างอิงโคออดิเนตที่ผ่านมาจะมีลักษณะเป็น 2 ตำแหน่งคือ x และ y ซึ่งเรียกว่า Cartesian Coordinate ข้อเสียของการใช้โคออดิเนตแบบนี้ก็คือเมื่อมีการแปลงภาพหลายๆอย่างเข้าด้วยกันจะทำให้ผลลัพธ์ของเมตริกของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการบวกและการคูณกันของเมตริก ดังนั้นเพื่อให้ผลลัพธ์ของการแปลงภาพอยู่ในรูปของการคูณกันของเมตริกทั้งหมดจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณจึงกำหนดให้มีโคออดิเนตแบบ Homogeneous ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบระบบพิกัดคาที่เทียบกับระบบพิกัดโฮโมจีเนียส

ดังนั้นเมตริกของการแปลงแบบต่าง ๆ จะมีลักษณะเป็นดังนี้

การเลื่อนภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + T_x \\ y + T_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

การหมุนภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

การย่อและขยายภาพ

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

ตัวอย่างของการเลื่อนภาพ

ถ้ามีการแปลงภาพ 2 ครั้ง

1. ย้ายโดยใช้ (T_{x1}, T_{y1})
2. ย้ายโดยใช้ (T_{x2}, T_{y2})

สมการของการเลื่อนภาพจะมีลักษณะดังนี้

$$P' = T(T_{x2}, T_{y2}) \cdot T(T_{x1}, T_{y1}) \cdot P \quad (2.21)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_{x2} \\ 0 & 1 & T_{y2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_{x1} \\ 0 & 1 & T_{y1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_{x1} + T_{x2} \\ 0 & 1 & T_{y1} + T_{y2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

ซึ่งจากการทดลองพบว่าการเลื่อนภาพจะมีคุณสมบัติของการสลับที่ดังนี้

$$T(T_{x1}, T_{y1}) \cdot T(T_{x2}, T_{y2}) = T(T_{x1} + T_{x2}, T_{y1} + T_{y2}) \quad (2.23)$$

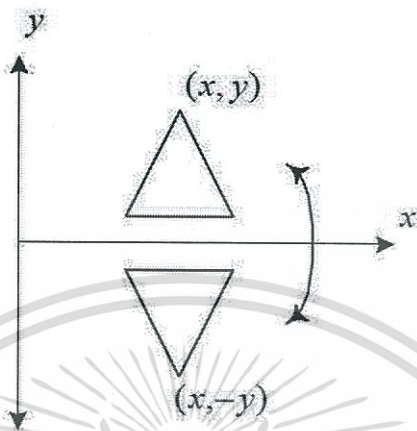
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การสะท้อนของภาพ

การสะท้อนของภาพสามารถเกิดขึ้นได้ดังนี้คือการสะท้อนตามแกน x

การสะท้อนตามแกน x จะมีลักษณะตัวอย่างดังภาพ



รูปที่ 2.22 การสะท้อนภาพตามแกน x

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

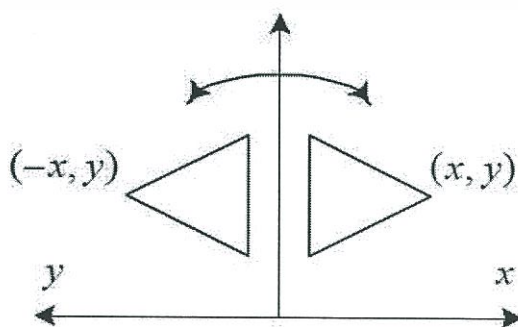
$$\begin{aligned} x' &= x \\ y' &= -y \end{aligned} \quad (2.24)$$

สามารถใช้เมตริกในการแปลงได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

การสะท้อนตามแกน y

การสะท้อนตามแกน x จะมีลักษณะตัวอย่างดังภาพ



รูปที่ 2.23 การสะท้อนภาพตามแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}x' &= -x \\y' &= y\end{aligned}\quad (2.26)$$

สามารถใช้เมตริกในการแปลงได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix}-1 & 0 & 0 \\0 & 1 & 0 \\0 & 0 & 1\end{bmatrix}\quad (2.27)$$

2.6 การหาขอบภาพ (Edge Detection)

การหาขอบภาพ (Edge Detection) เป็นเทคนิคหนึ่งในการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่มีจุดประสงค์เพื่อทำการหาขอบเขตในภาพคือการทำให้ออบของภาพนั้นมีความเด่นชัดขึ้นมาเพื่อที่จะทำการหาขอบเขตของภาพต่าง ๆ ได้โดยขอบเขตภาพที่เกิดความเด่นชัดขึ้นมานั้นมาจากความแตกต่างความเข้มของแสงจากจุดภาพหนึ่งไปอีกจุดภาพหนึ่งที่มีความต่อเนื่องกันโดยขอบภาพจะเด่นชัดหรือไม่ขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงระหว่างจุดภาพและในการหาขอบภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์นั้นไม่ใช่เรื่องที่ยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการหาขอบภาพที่มีคุณภาพต่ำหรือมีความเข้มของแสงไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งภาพหรือมีความแตกต่างระหว่างพื้นหน้ากับพื้นหลังที่มีค่าน้อยมีลายเส้นจำนวนมากที่มีความใกล้เคียงระหว่างจุดภาพที่มีความละเอียดชิดติดกันก็จะทำให้การหาขอบภาพให้ได้ภาพที่สมบูรณ์นั้นยากมากขึ้น

2.6.1 เทมเพลตสำหรับหาขอบภาพ

ถ้าต้องการหาขอบภาพในแนวนอนอย่างง่ายวิธีการก็คือหาผลต่างระหว่างจุดหนึ่งกับจุด ที่อยู่ข้างล่าง (หรือข้างบน) ของจุดนั้น ดังนี้

$$Ydiff(x, y) = I(x, y) - I(x, y + 1) \quad (2.28)$$

โดยที่ $Ydiff$ คือค่าความแตกต่างในแนวแกนตั้งและ $I(x, y)$ คือค่าความเข้มแสงของจุดภาพที่ตำแหน่ง (x, y)

ผลของการใช้สมการ (8.1) มีค่าเทียบเท่ากับการคอนโวลูชันภาพด้วยเทมเพลต

1

-1

การหาขอบภาพในแนวตั้งก็สามารถหาได้เช่นเดียวกันคือ

$$Xdiff(x, y) = I(x, y) - I(x-, y) \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ X_{diff} คือค่าความแตกต่างในแนวนอนและสมการที่ (8.2) มีให้ผลเทียบเท่ากับการคอนโวลูชันด้วยเทมเพลต

$$\begin{matrix} & -1 & & 1 \\ & & & \end{matrix}$$

บางครั้งเราต้องการรวมผลต่างของค่าความแตกต่างในแนวแกนอนและแกนตั้งเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะได้มีตัววัดความแรงของขอบภาพ (Gradient Magnitude) เพียงตัวเดียว เนื่องจากค่าความแตกต่างอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบดังนั้นการบวกค่าความแตกต่างของทั้งสองแกนอาจทำให้ขอบภาพเกิดการหักล้างกันเอง ในทางปฏิบัติ จะต้องนำ ค่าสัมบูรณ์ (Absolute Value) หรือค่ากำลังสอง (Squared Value) ของค่าความแตกต่างของทั้งสองแกนมาบวกกันแทน

นอกจากหาความแรงของขอบภาพแล้วการหาทิศทางของขอบภาพ (Gradient Direction) ก็มีประโยชน์เช่นกันการหาทิศทางของขอบภาพสามสามารถทำได้โดยการใช้สมการต่อไปนี้

$$GD(x, y) = \tan^{-1} \left\{ \frac{X_{diff}(x, y)}{Y_{diff}(x, y)} \right\} \quad (2.30)$$

$GD(x, y)$ ทิศทางของขอบภาพที่ตำแหน่ง (x, y)

วิธีการหาขอบภาพที่กล่าวมามีข้อเสียคือการหาขอบภาพไม่ได้นำค่าความเข้มแสงของจุดรอบข้างมาใช้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วภาพที่ได้มาส่วนใหญ่จะไม่มีขอบภาพชัดเจนดังเช่นที่แสดงในตัวอย่างขอบเขตของพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ วิธีที่กล่าวมาจะไม่สามารถหาขอบภาพได้อย่างแม่นยำกับภาพลักษณะนี้การใช้เทมเพลตที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

2.6.2 การหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล

การหาขอบภาพโดยวิธีโซเบล (Sobel Edge Detection) เป็นการหาขอบภาพโดยใช้เทมเพลตขนาด 3×3 สองเทมเพลตโดยเทมเพลตแรกจะใช้หาค่าความแตกต่างในแนวนอน (X_{diff}) และค่าความแตกต่างในแนวตั้ง (Y_{diff}) ดังแสดง

$$X_{diff} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Y_{diff} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการหาความแรงของขอบภาพด้วยวิธีโซเบล

ภาพ	$ X_{diff} + Y_{diff} $	เทรลโซลต์ด้วยค่า 12
0 0 0 0 0 0 2 0 3 3		
0 0 0 1 0 0 0 2 4 2	4 6 4 10 14 12 14 4	0 0 0 0 1 1 1 0
0 0 2 0 2 4 3 3 2 3	6 8 10 20 16 12 6 0	0 0 0 1 1 1 0 0
0 0 1 3 3 4 3 3 3 3	4 10 14 10 2 4 2 4	0 0 1 0 0 0 0 0
0 1 0 4 3 3 2 4 3 2	2 12 12 2 2 4 6 8	0 1 1 0 0 0 0 0
0 0 1 2 3 3 4 4 4 3		

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการหาความแรงของขอบภาพด้วยวิธีโซเบลภาพสุดท้ายได้จากการทำเทรลโซลต์ด้วยค่า 12 แล้วปรับความเข้มแสงให้อยู่ในช่วง 0-1

สามารถสร้างเทมเพลตโซเบลที่มีขนาดใหญ่กว่า 3x3 เพื่อที่จะให้มีการครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นได้

2.6.3 การหาขอบภาพเทมเพลตติกรีสอง

หากภาพที่ต้องการหาขอบมีการไล่ระดับความเข้มแสงแบบเป็นเชิงเส้นการใช้เทมเพลตโซเบลในการหาขอบภาพจะไม่สามารถทำได้ ตัวอย่างเช่น ภาพต่อไปนี้

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อหาขอบภาพตามแกนตั้งด้วยเทมเพลต $\begin{bmatrix} -2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$ จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

8	8	8	8	8	8	8
8	8	8	8	8	8	8
8	8	8	8	8	8	8

และถ้าคอนโวลูชันด้วยเทมเพลตเดิมอีกครั้งจะได้

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

การกระทำดังกล่าวจะคล้ายกับการดิฟเฟอเรนทิเอทสมการเส้นตรงแล้วได้ค่าคงที่และเมื่อดิฟเฟอเรนทิเอทค่าคงที่ก็จะได้ศูนย์

การใช้เทมเพลตดีกรีสองเช่นเทมเพลตลาปลาเซียนในการหาขอบของภาพที่มีคุณสมบัติดังกล่าวจะสามารถแก้ปัญหาได้ ต่อไปนี้คือตัวอย่างของเทมเพลตลาปลาเซียน

$$\begin{array}{ccc|ccc} 0 & -1 & 0 & & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 4 & -1 & \text{หรือ} & -1 & 8 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & & -1 & -1 & -1 \end{array}$$

เทมเพลตลาปลาเซียนเป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะสามารถกำจัดการไล่โทนสีหรือโทนความเข้มแสงได้ มันสามารถเน้นความเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าวิโซเบลแต่มันไม่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางของขอบ

2.6.4 การหาขอบภาพแบบเป็นลำดับขั้น

ปัญหาในการหาขอบภาพโดยทั่วไปส่วนหนึ่งมักเกิดจากเน้นขอบภาพที่ไม่ชัดเจนและขอบภาพสั้นๆ ที่ไม่ปะติดปะต่อกันขอบภาพเหล่านี้คือสิ่งที่ไม่ต้องการแต่การใช้วิธีการหาขอบภาพธรรมดาจะไม่สามารถกำจัดขอบภาพลักษณะนั้นได้วิธีแก้ไขคือใช้การหาขอบภาพแบบเป็นลำดับขั้นซึ่งมีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

- สร้างภาพใหม่จากภาพเดิมและมีขนาด $\frac{1}{4}$ ของภาพเดิมโดยค่าความเข้มของแต่ละจุดในภาพเล็กคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของจุดทั้งสี่ที่ตรงกันในภาพใหญ่
- สร้างภาพที่เล็กลงไปอีกด้วยวิธีเดียวกันจนกระทั่งภาพที่ได้แสดงเฉพาะขอบภาพที่ต้องการเท่านั้น
- ทำการหาขอบภาพอาจใช้วิโซเบลหรือวิธีอื่นๆแล้วทำเทรสโฮลด์
- ณ ตำแหน่งที่เกิดขอบภาพขึ้น ให้ทำการหาขอบภาพบริเวณจุดทั้งสี่ของจุดที่ตรงกันในภาพที่ใหญ่กว่าในอันดับถัดไป
- ทำซ้ำจนถึงภาพสุดท้ายซึ่งเป็นภาพเริ่มต้นก็จะได้ขอบภาพที่ต้องการ

2.6.5 การตามขอบภาพ (Edge Following)

หากเราทราบจุดใดจุดหนึ่งบนขอบภาพเราสามารถหาจุดข้างเคียงที่เป็นขอบภาพ และสามารถวนไปตามขอบภาพจนกลับมายังจุดเริ่มต้นได้ในบพนี้จะแนะนำวิธีการตามขอบภาพอย่างง่ายดังต่อไปนี้

1. สมมติให้จุด (x,y) เป็นจุดใดจุดหนึ่งบนขอบภาพ
2. ตั้งค่าแฟล็กให้จุด (x,y) ว่าเคยผ่านมาแล้ว
3. คำนวณหาค่าความแรงของขอบของจุดทั้งแปดที่อยู่รอบจุด (x, y)
4. เลือกจุด 3 จุดที่มีค่าความแรงสูงสุดแล้วใส่ไว้ในอะเรย์แบบ 3 คอลัมน์โดยเรียงตามลำดับความแรงของขอบ
5. เลือกจุดที่มีค่าความแรงสูงสุด แล้วพิจารณาว่าตำแหน่งของจุดอยู่ในทิศทางใดเมื่อเทียบกับจุด (x,y) โดยกำหนดให้ทิศต่างๆ มีค่าดังนี้

0	1	2
7	*	3
6	5	4

โดยที่ * แทนตำแหน่งของจุด (x,y) หากจุดที่มีค่าความแรงของขอบอยู่ด้านบนเมื่อเทียบกับจุด (x,y) ดังนั้นทิศทางที่กำหนดให้คือ 1

6. กำหนดให้ค่าทิศทางคือ d
7. ทำซ้ำในข้อ 3 แต่พิจารณาเฉพาะจุดที่อยู่ใน 3 ทิศทาง คือ ทิศทาง d ทิศทาง $(d+1) \bmod 8$ และทิศทาง $(d-1) \bmod 8$
8. หากไม่พบจุดใดเลยที่มีค่าความแรงของขอบสูงพอในทิศทางที่เคลื่อนที่ไปให้ลบจุดนั้นออกจากอะเรย์และเลือกจุดที่มีค่าความแรงของขอบน้อยกว่าในอันดับถัดไป แล้วทำซ้ำในข้อที่ 3 หากทั้ง 3 จุดในแถวถูกลบออกหมด ให้ถอยกลับไปใช้จุดที่เหลือในแถวถัดไป
9. หยุดเมื่อวนกลับมายังจุดเดิมหรือเมื่อมีการใช้เวลาตามขอบภาพนานเกินไป

วิธีที่กล่าวมาเป็นวิธีอย่างง่ายซึ่งอาจมีปัญหาบ้างในการใช้งานจริงดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเพิ่มเติมให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.6.6 การรู้จำภาพ Image Recognition

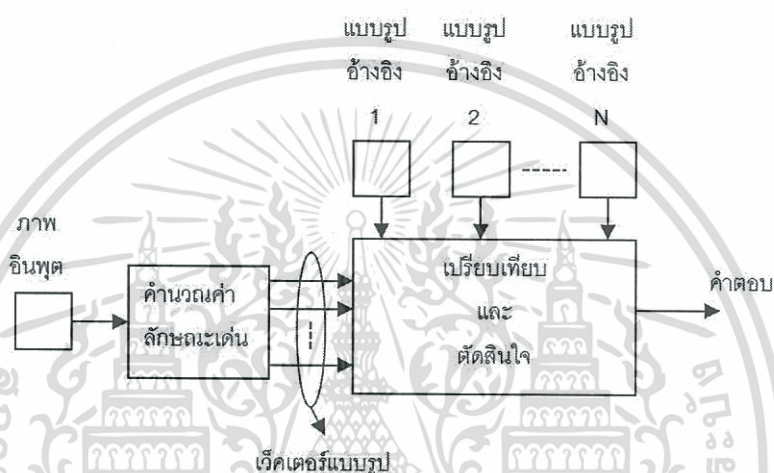
การรู้จำภาพเป็นแขนงหนึ่งของการรู้จำแบบรูป (Pattern Recognition) ที่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย คำว่าแบบรูป (Pattern) สามารถแปลความได้หลายแบบในที่นี้แบบรูปหมายถึงกลุ่มตัวเลขที่บรรยายลักษณะของภาพในการรู้จำภาพจะต้องรู้จำแบบรูปของแต่ละภาพเพื่อแยกแยะภาพที่ต่างกันออกจากกันแบบรูปที่ดีจะต้องบ่งถึงลักษณะเด่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของภาพ ซึ่งอาจได้จากการวัดเช่นอัตราส่วนความกว้างต่อความยาว จำนวนยอดแหลม และการพิจารณาจากฮิสโตแกรม เป็นต้น

1. โครงสร้างพื้นฐานของระบบรู้จำภาพ

รูปที่ 2.23 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของระบบรู้จำภาพส่วนแรกคือส่วนคำนวณค่าลักษณะเด่น (Feature Extraction) ของภาพ ผลลัพธ์ที่ได้คือแบบรูปซึ่งอาจอยู่ในรูปของเวกเตอร์ค่าลักษณะเด่นเหล่านี้จะนำไปเปรียบเทียบกับแบบรูปอ้างอิงต่างๆ จากนั้นจะทำการตัดสินใจ โดยให้คำตอบเป็นแบบรูปอ้างอิงที่คล้ายกับแบบรูปอินพุตมากที่สุด



รูปที่ 2.24 โครงสร้างพื้นฐานของระบบรู้จำภาพ

จากรูปที่ 2.23 ส่วนของการเปรียบเทียบและตัดสินใจมักถูกเรียกว่าเป็นขั้นตอนของการจำแนกแบบรูป (Pattern Classification) การจำแนกแบบรูปนี้มีอยู่หลายวิธีเพื่อให้เข้าใจหลักการขอแนะนำเสนอย่างง่าย ๆ

ขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 2.23 เป็นขั้นตอนของการรู้จำ (Recognition Phase) ซึ่งเป้าหมายก็คือการให้คำตอบว่าแบบรูปของภาพอินพุตมีความคล้ายกับแบบรูปของภาพอ้างอิงภาพใดมากที่สุด การได้มาของแบบรูปอ้างอิงนั้นสามารถทำได้หลายวิธีแบบรูปอ้างอิงอาจอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะต้องมีวิธีเฉพาะในการเปรียบเทียบ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำได้จากขั้นตอนการฝึกฝน (Training Phase) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องมีตัวอย่างภาพที่มีลักษณะเดียวกันหลายๆภาพจากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าลักษณะเด่นของแต่ละภาพซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือแบบรูปของภาพเหล่านั้นนั่นเอง แบบจำลองของภาพในแต่ละกลุ่มสามารถคำนวณได้จากค่าสถิติต่างๆของแบบรูปของภาพในกลุ่มเดียวกัน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล [5] (2556) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะใช้การวัดมุมหัวอ่าน HSA ด้วยวิธีประมวลผลภาพ เทคนิคต่างๆในการประมวลผลโดยขอบเขตของงานคือ (1) สามารถวัดPSA,RSAและความสูงของHSA (2) สร้างอุปกรณ์วัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 1หัว ใช้จำนวนกล้อง2ตัวในการจับภาพ (3) สรุปผล ซึ่งการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้เน้นหนักไปที่การสร้างอุปกรณ์วัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผลการศึกษา สามารถนำวิธีการวัดโดยการประมวลผลไปประยุกต์ใช้ในการวัดมุมหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 หลักการและแนวคิด

จากหลักการทฤษฎีการประมวลผลภาพในบทที่ 1 และบทที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงการ โดยมุ่งเป้าหมายในการวัดและตรวจสอบมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (2Head,4Head) โดยหลักการของโครงการ คือ ถ่ายภาพสองมุมด้านข้างและด้านหน้าโดยกล้องที่มีอัตราขยายสูงจากเครื่องนำมาประมวลผลผ่านโปรแกรมวัดและตรวจสอบมุมและส่งต่อเพื่อแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์ฟิงชันที่เพิ่มมาใหม่คือ ฟิงชันแสดงผลการตรวจสอบและฟิงก์ชันสอบเทียบอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าหัวอ่านหัวใดผ่านเกณฑ์หรือไม่ผ่านเกณฑ์โดยแสดงผลทางจอภาพ และฟิงก์ชันสอบเทียบอัตโนมัติจะวัดค่าขอบมุมของเกจมาตรฐาน 7 ตัวเทียบค่าจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)สร้างสมการและปรับตัวได้อัตโนมัติ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
3. สร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดลอง
4. เขียนโปรแกรมและสอบเทียบค่าที่ได้จากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากเครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐาน
5. วัดตรวจสอบค่าและเก็บข้อมูล
6. ประมวลผลและวิเคราะห์ผลข้อมูล
7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ
8. จัดพิมพ์รายงาน

โดยในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีดำเนินการสร้างเครื่องมือและเขียนโปรแกรมโดยแบ่งเป็น 8 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้

3.2.1 ออกแบบเครื่องที่ใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.2.2 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Grid Checkerboard

3.2.3 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Gauge Reference plane

3.2.4 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Gauge Calibration

3.2.5 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Gauge Offset

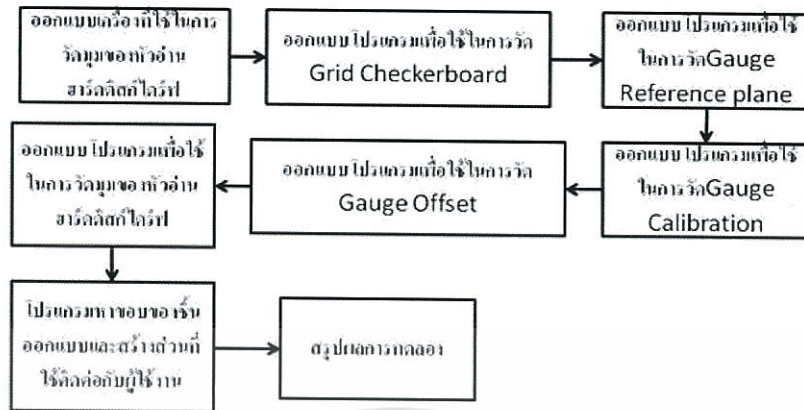
3.2.6 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.2.7 โปรแกรมหาขอบของชิ้นออกแบบและสร้างส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน

3.2.8 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

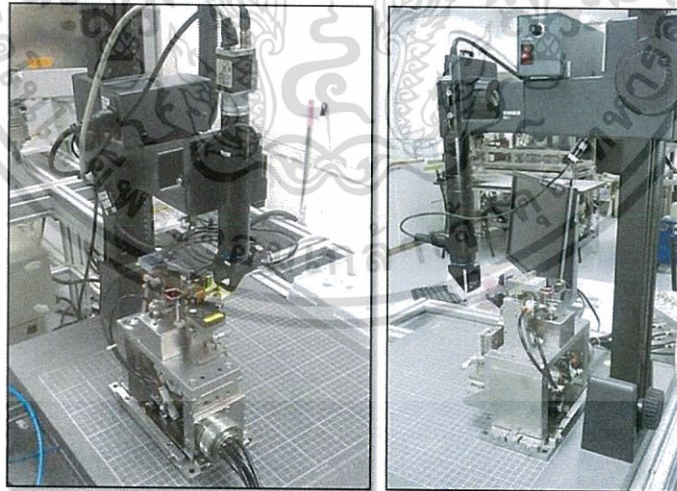
โดยสามารถเรียงลำดับขั้นตอนเป็นแผนผังการดำเนินงานได้ ดังภาพที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 ออกแบบเครื่องที่ใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

จากงานวิจัย HSA Metrology Tools ที่ศึกษาเกี่ยวกับหลักการวัดมุมPSA/RSA ของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในหลักการต่าง ๆ โดยสรุปคือวิธีการประมวลผลภาพสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดได้และมีความไวต่อการวัดสูง จากการวิจัยดังกล่าวจึงมีการจัดทำโครงการขึ้นมา โดยศึกษาการวัดมุมPSA/RSA ของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้กล้องการตรวจสอบในโดยมีField of view ของกล้องที่สามารถเห็นหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 1 หัวอ่านต่อการทดสอบ



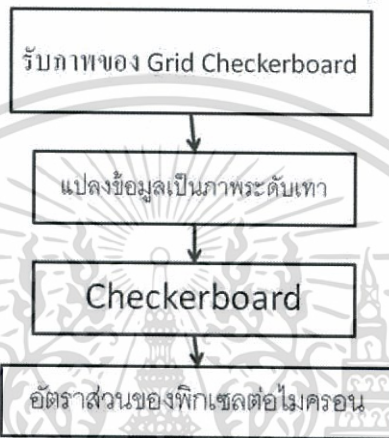
รูปที่ 3.2 งานวิจัย HSA Metrology Tools

ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงนำงานวิจัยดังกล่าวมาต่อยอดให้สามารถวัดมุมPSA/RSA ของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้จำนวนมากขึ้น เนื่องจากจำนวนหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อตัวที่มากขึ้นทางผู้จัดทำจึงทำการพัฒนาโดยทำให้Field of view ของกล้องสามารถตรวจจับชิ้นงานได้มากขึ้นและออกแบบโปรแกรมในการวัดที่สามารถใช้งานได้ในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

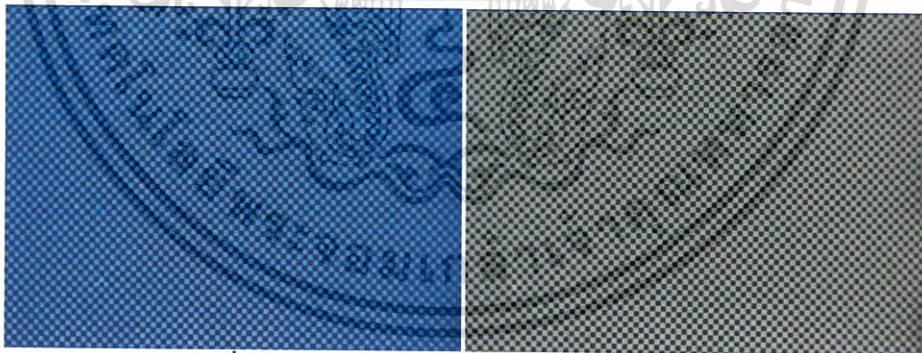
3.2.2 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Grid Checkerboard

การวัด Grid Checkerboard ทำเพื่อการสอบเทียบหรือแปลงค่าจากค่า Pixels ให้เป็นค่าหน่วยวัด โดยในการทดลองนี้จะใช้หน่วยวัดที่เป็นหน่วยนิ้วเนื่องจากกล้องเป็นกล้องที่มีความละเอียด 5 ล้านพิกเซล โดยขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมวัด Grid Checkerboard จะใช้เทคนิคการหาขอบภาพและนำมาเฉลี่ยระยะจาก Grid ที่นำมาวัดจะมีลักษณะเป็นตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด 100x100 ไมโครเมตรหรือ 0.003937x0.003937 นิ้ว มีสีขาว-ดำคล้ายตารางหมากรุกเพื่อถ่ายทอดหาจุดของมุม Grid ทั้งนี้ค่าที่แปลงได้จะนำไปใช้ในการสอบเทียบค่า Offset ของ Gauge Offset



รูปที่ 3.3 แสดงภาพรวมของขั้นตอน Calibration Coordinate

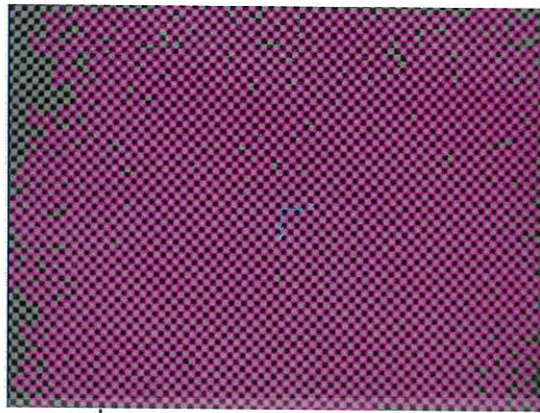
เมื่อรับภาพของ Grid Checkerboard จะได้ภาพที่เป็นแบบ Color จึงต้องแปลงภาพเป็นภาพข้อมูลระดับเทาเพื่อนำไปเข้าฟังก์ชัน Checkerboard



รูปที่ 3.4 (ก) ภาพจากกล้องด้านหน้าวัดถุของ Grid

(ข) แสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา

จากนั้นจะนำภาพที่ได้ไปเข้าฟังก์ชัน Checkerboard โดยฟังก์ชันนี้จะทำการหาขอบภาพและโดยจะได้ตำแหน่งจุดของแต่ละมุมของ Grid เมื่อนำมาเฉลี่ยระยะก็จะได้ค่า Scaling



รูปที่3.5 แสดงการหาเส้นขอบของ Grid

เมื่อนำเข้าฟังก์ชันจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยค่าที่จะนำไปใช้คือค่า Scaling โดยGridที่นำมาวัดในหนึ่งหน่วย จะมีขนาด100x100ไมครอนค่าที่วัดได้ดังตาราง

Linear Transform	Transform X	Transform Y	Scaling	Aspect(Y/X)	Rotation	RMS Error
Gird	1298.06	973.72	30.163	1.04	1.18732	0.53464

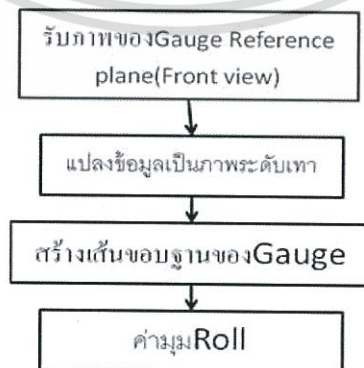
ตารางแสดงค่าที่วัดได้จาก Grid

จากพารามิเตอร์ที่ได้สรุปได้ว่า Scalingที่ จะนำไปใช้ประมาณ 30x30 พิกเซล : 100 x100ไมครอน

3.2.3 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดGauge Reference plane

การวัดGauge Reference planeทำเพื่อสร้างplaneและหาCoordinateของกล้องเพื่อให้ภาพที่ได้มีความถูกต้องการวัดGauge Reference planeมีทั้งหมด3 ขั้นตอนดังนี้

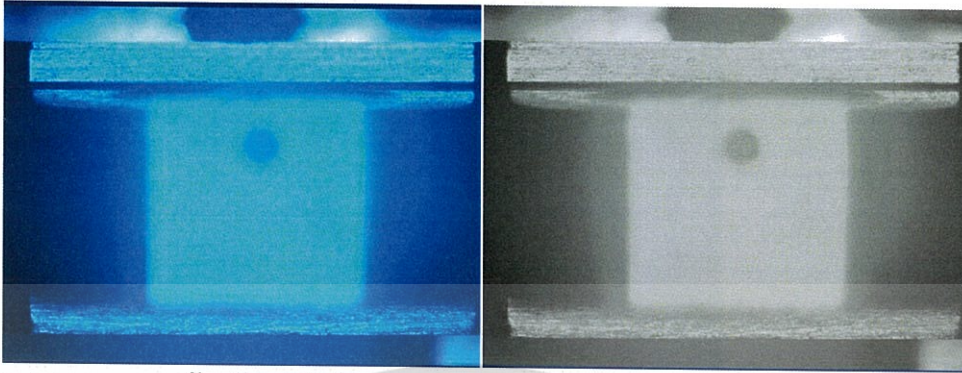
1. Calibration Front Plane คือ ขั้นตอนการปรับPlaneกล้องที่รับภาพจากด้านหน้าวัตถุ โดยGaugeที่นำมาวัดจะมีค่ามุมRollเท่ากับ 0 องศา ดังนั้นโปรแกรมจึงต้องสามารถวัดมุมของGaugeที่นำมาวัดได้ จากนั้นจะนำค่าที่ได้มาสอบเทียบ



รูปที่3.6 แสดงภาพรวมของขั้นตอนCalibration Front Plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรับภาพของGauge Reference plane(ด้านหน้าวัตถุ) จะได้ภาพแบบColorเนื่องจาก
จะต้องทำการหาขอบจึงต้องแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพระดับเทาจึงจะสามารถหาขอบได้



รูปที่3.7 (ก) ภาพจากกล้องด้านหน้าวัตถุของGauge (ข) แสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา

Gaugeที่นำมาวัดจะมีค่ามุม Roll เท่ากับ 0 องศา โดยวัดจากขอบล่างสุดหรือฐานของ
Gauge เมื่อนำภาพที่แปลงเป็นภาพข้อมูลระดับเทาแล้วก็จะนำมาเข้าโปรแกรมเพื่อหาขอบฐานของ
Gaugeเพื่อที่จะวัดค่ามุมRoll โดยค่าที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการสอบ
เทียบ



รูปที่ 3.8 แสดงการหาเส้นขอบของGauge Reference plane

จากการหาเส้นขอบจะได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

จุด Start X (Pixel)	194.643
จุด Start Y (Pixel)	156.773
จุด End X (Pixel)	2529.46
จุด End Y (Pixel)	174.43
Rotation (Degrees)	0.433285

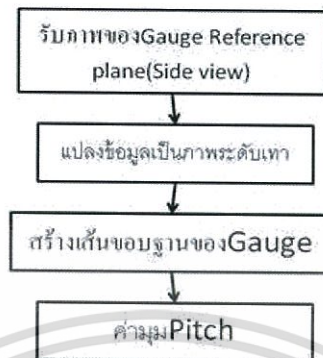
ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของ Gauge Reference planeที่วัดได้

สรุปได้ว่ามุมของกล้องด้านหน้าจะมีค่าเริ่มต้นเป็นมุม Roll 0.433285องศาดังนั้นจะใช้ค่านี้

เป็นมุมเริ่มต้นของทุกภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Calibration Side Plane คือ ขั้นตอนการปรับPlaneกล้องที่รับภาพจากด้านข้างวัตถุ โดยGaugeที่นำมาวัดจะมีค่ามุมPitchเท่ากับ 0 องศา ดังนั้นโปรแกรมจึงต้องสามารถวัดมุมของGaugeที่นำมาวัดได้ จากนั้นจะนำค่าที่ได้มาสอบเทียบ



รูปที่ 3.9 ภาพรวมของขั้นตอนCalibration Side Plane

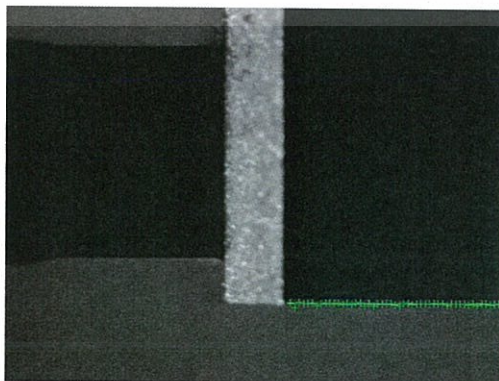
เมื่อรับภาพของGauge Reference plane(ด้านข้างวัตถุ) จะได้ภาพแบบColor ต้องแปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพระดับเทาเช่นเดียวกันจึงจะสามารถหาขอบภาพของวัตถุได้



รูปที่ 3.10 (ก)ภาพจากกล้องด้านหน้าวัตถุของGauge

(ข)รูปแสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา

Gaugeที่นำมาวัดจะมีค่ามุม Pitch เท่ากับ 0 องศา โดยวัดจากขอบล่างสุดหรือฐานของGauge เมื่อนำภาพที่แปลงเป็นภาพข้อมูลระดับเทาแล้วก็จะนำมาเข้าโปรแกรมเพื่อหาขอบฐานของGaugeเพื่อที่จะวัดค่ามุมPitchโดยค่าที่ได้จากการวัดจะถูกนำไปใช้เป็นพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการสอบเทียบ



รูปที่ 3.11แสดงการทำเส้นขอบของGauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการหาเส้นขอบจะได้ค่าพารามิเตอร์ดังนี้

จุด Start X (Pixel)	1479.53
จุด Start Y (Pixel)	1528.25
จุด End X (Pixel)	2596.61
จุด End Y (Pixel)	1521.68
Rotation (Degrees)	-0.3404

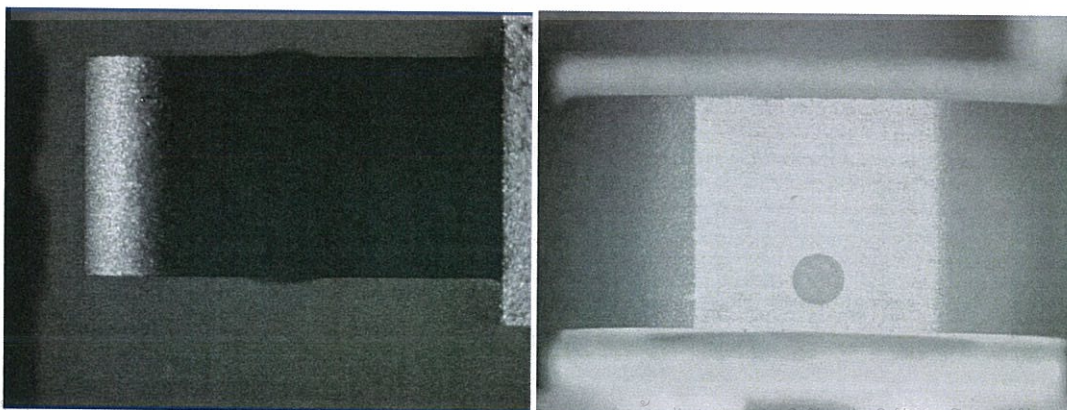
สรุปได้ว่ามุมของกล้องด้านข้างจะมีค่าเริ่มต้นเป็นมุม Pitch = -0.3404 องศา ดังนั้นจะใช้ค่านี้เป็นมุมเริ่มต้นของทุกๆ ภาพ

3. Calibration Coordinate คือ ขั้นตอนการหา Coordinate การรับภาพของสองกล้องทั้งด้านหน้าและด้านข้างวัตถุเพื่อสร้างจุดอ้างอิงให้ตรงกัน



รูปที่ 3.12 ภาพรวมของขั้นตอน Calibration Coordinate

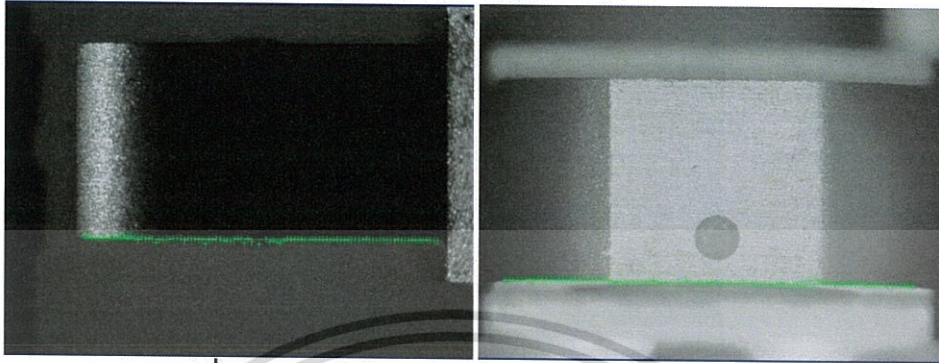
รับภาพของ Gauge Reference plane (ด้านข้างและด้านหน้าของวัตถุ) จะได้ภาพแบบ Color แปลงข้อมูลภาพให้เป็นภาพระดับเทาและทำการหาขอบภาพของวัตถุเพื่อสร้างเส้นโดยเส้นที่ได้จะนำไปกำหนดจุดอ้างอิงของทั้งสองมุมของกล้องและนำมาเทียบกันเพื่อทำการสอบเทียบ



รูปที่ 3.13 (ก) ภาพจากกล้องด้านหน้าวัตถุของ Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข)รูปแสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา จากขั้นตอนที่1และ2 ทำให้ทราบว่า Gauge ที่นำมาวัดส่วนฐานจะมีค่ามุม Pitch และ Roll เท่ากับ 0 องศา ดังนั้นจะใช้ส่วนฐานเพื่อสร้างเส้นขอบเพื่อหาจุดอ้างอิง



รูปที่ 3.14 (ก) ภาพจากกล้องด้านหน้าวัตถุของ Gauge

(ข)รูปแสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา เมื่อทำการสร้างเส้นขอบภาพขอบวัตถุทั้งสองด้านโปรแกรมจะทำการรวมภาพและสร้างเส้นทั้งสองจากค่าพารามิเตอร์ที่ได้โดยค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีดังนี้

ตารางแสดงค่าที่วัด Gauge ได้

กล้อง	จุด Start X (Pixel)	จุด Start X (Pixel)	จุด End X (Pixel)	จุด End X (Pixel)
ด้านข้าง	446.9	1296.22	2398.26	1290.86
ด้านหน้า	174.957	1510.95	2428.55	1526.04

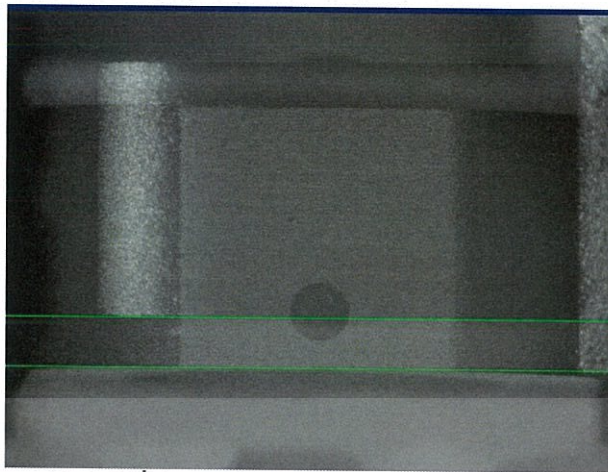
จากผลจะทำให้เราสามารถสร้างเส้นอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าต่างๆได้ในขั้นต่อไป



รูปที่ 3.15 (ก)ภาพจากกล้องด้านหน้าวัตถุของGauge

(ข)แสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา

จากพารามิเตอร์สามารถคำนวณหาระยะห่างของตำแหน่งอ้างอิงของกล้องทั้งสองได้ ทั้งนี้จะให้กล้องเป็นกล้องหลัก ดังนั้นจะต้องปรับค่ากล้องด้านข้างให้มีตำแหน่งอ้างอิงที่ตรงกันโดยใช้โปรแกรมที่จัดทำ



รูปที่ 3.16 การหาเส้นขอบของGauge

3.2.4 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดGauge Calibration

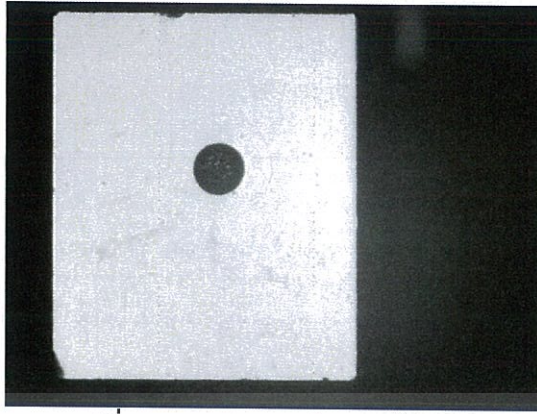
การวัดGauge Calibration จะประกอบด้วยGauge ทั้งหมด 7 ตัว ที่มีค่าเฉพาะตัว ในลักษณะต่างๆเช่นค่ามุม Roll ของขอบบน- ล่างของGauge ค่ามุม Pitch ของขอบบน- ล่างของ Gauge โดยGaugeจะถูกออกแบบมาให้มีค่าแตกต่างกันออกไปเพื่อนำมาใช้สอบเทียบในการวัด จากกระบวนการที่ผ่านมาทำให้ได้ จุดReference กล้องทั้งสองตรงกัน และได้ทราบค่าของPitch/Roll เริ่มต้น ขั้นตอนต่อไปคือการวัดเพื่อสอบเทียบค่ามุม Pitch/Roll ก่อน โดยขั้นตอนของการวัดGauge Calibrationจะ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.17 ภาพรวมของขั้นตอนวัดGauge Calibration

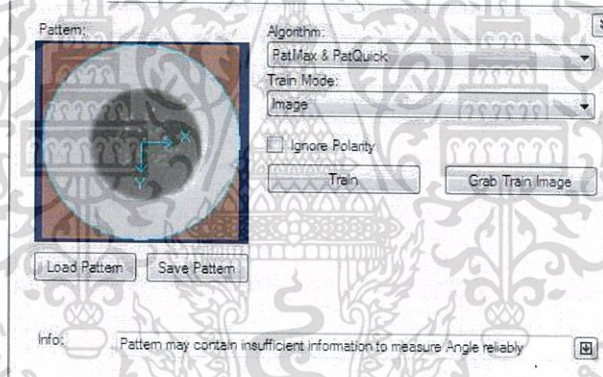
1.การวัดGauge Calibration มุมRoll ขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดค่ามุมของGauge ทั้ง7ชิ้น โดยจะเป็นการสอบเทียบของกล้องด้านหน้า จากภาพภาพรวมของขั้นตอน Gauge Calibration จะมีการรับภาพชิ้นงานและแปลงข้อมูลภาพเป็นระดับเทาเพื่อที่จะทำการหาขอบ บน และล่างของGauge จากนั้นจะทำการสร้างเส้นเพื่อหามุม และนำมุมที่ได้มาบวกลบ ค่า pitch/roll การขั้นตอน Calibration Front/Side Plane และนำค่ามุมทำได้ไป เปรียบเทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



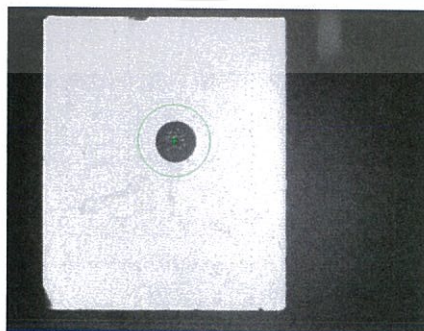
รูปที่ 3.18 แสดงการรับภาพต้นแบบ

จากภาพรูปแสดงการหาเส้นขอบของGauge คือ การรับภาพและแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทาเพื่อที่จะทำการกำหนดขอบเขตภาพต้นแบบเพื่อใช้เป็นแบบรูปแบบอ้างอิง โดยการเขียนโปรแกรมนั้นจะใช้รูของGaugeเป็นรูปแบบอ้างอิงเนื่องจากตำแหน่งของGauge แต่ละตัวต่างกัน โปรแกรมจะสามารถแต่รูปแบบของGaugeแต่ละตัวได้



รูปที่ 3.19 แสดงการจดจำภาพต้นแบบ

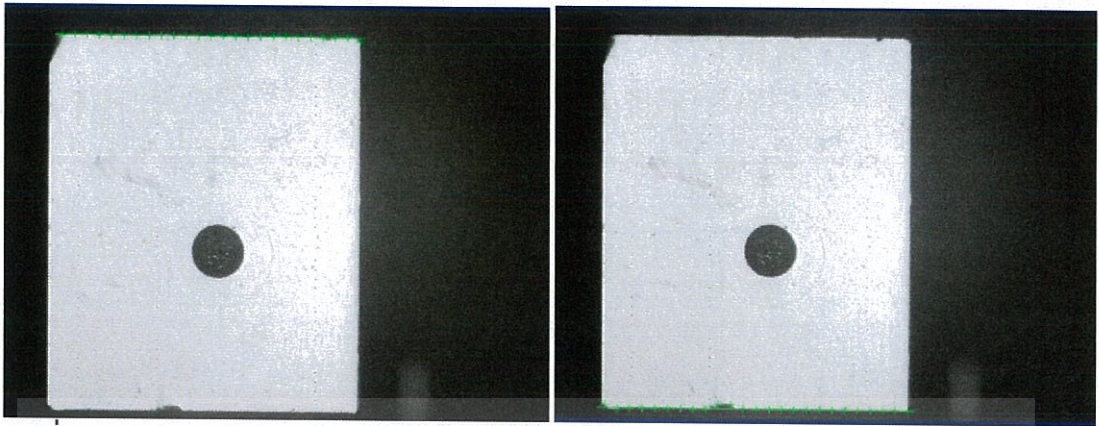
จากภาพจะเป็นการกำหนดรูปแบบอ้างอิงโดยการ Train โปรแกรมจะจำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดได้ เมื่อจะทำการวัดครั้งต่อไปโปรแกรมจะสามารถจดจำภาพต้นแบบและวัดค่าได้แม่นยำ



รูปที่ 3.20 แสดงภาพรูปแบบอ้างอิง

หลังจากได้รูปแบบอ้างอิงแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการหาขอบและสร้างเส้นเพื่อวัด

ค่ามุมของขอบGauge เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 (ก)ภาพการหาเส้นขอบบนของเกจด้านหน้า (ข)ภาพการหาเส้นขอบล่างของเกจด้านหน้า

2.การวัดGauge Calibration มุมPitch ขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดค่ามุมของGauge ทั้ง7ชิ้น จะทำเช่นเดียวกับการวัดมุมRoll



รูปที่ 3.22 (ก) ภาพการหาขอบบนของเกจด้านข้าง

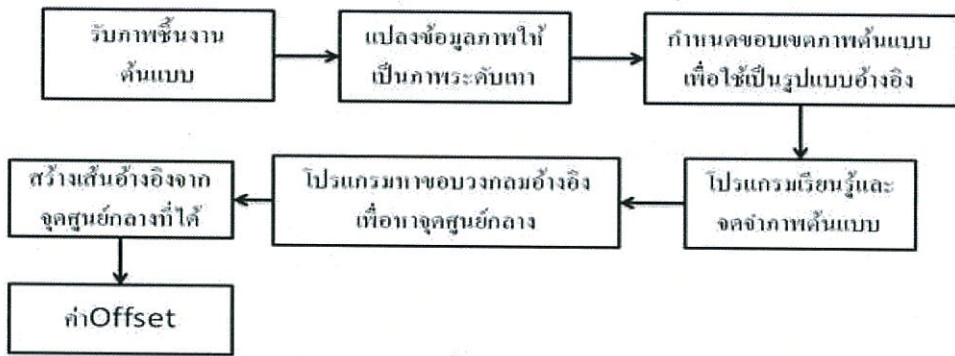
(ข)ภาพการหาขอบล่างของเกจด้านข้าง

จากนั้นจะออกแบบวิธีทดลองคือทดลองวัดค่ามุมขอบของGauge ทั้ง 7 ตัว 3 ครั้ง และ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากเครื่องวัดมาตรฐาน (CMM) เพื่อจะทำการ Regression Analysis เพื่อหาความสัมพันธ์จากนั้นทำการหาสัมประสิทธิ์ของการตัดสั่นใจ (R^2) โดยสัมประสิทธิ์ของการตัดสั่นใจ(R^2) ยังมีค่าใกล้ 1.00 มากเท่าใดแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมากแต่ถ้ามีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยจะได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.3-4.8

3.2.5ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัด Gauge Offset

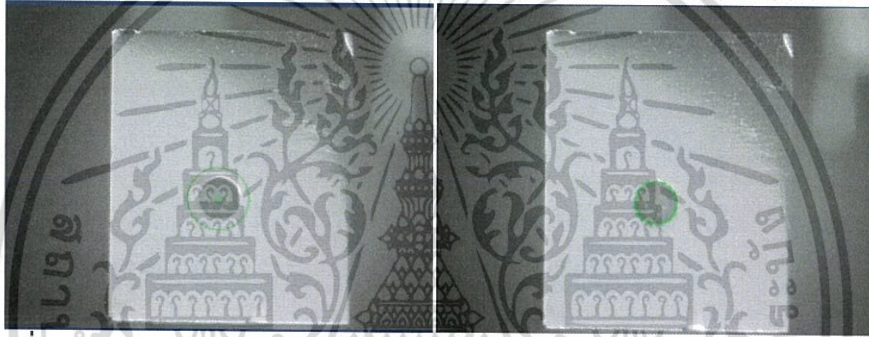
การวัด Gauge Offset ทำขึ้นเพื่อหาค่าoffset จากGauge reference ค่าที่ได้จากการวัดจะนำไปเปรียบเทียบกับชิ้นงานหัวอ่านฮาร์ดดิสไดรฟ์ ว่ามีค่าoffsetจากตำแหน่งอ้างอิงไปเท่าใด ดังนั้นก่อนจะวัดค่านั้นจะต้องทำการสอบเทียบเพื่อที่จะนำไปวัดจริงได้ ถูกต้องแม่นยำโดยจะทำการรับค่าGauge 7 ชิ้น เช่นเดียวกับขั้นตอนวัดGauge Calibration โดยขั้นตอนนี้จะแตกต่างที่จะวัดรูปกลางของgauge และหาจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงภาพรวมของขั้นตอน Calibration Offset gauge

เมื่อรับภาพชิ้นงานต้นแบบจะทำการแปลงข้อมูลภาพเป็นภาพระดับเทา จากนั้นกำหนดขอบเขตภาพต้นแบบอ้างอิงและใช้ฟังก์ชันหาขอบวงกลม



รูปที่ 3.24 (ก)แสดงการจดจำรูปแบบ (ข)แสดงการหาขอบวงกลมของGauge

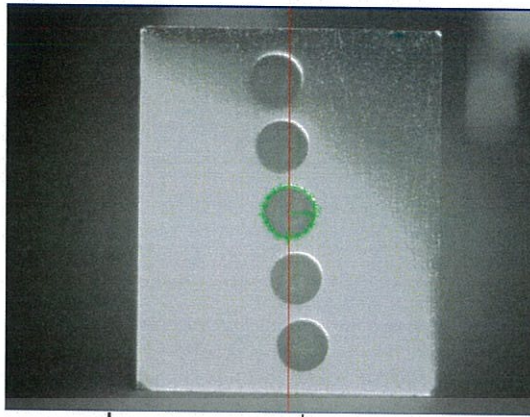
เมื่อได้ขอบวงกลมโปรแกรมจะทำการหาจุดศูนย์กลางของวงกลมเพื่อทำกลางสร้างเส้นกึ่งกลางเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ



รูปที่ 3.25 (ก) แสดงการหาตำแหน่งกึ่งกลางวงกลม (ข)แสดงการสร้างเส้นกึ่งกลางวงกลม

จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณหาค่าพิคติกเซลของตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลม เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับGauge อ้างอิง โดยในโปรแกรมนี้อาจใช้Gauge ชั้นที่ 4 เป็น ชั้นอ้างอิง เนื่องจาก gauge ตัวนี้ถูกออกแบบให้มีค่าใกล้เคียงกับตำแหน่งชิ้นงานของTargetมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



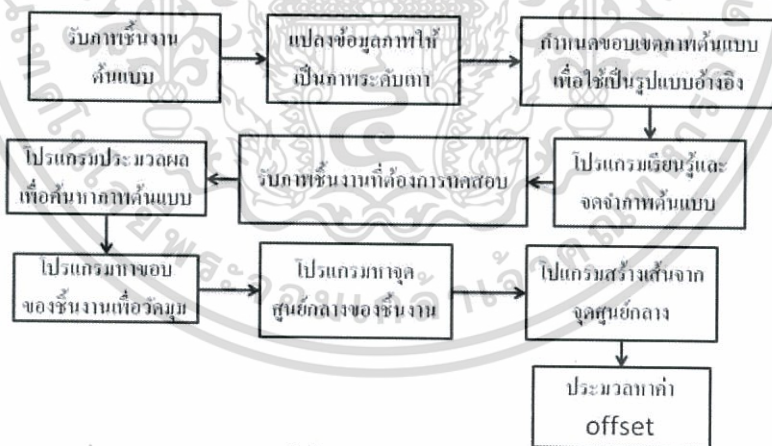
รูปที่ 3.26 แสดงฟังก์ชันการหาOffset

จากนั้นจะออกแบบวิธีทดลองวัดค่ามุมขอบของGauge ทั้ง 7 ตัว 3 ครั้งและ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดจากเครื่องวัดมาตรฐาน (CMM) เพื่อจะทำการ Regression Analysis เพื่อหาความสัมพันธ์จากนั้นทำการหาสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2)จะได้ค่าตามตารางที่ 4.9-4.14

3.2.6 ออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

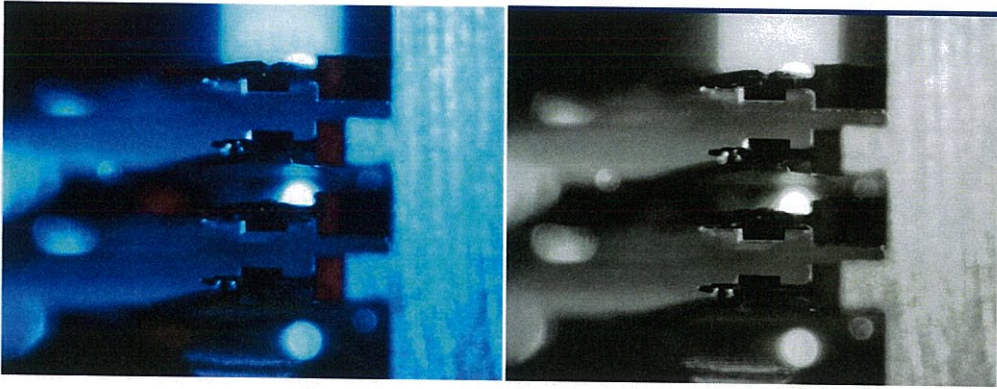
จากกระบวนการต่างๆที่ผ่านมาจะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาใช้ในการปรับปรุงค่าชิ้นงานจริง เพื่อสามารถวัดค่ามุมต่างๆได้ถูกต้องแม่นยำเนื่องจากการสอบเทียบก่อนโดยขั้นตอนการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. วัดมุมRSAของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Front view) การวัดด้านนี้นั้นจะมีค่า Offsetของ หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ



รูปที่ 3.27 แสดงภาพรวมของขั้นตอนออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุมRSA

เมื่อรับภาพชิ้นงานต้นแบบจะทำการแปลงข้อมูลภาพเป็นภาพระดับเทา จากนั้นกำหนดขอบเขตภาพต้นแบบอ้างอิงโดยจุดอ้างอิงจะใช้หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟของแต่ละหัวในการเป็นภาพต้นแบบโดยจะแยกแต่ละหัวเนื่องจากระยะก็แต่ละหัวนั้นอาจจะมีค่าแสงไม่สม่ำเสมอทำให้โปรแกรมอาจหาภาพต้นแบบผิดพลาดได้



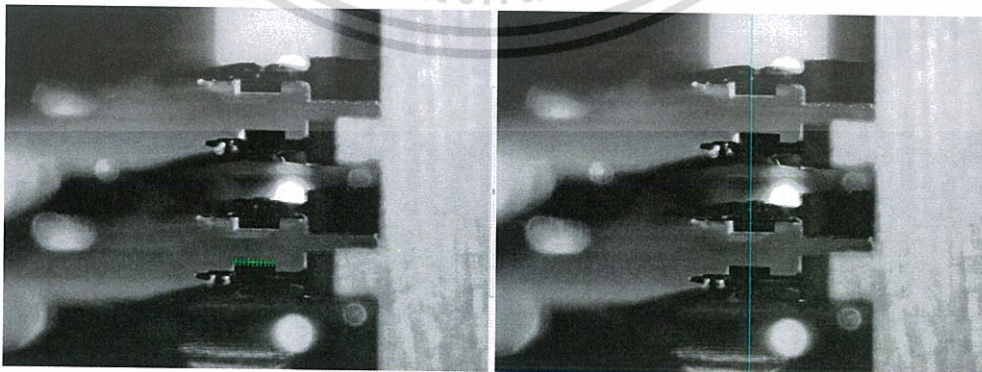
รูปที่ 3.28 (ก)ภาพจากกล้องด้านหน้าวัตถุ (ข)รูปแสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา



รูปที่ 3.29 (ก)แสดงขั้นตอนการจำรูปแบบ

(ข)แสดงขั้นตอนการหาตำแหน่งกึ่งกลางวัตถุ

เมื่อทำการจดจำภาพต้นแบบแล้วจะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อให้หาขอบของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะได้ค่ามุม Roll จากนั้นจะทำการเขียนสร้างเส้นอ้างอิงจากการวัด Offset ของ Gauge Offset No4. เพื่อใช้ในการหาHead Offset ของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของแต่ละหัว



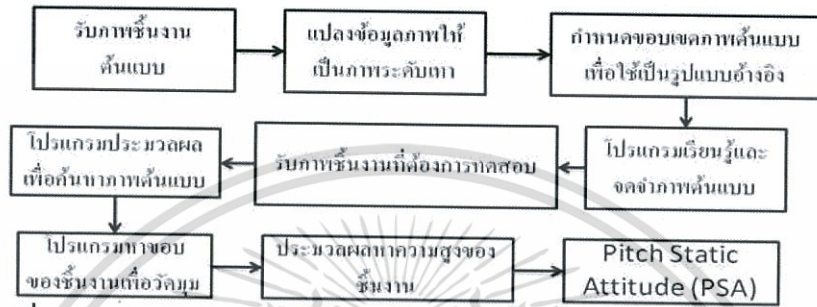
รูปที่ 3.30 (ก)ภาพการหามุมRoll

(ข)รูปแสดงการสร้างแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการแปลงค่าRollที่ได้โดยจะใช้คำนวณจากบคค่า Roll Ref = 0.433285 ส่วนHead offset จะหาจากจุดกึ่งกลางของหัวอ่าน จากการหาเส้นตัดจะได้ตำแหน่งพิกัด X,Y จุดที่1 และX,Yจุดที่2 นำมาบวกกันหารสองจะได้ตำแหน่งพิกัดกึ่งกลางหัวอ่าน จากนั้นบันทึกค่า

2. วัดมุมPSAของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ (Side view)

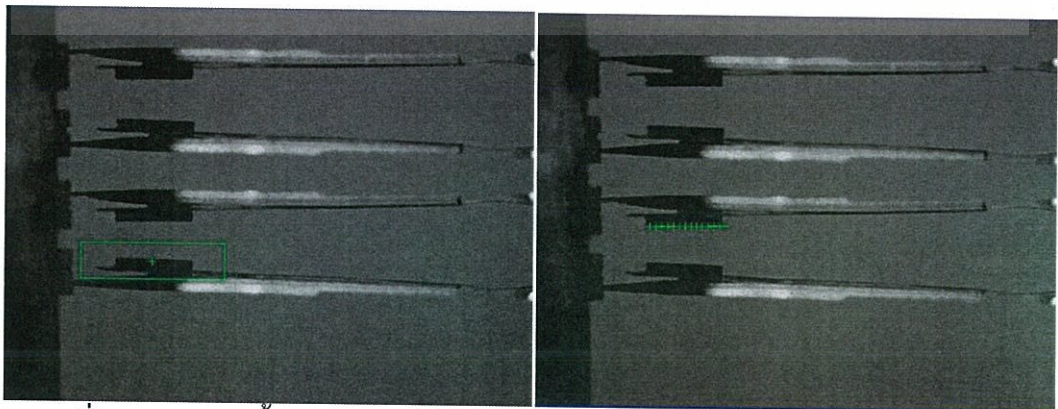


รูปที่ 3.31 แสดงภาพรวมของการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการวัดมุม PSA

สำหรับการวัดมุมPSA นี้จะใช้หลักการคล้ายกับการหามุม RSA คือเมื่อรับภาพมาจะทำการแปลงภาพเป็นภาพข้อมูลระดับเทา จากนั้นทำการจดจำภาพต้นแบบ จากนั้นทำการหาขอบของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟวัดมุมPitch



รูปที่3.32 (ก)ภาพจากกล้องด้านข้างวัตถุ (ข)รูปแสดงการแปลงภาพข้อมูลเป็นภาพระดับเทา

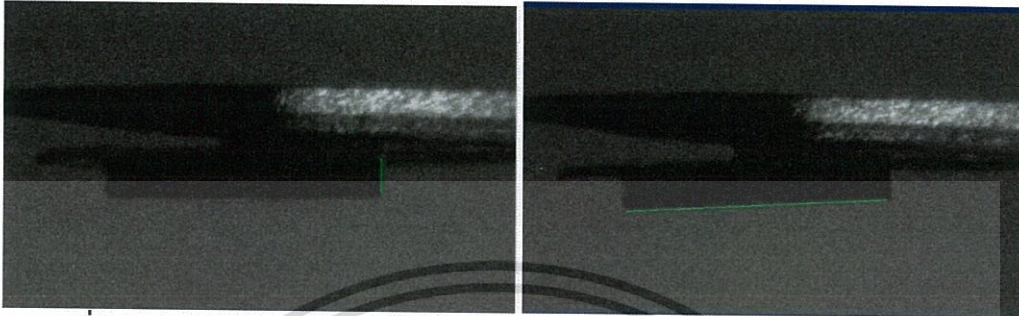


รูปที่3.33 (ก)แสดงขั้นตอนการจดจำรูปแบบ

(ข)แสดงการหาขอบเพื่อวัดมุมPitchด้านการค้า

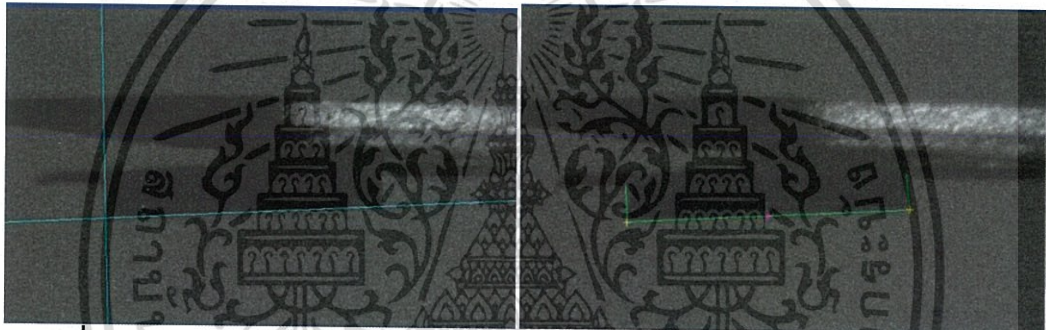
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ถือว่าผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่ามุมPitch โปรแกรมจะสร้างเส้นหาจุดตัดเพื่อหาจุดกึ่งกลางหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จากการหาเส้นตัดจะได้ตำแหน่งพิกัด X,Y จุดที่1และX,Yจุดที่2 นำมาบวกกันหารสองจะได้ตำแหน่งพิกัดกึ่งกลางหัวอ่าน



รูปที่ 3.34 (ก)แสดงการหาขอบด้านข้างหัวตลับ

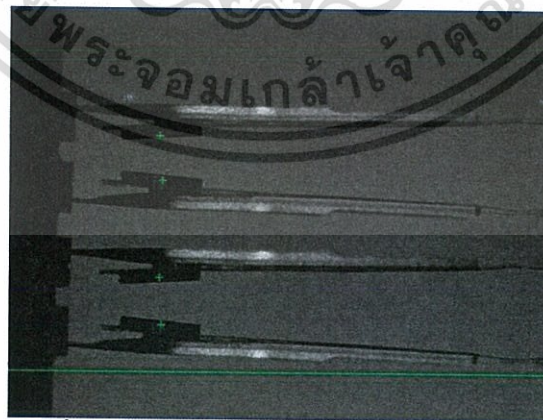
(ข)แสดงการหาขอบด้านล่างหัวตลับ



รูปที่ 3.35 (ก)แสดงการหาจุดตัดของมุม

(ข)แสดงการหาขอบกึ่งกลางของหัวตลับ

จากนั้นโปรแกรมจะสร้างเส้นอ้างอิงจากการSet up เริ่มต้นของการวัด Gauge reference plan (Side view)สุดท้ายโปรแกรมจะทำการแปลงค่าPitchที่ได้เป็นค่าPSA จากสูตร

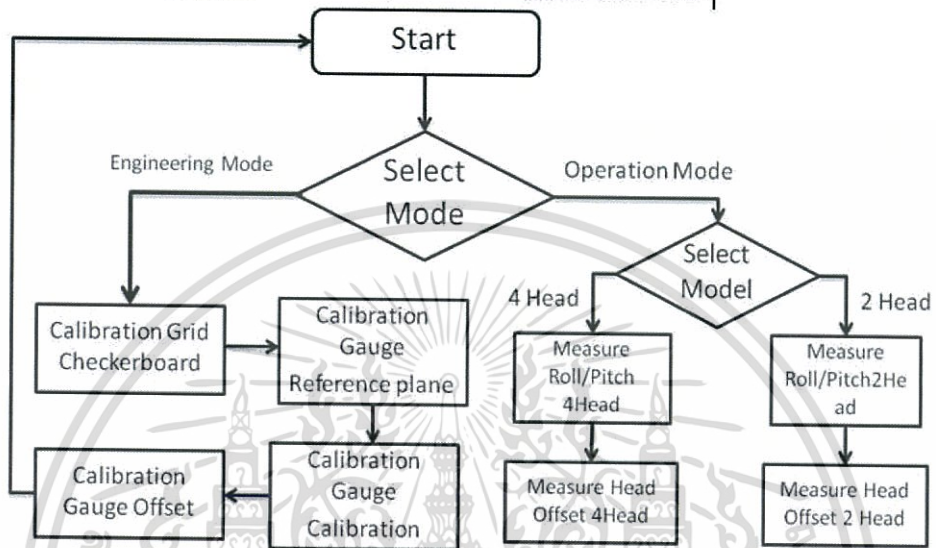


รูปที่ 3.36 แสดงการหาความสูงจากเส้นอ้างอิง

จากนั้นจะทำการออกแบบวิธีทดลองคือจะเก็บค่าที่วัดได้จากโปรแกรมโดยจะใช้หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โมเดล 2 หัวอ่านและ 4 หัวอ่าน จำนวนอย่างละ10ตัว วัดตัวละ3ครั้งจำนวนผู้ทดลอง 2คนเพื่อทำการหาGage Repeatability and Reproducibility จะได้ตามตารางที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

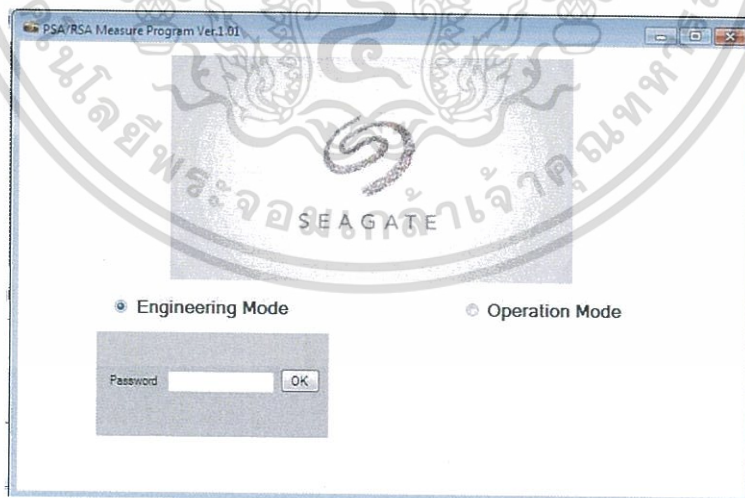
3.2.7 ออกแบบและสร้างส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน

จากกระบวนการที่ผ่านมาการเขียนโปรแกรมหาค่าต่างๆนั้นจะใช้โปรแกรม VistonPro-Cognex แต่เพื่อพัฒนาโปรแกรมเลื่อนstationของเครื่องด้วยจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่สามารถใช้งานร่วมกันได้ ทั้งนี้จึงเลือกโปรแกรมVusal c#2010 มาใช้ในการออกแบบInterFace และใช้ค่าต่างๆ ของโปรแกรมVistonPro-Cognex



รูปที่ 3.37 แสดงภาพรวมการออกแบบและสร้างส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน

เมื่อเข้าโปรแกรมจะมีให้เลือกโหมดสองโหมดคือ Engineering Mode และ Operation Mode เมื่อคลิกEngineering Mode จะมีการใส่รหัสเพื่อป้องกันไว้



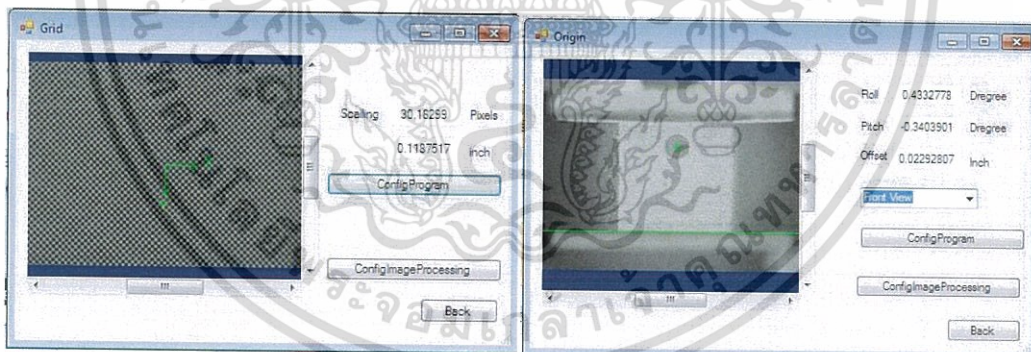
รูปที่ 3.38 ภาพหน้าแรกของหน้าต่างโปรแกรม

เมื่อคลิกปุ่มOK จะทำการแสดงหน้าต่าง Engineering Modeเพื่อทำการเข้าสู่โปรแกรม Calibrationต่างๆ คือโปรแกรมวัดGrid Checkerboard ,โปรแกรมวัดGauge Reference plane, โปรแกรมวัดGauge Calibration และ โปรแกรมวัดGauge Offset เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 ภาพหน้าต่าง Engineering Mode

โดยในแต่โดยโหมดโปรแกรมจะทำการแสดงหน้าต่างขึ้นมาโดยโปรแกรมจะแสดงผลภาพและค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากการเขียนโปรแกรมในข้างต้น

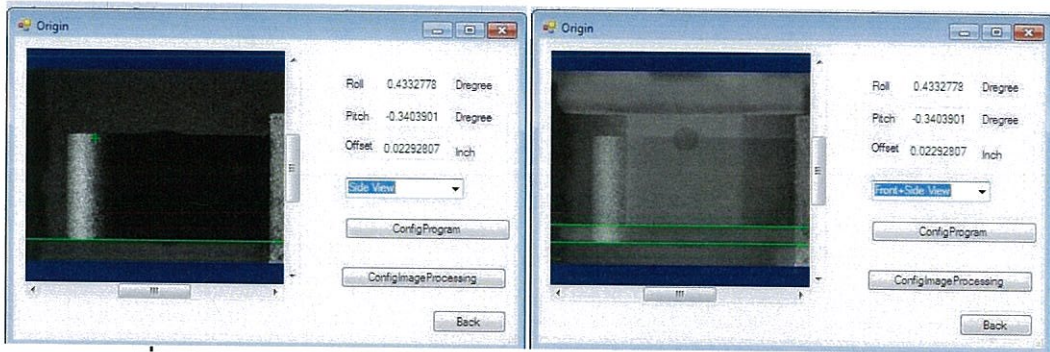


รูปที่ 3.40 (ก)แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรมโหมด Grid Calibration

(ข)แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรม Coordinate Setup(Front view)

โดยโปรแกรมจะสามารถดึงค่าที่ได้ออกแบบจากโปรแกรมVistion Pro-Cognex และนำมาคำนวณและแสดงค่าจากรูปที่ 3.40(ก) จะแสดงการแปลงค่าจากพิกเซลเริ่มต้นเป็นค่าในหน่วยนิ้ว ส่วน(ข)โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าPitch Roll เริ่มต้นจากGauge Setup และคำนวณหาoffset ของPlanegล้อด้านหน้ากับด้านข้าง

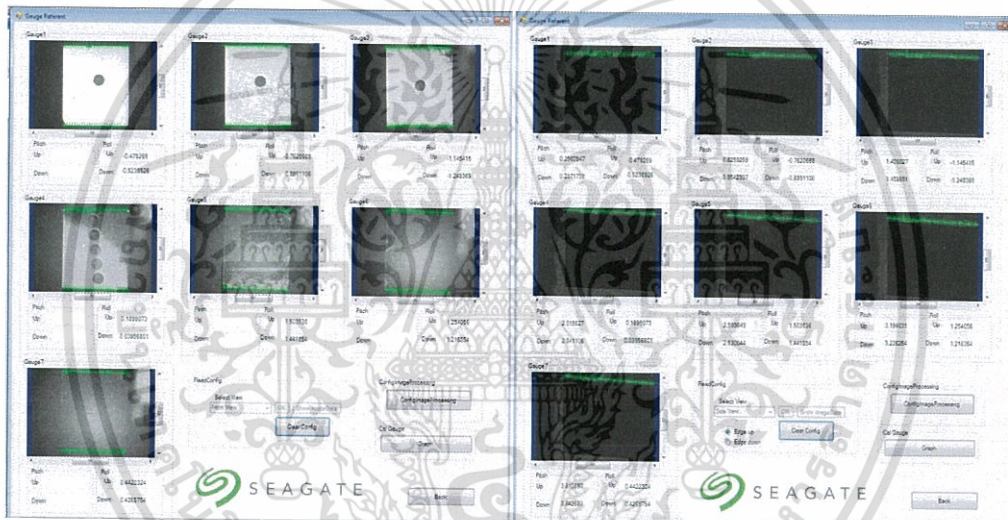
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 (ก)แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรมโหมด Coordinate Setup(Side view)

(ข)แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรม Coordinate Setup(Two View)

จากรูปที่ 3.41 (ก)แสดงภาพด้านข้างโดยภาพด้านข้างจะทำให้ได้ค่าPitchของGauge Setup ส่วนรูป(ข)แสดงภาพซ้อนของมุกกล้องด้านหน้าและด้านข้างเพื่อง่ายต่อการปรับและติดตั้ง

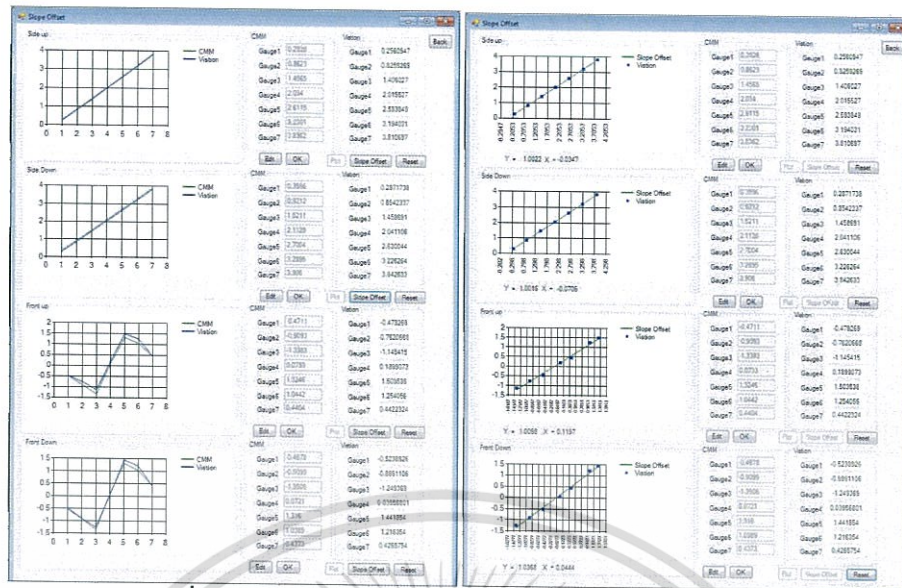


รูปที่ 3.42 (ก)ภาพหน้าต่างโปรแกรมGauge Calibration(Front view)

(ข)ภาพหน้าต่างโปรแกรมGauge Calibration(Side view)

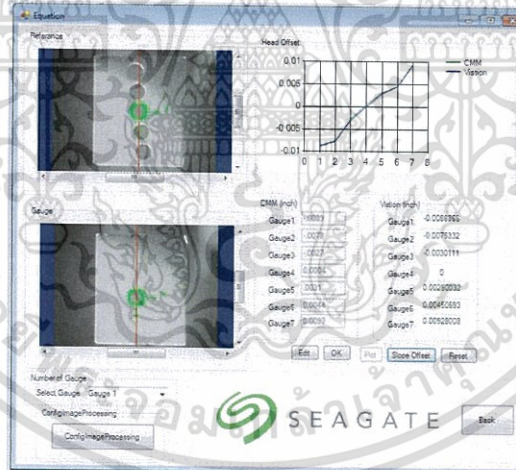
จากรูปที่ 3.42 (ก)จะแสดงภาพของGauge Calibration จากโปรแกรมVition Pro – Cognex โดยจับภาพจากกล้องด้านหน้าและมาคำนวณ ส่วนภาพ(ข)แสดงภาพด้านข้างของGauge Side จากโปรแกรม Vition Pro – Cognex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 แสดงภาพหน้าต่างโปรแกรมหา Slope Offset

เมื่อวัด Gauge Calibration เสร็จจะมีฟังก์ชันเพื่อหาสมการ Slope Offset เพื่อนำสมการไปปรับค่าก่อนวัดงานจริงโดยกดคลิกปุ่ม Plot และปุ่ม Slope Offset โดยจะมีค่าเริ่มต้นของเกจแต่ละตัวจากเครื่องวัดมาตรฐาน (CMM) เพื่อนำมาคำนวณด้วย

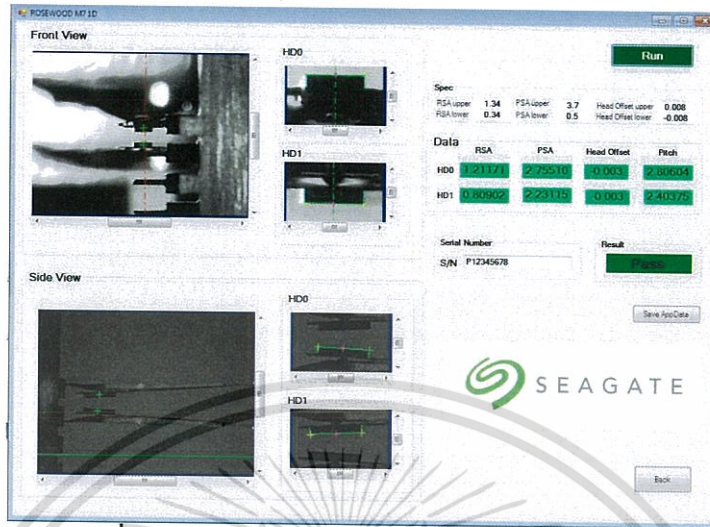


รูปที่ 3.44 แสดงภาพหน้าต่างโหมด Head Offset Calibration

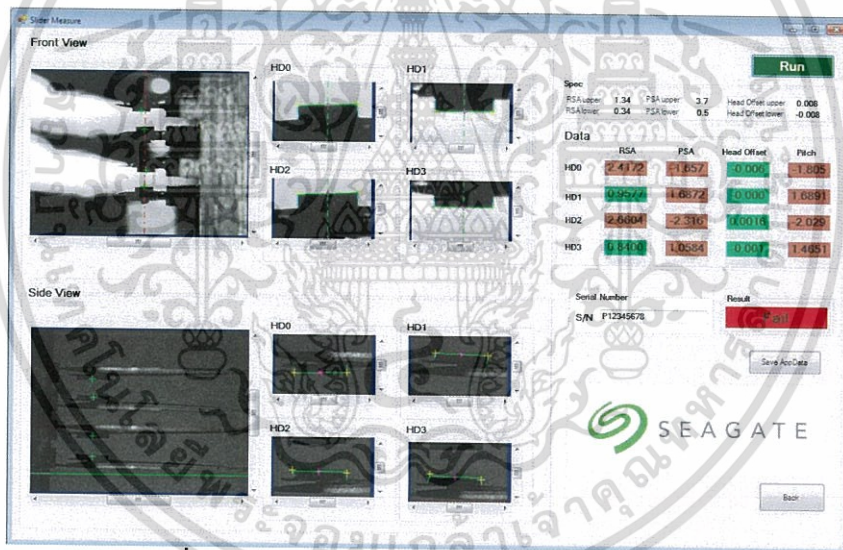
จากรูป 3.44 เป็นโหมด Head Offset Calibration โดยสามารถดูภาพ Gauge ทั้ง 7 ตัวที่ทำ Calibration มาก่อนหน้าและค่าที่วัดได้จากโปรแกรม VISION Pro – Cognex โดยโปรแกรมสามารถวัดกราฟเพื่อเทียบค่าจะเครื่องวัดมาตรฐาน CMM ได้ และนำค่าสมการที่ได้จากสมการมาปรับก่อนวัดงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Operation Mode คือโปรแกรมวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยจะแบ่งModelเป็น 2 อย่างคือ 2 หัวอ่าน และ 4หัวอ่านโดยสามารถเลือกได้



รูปที่3.45 แสดงภาพหน้าต่างโหมด Operation(1D)



รูปที่3.46 แสดงภาพหน้าต่างโหมด Operation(2D)

ภายในโหมดเมื่อกดปุ่มRunจะแสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้และสามารถบอกสถานะว่าชิ้นงานนี้บกพร่องหรือไม่ โดยระบุจุดได้ และสามารถSave ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลของการทดลอง

จากการดำเนินงานตามวิธีและขั้นตอนที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 นั้น ได้มีการบันทึกผลการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดผลการดำเนินงานและผลลัพธ์จากการดำเนินงานของการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวัดGrid Checkerboard

4.2 ผลการวัดGauge Reference plane

4.3 ผลการวัดการวัดGauge Calibration

4.4 ผลการวัดการวัดGauge Offset

4.5 ผลการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ Model 4 Head

4.6 ผลการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ Model 2 Head

4.1 ผลการวัดGrid Checkerboard

Value	Transform X	Transform Y	Scaling	Aspect(Y/X)	Rotation	RMS Error
Gird	1298.06	973.72	30.163	1.04	1.18732	0.53464

ตารางที่4.1 ผลการวัดGrid Checkerboard

4.2 ผลการวัดGauge Reference plane

Pitch (Degrees)	-0.3404
Roll (Degrees)	0.433285

ตารางที่4.2 ผลการวัดGauge Reference plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวัดการวัดGauge Calibration

จากผลการทดลองจะได้ค่าดังต่อไปนี้

ผลการวัดGauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่1

Gauge Calibration	Roll up	Roll Down	Pitch up	Pitch Down
1	-0.47927	-0.5239	0.25609	0.287174
2	-0.76458	-0.90147	0.82593	0.854234
3	-1.14542	-1.24937	1.406027	1.458691
4	0.189907	0.039568	2.015527	2.041106
5	1.503538	1.441854	2.593849	2.630044
6	1.132502	1.258674	3.194031	3.226264
7	0.442232	0.426575	3.810697	3.842633

ตารางที่4.3 ผลการวัดGauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่1

ผลการวัดGauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่2

Gauge Calibration	Roll up	Roll Down	Pitch up	Pitch Down
1	-0.47664	-0.52269	0.254292	0.269067
2	-0.76483	-0.9091	0.821387	0.88573
3	-1.17185	-1.12574	1.405606	1.444869
4	0.170366	-0.05672	2.006164	2.061757
5	1.502148	1.54059	2.598359	2.624554
6	1.179936	1.638937	3.211042	3.24279
7	0.481666	0.040337	3.81092	3.834714

ตารางที่4.4 ผลการวัดGauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดGauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่3

Gauge Calibration	Roll up	Roll Down	Pitch up	Pitch Down
1	-0.4711	-0.4678	0.259843	0.279224
2	-0.9093	-0.9099	0.811193	0.857148
3	-1.3383	-1.3506	1.409494	1.431934
4	0.0733	0.0721	2.011265	2.045842
5	1.3246	1.316	2.596987	2.622743
6	1.0442	1.0389	3.181974	3.241215
7	0.4404	0.4373	3.817587	3.82889

ตารางที่4.5 ผลการวัดGauge CalibrationจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่3

ผลการวัดGauge Calibration จากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 1

Gauge Calibration	Roll up	Roll Down	Pitch up	Pitch Down
1	-0.4711	-0.4678	0.2828	0.3596
2	-0.9093	-0.9099	0.8623	0.9212
3	-1.3383	-1.3506	1.4565	1.5211
4	0.0733	0.0721	2.034	2.1128
5	1.3246	1.316	2.6115	2.7004
6	1.0442	1.0389	3.2301	3.2895
7	0.4404	0.4373	3.8362	3.906

ตารางที่4.6 ผลการวัดGauge Calibrationจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดGauge Calibration จากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 2

Gauge Calibration	Roll up	Roll Down	Pitch up	Pitch Down
1	-0.4711	-0.4678	0.2828	0.3596
2	-0.9093	-0.9099	0.8623	0.9212
3	-1.3383	-1.3506	1.4565	1.5211
4	0.0733	0.0721	2.034	2.1128
5	1.3246	1.316	2.6115	2.7004
6	1.0442	1.0389	3.2301	3.2895
7	0.4404	0.4373	3.8362	3.906

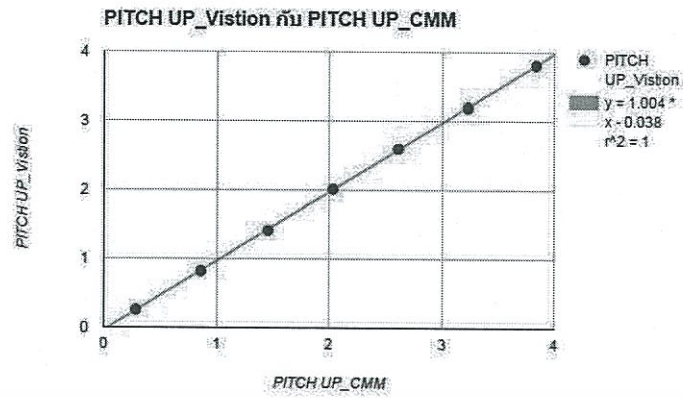
ตารางที่4.7 ผลการวัดGauge Calibrationวัดจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 2

ผลการวัดGauge Calibration จากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 3

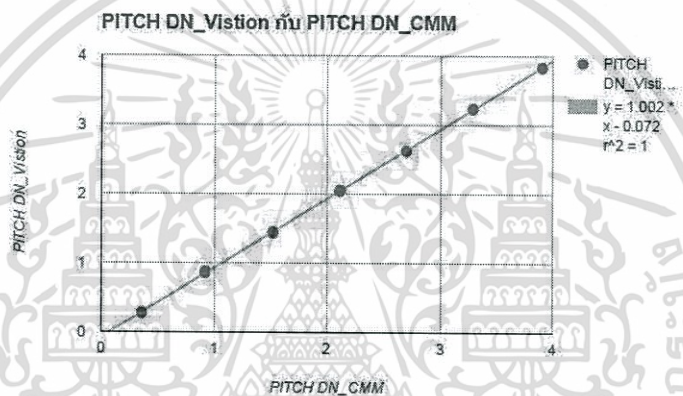
Gauge Calibration	Roll up	Roll Down	Pitch up	Pitch Down
1	-0.4711	-0.4678	0.2828	0.3596
2	-0.9093	-0.9099	0.8623	0.9212
3	-0.9093	-1.3506	1.4565	1.5211
4	0.0733	0.0721	2.034	2.1128
5	1.3246	1.316	2.6115	2.7004
6	1.0442	1.0389	3.2301	3.2895
7	0.4404	0.4373	3.8362	0.9212

ตารางที่4.8 ผลการวัดGauge Calibrationจากเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)ครั้งที่ 3

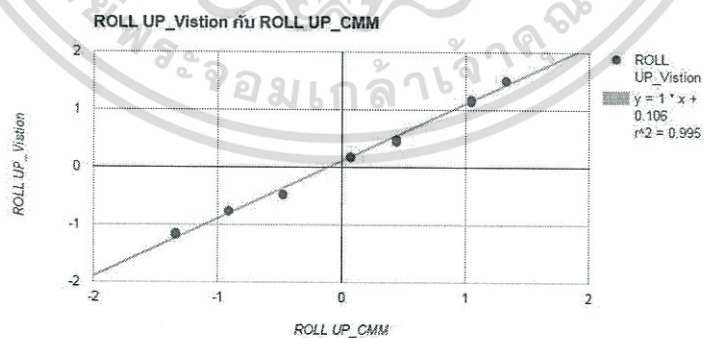
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 Regression Analysis มุม Pitch ขอบบนของ Gauge

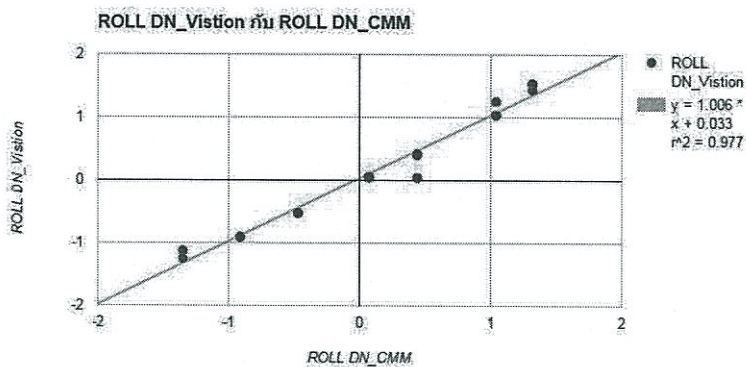


รูปที่ 4.2 Regression Analysis มุม Pitch ขอบล่างของ Gauge

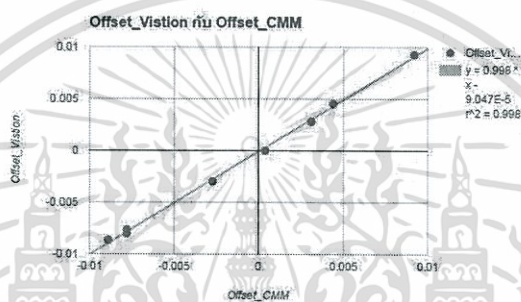


รูปที่ 4.3 Regression Analysis มุม Roll ขอบบนของ Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Regression Analysis มุม Roll ขอบล่างของ Gauge



รูปที่ 4.5 Regression Analysis ค่าOffsetของ Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวัดการวัดGauge Offset

ผลการวัดGauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่1

Gauge	Offset
1	-0.00869
2	-0.00763
3	-0.00301
4	0
5	0.0028
6	0.004507
7	0.00928

ตารางที่4.9 ผลการวัดGauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่ 1

ผลการวัดGauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่2

Gauge	Offset
1	-0.00866
2	-0.00805
3	-0.003
4	0
5	0.002814
6	0.004514
7	0.009257

ตารางที่4.10 ผลการวัดGauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดGauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่3

Gauge	Offset
1	-0.00861
2	-0.00802
3	-0.00296
4	0
5	0.002827
6	0.004558
7	0.00929

ตารางที่4.11 ผลการวัดGauge OffsetจากโปรแกรมMeasure PSA/RSA ครั้งที่ 3

ผลการวัดGauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่1

Gauge	Offset
1	-0.0089
2	-0.0078
3	-0.0027
4	0.0004
5	0.0031
6	0.0044
7	0.0092

ตารางที่4.12 ผลการวัดGauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวัดGauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่2

Gauge	Offset
1	-0.0089
2	-0.0078
3	-0.0027
4	0.0004
5	0.0031
6	0.0044
7	0.0092

ตารางที่4.13 ผลการวัดGauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่ 2

ผลการวัดGauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่3

Gauge	Offset
1	-0.0089
2	-0.0078
3	-0.0027
4	0.0004
5	0.0031
6	0.0044
7	0.0092

ตารางที่4.14 ผลการวัดGauge Offsetเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM) ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ Model 4 Head

ผลการวัดมุมPSA/RSA จากโปรแกรมMeasure PSA/RSA Model 4 Head

Part	Operator	PSA0	PSA1	PSA2	PSA3	RSA0	RSA1	RSA2	RSA3	Head offset0	Head offset1	Head offset2	Head offset3
1	1	-0.202154	2.073100	-0.449770	1.792336	0.510017	1.812250	1.227902	2.813942	-0.006061	-0.003510	0.000963	-0.002734
1	2	-0.183054	2.071232	-0.460431	1.792909	0.468016	1.849424	1.222974	2.801450	-0.006044	-0.003518	0.000969	-0.002753
1	1	-0.202238	2.078779	-0.492376	1.794495	0.496091	1.873893	1.225754	2.792857	-0.006035	-0.003499	0.001003	-0.002731
1	2	-0.204257	2.076856	-0.468090	1.800857	0.476015	1.851777	1.225684	2.771764	-0.006025	-0.003501	0.000975	-0.002740
1	1	-0.204104	2.091408	-0.452505	1.793444	0.539987	1.866808	1.211581	2.801311	-0.006012	-0.003509	0.000970	-0.002741
1	2	-0.220988	2.081703	-0.481227	1.795165	0.531035	1.898478	1.229523	2.795454	-0.006043	-0.003503	0.000973	-0.002746
2	1	2.576364	5.246779	2.512560	5.612569	2.376065	1.046944	2.332749	1.159537	-0.007325	-0.005148	-0.00013	-0.008028
2	2	2.589122	5.249937	2.512071	5.610365	2.382277	1.047172	2.315443	1.174659	-0.007325	-0.005154	-0.00013	-0.008041
2	1	2.594080	5.246082	2.506595	5.610309	2.376555	1.052816	2.314495	1.170246	-0.007330	-0.005162	-0.00014	-0.008048
2	2	2.582043	5.241556	2.510260	5.613722	2.382694	1.025783	2.323789	1.159624	-0.007329	-0.005159	-0.000137	-0.008034
2	1	2.588501	5.246982	2.501015	5.614822	2.361124	1.049871	2.311534	1.169026	-0.007342	-0.005154	-0.000122	-0.008045
2	2	2.612049	5.240902	2.508952	5.612150	2.381316	1.013215	2.314108	1.167298	-0.007325	-0.005151	-0.000135	-0.008050
3	1	2.345452	5.383057	2.039682	5.125681	2.527058	0.810693	2.718995	0.469822	-0.008451	-0.002300	0.000250	-0.003175
3	2	2.343076	5.391231	2.035021	5.127129	2.547647	0.824398	2.713422	0.462866	-0.008432	-0.002289	0.000266	-0.003149
3	1	2.348822	5.377775	2.037858	5.132097	2.539740	0.789091	2.704345	0.504867	-0.008436	-0.002289	0.000263	-0.003154
3	2	2.353416	5.396179	2.034974	5.134168	2.545784	0.810602	2.712614	0.476931	-0.008442	-0.002273	0.000264	-0.003160
3	1	2.350951	5.389025	2.008000	5.131683	2.536975	0.822710	2.707590	0.491442	-0.008416	-0.002289	0.000267	-0.003149
3	2	2.334295	5.390086	2.046293	5.125336	2.506598	0.822537	2.709014	0.484391	-0.008434	-0.002278	0.000262	-0.003151
4	1	2.694803	5.235761	2.163959	4.996802	3.823547	1.031993	2.908183	0.494198	-0.006145	-0.000833	-0.001270	-0.000896
4	2	2.700179	5.238719	2.179112	5.004883	3.735130	1.034045	2.912673	0.499079	-0.006142	-0.000802	-0.001269	-0.000974
4	1	2.702577	5.233976	2.178476	4.989294	3.822395	1.028289	2.905451	0.473641	-0.006144	-0.000801	-0.001280	-0.000879
4	2	2.690328	5.245068	2.169561	4.999494	3.887126	1.017962	2.911399	0.483470	-0.006138	-0.000802	-0.001273	-0.000874
4	1	2.681335	5.237826	2.176363	4.997983	3.849108	1.019372	2.907450	0.472570	-0.006118	-0.000769	-0.001270	-0.000984
4	2	2.691001	5.243497	2.173014	4.999619	3.915462	1.034725	2.905960	0.478511	-0.006121	-0.000763	-0.001280	-0.000885
5	1	2.439209	5.126399	2.722376	5.440973	2.789105	1.007041	2.568596	0.909474	-0.004646	-0.006086	-0.001947	-0.002449
5	2	2.435086	5.134217	2.735937	5.440460	2.765682	0.981581	2.589151	0.874982	-0.004652	-0.006118	-0.001951	-0.002445
5	1	2.437127	5.133030	2.720286	5.423331	2.762127	0.984561	2.601759	0.888741	-0.004650	-0.006100	-0.001941	-0.002445
5	2	2.444131	5.124275	2.736949	5.433608	2.775992	0.986982	2.588931	0.878555	-0.004660	-0.006107	-0.001950	-0.002452
5	1	2.427949	5.134993	2.737428	5.441022	2.758059	0.993409	2.587046	0.897184	-0.004648	-0.006111	-0.001944	-0.002433
5	2	2.432717	5.140135	2.730671	5.439695	2.768059	0.989789	2.594233	0.879742	-0.004653	-0.006097	-0.001942	-0.002434
6	1	2.425452	5.463057	2.119682	5.205681	2.547058	0.830693	2.738995	0.489822	-0.007351	-0.001200	0.001350	-0.002075
6	2	2.423076	5.471231	2.115021	5.207129	2.567647	0.844398	2.733422	0.482866	-0.007332	-0.001189	0.001366	-0.002049
6	1	2.428822	5.457775	2.117858	5.212097	2.559740	0.809091	2.724345	0.524867	-0.007336	-0.001189	0.001363	-0.002054
6	2	2.433416	5.476179	2.114974	5.214168	2.565784	0.830602	2.732614	0.496931	-0.007342	-0.001173	0.001364	-0.002060
6	1	2.430951	5.469025	2.088000	5.211683	2.556975	0.842710	2.727590	0.511442	-0.007316	-0.001189	0.001367	-0.002049
6	2	2.414295	5.470086	2.126293	5.205336	2.526598	0.842537	2.729014	0.504391	-0.007334	-0.001178	0.001362	-0.002051
7	1	2.656364	5.326779	2.592560	5.692569	2.396065	1.066944	2.352749	1.179537	-0.006225	-0.004048	0.000970	-0.006928
7	2	2.669122	5.329937	2.592071	5.690365	2.402277	1.067172	2.335443	1.194659	-0.006225	-0.004054	0.000967	-0.006941
7	1	2.674080	5.326082	2.586595	5.690309	2.396555	1.072816	2.334495	1.190246	-0.006230	-0.004062	0.000958	-0.006948
7	2	2.662043	5.321556	2.590260	5.693722	2.402694	1.045783	2.343789	1.179624	-0.006229	-0.004059	0.000963	-0.006934
7	1	2.668501	5.326982	2.581015	5.694822	2.381124	1.069871	2.331534	1.189026	-0.006242	-0.004054	0.000978	-0.006945

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวเฒาหระบการใชงานเพอการศกษาแทนน ไมอนุญาตใ้เนาไปใชบระยชนดานการคา

ไมวากรณีใดทงห้สน อิกทงห้ามมิใ้ดัดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้งที่ม่การนำไปใ้

7	2	2.692049	5.320902	2.588952	5.692150	2.401316	1.033215	2.334108	1.187298	-0.006225	-0.004051	0.000965	-0.006950
8	1	-0.122154	2.153100	-0.369770	1.872336	0.530017	1.832250	1.247902	2.833942	-0.004961	-0.002410	0.002063	-0.001634
8	2	-0.103054	2.151232	-0.380431	1.872909	0.488016	1.869424	1.242974	2.821450	-0.004944	-0.002418	0.002069	-0.001653
8	1	-0.122238	2.158779	-0.412376	1.874495	0.516091	1.893893	1.245754	2.812857	-0.004935	-0.002399	0.002103	-0.001631
8	2	-0.124257	2.156856	-0.388090	1.880857	0.496015	1.871777	1.245684	2.791764	-0.004925	-0.002401	0.002075	-0.001640
8	1	-0.124104	2.171408	-0.372505	1.873444	0.559987	1.886808	1.231581	2.821311	-0.004912	-0.002409	0.002070	-0.001641
8	2	-0.140988	2.161703	-0.401227	1.875165	0.551035	1.918478	1.249523	2.815454	-0.004943	-0.002403	0.002073	-0.001646
9	1	2.519209	5.206399	2.802376	5.520973	2.809105	1.027041	2.588596	0.929474	-0.003546	-0.004986	-0.000847	-0.001349
9	2	2.515086	5.214217	2.815937	5.520460	2.785682	1.001581	2.609151	0.894982	-0.003552	-0.005018	-0.000851	-0.001345
9	1	2.517127	5.213030	2.800286	5.503331	2.782127	1.004561	2.621759	0.908741	-0.003550	-0.005000	-0.000841	-0.001345
9	2	2.524131	5.204275	2.816949	5.513608	2.795992	1.006982	2.608931	0.898555	-0.003560	-0.005007	-0.000850	-0.001352
9	1	2.507949	5.214993	2.817428	5.521022	2.778059	1.013409	2.607046	0.917184	-0.003548	-0.005011	-0.000844	-0.001333
9	2	2.512717	5.220135	2.810671	5.519695	2.788059	1.009789	2.614233	0.899742	-0.003553	-0.004997	-0.000842	-0.001334
10	1	2.774803	5.315761	2.243959	5.076802	3.843547	1.051993	2.928183	0.514198	-0.005045	0.000267	-0.000170	0.000204
10	2	2.780179	5.318719	2.259112	5.084883	3.755130	1.054045	2.932673	0.519079	-0.005042	0.000298	-0.000169	0.000126
10	1	2.782577	5.313976	2.258476	5.069294	3.842395	1.048289	2.925451	0.493641	-0.005044	0.000299	-0.000180	0.000221
10	2	2.770328	5.325068	2.249561	5.079494	3.907126	1.037962	2.931399	0.503470	-0.005038	0.000298	-0.000173	0.000226
10	1	2.761335	5.317826	2.256363	5.077983	3.869108	1.039372	2.927450	0.492570	-0.005018	0.000331	-0.000170	0.000116
10	2	2.771001	5.323497	2.253014	5.079619	3.935462	1.054725	2.925960	0.498511	-0.005021	0.000337	-0.000180	0.000215

ตารางที่ 4.15 ผลการวัดมุม PSA/RSA จากโปรแกรม Measure PSA/RSA Model 4 Head

4.6 ผลการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ Model 2 Head

ผลการวัดมุม PSA/RSA จากโปรแกรม Measure PSA/RSA ครั้งที่ 1

Part	Operator	PSA0	PSA1	RSA0	RSA1	Head offset0	Head offset1
1	1	3.112901	3.378213	1.470778	1.171961	-0.00408	-0.00254
1	2	3.129001	3.388753	1.457216	1.152353	-0.00403	-0.00254
1	1	3.119786	3.347103	1.474782	1.13432	-0.00407	-0.00255
1	2	3.113452	3.348528	1.429696	1.207721	-0.00402	-0.00254
1	1	3.114631	3.364344	1.472047	1.166485	-0.00405	-0.00254
1	2	3.128321	3.381857	1.459398	1.137248	-0.00405	-0.00253
2	1	3.269768	4.221242	1.322592	0.974924	-0.00398	-0.00239
2	2	3.276552	4.204642	1.246843	0.95323	-0.00397	-0.00239
2	1	3.278579	4.209017	1.279291	0.991419	-0.00398	-0.00239
2	2	3.265387	4.197919	1.222066	1.004735	-0.00397	-0.00238
2	1	3.267035	4.221232	1.202712	0.990638	-0.00396	-0.00238
2	2	3.265793	4.223672	1.220793	0.950879	-0.00397	-0.00238
3	1	2.794368	2.83556	1.286233	1.037616	-0.00423	-0.0032
3	2	2.795238	2.815632	1.310595	0.999908	-0.00424	-0.00318
3	1	2.788161	2.8195	1.326067	1.025308	-0.00422	-0.00318
3	2	2.796296	2.812363	1.300628	1.036978	-0.00423	-0.00317

3	1	2.805097	2.811196	1.338643	1.053812	-0.00424	-0.00318
3	2	2.778205	2.822642	1.314125	1.031177	-0.00423	-0.00317
4	1	2.65817	2.670388	1.226284	0.881499	-0.00414	-0.00123
4	2	2.645741	2.674867	1.223279	0.890746	-0.00414	-0.00123
4	1	2.642597	2.683424	1.215256	0.971611	-0.00414	-0.00122
4	2	2.642764	2.685227	1.216031	0.924462	-0.00414	-0.00123
4	1	2.682852	2.662984	1.238748	0.975795	-0.00414	-0.00122
4	2	2.661007	2.671849	1.216204	0.935505	-0.00414	-0.00122
5	1	2.892539	2.577897	1.385932	0.967761	-0.00358	-0.00277
5	2	2.93171	2.581459	1.347749	0.943234	-0.00357	-0.00275
5	1	2.946468	2.602805	1.34979	0.932205	-0.00357	-0.00276
5	2	2.959972	2.558573	1.331218	0.943501	-0.00356	-0.00274
5	1	2.948063	2.562267	1.349377	0.922434	-0.00357	-0.00275
5	2	2.929101	2.588727	1.360741	0.928095	-0.00357	-0.00276
6	1	2.73817	2.750388	1.286284	0.941499	0.001862	0.004775
6	2	2.725741	2.754867	1.283279	0.950746	0.001856	0.004772
6	1	2.722597	2.763424	1.275256	1.031611	0.001859	0.00478
6	2	2.722764	2.765227	1.276031	0.984462	0.00186	0.004772
6	1	2.762852	2.742984	1.298748	1.035795	0.001858	0.004783
6	2	2.741007	2.751849	1.276204	0.995505	0.001857	0.004779
7	1	3.349768	4.301242	1.382592	1.034924	0.002022	0.003615
7	2	3.356552	4.284642	1.306843	1.01323	0.002029	0.003614
7	1	3.358579	4.289017	1.339291	1.051419	0.002023	0.003613
7	2	3.345387	4.277919	1.282066	1.064735	0.002033	0.003617
7	1	3.347035	4.301232	1.262712	1.050638	0.002038	0.003616
7	2	3.345793	4.303672	1.280793	1.010879	0.002029	0.003621
8	1	2.972539	2.657897	1.445932	1.027761	0.002421	0.003235
8	2	3.01171	2.661459	1.407749	1.003234	0.002428	0.003248
8	1	3.026468	2.682805	1.40979	0.992205	0.00243	0.00324
8	2	3.039972	2.638573	1.391218	1.003501	0.002441	0.003255
8	1	3.028063	2.642267	1.409377	0.982434	0.002426	0.003249
8	2	3.009101	2.668727	1.420741	0.988095	0.002425	0.003237
9	1	2.874368	2.91556	1.346233	1.097616	0.001765	0.002803
9	2	2.875238	2.895632	1.370595	1.059908	0.001756	0.002817
9	1	2.868161	2.8995	1.386067	1.085308	0.001777	0.002821
9	2	2.876296	2.892363	1.360628	1.096978	0.001767	0.002826
9	1	2.885097	2.891196	1.398643	1.113812	0.001761	0.002822
9	2	2.858205	2.902642	1.374125	1.091177	0.001767	0.002827
10	1	3.192901	3.458213	1.530778	1.231961	0.001922	0.003456
10	2	3.209001	3.468753	1.517216	1.212353	0.001965	0.003465
10	1	3.199786	3.427103	1.534782	1.19432	0.001928	0.003452
10	2	3.193452	3.428528	1.489696	1.267721	0.001982	0.003459
10	1	3.194631	3.444344	1.532047	1.226485	0.001951	0.003461
10	2	3.208321	3.461857	1.519398	1.197248	0.001954	0.003466

ตารางที่ 4.16 ผลการวัดมุมPSA/RSA จากโปรแกรมMeasure PSA/RSA Model 2 Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ผลการทำ Gage R&R ของการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ Model 4 Head

Process tolerance = 3.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.00936	0.04820	0.81	1.51
Repeatability	0.00936	0.04820	0.81	1.51
Reproducibility	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Operator	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	1.15428	5.94454	100.00	185.77
Total Variation	1.15432	5.94474	100.00	185.77

Number of Distinct Categories = 173

Gage R&R for PSA0

Process tolerance = 3.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.00587	0.03023	0.44	0.94
Repeatability	0.00531	0.02736	0.40	0.85
Reproducibility	0.00250	0.01286	0.19	0.40
Operator	0.00076	0.00391	0.06	0.12
Operator*Part	0.00238	0.01225	0.18	0.38
Part-To-Part	1.34096	6.90594	100.00	215.81
Total Variation	1.34097	6.90601	100.00	215.81

Number of Distinct Categories = 322

Gage R&R for PSA1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process tolerance = 3.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.01068	0.05499	0.87	1.72
Repeatability	0.01056	0.05437	0.86	1.70
Reproducibility	0.00160	0.00823	0.13	0.26
Operator	0.00160	0.00823	0.13	0.26
Part-To-Part	1.22121	6.28922	100.00	196.54
Total Variation	1.22125	6.28946	100.00	196.55

Number of Distinct Categories = 161

Gage R&R for PSA2

Process tolerance = 3.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.00461	0.02372	0.31	0.74
Repeatability	0.00441	0.02273	0.30	0.71
Reproducibility	0.00132	0.00677	0.09	0.21
Operator	0.00132	0.00677	0.09	0.21
Part-To-Part	1.49367	7.69242	100.00	240.39
Total Variation	1.49368	7.69245	100.00	240.39

Number of Distinct Categories = 457

Gage R&R for PSA3

Process tolerance = 1.68

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.03251	0.16743	2.86	9.97
Repeatability	0.03251	0.16743	2.86	9.97
Reproducibility	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Operator	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	1.13741	5.85764	99.96	348.67
Total Variation	1.13787	5.86003	100.00	348.81

Number of Distinct Categories = 49

Gage R&R for RSA0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process tolerance = 1.68

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.016937	0.08722	4.39	5.19
Repeatability	0.016937	0.08722	4.39	5.19
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Operator	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.385436	1.98500	99.90	118.15
Total Variation	0.385808	1.98691	100.00	118.27

Number of Distinct Categories = 32

Gage R&R for RSA1

Process tolerance = 1.68

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.007277	0.03748	1.16	2.23
Repeatability	0.007203	0.03710	1.15	2.21
Reproducibility	0.001034	0.00533	0.16	0.32
Operator	0.001034	0.00533	0.16	0.32
Part-To-Part	0.626911	3.22859	99.99	192.18
Total Variation	0.626953	3.22881	100.00	192.19

Number of Distinct Categories = 121

Gage R&R for RSA2

Process tolerance = 1.68

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.012984	0.06687	1.44	3.98
Repeatability	0.011228	0.05782	1.24	3.44
Reproducibility	0.006520	0.03358	0.72	2.00
Operator	0.005120	0.02637	0.57	1.57
Operator*Part	0.004037	0.02079	0.45	1.24
Part-To-Part	0.902935	4.65012	99.99	276.79
Total Variation	0.903029	4.65060	100.00	276.82

Number of Distinct Categories = 98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process tolerance = 0.016

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000114	0.0000588	0.78	0.37
Repeatability	0.0000114	0.0000588	0.78	0.37
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0014689	0.0075650	100.00	47.28
Total Variation	0.0014690	0.0075652	100.00	47.28

Number of Distinct Categories = 181

Gage R&R for Head offset0

Process tolerance = 0.016

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000138	0.0000713	0.66	0.45
Repeatability	0.0000138	0.0000713	0.66	0.45
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0020972	0.0108005	100.00	67.50
Total Variation	0.0020972	0.0108008	100.00	67.50

Number of Distinct Categories = 213

Gage R&R for Head offset1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process tolerance = 0.016

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000081	0.0000416	0.64	0.26
Repeatability	0.0000081	0.0000415	0.64	0.26
Reproducibility	0.0000003	0.0000016	0.02	0.01
Operator	0.0000003	0.0000016	0.02	0.01
Part-To-Part	0.0012530	0.0064529	100.00	40.33
Total Variation	0.0012530	0.0064530	100.00	40.33

Number of Distinct Categories = 218

Gage R&R for Head offset2

Process tolerance = 0.016

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000239	0.0001229	0.91	0.77
Repeatability	0.0000239	0.0001229	0.91	0.77
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0026084	0.0134332	100.00	83.96
Total Variation	0.0026085	0.0134337	100.00	83.96

Number of Distinct Categories = 154

Gage R&R for Head offset3

ผลการทำGage R&Rของการวัดมุมของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ Model 4 Head

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process tolerance = 3.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.014032	0.07226	5.93	2.26
Repeatability	0.014032	0.07226	5.93	2.26
Reproducibility	0.000000	0.000000	0.00	0.00
Operator	0.000000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.236128	1.21606	99.82	38.00
Total Variation	0.236545	1.21820	100.00	38.07

Number of Distinct Categories = 23

Gage R&R for PSA0

Process tolerance = 3.2

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.013145	0.06770	2.05	2.12
Repeatability	0.013145	0.06770	2.05	2.12
Reproducibility	0.000000	0.000000	0.00	0.00
Operator	0.000000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.640316	3.29763	99.98	103.05
Total Variation	0.640451	3.29832	100.00	103.07

Number of Distinct Categories = 68

Gage R&R for PSA1

Process tolerance = 1.68

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0259081	0.133427	26.61	7.94
Repeatability	0.0226191	0.116489	23.23	6.93
Reproducibility	0.0126334	0.065062	12.98	3.87
Operator	0.0126334	0.065062	12.98	3.87
Part-To-Part	0.0938459	0.483307	96.39	28.77
Total Variation	0.0973565	0.501386	100.00	29.84

Number of Distinct Categories = 5

Gage R&R for RSA0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Process tolerance = 1.68

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0261657	0.134754	26.79	8.02
Repeatability	0.0255118	0.131386	26.12	7.82
Reproducibility	0.0058131	0.029937	5.95	1.78
Operator	0.0058131	0.029937	5.95	1.78
Part-To-Part	0.0941068	0.484650	96.35	28.85
Total Variation	0.0976767	0.503035	100.00	29.94

Number of Distinct Categories = 5

Gage R&R for RSA1

Process tolerance = 0.016

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000129	0.0000665	0.41	0.42
Repeatability	0.0000085	0.0000439	0.27	0.27
Reproducibility	0.0000097	0.0000499	0.31	0.31
Operator	0.0000038	0.0000195	0.12	0.12
Operator*Part	0.0000089	0.0000460	0.28	0.29
Part-To-Part	0.0031715	0.0163330	100.00	102.08
Total Variation	0.0031715	0.0163331	100.00	102.08

Number of Distinct Categories = 346

Gage R&R for Head offset0

Process tolerance = 0.016

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000064	0.0000330	0.20	0.21
Repeatability	0.0000060	0.0000309	0.19	0.19
Reproducibility	0.0000023	0.0000116	0.07	0.07
Operator	0.0000023	0.0000116	0.07	0.07
Part-To-Part	0.0032366	0.0166683	100.00	104.18
Total Variation	0.0032366	0.0166683	100.00	104.18

Number of Distinct Categories = 712

Gage R&R for Head offset1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองการ Calibration gauge สามารถสรุปได้ดังนี้

Regression Analysis	มุม Pitch ขอบบนของ Gauge	มุม Pitch ขอบล่างของ Gauge	มุม Roll ขอบบนของ Gauge	Roll ขอบล่างของ Gauge	Offset ของ Gauge
R^2	1	1	0.995	0.977	0.998

ตารางที่ 5.1 ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2)

ดังนั้นสามารถยอมรับผลจากระบบการวัดด้วยวิธีวัดวิธีการประมวลผลด้วยภาพได้ จะสามารถวัดมุม PSA/RSA ของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ค่าที่ถูกต้องเนื่องจากมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับค่าเครื่องวัดมาตรฐาน(CMM)โดยมีค่าที่สามารถรับได้น้อยสุดคือ 0.95 และค่าผลการทดลองมีค่ามากกว่า 0.95

จากผลการทดลอง Gage Repeatability and Reproducibility ของโมเดล 4 หัวอ่าน

%Tolerance(SW Toler) Part	Repeatability	Reproducibility
PSA0	1.15	0
PSA1	0.85	0.40
PSA2	1.70	0.26
PSA3	0.71	0.21
RSA0	9.97	0
RSA1	5.19	0
RSA2	2.21	0.32
RSA3	3.44	2
Offset0	0.37	0
Offset1	0.45	0.01
Offset2	0.26	0.01
Offset3	0.77	0

ตารางที่ 5.2 Gage Repeatability and Reproducibility ของโมเดล 4 หัวอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง Gage Repeatability and Reproducibilityของโมเดล 2 หัวอ่าน

%Tolerance(SV/Toler) Part	Repeatability	Reproducibility
PSA0	2.26	0
PSA1	2.12	0
RSA0	6.93	3.87
RSA1	7.82	1.78
Offset0	0.27	0.31
Offset1	0.19	0.07

ตารางที่ 5.3 Gage Repeatability and Reproducibilityของโมเดล 2 หัวอ่าน

จากตารางที่5.2และ5.3 จะสรุปได้ดังนี้

- (1) %Gage R&R < 10% แสดงว่าสามารถยอมรับผลจากระบบการวัดได้
- (2) $10\% < \%Gage\ R\&R < 30\%$ แสดงว่าอาจจะยอมรับผลจากระบบการวัดได้
- (3) %Gage R&R > 30% แสดงว่าระบบการวัดต้องมีการปรับปรุง

ดังนั้นไม่มี%Gage R&Rที่มากกว่า 10%จึงสามารถยอมรับผลจากระบบการวัดแบบวิธีการประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่าPSA/RSAของหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิธีประมวลผลด้วยภาพสำหรับการวัดค่าPSA/RSAสามารถต่อยอดและพัฒนาให้สามารถวัดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มากขึ้นได้อีกโดยอาจจะสามารถเพิ่มField of viewของกล้องหรือความละเอียดของตัวกล้องได้

เอกสารอ้างอิง

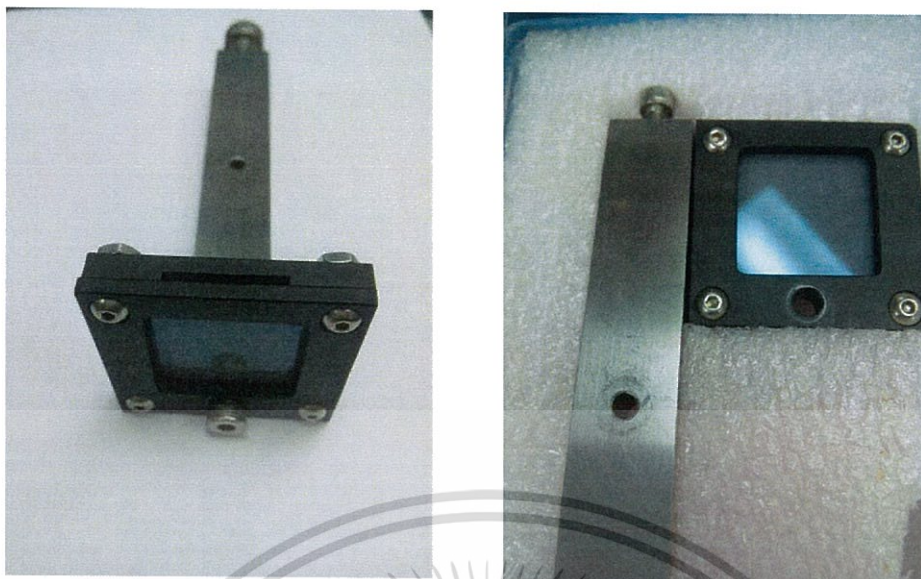
- [1] A practical guide to machine vision lighting, NI
- [2] Regression Analysis” [Online]. Available :
<http://home.dsd.go.th/kamphaengphet/km/information/RESECARCH/014Regression.pdf>
- [3] “การหาขอบภาพ” [Online]. Available :
<http://fivedots.coe.psu.ac.th/~montri/Teaching/240-373/Chapter8.pdf>. 2558.
- [4] “ความรู้พื้นฐานด้านการประมวลผลภาพดิจิทัล” [Online]. Available :
https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20101011102347.pdf. 2558.
- [5] สมยศ เกียรติวนิชวิไล “เทคนิคการประมวลผลภาพกระประมวลผลภาพขั้นสูงและการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม.” 2556.



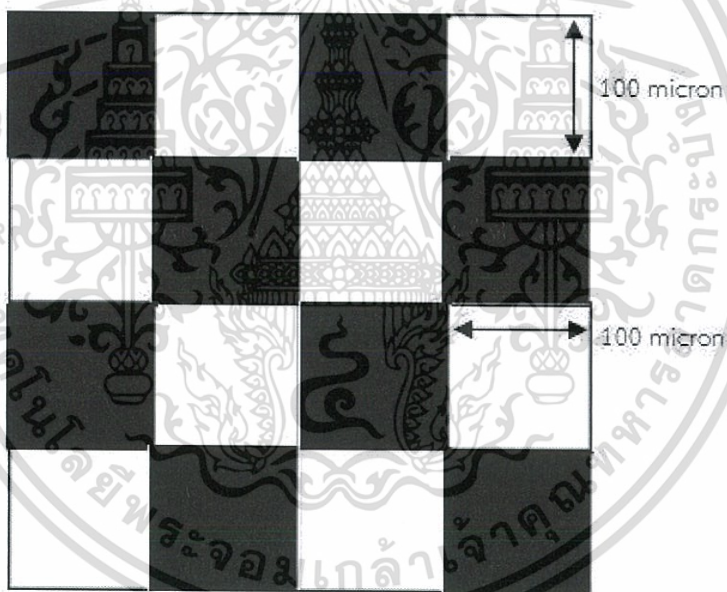
ภาคผนวก ก

Grid Checkerboard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 Grid Checkerboard



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

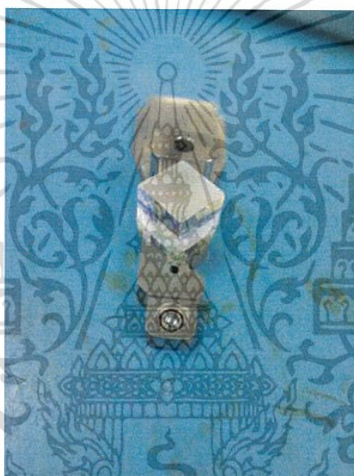
The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central sun with rays, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sun is a central tiered structure, possibly a stupa or a ceremonial object, with intricate carvings. The entire emblem is surrounded by a decorative border. The text "ภาคผนวก ข" is centered over the seal, and "Gauge Reference plane & Gauge Calibration" is written below it.

ภาคผนวก ข
Gauge Reference plane & Gauge Calibration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 Gauge Calibration



รูปที่ ข.2 Gauge Reference plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล นายปฏิพัทธ์ บุญมาตุ่น
- วัน เดือน ปีเกิด 5 มกราคม 2537
- ที่อยู่ 3/82 ตำบลหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110
E-mail : patipat.pee@gmail.com Tell: 089-664-4199
- ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2555 - ปัจจุบัน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้