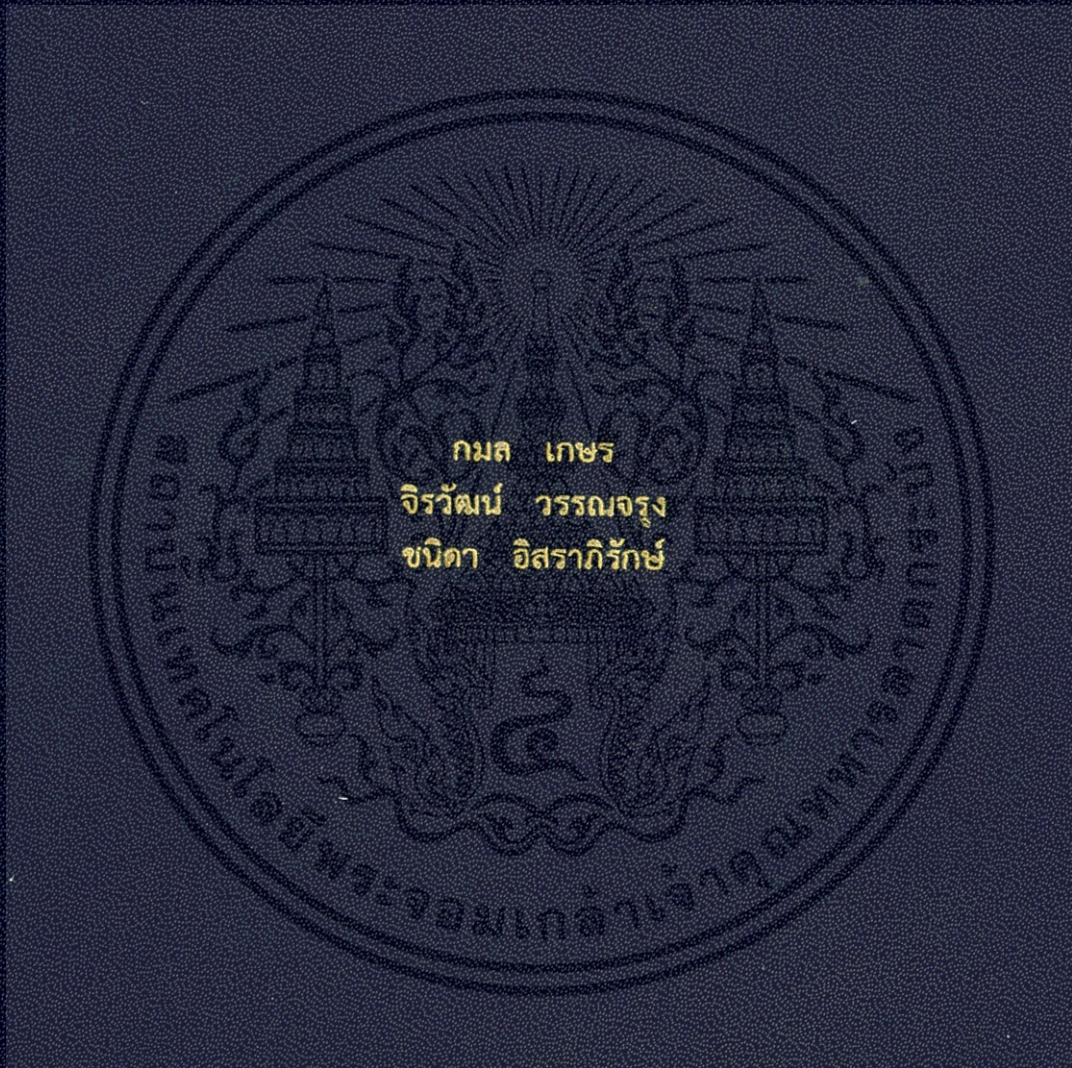


เครื่องตรวจวัดความลึกห่อของยางรถยนต์ด้วยโอเพ่นซอร์ส คอมพิวเตอร์วิชั่น
TIRE DEPTH MEASUREMENT USING OPEN SOURCE COMPUTER
VISION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เครื่องตรวจวัดความลึกหอรของยางรถยนต์ด้วยโอเพ่นซอร์ส คอมพิวเตอร์วิชัน
TIRE DEPTH MEASUREMENT USING OPEN SOURCE COMPUTER
VISION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIRE DEPTH MEASUREMENT USING OPEN SOURCE
COMPUTER VISION



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องตรวจวัดความสึกหรอของยางรถยนต์ด้วยโอเพ่นซอร์สคอมพิวเตอร์วิชั่น
TIRE DEPTH MEASUREMENT USING OPEN SOURCE COMPUTER
VISION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกมล เกษร รหัสนักศึกษา53010006
นายจิรวัดน์ วรรณจรุง รหัสนักศึกษา53010222
นางสาวชนิดา อิศราภีรักษ์ รหัสนักศึกษา53010307

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องตรวจวัดความลึกหรือของยางรถยนต์ด้วยโอเพ่นซอร์ส
คอมพิวเตอร์วิชั่น
TIRE DEPTH MEASUREMENT USING OPEN SOURCE
COMPUTER VISION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกมล เกษร รหัสนักศึกษา 53010006
นายจิรวัดน์ วรรณจรุง รหัสนักศึกษา 53010222
นางสาวชนิดา อิศราภีรักษ์ รหัสนักศึกษา 53010307

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีวัดความลึกของร่องยางรถยนต์โดยใช้วีทัศน์จักรกลแบบเวลาจริง ระบบที่ออกแบบมีต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพสูง ซอฟต์แวร์ที่ใช้พัฒนาด้วยภาษาซี และไลบรารีของ Open Source Computer Vision (OpenCV) ทำงานร่วมกับกล้อง USB สำหรับจับภาพ ลำแสงเลเซอร์แบบเส้นตรงที่ฉายลงบนหน้ายางในขณะที่ทำการหมุนล้อยาง วิธีการของโฮโมกราฟี สำหรับแปลงพิกัดของภาพ ถูกนำมาใช้เพื่อแปลงหน่วยในการวัดให้เป็นหน่วยที่ใช้วัดจริง (มม.) ระบบ การวัดนี้สามารถคำนวณค่าความลึกหรือในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบกับความลึกของร่อง ยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำ สามารถ พัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมตรวจสอบคุณภาพของยางอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว

Thesis Title	TIRE DEPTH MEASUREMENT USING OPEN SOURCE COMPUTER VISION
Authors	Kamol Kesorn Jirawat Wannajarung Chanida Issarapirak
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Taweepol Suesut
Year	2013

ABSTRACT

This thesis presents the method to measure the tire depth using machine vision in real-time. This system is low cost and high efficiency. The developed is interfacing with USB camera to capture the laser line projected on the rotating tire. The homography transform was applied to convert the image pixel to the real-world metric unit (mm.) this measurement system can be calculated the percentage of tire's wear by comparing with the new tire. The experimental result can show the accuracy of the measurement system which can be used in industrial quality inspection effectively.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความรู้ความกรุณาและให้การอบรมสั่งสอนจากอาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญานิพนธ์ รศ.ดร.ทวีพล ชื่อสัตย์ ที่ให้ความรู้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหารวมถึงอุปสรรคต่างๆในระหว่างการทำโครงการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สาขาวิชา
วิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่ให้ความรู้คำแนะนำในวิชาต่างๆที่ข้าพเจ้าได้ศึกษา ทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ความสามารถเพื่อนำมา
ประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงการนี้

ขอขอบคุณพี่ๆปริญญานิพนธ์ ประจำห้องแล็บ FA สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำปรึกษา
คำแนะนำการชี้แนะต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงการนี้ รวมทั้งความรัก ความห่วงใย กำลังใจที่ดีเสมอมา
พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกทั้งสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจและการสนับสนุน
ตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือจนโครงการวิจัยนี้ประสบผล
สำเร็จ

สุดท้ายคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านไม่มาก
ก็น้อย และขออภัยมา ณ ที่นี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานด้านภาพถ่าย.....	3
2.1.1 หลักการมองเห็นของมนุษย์กับการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	3
2.1.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล.....	3
2.1.2.1 ประเภทของการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	4
2.1.2.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	6
2.1.2.2.1 กระบวนการก่อนการประมวลผลภาพ.....	6
2.1.2.3 องค์ประกอบของกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล.....	6
2.1.2.3.1 การจัดสภาพแวดล้อม.....	6
2.1.2.3.2 การจัดเรียงแสง.....	7
2.1.2.4 ภาพที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น.....	8
2.1.2.5 การดึงข้อมูลภาพ.....	8
2.1.2.5.1 ประเภทของกล้องที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงาน.....	8
2.1.2.6 วิธีการดึงข้อมูลภาพภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์.....	10
2.1.2.6.1 การดึงข้อมูลโดยเครื่องมือจากผู้ผลิตกล้อง.....	10
2.1.2.6.2 การดึงข้อมูลโดยการใช้เครื่องมือในโปรแกรมของระบบปฏิบัติการวินโดวส์.....	10
2.1.3 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing).....	11
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานการคำนวณและประมวลผล.....	11
2.2.1 สาเหตุและสภาพการสึกหรอของยางรถยนต์.....	12

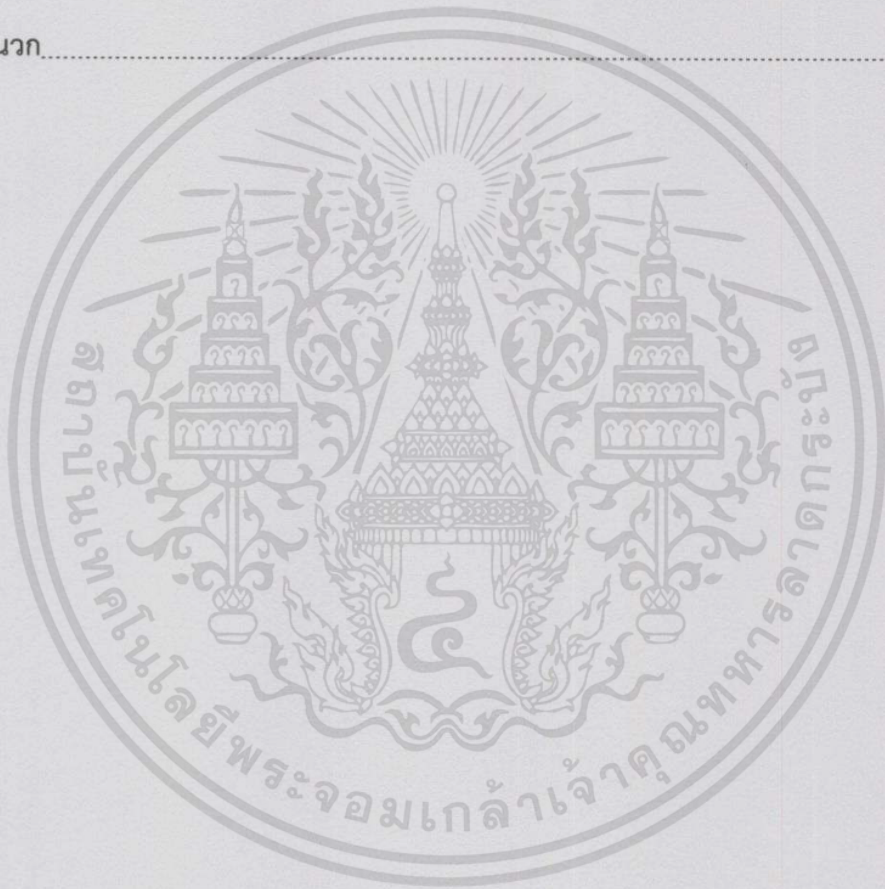
สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.1.1 การใส่ยางรถยนต์ที่ผิดปกติ (Abnormal Tire Wear).....	12
2.2.1.2 ความเสียหายที่แก้มยาง (Sidewall Damage).....	13
2.2.1.3 การแยกออกของยาง (Tire Separations).....	13
2.2.1.4 อันตรายจากวัตถุที่อยู่บนถนน (Road Hazard).....	14
2.2.1.5 ปัญหาที่เกิดบริเวณขอบยาง (Bead Problems).....	15
2.2.2 วิธีการตรวจวัดความลึกของร่องยางแบบดั้งเดิม.....	15
2.2.2.1 วิธีการวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์ (Tire Depth Gauge).....	16
2.2.2.2 วิธีการตรวจสอบด้วยตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยาง (Tread wear Indicator).....	16
2.2.3 รูปแบบการสแกนวัตถุ (Scanning Patterns).....	17
2.2.3.1 การสแกนโดยการหมุนวัตถุ.....	17
2.2.3.2 การสแกนโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ.....	18
2.2.3.3 การสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุ.....	18
2.2.4 วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG).....	20
2.2.5 การประมวลผลภาพ (Image Processing).....	22
2.2.6 สมการคำนวณค่าความผิดพลาดจากการวัด (Error).....	22
2.2.6.1 ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error : e).....	22
2.2.6.2 ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error : %error).....	22
2.3 ทฤษฎี Homography Transform.....	23
บทที่ 3 การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้นด้วย OpenCV.....	25
3.1 ไบรารีโอเพ่นซอร์ส OpenCV.....	25
3.2 การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล (Digital Image Processing).....	26
3.3 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement).....	28
3.3.1 การแปลงภาพสีให้เป็นขาวดำแบบ Grayscale.....	28
3.3.2 การแปลงภาพระดับสีเทาด้วยกระบวนการเทรชโฮลด์ (Thresholding).....	29
3.3.3 เทคนิคการแยกเมตริกซ์สีออกจากกัน cvsplit.....	31
3.3.4 เทคนิคการปรับให้ราบเรียบ cvSmooth.....	31
3.3.5 การกำจัดพิกเซลสีที่โดดเด่น cvErode.....	32
3.3.6 อัลกอริทึมเส้นตรง Bresenham.....	32
3.3.7 การคำนวณหาเส้นศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์และการเติมเส้นที่ขาดหายไป.....	35

สารบัญ(ต่อ)

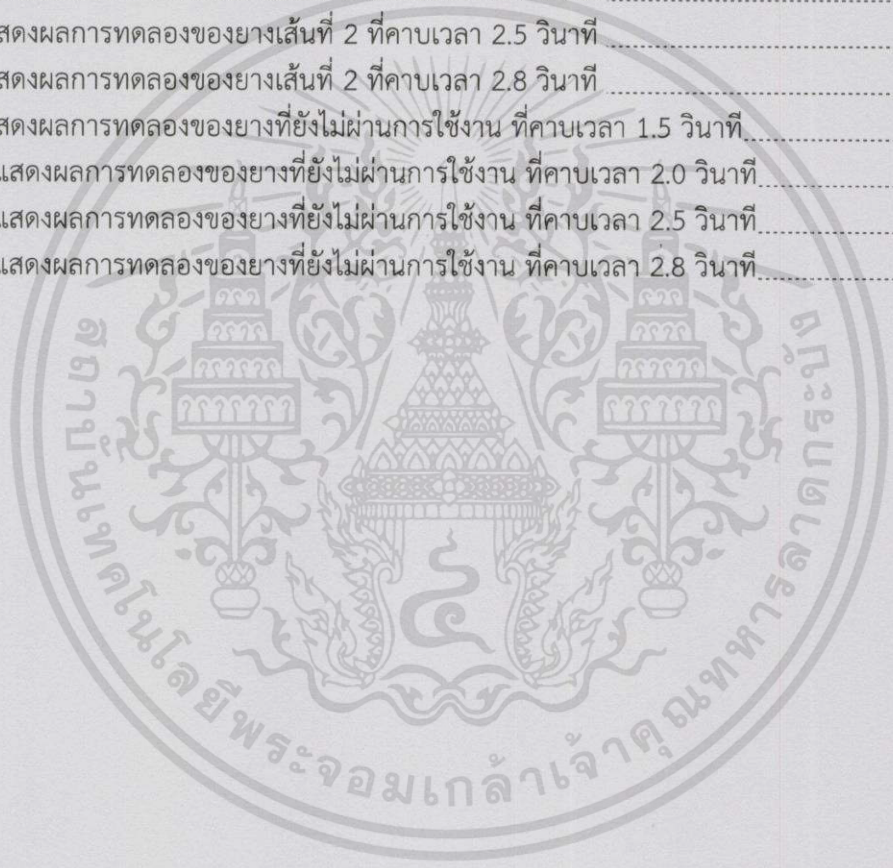
	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบและการทดลอง	37
4.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบการวัดความลึกของร่องยาง	37
4.1.1 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์แบบเส้น	38
4.1.2 อุปกรณ์ตรวจจับภาพ	38
4.1.3 ส่วนโครงสร้าง	39
4.1.4 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล	43
4.2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผล	44
4.2.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	45
4.2.1.1 การปรับปรุงภาพด้วยวิธีเทรชโฮลด์ (Thresholding)	45
4.2.1.2 การหาจุดศูนย์กลางของเส้นและการเติมเส้นที่ขาด(Extract centroid, Patching line)	45
4.2.2 ขั้นตอนการแปลงข้อมูลภาพ	46
4.2.2.1 การแปลงข้อมูลภาพให้ออกมาอยู่ในข้อมูลของพิกัดคาร์ทีเซียน (Transform the image data to Cartesian coordinate data)	46
4.2.2.2 การแปลงจุดพิกัดภาพของเส้นแสงเลเซอร์เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ (Actual result of Matrix mutiplication)	48
บทที่ 5 ผลการทดลอง	49
5.1 วิธีการทดลอง	49
5.2 ผลการทดลองกับยางที่ผ่านการใช้งานแล้วเส้นที่ 1	50
5.2.1 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 1.5 วินาที	50
5.2.2 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.0 วินาที	50
5.2.3 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.5 วินาที	51
5.2.4 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.8 วินาที	52
5.3 ผลการทดลองกับยางที่ผ่านการใช้งานแล้วเส้นที่ 2	52
5.3.1 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 1.5 วินาที	53
5.3.2 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.0 วินาที	53
5.3.3 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.5 วินาที	54
5.3.4 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.8 วินาที	55
5.4 ผลการทดลองกับยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน	55
5.4.1 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 1.5 วินาที	56
5.4.2 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.0 วินาที	56
5.4.3 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.5 วินาที	57

5.4.4 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง $T = 2.8$ วินาที	58
5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	58
บทที่ 6 ผลการทดลอง	59
6.1 สรุปผลการทดลอง	59
6.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	59
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	59
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	64



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ.....	37
5.1 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที	50
5.2 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที	51
5.3 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที	51
5.4 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที	52
5.5 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที	53
5.6 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที	54
5.7 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที	54
5.8 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที	55
5.9 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 1.5 วินาที	56
5.10 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.0 วินาที	57
5.11 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.5 วินาที	57
5.12 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.8 วินาที	58



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Machine vision กับเลเซอร์.....	4
2.2 Machine vision บนสายพาน.....	4
2.3 Robot vision ในการจับวัตถุ.....	5
2.4 Robot vision กับการมองเห็น.....	5
2.5 Computer Vision กับ บาร์โค้ด.....	6
2.6 Computer Vision กับ QR code.....	6
2.7 เซ็นเซอร์รับภาพที่ใช้ในกล้องดิจิทัลทั่วไป.....	9
2.8 ระบบสี RGB.....	11
2.9 (ก) ยางเสื่อมมีลักษณะคล้ายดอกเห็ด (ข) ไหล่ยางเสื่อมอย่างรวดเร็ว (ค) หน้ายางเสื่อมอย่างรวดเร็ว (ง) รอยแตกระหว่างดอกยาง (จ) รอยเสื่อมตามผิวหน้ายาง.....	12
2.10 (ก) จุดบกพร่องที่ตัวอักษร (ข) แก้มยางมีรอยบวม (ค) รอยแยกของชั้นยาง (ง) รอยฉีกขาดบนแก้มยาง (จ) รอยตัดบนแก้มยาง.....	13
2.11 (ก) รอยแยกด้านขอบยาง (ข) รอยแยกของดอกยาง (ค) รอยแยกตามแนวหน้ายาง (ง) รอยแยกที่ไหล่ยาง (จ) รอยแยกของไหล่ยาง.....	14
2.12 (ก) และ (ข) สภาพการเสื่อมของยางที่เกิดจากสิ่งกีดขวางบนท้องถนน ซึ่งการเจาะ โดยปกติแล้วจะแสดงให้เห็นเฉพาะจุดที่ถูกเจาะหรือถูกตัดที่ดอกยางแล้วทะลุ ผ่านเข้าไปตัวยางด้านใน.....	14
2.13 (ก) และ (ข) สภาพการเสื่อมของยางที่เกิดจากสิ่งกีดขวางบนท้องถนน ซึ่งเป็นการ ขยายตัวของยางรอยขีดข่วนจะสามารถพบได้ที่รอบวงของตัวยางและริ้วรอยอาจจะ สังเกตได้จากตัวยางด้านใน.....	15
2.14 (ก) รอยแตกที่ขอบยาง (ข) ความเสียหายด้านขอบยาง (ค) ความเสียหายจากวงล้อรถยนต์.....	15
2.15 (ก) และ (ข) เครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์ (Tire Depth Gauge).....	16
2.16 (ก) และ(ข) สะพานยางหรือตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยาง(Tread wear Indicator).....	17
2.17 (ก) และ (ข) เป็นรูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนวัตถุ.....	17
2.18 รูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ.....	18
2.19 การสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนวัตถุ (Light-Sectioning).....	18
2.20 (ก) การเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านเส้นแสง (ข) รูปที่ได้ในเฟรมต่างๆเมื่อมีวัตถุตัดผ่าน.....	19
2.21 ตัวอย่างการนำภาพตัดขวางแต่ละส่วนมารวมเพื่อสร้างภาพตัดขวาง 3 มิติ.....	19
2.22 เส้นแสงเลเซอร์ที่ได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยแล้ว.....	20
2.23 เมทริกซ์ขนาด 4x5.....	21
2.24 Table size 30x30 mm. are used to calibration.....	24
3.1 โครงสร้างหลักของไลบรารี OpenCV.....	26
3.2 แสดงความแตกต่างระหว่างภาพแอนะล็อก (ซ้าย) กับภาพดิจิทัล (ขวา).....	26
3.3 ระบบพิกัดของภาพดิจิทัล.....	27
3.4 การรวมกันของสี RGB แบบ Additive.....	28

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แสดงระดับสีเทาที่มีขนาด 8 บิต.....	29
3.6 แสดงภาพระดับสีเทาและภาพแบบไบนารี	30
3.7 แสดงการทำเทรซโฮลด์แบบไบนารี ภาพบน : แสดงถึงค่าก่อนการทำเทรซโฮลด์ ภาพล่าง : แสดงผลลัพธ์ของการเทรซโฮลด์ โดยเส้นประแสดงถึงค่าเทรซโฮลด์ T	30
3.8 แสดงการปรับแต่งภาพโดยใช้ cvSmooth.....	31
3.9 แสดงการกำจัดพิกเซลภาพที่อยู่โดดโดยใช้ cvErode.....	32
3.10 แสดงการสร้างเส้นตรงบนจอภาพ	33
3.11 อัลกอริทึมในการวาดเส้นตรงของ Bresenham.....	34
3.12 การหาเส้นศูนย์กลางของลาแสงเลเซอร์	35
4.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดร่องข่างรถยนต์.....	37
4.2 เลเซอร์ไดโอดแบบเส้น.....	38
4.3 กล้องเว็บแคม.....	39
4.4 พิลเตอร์กรองแสง.....	39
4.5 ตัวเครื่องที่ทำกรออกแบบโดยใช้โปรแกรมAuto cad.....	40
4.6 ตัวเครื่องที่ทำกรออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	40
4.7 ตัวเครื่องหมุนล้อ.....	41
4.8 ตัวกล่องที่ทำกรออกแบบโดยใช้โปรแกรม Auto cad.....	42
4.9 กล่องตั้งกล้องและเลเซอร์ที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว.....	42
4.10 กล่องตั้งกล้องและเลเซอร์.....	43
4.11 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดความลึกของร่องข่างรถยนต์.....	44
4.12 (ก)ภาพตัดขวางของร่องข่างรถยนต์ที่ได้จากกล้อง (ข)ภาพที่ผ่านการเทรซโฮลด์แบบฐานตัด.....	45
4.13 (ก) ภาพตัดขวางที่ทำกรเทรซโฮลด์ (ข) ภาพผลลัพธ์จากการหาจุดศูนย์กลางของลำแสงและ เติมจุดที่ขาดหาย	46
4.14 (ก) แสดงหาจุดพิกัดสูงต่ำของแต่ละส่วน (ข)วิธีการทำขอบเขตด้านบนและล่างของการสแกน แต่ละส่วน	47
4.15 แสดงจุดสูงต่ำของร่องข่างที่1 (P ₁ ,P ₂) ร่องข่างที่2 (P ₃ ,P ₄) ร่องข่างที่3 (P ₅ ,P ₆).....	48
5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที.....	50
5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที.....	50
5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที.....	51
5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที.....	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที.....	53
5.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที.....	53
5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที.....	54
5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที.....	55
5.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 1.5 วินาที.....	56
5.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.0 วินาที.....	56
5.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.5 วินาที.....	57
5.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.8 วินาที.....	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญาานิพนธ์

ในอดีตจนถึงปัจจุบันอุตสาหกรรมทางด้านยางรถยนต์ได้ผลิตรยางรถยนต์ออกสู่ท้องตลาดมากมายหลายยี่ห้อ ซึ่งทางผู้ผลิตต้องคำนึงถึงคุณภาพผลิตภัณฑ์ของตนเอง โดยในการตรวจสอบคุณภาพของยางรถยนต์นั้น มีตัวบ่งชี้คือความลึกของร่องยาง วิธีที่ใช้ในการตรวจสอบความลึกของร่องยางรถยนต์มีหลายวิธีเช่น วิธีการวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์ (Tire Depth Gauge) วิธีการตรวจสอบด้วยตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยางหรือสะพานยาง (Tread Wear Indicator) และวิธีการตรวจวัดด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นเป็นต้น โดยสองวิธีแรกเป็นการวัดด้วยมนุษย์ทำให้งานไม่มีความต่อเนื่อง และต้องสูญเสียเวลาในการทำกรวัดทีละจุดบนตัวยางรถยนต์ จึงได้มีการอาศัยเทคโนโลยีที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเข้ามาช่วยในระบบการตรวจสอบแบบอัตโนมัติแทนแรงงานคน ดังนั้นจึงได้นำเอาระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น (Computer Vision System) มาทำแทนแรงงานมนุษย์ซึ่งเป็นวิธีวัดแบบเก่า จากนั้นระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นนี้ได้ถูกวิจัยและพัฒนาในช่วงปี 1920 และได้นำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบและตรวจวัดขนาดของวัตถุในหลายๆประเภท เช่น อุตสาหกรรมการผลิตอุตสาหกรรมเกษตรเป็นต้น ในโครงการนี้ได้ทำการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นจากงานวิจัย การตรวจสอบความลึกของร่องยางรถยนต์โดยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่นแบบ 3 มิติ ของนาย อิศระ อาจไพรินทร์ ด้วยการใช้เทคนิคแสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุร่วมกับการประมวลผลภาพจากภาพที่ทำการบันทึกเป็นภาพวีดีโอ (AVI) และพัฒนาต่อจากงานวิจัย เครื่องตรวจวัดความลึกหรือของยางรถยนต์ด้วยวิธีทัศนจักรกล ของนาย ศุภกฤษณ์ กันทาสัม, นาย เศรษฐวิกร เสือสำน และนาย สถาปัติย์ พิมาณแมน เพื่อศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabView และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นพื้นฐานในการเขียนโปรแกรม OpenCV โดยเราทำการพัฒนาและออกแบบโปรแกรมบน OpenCV ให้สามารถวัดขนาดความสูงของร่องยางรถยนต์ในหน่วยของการวัดมาตรฐานสากลโดยให้ความถูกต้องแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

1. ค้นคว้าและพัฒนาระบบต้นแบบเพื่อใช้ตรวจสอบความลึกของร่องยางรถยนต์ด้วยระบบแมทชีนวิชั่น
2. ทำการออกแบบและปรับปรุงเครื่องตรวจวัดความลึกหรือของยางรถยนต์ด้วยวิธีทัศนจักรกล เพื่อเป็นต้นแบบที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจริง
3. สามารถทำการหาความลึกของร่องยางเป็นหน่วยมิลลิเมตรเพื่อนำค่าที่ได้แปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ของเนื้อยางแบบ Real time
4. สามารถนำโปรแกรมและแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การสึกหรอของยางรถยนต์ได้โดยในเบื้องต้นใช้ยางขนาดR15ที่ใช้กับรถยนต์ขนาดทั่วไป
2. สามารถเขียนโปรแกรมทำการตรวจวัดค่าสึกหรอของยางรถยนต์ได้โดยแสดงผลแบบออนไลน์
3. สามารถเขียนโปรแกรมโดยค่าที่วัดได้นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของโปรแกรม LabView และหลักการทำงานของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการเขียนภาษา C และการทำงานของโปรแกรม OpenCV
3. ออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การสึกหรอของยางรถยนต์ให้สามารถทำงานแบบออนไลน์ได้ และมีความสะดวกรวดเร็วในการใช้งาน
4. ออกแบบและเขียนโปรแกรมวัดเปอร์เซ็นต์การสึกหรอของยางรถยนต์ให้ทำงานแบบออนไลน์ได้ (Opencv)
5. ศึกษาข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับยางรถยนต์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถพัฒนาและสร้างเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์การสึกหรอของยางรถยนต์ให้มีความสะดวกในการใช้งานได้จริง
2. สามารถออกแบบโปรแกรมและสร้างโปรแกรมคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสึกหรอของยางรถยนต์ให้มีความเที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้จริง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานด้านภาพถ่าย

2.1.1 หลักการมองเห็นของมนุษย์กับการประมวลผลภาพดิจิทัล

เปรียบเทียบระหว่างกระบวนการมองเห็นของมนุษย์กับกระบวนการการมองเห็นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันเช่น กล้องถ่ายภาพดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอ หรือสแกนเนอร์ อุปกรณ์เหล่านี้มีหน้าที่ในการรับภาพแล้วแปลงข้อมูลภาพนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งในกระบวนการการประมวลผลภาพที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมนั้นนิยมใช้กล้องถ่ายภาพที่มีความคมชัดสูง เป็นอุปกรณ์รับภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อจะทำให้ได้ภาพที่มีคุณภาพเหมาะสมเข้าสู่กระบวนการการประมวลผลต่อไป

2.1.2 การประมวลผลภาพดิจิทัล

การประมวลผลภาพดิจิทัล (Image processing) เป็นการประมวลผลสัญญาณแบบ 2 มิติ โดยประมวลผลจาก ภาพนิ่ง (ภาพถ่าย) หรือภาพวีดิทัศน์ (วิดีโอ) และ ยังรวมถึงสัญญาณ 2 มิติ อื่นๆที่ไม่ใช่ภาพด้วย แนวความคิดและเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณสำหรับสัญญาณ 1 มิตินั้น สามารถปรับมาใช้กับภาพได้ไม่ยากแต่เนื่องจากเทคนิคการประมวลผลสัญญาณแล้วการประมวลผลภาพก็มีเทคนิคและแนวความคิดที่เฉพาะเช่น connectivity และ rotation invariance ซึ่งจะมีความหมายกับสัญญาณ 2 มิติเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคบางอย่าง จากการประมวลผลสัญญาณใน 1 มิติ จะค่อนข้างซับซ้อนเมื่อนำมาใช้กับ 2 มิติ

เมื่อหลายสิบปีมาแล้วการประมวลผลภาพนั้นจะอยู่ในรูปของการประมวลผลสัญญาณแบบ Analog โดยใช้อุปกรณ์ปรับแต่งแสง (optics) ซึ่งวิธีเหล่านั้นก็ไม่ได้หายสาบสูญหรือเลิกใช้ไป แต่ยังมีใช้สำหรับการประยุกต์ใช้งานบางอย่างเช่น Holography แต่เนื่องจากอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในปัจจุบันมีราคาถูกลงและสามารถประมวลผลได้รวดเร็วขึ้น ดังนั้นการประมวลผลภาพ Digital (digital image processing) จึงได้รับความนิยมมากกว่า เพราะการประมวลผลที่ได้ซับซ้อน แม่นยำ และง่ายในการลงมือปฏิบัติ ซึ่งมีรูปแบบของสัญญาณ อยู่ 2 ประเภทคือ

- Digital มีสัญญาณชัดเจน และแน่นอน มีการส่งผ่านสัญญาณที่ดี
- Analog ส่วนมากจะใช้ในการปรับแต่งสัญญาณ

ข้อดี ของ Digital image processing

เป็นการใช้กล้องในการวัดและรับข้อมูล การทำงานจะเน้นในด้านการทดสอบเป็นหลัก ค่าที่ได้จะนำมาประมวลผลและใช้ในการควบคุมต่อไป มีข้อดีดังนี้

- ไม่มีการสัมผัสกับวัตถุ เช่น การตรวจสอบโดยใช้เสียง
- ไม่ต้องทำลายวัตถุ

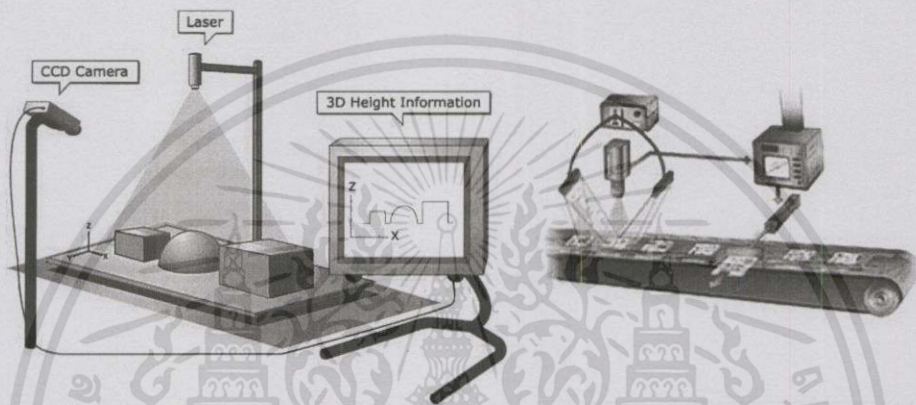
ข้อเสีย ของ Digital image processing

- มีความไวต่อสภาพแวดล้อม คือ แสง อนุภาคน้ำ หรือ สิ่งรบกวนต่างๆ ภายในระบบ

2.1.2.1 ประเภทของการประมวลผลภาพดิจิทัล

- Machine vision

เป็นกระบวนการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor, DSP) มีความสามารถในการรับรู้ภาพ ซึ่งรวมทั้งการทำให้อุปกรณ์ประมวลผลนั้นๆ สามารถตัดสินใจและสั่งงานกลไกในส่วนต่างๆ ได้ จากข้อมูลที่ได้จากภาพหรือกลุ่มของภาพนั้นๆ จุดมุ่งหมายสูงสุดของ Machine Vision คือทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ มีความสามารถเทียบเท่ากับการมองเห็นของมนุษย์



รูปที่ 2.1 Machine vision กับเลเซอร์

รูปที่ 2.2 Machine vision บนสายพาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบแมชชีนวิชัน

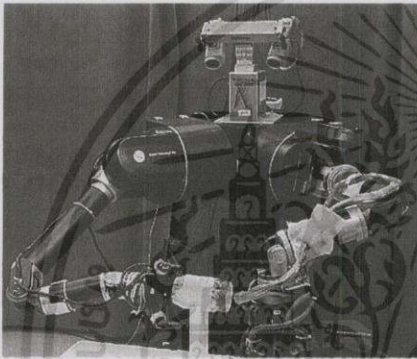
(2005) ทำการพัฒนาเครื่องต้นแบบในการคัดความสูง-ตบ ขนาด และน้ำหนัก ของ Pakorn Kaewtrakulpong (2007) ออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบอุปกรณ์การตรวจสอบสายเคเบิล โดยวิธีการวัดการรั่วไหลของเส้นแรงแม่เหล็กนี้เพื่อมาใช้ในการตรวจสอบสายเคเบิลที่มีใช้งานอยู่ภายในประเทศ โดยเริ่มต้นจากการตรวจสอบสายเคเบิลที่มีการใช้งานอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม รถรางไฟฟ้า และท่าเรือขนส่งสินค้าตามลำดับ และยังสามารถที่จะพัฒนานำไปตรวจสอบสายเคเบิลขนาดใหญ่ที่ใช้รองรับโครงสร้างของสะพานอีกด้วยในอนาคต

Pakorn Kaewtrakulpong สืบประวัติที่มีความเที่ยงตรงและสามารถทำงานในเวลาจริง (Real-time) ซึ่งจะเป็นวิธีการวัดแบบวัตถุวิสัย (Objective) โดยใช้ข้อมูลความต้องการ และผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท สยามฟุต จำกัด

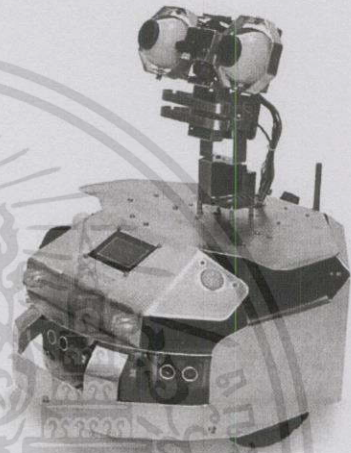
Nunak and Suesut (2009) ศึกษาวิธีการวัดค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว จากนั้นคำนวณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตจากภาพถ่ายสามมิติโดยใช้ระบบการวิเคราะห์ภาพด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีการฉายแสงเลเซอร์ไปยังวัตถุต่างๆ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของวัตถุสามารถคำนวณได้จากภาพถ่ายเพียงภาพเดียว วิธีนี้ใช้ได้ดีกับวัตถุที่มีรูปร่างสมมาตร ตัวอย่างเช่น ส้มและมะนาว แต่เมื่อใช้วิธีนี้กับวัตถุที่มีรูปร่างไม่สมมาตร และไม่เป็นรูปทรงทางเรขาคณิตจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง วิธีนี้สามารถวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เชิงเรขาคณิตของแอปเปิ้ล ส้ม และมะนาว โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.03-5.14

- Robot vision

เป็นการทำงานของหุ่นยนต์รวมกับการประมวลผลจากภาพ โดยการถ่ายภาพวัตถุ จากกล้อง หลังจากนั้นนำภาพมาประมวลผลเพื่อหาศูนย์กลางของวัตถุ ให้ได้ตำแหน่งของวัตถุ เพื่อนำ พิกัดตำแหน่งที่ได้มาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ เพื่อหุ่นยนต์จะได้ขับเคลื่อนไป ยังตำแหน่งนั้นได้ถูกต้อง Robot vision เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย และมีประโยชน์มากในปัจจุบัน มัก ถูกใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม เพราะการทำงานมีความแม่นยำสูง งานที่ได้มีคุณภาพ มี ความปลอดภัยในการดำเนินการ Robot vision มักถูกใช้ในการหยิบจับวัตถุในสายการผลิต เป็นต้น



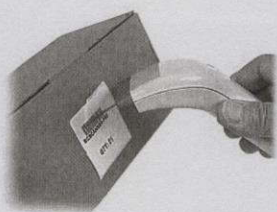
รูปที่ 2.3 Robot vision ในการจับวัตถุ



รูปที่ 2.4 Robot vision กับการมองเห็น

- Computer Vision

คือการประมวลผลภาพ เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจทัศนียภาพหรือแยกแยะ วัตถุต่างๆ ได้ Computer Vision ใช้ในการแยกวัตถุจากรูปทรงของตัววัตถุเอง ตรวจสอบความ เคลื่อนไหว ความเร็วของวัตถุต่างๆ วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของวัตถุต่างๆ เช่น การรู้จำใบหน้า การ ค้นหาใบหน้าที่ใกล้เคียง วิเคราะห์ลักษณะของใบหน้า หน้ายิ้ม หน้าโกรธ วิเคราะห์ลายมือ ใช้ในการ Contents เช่น OCR เช่นเอาไปใช้กับ 2D Barcode โดยการเอากล้องของโทรศัพท์ ส่งไปยังบริเวณ ที่มี 2D Barcode โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ได้ว่าส่วนใดคือ 2D Barcode และสามารถดึงข้อมูลใน barcode ออกมาใช้งานได้ หรือในงานจราจร การวิเคราะห์หมายเลขทะเบียนรถ ที่ฝ่าไฟแดง ใช้ใน การติดตามการเคลื่อนไหวของวัตถุต่างๆ เช่นรถวิ่ง วิ่งแล้วไปซ้ายหรือขวา การนับจำนวนรถ วิเคราะห์ ความเร็ว การติดตามการเคลื่อนไหวจากท่าทาง เช่นการแปลความหมายจากภาษามือ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 Computer Vision กับ บาร์โค้ด



รูปที่ 2.6 Computer Vision กับ QR code

2.1.2.2 ขั้นตอนการประมวลผลภาพดิจิทัล

ขั้นตอนการประมวลผลภาพจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่

- ขั้นตอนการนำข้อมูลภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์
- ขั้นตอนการนำคอมพิวเตอร์มาพัฒนาอัลกอริธึมเพื่อประมวลผลภาพ
- ขั้นตอนการแสดงผลภาพ

ขั้นตอนการนำภาพเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นการแปลงสัญญาณภาพทั่วไปให้เป็นสัญญาณอนาล็อก และทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถประมวลผลได้โดยการนำภาพที่ได้รับจากกล้องที่ทำการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์อยู่แล้วทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อทำการบันทึกในมาตรฐานไฟล์รูปภาพแบบใดรูปแบบหนึ่งซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป หลังจากได้รับรูปภาพจากระบบการรับรู้รูปภาพมาแล้วต่อไปจะเป็นกระบวนการการประมวลผลโดยการเขียนโปรแกรมระดับสูง เช่น C# หรือ C++

2.1.2.2.1 กระบวนการก่อนการประมวลผลภาพ

- การปรับปรุงข้อมูลของภาพ
- การกำจัดสัญญาณรบกวน
- การปรับปรุงคุณสมบัติของการมองเห็น

2.1.2.3 องค์ประกอบของกระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล

2.1.2.3.1 การจัดสภาพแวดล้อม

การจัดสภาพแวดล้อมเป็นส่วนที่ช่วยลดความซับซ้อนในการประมวลผลอันเนื่องมาจากความสามารถในการมองเห็นและการรับรู้ของอุปกรณ์ประมวลผลที่มีอยู่อย่างจำกัดที่ไม่เทียบเท่ากับความสามารถของมนุษย์ ซึ่งเป็นส่วนที่คอยลดความยุ่งยากจากการประมวลผลสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1) การจัดการการวางตัวของชิ้นงาน

ในสภาพแวดล้อมในโรงงานอุตสาหกรรม ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่จะถูกป้อนให้กับระบบตรวจสอบนั้นจะต้องถูกจัดให้วางตัวในทิศทางเดียวกัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการเกี่ยวกับการวางตัวของชิ้นงานเหล่านี้แล้ว อุปกรณ์ประมวลผลจะต้องหาทิศทางของชิ้นงานแต่ละชิ้นเอง ก่อนที่จะเริ่มทำการตรวจ

สอบชิ้นงานจริงๆ นอกจากนั้นประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ให้ระบบอัตโนมัติทำการ ตรวจสอบนั้นจะต้องถูกจำกัดด้วยเช่นกัน

2) ระยะระหว่างกล้องหรือเลนส์ถึงวัตถุ และทิศทางของกล้อง

ตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวกำหนดขนาดของชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติมองเห็น เช่น หากระยะดังกล่าวสั้นลงแล้ว ชิ้นงานที่ระบบอัตโนมัติมองเห็น ก็จะมีขนาดใหญ่ ดังนั้น สำหรับระบบตรวจสอบชิ้นงานด้วยภาพแบบอัตโนมัติโดยทั่วไปแล้ว ตัวแปรเหล่านี้จะต้องถูกกำหนดไว้ตายตัว มิฉะนั้นแล้ว การวัดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจัดเป็นการตรวจสอบพื้นฐานของการตรวจสอบชิ้นงานก่อนจะทำการตรวจสอบในหัวข้ออื่นๆ ก็จะมีผิดพลาดไป

2.1.2.3.2 การจัดการเรื่องแสง

แสงเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเนื่องจากการมองเห็นภาพของระบบนั้นเกิดจากการที่มีแสงมาตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนผ่านเลนส์มาเข้าตัวเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องที่ใช้กับระบบอัตโนมัติ ซึ่งการจัดการเกี่ยวกับแสงนั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งเรื่องการเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสง การกระเจิงของแสง และคุณสมบัติอื่นๆ

1) ลักษณะของแสง

- Passive vision พบในการถ่ายรูปทั่วไปเป็นพวก แสงธรรมชาติ รูปทรงเลขต่างๆ
- Active vision ต้องมีแหล่งกำเนิดแสง ทำให้สามารถจับภาพได้ โดยมีตัวลำแสงเป็นตัวดำเนินการสำคัญ เช่น ใช้ลำแสงเลเซอร์ สำหรับวัดรูปร่างในแบบ 2 หรือ 3 มิติวัดขนาด diameter โดยอาศัยตัวลำแสงไม่ได้วัดจากภาพโดยตรง

2) การกำหนด Light source

การกำหนด Light source มีความสำคัญมาก หลักในการเลือกใช้คือ การที่ต้องรู้ว่าเราต้องการจับภาพอะไร ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบไหนถึงจะได้ภาพออกมาตามที่เรต้องการมากที่สุด การที่มีแหล่งกำเนิดแสงคอยส่งแสง ไปยังวัตถุทำให้ได้ทราบถึงรูปทรงและรายละเอียดของพื้นผิวของวัตถุที่เราต้องการตรวจสอบโดยการใช้แสงส่องเข้าไปตามที่เราต้องการตรวจสอบเป็นส่วนที่สำคัญ

- Paralell light มุมตกกระทบต่างๆของแสงในช่วงที่ส่งผลกับการ อ่านค่าได้ของ Sensor
- Back light ใช้แสงมาจากด้านล่างทำให้ได้รูปทรงที่ชัดเจนของ วัตถุ รูปร่างรูปขอบ สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ต่อได้ โดยใช้ หลักเลขาคณิตวิเคราะห์ต่อไป เช่นสามารถดูพวกเส้นรอบวง และการคดงของท่อได้

ลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง (Passive vision) ใช้กล้องจับภาพ ลำแสงที่ตัดผ่านการเคลื่อนที่ของวัตถุ ทำให้ได้ภาพ สามมิติ ได้ ความยาว ความกว้าง และอื่นๆ ได้มุมมองในทุกอย่าง รวมทั้ง รอยบากต่างๆ เพราะมีการทำงานแบบสามมิติ โดนคำนวณได้ จากแสงที่ตกกระทบเพียงบางส่วนก็ได้ หา Diameterของการ คดงของท่อ

3) แหล่งกำเนิดแสงแบบต่างๆ

- Large area led light เป็น Led ที่ช่วยเพิ่มขนาดการตกกระทบของแสงบนพื้นผิว ทำให้แสงตกกระทบไปยังพื้นผิวได้ มากยิ่งขึ้น เหมาะสำหรับเอาไปใช้ในงานต่างๆ

- Area Alay จะมีการเพิ่มจำนวนหลอดให้มากขึ้น และสามารถเอียงมุมได้ ไม่เหมือนหลอดไฟทั่วไป โดยการบีบลำแสงตรงๆ ไปที่วัตถุ นำไปใช้ในการทำงานที่ไม่มีการแพร่ ไม่มีการกระจาย ทำได้ตรวจสอบในส่วนที่ต่ำกว่าส่วนโค้งได้ ชัดขึ้น เหมือนการคลี่ออกมา เน้นการส่งตรงไปยังจุดๆหนึ่ง

- Ring light เป็นวงกลมลำแสงอยู่เหนือกล้อง วัตถุอยู่ข้างล่าง วงแหวน
- Dark field เป็นการยิงลำแสงจากด้านข้างโดยวัตถุอยู่ใน วงแหวน

2.1.2.4 ภาพที่อุปกรณ์ประมวลผลมองเห็น

หลักการการทำงานของกล้องก็เป็นเช่นเดียวกับระบบการมองเห็นของมนุษย์นั่นคือ ภาพเกิดจากการที่มีแสงตกกระทบวัตถุแล้วมีแสงสะท้อนจากวัตถุ ผ่านเลนส์เข้ามาตกกระทบเซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) ของกล้อง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รับภาพ (pixel) จำนวนมาก เซลล์รับภาพแต่ละเซลล์จะทำหน้าที่แปลงความเข้มแสงสำหรับกรณีที่เป็นกล้องขาวดำหรือแปลงความเข้มสีของแสงสีแดง, เขียวและน้ำเงินสำหรับกรณีของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพสี ให้อยู่ในรูปของค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณดิจิทัลด้วยตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลอีกทีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การทำงานของเซลล์รับภาพของกล้องจะแตกต่างจากเซลล์รับภาพของมนุษย์อยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

- จำนวนเซลล์รับภาพที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นเซ็นเซอร์รับภาพของกล้องนั้น มีจำนวนน้อยกว่าของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทำให้ภาพที่ได้จากกล้องนั้นมีความละเอียดน้อยกว่าของมนุษย์เป็นอย่างมาก ภาพที่ได้จากกล้องจึงเกิดการสุ่มจับภาพจริงด้วยจำนวนที่จำกัดของเซลล์รับภาพ (Spatial sampling) นั่นเอง

- ค่าความเข้มแสงที่ได้จากเซลล์รับภาพ (หรือความเข้มสีในกรณีของกล้องถ่ายภาพสี) ของ เซ็นเซอร์รับภาพที่อยู่ในกล้องนั้น จะเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete value) เนื่องจากเป็น การทำงานของอุปกรณ์ดิจิทัล ซึ่งจะเป็นการสุ่มขนาดของความเข้มแสงที่ตกกระทบ (Amplitude sampling) ไม่เหมือนกับของมนุษย์ที่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากการทำงานของสารเคมีที่อยู่ใน เซลล์รับภาพ

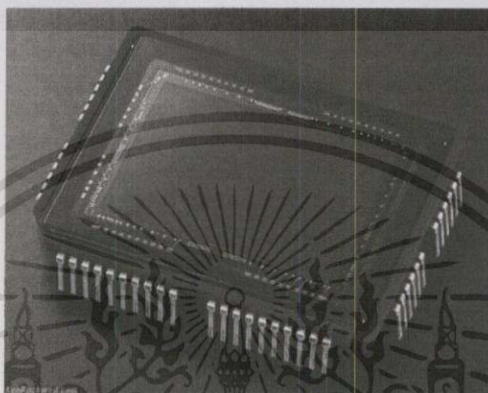
2.1.2.5 การดึงข้อมูลภาพ

เป็นกระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การถ่ายภาพโดยกล้อง ตลอดจนการดึงภาพที่เป็นข้อมูลอยู่ในกล้องเข้ามาสู่คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ประมวลผล เพื่อที่จะประมวลผลและตัดสินใจสั่งงานจากผลที่ได้ต่อไป โดยมีรายละเอียดที่สำคัญที่ต้องสนใจดังนี้

2.1.2.5.1 ประเภทของกล้องที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงาน

กล้องที่ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนส่วนใหญ่จะเป็นกล้องดิจิทัล ซึ่งใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกกันว่า เซ็นเซอร์รับภาพ (Image sensor) เพื่อใช้ในการรับภาพ เซ็นเซอร์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมากเท่าเล็บมือคนเท่านั้น ซึ่งจะประกอบด้วยไดโอดที่มีความไวต่อแสงเรียงตัวกันอยู่เป็นจำนวนมาก และในทันทีทันใดที่แสงมีการตกกระทบไดโอดเหล่านี้ ไดโอดแต่ละตัวจะทำการจดจำความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบไดโอดแต่ละตัวไว้ โดยปริมาณประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวไดโอดซึ่งแปรผันกับแรงดันตกคร่อมตัวไดโอดนั้น จะเพิ่มขึ้นตามความเข้ม

ของแสงที่ตกกระทบ ซึ่งความเข้มแสงที่ได้จดจำไว้ในไดโอดแต่ละตัว จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปข้อมูลที่เป็นดิจิตอลและเก็บไว้ในหน่วยความจำที่อยู่ในตัวกล้อง เพื่อรอส่งต่อไปอุปกรณ์ที่อยู่ภายนอกกล้องต่อไป ไดโอดนี้ เรียกว่า เซลล์รับภาพ (Pixel) ซึ่งหนึ่งเซลล์รับภาพจะให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบเพียงค่าหนึ่งเท่านั้น โดยทั่วไปค่าที่ได้จากเซลล์รับภาพจะมีค่าระหว่าง 0-255 เท่านั้น โดยหากค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าที่เซลล์รับภาพนั้น มีความเข้มแสงต่ำสุดหรือเป็นด้านมืดและหากมีค่าเท่ากับ 255 ก็แสดงว่าที่เซลล์รับภาพที่ตำแหน่งนั้นมีความเข้มแสงสูงสุดหรือเป็นด้านสว่าง



รูปที่ 2.7 เซ็นเซอร์รับภาพที่ใช้ในกล้องดิจิตอลทั่วไป

ประเภทของกล้องที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) กล้องประเภท Area scan

ในงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติส่วนใหญ่ จะใช้กล้องประเภท Area scan ซึ่งกล้องประเภท Area scan นั้น ที่เซลล์รับภาพมีการเรียงตัวกันอยู่ในพื้นที่ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะทำการหน้าที่แปลงค่าความเข้มแสงหรือความเข้มสี ให้ออกมาเป็นค่าตัวเลขในเวลาพร้อมๆกัน และถึงแม้ว่ากล้องชนิดนี้จะให้ภาพที่มีความละเอียดน้อยกว่าของกล้องประเภท Line scan เป็นอย่างมาก แต่กล้องประเภทนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างสะดวกง่ายดายโดยไม่จำเป็นต้อง ออกแบบให้มีการเคลื่อนไหวสัมพันธ์ระหว่างตัวกล้องกับชิ้นงาน จึงทำให้กล้องชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

2) กล้องประเภท Line scan

กล้องประเภท Line scan นั้นเซลล์รับภาพสำหรับรับความเข้มแสง (สำหรับกล้องที่ให้ภาพออกมาเป็น gray scale) หรือความเข้มสี (ในกรณีที่เป็นกล้องที่ใช้ถ่ายภาพสี) จะมีการเรียงตัวเป็นแถวยาว ที่อาจจะมีย่านมากถึง 12000 เซลล์ ทำให้การที่จะสามารถจับภาพของทั้งวัตถุได้ กล้องจะต้องมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับวัตถุ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะออกแบบให้กล้องตั้งอยู่กับที่ และตัววัตถุถูกเคลื่อนไปโดยการไ้ระบบสายพาน (Conveyer) ข้อดีของกล้องประเภทนี้คือ จะให้ความละเอียดของภาพสูงมาก

2.1.2.6 วิธีการดึงข้อมูลภาพภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์

สำหรับวิธีการดึงข้อมูลจากกล้องเข้ามาสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ การดึงค่าข้อมูลจากกล้องเข้ามาสู่โปรแกรมนั้น โดยทั่วไปนั้นมียู่ด้วยกัน 3 วิธีด้วยกัน

2.1.2.6.1 การดึงข้อมูลโดยเครื่องมือ (Programming tool) จากผู้ผลิตกล้อง

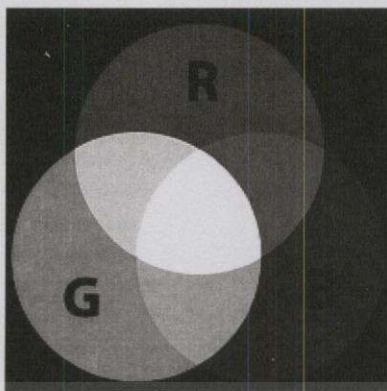
โดยมากแล้วกล้องที่มีความละเอียดสูง (hi-resolution camera) ผู้ผลิตหรือผู้จัดจำหน่ายนั้นอยากให้ผู้ใช้นำกล้องไปใช้งานอยู่แล้ว ดังนั้น หลังจากซื้อกล้องแล้ว ผู้ผลิตมักจะแถมเครื่องมือในการโปรแกรม เพื่อใช้ดึงข้อมูลภาพออกจากตัวกล้องมาสู่ตัวโปรแกรมหลักเสมอ โดยทั่วไป เครื่องมื่อดังกล่าวจะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ dll และ activeX นอกจากนี้ ผู้ผลิตยังอาจจะให้ตัวโปรแกรมอย่างง่ายมาให้ด้วย ซึ่งก่อนที่จะซื้อกล้องชนิดนั้นๆ โปรแกรมเมอร์จะต้องทำการพิจารณาเสียก่อนว่า ตัวแปลภาษา (Compiler) ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมอยู่นั้นรองรับการทำงานของเครื่องมือที่ผู้ผลิตให้มาหรือไม่

2.1.2.6.2 การดึงข้อมูลโดยการใช้เครื่องมือในการโปรแกรมของระบบปฏิบัติการวินโดวส์

ยกตัวอย่าง เช่น Video for Window (VFW) หรือ DirectShow สำหรับ Video for Window (VFW) นั้นเป็นเครื่องมือที่ใช้การดึงข้อมูลภาพจากกล้อง และสามารถใช้อ่านไฟล์วิดีโอประเภท AVI (Audio Video Interleave) ได้อีกด้วย เครื่องมื่อดังกล่าวเป็นเครื่องมือในการโปรแกรมที่มีมาให้เรียบร้อยแล้ว ตั้งแต่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 3.1 ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของเครื่องมือในการโปรแกรมชนิดนี้ ถูกฝังอยู่ในไลบรารี 2 ตัวด้วยกัน คือ msfw32.dll และ avicap32.dll และถึงแม้ว่าในปัจจุบัน จะมีเครื่องมือในการโปรแกรมสำหรับดึงข้อมูลภาพจากกล้องมาสู่โปรแกรมตัวใหม่ของระบบปฏิบัติการวินโดวส์ คือ DirectShow มาแทนที่ แต่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์รุ่นต่างๆ ส่วนใหญ่ก็ยังสนับสนุนการทำงานของ VFW อยู่

2.1.2.6.3 ระบบสี (Color Model) ระบบสี Additive

การใช้สีกับงานกราฟิกในคอมพิวเตอร์มีรายละเอียดหลายประการซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะ ดังนั้นจึงควรทราบระบบสีของคอมพิวเตอร์ก่อน ระบบสีของคอมพิวเตอร์ จะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลแสงที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีลักษณะการแสดงผลคือ ถ้าไม่มีแสดงผลสีใดเลย บนจอภาพจะแสดงเป็น "สีดำ" หากสีทุกสีแสดงผลพร้อมกัน จะเห็นสีบนจอภาพเป็น "สีขาว" ส่วนสีอื่นๆ เกิดจากการแสดงสีหลายๆ สี แต่มีค่าแตกต่างกัน การแสดงผลลักษณะนี้ เรียกว่า การแสดงสีระบบ Additive สีในระบบ Additive ประกอบด้วยสีหลัก 3 สี (เช่นเดียวกับแม่สี) คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และ สีน้ำเงิน (Blue) เรียกรวมกันว่า RGB ซึ่งมีรูปแบบการผสมสีของ RGB ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.8 ระบบสี RGB

2.1.3 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Pre-processing)

มาตรฐานการเลือกใช้สีโดยทั่วไปจะมีแนวคิดเดียวกันคือ การแทนจุดสีด้วยจุดที่อยู่ภายในสเปส 3 มิติ โดยจะมีแกนอ้างอิงสำหรับจุดสีนั้นในสเปสซึ่งแต่ละแกนจะมีความเป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบ RGB จะมีแกนสีคือ แแกนสีแดง เขียว และน้ำเงินในระบบ HLS จะมีแกนเป็น ค่าสี (hue) ความสว่าง (lightness) และความบริสุทธิ์ของสี (saturation) การประมวลผลภาพมีด้วยกันหลากหลายกระบวนการด้วยกัน กระบวนการเหล่านี้เป็นความรู้ที่สามารถพบได้ทั่วไปในสาขาเรื่องการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital image processing) ซึ่งจะพบว่าในสาขาวิชานี้มีความรู้เกี่ยวกับการประมวลผลภาพอยู่มากมายที่นำประยุกต์ใช้กับงานตรวจสอบชิ้นส่วนด้วยภาพแบบอัตโนมัติ เช่น

- การลดทอนสัญญาณรบกวนที่ปรากฏขึ้นในภาพ
- การตรวจจับขอบของวัตถุที่อยู่ในภาพ
- การแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของภาพ เช่น การหมุน การเลื่อน การย่อและขยายภาพ
- การแปลงสี (color space conversion)
- การวิเคราะห์ภาพในเชิงความถี่
- การบีบอัดข้อมูลภาพ

ซึ่งจะพบว่า ระเบียบวิธี (Algorithm) ของวิธีประมวลผลภาพบางอย่างก็ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานตรวจวัดความสึกหรอของยางรถยนต์เนื่องจากการนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมที่ต้องการการทำงานที่รวดเร็วที่สุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้ระเบียบวิธีเฉพาะที่ง่าย และใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุด ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้จะสามารถเป็นจริงได้ ก็ด้วยการจัดสภาพแวดล้อมในการจับภาพที่ดี นอกจากนั้นแล้ว ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้นซึ่งมีอยู่แล้วในผู้ปฏิบัติงาน ก็ควรนำมาใช้เพื่อช่วยให้ระบบสามารถทำงานให้ได้เร็วที่สุดด้วยเช่นกัน

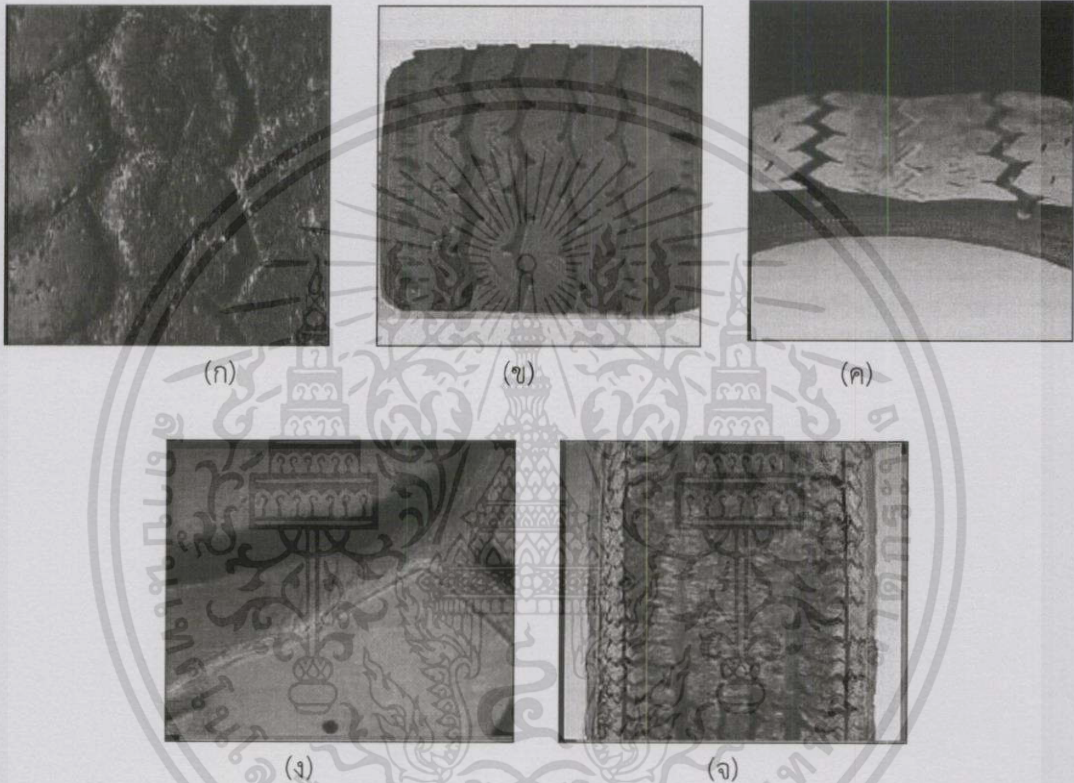
2.2 ทฤษฎีพื้นฐานด้านการคำนวณและประมวลผล

ในการเก็บข้อมูลสามมิติจะใช้ตัวตรวจจับชนิดต่างๆซึ่งของข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับยังไม่ใช้เป็นระยะทางจริงจะต้องนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการคำนวณใหม่เสียก่อน ซึ่งเรียกข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับนี้ว่าข้อมูลระยะทาง (Range data) โดยที่ข้อมูลระยะทางที่ได้จะมีประโยชน์มากในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ เช่น การมองเห็นของหุ่นยนต์ การวินิจฉัยโรคในด้านการแพทย์ กระบวนการผลิตในงานด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสาเหตุและสภาพการ

สึกของยางรถยนต์ วิธีการตรวจสอบความลึกของร่องยางรถยนต์แบบทั่วไป และการเก็บข้อมูลและการปรับปรุงข้อมูลสามมิติแบบต่างๆรวมทั้งการสแกนวัตถุจนไปถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

2.2.1 สาเหตุและสภาพการสึกของยางรถยนต์

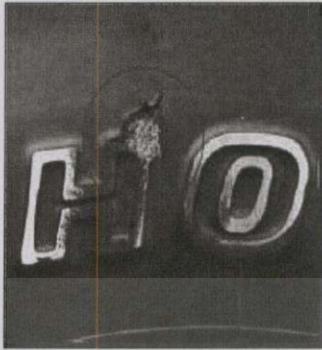
2.2.1.1 การใส่ยางรถยนต์ที่ผิดปกติ (Abnormal Tire Wear)



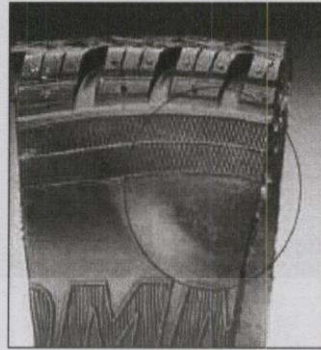
รูปที่ 2.9 (ก) ยางเสื่อมมีลักษณะคล้ายดอกเห็ด (ข) ไหลยางเสื่อมอย่างรวดเร็ว (ค) หน้ายางเสื่อมอย่างรวดเร็ว (ง) รอยแตกระหว่างดอกยาง (จ) รอยเสื่อมตามผิวหน้ายาง

การสึกหรอของดอกยางในลักษณะนี้จะเกิดบริเวณบนหน้ายาง ซึ่งเป็นการสึกหรอแบบรวดเร็วในยางรถยนต์ และยังพบเห็นตามบล็อกของดอกยางในลักษณะแตกเป็นลายบนพื้นที่ของดอกยาง ซึ่งการสึกหรอแบบนี้มักจะเป็นผลมาจากปัญหาในการเบรก การหยุดแบบกะทันหันหรือการจัดวางตำแหน่งของยางรถยนต์กับล้อนั้นก็ปัญหาอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้ยางรถยนต์ไม่สมดุลการล้อ เพราะมาจากการประกอบล้อไม่ดีหรือการใช้งานที่ผิดวัตถุประสงค์

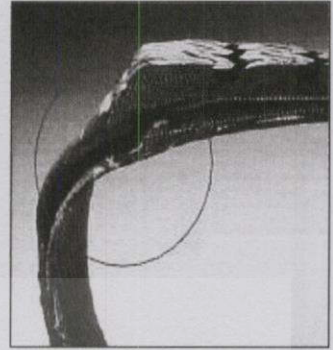
2.2.1.2 ความเสียหายที่แก้มยาง (Sidewall Damage)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

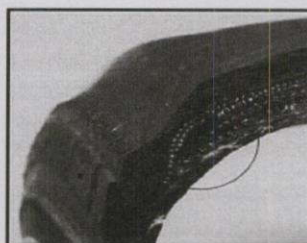
รูปที่ 2.10 (ก) จุดบกพร่องที่ตัวอักษร (ข) แก้มยางมีรอยบวม (ค) รอยแยกของชั้นยาง
(ง) รอยฉีกขาดบนแก้มยาง (จ) รอยตัดบนแก้มยาง

ความเสียหายในลักษณะนี้จะเกิดที่บริเวณแก้มยางมีลักษณะเป็นรอยถูกตัด รอยฉีกขาดหรือที่ใดๆไปตามแนวกริดบนแก้มยาง ความเสียหายประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นเมื่อยางพบกับสิ่งขีดขวางที่อาจจะเป็นอันตรายบนท้องถนน ซึ่งอาจรวมถึงอะไรก็ได้จากวัตถุที่เหนียวรั้งที่มีลักษณะเป็นเกลียวหรือชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ วัตถุที่มีคม ซึ่งทำให้ยางเกิดความเครียดทำให้เกิดการรอยตัดรอยฉีกขาดหรือในลักษณะการบวมของยางมาจากการชูดที่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้และมีผลกระทบต่อความเสียหายหรือการรอยขีดข่วนบนยางเป็นเวลานาน

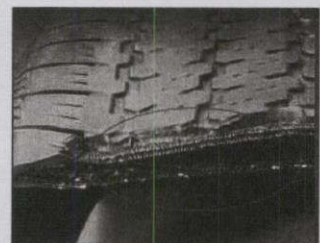
2.2.1.3 การแยกออกของยาง (Tire Separations)



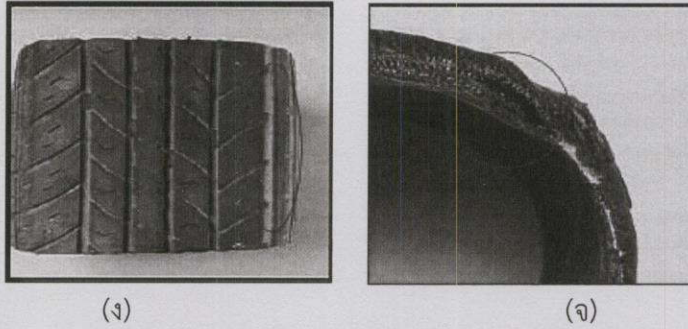
(ก)



(ข)



(ค)

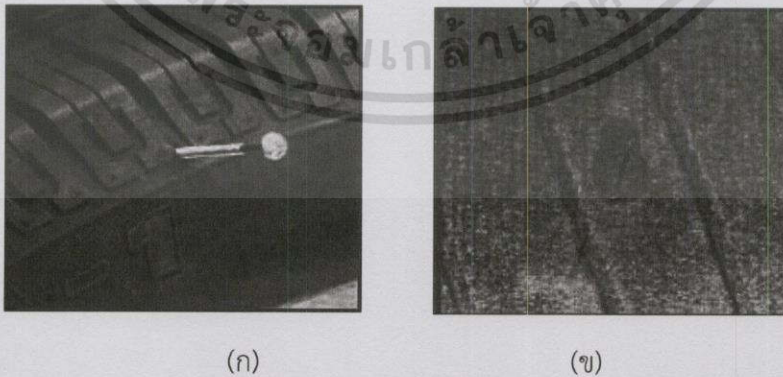


รูปที่ 2.11 (ก) รอยแยกด้านขอบยาง (ข) รอยแยกของดอกยาง
(ค) รอยแยกตามแนวหน้ายาง (ง) รอยแยกที่ไหล่ยาง (จ) รอยแยกของไหล่ยาง

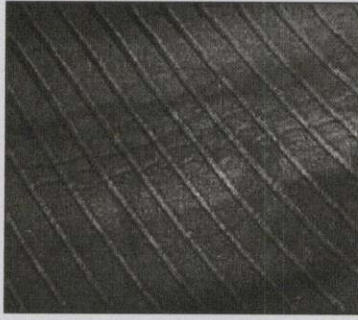
ลักษณะของความเสียหายจะเป็นรอยแยก รอยบุบบนหน้ายางหรือไหล่ยาง ซึ่งรอยแยกจะเกิดเป็นแนวยาวตามที่บริเวณร่องยางและไหล่ยาง เป็นสัญญาณบ่งบอกของการเกิดรอยแยกซึ่งปัญหาของการแยกส่วนใหญ่มักจะเกิดจากความร้อนที่สูงที่ผิดปกติ โดยที่ความร้อนสูงนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ ในระหว่างการขับขี่ด้วยความเร็วที่สูงเป็นเวลานานๆทำให้สภาพยางรถยนต์มีความร้อนสะสมมากเกินไปจึงเกิดการแยกออกของชั้นยาง อีกทั้งยังสามารถเกิดจากการซึมของน้ำหรือมีวัตถุเข้าไปในโครงสร้างของยาง โดยสิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปในยางจะทำให้เกิดรอยฉีกขาดได้ อาจทำให้เกิดอันตรายบนท้องถนนได้

2.2.1.4 อันตรายจากวัตถุที่อยู่บนถนน (Road Hazard)

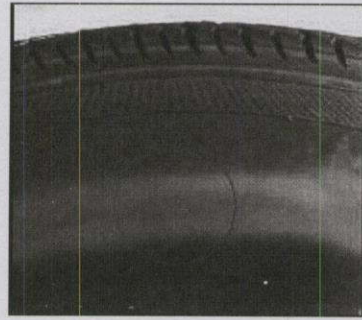
ความเสียหายที่เกิดจากวัตถุสิ่งแปลกปลอมบนท้องถนน ดูเหมือนจะเกิดจากวัตถุที่มีปลายแหลมหรือตะลุดตเข้าไปบางส่วนใน หรือเกิดจากการใช้งานอย่างหนักหรือถูกละเลย จึงทำให้เกิดเป็นรอยเหี่ยวย่นในผนังด้านในของยางหรือหรือจะเกิดเป็นรอยขีดขูดที่ขยายตามเส้นรอบวงของยาง เพราะว่ อันตรายที่เกิดบนท้องถนนนั้นจะสร้างความเสียหายก็ต่อเมื่อมีวัตถุมีคมสัมผัสกับยาง ถ้าขาดการดูแลหรือละเลยจะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงยิ่งขึ้นโดยจะทำให้ยางพองขึ้น ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นยาง นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นกับยางที่มีแฉกซี่ลุ่มมากเกินไป



รูปที่ 2.12 (ก) และ (ข) สภาพการเสื่อมของยางที่เกิดจากสิ่งกีดขวางบนท้องถนน ซึ่งการเจาะ โดยปกติแล้วจะแสดงให้เห็นเฉพาะจุดที่ถูกเจาะหรือถูกตัดที่ดอกยางแล้วทะลุผ่านเข้าไปด้วยด้านใน



(ก)

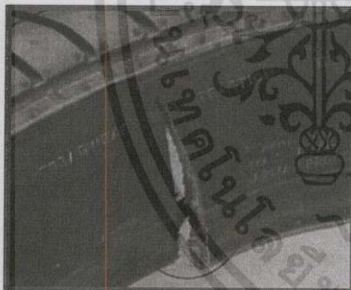


(ข)

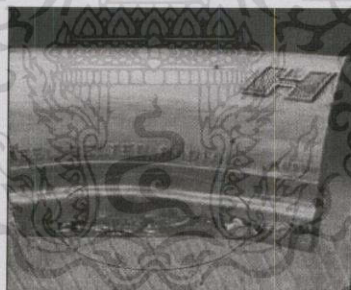
รูปที่ 2.13 (ก) และ (ข) สภาพการเสื่อมของยางที่เกิดจากสิ่งกีดขวางบนท้องถนน ซึ่งเป็นการขยายตัวของยางรอยขีดข่วนจะสามารถพบได้ที่ขอบวงของตัวยางและรีร้อยอาจจะมีสิ่งกีดขวางได้จากตัวยางด้านใน

2.2.1.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นบริเวณขอบยาง (Bead Problems)

ปัญหาที่พบบนขอบยางแสดงให้เห็นถึงความเสียหายที่มาจากขอบยางกับขอบล้อ โดยที่ขอบยางขอบยางจะมีการเสีรูปร่าง โดยพื้นที่ที่เกิดความเสียหายนี้เกิดขึ้นจากการที่ยางถูกติดตั้งและประกอบยางที่ไม่สมบูรณ์หรือติดตั้งด้วยความไม่ระมัดระวัง โดยตำแหน่งของขอบยางกับขอบล้อรถไม่ตรงกัน หรืออาจเกิดขึ้นได้จากการติดตั้งและประกอบยางที่มีความไม่สะอาดหรือไม่ตรงกัน เมื่อยางอยู่ในระดับที่สูงมากเกินไปหรือต่ำกว่าที่สูงจากขอบล้อจะทำให้เกิดการงอหรือบิดเบี้ยว และอาจเกิดจากการจัดเก็บยางไม่ถูกวิธี



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.14 (ก) รอยแตกที่ขอบยาง (ข) ความเสียหายด้านขอบยาง (ค) ความเสียหายจากวงล้อรถยนต์

2.2.2 วิธีการตรวจวัดความลึกของร่องยางรถยนต์แบบดั้งเดิม

วิธีการตรวจสอบความลึกของร่องยางรถยนต์หลายวิธีเช่น วิธีการวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์ (Tire Depth Gauge) วิธีการตรวจสอบด้วยตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยาง (Tread wear Indicator) และวิธีการตรวจวัดด้วยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น เป็นต้น ทั้งนี้วิธีการตรวจวัดที่ใช้ในการกระบวนตรวจสอบแบบไม่ต่อเนื่องมี 2 วิธีได้แก่การวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์และวิธีการตรวจสอบด้วยตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยาง ซึ่งวิธีการวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์จะมีข้อจำกัดอยู่ว่าสามารถทำการวัดได้ที่ละจุดบนร่องยางซึ่งเป็นการสูญเสียเวลาถ้าจะทำการวัดร่องยางทั้งหมดบนตัวยางรถยนต์ ส่วนวิธีการตรวจสอบด้วยตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยางมีข้อเสียคือเป็นการคาดคะเนจากตัวบ่งชี้ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน ถ้าหากจะมองในภาคอุตสาหกรรมยาง

ยนต์หรือร้านค้ายางรถยนต์ทั่วไป ดังนั้นจึงได้มีการคิดและออกแบบวิธี การตรวจสอบด้วยระบบ คอมพิวเตอร์วิชั่นขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจเนื่องจากมีความสามารถในการตรวจวัดความลึกของร่อง ยางจากภาพถ่าย ที่มีความสะดวกในการใช้งานและติดตั้ง และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้าน อุตสาหกรรมยางรถยนต์ได้

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความลึกของร่องยางรถยนต์นั้นบ่งบอกถึง ความสามารถในการยึดเกาะถนนและช่วยในการรีดน้ำในขณะกำลังขับซึ่งถ้าหากหน้ายางมีการเสื่อมอาจก่อให้เกิด อุบัติเหตุบนท้องถนนได้ดังนั้นจึงต้องมาการตรวจสอบสภาพและคุณภาพของยางรถยนต์ก่อนนำมาใช้งาน

2.2.2.1 การวัดด้วยเครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์ (Tire Depth Gauge)

อุปกรณ์ตรวจวัดความลึกของยางด้วยเกจเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการใช้ งานโดยจะมีขีดของสเกลบ่งบอกถึงความลึกของร่องยางซึ่งมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร นิ้ว พีเอสไอ เป็นต้น ซึ่งการใช้งานเพียงกดปลายหัววัดลงบนพื้นผิวของร่องยางจนสนิทกับเดือยของเกจวัด แล้วอ่านสเกล ความลึกได้จากตัวเลขที่เกจจะสามารถทราบค่าความลึกของร่องยางได้



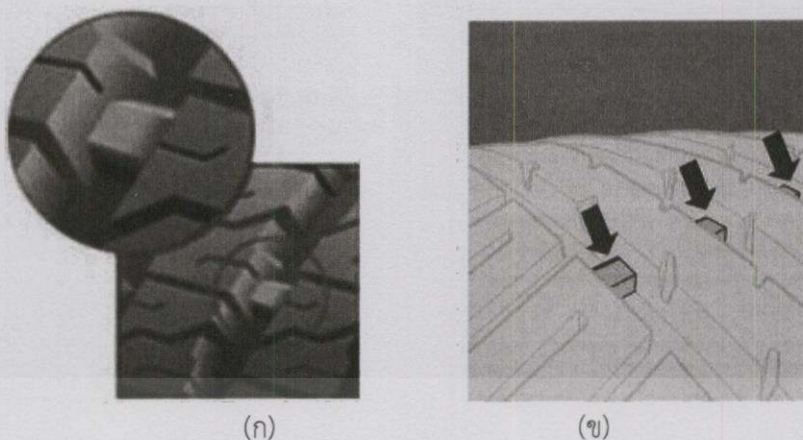
(ก)

(ข)

รูปที่ 2.15 (ก) และ (ข) เครื่องมือวัดความลึกของยางรถยนต์ (Tire Depth Gauge)

2.2.2.2 การตรวจสอบด้วยตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยาง (Tread wear Indicator)

ตัวบ่งชี้ความลึกของร่องยาง (Tread wear Indicator) จะสามารถดูได้จากร่องยางรถยนต์โดยทางด้านอุตสาหกรรมยางรถยนต์ทุกยี่ห้อได้กำหนดค่าความสูงมาตรฐานของ ตัวบ่งชี้ (Tread wear Indicator) ไว้ที่ความสูง 1.6 มิลลิเมตรจากร่องยาง ดังนั้นเมื่อยางหมดสภาพ ความลึกของร่องยางจะมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนด จะแสดงให้เห็นว่ายาง รถยนต์มีการเสื่อมสภาพไม่พร้อมที่จะใช้งานอีกต่อไปซึ่งในยุโรปก็ได้มีข้อกำหนดระบุไว้เช่นกันว่าเมื่อ ความลึกของร่องยางต่ำกว่า 1.6 มิลลิเมตรควรจะต้องเปลี่ยนยางรถยนต์



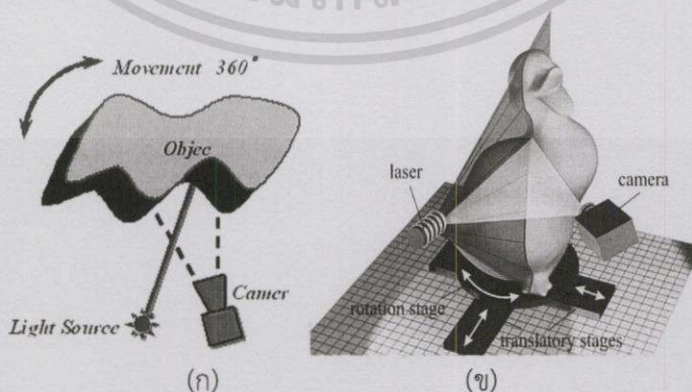
รูปที่ 2.16 (ก) และ(ข) สะพานยางหรือตัวบ่งชี้ความสึกของร่องยาง(Tread wear Indicator)

2.2.3 รูปแบบการสแกนวัตถุ (Scanning Patterns)

การสแกนวัตถุเป็นรูปแบบในการเก็บข้อมูลสามมิติของวัตถุต่างๆซึ่งส่วนใหญ่สามารถแบ่งลักษณะของการสแกนวัตถุได้เป็น 3 แบบ คือการสแกนโดยการหมุนวัตถุ (360°) การสแกนโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ และการสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุ

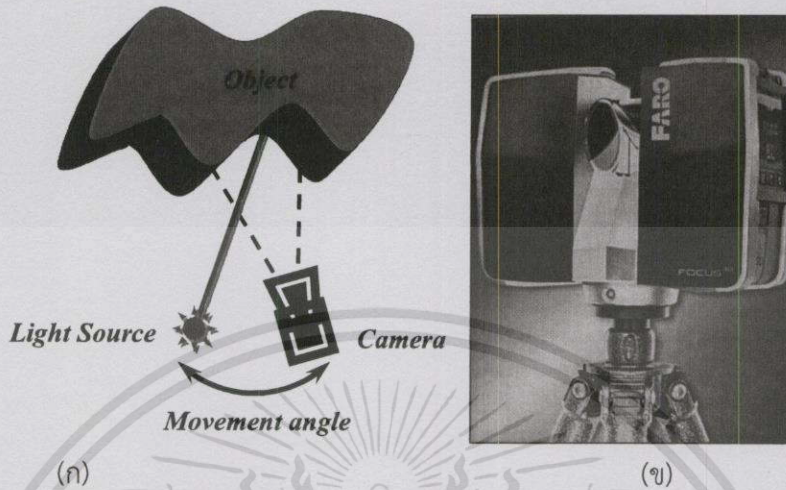
2.2.3.1 การสแกนโดยการหมุนวัตถุ

วิธีการสแกนโดยการหมุนวัตถุจะทำการวางวัตถุที่ต้องการเก็บข้อมูลระยะทางลงบนแท่นหมุน โดยทำการหมุนวัตถุเพื่อเก็บข้อมูลระยะทางของวัตถุทั้ง 360° ลักษณะการสแกนโดยการหมุนวัตถุส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกับหลักการเก็บข้อมูลระยะทางด้วยหลักการสามเหลี่ยมแบบแอคทีฟด้วยลำแสงแบบเส้น (Light Stripe Triangulation) เมื่อทำการฉายแสงลงไปบนวัตถุแล้วทำการเก็บข้อมูลโดยกล้องวิดีโอ ก็จะสามารถนำมาคำนวณหาข้อมูลระยะทางของวัตถุตัวอย่างได้ ถ้าทำการหมุนวัตถุเคลื่อนที่ไปเป็นมุมต่างๆก็จะได้ข้อมูลระยะทางในมุมอื่นๆของวัตถุ หากทำการหมุนไปเรื่อยๆจนครบ 360° ก็จะทำให้ได้ข้อมูลระยะทางของวัตถุครบทุกๆส่วนของวัตถุ ดังนั้นการสแกนด้วยการหมุนวัตถุนี้จะทำให้ได้ข้อมูลระยะทางของวัตถุครบ ทั้ง 360° จึงนิยมนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของวัตถุ



รูปที่ 2.17 (ก) และ (ข) เป็นรูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนวัตถุ

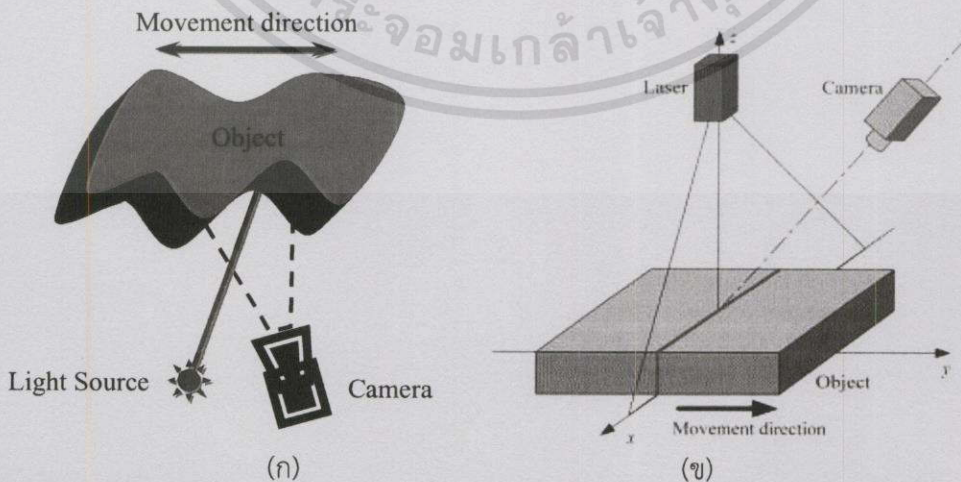
2.2.3.2 การสแกนโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ



รูปที่ 2.18 รูปแบบการสแกนวัตถุโดยการหมุนทำมุมของแสงหรืออุปกรณ์จับภาพ

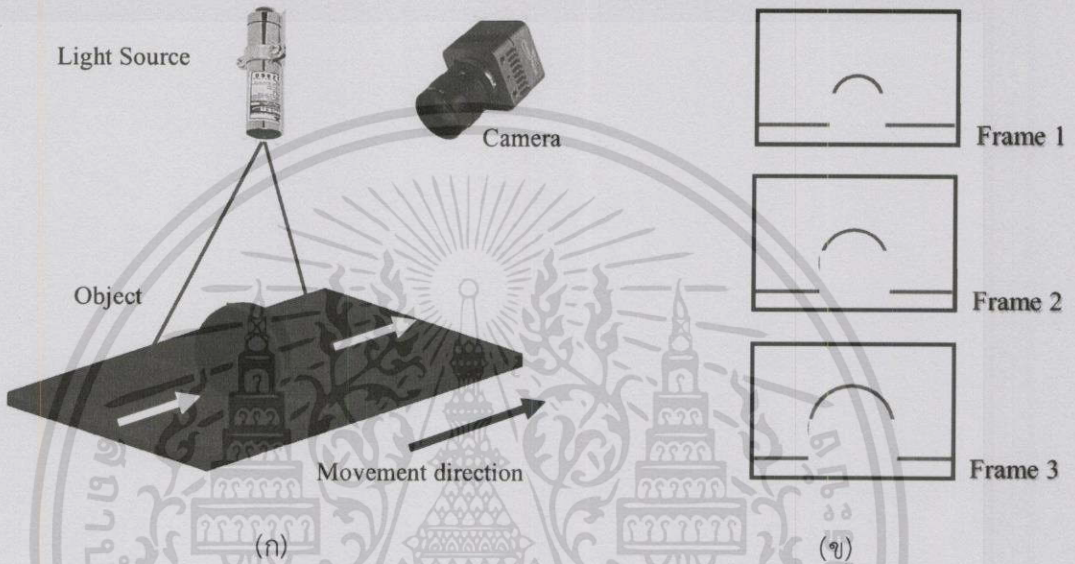
2.2.3.3 การสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุ

การสแกนโดยการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือเรียกว่า การสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนของวัตถุ (Light Sectioning) เป็นเทคนิคการวัดรูปทรงแบบตัดขวางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งการสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนของวัตถุเป็นส่วนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย ซึ่งวิธีนี้เปรียบเสมือนจะเป็นการแบ่งวัตถุ 3 มิติออกเป็นส่วนย่อยๆ (2 มิติ) ตามแนวความยาวของวัตถุ โดยการฉาย (Projection) แสงลงบนพื้นผิววัตถุเพื่อให้เกิดเป็นลักษณะตามพื้นผิว (Surface Feature) ของวัตถุที่แสงตกกระทบ ซึ่งส่วนมากแล้วแหล่งกำเนิดแสงจะใช้เส้นเลเซอร์สีแดง เนื่องจากการนำมาวิเคราะห์และประมวลผลทำได้ง่าย นอกจากนั้นยังช่วยลดขั้นตอนในการแบ่งส่วนวัตถุหรือภาพ (Image segmentation)

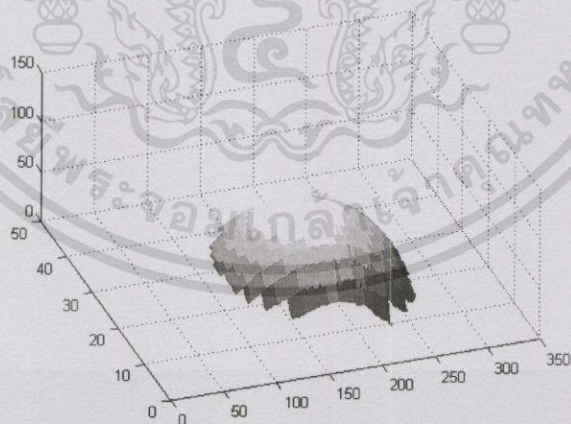


รูปที่ 2.19 การสแกนโดยใช้แสงแบ่งส่วนวัตถุ (Light-Sectioning)

โดยแสงที่กระทบกับพื้นผิวของวัตถุจะถูกจับภาพและบันทึกไว้ด้วยกล้องที่วางทำมุมเอียงกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งข้อมูลของรูปที่ได้มาจะเปรียบเสมือนเป็นข้อมูลความหนาและความกว้างในแต่ละจุดบนพื้นผิววัตถุ เมื่อทำการเคลื่อนที่วัตถุก็จะได้ข้อมูลในส่วนต่อไปของวัตถุในลักษณะของภาพตัดขวางของแต่ละส่วน และนำภาพตัดขวางแบบ 2 มิติแต่ละส่วนของวัตถุมารวมกันเพื่อสร้างเป็นภาพตัดขวาง 3 มิติที่เป็นตัวบอกได้ถึงความกว้าง ความสูง และความยาวของวัตถุนั้นๆ



รูปที่ 2.20 (ก) การเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านเส้นแสง (ข) รูปที่ได้ในเฟรมต่างๆเมื่อมีวัตถุตัดผ่าน

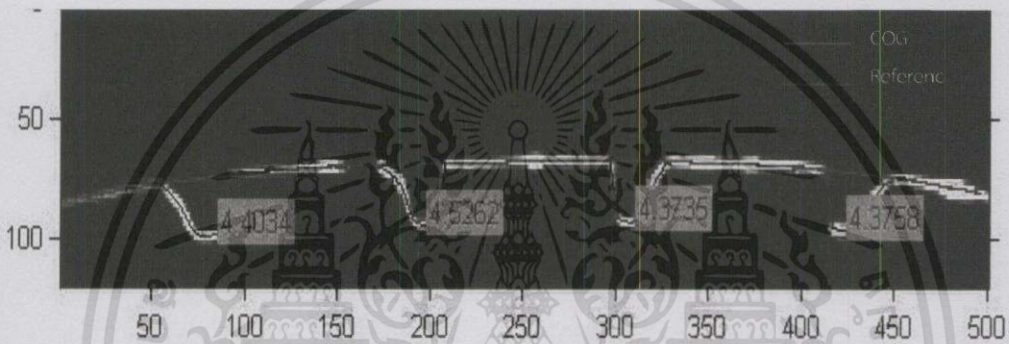


รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการนำภาพตัดขวางแต่ละส่วนมารวมเพื่อสร้างภาพตัดขวาง 3 มิติ

จากรูปที่ 2.20 (ข) แสดงรูปที่ได้จากกล้องในเฟรมต่างๆเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านทำให้เส้นแสงเลเซอร์เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามพื้นผิวของวัตถุ โดยรูปร่างของเส้นแสงที่ได้จะบอกถึงคุณลักษณะของวัตถุสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติ 2 มิติในเชิงระยะที่กัหรือขนาดของวัตถุที่จะบอกถึงความกว้างและความสูง นอกจากนั้นเมื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สอดคล้องกับความเร็ว

ในการเก็บภาพของกล้อง (Frame per second) แล้วทำการเก็บข้อมูลภาพอย่างต่อเนื่อง เมื่อนำข้อมูลรูปที่ได้ในแต่ละส่วนที่เป็น 2 มิติของวัตถุมาต่อกันจะทำให้เกิดคุณลักษณะของวัตถุใน 3 มิติ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติที่เป็นขนาดของวัตถุทั้ง ความกว้าง ความยาว และความหนาของวัตถุรวมทั้งพื้นที่โดยรวมของวัตถุ ซึ่งปกตินิยมใช้หลักการของรูปสามเหลี่ยมมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งมีข้อจำกัดคือถ้าการติดตั้งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของหลักการรูปสามเหลี่ยมเช่นระยะห่างระหว่างกล้องกับแหล่งกำเนิดแสง รวมทั้งการทำมุมของกล้องหรือแหล่งกำเนิดแสงมีการคลาดเคลื่อนจากการติดตั้งนอกจากนั้น หลักการของรูปสามเหลี่ยมมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของวัตถุไม่สามารถทำการขยายย่อในการตรวจวัด (Non-scale up)

2.2.4 วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity: COG)



รูปที่ 2.22 เส้นแสงเลเซอร์ที่ได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยแล้ว

วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity: COG) [18] คือการหาค่าเฉลี่ยของพิกัดของภาพจากแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบบนวัตถุ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีความกว้างและความเข้มแสงที่ไม่เท่ากันทุกจุด การหา COG คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละคอลัมน์ของภาพเพื่อทำการแยกพิกัดที่สอดคล้อง (Profile Extraction) กับวัตถุมากที่สุด โดยค่าเทรชโฮลด์ในตัวโปรแกรมจะทำการปรับค่าด้วยมือ (manual Threshold) เพื่อหาค่าเทรชโฮลด์ของภาพที่เหมาะสม จากรูปที่ 2.23 การหา COG คือการหาจุดในแต่ละคอลัมน์ที่สัมพันธ์กับแสงเลเซอร์เพื่อให้เข้าใจง่ายจึงยกตัวอย่างการคำนวณ COG จากรูปที่ 2.32 เป็นการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Center of gravity)

$$COG = \frac{\sum y.I(y,x)}{\sum I(y,x)} = \frac{Wm}{m} \quad (2.1)$$

เมื่อ $I(y,x) > \text{Threshold}$

$I(y,x)$ คือความเข้มของระดับสีเทา

y คือแถวในแนวแกน y

ตัวอย่างการคำนวณมีดังนี้

มีขนาดเมทริกซ์ 4x5 พิกเซลค่าภายในเมทริกซ์คือค่าความเข้มของระดับสีเทา (Intensity) ใช้ค่าเทรสโฮล์ 30 ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Center of gravity) ของเมทริกซ์ 4x5 พิกเซลกำหนดให้

Wm = ผลรวมของค่าความเข้มของระดับสีเทาคูณกับค่าตำแหน่งของแถว y

m = ผลรวมของค่าความเข้มระดับสีเทา

	C1	C2	C3	C4	C5
แถวที่ 1	30	30	0	0	0
แถวที่ 2	40	40	30	30	30
แถวที่ 3	30	30	40	40	40
แถวที่ 4	0	0	30	30	30

รูปที่ 2.23 เมทริกซ์ขนาด 4x5

พิจารณาค่าความเข้มของระดับสีเทา (Intensity) ที่มีค่ามากกว่าค่าเทรสโฮล์คือ 30 คำนวณหาค่า COG ของ Y ในแต่ละคอลัมน์ C, C2, C3, C4 และ C5

$$(C1) COG (X=1) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x30) + (2x40) + (3x30) + (4x0)}{30 + 40 + 30 + 0} = 2 \quad (2.2)$$

$$(C2) COG (X=2) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x30) + (2x40) + (3x30) + (4x0)}{30 + 40 + 30 + 0} = 2 \quad (2.3)$$

$$(C3) COG (X=3) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x0) + (2x30) + (3x40) + (4x30)}{0 + 30 + 40 + 30} = 3 \quad (2.4)$$

$$(C4) COG (X=4) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x0) + (2x30) + (3x40) + (4x30)}{0 + 30 + 40 + 30} = 3 \quad (2.5)$$

$$(C5) COG (X=5) = \frac{Wm}{m} = \frac{(1x0) + (2x30) + (3x40) + (4x30)}{0 + 30 + 40 + 30} = 3 \quad (2.6)$$

ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าพิกัด X และ Y โดยที่ X เป็นคอลัมน์ที่ 1,2,3... n สัมพันธ์กับค่าของ Y เป็นค่าแถวที่ 1,2,3... n ดังนั้นคำตอบที่ได้คือ $(X,Y) = \{(1,2), (2,2), (3,3), (4,3), (5,3)\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

ข้อจำกัดของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่ใช้ในการเก็บภาพในระบบการดิจิทัลเซชัน คือไม่สามารถแยกแยะ หรือกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดขึ้นกับภาพนั้นได้ ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลภาพบางตำแหน่งยังปกปิดข้อมูลที่เราสงสัย ซึ่งหากมองด้วยตาเปล่าแล้วไม่สามารถจะมองเห็นได้จึงได้มีการนำภาพดังกล่าวนั้นไปดำเนินการด้วยวิธีการที่เรียกว่า “การประมวลผลภาพ” ซึ่งจะทำการสร้างภาพใหม่ขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงข้อมูลตัวเลข คือ ในบริเวณที่เราสงสัยจะถูกกระทำการปรับปรุงรายละเอียดของภาพ (Enhancement) และยังเป็นผลให้สัญญาณรบกวนลดลงหรือถูกกำจัดทิ้งไป ตัวอย่างของการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image processing) ที่นิยมทั่วไป ได้แก่การกำจัดสัญญาณรบกวน การหาขอบภาพ (Edge Enhancement) การฟิลเตอร์ภาพ (Filtering) และการปรับปรุงระดับเกรย์สเกล เป็นต้น

2.2.6 สมการคำนวณค่าความผิดพลาดจากการวัด (Error)

การวัดเป็นขบวนการของการเปรียบเทียบปริมาณที่ไม่รู้ค่าด้วยปริมาณมาตรฐานที่ยอมรับ ภายใต้การพิจารณาและการสังเกตผลการตอบสนองบนเครื่องมือวัดการวัดที่หาได้นั้นเป็นปริมาณการวัดที่เรียกว่า ค่าจริง (True value) ในการหาค่าจริงนั้นอาจยุ่งยากมากแต่อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากค่าจริงก็อาจใช้คำว่าค่าที่คาดหวัง (expected value) แทนซึ่งพอที่จะอธิบายได้ง่ายกว่าค่าจริงได้ การวัดบางครั้งมีผลกระทบจากตัวแปรจำนวนมากดังนั้นผลที่ได้จากการวัดมักผิดจากค่าที่คาดหวังจากการศึกษาค้นคว้าในเรื่องความคลาดเคลื่อน (error) ของการวัดสามารถหาได้ต่อไปนี้

2.2.6.1 ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Absolute Error : e)

ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์คือค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริง (True value) กับค่าวัด (Measured value) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์นั้นอาจถูกนิยามอยู่ในรูปผลต่างระหว่างค่าที่คาดหวังกับค่าที่วัดได้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$|e| = x_t - x_m \quad (2.12)$$

เมื่อ $|e|$ = คือ ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์

x_t = คือ ค่าจริง (True value)

x_m = คือ ค่าวัด (Measured value)

2.2.6.2 ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative Error : % error)

ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relation error) หรือ Percent error (%error) คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้จากค่า ความผิดพลาดสัมบูรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\%error = \frac{|e|}{x_i} \times 100\% \quad (2.13)$$

$$\%error = \frac{|x_i - x_m|}{x_i} \times 100\% \quad (2.14)$$

2.3 ทฤษฎี Homography Transform

ในการวัดความลึกของร่องยางรถยนต์โดยใช้เทคนิคเลเซอร์ตัดขวางนั้นมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มจากการรับภาพวัตถุเข้ามา ทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพและเส้นเลเซอร์ หลังจากนั้นสร้างเส้นจากจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity Line : COG) ของเส้นลำแสงเลเซอร์ และสร้างเส้นอ้างอิง (Reference Line) ด้วยวิธีSmoothing Data filter ในโปรแกรม MATLAB จะได้ระยะห่างระหว่างเส้นจุดศูนย์กลางมวลกับเส้นอ้างอิงเป็นค่าพิกเซล แล้วแปลง หน่วยจากพิกเซล (Pixel) ให้เป็นหน่วยมิลลิเมตร (mm) โดยใช้ทฤษฎีของ (Homography transform) เพื่อหาความ ลึกของร่องยางรถยนต์ จากนั้นนำค่าความลึกที่ในแต่ละเฟรมมารวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยของร่องยางแต่ละร่อง ทั้งหมด ค่าที่วัดได้จะแสดงผลลงบนหน้าจอและเก็บค่าบันทึกค่าผลทั้งลงใน Microsoft Office Excel 2007แบบอัตโนมัติ เพื่อสะดวกในการเรียกดูภายหลัง

Homography Transform ระบบการวัดบนระนาบเป็นวิธีการวัดในลักษณะเรขาคณิตบนระนาบ นำมาใช้เพื่อแปลงระยะทางในพิกัด บนภาพภาพเป็นค่าระยะทางจริงโดยเทียบกับพิกัดอ้างอิงในระบบสองมิติ Homography Matrix จะเป็นตัวแปลง ระหว่าง Homogeneous Point และ Homogeneous Coordinate จากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบในระบบ พิกัดภาพภาพ (P') และ จุดบนพิกัดจริง (P) สามารถที่เขียนได้เป็น

$$P' = Hp \quad (1)$$

เมื่อ p' และ p เป็น Homogeneous Coordinate ที่รวมกันของตาแหน่ง p (พิกัดรูปภาพ) และ p' (พิกัดจริง) ซึ่งมี H เป็น Homography Matrix

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ W' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2)$$

ในสมการที่ (2) จะเพิ่มจุดสมมุติ w และ w'_i ขึ้นมาโดยให้มีค่าเท่ากับ1แล้วคูณ p และ H เมื่อ $\frac{X'}{W'}$ และ $\frac{Y'}{W'}$ โดยที่ค่า $w = w'_i = 1$ ซึ่งสามารถจัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปแบบ

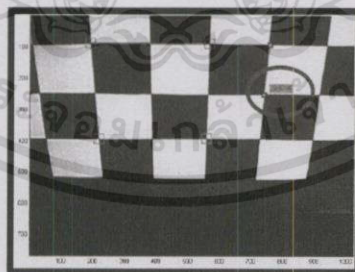
Homogeneous ได้เป็นสมการที่ (3) โดยที่ตัวแปร 9 ตัวภายใน H สามารถที่จะแปลความหมายเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราขยายหรือตัวแปลงค่าจุดระหว่างพิกัด ซึ่งในการหาค่า Homography Matrix จำเป็นจะต้องทราบค่าจุดบนพิกัดอย่างน้อย 4 จุด

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & X_1 X_1 & X_1 Y_1 & X_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_4 & Y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & X_4 X_4 & X_4 Y_4 & X_4 \\ 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & 1 & Y_1 X_1 & Y_1 Y_1 & Y_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & X_4 & Y_4 & 1 & Y_4 X_4 & Y_4 Y_4 & Y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{31} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Homography Matrix สามารถที่จะหาได้โดยการใช้ระบบสมการเชิงเส้น Singular value decomposition (SVD) เป็นวิธีการประมาณค่าแบบ Least Squares ซึ่งเมื่อทราบค่าของ H ก็จะสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าจริงของตำแหน่งบนรูปภาพโดยการคูณกันระหว่าง H และ p ดังสมการที่ (1) การสอบเทียบกล้องในงานวิจัยนี้จะใช้การสอบเทียบแบบ Camera projection matrix โดยใช้ตารางที่ทราบขนาด (รูปที่ 2.24) เพื่อจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งอย่างน้อย 4 จุดของระบบพิกัดระนาบของภาพเทียบกับ ขนาดจริงในระบบพิกัดปริภูมิสามมิติ เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่า Homography Matrix (H) ซึ่งเป็นค่าเพกเตอร์ ที่นำไปแปลงค่าจากข้อมูลรูปภาพเป็นค่าในระบบพิกัดปริภูมิสามมิติ จากการสอบเทียบกล้องกับกับตารางที่มีขนาด 30x30 mm. ได้ผลของการสอบเทียบประมาณ 29.9795 mm



รูปที่ 2.24 Table size 30x30 mm. are used to calibration.

ในขั้นตอนนี้จะทำการกำหนดจุดแต่ละจุดและนำค่าที่ได้จากกำหนดนี้ไปคำนวณตามดังสมการที่ (3) โดยการใช้ฟังก์ชัน SVD ที่เป็นการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ในโปรแกรม MATLAB เป็นตัวช่วยในการคำนวณหาค่า Homography Matrix (H) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ขนาด 3X3 และสามารถนำค่า H ไปใช้ในสมการที่ (1)

บทที่ 3

การประมวลผลภาพดิจิทัลเบื้องต้นด้วย OpenCV

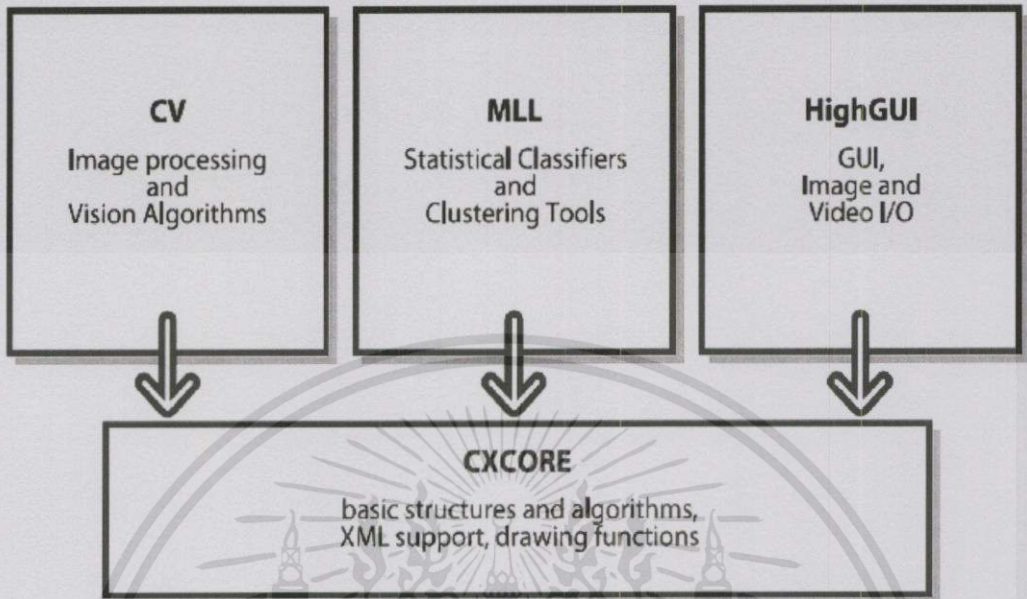
การนำโปรแกรม OpenCV มาประมวลผลภาพมีส่วนที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการประมวลผลมีอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน คือ 1. รายละเอียดเกี่ยวไลบรารี OpenCV 2. การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล 3. การปรับปรุงคุณภาพภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ไลบรารีโอเพ่นซอร์ส OpenCV

OpenCV เป็นไลบรารีแบบโอเพ่นซอร์ส พัฒนาโดยบริษัท Intel เพื่อสำหรับการพัฒนาโปรแกรมภาษา C, C++ และ Python ที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) และคอมพิวเตอร์วิชัน (Computer Vision) สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Linux, Windows และ Mac โดย Open CV นั้นถูกพัฒนาขึ้นสำหรับแอปพลิเคชันแบบเวลาจริง (Real time) และจุดประสงค์ที่สำคัญอย่างหนึ่งของ OpenCV คือ สะดวกในการนำไปพัฒนา จึงช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันทางด้านคอมพิวเตอร์วิชันที่ซับซ้อนได้อย่างง่าย OpenCV มีไลบรารีอยู่มากกว่า 500 ฟังก์ชัน ที่ครอบคลุมในงานทางด้านคอมพิวเตอร์วิชัน เช่น งานด้านการตรวจสอบทางอุตสาหกรรม ทางด้านการแพทย์ การรักษาความปลอดภัย การปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ และหุ่นยนต์ นอกจากนี้ OpenCV ยังมีไลบรารี Machine Learning Library (MLL) ที่เน้นเน้นทางการจดจำรูปแบบทางสถิติและการจัดกลุ่ม

OpenCV มีลิขสิทธิ์เป็นโอเพ่นซอร์ส ผู้พัฒนาสามารถที่จะนำไลบรารีทั้งหมดของ OpenCV ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย เนื่องจาก OpenCV เป็นเพียงชุดคำสั่งไม่ใช้ตัวโปรแกรมการนำไปใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์จึงจำเป็นต้องตั้งค่าให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถดึงไลบรารีของ OpenCV มาใช้งานได้ โดย OpenCV ประกอบด้วยไลบรารีหลักทั้งหมด 4 ประเภทดังนี้

- CV ใช้ในการประมวลผลและวิเคราะห์รูปภาพ การวิเคราะห์โครงสร้างภาพ การติดตามและการเคลื่อนไหว การจดจำรูปแบบ และการสอบเทียบกล้อง
- CXCORE ประกอบไปด้วยฟังก์ชันพื้นฐานที่เกี่ยวกับโครงสร้างข้อมูล การจัดการหน่วยความจำ พีชคณิตเมทริกซ์ การจัดการข้อผิดพลาด ฟังก์ชันพื้นฐานทางด้านคณิตศาสตร์
- HighGUI ประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ การดึงภาพ การดึงวิดีโอ การติดต่อกับกล้อง การสร้างหน้าต่าง การสร้างส่วนติดต่อ (เมาส์ แป้นพิมพ์)
- ML (Machine Learning) เป็นไลบรารีที่เกี่ยวข้องกับทางด้านสถิติ การแยกประเภท ฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูล การแบ่งกลุ่ม



รูปที่ 3.1 โครงสร้างหลักของไลบรารี OpenCV

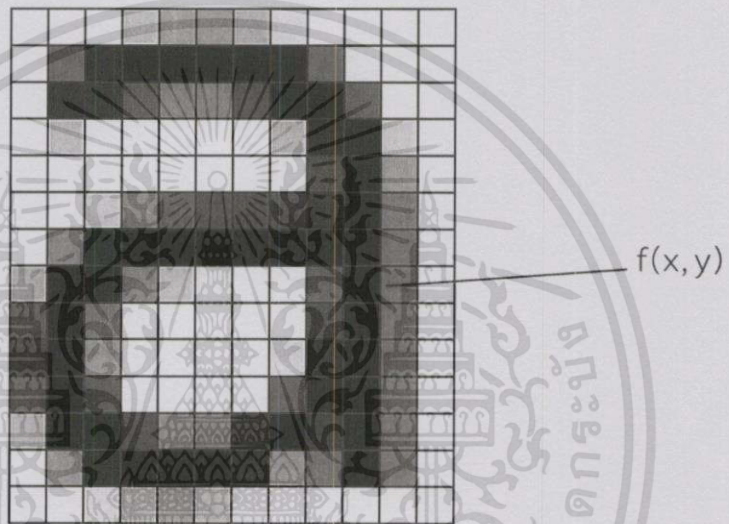
3.2 การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล คือการปรับปรุงและนำข้อมูลภาพดิจิทัลที่ได้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ ในกระบวนการ จัดเก็บภาพ และการส่งผ่านสัญญาณภาพ เป็นการประยุกต์การประมวลผลข้อมูลแบบ สัญญาณ (Signal processing) และขั้นตอนวิธีต่างๆ มากกระทำบนภาพดิจิทัล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็น ประโยชน์สำหรับการประมวลผลหรือวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.2 แสดงความแตกต่างระหว่างภาพแอนะล็อก (ซ้าย) กับภาพดิจิทัล (ขวา)
(ที่มา : <http://www.ncgicc.com/>)

เนื่องจากภาพที่มองเห็นโดยปกติผ่านสายตามนุษย์นั้น จะมองเห็นภาพในลักษณะที่เรียกว่า ภาพแอนะล็อก (Analog) ซึ่งอธิบายในทางคณิตศาสตร์ได้ด้วยตัวแปรค่าต่อเนื่อง (Continuous variables) แต่เครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้เลขฐาน 2 ซึ่งเป็นตัวแปรค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete variables) เป็นหลักในการคำนวณ โดยภาพนั้นจะถูกแทนด้วยตัวเลขในรูปเมตริกซ์ ทำให้ภาพที่นำมาแปลงเข้าสู่คอมพิวเตอร์กลายเป็นภาพดิจิทัลที่มีจำนวนสีและค่าความเปรียบต่าง (Contrast) มากกว่าภาพแอนะล็อก ภาพดิจิทัลจึงสามารถแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของภาพได้อย่างชัดเจนทำให้สามารถนำไปประมวลผล หรือปรับปรุงข้อมูลภาพโดยใช้เทคนิคต่างๆผ่านคอมพิวเตอร์ได้ง่ายกว่าภาพอนาล็อก



รูปที่ 3.3 ระบบพิกัดของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัลนั้นจะแสดงโดยใช้ระบบพิกัดเชิงพื้นที่บนระนาบสองมิติ (Spatial Coordinate) โดยที่แกน x และแกน y เป็นพิกัดของระยะ ส่วนจุดใดๆที่อยู่บนระนาบ xy นั้นจะแทนด้วยฟังก์ชันของความเข้มแสง $f(x, y)$ เมื่อ x, y และค่าของ f เป็นค่าจำกัด (finite value) ถ้ากำหนดให้ภาพ $f(x, y)$ มีขนาด M แถวและ N คอลัมน์ จะสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

โดยจุดใดๆในระนาบ x และ y อาจเรียกแทนด้วยคำว่า “พิกเซล”(Pixel) ถ้าความเข้มแสง $f(x, y)$ ถูกแทนด้วยเลขขนาด 8 บิตค่าระดับเทาที่ 0 แทนความสว่างน้อยหรือสีดำส่วนค่าระดับเทาที่ 255 แทนด้วยความสว่างมากหรือสีขาวภาพชนิดนี้เรียกว่าภาพระดับเทา (Gray scale image)

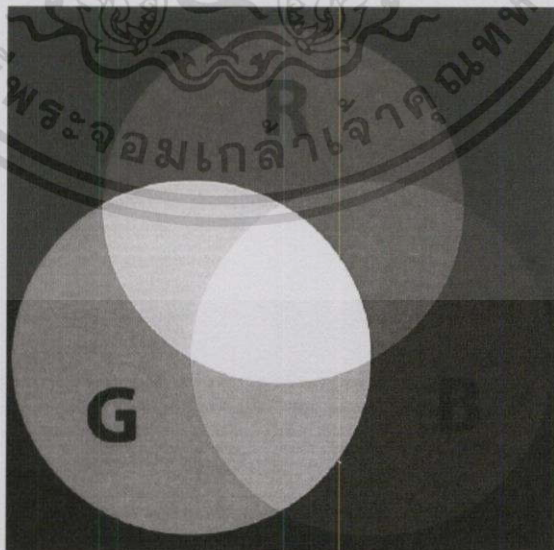
การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัลนั้นจะนำข้อมูลที่เป็นความเข้มแสงหรือตำแหน่งที่ได้มาประมวลผลได้แก่การหาจุดเด่นของภาพการปรับปรุงภาพฯ เพื่อให้ภาพมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นสำหรับการนำไปแสดงผลหรือวิเคราะห์

3.3 การปรับปรุงภาพ (Image Enhancement)

การปรับปรุงภาพคือการประมวลผลภาพเพื่อให้ภาพผลลัพธ์ที่ได้เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะทางได้ดีกว่าภาพต้นฉบับคำว่าเฉพาะทางในที่นี้มีความสำคัญเช่นการปรับปรุงคุณภาพของภาพเอ็กซเรย์จะไม่สามารถนำมาใช้ได้กับการปรับปรุงภาพดาวอังคารเนื่องจากการตีความหมายของภาพนั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานเป็นหลักดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของภาพไม่สามารถใช้ทฤษฎีที่ตายตัวได้เสมอไปอย่างไรก็ตามการปรับปรุงภาพเป็นหนึ่งในหัวข้อที่สำคัญที่สุดเพราะพบการประยุกต์ใช้งานอย่างมากในการประมวลผลภาพเชิงดิจิทัลในบทนี้เราจะกล่าวถึงวิธีการปรับปรุงภาพที่สำคัญสำหรับวิทยานิพนธ์นี้

3.3.1 การแปลงภาพสีให้เป็นขาวดำแบบ Grayscale

มาตรฐานของสีที่ใช้ในการประมวลผลภาพมีอยู่ด้วยหลายระบบด้วยกันทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้ระบบสี RGB โดยทุกระบบสีสามารถทำการแปลงไปแปลงมาได้แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ระบบสี RGB เป็นหลักซึ่งระบบสี RGB เกิดจากระบบแม่สีพื้นฐาน 3 สีด้วยกันคือสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยเป็นการรวมแบบ Additive คือถ้าไม่มีสีใดเลยจะมองเป็นสีดำในทางกลับกันถ้ามีครบทุกสีจะมองเป็นสีขาว



รูปที่ 3.4 การรวมกันของสี RGB แบบ Additive

ในการแปลงภาพสีแบบ RGB ไปเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale Image) เป็นการปรับจากภาพสีให้ไปเป็นภาพที่แสดงถึงค่าความเข้ม(Intensity)ของภาพเพียงอย่างเดียวเท่านั้นกล่าวคือจากเมทริกซ์ R G และ B ให้เหลือเพียงแค่เมทริกซ์เดียวที่เป็นเมทริกซ์แสดงถึงค่าความเข้ม โดยทั่วไปภาพ ระดับสีเทา ในกรณีที่เป็นภาพแบบ 8 บิต มีค่าความเข้ม 256 ระดับ นั่นคือจะมีค่าตั้งแต่ 0-255 ดัง แสดงในภาพประกอบที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงระดับสีเทามีขนาด 8 บิต

การแปลงภาพสีแบบ RGB ในแต่ละจุดของภาพสี ให้เป็นค่าระดับสีเทาทำได้โดยการดึงค่าของสีแดง 29.89% สีเขียว 58.70% และสีน้ำเงิน 11.40% รวมเป็น 100% โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ในสมการที่ 3.1

$$f(x, y) = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (3.1)$$

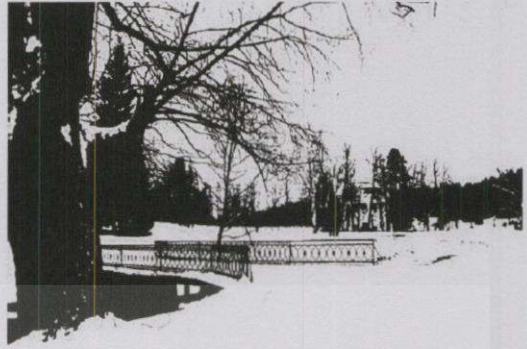
เมื่อ R คือ ค่าสีแดงในภาพระบบสี RGB ที่จุดภาพ $R(x,y)$

G คือ ค่าสีเขียวในภาพระบบสี RGB ที่จุดภาพ $G(x,y)$

B คือ ค่าสีน้ำเงินในภาพระบบสี RGB ที่จุดภาพ $B(x,y)$

3.3.2 การแปลงภาพระดับสีเทาด้วยกระบวนการเทรชโฮลด์ (Thresholding)

เทรชโฮลด์เป็นกระบวนการปรับภาพด้วยการปรับค่าความเข้มแสง ด้วยการกำหนดค่าอ้างอิง ที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold value) เป็นหนึ่งในพื้นฐานของการทำกระบวนการแยกภาพ กระบวนการทำเทรชโฮลด์ (Thresholding) สามารถแปลงภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำแบบ 2 บิตได้ ซึ่งเป็นการทำภาพระดับสีเทาให้เป็นภาพขาวดำ ที่มีเพียงสองระดับซึ่งเรียกว่าภาพแบบไบนารี (Binary Image) ดังภาพในรูปที่ 3.6 กล่าวคือภาพสีเทาปกติที่มีขนาด 8 บิต ในแต่ละจุดของภาพจะมี ค่าความเข้มได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 แต่เมื่อสร้างเป็นภาพขาวดำแต่ละจุดจะมีค่าความเข้มเพียง 2 ค่า เท่านั้นคือ '0' และ '1' โดย '0' เป็นตัวแทนของสีดำและ '1' เป็นตัวแทนของสีขาว



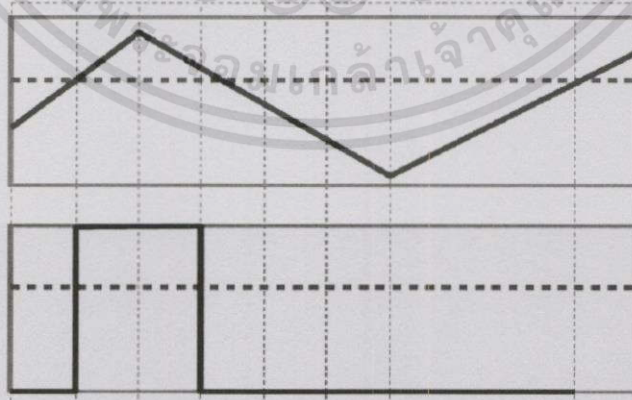
(ก) ภาพแบบระดับสีเทา

(ข) ภาพแบบไบนารี

รูปที่ 3.6 แสดงภาพระดับสีเทาและภาพแบบไบนารี (ที่มา: <http://en.wikipedia.org>)

กระบวนการเทรชโฮลด์ทำได้โดยการนำค่าแต่ละจุดของภาพเปรียบเทียบกับค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เรียกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold value) กล่าวคือ ถ้าฟังก์ชันความเข้มแสงของจุดใดๆ $f(x, y)$ ที่มีความเข้มแสงตั้งแต่ 0 ถึง T ถูกแปลงค่าให้เป็น '0' ในขณะที่ค่าความเข้มแสงที่มากกว่า T จะถูกแปลงให้มีค่าเท่ากับ 'maxVal' ซึ่งค่า T นี้เรียกว่า "ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold value)" โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3.2 เพื่อความเข้าใจสามารถดูรูปประกอบได้ที่ 3.7

$$dst(x, y) = \begin{cases} \max Val & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.7 แสดงการทำเทรชโฮลด์แบบไบนารี ภาพบน : แสดงถึงค่าก่อนการทำเทรชโฮลด์
ภาพล่าง : แสดงผลลัพธ์ของการเทรชโฮลด์ โดยเส้นประแสดงถึงค่าเทรชโฮลด์ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 เทคนิคการแยกเมตริกซ์สีออกจากกัน cvSplit

cvSplit (hsv, h, s, v, 0); cvSplit เป็นการแยก ข้อมูลแบบ RGBA ออกมาจากกัน ในหนึ่งจุดใดๆ สามารถแยกออกได้เป็นสี่ค่าคือ แดง เขียว น้ำเงิน และ อัลฟา ถ้ามองทั้งภาพ โดยฟังก์ชันนี้ เพื่อแยกพิกเซลสี 4 สีออกจากกัน แต่ในที่นี้ภาพเป็นแบบ RGB ไม่มี A เพราะฉะนั้นตัวที่ 4 เลยใส่ 0 หรือ NULL

3.3.4 เทคนิคการปรับให้ราบเรียบ cvSmooth

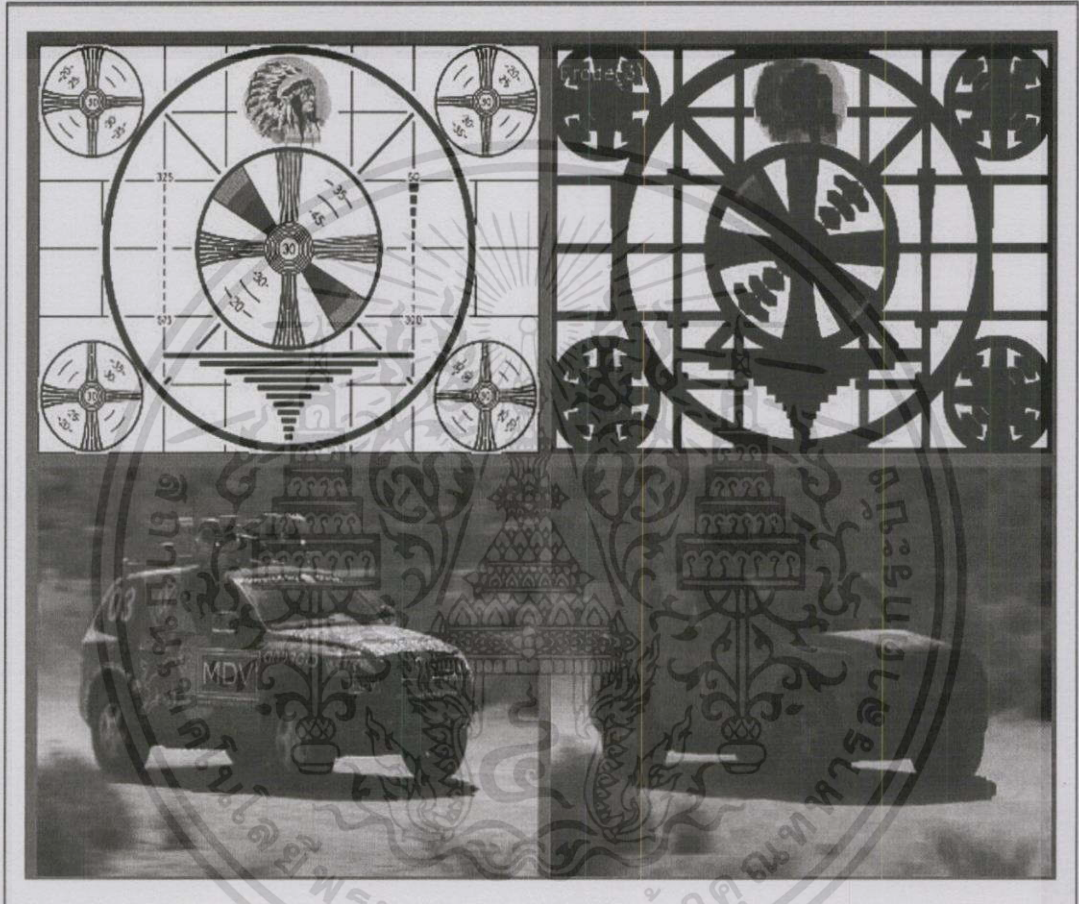
เป็นเทคนิควิธีการปรับให้เรียบที่ช่วยลดอิทธิพลของค่าผิดปกติลงได้ โดยการกำหนดค่าน้ำหนักแก่ค่าสังเกตที่อยู่ใกล้ค่าที่ต้องการพยากรณ์มีน้ำหนักมากกว่าค่าสังเกตที่อยู่ห่างไกลออกไปและถ้าค่าสังเกตนั้นอยู่ห่างไกลมาก ค่าน้ำหนักที่กำหนดจะมีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 3.8 แสดงการปรับแต่งภาพโดยใช้ cvSmooth

3.3.5 การกำจัดพิกเซลที่โดดเด่น cvErode

โดยตัว Erosion จะทำให้พิกเซลภาพรอบๆข้างนั้นถูกกำจัดไปด้วยทำให้บริเวณผิวรอบพิกเซลหายไป ตรงกับความหมายของ erosion ที่แปลว่ากัดกร่อน ผลที่ได้ วัตถุจะมีขนาดเล็กลง, และส่วนที่ยื่นออกมาของพิกเซลก็จะหายไปและมีผลทำให้จุดต่างบนพิกเซลที่อยู่โดดๆ (noise) หายไป

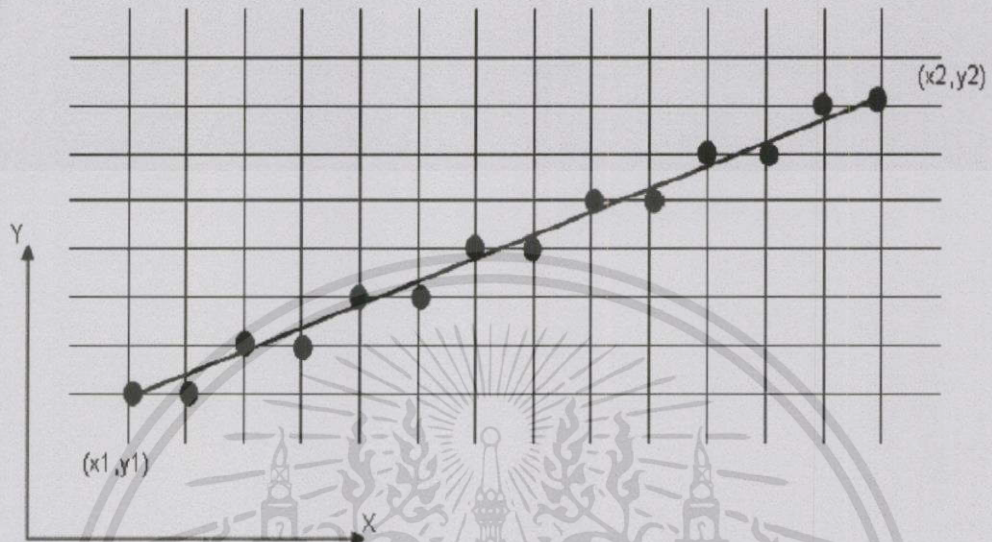


รูปที่ 3.9 แสดงการกำจัดพิกเซลภาพที่อยู่โดดโดยใช้ cvErode

3.3.6 อัลกอริทึมเส้นตรง Bresenham

ในการแสดงพิกัดของภาพดิจิทัลปกติจะบอกในลักษณะของจุดภาพ (Pixel) ซึ่งอาจเรียกอีกชื่อว่าอุปกรณ์ราสเตอร์ (Raster Devices) เช่นจอภาพหรือเครื่องปริ้น ในการวาดเส้นตรงลงบนอุปกรณ์ ประเภทนี้จะใช้การเชื่อมจุดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นตรง ดังนั้นถ้าอุปกรณ์มีความละเอียดสูง จะทำให้ได้รูปเส้นตรงที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าจอภาพที่มีความละเอียดต่ำ ในรูปที่ 3.12 แสดงกระบวนการวาดเส้นตรงบนอุปกรณ์ประเภทราสเตอร์โดยการตัดกันของเส้นแสดงถึง ตัวแทนของจุดภาพ และเส้นตรงแสดงถึงเส้นตรงที่ต้องการวาด

Converting Line into Pixel Coordinates



รูปที่ 3.10 แสดงการสร้างเส้นตรงบนจอภาพ

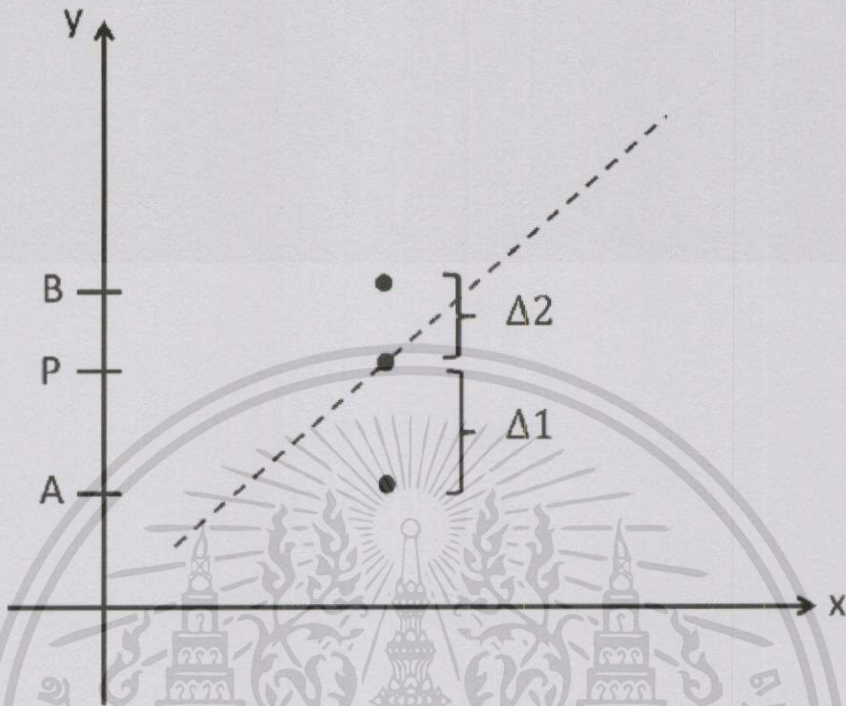
ในแต่ละตำแหน่งบนแกน X ของจอภาพ จะต้องคำนวณหาเลขจำนวนเต็มที่จะใช้แทนค่า y เนื่องจาก การอ้างอิงจุดภาพจะเป็นจำนวนเต็มเสมอ โดยต้องเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่า y ที่แท้จริงมากที่สุด โดย วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้สมการเส้นตรง

$$y = mx + c \quad (3.3)$$

ตัวแปร m คือค่าความชันของเส้นตรง ซึ่งจะสามารถหาค่าความชันได้จาก

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.4)$$

ผลการคำนวณจากสมการจะได้เป็นจุดทศนิยม จึงต้องทำการค่า y ขึ้นหรือลง เพื่อให้ได้จำนวนเต็มที่ ใกล้เคียงมากที่สุด ปัญหาจากการใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นคือ จะใช้เวลาในการคำนวณมาก เนื่องจากมี ทั้งการคูณและ การหาร ในปี 1965 J.E. Bresenham ได้นำเสนอวิธีการวาดเส้นตรงที่ใช้วิธีการอันชาญฉลาด โดยใน การคำนวณมีเพียงแค่การบวกและการคูณด้วยสองเท่านั้น และนิยมใช้กันอย่างมากในปัจจุบัน



รูปที่ 3.11 อัลกอริทึมในการวาดเส้นตรงของ Bresenham

ในภาพที่ 3.13 จะเป็นการแสดงวิธีการคำนวณของ Bresenham เพื่อสร้างเส้นตรง ถ้าจุด (P) คือจุดที่เส้นตรงพาดผ่านบริเวณจุดภาพ A และ B โดยแนวคิดของ Bresenham นั้นจะทำการหา ค่า Δ_2 และ Δ_1 แล้วทำการเปรียบเทียบค่ากัน โดยความแตกต่างของระยะทั้งสองจะหาได้จาก สมการที่ 3.5

$$\Delta_2 - \Delta_1 = 2m(x-1) - 2A + 2c - 1 \quad (3.5)$$

กำหนดให้ $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ และสามารถนิยามในการเลือกตำแหน่ง y ได้ดังนี้

$$P = \Delta x(d_1 - d_2) \quad (3.6)$$

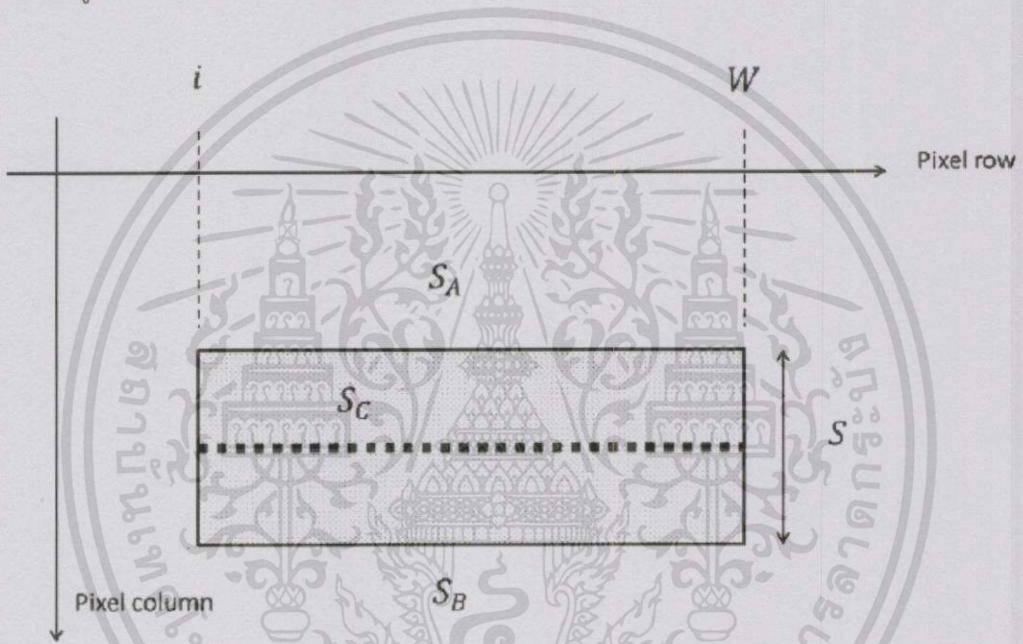
$$P = 2\Delta y \cdot x - 2\Delta x \cdot A + c \quad (3.7)$$

ถ้า P เป็นค่าลบแสดงว่า $\Delta_1 < \Delta_2$ หรือจุด A ใกล้เคียงกับเส้นตรงดังนั้นจะเลือก จุด A

ถ้า P เป็นค่าลบแสดงว่า $\Delta_2 < \Delta_1$ หรือจุด B ใกล้เคียงกับเส้นตรงดังนั้นจะเลือก จุด B

3.3.7 การคำนวณหาเส้นศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์และการเติมเส้นที่ขาดหายไป

ภาพตัดขวางของลำแสงเลเซอร์ที่ได้จากพื้นผิวของแก้วยารถยนต์ เมื่อผ่านกระบวนการเทรซโฮลด์แล้วจะพบว่าเส้นที่ได้มีขนาดกว้างและยังมีบางส่วนที่ขาดหายไป ซึ่งอาจจะเกิดมาจาก หลายปัจจัย เช่น มุมกล้องหรือแสงจากสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการนำไปประมวลผล ภาพเพื่อสร้างภาพพื้นผิว จำเป็นจะต้องปรับปรุงภาพโดยการสร้างภาพที่เป็นเส้นอ้างอิงที่มีขนาดความ กว้างของเส้นเพียงแค่ 1 พิกเซลซึ่งเป็นตัวแทนของเส้นลำแสงเลเซอร์ โดยใช้วิธีการหาจุดศูนย์กลาง ของเส้นดังที่ แสดงไว้ในรูปที่ 5.3



รูปที่ 3.12 การหาเส้นศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์

กระบวนการคำนวณเส้นศูนย์กลางสามารถอธิบายได้จาก รูปที่ 5.3 เมื่อ S คือขนาดของลำแสงเลเซอร์ มีความยาว i ถึง W ดังนั้นจะหาเส้น S_C ได้จากความสัมพันธ์ที่ 3.1

$$\sum_{n=i}^W S_{Cn} = \frac{S_{An} + S_{Bn}}{2} \quad (3.8)$$

โดยที่ S_C จุดศูนย์กลางของลำแสงเลเซอร์ S_A คือ ขอบบนของลำแสงเลเซอร์ S_B คือ มุมระหว่างแสงตกกระทบกับแสงที่สะท้อน

จากเส้นตัวแทนของลำแสงเลเซอร์ที่ได้จากการคำนวณนั้น จะพบว่า มีบางจุดที่ขาด หายไปอันเนื่องมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การสะท้อนของแสงมีการขาดช่วง หรือขาดหายไป ในขั้นตอนเทรซโพลต์ภาพ ดังนั้นในขั้นตอนถัดมาจึงต้องทำการเติมเส้นที่ขาดหายไปด้วยฟังก์ชัน cvLine() ซึ่งเป็นการวาดเส้นจากจุด 2 จุดด้วยอัลกอริทึมแบบ Bresenham ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ xx เมื่อได้เส้นตัวแทนแสงเลเซอร์ที่สมบูรณ์แล้ว จึงนำภาพที่ได้มาประมวลผลให้เป็นภาพพื้นผิวโดยทำการแปลงค่าความสูงของจุดเส้นในภาพไปเป็นระดับความเข้าของสีค่าเพื่อบ่งบอกถึงความลึกต้นของพื้นผิว



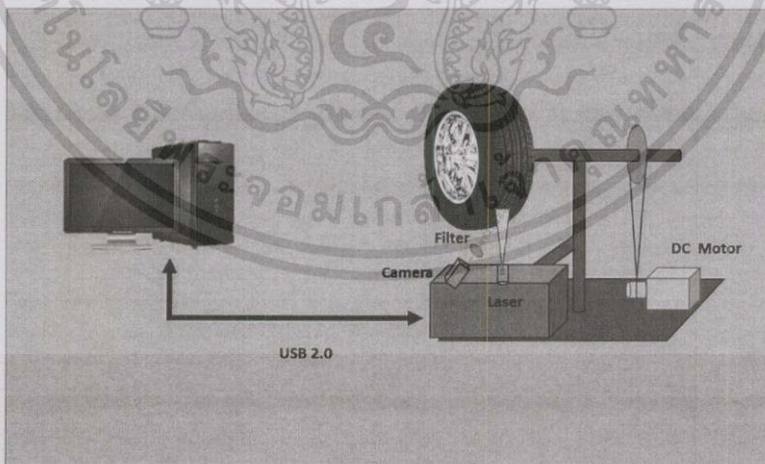
บทที่ 4

การออกแบบและการทดลอง

4.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ของระบบการวัดความลึกของร่องยาง วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการแสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการ

รายการ	จำนวน	หมายเหตุ
1. เครื่องหมุนล้อ	1 เครื่อง	จากของเดิม
2. ยางรถยนต์ ที่ไม่ผ่านการใช้งาน	1 เส้น	ขนาด 175/65R15
3. ยางรถยนต์ ที่ผ่านการใช้งาน	1 เส้น	ขนาด 175/65R15
4. มอเตอร์ ดีซี	1 ตัว	24 V
5. สวิตซ์ชิ่ง ดี	1 ตัว	ชนิด AC /DC 240/6 V
6. สเปเซอร์	1 ตัว	4 รู 100
7. กล้อง	1 กล้อง	ยี่ห้อ OKER รุ่น HD 720P
8. ฟิลเตอร์	1 ตัว	ช่วงความยาวคลื่น 650 nm
9. เลเซอร์	1 ตัว	สีแดง ยี่ห้อ LASIC model KML-3503
10. กล้องชุดกล้องและเลเซอร์	1 อัน	ออกแบบขึ้นมาใหม่
11. คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง	มีโปรแกรม OpenCV

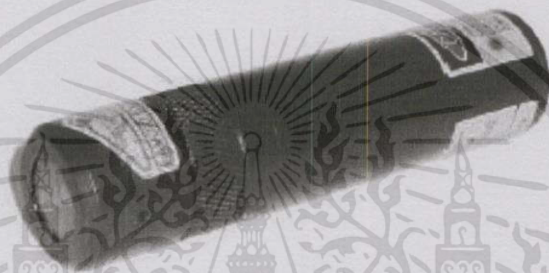


รูปที่ 4.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบวัดร่องยางรถยนต์

จากรูปที่ 4.1 เครื่องวัดความลึกของร่องยางจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์แบบเส้น ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับภาพโดยใช้กล้องซีซีดี ส่วนเครื่องควบคุมความเร็วการหมุนล้อ และส่วนคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผล

4.1.1 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์แบบเส้น

เลเซอร์ไดโอดแบบเส้นของบริษัท LASIC ELECTRO-OPTICS CO.,LTD. ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้ เส้นของลำแสงมีความหนาของเส้น 0.5 มิลลิเมตร มีความยาวคลื่น ระหว่าง 630 ถึง 650 มิลลิเมตร (สีแดง) และมีกำลังสูงสุดที่ 5 มิลลิวัตต์



รูปที่ 4.2 เลเซอร์ไดโอดแบบเส้น

4.1.2 อุปกรณ์ตรวจจับภาพ

- กล้อง

กล้องเป็นอุปกรณ์ตรวจจับลำแสงเลเซอร์ที่ถูกฉายลงบนพื้นผิวร่องยางรถยนต์ใช้ในการบันทึกภาพแสงเลเซอร์ที่อยู่บนล้อยางรถยนต์จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลที่เป็นรูปภาพนี้ไปเข้าสู่กระบวนการประมวลผลต่อไปดังนั้นกล้องถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบ เนื่องจากต้องคำนึงถึงความละเอียดของกล้อง (Resolution) และความเร็วในการจับภาพซึ่งความเร็วในการเก็บภาพของกล้องจะมีผลต่อความเร็วในการสแกนยางรถยนต์ ซึ่งปัจจุบันความเร็วในการเก็บภาพของกล้องมีตั้งแต่ 1-1000 เฟรมต่อวินาทีหรือมากกว่า แต่กล้องยิ่งมีความเร็วสูงมากก็จะมีราคาแพงขึ้นตามมามากด้วย ซึ่งกล้องที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้กล้องซีซีดีของ OKER HD 335 HD Web CamBasler ที่มีความละเอียด 1280 x 720 พิกเซล ที่เฟรมเรท 30 ภาพต่อวินาที จึงให้ภาพที่รีนไหลต่อเนื่อง ไม่สะดุด สามารถจับโฟกัสวัตถุได้ตั้งแต่ระยะ 3 เซนติเมตรเป็นต้นไป ในการติดตั้งกล้องจะต้องคำนึงถึงการบดบังด้วย ดังนั้นจึงควรติดตั้งโดยที่กล้องทำมุมกับระนาบของเลเซอร์ที่ระหว่าง 30 ถึง 60 องศา โดยกล้องได้ทำการติดตั้งตัวกรอง(ฟิวเตอร์)ที่มีคลื่นแสงย่านสีแดง (620-650 Narrow band pass filter) ไว้ด้วย



รูปที่ 4.3 กล้องเว็บแคม

- **ฟิลเตอร์**

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งร่วมกับกล้องเพื่อทำหน้าที่กรองแสงรบกวนที่ไม่ต้องการ ให้ภาพที่ได้รับเข้ามามีความคมชัดเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล โดยฟิลเตอร์มีช่วงความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร ซึ่งจะช่วยให้รับแสงเลเซอร์สีแดงได้คมชัดขึ้น



รูปที่ 4.4 ฟิลเตอร์กรองแสง

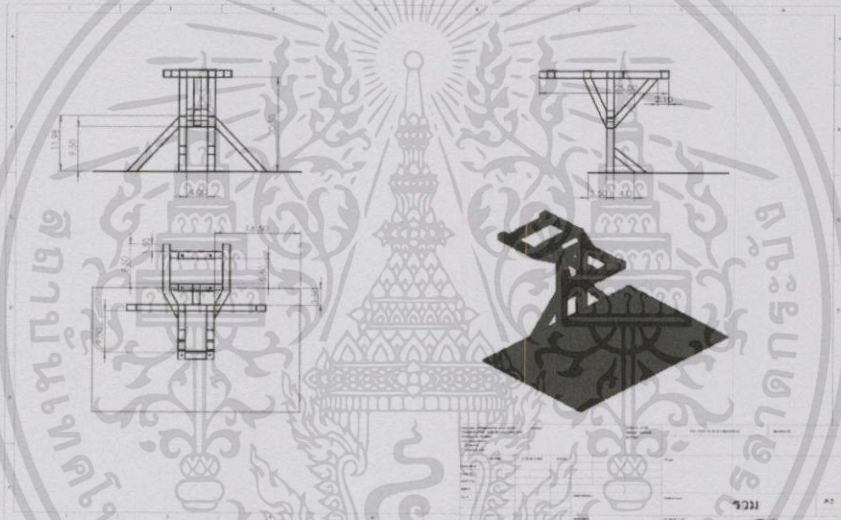
4.1.3 ส่วนโครงสร้าง

- **ตัวเครื่องหมุนล้อ**

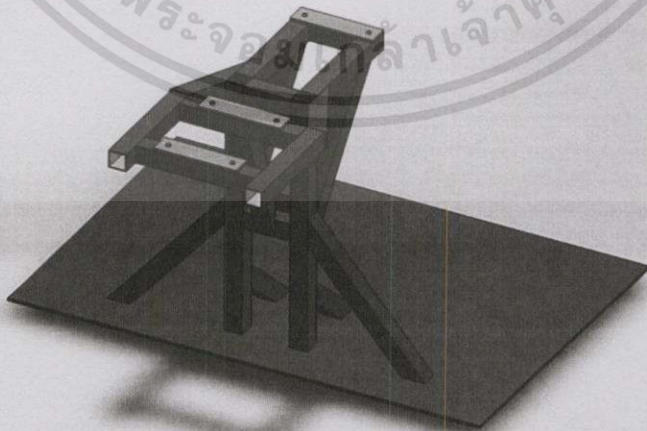
ได้ทำการออกแบบตัวเครื่องขึ้นมาใหม่โดยใช้โปรแกรมAuto cad เนื่องจากเครื่องเดิมที่ใช้ในการทดลองไม่มีความเสถียรในการหมุน ทำให้ผลการทดลองเกิดความคาดเคลื่อน และได้ปรับเปลี่ยน ให้เป็นการหมุนแบบแนวตั้งเพื่อให้งอรับกับความสั่นสะเทือนในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

สำหรับตัวหมุนล้ออย่าง จะประกอบไปด้วย

- 1.แกนเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร
- 2.เหล็กกล่องขนาด 1.5''x1.5''x2
- 3.เหล็กแผ่นขนาดฐานกว้าง 27''x40''
- 4.ตุ๊กตา ฐาน7'' เส้นผ่านศูนย์กลาง 31.5 มิลลิเมตร 3ตัว
- 5.น็อตเบอร์สิบ จำนวน 6ตัว
- 6.มูเลย์ 2 ตัวสำหรับมอเตอร์
- 7.มอเตอร์ ดีซี
- 8.สเปเซอร์
- 9.สวิทซ์ซิ่ง ดีซี

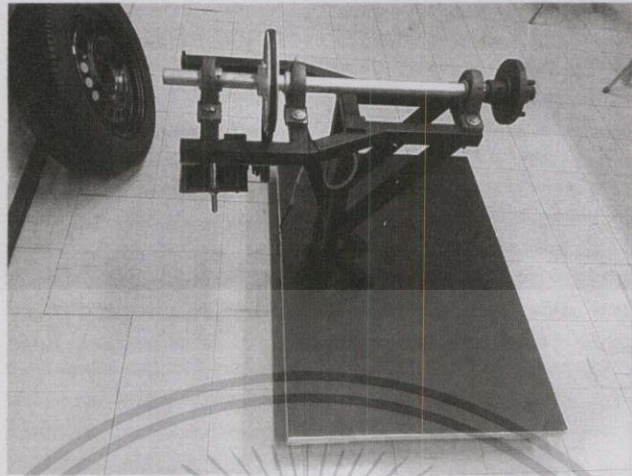


รูปที่ 4.5 ตัวเครื่องที่ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรมAuto cad



รูปที่ 4.6 ตัวเครื่องที่ทำการออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

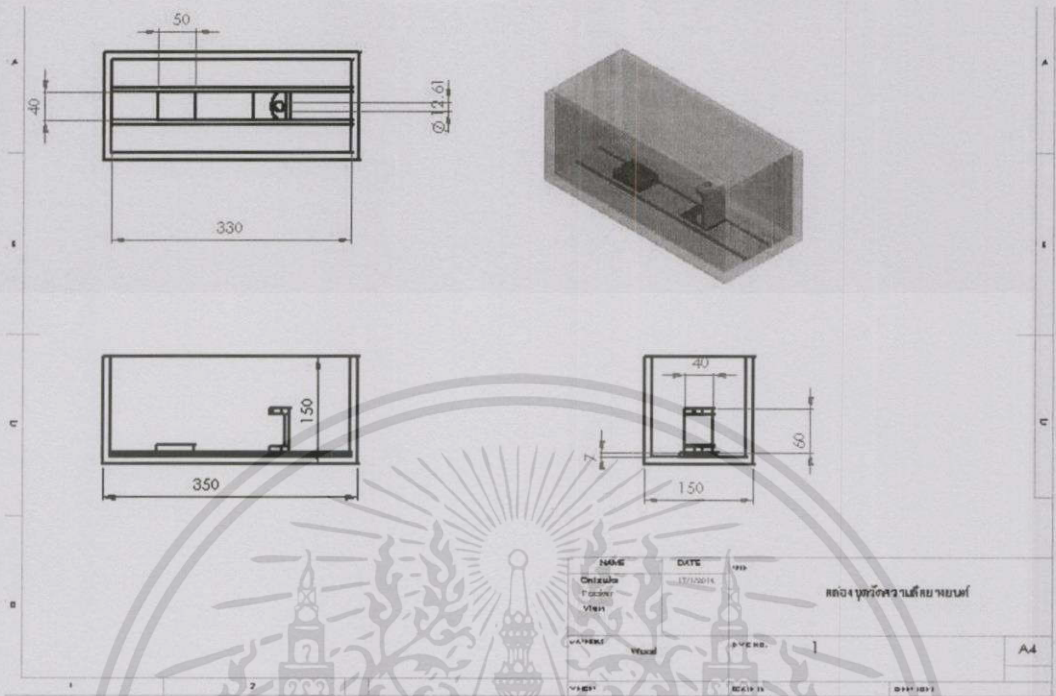


รูปที่ 4.7 ตัวเครื่องหมุนล้อ

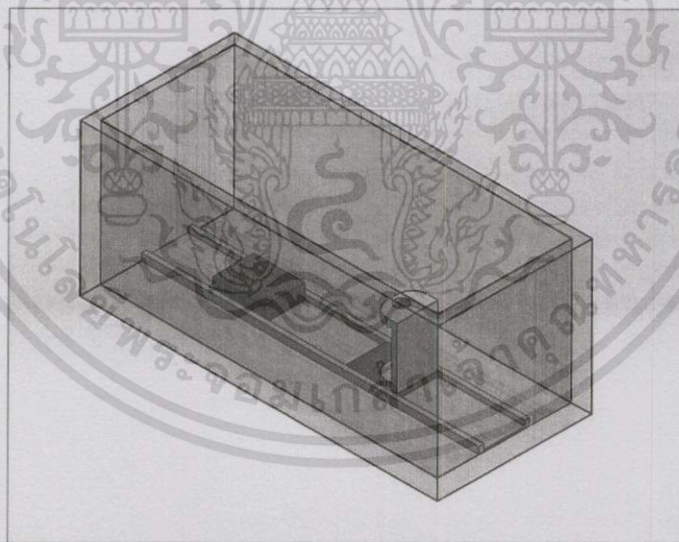
- **มอเตอร์ ดีซี**
เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และได้นำพลังงานกลนี้มาใช้ในการขับเคลื่อนแกนให้หมุน จึงส่งผลให้ล้อรถยนต์หมุนตามไปด้วย
- **สเปเซอร์**
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการยึดต่อล้อรถยนต์กับตัวเครื่องเข้าด้วยกัน ทำให้การหมุนของล้อรถยนต์นั้นมีความเสถียร และสามารถช่วยลดความผิดพลาดในการทดลองให้น้อยลงได้มาก
- **สวิตช์ซิง ดีซี**
เป็นอุปกรณ์ที่ทำการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง และสามารถปรับความต่างศักย์ให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่เราต้องการใช้งานได้
- **ชุดตั้งกล่องและเลเซอร์**
ได้ทำการออกแบบเครื่องติดตั้งกล่องวิดีโอและเลเซอร์ขึ้นโดยใช้โปรแกรมAuto cad เนื่องจากเครื่องเดิมที่ใช้ทดลองต้องมีการสอบเทียบระยะกล่องและเลเซอร์ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง ทำให้ใช้เวลานานในการปฏิบัติ จึงได้ทำการพัฒนาเป็นกล่องที่มีขนาดกะทัดรัดสามารถนำไปใช้นอกสถานที่ได้

สำหรับชุดตั้งกล่องและเลเซอร์ จะประกอบไปด้วย

1. กล่องไม้ัดขนาด $350 \times 150 \times 150 \text{ mm}$.
2. ฐานไม้ัด $50 \times 40 \times 7 \text{ mm}$.
3. ตะปู
4. แลคเกอร์

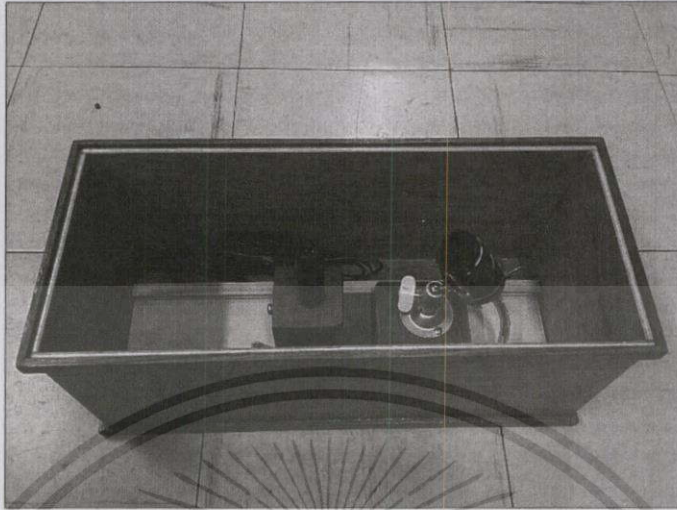


รูปที่ 4.8 ตัวกล่องที่ทำการออกแบบโดยโปรแกรม Auto cad



รูปที่ 4.9 กล่องตั้งกล่องและเลเซอร์ที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ในการออกแบบได้คำนึงถึงการใช้งานที่สะดวก สามารถปรับระยะห่างระหว่างกล่องกับเลเซอร์ และตัวกล่องกับยางรถยนต์ได้ ซึ่งในกรณีนี้ได้ทำการยึดให้มีระยะห่างที่ Calibration ไว้ เพื่อสะดวก รวดเร็วในการทำการวัดครั้งต่อไป

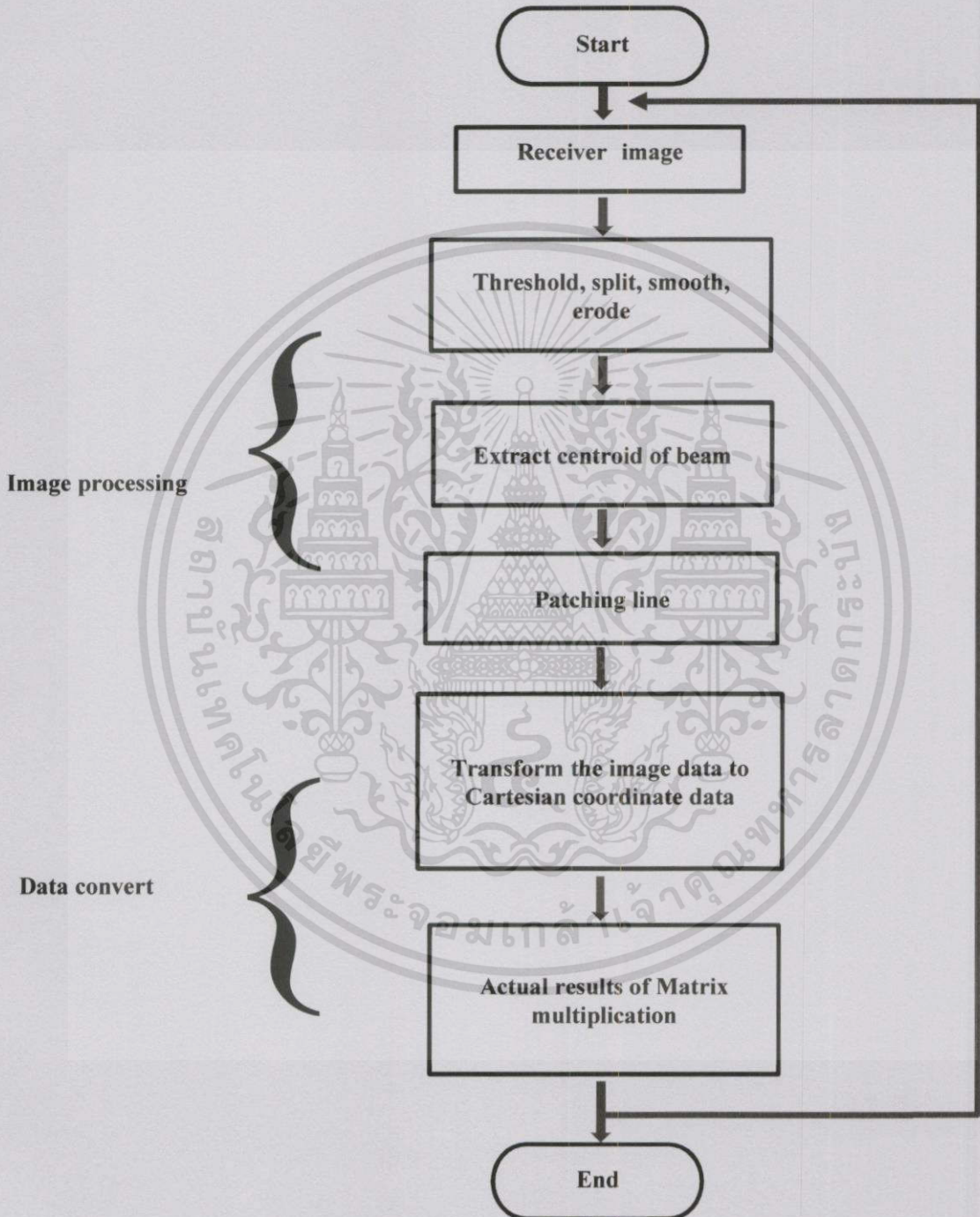


รูปที่ 4.10 กabinet ตั้งกล้องและเลเซอร์

4.1.4 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

การประมวลผลภาพที่ได้จากกล้องเพื่อจะนำไปหาความลึกของร่องขานั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการประมวลผล โดยใช้โปรแกรมที่ ออกแบบและพัฒนาไว้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Visual C++ 2008 ร่วมกับไลบรารีแบบโอเพ่นซอร์ส OpenCV ในการเขียนโปรแกรมเพื่อวัด เนื่องจากไลบรารี OpenCV ที่มีฟังก์ชันเกี่ยวกับการประมวลผลภาพที่มีฟังก์ชันให้ใช้อย่างมากมาย จึงช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม

4.2 คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผล



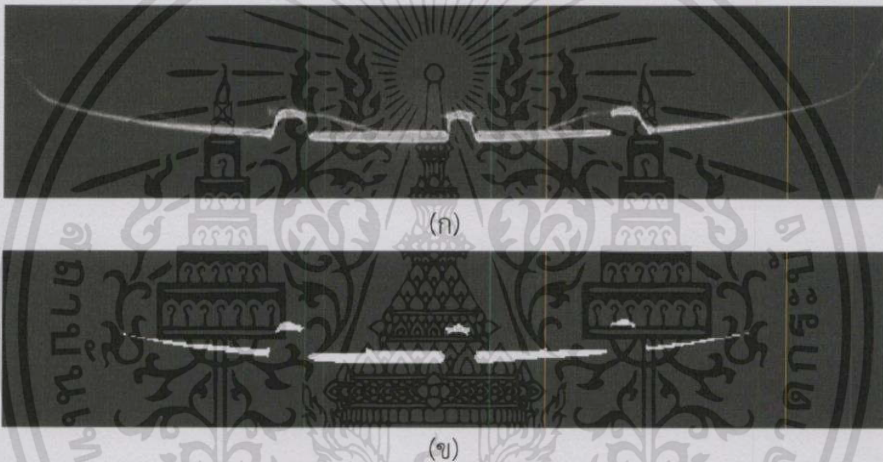
รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการประมวลผลและการทำงานของระบบตรวจวัดความลึกของร่องยางรถยนต์

ขั้นตอนการประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนได้ดังนี้คือ 1 ขั้นตอนการประมวลภาพ 2. ขั้นตอนการแปลงข้อมูลภาพ โดยขั้นตอนและลำดับการทำงานของโปรแกรมตรวจวัดความลึกของร่องยางแสดงในรูปที่ 4.8

4.2.1 ขั้นตอนการประมวลภาพ

4.2.1.1 การปรับปรุงภาพด้วยวิธีเทรชโฮลด์ ((Thresholding)

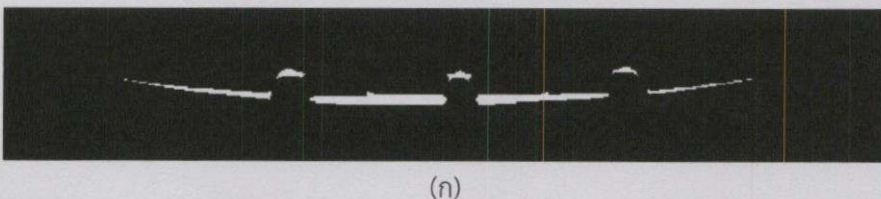
การปรับปรุงภาพของภาพตัดขวางที่ได้ โดยการใช้ฟังก์ชัน cvThreshold ซึ่งให้ค่าระหว่าง 100 ถึง 255 หมายความว่าความเข้มแสงที่มีค่าน้อยกว่า 100 จะให้ค่าเท่ากับ 0 ผลการทดสอบแสดงได้ในรูปที่



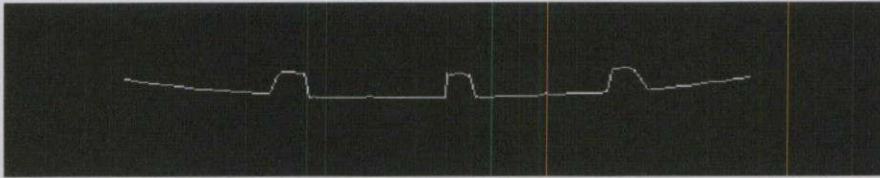
รูปที่ 4.12 (ก)ภาพตัดขวางของร่องยางรถยนต์ที่ได้จากกล้อง (ข)ภาพที่ผ่านการเทรชโฮลด์แบบฐานตัด

4.2.1.2 การหาจุดศูนย์กลางของเส้นและการเติมเส้นที่ขาด (Extract centroid, Patching line)

ภาพตัดขวางของลำแสงเลเซอร์ที่ได้จากพื้นผิวของล้อรถยนต์ เมื่อผ่านกระบวนการเทรชโฮลด์แล้วจะพบว่าเส้นที่ได้มีความกว้างและยังมีบางส่วนของเส้นที่ขาดหายไปจำเป็นต้องปรับปรุงภาพที่ได้จากเทรชโฮลด์ โดยการสร้างภาพที่เป็นเส้นอ้างอิงที่มีขนาดความกว้างของเส้นเพียงแค่ 1 พิกเซล และทำการเติมเส้นที่ขาดหายไป โดยใช้ฟังก์ชันของไลบรารี OpenCV ซึ่งเป็นกระบวนการวาดเส้นโดยใช้อัลกอริทึมแบบ Bresenham ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 (ก) ภาพตัดขวางที่ทำการเทรชโฮลด์ (ข) ภาพผลลัพธ์จากการหาจุดศูนย์กลางของลำแสงและเติมจุดที่ขาดหาย

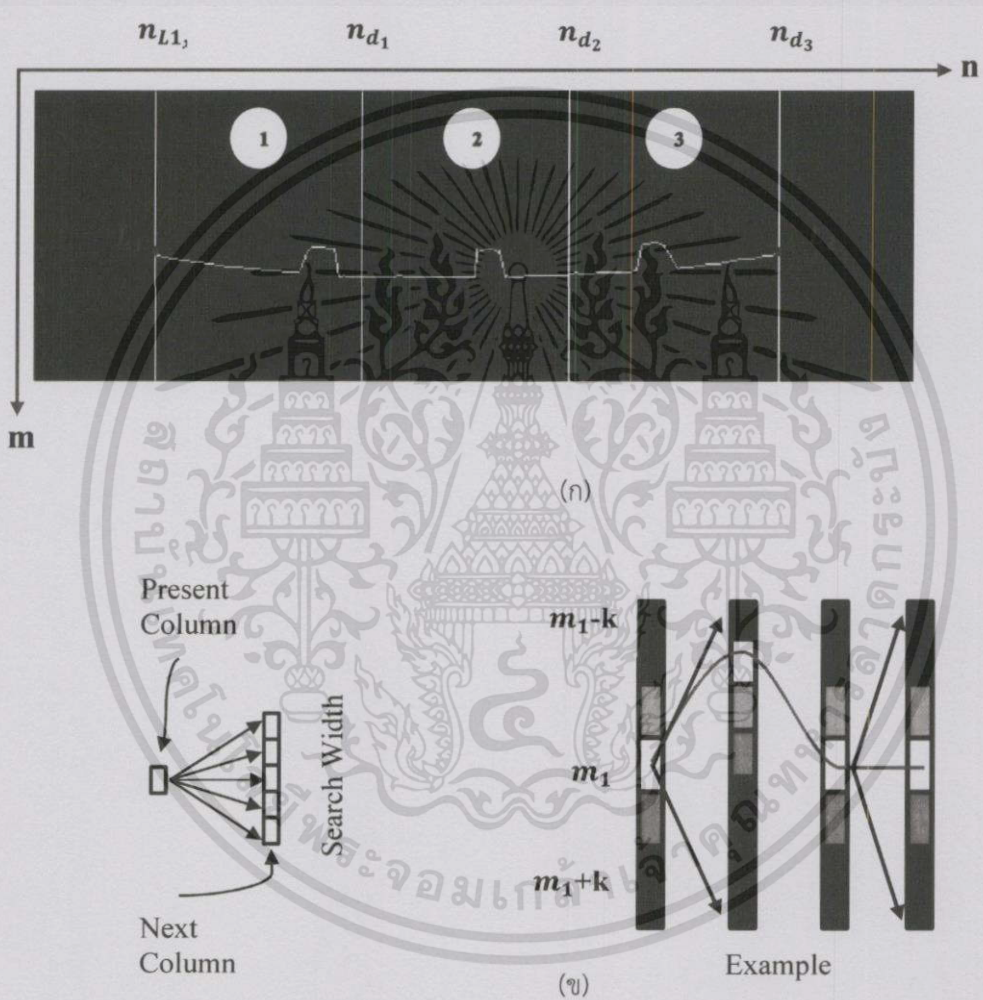
4.2.2 ขั้นตอนการแปลงข้อมูลภาพ

4.2.2.1 การแปลงข้อมูลภาพให้ออกมาอยู่ในข้อมูลของพิกัดคาร์ทีเซียน(Transform the image data to Cartesian coordinate data)

การทำพิกัดของเส้นแสงเลเซอร์จะเป็นการตรวจหาระดับความสว่างที่เกิดขึ้นในภาพ หลังการทำการลดสัญญาณรบกวนแล้ว โดยหลักการของการหาบริเวณที่เป็นส่วนของแสงเลเซอร์จะใช้เปรียบเทียบจุดพิกเซลของภาพกับค่าเทรชโฮลด์(Threshold)เพื่อเป็นการแยกบริเวณแสงเลเซอร์(Laser Feature)ออกจากพื้นหลัง(Background)ของภาพ ซึ่งค่าเทรชโฮลด์จะเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อแบ่งระดับความสว่างของแสงเลเซอร์กับระดับความสว่างที่เป็นพื้นหลัง ถ้าจุดพิกเซลใดๆในรูปที่มีความสว่างมากกว่าค่าเทรชโฮลด์แล้วจะกำหนดให้จุดนั้นเป็นจุดของเส้นแสงเลเซอร์ โดยมีหลักการดังนี้คือถ้า $I(x,y) > \text{Threshold}$ แสดงว่าจุดพิกเซลนั้นเป็นจุดของแสงเลเซอร์และถ้า $I(x,y) \leq \text{Threshold}$ แสดงว่าจุดพิกเซลนั้นเป็นจุดบริเวณพื้นหลังของภาพ

ในการค้นหาบริเวณของเส้นแสงเลเซอร์ภายในภาพ ซึ่งหลักการก็คือหาค่าระดับความสว่างเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ในแต่ละหลัก(Column) ของภาพ โดยเริ่มที่จุดพิกเซลในหลักแรก (n_1) เมื่อ n แทนหลักของเมทริกซ์ ในทุกแถวตั้งแต่แถวแรกถึงแถวสุดท้าย $m_1: m_{1end}$ เมื่อ m แทนแถวของเมทริกซ์ เพื่อจะทำการหาจุดพิกเซลในแต่ละแถวของจุดพิกเซลที่มีระดับความสว่างที่มีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ ซึ่งจะกำหนดให้จุดพิกเซลนี้เป็นจุดพิกัดของเส้นเลเซอร์จุดที่ $L_1(x,y)$ ซึ่งเป็นเส้นขอบเลเซอร์ด้านซ้ายสุด ส่วนการหาเส้นขอบเลเซอร์ขวาสุด $L_2(x,y)$ จะเริ่มที่พิกเซลในหลักสุดท้าย (n_{end}) ในทุกแถวตั้งแต่แถวสุดท้ายถึงแถวแรก $m_{1end}: m_1$ เพื่อจะทำการจุดพิกเซลที่มีระดับความสว่างที่มีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ เมื่อได้ค่า $L_1(x,y)$ และ $L_2(x,y)$ แล้วก็จะรู้ความยาวของเส้นเลเซอร์ จากนั้นเราทำการแบ่งช่วงการวัดออกเป็น 3 ส่วน คือ d_1, d_2, d_3 เพื่อต้องการหาความลึกของร่องยางทั้งสามร่อง

ในส่วนที่1 จะทำการหาจุดพิกัดสูงต่ำของแต่ละส่วน โดยเริ่มหาจุดพิกเซลตั้งแต่ m_{1-K} : m_{1+K} เมื่อ K คือจำนวนแถวของพิกเซลในรูปที่ต้องการหาเส้นแสงเลเซอร์ (Search Width) โดยไม่จำเป็นต้องหาทุกๆแถวของภาพจึงเพิ่มความแม่นยำในการหาจุดพิกเซลที่เป็นเลเซอร์ภายในภาพ ส่วนหลักจะเริ่มตั้งแต่ขอบเลเซอร์ด้านซ้ายจนถึงสุดส่วนที่ 1 $n_{L1_x}:n_{d_1}$ และส่วนที่2และส่วนที่3 จะทำการหาพิกัดสูงต่ำเช่นเดียวกันกับส่วนที่1



รูปที่ 4.14 (ก) แสดงหาจุดพิกัดสูงต่ำของแต่ละส่วน (ข)วิธีการหาขอบเขตด้านบนและล่างของการสแกนแต่ละส่วน

เมื่อได้ข้อมูลพิกัดสูงต่ำของร่องแต่ละร่องในภาพของเส้นแสงเลเซอร์แล้ว ในการหาขนาดความลึกของร่องยางจะต้องทำการแปลงจุดพิกัดบนภาพนี้ให้เป็นให้เป็นพิกัดจริงก่อนจะนำจุดพิกัดที่ได้ไปคำนวณหาขนาดความลึกของร่องยาง ในหัวข้อต่อไป

4.2.2.2 การแปลงจุดพิกัดภาพของเส้นแสงเลเซอร์เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ (Actual result of Matrix multiplication)

จากการวิเคราะห์ถึงตัวอย่างรถยนต์ที่นำมาใช้ในการวัดขนาดความลึกของร่องยางจะมีจุดพิกัดอยู่ 2 จุดต่อร่องยาง ซึ่งยางรถยนต์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของยางรถยนต์ที่จะนำมาวิเคราะห์ การทดลองนี้ได้ใช้ยางรถยนต์ที่มี 3 ร่อง ที่จะเป็นจุดที่บอกถึงคุณภาพของยางรถยนต์ โดยเมื่อได้จุดทั้ง 2 จุดในแต่ละร่องของยางรถยนต์แล้ว จะต้องทำการแปลงให้จุดเหล่านี้ที่ได้เป็นจุดพิกัดจริงของวัตถุ (Real Coordinate of Object) ด้วยการแปลงแบบโฮโมกราฟฟี โดยการคูณจุดพิกัดที่ได้บนภาพกับโฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์มเมทริกซ์ที่ได้จากการสอบเทียบ เป็นสมการดังนี้

$$p' = Hp$$

เมื่อ H คือ โฮโมกราฟฟีทรานส์ฟอร์มเมทริกซ์

P คือ จุดพิกัดของรูปที่ทำการแปลง

P' คือ จุดพิกัดที่ได้จากการแปลงซึ่งเป็นพิกัดจริงของวัตถุ

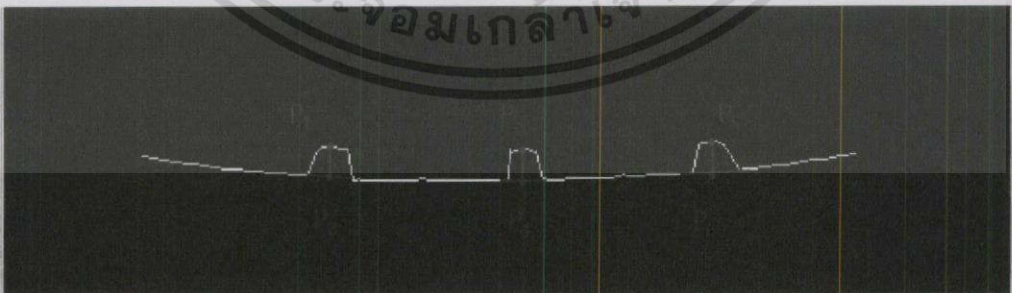
ซึ่งจุดที่ต้องการแปลงจะมี 6 จุดคือระยะความลึกของร่องยางรถยนต์ร่องยางที่ 1 (P_1, P_2) ร่องยางที่ 2 (P_3, P_4) และร่องยางที่ 3 (P_5, P_6) ดังรูปที่ 4.12 สามารถเขียนสมการดังต่อไปนี้

$$p'_i = Hp_i$$

และ

$$\begin{bmatrix} wx'_i \\ wy'_i \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ i = พิกัดจุดสูงต่ำในแต่ละร่องของเส้นเลเซอร์



รูปที่ 4.15 แสดงจุดสูงต่ำของร่องยางที่ 1 (P_1, P_2) ร่องยางที่ 2 (P_3, P_4) ร่องยางที่ 3 (P_5, P_6)

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะถูกเก็บในรูปแบบของไฟล์เท็กซ์ (Text file) และนำผลการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริง โดยจะทำการเก็บผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อที่แตกต่างกันโดยทำการทดลองทั้งกับยางที่ผ่านการใช้งานแล้วและยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อนำมาหาคาบเวลาที่เหมาะสมและให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ดีที่สุด

5.1 วิธีการทดลอง

- 1.) ใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์วัดค่าจริงของร่องยางแต่ละร่องและนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุร่อง จากนั้นแปลงเป็น % ความสูงของยางที่ยังเหลืออยู่โดยสำหรับยางที่ใช้ในการทดลองนี้ที่ 100% จะมีความลึกอยู่ที่ 6.9 มิลลิเมตร
- 2.) จัดตำแหน่งอุปกรณ์การวัด โดยวัดมุมกล้อง ระยะห่างระหว่างกล้องกับเลเซอร์ และความสูงจากกล้องด้านบนที่เป็นตัวใส่อุปกรณ์กับด้านล่างของยางรถยนต์ที่ต่ำที่สุดที่ตรงกับจุดศูนย์กลางล้อให้มีระยะห่างตามค่าที่ตั้งไว้ โดยวางตำแหน่งเลเซอร์ให้ตรงกับจุดศูนย์กลางของล้อก่อนทำการวัด
- 3.) ตั้งความเร็วคาบการหมุนของล้ออย่างเป็น 4 ค่า คือ $T=2.8s$, $T=2.5s$, $T=2.0s$, $T=1.6s$ แล้วทำการวัดค่าในคาบเวลา T ที่กำหนดไว้
- 4.) ทำการทดลอง 5 ครั้งต่อ 1 คาบเวลาโดยในแต่ละครั้งจะเก็บค่าผลการวัดลงไฟล์ text
- 5.) ทำการวัดโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น โดยจะหาค่าความลึกเฉลี่ยของร่องยางทุร่องมาหาร 3 แล้วแปลงค่าการวัดที่ได้ออกมาเป็น % ความลึกร่องยางที่เหลืออยู่
- 6.) นำค่าที่วัดได้ในการทดลองแต่ละครั้งของแต่ละคาบเวลามาหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด
- 7.) นำค่าเฉลี่ยที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แล้วนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบ จากนั้นหาค่าความผิดพลาดจากค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 8.) ทำการทดลองนี้อีกครั้งกับยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งานที่ 93% และ 100%

5.2 ผลการทดลองกับยางที่ผ่านการใช้งานแล้วเส้นที่ 1

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองกับยางที่มีความสึกหรอประมาณ 65% โดยค่านี้ ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมาเพื่อใช้ทดแทนค่าจริงของความสึกหรอของยางเพื่อมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยโปรแกรม

5.2.1 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง T = 1.5 วินาที

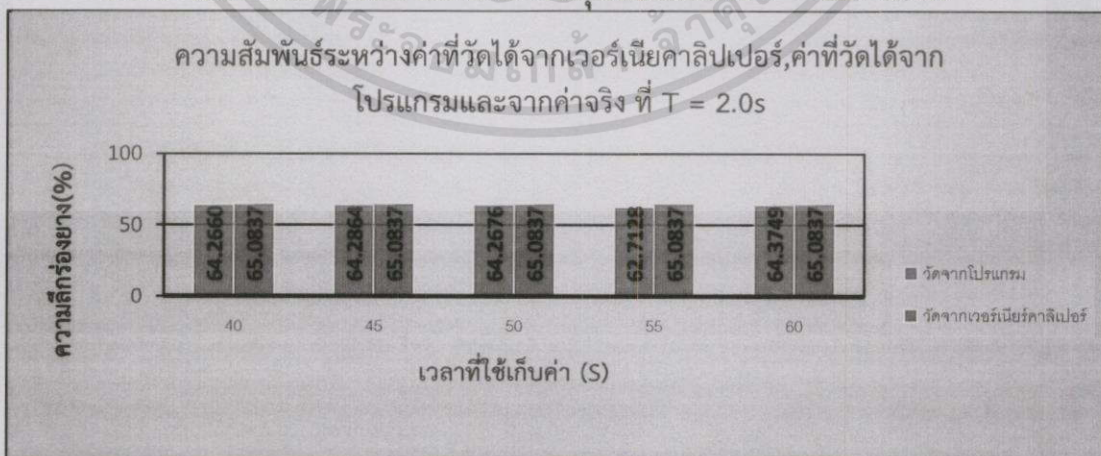


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียคาลิเปอร์ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียคาลิเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	64.5904	65.0837	0.0340	0.4933
45	64.6823	65.0837	0.0277	0.4014
50	64.6749	65.0837	0.0282	0.4088
55	64.6511	65.0837	0.0298	0.4326
60	64.6772	65.0837	0.0280	0.4065

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที

5.2.2 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง T = 2.0 วินาที



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียคาลิเปอร์ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	64.2660	65.0837	0.0564	0.8177
45	64.2864	65.0837	0.0550	0.7973
50	64.2676	65.0837	0.0563	0.8161
55	62.7128	65.0837	0.1636	2.3709
60	64.3749	65.0837	0.0489	0.7088

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที

5.2.3 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.5 วินาที



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	64.0924	65.0837	0.0684	0.9913
45	64.1249	65.0837	0.0662	0.9588
50	64.0388	65.0837	0.0721	1.0449
55	64.0236	65.0837	0.0732	1.0601
60	64.1591	65.0837	0.0638	0.9246

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที

5.2.4 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง T = 2.8 วินาที



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที

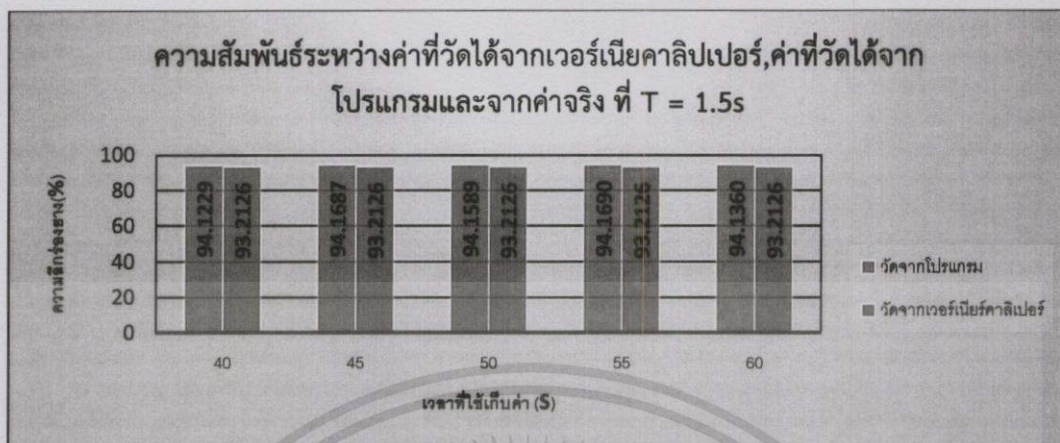
เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	64.3404	65.0837	0.0513	0.7433
45	64.2404	65.0837	0.0582	0.8433
50	64.1271	65.0837	0.0660	0.9566
55	64.0290	65.0837	0.0728	1.0547
60	64.0215	65.0837	0.0733	1.0622

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 1 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที

5.3 ผลการทดลองกับยางที่ผ่านการใช้งานแล้วเส้นที่ 2

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองกับยางที่มีความสึกหรอประมาณ 93% โดยค่านี้ ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมาเพื่อใช้ทดแทนค่าจริงของความสึกหรอของยางเพื่อมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยโปรแกรม

5.3.1 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง $T = 1.5$ วินาที



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด (s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	94.1229	93.2126	0.0628	0.9103
45	94.1687	93.2126	0.0660	0.9561
50	94.1589	93.2126	0.0653	0.9463
55	94.1690	93.2126	0.0660	0.9564
60	94.1360	93.2126	0.0637	0.9234

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 1.5 วินาที

5.3.2 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง $T = 2.0$ วินาที



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error(%)
40	94.0402	93.2126	0.0571	0.8276
45	94.0908	93.2126	0.0606	0.8782
50	94.0243	93.2126	0.0560	0.8117
55	94.0869	93.2126	0.0603	0.8743
60	94.0799	93.2126	0.0598	0.8673

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.0 วินาที

5.3.3 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.5 วินาที

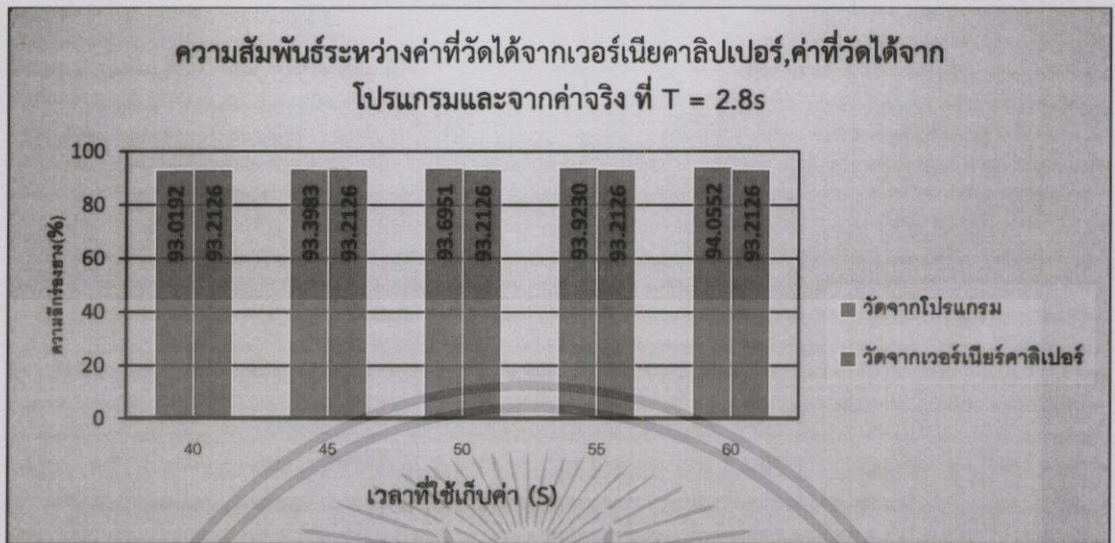


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error(%)
40	94.0920	93.2126	0.0607	0.8794
45	94.0864	93.2126	0.0603	0.8738
50	93.9009	93.2126	0.0475	0.6883
55	93.9566	93.2126	0.0513	0.7440
60	93.8986	93.2126	0.0473	0.6860

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.5 วินาที

5.3.4 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง T = 2.8 วินาที



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที

เวลาที่ใช้ในกรวัด (s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	93.0192	93.2126	0.0133	0.1934
45	93.3983	93.2126	0.0128	0.1857
50	93.6951	93.2126	0.0333	0.4825
55	93.9230	93.2126	0.0490	0.7104
60	94.0552	93.2126	0.0581	0.8426

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการทดลองของยางเส้นที่ 2 ที่คาบเวลา 2.8 วินาที

5.4 ผลการทดลองกับยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองกับยางที่ไม่ผ่านการใช้งาน โดยปกติยางที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีวลที่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ยาง 100%) อยู่ที่ 6.9 มิลลิเมตร โดยค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์นั้นเมื่อหาค่าเฉลี่ยออกมา ก็จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 100% เช่นกัน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้โดยโปรแกรม

5.4.1 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง $T = 1.5$ วินาที

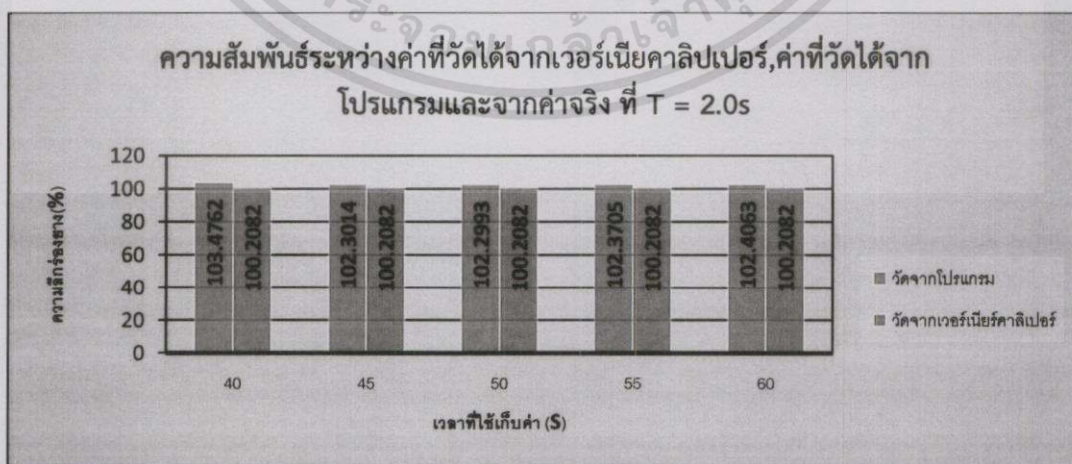


รูปที่ 5.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 1.5 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด (s)	วัดจากโปรแกรม (%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error (%)
40	102.4152	100.2082	0.1523	2.2069
45	102.3306	100.2082	0.1464	2.1224
50	102.3716	100.2082	0.1493	2.1634
55	102.3423	100.2082	0.1473	2.1341
60	102.2951	100.2082	0.1440	2.0869

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 1.5 วินาที

5.4.2 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง $T = 2.0$ วินาที



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.0 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม(%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์(%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error(%)
40	103.4762	100.2082	0.2255	3.2680
45	102.3014	100.2082	0.1444	2.0931
50	102.2993	100.2082	0.1443	2.0911
55	102.3705	100.2082	0.1492	2.1622
60	102.4063	100.2082	0.1517	2.1981

ตารางที่ 5.10 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.0 วินาที

5.4.3 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยาง T = 2.5 วินาที

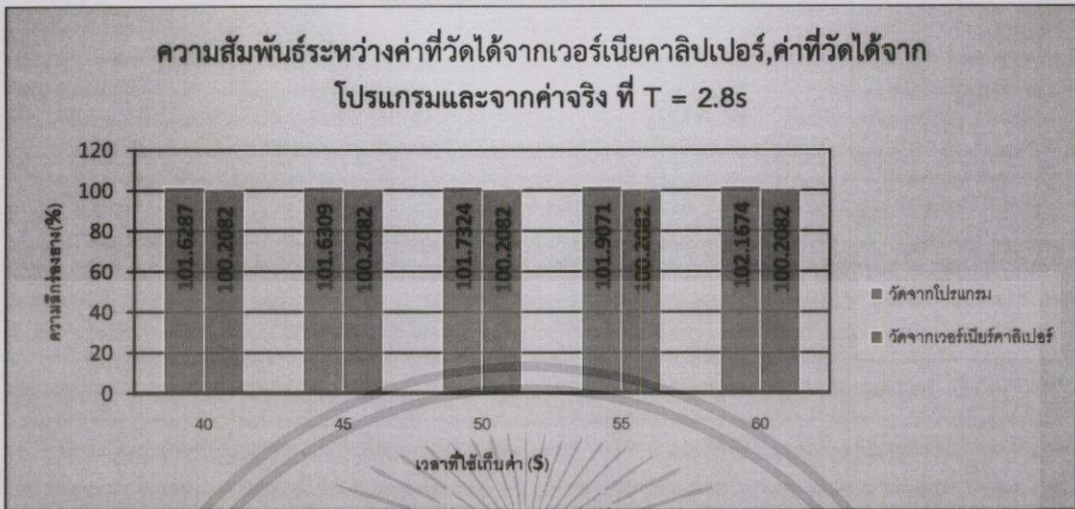


รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่ได้จากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.5 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม(%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์(%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error(%)
40	101.8190	100.2082	0.1111	1.6107
45	102.0240	100.2082	0.1253	1.8158
50	102.0095	100.2082	0.1243	1.8012
55	101.6570	100.2082	0.1000	1.4488
60	102.1537	100.2082	0.1342	1.9455

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.5 วินาที

5.4.4 ผลการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้ออย่าง T = 2.8 วินาที



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากโปรแกรมและค่าที่วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.8 วินาที

เวลาที่ใช้ในการวัด(s)	วัดจากโปรแกรม(%)	วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์(%)	Absolute Error (mm.)	Relative Error(%)
40	101.6287	100.2082	0.0980	1.4205
45	101.6309	100.2082	0.0982	1.4226
50	101.7324	100.2082	0.1052	1.5241
55	101.9071	100.2082	0.1172	1.6989
60	102.1674	100.2082	0.1352	1.9592

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการทดลองของยางที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ที่คาบเวลา 2.8 วินาที

$$\begin{aligned} \text{*วัดจากโปรแกรม(\%)} &= \frac{\text{ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากโปรแกรม} \times 100}{6.9} \\ \text{วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์(\%)} &= \frac{\text{ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์} \times 100}{6.9} \\ \text{Relative Error(\%)} &= \frac{\text{วัดจากโปรแกรม(\%)} - \text{วัดจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์(\%)}}{\text{Relative Error(\%)} \times 6.9} \\ \text{Absolute Error (mm.)} &= \frac{100}{100} \end{aligned}$$

5.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทำการออกแบบการทดลองทางผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองโดยทำการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อต่างกัน 4 คาบเวลา เพื่อเปรียบเทียบว่าที่การหมุนของล้อเร็วหรือช้าจะให้ผลการทดลองที่เที่ยงตรงมากกว่ากัน โดยจากผลการทดลองก็บ่งชี้ที่มีความลึกของร่องยางต่างๆกันพบว่า ที่ความเร็วการหมุนของล้อต่ำสุด คือที่ 2.8 วินาทีต่อรอบ จะมีค่าใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุดและความผิดพลาดน้อยที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ปริญญานิพนธ์ได้นำเสนอการออกแบบ และได้ทำการสร้างเครื่องตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์การสึกหรอของยางรถยนต์โดยขั้นต้นนั้นเรามีเครื่องสำหรับหมุนล้อยางอยู่แล้ว แต่สิ่งที่ออกแบบใหม่ก็คือตัวต้นแบบที่รวมเอากล้องและเลเซอร์เข้าไว้ด้วยกันในชุดเดียว และทำการกำหนดมุมกล้องและระยะห่างจากเลเซอร์ให้คงที่ซึ่งตัวอุปกรณ์นั้นมีขนาดเล็กกะทัดรัด สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และไม่ต้องทำการสอบเทียบบ่อยๆเพราะว่าตราบโคก็ตามที่เรายังไม่เปลี่ยนมุมกล้องและระยะห่างระหว่างกล้องกับเลเซอร์ก็ไม่ต้องสอบเทียบใหม่ จากนั้นก็พัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจวัดค่าความสึกของร่องยางด้วย opencv เพื่อรับภาพเข้ามาประมวลผลและได้ค่าออกมาเป็น % ร่องยางที่ยังเหลืออยู่

6.1 สรุปผลการทดลอง

ในการทำการออกแบบการทดลองทางผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองโดยทำการทดลองที่คาบเวลาการหมุนของล้อยางที่แตกต่างกัน 4 คาบเวลา เพื่อเปรียบเทียบว่าที่การหมุนของล้อเร็วหรือช้าจะให้ผลการทดลองที่เที่ยงตรงมากกว่ากัน โดยจะใช้คาบเวลาการหมุนของล้อเร็วสุดที่เครื่องสามารถจะหมุนได้คือ 1.5 วินาทีต่อรอบ, 2.0 วินาทีต่อรอบ, 2.5 วินาทีต่อรอบ และความเร็วช้าสุดที่เครื่องจะหมุนได้ก็คือ 2.8 วินาทีต่อรอบ โดยจากผลการทดลองกับยางที่มีความสึกของร่องยางต่างๆกันพบว่า ที่ความเร็วการหมุนของล้อต่ำสุด คือที่ 2.8 วินาทีต่อรอบ จะมีค่าใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุดและความผิดพลาดน้อยที่สุด เนื่องจากการซ้ำค่าเดิมของผลการทดลองอันเนื่องมาจากจำนวนเฟรมภาพที่รับเข้ามามีการซ้ำค่าเดิมน้อยกว่าการวัดที่ใช้คาบการหมุนที่เร็วกว่า

6.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

สำหรับปัญหาที่พบในการทดลองคือเมื่อทำการทดลอง ถึงแม้ว่าเราจะไม่ต้องทำการสอบเทียบใหม่ทุกครั้ง แต่เราก็จำเป็นจะต้องตั้งตัวตรวจวัดให้แสงเลเซอร์อยู่ในตำแหน่งต่ำสุดของล้อยางเสมอ และระยะระหว่างขอบกล้องตัววัดด้านบนกับด้านล่างที่เป็นจุดต่ำสุดของล้อยางจะต้องห่างกันเป็นระยะตามที่กำหนดทุกครั้ง ค่าที่วัดได้จึงจะมีค่าใกล้เคียงค่าจริง

ส่วนปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือ กล้องที่เราใช้คือกล้อง OKER รุ่น HD 720p นั้น เมื่อนำมาใช้กับโปรแกรม opencv จะให้ความละเอียดออกมาที่ 640*480 พิกเซลเท่านั้นทำให้ค่าการวัดไม่ละเอียดเท่าที่ควรและมีการซ้ำค่าเดิมของค่าที่ได้ค่อนข้างมาก ถ้าหากมีกล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดมากกว่านี้ค่าที่ได้ก็จะมีค่าละเอียดมากขึ้นและมีการซ้ำค่าเดิมน้อยลง

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สำหรับข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาคือ จากการทดลองนั้นถ้าเรามีกล้องที่มีความละเอียดสูงขึ้นค่าที่ได้ก็จะมีค่าละเอียดมากขึ้น จะทำให้ผลการทดลองละเอียดและแม่นยำมากขึ้น ส่วนมอเตอร์ที่ใช้หมุนล้อควรจะปรับความเร็วรอบให้ช้าลงได้มากกว่านี้เพื่อทำให้ผลการซ้ำค่าเดิมของค่าที่วัด และจากโปรแกรมที่ได้ทำการเขียนขึ้นมานี้ สามารถที่จะใช้วัดความสึกของร่องยางได้กับยางแบบสามร่องเท่านั้นเพราะว่ายางที่เราใช้ทดสอบเป็นแบบสามร่อง ในอนาคตอาจจะมีการพัฒนาต่อ

ยอดโปรแกรมขึ้นไปอีกเพื่อให้สามารถตรวจวัดร่องยางรถยนต์ที่มีรูปแบบร่องยางได้หลากหลายมากขึ้น รวมทั้งพัฒนาโปรแกรมที่สามารถตรวจสอบความผิดปกติอื่นๆของยางรถยนต์ เช่น การตรวจสอบการบวมของยาง การวัดความยืดหยุ่นของยาง หรือการตรวจสอบความผิดปกติอื่นๆของยางต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ธีรวัฒน์ ประกอบผล, “คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับสมบูรณ์” บริษัท ชิมพลีฟาย จำกัด 2556

Watcharin Kaewapichai, Pakorn Kaewtrakulpong and Asa Prateepasen,
“A Real-Time Automatic Inspection System for Pattavia Pineapples”,
Engineering Materials Vol. 321-323 (2006) pp 1186-1191

นางสาวสิมิลัน อาศัยพานิชย์, ดร.รัฐวิวัฒน์ ศรีนาค, “Automatic Fish Measurement and Classification System using Video Image Analysis”, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Frank Storbeck, Berent Daan, “Fish species recognition using computer vision and a neural network”, Fisheries Research, Vol. 51 (2001) pages 11-15, Elsevier.

Inthuset, S., Nunak, N., and Suesut, T. 2009. “Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning”. School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

Nunak N, Sukkasem N, Suesut T, “Volume measurement of some selected vegetables and fruits using Laser-Light sectioning”, การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12, ประจำปี .2554

ศรายุทธ อินทุเศรษฐ. การวัดขนาดวัตถุสามมิติโดยใช้แสงเลเซอร์แบ่งส่วนวัตถุ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ; 2553.

Peter Schalk, Paul O’Leary, Ronald Ofner and Anton Gfrerrer, “Measuring and Analyzing Cross-Sectional Profiles of Rotating Objects Using Light Sectioning”, IEEE Transaction on instrumentation and Measurement, Volume 57 No. 10 (2008) page 2329–2338

Beverly D. Bradley, Adrian D.C. Chan, M. John D. Hayes ,“A Simple, Low Cost, 3D Scanning System Using the Laser Light-Sectioning Method”, I²MTC 2008 – IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Victoria, Canada, May 12–15, 2008

ภูวดล โชติจิอนันต์, สันติชัย แสนรงค์, สิทธิโชค แสงอุไร. เครื่องคัดขนาดแบบอัตโนมัติด้วยเทคนิคลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง [ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] นเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2552.

นพรัตน์ สุขเกษม, “การวัดปริมาตรผักและผลไม้ด้วยวิธีลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2554.

Suesut, T. 2006. Assignment of measurement of 3D-Objects. Institute for Automation, University of Leoben, Austria.

Inthuset, S., Nunak, N., and Suesut, T. 2009. “Fish Size Measurement by Computer Vision using Laser Light Sectioning”. School of Agricultural Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.

Gary Bradski and Adrian Kaebler. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. 1st ED. O’Reilly Media, Inc 2008

ศิวกกร สุขประเสริฐชัย, “ระบบสร้างภาพพื้นผิวของแก้มยางรถยนต์ด้วยวิธีการเลเซอร์สแกน3 มิติ”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง] 2554.

อิสระ อาจไพรินทร์, “การตรวจสอบความลึกของร่องยางโดยระบบคอมพิวเตอร์วิชั่น”. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง] 2554.กรุงเทพฯ

ศุภกฤษณ์ กันทาสม, เศรษฐ์วิกร เสือสำน, สถาปัตยกรรม พิมานแมน. เครื่องตรวจวัดความลึกของยางรถยนต์ด้วยวิธีสแกนจักรกล [ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม] กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2555.

ธีรวัฒน์ ประกอบผล“ ,คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับสมบูรณ์ ,”บริษัท ซิมพลิฟาย จำกัด2556 ,

www.maxxis.com/Repository/Files/tire_damage.pdf



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองและวิจัย

```
#include "stdafx.h"
#include <cv.h>
#include <cxcore.h>
#include <highgui.h>

#pragma comment(lib,"opencv_core246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_imgproc246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_highgui246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_contrib246d.lib")

#pragma comment(lib,"opencv_ml246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_video246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_features2d246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_contrib246d.lib")

#pragma comment(lib,"opencv_calib3d246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_objdetect246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_features2d246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_legacy246d.lib")
#pragma comment(lib,"opencv_flann246d.lib")

using namespace cv;
#define CAM_RES_WIDTH 640
#define CAM_RES_HEIGHT 480
#define CAM_RES_CHANNELS 1

float A[3][3]={{0,-0.0021,0.9264},{0.0016,0.0002,-0.3766},{0,0,0.0065}};
int
topx,topy,botx,boty,plx,ply,prx,pry,delx,g1,g2,g3,tysec1,bysec1,tysec2,bysec2,tysec3,bysec3,delroi1,delroi2,delroi3,delta_y,txsec1,txsec2,txsec3;
int distance_line;
float Lenght1,Lenght2,Lenght3,avg,percent;
FILE *fp;

CvCapture* capture = cvCaptureFromCAM(CV_CAP_ANY);
IplImage* img =
cvCreateImage(cvSize(CAM_RES_WIDTH,CAM_RES_HEIGHT),IPL_DEPTH_8U,1);
IplImage* abc = cvCreateImage(cvGetSize(img),IPL_DEPTH_8U,1);
IplImage* patching_line =
cvCreateImage(cvGetSize(abc),IPL_DEPTH_8U,1);

void joinline(IplImage* acc)
{
    int tx,ty,last_x = 0,last_y = 0;
    unsigned char data,flag = 0;
    patching_line = cvCloneImage(acc);
    for(tx=0; tx<acc->width; tx++ )
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        for(ty=0; ty<acc->height; ty++ )
        {
            data = ((uchar*)(acc->imageData + ty*acc-
>widthStep))[tx];
            if(data>0)
            {
                if(flag == 0)
                {
                    last_x =tx;
                    flag = 1;
                }
                if((tx-last_x) > 0)
                {
                    cvLine(patching_line,cvPoint(last_x,last_y),cvPoint(tx,ty),cvScalar(2
55,255,255),1,8,0);
                }
                last_x = tx;
                last_y = ty;
            }
        }
    }
}

void acces_top( IplImage* acc )
{
    int i,tx,ty,by;
    float avg;
    int sum;
    unsigned char data;
    cvSet(abc,cvScalar(0,0,0),NULL);
    for(tx=0; tx<acc->width; tx++ )
    {
        for(ty=0; ty<acc->height; ty++ )
        {
            data = ((uchar*)(acc->imageData + ty*acc-
>widthStep))[tx];
            if(data>0){
                topx=tx;
                topy=ty;
                for(i=topy; i<acc->height; i++ )
                {
                    data =((uchar*)(acc->imageData + i*acc-
>widthStep))[tx];
                    if(data<1){
                        boty=i-1;
                        avg = (boty-topy)/2;
                        sum = topy+avg;

                        cvCircle(abc,cvPoint(topx,sum),0,cvScalar(255,255,255),0,8,0);
                        i=acc->height;
                    }
                }
                ty=acc->height;
            }
        }
    }
}

void scan_section1(IplImage* acc)
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int i,j,k,m,n,o;
int B[3][1]={{txsecl},{tysecl},{1}};
int C[3][1]={{txsecl},{bysecl},{1}};
float tres_multi[4][2];
float bres_multi[4][2];
float a,b,c,d,e,f,realx1,realy1,realx2,realy2;
float abs_x,abs_y;
int data1,data2,tx,ty,bx,by;
for(ty=(ply-50); ty<(ply+50); ty++)
{
    uchar* ptr = (uchar*)(acc->imageData + ty * acc->widthStep);
    for(tx=plx; tx<(plx+gl); tx++)
    {
        data1 = ptr[tx];
        if(data1>1){
            txsecl=tx;
            tysecl=ty;
            tx=(plx+gl);
            ty=(ply+50);
        }
    }
}
for(by=(ply+50); by>(ply-50); by--)
{
    uchar* ptr = (uchar*)(acc->imageData + by * acc->widthStep);
    for(bx=plx; bx<(plx+gl); bx++)
    {
        data2 = ptr[bx];
        if(data2>1)
        {
            bysecl=by;
            bx=(plx+gl);
            by=(ply-50);
        }
    }
}
delroil = bysecl-tysecl;
//.....
for(i = 0; i < 3; i++)
{
    for(j = 0; j < 3; j++)
    {
        float sum1 = 0.0;
        for(k = 0; k < 3; ++k)
            sum1 = sum1 + (A[i][k] * B[k][j]);
        tres_multi[i][j] = sum1;
    }
}
for(m = 0; m < 3; m++)
{
    for(n = 0; n < 3; n++)
    {
        float sum2 = 0.0;
        for(o = 0; o < 3; ++o)
            sum2 = sum2 + (A[m][o] * C[o][n]);
        bres_multi[m][n] = sum2;
    }
}
a=tres_multi[0][0];
b=tres_multi[1][0];
c=tres_multi[2][0];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

realx1 = (a/c);
realy1 = (b/c);
//.....
d=bres_multi[0][0];
e=bres_multi[1][0];
f=bres_multi[2][0];
realx2 =(d/f);
realy2 =(e/f);
abs_x = ((realx2-realx1)*(realx2-realx1));
abs_y = ((realy2-realy1)*(realy2-realy1));
Lenght1 = sqrt(abs_x + abs_y);
}

void scan_section2(IplImage* acc)
{
    int i,j,k,m,n,o;
    int B[3][1]={{txsec2},{tysec2},{1}};
    int C[3][1]={{txsec2},{bysec2},{1}};
    float tres_multi[4][2];
    float bres_multi[4][2];
    float a,b,c,d,e,f,realx1,realy1,realx2,realy2;
    float abs_x,abs_y;
    int data1,data2,tx,ty,bx,by;
    for(ty=(ply-50); ty<(ply+50); ty++)
    {
        uchar* ptr = (uchar*)(acc->imageData + ty * acc->widthStep);
        for(tx=(plx+g1); tx<(plx+g2); tx++)
        {
            data1 = ptr[tx];
            if(data1>1){
                txsec2=tx;
                tysec2=ty;
                tx=(plx+g2);
                ty=(ply+50);
            }
        }
    }
    for(by=(ply+50); by>(ply-50); by--)
    {
        uchar* ptr = (uchar*)(acc->imageData + by * acc->widthStep);
        for(bx=(plx+g1); bx<(plx+g2); bx++)
        {
            data2 = ptr[bx];
            if(data2>1)
            {
                bysec2=by;
                bx=(plx+g2);
                by=(ply-50);
            }
        }
    }
    delroi2 = bysec2-tysec2;
    //.....
    for(i = 0; i < 3; i++)
    {
        for(j = 0; j < 3; j++)
        {
            float sum1 = 0.0;
            for(k = 0; k < 3; ++k)
                sum1 = sum1 + (A[i][k] * B[k][j]);
            tres_multi[i][j] = sum1;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        }
    }
    for(m = 0; m < 3; m++)
    {
        for(n = 0; n < 3; n++)
        {
            float sum2 = 0.0;
            for(o = 0; o < 3; ++o)
                sum2 = sum2 + (A[m][o] * C[o][n]);
            bres_multi[m][n] = sum2;
        }
    }
    a=tres_multi[0][0];
    b=tres_multi[1][0];
    c=tres_multi[2][0];
    realx1 = (a/c);
    realy1 = (b/c);
    //.....
    d=bres_multi[0][0];
    e=bres_multi[1][0];
    f=bres_multi[2][0];
    realx2 = (d/f);
    realy2 = (e/f);
    abs_x = ((realx2-realx1)*(realx2-realx1));
    abs_y = ((realy2-realy1)*(realy2-realy1));
    Lenght2 = sqrt(abs_x + abs_y);
}

void scan_section3(IplImage* acc)
{
    fp= fopen("D:\\myfile\\Result.txt", "a");
    int i,j,k,m,n,o;
    int B[3][1]={{txsec3},{tysec3},{1}};
    int C[3][1]={{txsec3},{bysec3},{1}};
    float tres_multi[4][2];
    float bres_multi[4][2];
    float a,b,c,d,e,f,realx1,realy1,realx2,realy2;
    float abs_x,abs_y;
    int data1,data2,tx,ty,bx,by;
    for(ty=(ply-50); ty<(ply+50); ty++)
    {
        uchar* ptr = (uchar*)(acc->imageData + ty * acc->widthStep);
        for(tx=(plx+g2); tx<(plx+g3); tx++)
        {
            data1 = ptr[tx];
            if(data1>1){
                txsec3=tx;
                tysec3=ty;
                tx=(plx+g3);
                ty=(ply+50);
            }
        }
    }
    for(by=(ply+50); by>(ply-50); by--)
    {
        uchar* ptr = (uchar*)(acc->imageData + by * acc->widthStep);
        for(bx=(plx+g2); bx<(plx+g3); bx++ )
        {
            data2 = ptr[bx];
            if(data2>1)
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        bysec3=by;
        bx=(plx+g3);
        by=(ply-50);
    }
}
delroi3 = bysec3-tysec3;
//.....
for(i = 0; i < 3; i++)
{
    for(j = 0; j < 3; j++)
    {
        float sum1 = 0.0;
        for(k = 0; k < 3; ++k)
            sum1 = sum1 + (A[i][k] * B[k][j]);
        tres_multi[i][j] = sum1;
    }
}
for(m = 0; m < 3; m++)
{
    for(n = 0; n < 3; n++)
    {
        float sum2 = 0.0;
        for(o = 0; o < 3; ++o)
            sum2 = sum2 + (A[m][o] * C[o][n]);
        bres_multi[m][n] = sum2;
    }
}
a=tres_multi[0][0];
b=tres_multi[1][0];
c=tres_multi[2][0];
realx1 = (a/c);
realy1 = (b/c);
//.....
d=bres_multi[0][0];
e=bres_multi[1][0];
f=bres_multi[2][0];
realx2 =(d/f);
realy2 =(e/f);
abs_x = ((realx2-realx1)*(realx2-realx1));
abs_y = ((realy2-realy1)*(realy2-realy1));
Lenght3 = sqrt(abs_x + abs_y);
//.....//
avg = ((Lenght1+Lenght2+Lenght3)/3);
percent = ((avg*100)/6.9);
printf("Percentage of Grooves are : %.4f \n",percent);
fprintf(fp,"%.4f \n",percent);
fclose(fp);
}

void find_LR( IplImage* acc )
{
    int lx,ly,rx,ry,simx,simy,y1,y2,x1,x2;
    unsigned char data1,data2;
    for(lx=0; lx<acc->width; lx++ )
    {
        for(ly=0; ly<acc->height; ly++ )
        {
            data1 = ((uchar*)(acc->imageData + ly*acc->widthStep))[lx];
            if(data1>0){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        plx=lx;
        ply=ly;
        lx=acc->width;
        ly=acc->height;
    }
}
for(rx=(acc->width-1); rx>1; rx-- )
{
    for(ry=(acc->height-1); ry>0; ry-- )
    {
        data2 = ((uchar*)(acc->imageData + ry*acc-
>widthStep))[rx];
        if(data2>0){
            prx=rx;
            pry=ry;
            rx=0;
            ry=0;
        }
    }
    delx = (prx-plx);
    g1 = delx/3;
    g2 = 2*(delx/3);
    g3 = delx;
}
int _tmain(int argc, _TCHAR* argv[])
{
    img = cvQueryFrame(capture);
    img = cvQueryFrame(capture);
    IplImage* image=cvCreateImage(cvGetSize(img),IPL_DEPTH_8U,1);
    IplImage*
image2=cvCreateImage(cvGetSize(image),IPL_DEPTH_8U,1);
    IplImage*
image3=cvCreateImage(cvGetSize(image2),IPL_DEPTH_8U,1);
    cvSet(patching_line,cvScalar(0,0,0),NULL);
    cvNamedWindow("Example4-in",1);
    cvNamedWindow("Example4-out",1);

    while(1){
        img = cvQueryFrame(capture);
        if(!img)break;
        cvSplit(img,image,image2,image3,NULL);
        cvThreshold(image,image2,140,255,CV_THRESH_BINARY);
        cvSmooth(image2,image3,CV_GAUSSIAN,3,3);
        //cvErode(image2,image3,NULL,1);
        acces_top(image3);
        joinline(abc);
        find_LR(patching_line);
        scan_section1(patching_line);
        scan_section2(patching_line);
        scan_section3(patching_line);
        cvShowImage("Result",patching_line);
        cvShowImage("Example4-in",img);
        cvShowImage("Example4-out",image3);
        cvWaitKey(25);
    }
    cvReleaseCapture(&capture);
    cvReleaseImage(&img);
    cvReleaseImage(&image);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cvReleaseImage(&image2);  
cvReleaseImage(&image3);  
cvReleaseImage(&abc);  
cvReleaseImage(&patching_line);  
cvDestroyWindow("Result");  
cvDestroyWindow("Example4-in");  
cvDestroyWindow("Example4-out");  
return 0;  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้