

ระบบการมองเห็นสำหรับการควบคุมรถขนส่งแบบอิสระ

นายสมเกียรติ แก้วจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

VISION SYSTEM FOR CONTROLLING AUTONOMOUS TRANSPORT VEHICLES

Somkiat Kaewchan

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

ระบบการมองเห็นสำหรับการควบคุมรถขนส่งแบบอิสระ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)

ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.สุกกิจ รูปจันทร์)

กรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจันทร์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สมเกียรติ แก้วจันทร์ : ระบบการมองเห็นสำหรับการควบคุมรถขนส่งแบบอิสระ
(VISION SYSTEM FOR CONTROLLING AUTONOMOUS TRANSPORT
VEHICLES) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์,
170 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างและออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ
ต้นแบบ ซึ่งควบคุมโดยใช้การประมวลผลด้วยภาพ โดยในปัจจุบันระบบลำเลียงหรือขนส่ง
ในภาคอุตสาหกรรมยังต้องอาศัยแรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งมีข้อจำกัดหลายอย่างเช่น ต้องใช้ผู้
ที่มีความเชี่ยวชาญในเฉพาะด้าน และในปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนแรงงานกลายเป็นปัญหา
สำคัญสำหรับภาคอุตสาหกรรม ทางผู้วิจัยจึงได้มีการมองหาระบบควบคุมแบบใหม่ซึ่ง
มีความสามารถในการตรวจจับและประมวลผลได้อย่างถูกต้องแม่นยำเพื่อการทำงานแบบอัตโนมัติ
ทดแทนการควบคุมโดยมนุษย์ และจากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันมีระบบนำทางที่มีการใช้งานจริง
มีหลายรูปแบบ ซึ่งยังมีข้อจำกัดในด้านความสามารถในการตรวจจับและราคาของอุปกรณ์ ซึ่งต้อง
ใช้อุปกรณ์ตรวจจับที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีการมองเห็นของ
คอมพิวเตอร์ (Computer Vision) มาพัฒนาเพื่อใช้เป็นระบบนำทางและควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ
ต้นแบบ เพราะมีความสามารถในการรับรู้และตรวจจับในระดับสูง และอีกทั้งยังใช้อุปกรณ์ที่มีราคา
ถูกในการประมวลผล เช่น กล้อง Webcam ราคาถูก ซอฟต์แวร์ประมวลผลด้วยภาพและคอมพิวเตอร์
ขนาดเล็ก ซึ่งการควบคุมโดยใช้การประมวลผลด้วยภาพมีความยืดหยุ่นในการแก้ไขและปรับแต่ง
สำหรับการใช้งาน โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับโมดูล NI Vision ในการสร้างส่วนของ
การมองเห็นคอมพิวเตอร์ และใช้งานร่วมกับ DAQ ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก โดยที่รถขนส่ง
อัตโนมัติต้นแบบสามารถเดินทางไปสู่สถานีงานโดยการรับค่าจากผู้ใช้งานผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
จากนั้นรถขนส่งอัตโนมัติจะเดินทางไปสู่สถานีที่กำหนดโดยการอ่านเส้นที่อยู่บนพื้น สามารถ
ตรวจจับและระบุความหมายของป้ายบอกทางที่มีการติดตั้งอยู่ด้านข้างเส้นทางวิ่ง ด้วย
กระบวนการ OCR (Optical Character Recognition) อีกทั้งยังมีความสามารถในการตรวจจับ
สิ่งกีดขวาง จากการทดลองสามารถรถขนส่งอัตโนมัติสามารถทำงานอัตโนมัติได้อย่างถูกต้องตาม
วัตถุประสงค์ โดยมีความถูกต้องในกระบวนการตรวจจับและเดินทางตามเส้น 100% ความถูกต้อง
เฉลี่ยในกระบวนการตรวจจับและระบุความหมายแผ่นป้ายเฉลี่ยที่ 96.75% ความถูกต้องเฉลี่ย
ในกระบวนการตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวางเฉลี่ยที่ 92%

SOMKIAT KAEWCHAN : VISION SYSTEM FOR CONTROLLING

AUTONOMOUS TRANSPORT VEHICLES. THESIS ADVISOR :

ASSOC. PROF. FLT. LT. KONTORN CHAMNIPRASART, Ph.D., 170 PP.

COMPUTER VISION/ LabVIEW/ AUTONOMOUS TRANSPORT
VEHICLES/ OPTICAL CHARACTER RECOGNITION

This research is to build and design the algorithm for autonomous transport vehicles prototype navigated by the image processing. These day the transport or convey system in industry relies on the labors. That has many limitations such as the need of expertise in specific areas. Moreover, the lack of labors became a major problem in the industry. This study was looking for a new control system which has the ability to detect and access accurately for replacing the system controlled by humans. The study found that current navigation systems are actually used many forms. But, the high accuracy device is very expensive. Therefore, the concept idea of computer vision technology was chosen to develop a prototype navigation system and control of autonomous transport vehicles. Because this technology has ability to detect object and image processing accurately and used very less and low cost device such as webcam, software and computer. Furthermore, it is flexible to modify and adjust for using. In this study used program LabVIEW with the NI Vision Module to create the computer vision algorithm, and operated with the DAQ and control external actuator. The autonomous transport vehicles prototype can travel from one station to others station by tracking the line on the floor, and the user can set the path from the monitor. The vehicle can detect and identify the sign plat installed beside the track by using the OCR (Optical Character Recognition) process. Moreover the vehicle has ability to

detect obstacle to stop or avoidance in the right direction. This research achieved the prototype autonomous transport vehicles can operate line detection process with accuracy 100% sign plate recognition process average accuracy 96.75% and obstacle detection and avoidance process average accuracy 92%.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คุณศึกษาใคร่ขอกราบพระคุณคือท่าน รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา ชี้แนะข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานวิจัย และแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยความเมตตากรุณาเสมอมา เพื่อให้การเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ รวมทั้งท่านผู้มีพระคุณ ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้ คณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และอบรมสั่งสอนให้คำแนะนำด้วยดีเสมอมา

คุณอริยวัตร วริคุณ ที่ให้คำแนะนำในเทคนิคการเขียนโปรแกรม และแก้ไขข้อบกพร่องๆ

คุณจิตติมา วระกุล คุณวันชัย ป่าขมิ้น คุณภาณุภูมิ หล่อสมฤดี คุณเอกภาพ โยธินะเวกิน และเพื่อนบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่จำปา จิติสกุล และครอบครัว ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ส่งเสริมด้านการศึกษา ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จนประสบความสำเร็จ

สมเกียรติ แก้วจันทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 สถานที่ทำงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ประวัติความเป็นมาและปรัทธรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3 พื้นฐานของภาพดิจิทัล	8
2.3.1 ภาพดิจิทัล (Digital Image).....	8
2.3.2 นิยามของภาพดิจิทัล (Definition of a Digital Image)	11
2.3.3 คุณสมบัติของภาพดิจิทัล.....	12
2.3.4 ประเภทของภาพ (Image Types).....	14
2.3.5 ประเภทของไฟล์ภาพ (Image File)	16
2.3.6 ปริภูมิสี (Color Space)	17
2.3.7 รายละเอียดของรูปภาพของ NI Vision.....	19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	พื้นฐานของการประมวลผลภาพและการมองเห็นของเครื่องจักร	26
2.4.1	ความเป็นมาของการมองเห็นของเครื่องจักร	26
2.4.2	เทคโนโลยีของการมองเห็นของเครื่องจักร	27
2.5	การตรวจจับขอบ	27
2.5.1	การนำเทคโนโลยีการตรวจจับขอบ ไปใช้งาน	28
2.5.2	หลักการของการตรวจจับขอบ	31
2.5.3	วิธีการตรวจจับขอบของ NI Vision.....	35
2.6	การจับคู่รูปแบบ (Pattern Matching).....	39
2.6.1	ลักษณะของโปรแกรมการจับคู่รูปแบบที่ดี	41
2.6.2	เทคนิคของการจับคู่รูปแบบ	43
2.6.3	การหาความสัมพันธ์ร่วม.....	45
2.7	การวัดมิติ (Dimension Measurements).....	47
2.7.1	หลักการของการวัดด้วยภาพ	48
2.7.2	การกำหนดระบบพิกัดในการวัด	50
2.8	กระบวนการ OCR (Optical Character Recognition).....	52
2.9	การประมวลผลแบบกล้องคู่ (Stereo Vision)	53
2.10	พื้นฐานระบบควบคุมแบบ PID.....	58
2.10.1	เทอมสัดส่วน (Proportional Term).....	60
2.10.2	เทอมปริพันธ์ (Integral Term)	61
2.10.3	เทอมอนุพันธ์ (Derivative Term)	62
2.10.4	ผลรวม PID Controller.....	63
2.10.5	การปรับจูน PID Controller.....	64
2.11	สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation).....	65
2.11.1	การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรรอนาล็อก	65
2.11.2	การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรมิติดิจิทัล	66
2.11.3	การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยโปรแกรม LabVIEW.....	67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12	ระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ (Automated Guide Vehicles)	68
2.12.1	ระบบใช้สาย (Wired)	68
2.12.2	แถบเส้นนำทาง (Guide Tape)	69
2.12.3	แสงเลเซอร์นำทาง (Laser Target Navigation)	69
2.12.4	Natural Features Navigation	69
2.13	พื้นฐานการควบคุม Stepper Motor	70
2.13.1	การควบคุม Stepper Motor แบบ 4 เฟส	72
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	74
3.1	กล่าวนำ.....	74
3.2	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์งานสำหรับการทดลอง	74
3.3	การสร้างรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบ	77
3.3.1	Stepper Motor	77
3.3.2	ชุดควบคุม Stepper Motor	78
3.3.3	NI-DAQ 9263	80
3.3.4	กล้อง Webcam	80
3.3.5	คอมพิวเตอร์ Mini PC	81
3.3.6	แบตเตอรี่ Lithium – Polymer (Li-Po).....	83
3.3.7	Servo Motor	84
3.4	อัลกอริทึมสำหรับการประมวลผลด้วยภาพ	86
3.4.1	การตรวจจับเส้น	86
3.4.2	การตรวจจับและระบุความหมายของป้าย	91
3.4.3	การตรวจจับสิ่งกีดขวาง	96
3.5	การคำนวณความเร็วรถ	99
3.6	การสร้างระบบประมวลผลด้วยภาพ	103

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7	การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์	117
3.7.1	การควบคุมการวิ่งตามเส้น	120
3.7.2	การควบคุมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง	120
3.8	การทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ	132
3.9	การรับค่าจากผู้ใช้	132
4	ผลการทดลอง.....	133
4.1	ผลการทดลองระบบตรวจจับเส้น.....	134
4.2	ผลการทดลองตรวจจับและระบุความหมายของป้ายบอกทิศทาง.....	136
4.3	ผลการทดลองการตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง.....	139
4.4	ผลการการประมวลผลแบบ Stereo Vision.....	141
4.5	สรุปผลการทดลอง.....	145
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	146
5.1	สรุปผลการวิจัย	146
5.2	ข้อเสนอแนะ	147
	รายการอ้างอิง.....	148
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. รายละเอียดโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ	151
	ภาคผนวก ข. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	163
	ประวัติผู้เขียน	170

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1	จำนวนไบท์ที่ใช้ในแต่ละพิกเซลของภาพประเภทต่าง ๆ	14
2.2	ค่าตัวแปรการปรับจูนแบบ Manual	64
2.3	ค่าตัวแปรการปรับจูนแบบ Ziegler–Nichols	65
2.4	การควบคุมแบบ Full Step 1 เฟส หรือแบบคลื่น (wave)	72
2.5	การควบคุมแบบ Full Step 2 เฟส หรือแบบ 2 เฟส	73
2.6	ควบคุมแบบ Half Step หรือแบบครึ่ง Step	73
3.1	รายละเอียดตัวอักษรบนแผ่นป้าย	75
3.2	คุณสมบัติทางเทคนิค Mini PC ASUS Eeebox PC	82
3.3	การตั้งค่าการปรับความสว่าง Brightness ในการคัดแยกสี	89
3.4	การตั้งค่าการปรับความสว่าง Brightness ในการตรวจจับป้าย	93
3.5	การตั้งค่าฟังก์ชัน Circle Detection	93
3.6	การกำหนดค่า ROI สำหรับประมวลผล OCR	94
3.7	การตั้งค่าฟังก์ชัน Color Match Pattern	97
3.8	ค่าตัวแปรของรถที่ใช้ในการทดลอง	100
4.1	ผลการทดลอง Color Threshold	134
4.2	ผลการทดลองระบุความหมายแผ่นป้ายจากกล้องด้านขวา	136
4.3	ผลการทดลองระบุความหมายแผ่นป้ายจากกล้องด้านซ้าย	137
4.4	ผลการทดลองความถูกต้องของอัลกอริทึมการทำตามคำสั่งป้าย	138
4.5	ผลการทดลองความถูกต้องอัลกอริทึมตรวจจับสิ่งกีดขวาง	139
4.6	ผลการทดลองหาเวลาในการหลบสิ่งกีดขวางที่ระยะต่างๆ	140
4.7	ผลการทดลองเพื่อคำนวณหาค่า Focal of Length กล้องด้านซ้าย	141
4.8	ผลการทดลองเพื่อคำนวณหาค่า Focal of Length กล้องด้านขวา	142
4.9	ผลการทดลองการคำนวณหาระยะห่างโดยการประมวลผลด้วยภาพ	143

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบ CCD 9
2.2	หลักการทำงานของเซนเซอร์แบบ CMOS 10
2.3	การกำหนดตำแหน่งของพิกเซล 12
2.4	ระนาบที่บรรจุภาพสี 15
2.5	Chromaticity Diagram และ CIELAB 17
2.6	เปรียบเทียบการแสดงสีในปริภูมิสี CMYK และ RGB 18
2.7	แสดงปริภูมิสี HSL HSV 19
2.8	องค์ประกอบภายในของภาพที่ใช้ใน โปรแกรม NI Vision..... 20
2.9	วิธีการกำหนดค่าพิกเซลที่อยู่ในขอบด้วยวิธีต่าง ๆ 22
2.10	หลักการทำงานของการจัดส่วนแบ่งภาพ..... 23
2.11	การกำหนดค่าเชื่อมโยงให้กับหน้ากากของภาพ 24
2.12	ผลกระทำการกำหนดค่าเชื่อมโยงให้กับหน้ากากของภาพ..... 25
2.13	การวัดระยะห่างของเขี้ยวหัวเทียน 29
2.14	การตรวจนับวัตถุโดยวิธีการตรวจจับขอบ 30
2.15	การตรวจสอบแนวการวางตัว..... 31
2.16	ตัวอย่างการกำหนดขอบ..... 32
2.17	การเปลี่ยนแปลงค่าพิกเซลเพื่อค้นหาขอบ 32
2.18	ตัวอย่างภาพที่มีระดับความเข้มของขอบที่ต่างกัน 33
2.19	หัวของขอบ..... 34
2.20	การตรวจจับขอบอย่างง่าย 36
2.21	การตรวจจับขอบขั้นสูง 37
2.22	การใช้ฟังก์ชันหาความแม่นยำระดับซับพิกเซล..... 39
2.23	ตัวอย่างของการจับคู่รูปแบบ 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24	การตรวจจับในสภาพการวางตัวเปลี่ยนไป..... 42
2.25	ตัวอย่างภาพที่สภาพแสงต่างไป..... 42
2.26	ตัวอย่างของภาพไม่ชัดและมีสัญญาณรบกวน 43
2.27	เทคนิคการตรวจจับด้วย Image Understanding 45
2.28	ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์ 46
2.29	การกำหนดระบบแกนและพื้นที่ค้นหาเพื่อการวัด 52
2.30	ตัวอย่างการ Training ตัวอักษรสำหรับกระบวนการ OCR..... 53
2.31	ตัวอย่างการประมวลผลด้วยภาพของสายตามนุษย์..... 54
2.32	แบบจำลองการคำนวณแบบ Stereo Vision 55
2.33	แบบจำลองการคำนวณแบบ Stereo Vision แบบ 3 มิติ 55
2.34	ภาพจากกล้องทั้งสองข้าง 57
2.35	แผนภาพบล็อกตัวควบคุมแบบ PID 59
2.36	กราฟแสดงค่า PV ที่ค่า K_p ต่างๆ (K_i และ K_d คงที่) 60
2.37	กราฟแสดงค่า PV ที่ค่า K_i ต่างๆ (K_p และ K_d คงที่) 62
2.38	กราฟแสดงค่า PV ที่ค่า K_d ต่างๆ (K_p และ K_i คงที่) 63
2.39	การเปรียบเทียบสัญญาณ PWM แบบอนาล็อก..... 65
2.40	ผลการสร้างสัญญาณ PWM..... 66
2.41	การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยหลักการทางดิจิทัล..... 67
2.42	แสดง block Simulate Signal..... 67
2.43	แสดงลักษณะสัญญาณ PWM จาก block Simulate Signal 68
2.44	รูปแบบการนำทางระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ 69
2.45	โครงสร้างของ Stepper Motor..... 70
2.46	Diagram Bipolar Stepper Motor 71
2.47	Diagram Unipolar Stepper Motor 72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1	แบบจำลองสนามทดสอบ 76
3.2	ตัวอย่างแผ่นป้ายบอกทาง 76
3.3	รถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบ..... 77
3.4	Stepper Motor รุ่น cool muscle CM1 78
3.5	ชุดควบคุม Stepper มอเตอร์ ยี่ห้อ IMS รุ่น IM483 79
3.6	Diagram ต่อใช้งานชุดควบคุม Stepper Motor ยี่ห้อ IMS รุ่น IM483 79
3.7	NI -DAQ 9263 Analog Output Module 80
3.8	กล้อง Webcam ทำการติดตั้งแบบ Stereo Vision..... 81
3.9	คอมพิวเตอร์ Mini PC ASUS Eeebox PC 81
3.10	แบตเตอรี่แบบ Lithium – Polymer 83
3.11	FUTABA RC Servo Motor รุ่น S304..... 84
3.12	การทำงานของ Servo Motor ที่ค่า %Duty cycle ต่าง ๆ 85
3.13	Diagram ขั้นตอนการประมวลผลการตรวจจับเส้น 87
3.14	การใช้งานฟังก์ชัน Vision Acquisition..... 88
3.15	การตั้งค่าฟังก์ชันให้รับภาพแบบ Continuous Acquisition 88
3.16	เปรียบเทียบภาพก่อนและหลังการปรับค่าBrightness และ Contrast 89
3.17	เปรียบเทียบภาพเมื่อผ่านกระบวนการ Color Threshold..... 90
3.18	ตัวอย่างการตรวจจับขอบเพื่อหาตำแหน่งของเส้น 91
3.19	Diagram ขั้นตอนการประมวลผลการตรวจจับและระบุความหมายของป้าย..... 92
3.20	Block diagram การสร้าง ROI จากตำแหน่งของวงกลม 94
3.21	ตัวอย่างการสอน(Training) ตัวอักษรให้ LabVIEW Vision 95
3.22	ภาพตัวอย่างป้ายบอกทางเมื่อผ่านกระบวนการOCR..... 95
3.23	Diagram ขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพการตรวจจับสิ่งกีดขวาง 96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมอ่านภาพต้นแบบ แบบRGB 32bit.....	97
3.25 แสดงการจำลองตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง	98
3.26 ฟังก์ชัน Simulate Signal.....	102
3.27 ฟังก์ชัน IMAQ Color Threshold	103
3.28 ฟังก์ชัน IMAQ Extract Single Color Plane.....	104
3.29 ฟังก์ชัน IMAQ Detect Shape	105
3.30 ฟังก์ชัน IMAQ Edge Tool 3.....	106
3.31 ฟังก์ชัน IMAQ OCR Create Session.....	107
3.32 ฟังก์ชัน IMAQ OCR Read Character Set File	107
3.33 ฟังก์ชัน IMAQ OCR Read Text 3.....	108
3.34 ฟังก์ชัน IMAQ Create	109
3.35 ฟังก์ชัน IMAQ ReadFile.....	110
3.36 ฟังก์ชัน IMAQ Setup Learn Color Pattern.....	112
3.37 ฟังก์ชัน IMAQ Learn Color Pattern.....	113
3.38 ฟังก์ชัน IMAQ Setup Match Pattern 2.....	114
3.39 ฟังก์ชัน IMAQ Match Color Pattern.....	116
3.40 การต่อใช้งาน DAQ ร่วมกับ Stepper Motor และ Servo Motor.....	117
3.41 การตั้งค่า parameter ต่างๆสำหรับการสร้างสัญญาณ.....	119
3.42 การตั้งค่าในส่วน of DAQ Assistant	119
3.43 ตัวอย่างการควบคุมหักหลบสิ่งกีดขวาง.....	121
3.44 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ	122
3.45 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ (ต่อ)	123

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.46	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับเส้น 124
3.47	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ) 125
3.48	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ) 126
3.49	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ) 127
3.50	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ) 128
3.51	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง 129
3.52	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ) 130
3.53	แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ) 131
3.54	หน้าต่างแสดงผลระหว่างการประมวลผล 132
4.1	รถขนส่งอัตโนมัติแบบควบคุมด้วย Computer Vision 133
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ ความถูกต้อง(%)กับขนาดพิกเซลที่กำจัดออก 135
4.3	กราฟแสดงค่า %Error เทียบกับระยะห่างจากสิ่งกีดขวาง 144
ก.1	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการอ่านป้าย 152
ก.2	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการอ่านป้าย (ต่อ) 152
ก.3	โปรแกรม LabVIEW SubVI read32bit 153
ก.4	โปรแกรม LabVIEW SubVI build ROI 153
ก.5	โปรแกรม LabVIEW SubVI extract single plane 153

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.6	โปรแกรม LabVIEW SubVI OCR..... 154
ก.7	โปรแกรม LabVIEW SubVI overlay ROI 154
ก.8	โปรแกรม LabVIEW SubVI select array 154
ก.9	โปรแกรม LabVIEW SubVI select array (ต่อ) 155
ก.10	โปรแกรม LabVIEW SubVI overlayrectan 155
ก.11	โปรแกรม LabVIEW SubVI overlay text 155
ก.12	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับเส้น 156
ก.13	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับเส้น (ต่อ)..... 156
ก.14	โปรแกรม LabVIEW SubVI Right morphology 157
ก.15	โปรแกรม LabVIEW SubVI Right morphology (ต่อ) 157
ก.16	โปรแกรม LabVIEW SubVI distance right 158
ก.17	โปรแกรม LabVIEW SubVI distance r cal 158
ก.18	โปรแกรม LabVIEW SubVI PID Controller right..... 158
ก.19	โปรแกรม LabVIEW SubVI Output 159
ก.20	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง 159
ก.21	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ)..... 160
ก.22	โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ)..... 161
ก.23	โปรแกรม LabVIEW SubVI find slop 162
ก.24	โปรแกรม LabVIEW SubVI find slop (ต่อ)..... 162

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีที่ทันสมัยต่าง ๆ ได้เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น เทคโนโลยีทางด้าน Computer Vision หรือการประมวลผลด้วยภาพ เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทในงานด้านเครื่องจักรอัตโนมัติ เนื่องจากมีความสามารถในการมองเห็นและตรวจจับซึ่งมีความถูกต้องแม่นยำในระดับสูง ดังนั้นจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้งานแทนการมองเห็นด้วยสายตาของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น ใช้กล้องตรวจสอบรอยเชื่อม ตรวจสอบขนาด คัดแยกรูปร่างแตกต่างกัน โดยใช้เป็นตัวรับรู้สำหรับงานด้านเครื่องจักรอัตโนมัติ ทำให้สามารถทำงานได้อัตโนมัติและต่อเนื่องรวมทั้งช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากตัวผู้ปฏิบัติงานเองที่อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ อาทิเช่น ความเมื่อยล้า หรือประสบการณ์ในการตรวจสอบ และการใช้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Computer Vision ยังสามารถช่วยให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องมากกว่ามนุษย์ และเนื่องด้วยในปัจจุบันปัญหาการขาดแคลนแรงงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นระบบเครื่องจักรอัตโนมัติจึงเป็นทางออกที่จะช่วยในการลดปัญหาจากการขาดแคลนแรงงาน และช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้อีกด้วย

ระบบรถขนส่งอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายซึ่งมีรูปแบบและหลักการในการนำทางที่แตกต่างกันออกไป โดยส่วนมากจะทำงานโดยการวิ่งตามเส้นที่กำหนดโดยการใช้เซ็นเซอร์แบบต่าง ๆ ดังนั้นเทคโนโลยี Vision จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ร่วมกับระบบรถขนส่งอัตโนมัติเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการนำทางและควบคุมซึ่งรถขนส่งอัตโนมัติสามารถตรวจจับเส้นทางเดิน ป้ายสัญญาณบอกทิศทางรวมทั้งสามารถหลบหลีกหรือหยุดรถกรณีที่มีสิ่งกีดขวางด้านหน้าได้อย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในด้านการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมในการควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมโดยการใช้การมองเห็นของคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับ NI Vision Module ตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยทางผู้ผลิตซึ่งวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.2.1 จัดสร้างรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบและพัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจจับด้วยกล้อง โดยใช้พื้นฐานของวิธีการ Stereo Vision เพื่อคำนวณหาระยะทางจากวัตถุที่สนใจทางด้านหน้าได้อย่างถูกต้องแม่นยำโดยใช้กล้อง Webcam สองตัว

1.2.2 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับเส้นทางการวิ่งและสร้างตัวควบคุมเพื่อควบคุมให้รถสามารถวิ่งอยู่ในเส้นทางที่กำหนดได้

1.2.3 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับและระบุความหมายของป้ายบอกทางต่าง ๆ และรถขนส่งอัตโนมัติสามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดบนแผ่นป้ายได้อย่างถูกต้อง

1.2.4 ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวางทางด้านหน้าสำหรับการประมวลผลเพื่อหยุดหรือหลบหลีกได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเขตการวิจัยเพื่อสามารถกำหนดเป้าหมายและวิธีการในการแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ขอบเขตของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1.3.1 สร้างรถต้นแบบให้สามารถวิ่งไปทิศทางและปฏิบัติตามป้ายสัญญาณที่กำหนดได้ รถที่สร้างขึ้นเป็นเพียงรถต้นแบบในระดับปฏิบัติการเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้งานจริงได้

1.3.2 ป้ายบอกทางที่ใช้ในการทดลองถูกสร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยซึ่งจะประกอบด้วยป้ายทั้งหมด 12 ป้าย และจำลองสถานการณ์งาน 4 สถานะ

1.3.3 รถขนส่งอัตโนมัติสามารถเดินทางไปสู่จุดหมายโดยการทำเครื่องหมายเส้นทางวิ่งลงบนพื้นและป้ายบอกทางถูกติดตั้งบริเวณด้านข้างของเส้นทางวิ่งบริเวณทางเข้าสู่สถานีงาน

1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ จะเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คือ LabVIEW 2010 และ NI Vision module

1.3.5 สิ่งกีดขวางที่ใช้ในการทดลองถูกจำลองขึ้นเพื่อการทดลอง

1.3.6 การออกแบบเครื่องจักรจะออกแบบบนพื้นฐานที่ไม่สามารถจัดหาอุปกรณ์ใหม่ได้ จึงเป็นการออกแบบเพื่อให้เครื่องจักรที่จัดสร้างขึ้นสามารถทำงานได้ดีที่สุดตามอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถจัดหาได้โดยไม่ต้องจัดซื้อจากบริษัทและทางมหาวิทยาลัยเท่านั้น

1.4 สถานที่ทำงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ทางผู้วิจัยและทางบริษัทคาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้ มีสิ่งที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1.5.1 ลดภาระของผู้ปฏิบัติงานในการบังคับควบคุมรถขนส่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม
- 1.5.2 เพิ่มความปลอดภัยในการปฏิบัติงานรวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานคน
- 1.5.3 ได้ต้นแบบรถขนส่งอัตโนมัติที่ถูกควบคุมโดยระบบตรวจสอบด้วยการมองเห็นของคอมพิวเตอร์
- 1.5.4 รถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากการควบคุมโดยมนุษย์
- 1.5.5 ได้แนวทางการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อยกระดับจากเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ ไปสู่ระบบที่สามารถใช้งานได้จริงในภาคอุตสาหกรรม



บทที่ 2

ปริทรรศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ และยังกล่าวถึงความเป็นมาของการพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการออกแบบระบบการมองเห็นของเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อการผลิตในภาคอุตสาหกรรมซึ่งมีการค้นคว้าและวิจัยในด้านนี้มาเป็นระยะเวลากว่า 60 ปี ซึ่งเริ่มจากด้านการทหารก่อน จากนั้นจึงได้แพร่หลายเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรม ประกอบกับอุปกรณ์ด้านการมองเห็นของเครื่องจักรมีราคาถูกลง สามารถจัดหาได้ง่ายขึ้น งานวิจัยด้านการมองเห็นของเครื่องจักรจึงได้รับการวิจัยอย่างต่อเนื่องเสมอมา

ในส่วนแรกนี้เป็นส่วนที่ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าเอกสาร รายงานการวิจัย วิทยานิพนธ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ดำเนินการอยู่ และตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่างานวิจัยด้านนี้มีระยะเวลานาน มีบทความและเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้งานวิจัยนี้เน้นอยู่กับเทคโนโลยีและวิธีการที่ทันสมัย ผู้วิจัยจะเลือกนำเสนองานวิจัยในช่วงประมาณ 3-5 ปีที่ผ่านมา เพราะเนื่องจากการประเมินผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์และงานวิจัยมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างรวดเร็วมากในช่วงเวลา 3-5 ปีที่ผ่านมา ซึ่งผู้วิจัยนั้นได้เลือกเฉพาะส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหรือมีส่วนคล้ายกับงานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่นี้มานำเสนอเท่านั้น

นอกเหนือจากนั้นส่วนที่สองของในบทนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะแบ่งหลัก ๆ เป็นสามส่วนคือในส่วนแรกจะกล่าวถึงพื้นฐานของภาพดิจิทัลและวิธีการกำหนดค่าในส่วนของภาพดิจิทัลเพื่อพร้อมที่จะนำไปประมวลผล

สำหรับในส่วนที่สองของทฤษฎีด้านการมองเห็นของเครื่องจักร ผู้วิจัยจะขอกกล่าวถึงทฤษฎีการมองเห็นของเครื่องจักรและวิธีการประมวลผลภาพ แต่เนื่องจากวิธีการที่ใช้ในการประมวลผลภาพนั้นมีอยู่มากมายหลายแบบดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะกระบวนการประมวลผลภาพที่จะใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้นในการนำเสนอ อีกทั้งจะได้กล่าวถึงข้อดีของวิธีการดังกล่าวซึ่งเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการนี้มาใช้ในการวิเคราะห์ภาพ

เนื่องจากการประมวลผลภาพที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้ในการวิจัยนี้ คือโปรแกรมประมวลผลภาพที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งคือโปรแกรม LabVIEW ของบริษัท National Instrument หรือย่อว่า NI และในส่วนของโปรแกรม LabVIEW นี้เองจะมี Module สำหรับการวิเคราะห์ภาพและการมองเห็น

ของเครื่องจักรเป็น Module พิเศษอีก Module หนึ่งซึ่งทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้ทำการจัดหาใช้ในการเรียนการสอนและการวิจัยซึ่ง Module นี้มีชื่อว่า NI Vision ดังนั้นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพ จึงจะเน้นไปในบริบทและหลักการที่ใช้ในงานวิจัยโดย Module NI Vision นี้เป็นส่วนมากเพราะจะได้ให้อ่านเข้าใจแนวคิดและวิธีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปนี้ และสามารถนำไปใช้งานได้ถูกต้องและแม่นยำ

สำหรับการใช้งานโปรแกรม LabVIEW นั้นผู้วิจัยไม่ได้อธิบายในส่วนนี้ แต่ในบทต่อไป ผู้วิจัยได้อธิบายการทำงานของ SubVI สำเร็จรูปที่อยู่ใน NI Vision Module เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถทำความเข้าใจหลักการการทำงาน และสามารถไปประยุกต์ใช้งานต่อไปได้อย่างถูกต้อง

2.2 ประวัติความเป็นมาและปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การมองเห็นของเครื่องจักรเป็นงานด้านวิศวกรรมที่นำระบบเชิงกล เชิงไฟฟ้า การจับภาพ ด้วยกล้องและการใช้ซอฟต์แวร์ให้มาทำงานร่วมกัน เพื่อใช้ตรวจสอบกระบวนการผลิตบ่งบอก ความผิดพลาดหรือไม่สมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากระบวนการการผลิต ปรับปรุงหรือช่วย ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วน ตลอดจนใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

จุดเริ่มต้นของการพัฒนาด้านการมองเห็นของเครื่องจักร เริ่มจากจุดที่ได้มีการวิเคราะห์ภาพ ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วย จากนั้นเมื่อมีความสามารถในการที่จะเก็บภาพดิจิทัลได้ จึงได้มีการวิจัยอย่างต่อเนื่องที่จะนำความสามารถในการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ภาพ มาใช้ในงานอุตสาหกรรม ในยุคแรกของการนำมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมนั้นจะเน้นไปที่ การตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอุตสาหกรรมหลายๆด้านมีการผลิตที่สูงขึ้น การที่ใช้นมนุษย์เป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของงานนั้นเป็นเรื่องน่าเบื่อ ซ้ำซากและเมื่อยล้า ดังนั้นจึงพบเห็นได้ว่าความสามารถในการตรวจจับข้อผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ของมนุษย์จะลดลง เมื่อทำงานไปได้สักระยะหนึ่ง ดังนั้นอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนที่มีรายละเอียดมากจึงพยายาม ที่จะหันมาใช้ในการมองเห็นของเครื่องจักรเพื่อลดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตและการส่งของ ที่ไม่ได้คุณภาพให้กับลูกค้า โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ชิ้นส่วนที่ประกอบ บนแผ่นวงจรนั้นมีจำนวนมากและรายละเอียดมีจำนวนมาก

การใช้การมองเห็นของเครื่องจักรนี้ เริ่มต้นการพัฒนางานวิจัยขึ้น ณ สถาบันเทคโนโลยี แห่งแมสซาชูเซต โดยห้องปฏิบัติการ Artificial Intelligence Laboratory ได้จัดการเรียนการสอน ในรายวิชา Machine Vision ขึ้นอย่างเป็นทางการในช่วงปี ค.ศ. 1970 หลังจากนั้นการมองเห็น ของเครื่องจักรก็ได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในยุคปี ค.ศ. 1980 ได้มีการคิด วิธีการที่จะประมวลผลภาพ และวิเคราะห์ภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ทฤษฎีเกี่ยวกับ

การประมวลผลภาพหลายทฤษฎี ได้ถือกำเนิดขึ้นในช่วงเวลานี้จนถึงปัจจุบัน โดยได้มีการพยายามเชื่อมโยงการวิเคราะห์ภาพเข้ากับกลไกหรือหุ่นยนต์เพื่อให้เกิดเครื่องจักรที่มีความฉลาดมีความสามารถด้านปัญญาประดิษฐ์ คือสามารถนำภาพที่ตรวจจับได้มาใช้ควบคุมและตัดสินใจ

สำหรับในปัจจุบันการมองเห็นของเครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศไทยจะเน้นไปที่กระบวนการตรวจสอบในหลายอุตสาหกรรม โดยการประยุกต์ใช้งานก็จะแตกต่างกันไปตามประเภทของอุตสาหกรรมซึ่งสามารถที่จะยกตัวอย่างการนำไปใช้งานได้ดังต่อไปนี้

- ใช้ในการนับปริมาณสิ่งของแต่ละประเภทที่รวมกันอยู่ เช่นการนับจำนวนลูกกวาดสีแดงที่ใส่ลงไปในกลุ่มลูกกวาดหลากสีเป็นต้น

- ใช้ในการตรวจสอบรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะสามารถคัดแยกได้อย่างถูกต้อง

- การตรวจสอบรอยเชื่อมว่าชิ้นส่วนผ่านการเชื่อมอย่างเรียบร้อยหรือไม่

- ใช้ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางประเภท เช่นตรวจสอบว่าหน้าจอแสดงผลสามารถแสดงผลได้ถูกต้องหรือไม่ หลอดไฟแสดงสถานะต่างๆ ติดขึ้นอย่างถูกต้องตามที่กำหนดหรือไม่เป็นต้น

- ตรวจสอบการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เช่นชิพบนแผงวงจรได้รับการใส่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและครบถ้วนหรือไม่

- กระบวนการประกอบชิ้นส่วนหลายๆชิ้นเข้าด้วยกันอย่างถูกต้อง ชันสกรูเรียบร้อยและครบถ้วนหรือไม่

- การตรวจสอบความสมบูรณ์ของชิ้นส่วนที่จะนำไปประกอบว่าก่อนที่จะประกอบนั้นชิ้นส่วนทั้งหมดมีความถูกต้องและสมบูรณ์หรือไม่เพียงใด

- การจัดเรียงผลิตภัณฑ์ทำได้ถูกต้องหรือไม่ ลำดับการวางสลับตำแหน่งกันหรือไม่ หรือแม้แต่แยกความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์และแบ่งเกรดผลิตภัณฑ์เหล่านั้น

ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงตัวอย่างคร่าวๆที่ใช้การมองเห็นของเครื่องจักรในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นกันทั่วไป และมีงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่มากมายที่ได้ช่วยให้การมองเห็นของเครื่องจักรมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและก้าวหน้ามาก สำหรับในช่วงเวลาใกล้ๆที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและพบเห็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ทำอยู่นี้

เนื่องจากการประมวลผลภาพที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้ในการวิจัยนี้ คือโปรแกรมประมวลผลภาพที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งคือ โปรแกรม LabVIEW ของบริษัท National Instrument หรือย่อว่า NI และในส่วน of โปรแกรม LabVIEW นี้เองจะมี Module สำหรับการวิเคราะห์ภาพและการมองเห็น เป็น Module พิเศษอีก Module หนึ่งซึ่งมีชื่อว่า NI Vision สำหรับงานด้านการประมวลผลด้วยภาพ

การใช้งาน Computer Vision มีให้พบเห็นทั่วไปทั้งในส่วนของการศึกษาวิจัยและในภาคอุตสาหกรรมดังนั้นจึงการประยุกต์ใช้งานและทีมงานวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่มากมายที่ได้ช่วยให้ระบบการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ และการประมวลผลด้วยภาพพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและก้าวหน้ามาก สำหรับในช่วงเวลาที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและพบเห็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ทำอยู่ดังนี้

Saturnino, M.B., and Sergio, L.A. (2007) ได้นำเสนอวิธีการในการตรวจจับคัดแยกรูปแบบและระบุความหมายของแผ่นป้ายสัญญาณจราจรแบบอัตโนมัติ โดยนำเสนอวิธีการ Support VectorMachines (SVMs) ซึ่งเป็นกระบวนการเปรียบเทียบและรู้จำ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดแยกและระบุลักษณะที่แตกต่างกันของแผ่นป้ายสัญญาณจราจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Shigeharu, M., et al. (2009) นำเสนองานวิจัยการระบุความหมายและจดจำป้ายสัญญาณจราจรด้วยหลักการ Dynamic Image Processing โดยทำการทดลองโดยใช้ป้ายสัญญาณจราจรแบบสัญลักษณ์สีแดงพื้นสีขาว คือป้ายหยุด,ห้ามเข้า,ห้ามผ่าน ประมวลผลโดยการแยกสีจาก YcbCr Color space แยกหาพื้นที่ของสีขาวและสีแดง และทำการระบุลักษณะความหมายของแผ่นป้ายโดยใช้ค่า Width ratio ซึ่งทั้งสามลักษณะมีช่วงค่า Width ratio อยู่คนละช่วงกัน

De la Escalera, A., and Armingol, M.M. (2003) นำเสนองานวิจัยการวิเคราะห์และจดจำป้ายสัญญาณจราจรสำหรับรถอัจฉริยะ โดยการนำเสนอวิธีการตรวจจับด้วยการใช้วิธีการ Genetic Algorithm ร่วมกับ Neural network ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันและระบุความหมายของแผ่นป้ายจราจรอย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้มีความยืดหยุ่นสามารถระบุความหมายของแผ่นป้ายได้อย่างถูกต้องในสภาวะแสงที่แตกต่างกันรวมถึงมุมมองของภาพที่แตกต่างกันด้วย

Andrew, H.S. (2000) นำเสนองานวิจัยการตรวจจับเส้นถนนในทิศทางของกล้องที่แตกต่างกันเช่น มีมุมมองของกล้อง และได้มีการนำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนมุมมองของภาพที่ได้ให้กลับมามองในมุมมองที่มองจากด้านบน ซึ่งทำให้ง่ายในการวัดระยะเพื่อนำไปประมวลผลต่างๆต่อไป

วีรพล สุขสมบูรณ์ และธนศ เคารพพงศ์ (2552) ได้ทำการนำเสนอวิธีการค้นหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางโดยใช้ระบบกล้องวิดีโอสองตัว และใช้หลักการของ V-Disparity ซึ่งจะทำให้การหาตำแหน่งที่มีความลึกของภาพ (Disparity Map) โดยใช้อัลกอริทึม P2P เมื่อได้ภาพที่แสดงค่าความลึกของวัตถุที่อยู่ในภาพแล้ว ทำการนำภาพที่ได้มาทำการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าความลึกและค่าระยะทาง โดยอาศัยทฤษฎี สมการถดถอยเชิงซ้อน (Polynomial Regression) ซึ่งสมการนี้จะทำการหาค่าความสัมพันธ์ของระยะทางและค่าความลึกออกมาในรูปสมการถดถอยเชิงซ้อน หลังจาก

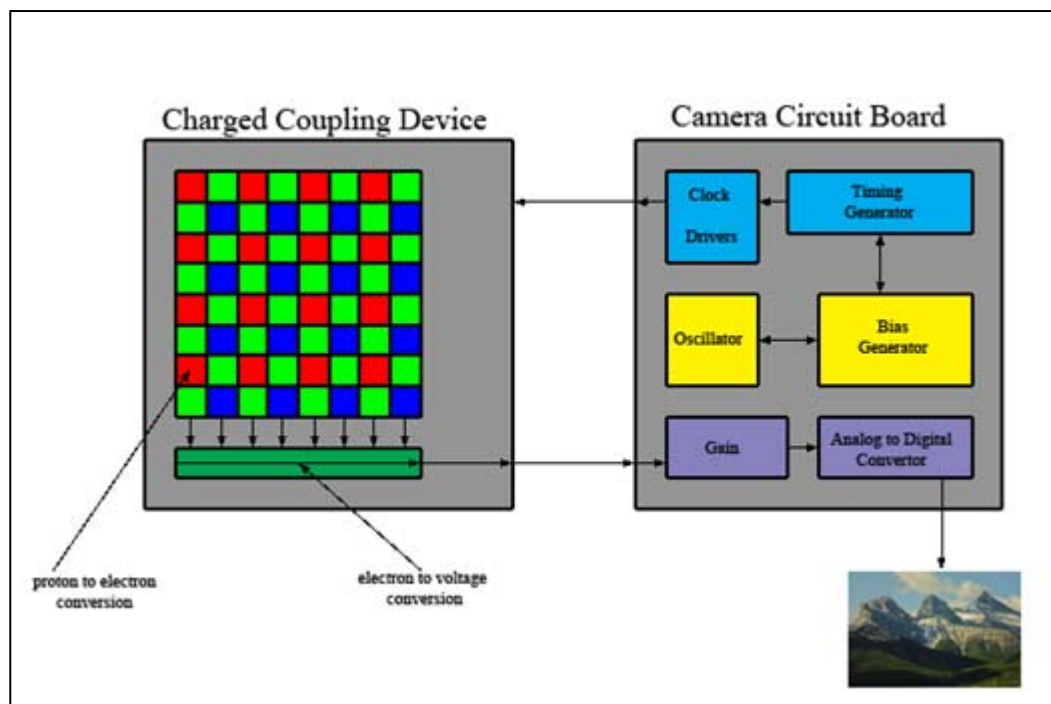
นั้นจะทำการคำนวณหาภาพ V-Disparity ซึ่งเป็นภาพที่แสดงค่าตำแหน่งของถนนและสิ่งกีดขวางที่อยู่บนถนน โดยค่าที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง จึงทำการค้นหาเส้นตรง (Hough Transform) เพื่อหาค่าตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่อยู่ในภาพ V-Disparity ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้ไปทำการแทนค่าในสมการถดถอยเชิงซ้อนจะทำให้ได้ค่าระยะทาง

2.3 พื้นฐานของภาพดิจิทัล

2.3.1 ภาพดิจิทัล (Digital Image)

Boyle, W.S., and Smith, G.E. (1969) ในขณะที่ได้ทำงานวิจัยให้กับ Bell Laboratories ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ทำหน้าที่รับแสงและให้ผลออกมาเป็นรูปได้ครั้งแรก โดยเซนเซอร์รับแสงแบบแรกของโลกเป็นแบบ Charge Coupled Device (CCD) หลังจากนั้นก็เป็นจุดเริ่มของการพัฒนากล้องดิจิทัล แม้ว่าในช่วงแรกของการสร้างกล้องดิจิทัลโลกตกอยู่ภายใต้สภาวะของสงครามเย็น ทำให้กล้องส่วนใหญ่ได้พัฒนามาเพื่อการทหารเป็นหลัก โดยกล้องดิจิทัลรุ่นแรกๆ นั้นได้รับการออกแบบให้ทำงานในอวกาศ เพื่อติดตั้งบนดาวเทียมสอดแนมของประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามการพัฒนาของกล้องดิจิทัลก็เหมือนกับอุปกรณ์เครื่องใช้หลายๆ แบบที่พบเห็นทั่วไปทุกวันนี้ นั่นคือมีจุดกำเนิดและการพัฒนาเพื่อผลประโยชน์ทางการทหาร จากนั้นก็นำมาสู่การใช้งานในชีวิตประจำวัน และยังเข้าสู่ภาคประชาชนทั่วไปมากขึ้น ก็จะพบว่ามีความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสูงขึ้น ในขณะที่ราคาของอุปกรณ์นั้นลดลงเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากกล้องดิจิทัลทุกวันนี้มีให้พบเห็นได้ทั่วไป พร้อมทั้งให้ความละเอียดของภาพที่สูงมากแต่มีราคาที่ย่ำแย่เป็นอย่างมากในปัจจุบันเซนเซอร์รับภาพที่มีการใช้งานมี 2 ประเภทหลัก ๆ คือ Charge Coupled Device (CCD) และ Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS)

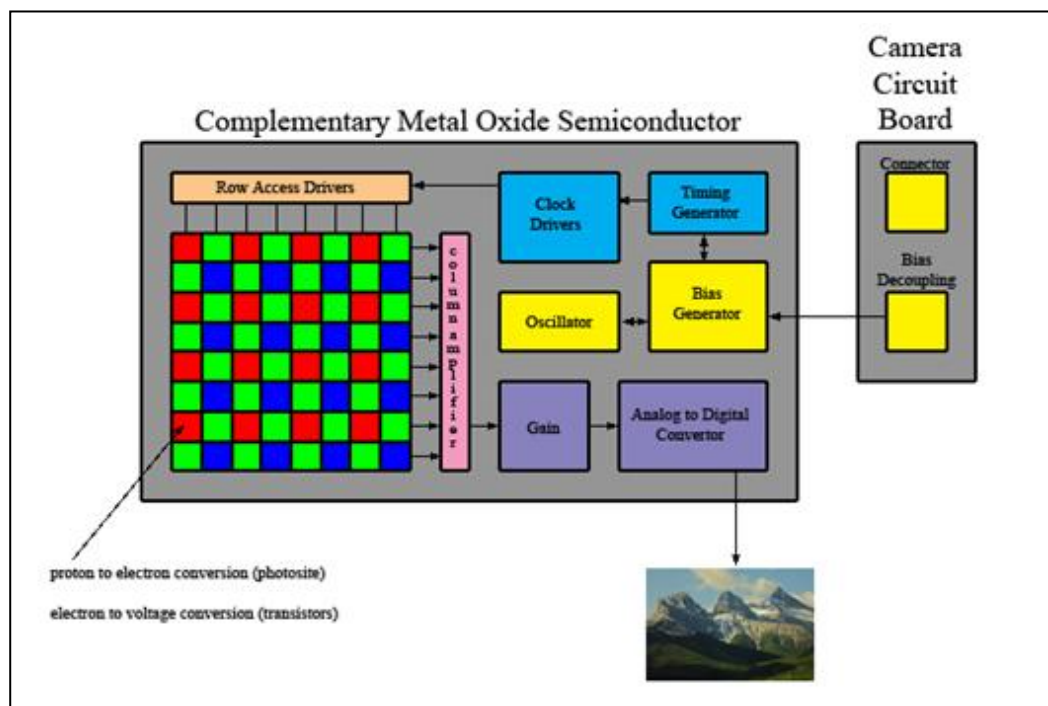
เซนเซอร์แบบ CCD มีลักษณะเป็นอุปกรณ์อนาล็อก ประกอบไปด้วยหลอดโฟโตไดโอดทำด้วยซิลิคอน เมื่อแสงตกกระทบตัวชิปแล้วจะถูกเก็บไว้เป็นประจุอิเล็กตรอน ปริมาณน้อยๆ ในตัวเซนเซอร์โดยมีการจัดเรียงเป็นจุดเล็กในกรอบสี่เหลี่ยม ดังนั้นจึงมีชิพเหล่านี้จำนวนมากวางเรียงกันในสองมิติเพื่อสร้างภาพขึ้นโดยชิพแต่ละจุดจะทำหน้าที่เป็นพิกเซลของเซนเซอร์รับภาพ เมื่อมีแสงตกกระทบที่พิกเซลซึ่งประจุเหล่านี้จะถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ละหนึ่งพิกเซลขณะที่ถูกอ่านจากตัวชิป จากนั้นกระแสไฟในตัวกล้องจะแปลงแรงดันไฟฟ้านี้ไปเป็นข้อมูลดิจิทัลอีกทีหนึ่งดังนั้นในกระบวนการเก็บภาพก็จะเป็นกระบวนการนำค่าประจุที่ตรวจจับได้ในแต่ละพิกเซลมาเปลี่ยนเป็นปริมาณแสงที่ตกกระทบที่พิกเซลนั้น เมื่อนำค่าเหล่านั้นมาเรียงต่อกันก็จะได้เป็นภาพดิจิทัลที่ได้จากกล้อง โดยหลักการทำงานของเซนเซอร์รับภาพแบบ CCD จะแสดงดังภาพ 2.1 รายละเอียดของค่าความเข้มแสงและพิกเซลจะกล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานเซนเซอร์รับภาพแบบ CCD

นอกเหนือจากเซนเซอร์แบบ CCD แล้วในปัจจุบันนี้มีเซนเซอร์รับแสงอีกแบบ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ นั่นคือเซนเซอร์รับแสงแบบ CMOS แต่ก็มี ความแตกต่างกันอยู่หลายประการ ชิปแบบ CMOS มีลักษณะเป็นเซนเซอร์พิกเซลตอบสนอง ที่สร้างโดยกระบวนการประจุถึงตัวนำ สำหรับ CMOS ซึ่งจะมีแผงวงจรเพิ่มขึ้นมาข้างเซนเซอร์ภาพเพื่อแปลงพลังงานแสงเป็น แรงดันไฟฟ้า จากนั้นแผงวงจรเสริมบนตัวชิปก็จะแปลงแรงดันไฟฟ้านั้นเป็นข้อมูลดิจิทัลได้ทันที ในด้านกระบวนการผลิตนั้นเซนเซอร์ CMOS นั้นจะมีกระบวนการผลิตเหมือนกับสารกึ่งตัวนำ ทั่วไป ทำให้สามารถใช้กระบวนการผลิตเวเฟอร์ (Wafer) ปกติได้ ขณะที่กระบวนการผลิต CCD เป็นกรรมวิธีโดยเฉพาะ ด้วยเหตุนี้เซนเซอร์ CMOS จึงสามารถที่จะผลิตคราวละมากๆ และมีราคา ที่ถูกกว่า CCD เซนเซอร์ และเนื่องจากความสามารถที่จะผลิตให้ CMOS เซนเซอร์มีขนาดเล็กลง ได้มากจึงทำให้ CMOS เซนเซอร์ผลิตรวมไปพร้อมกับหน่วยประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Unit) ไปพร้อมกันได้ อย่างไรก็ตามความสามารถในการตอบสนองต่อสัญญาณ ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะการตอบสนองต่อสัญญาณพลวัตนั้น เซนเซอร์แบบ CCD จะมีข้อ ได้เปรียบกว่า เซนเซอร์แบบ CMOS อยู่หลายด้าน ดังนั้นในปัจจุบันก็ต้องถ่วงน้ำหนักที่พบเห็นได้ทั่วไป

จึงมีทั้งแบบที่ใช้เซนเซอร์แบบ CCD และเซนเซอร์แบบ CMOS หลักการทำงานของเซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS ดังแสดงในที่ 2.2



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเซนเซอร์รับภาพแบบ CMOS

เทคโนโลยีทั้งสองแบบไม่ได้มีข้อได้เปรียบที่ชัดเจนในด้านคุณภาพของภาพ ในด้านหนึ่งเซนเซอร์แบบ CCD จะมีโอกาสเกิดรอยเบือนแนวยาวจากแหล่งแสงที่สว่างจ้าได้ยามที่ตัวเซนเซอร์ถูกใช้งานอย่างหนัก แต่อุปกรณ์ถ่ายเทประจุระดับสูงจะไม่ประสบปัญหานี้ส่วนเซนเซอร์ CMOS ก็มีโอกาสเกิดผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์จากชัตเตอร์แบบหมุน (Rolling Shutter) ได้มากกว่า

การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ CMOS สามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ประกอบที่น้อยกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า และสามารถแสดงผลได้เร็วกว่า CCD อีกทั้งเซนเซอร์แบบ CCD นั้นเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนามายาวนานกว่าและเทียบเคียงได้กับ CMOS ในหลาย ๆ ด้านและต้นทุนการผลิต CMOS ก็ต่ำกว่าเซนเซอร์ CCD มาก

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสถาปัตยกรรมที่เป็นลูกผสมระหว่าง CCD และ CMOS มีชื่อว่า “sCMOS” โดยประกอบไปด้วยแผงวงจรรวมสำหรับการอ่านผล CMOS

(CMOS readout integrated circuits - ROICs) ที่เชื่อมต่อวัสดุชั้นสตรทภาพ CCD ทั้งนี้เทคโนโลยีดังกล่าวถูกพัฒนาเพื่ออุปกรณ์ตรวจจับภาพอินฟราเรดและในปัจจุบันได้นำมาปรับใช้กับเทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจจับที่มีซิลิคอนเป็นส่วนประกอบ อีกกรรมวิธีหนึ่ง จะใช้ระยะที่เล็กมาก ๆ ที่มีในเทคโนโลยี CMOS รุ่นใหม่ ๆ ไปใช้กับโครงสร้างที่คล้ายกับ CCD ด้วยเทคโนโลยีของ CMOS ทั้งหมดหรือนำเทคโนโลยีดิจิทัลไปใช้กับโครงสร้างอนาล็อก โดยวิธีนี้จะใช้การแยกประจุโฟลชีลิกอนแต่ละช่องด้วยระยะที่เล็กมาก ๆ เช่น เซอร์เหล่านี้ยังคงอยู่ในขั้นตอนวิจัยและพัฒนา และจะสามารถผนวกเอาศักยภาพต่าง ๆ ของทั้ง CCD และ CMOS เข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ นับแต่ปี 2006 ทางบริษัทผู้ผลิตเซนเซอร์ Panasonic ยังได้พัฒนาเซนเซอร์ที่เรียกว่า Live-MOS โดยใช้เทคโนโลยี MOS ซึ่งให้ภาพคุณภาพสูงแต่กินพลังงานน้อยกว่า CCD เนื่องจากในแต่ละพิกเซลจะมีส่วนเชื่อมต่อที่น้อยลงภาพที่ได้จะเสมือนส่งผ่านให้ชมแบบ “ทันที”(Live) แม้จะไม่ได้ใช้กรรมวิธีการแปลงแบบดั้งเดิมในเซนเซอร์ CCD

ตัววัดประสิทธิภาพเซนเซอร์มีอยู่ด้วยกันหลายตัวที่สามารถนำมาใช้ประเมินประสิทธิภาพของเซนเซอร์รูปภาพ เช่น ช่วงรายละเอียดแสง (Dynamic Range) สัดส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio) เป็นต้น สำหรับตัวเซนเซอร์ประเภทที่เทียบเคียงกันได้นั้น ช่วงรายละเอียดแสงและสัดส่วนดังกล่าวจะสูงขึ้นเมื่อขนาดเพิ่มมากขึ้น

ในปัจจุบันมีการใช้งานเซนเซอร์รูปภาพทั้งแบบ CCD และ CMOS ซึ่งทั้งสองประเภทสามารถตรวจจับแสงและแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ได้เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยขบวนการผลิต และต้นทุนที่ถูกกว่า ทำให้ค่ายกล้องในปัจจุบันหันมาพัฒนาเทคโนโลยี CMOS กันมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนเรียกได้ว่าทุกวันนี้คุณภาพของภาพที่ได้ออกมาใกล้เคียง CCD เลยทีเดียวและในปัจจุบัน CMOS เริ่มมีส่วนแบ่งตลาดและเกือบจะทดแทนเทคโนโลยี CCD ทั้งหมดได้ในไม่ช้า

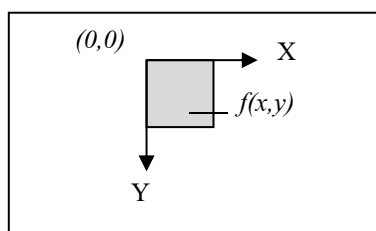
สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของภาพดิจิทัล ชนิดของของภาพรูปแบบการจัดเก็บไฟล์ภาพและลักษณะทั่วไปของภาพ ที่จะใช้โปรแกรม LabVIEW และ NI Vision ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2.3.2 นิยามของภาพดิจิทัล (Definition of a Digital Image)

ภาพดิจิทัลจะเป็นการจัดเรียงค่าต่อกันในสองมิติ (2-D Array) โดยค่าที่แสดงคือค่าความเข้มของแสงที่ตำแหน่งนั้น เนื่องจากงานวิจัยนี้เน้นไปที่กระบวนการประมวลผลภาพดิจิทัล (Image Processing) ดังนั้นคำว่า “ภาพ” (Image) ที่ใช้ในเอกสารนี้จะหมายถึง ภาพดิจิทัลเท่านั้น

ภาพจะเป็นฟังก์ชันของความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไปตามตำแหน่งของแกน x และ y ในระนาบสองมิติ หรือเขียนเป็นคณิตศาสตร์ จะเขียนได้ว่า ภาพคือฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปตาม

ตำแหน่ง x และ y หรือ $f(x,y)$ โดย $f(x,y)$ จะเป็นความสว่าง (Brightness) ของจุด (x,y) ซึ่ง x และ y จะแทนพิกัดในระนาบของส่วนเล็ก ๆ ของรูปภาพ ซึ่งจะใช้คำว่า Picture Element หรือเขียนย่อเป็น พิกเซล (Pixel) สำหรับข้อตกลงมาตรฐานจุดอ้างอิงของพิกเซลจะเริ่มด้วยพิกัด $(0,0)$ จะอยู่ที่ตำแหน่งบนซ้ายของรูปภาพและแกน x จะเป็นแกนในแนวนอน ค่าเพิ่มจากซ้ายไปขวา สำหรับค่า y จะเป็นแกนในแนวตั้งและจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากบนลงล่างดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกำหนดตำแหน่งของพิกเซล

ในการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เซนเซอร์รับภาพ (Image Sensor) จะทำหน้าที่เปลี่ยนรูปภาพตามธรรมชาติเป็นจำนวนเต็มหน่วย (Discrete Number) สำหรับเป็นค่าของในแต่ละพิกเซล โดยเซนเซอร์รับภาพ จะกำหนดค่าตัวเลขแสดงตำแหน่งให้กับแต่ละพิกเซลพร้อมทั้งกำหนดค่าความสว่างให้กับพิกเซลนั้นด้วย ซึ่งค่าความสว่างอาจจะเป็นระดับสีเทา (Gray Level) ในกรณีที่ภาพที่เก็บมาเป็นภาพขาวดำ และอาจจะกำหนดเป็นค่าระดับสี (Color Value) ในกรณีที่ภาพที่เก็บเป็นภาพสี

2.3.3 คุณสมบัติของภาพดิจิทัล

Digital Image จะมีคุณสมบัติพื้นฐานสามประการ คือ ความละเอียด (Resolution) ขอบเขต (Definition) และจำนวนระนาบ (Number of Plane)

1. ความละเอียดของภาพ (Image Resolution)

ความละเอียดของรูปภาพ จะกำหนดด้วยจำนวนของพิกเซลในแต่ละแถวอน (Rows) และแถวตั้ง (Columns) ดังนั้นการพิจารณาภาพดิจิทัลจะได้ว่าภาพที่ประกอบด้วยจำนวนพิกเซลที่มีแถวตั้งจำนวน m -Columns และมีแถวอนจำนวน n -Rows จะเรียกภาพดิจิทัลมีความละเอียดเท่ากับ $m \times n$ ดังนั้นเมื่อกำหนดความละเอียดของรูปมาให้จะทำให้ทราบว่ารูปนี้มีจำนวน m พิกเซลในแนวแกนระดับ และจำนวน n พิกเซลในแนวแกนตั้ง

2. เพลฟิเนียนของภาพ (Image Definition)

เคฟฟินิชันหรือขอบเขตของภาพ จะเป็นตัวเลขแสดงถึงจำนวนแอสกีที่เราสามารถเห็นได้จากรูปภาพ โดยปกติจะต้องมีการกำหนดโดยเลขฐานสอง ซึ่งจำนวนบิต (Bit) ของเลขฐานสองที่ใช้ในการเข้ารหัส (Encode) เพื่อกำหนดค่าให้กับแต่ละพิกเซล ดังนั้นเมื่อมีการกำหนดจำนวนบิตหรือ Bit Depth ให้เท่ากับ n ภาพดิจิทัลก็จะมีค่าเคฟฟินิชันของภาพเท่ากับ 2^n ยกตัวอย่างเช่น ถ้า $n = 8$ จะทำให้แต่ละพิกเซลสามารถที่จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 255 หรือ 256 ค่า ส่วนในกรณีถ้ารูปภาพนั้นมีจำนวนบิต เท่ากับ 16 แต่ละพิกเซลก็จะมีค่าแตกต่างกันได้ 65,536 ค่า ซึ่งอาจอยู่ในช่วง 0 ถึง 65,535 หรือจาก -32,768 ถึง 32,767 ก็เป็นไปได้ขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่ใช้ จะกำหนดดังนั้นภาพแบบที่กำหนดด้วยระดับสีเทาที่มีเคฟฟินิชันของภาพเท่ากับ 256 จะทำให้มีระดับของแอสกีเทาทั้งสิ้นจำนวน 256 แอสกีนั่นเอง

สำหรับโปรแกรมที่ใช้คือ NI Vision สามารถที่จะประมวลผลภาพได้หลายแบบ อาทิเช่นแบบ 8 12 14 และ 16 บิต แบบเลขทศนิยม (Floating Point) และแบบการเข้ารหัสภาพสี (Color Encoding) ได้ สำหรับในการเข้ารหัส รูปภาพควรจะเลือกจำนวนบิตที่ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ถ้าเราต้องการพิจารณาเพียงรูปทรงภายนอกของภาพ การเข้ารหัสแบบ 8 บิต ก็เพียงพอต่อการประมวลผล อย่างไรก็ตามถ้าหากต้องการการวัดค่าความเข้มของแสงที่ตกกระทบในแต่ละพิกเซลให้แม่นยำที่สุด ก็ควรจะเลือกใช้การเข้ารหัสแบบ 16 บิต หรือแบบเลขทศนิยม เพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดที่สุด

ส่วนการเลือกใช้การเข้ารหัสภาพสีควรจะเลือกใช้เฉพาะในงานที่การมองเห็นของเครื่องจักร (Machine Vision) หรือการประมวลผลภาพ (Image Processing) ที่ต้องการมีความจำเป็นจะต้องแยกสีที่บรรจุในภาพเพื่อให้เกิดความชัดเจนในการประมวลผลภาพ ไมเช่นนั้นแล้วการใช้ภาพสีในกรณีของงานธรรมดา จะทำให้การประมวลผลช้าโดยไม่มีผลกระทบใดที่สำคัญเกิดขึ้นเลย

3. จำนวนระนาบ (Number of Planes)

จำนวนระนาบของภาพหมายถึงจำนวนลำดับ (Arrays) ของพิกเซลที่ใช้ประกอบกันขึ้นเป็นรูปภาพ โดยในรูปที่เป็นแบบระดับสีเทา (Grayscale Image) หรือรูปภาพแบบเสมือนภาพสี (Pseudo-Color Image) ภาพจะประกอบด้วยระนาบเพียงระนาบเดียวในการกำหนดสีของรูปภาพ สำหรับในส่วนของการภาพสีจริง (True-Color Image) ภาพที่สร้างขึ้นจะประกอบด้วยระนาบจำนวน 3 ระนาบ โดยแต่ละระนาบจะบรรจุความเข้มของแม่แสงไว้นั้นคือระนาบของสีแดง สีน้ำเงินและสีเขียว สำหรับแต่ละพิกเซล ดังนั้นในภาพสีแต่ละพิกเซลจะประกอบด้วยจำนวนลำดับของการเข้ารหัสจำนวน 3 อันดับ เมื่อรวมค่าทั้งสามลำดับหรือสามระนาบเข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้ได้ภาพสีที่แท้จริง

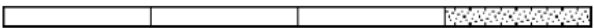
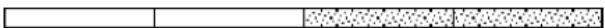
อย่างไรก็ตามสำหรับภาพสีจริงค่าในแต่ละส่วนของลำดับจะสามารถบอกค่าความเข้มของจำนวนสีแต่ละพิกเซลได้ 2 วิธี แบบแรกเป็นการเข้ารหัสโดยบอกความเข้มของแม่แสงโดยตรง โดยจะบอกความเข้มของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินตามลำดับ การเข้ารหัสแบบนี้นิยมเรียกว่าการเข้ารหัสสีแบบ RGB Image ส่วนการเข้ารหัสประเภทที่สองจะเป็นการบอกค่าของสีด้วยค่า Hue Saturation และ Luminance หรือ HSL Image ซึ่งอยู่นอกขอบข่ายที่จะกล่าวถึงในที่นี้

2.3.4 ประเภทของภาพ (Image Types)

ใน NI Vision นั้นจะสามารถประมวลผลภาพได้ 3 ประเภท คือ ภาพระดับสีเทา ภาพสี และภาพสีเชิงซ้อน (Complex Image) อย่างไรก็ตาม แม้ว่า NI Vision จะสามารถรองรับรูปแบบของภาพทั้ง 3 รูปแบบได้ แต่ก็จะมีกระบวนการบางกระบวนการที่ไม่สามารถใช้กับภาพบางประเภทได้ เช่น จะไม่สามารถใช้ Logic AND กับรูปภาพประเภทภาพสีเชิงซ้อนได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นฐานในการเข้ารหัสภาพแต่ละแบบ

จากตาราง 2.1 แสดงให้เห็นภาพประเภทต่าง ๆ และจำนวนไบต์ (Byte) ที่ใช้ในแต่ละประเภททั้งภาพที่เป็นแบบภาพระดับสีเทา ภาพสี และภาพสีเชิงซ้อน ดังนั้นสำหรับรูปที่มีความละเอียดเท่ากัน รูปสีจะใช้หน่วยความจำมากกว่ารูปที่เป็นแบบระดับสีเทา 8 บิต อยู่ถึง 4 เท่า และรูปแบบภาพสีเชิงซ้อนจะใช้หน่วยความจำมากกว่ารูปแบบระดับสีเทา 8 บิตอยู่ถึง 8 เท่า

ตารางที่ 2.1 จำนวนไบต์ที่ใช้ในแต่ละพิกเซลของภาพประเภทต่าง ๆ

ประเภทของภาพ	จำนวนไบต์ที่ใช้ในแต่ละพิกเซล
ภาพระดับสีเทา แบบ 8 บิต เลขจำนวนเต็ม	 8-Bit for the Grayscale Intensity
ภาพระดับสีเทา แบบ 16 บิต เลขจำนวนเต็ม	 16-Bit for the Grayscale Intensity
ภาพระดับสีเทา แบบ 32 บิต เลขทศนิยม	 32-Bit for the Grayscale Intensity
ภาพสีจริง RGB แบบ 32 บิต	 8-Bit for the Alpha Value (Not Used) 8-Bit for the Red Intensity 8-Bit for the Green Intensity 8-Bit for the Blue Intensity
ภาพสีจริง HSL แบบ 32 บิต	 8-Bit Not Used 8-Bit for the Hue 8-Bit for the Saturation 8-Bit for the Luminance
ภาพสีจริงเชิงซ้อน แบบ 64 บิต	 32-Bit Floating for the Real Part 32-Bit for the Imaginary Part

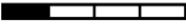
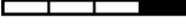
1. ภาพระดับสีเทา

ภาพที่เข้ารหัสแบบระดับสีเทาภาพนั้นจะประกอบด้วยพิกเซลที่อยู่ในระนาบ 1 ระนาบ โดยแต่ละพิกเซลอาจเข้ารหัสโดยใช้เลขจำนวนเต็มใด ๆ ได้ตามวิธีการต่อไปนี้

- ใช้ 8 บิต แบบไม่มีเครื่องหมาย (8-Bit Unsigned Integer) เป็นเลขจำนวนเต็มระหว่าง 0 ถึง 255 แทนค่าระดับความเข้มของสีดำ
- ใช้ 16 บิต แบบมีเครื่องหมาย (16-Bit Signed Integer) มีค่าระดับความเป็นสีดำระหว่าง -32,768 ถึง 32,767
- ใช้เลขทศนิยมแบบความแม่นยำเดี่ยว (Single-Precision Floating Point Number) เข้ารหัสโดยใช้ 4 ไบต์ หรือ 32 บิตเป็นค่าระดับความดำซึ่งจะแสดงค่าในช่วง $-\infty$ ถึง $+\infty$

2. ภาพสี

การเข้ารหัสเพื่อให้ได้ภาพสีนั้นจะมีการเข้ารหัสระดับความเข้มของสี 3 สี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ในระบบ RGB หรือในอีกวิธีการหนึ่งจะเป็นการแสดงด้วยค่า Hue Saturation และ Luminance หรือภาพแบบ HSL โดยในการเข้ารหัสของภาพสีทั้งสองแบบจะเป็นการเข้ารหัสที่ให้แต่ละพิกเซลมีค่าลำดับ 4 ค่า สำหรับภาพ RGB จะเก็บค่าโดยใช้เลข 8 บิต เพื่อเก็บค่าสี R-G-B ในแต่ละระนาบ ส่วน HSL ก็จะใช้เลข 8 บิตสำหรับค่า H-S-L ของแต่ละพิกเซลเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 2.4 สำหรับภาพเข้ารหัสแบบ RGB-U64 จะเป็นการเก็บข้อมูลรหัสโดยใช้เลข 16 บิต สำหรับสี R-G-B ในแต่ละระนาบ อย่างไรก็ตามภาพสีที่ใช้อยู่โดยทั่วไปจะมีการเตรียมระนาบของสีไว้จำนวนทั้งสิ้น 4 ระนาบ ดังนั้นจะมีระนาบที่ไม่ได้ใช้งานในกรณีภาพสีบางแบบอยู่หนึ่งระนาบดังแสดงในตารางที่ 2.1 และเนื่องจากการเตรียมระนาบไว้ 4 ระนาบ จึงมีการเรียกรูปสีเหล่านี้ว่าเป็นแบบ 4x8 บิต หรือการเข้ารหัสแบบ 32 บิต ส่วนภาพที่มีเฉดสี 16 บิต ก็จะเรียกว่าภาพ 4x16 บิตหรือการเข้ารหัสแบบ 64 บิต

Alpha Plane (Not Used)	
Red or Hue Plane	
Green or Saturation Plane	
Blue or Luminance Plane	

รูปที่ 2.4 ระนาบที่บรรจุภาพสี

3. ภาพสีเชิงซ้อน

ในการเข้ารหัสของภาพสีเชิงซ้อนจะเป็นการบอกค่าความถี่ (Frequency) ของภาพระดับสีเทาซึ่งการสร้างภาพสีจะสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนโดเมนที่ภาพนั้นอยู่ในสามารถสร้าง Complex Image ได้โดยการใช้ Fast Fourier Transform (FFT) เข้ากับรูปที่ต้องการ และเมื่อเราเปลี่ยนค่าของภาพระดับสีเทา ให้ไปอยู่ในรูปของภาพสีเชิงซ้อน แล้วเราจะสามารถใช้การคำนวณหรือดำเนินการต่าง ๆ ในโดเมนความถี่เชิงซ้อนกับภาพที่เรากำลังวิเคราะห์ได้

สำหรับในแต่ละพิกเซลของภาพเชิงซ้อน ภาพจะถูกเข้ารหัสด้วยตัวเลขทศนิยม ความแม่นยำเดียว 2 จำนวน ซึ่งแต่ละจำนวนก็จะแทนค่าของส่วนจริงและอีกจำนวนหนึ่งจะแทนส่วนของจำนวนจินตภาพตามลำดับ เราสามารถทราบค่าที่สำคัญ 4 องค์ประกอบออกจากภาพเชิงซ้อน นั่นคือส่วนจริง ส่วนจินตภาพ ขนาด (Magnitude) และ เฟส (Phase)

2.3.5 ประเภทของไฟล์ภาพ (Image File)

ประเภทของไฟล์ภาพที่นิยมใช้ในการเก็บภาพสำหรับคอมพิวเตอร์นั้นมีหลายประเภท ซึ่งจะมีลักษณะการจัดเก็บขนาดของไฟล์ที่แตกต่างกันแต่ในไฟล์รูปภาพจะมีส่วนประกอบสำคัญที่เหมือนกันหลายจุด ในส่วนแรกไฟล์จะประกอบด้วยหัวไฟล์ (Header) หรือหัวเรื่องซึ่งบอกลักษณะเฉพาะของไฟล์นั้น จากนั้นจะตามด้วยค่าพิกเซลซึ่งรายละเอียดการกำหนดค่าต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับประเภทหรือรูปแบบของไฟล์ (File Format) แต่โดยทั่วไป หัวเรื่องของไฟล์จะบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับไฟล์ เช่น จำนวนพิกเซลในแต่ละแถวบนและแถวตั้ง ค่าเฉฟฟินันซ์ของพิกเซล และค่าอื่น ๆ นอกเหนือจากนั้นไฟล์รูปอาจจะบรรจุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเบี่ยงวัด (Calibration) รูปแบบการจับคู่ (Pattern Matching Templates) และ Overlay ซึ่งนิยามของข้อมูลเหล่านี้จะกล่าวในภายหลัง ส่วนรูปแบบไฟล์ดิจิทัลที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

- Bitmap (BMP)
- Tagged Image File Format (TIFF)
- Portable Network Graphic (PNG) โดยไฟล์นี้จะให้ข้อมูลที่สำคัญหลายแบบ

เช่น การย่อ – ขยายรูปภาพ Calibration Pattern Matching และ Overlay

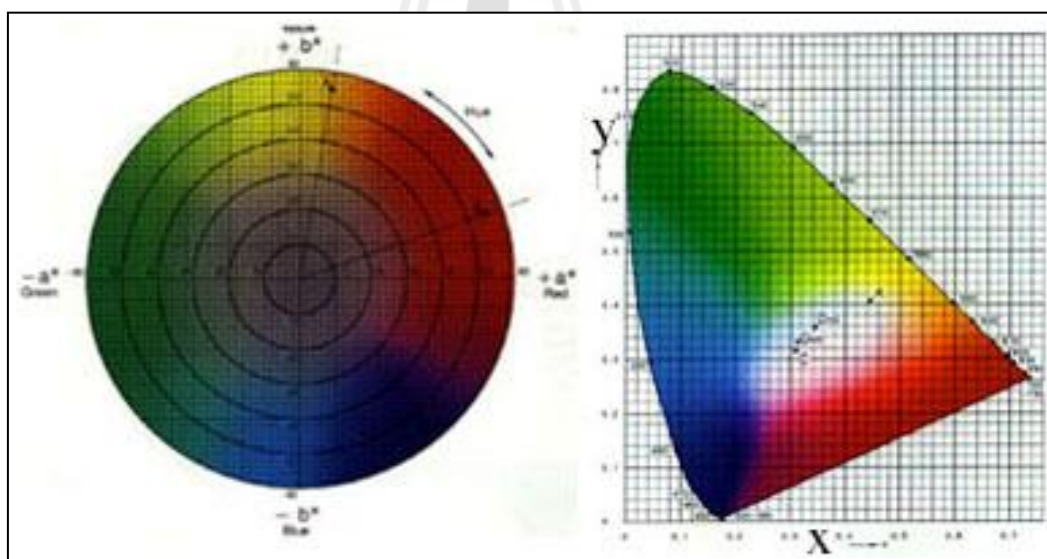
- Joint Photographic Experts Group Format (JPEG)
- National Instrument Internal Image File Format (AIPD) ใช้ในการเก็บไฟล์

แบบเลขทศนิยม ภาพสีแบบเชิงซ้อน และภาพสีแบบ HSL

สำหรับโปรแกรมที่ใช้จะเป็นโปรแกรมที่สามารถรับรูปแบบไฟล์ได้หลายแบบ ประกอบด้วย รูปแบบไฟล์มาตรฐาน แบบระดับสีเทา 8 บิต ส่วนไฟล์ภาพสีแบบ RGB จะมีรูปแบบได้หลายแบบคือ BMP TIFF PNG JPEG และ AIPD ส่วนมาตรฐานของระดับสีเทา 16 บิต ระบบสี RGB แบบ 64 บิตและภาพเชิงซ้อน จะใช้ไฟล์ในรูปแบบของ PNG และ AIPD

2.3.6 ปริภูมิสี (Color space)

สีเป็นปรากฏการณ์ของการรับรู้ของมนุษย์ เกิดจากมีแสงไปตกกระทบบนเรตินา ภายในตาของเรา แล้วเรตินาจะมีเซลล์รับแสง ซึ่งส่งสัญญาณสีไปยังสมอง และสมองก็แปลออกมาเป็นสี ดังนั้นสีจึงเป็นสิ่งที่จับต้องไม่ได้ แต่รับรู้ผ่านการมองเห็น ความสามารถในการมองเห็นของคนเรานั้นแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างนั้นมีไม่มากนัก และความสามารถในการมองเห็นสีของเราที่ดีเยี่ยมซะด้วย มีนับเป็นล้านสี แต่คำที่จะอธิบายสีที่เราเห็นนั้นมีน้อยมาก แค่อธิบายสีเท่านั้น ดังนั้นในการสื่อสารด้านสีจึงกำหนดให้มีเครื่องมือสำหรับวัดสีขึ้นมา แล้วให้ค่าตัวเลขจากการวัดภาพด้านล่างเป็นค่าสีของแสง ซึ่งเป็นสีที่มนุษย์มองเห็นได้



รูปที่ 2.5 Chromaticity Diagram และ CIELAB

เมื่อเกิดตัวเลขซึ่งสามารถแทนค่าสีได้จึงเกิดปริภูมิสีขึ้นมา รูปที่ 2.5 แสดงปริภูมิสี CIEYxy และ CIELAB จะเห็นได้ว่าสีทั้งหมดที่แสดงนั้นเป็นค่าสีที่มนุษย์สามารถมองเห็น

ปริภูมิสี Color space คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงค่าของสีออกมาในรูปแบบของตัวเลขและมีการแยกออกเป็น แม่สีต่าง ๆ โดยทั่วไปจะมีการใช้งาน 3 หรือ 4 แม่สี ใน

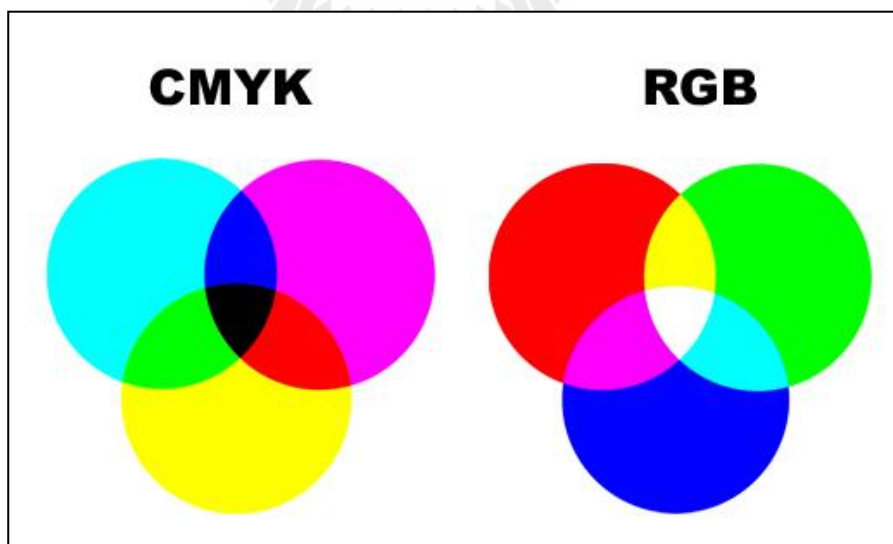
ส่วนของ NI Vision นั้นมีการประมวลโดยการแยกระนาบของสี (Color plane) ในหลายส่วนของโปรแกรมในการใช้งานมีการแยกหรือใช้งานปริภูมิสีที่หลากหลายมาก แต่ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับงานวิจัยนี้จะมีการใช้งานปริภูมิสีอยู่ 4 แบบคือ RGB CMYK HSL HSV

1. ปริภูมิสีแบบ RGB

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำมาผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตามองเห็นปกติ สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีมีความเข้มมาก เมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่าแบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวก

2. ปริภูมิสีแบบ CMYK

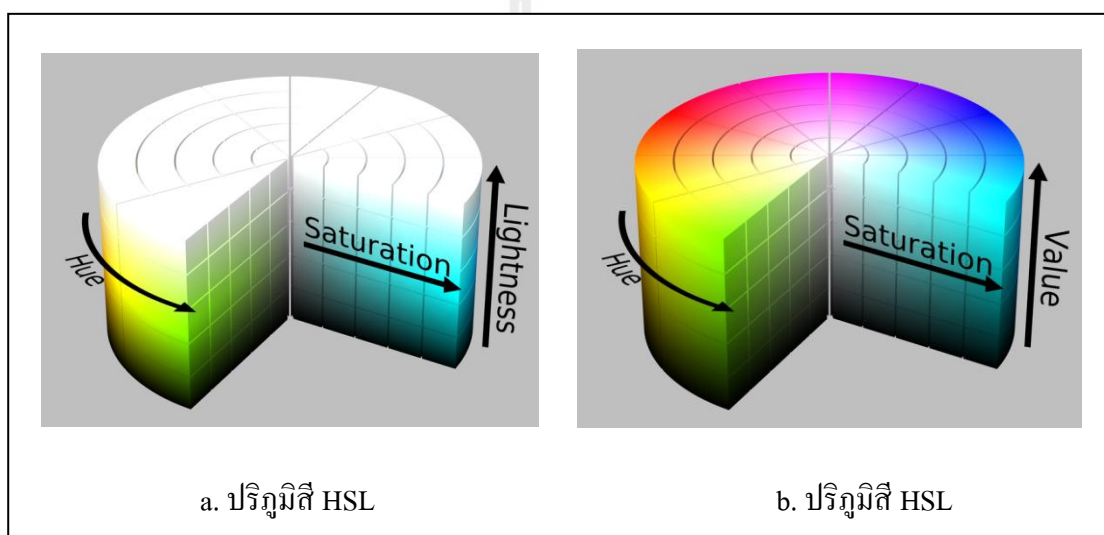
เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ออกทางกระดาษหรือวัสดุผิวเรียบอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย สีหลัก 4 สี คือ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดสีเป็นสีดำ แต่จะไม่ดำสนิท เนื่องจากหมึกพิมพ์มีความไม่บริสุทธิ์ จึงเป็นการผสมสีแบบลบ (Subtractive) หลักการเกิดสีของระบบนี้ คือ หมึกสีหนึ่งจะดูดกลืนแสงจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่าง ๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลัก ของระบบ RGB การเกิดสีในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบการแสดงสีในปริภูมิ CMYK และ RGB

3. ปฏิภูมิสีแบบ HSL, HSV

เป็นระบบสีแบบการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Hue คือ สีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตาของเรา ซึ่งมักจะเรียกสีตามชื่อสี เช่น สีเขียว สีเหลือง สีแดง เป็นต้น Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก Lightness คือ ระดับความสว่างของสี โดยค่าความสว่างของสีค่ายิ่งมากความสว่างของสีก็ยิ่งมีมากขึ้น



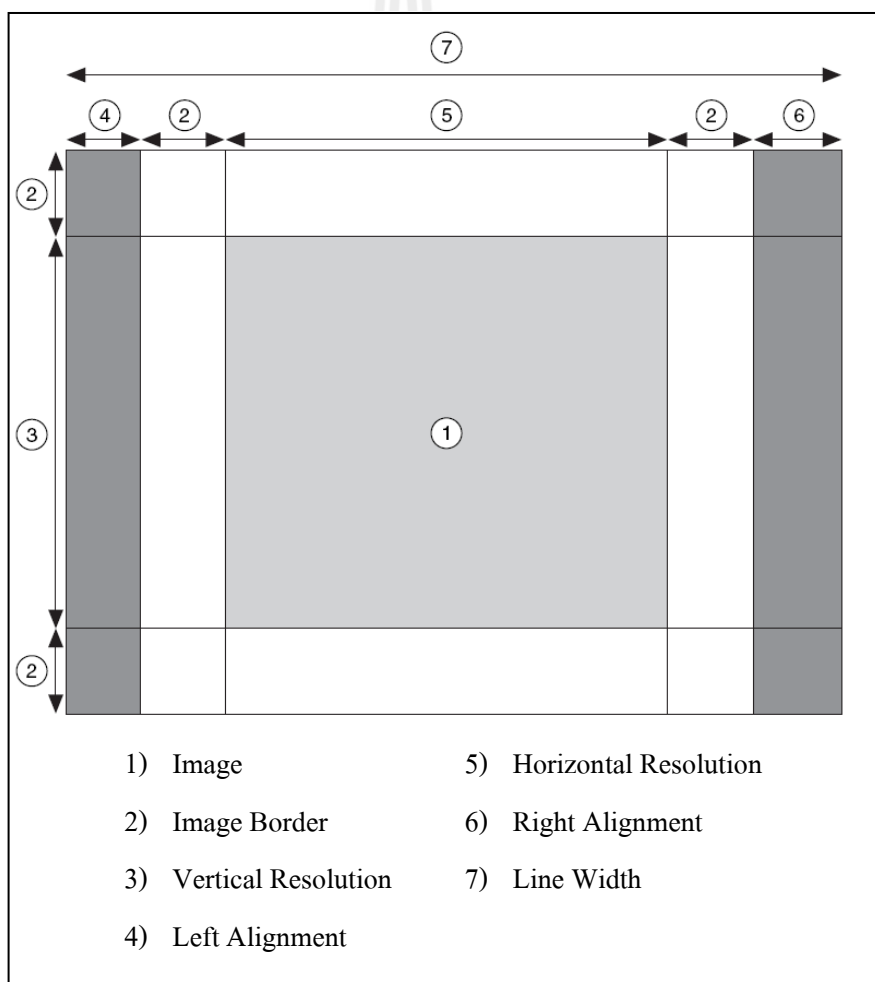
รูปที่ 2.7 แสดงปฏิภูมิสี HSL HSV

2.3.7 รายละเอียดของรูปภาพของ NI Vision

เมื่อมีการนำภาพเข้ามาเพื่อทำการประมวลผลและวิเคราะห์ผล โปรแกรมจะปรับเปลี่ยนค่าบางส่วนของรูปนั้นเพื่อให้เหมาะกับการทำงานของโปรแกรม เมื่อมีการนำรูปภาพเข้ามาใช้โดยโปรแกรม NI Vision จะมีการปรับรายละเอียดให้เหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งรายละเอียดภายในของโปรแกรมเมื่อพิจารณารูปภาพจะเป็นไปในลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า NI Vision มีกระบวนการจัดการรูปภาพในหน่วยความจำอย่างไรบ้าง นอกเหนือจาก Image Pixel แล้ว รูปภาพยังจะประกอบด้วยแถวบนและแถวตั้งที่เพิ่มเติมขึ้นมาอีก เรียกว่า ขอบภาพ (Image Border) และยังมี ค่าการจัดชิดขอบซ้าย (Left Alignments) และค่าการจัดชิดขอบขวา (Right Alignments) สาเหตุที่ต้องมีการจัดทำองค์ประกอบภายในเช่นนี้ก็เพราะว่าใน

ฟังก์ชันบางแบบที่ใช้ในการประมวลผลภาพนั้น อาจจะเป็นที่จะต้องใช้ขอบของภาพในการประมวลผลและสำหรับในส่วน of พื้นที่จัดชิดขอบ (Alignment Regions) มีไว้เพื่อให้มั่นใจว่าพิกเซลแรกของจำนวน 32 ไบท์นั้นจะอยู่ในตำแหน่งหน่วยความจำที่ถูกต้องโดยขนาดของการจัดขอบ (Alignment Blocks) จะขึ้นกับความกว้างของรูปและขนาดของขอบ การจัดเรียงภาพจะทำให้การประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพและความเร็วสูงขึ้นเพิ่มขึ้นได้สูงสุดถึง 30%

ความกว้างของเส้น (Line Width) หมายถึงจำนวนพิกเซลในเส้นตามแนวระดับในภาพ ซึ่งเป็นผลรวมของผลความละเอียดในแนวระดับ ขอบของภาพและการจัดเรียงซ้ายและขวา ค่าความละเอียดในแนวระดับและความกว้างของเส้นอาจมีค่าเท่ากัน ถ้าหากว่าค่าความละเอียดในแนวระดับเป็นจำนวนเท่าของตัวเลข 32 ไบท์และขนาดของขอบมีค่าเท่ากับ 0



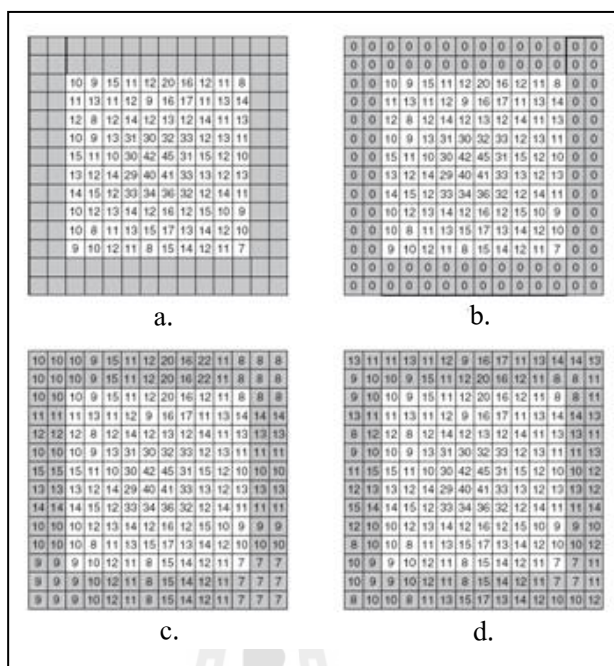
รูปที่ 2.8 องค์ประกอบภายในของภาพที่ใช้ในโปรแกรม NI Vision

1. ขอบภาพ

ในการประมวลผลภาพส่วนใหญ่แล้วเมื่อมีการประมวลผลค่าที่พิกเซลใด ๆ มักจะต้องใช้ค่าของพิกเซลที่อยู่รอบ ๆ ข้างมาใช้ในการประมวลผลด้วย เช่น การดูว่าค่าความเข้มของภาพนั้นเพิ่มขึ้นหรือลดลง หรือการหาค่าเฉลี่ยของภาพบนพื้นที่ที่ต้องการเป็นต้น พิกเซลที่อยู่รอบข้าง (Neighbors) จะเป็นพิกเซลที่มีผลกระทบต่อการคำนวณของค่าพิกเซลอื่น ๆ ต่อไป อย่างไรก็ตามพิกเซลที่อยู่ตามขอบ จะมีพิกเซลที่อยู่รอบข้างน้อยกว่าพิกเซลที่อยู่ห่างขอบไปมาก ๆ เช่น พิกเซลที่อยู่ขอบซ้ายสุดจะไม่มีพิกเซลรอบข้างด้านซ้ายเลย ดังนั้นค่าที่ใช้ในการคำนวณของฟังก์ชันนั้นจึงไม่ครบถ้วน ทำให้โปรแกรมที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพทำการสร้างขอบของภาพเพิ่มเติมขึ้นมาโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เมื่อการประมวลผลภาพต้องการค่าพิกเซลที่ใกล้เคียงพิกเซลที่กำลังประมวลผลอยู่ จะได้มีค่าส่งไปคำนวณอย่างครบถ้วนค่าขอบภาพจะกำหนดด้วยจำนวนพิกเซลที่ใช้เป็นขอบและค่าของพิกเซลที่ขอบเหล่านั้น

ขนาดของขอบควรจะต้องมีขนาดให้เหมาะสมกับฟังก์ชันในโปรแกรมที่จะใช้ในการคำนวณ นั่นคือต้องกำหนดให้มีขนาดจำนวนพิกเซลมากพอที่ฟังก์ชันที่เรียกใช้จะสามารถนำพิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงไปใช้ได้อย่างครบถ้วน ซึ่งขนาดของพิกเซลใกล้เคียงนี้จะบอกเป็นค่าลำดับในสองมิติ (2D Array) เช่น ถ้าฟังก์ชันที่เรียกใช้จำเป็นต้องใช้พิกเซลที่อยู่ใกล้เคียงจำนวน 8 พิกเซลในการคำนวณ ขนาดของพิกเซลใกล้เคียงจะบอกเป็นเมตริกซ์ขนาด 3x3 ซึ่งหมายถึงจะมีพิกเซลในสามแถวตั้งและสามแถวนอน โดยพิกเซลที่อยู่ตรงกลางเป็นพิกเซลที่กำลังพิจารณาและพิกเซลที่เหลือเป็นพิกเซลใกล้เคียง ดังนั้นเราจึงควรกำหนดขนาดของขอบมากกว่าหรือเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนแถวตั้งหรือแถวนอนในเมตริกซ์สองมิตินั้น ดังนั้นจากตัวอย่างที่ได้กล่าวมาขนาดของขอบอย่างน้อยต้องเป็น 1 แต่ถ้าฟังก์ชันที่ใช้ต้องใช้พื้นที่เมตริกซ์ขนาด 5x5 ก็จะต้องมีความกว้างของขอบไม่น้อยกว่า 2 สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในที่นี้คือ NI Vision จะมีการสร้างขอบให้อัตโนมัติ โดยขนาดของขอบจะสร้างให้มีขนาด 3 พิกเซล ดังนั้นจึงรองรับพื้นที่การวิเคราะห์ได้ในขนาด 7x7 โดยไม่ต้องมีการใช้คำสั่งใดเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามในกรณีที่ผู้ใช้งานมีความต้องการขนาดของขอบมากกว่านี้ ผู้ใช้ก็สามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้ด้วยตนเอง

โดยโปรแกรม NI Vision มีวิธีการอยู่ 3 วิธีที่จะใช้ในการกำหนดค่าของพิกเซลที่ขอบที่โปรแกรมสร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นค่าของพิกเซลที่ขอบทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 0 ดังแสดงในรูปที่ 2.9b อย่างไรก็ตามผู้ใช้สามารถที่จะนำค่าที่อยู่ในตำแหน่งที่ติดกับขอบให้ไปใช้เป็นค่าที่ขอบได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9c หรือไม่เช่นนั้นอาจจะใช้วิธีการสะท้อน (Mirror) ค่าที่อยู่ติดกับแนวขอบให้ไปเป็นค่าที่ขอบก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9d



รูปที่ 2.9 วิธีการกำหนดค่าพิกเซลที่อยู่ในขอบด้วยวิธีต่าง ๆ

วิธีการที่จะใส่ค่าให้กับพิกเซลที่อยู่ในบริเวณขอบขึ้นอยู่กับวิธีการหรือฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมวลผลภาพ ดังนั้นก่อนที่จะเลือกวิธีการกำหนดค่าให้กับพิกเซลเหล่านั้นผู้ใช้จำเป็นต้องต้องทราบว่าฟังก์ชันที่จะใช้มีลักษณะการทำงานอย่างไร เพราะการเลือกวิธีการใส่ค่าให้กับพิกเซลที่ขอบจะมีผลกระทบโดยตรงต่อการประมวลผลของฟังก์ชันนั้น ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการใช้ฟังก์ชันที่ต้องการจะค้นหาขอบ (Edge Detection) ในกรณีนี้ไม่ควรที่จะมีการกำหนดค่าให้กับค่าพิกเซลที่ขอบเป็นศูนย์ทั้งหมด เพราะการที่กำหนดค่าในขอบเป็นศูนย์จะทำให้เกิดความแตกต่างของค่าพิกเซลบริเวณที่ติดกับขอบเป็นอย่างมาก จนทำให้โปรแกรมเข้าใจว่าค่าที่ขอบรูปกลายเป็นค่าของวัตถุในรูป ซึ่งในความเป็นจริงไม่ได้เป็นเช่นนั้น ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมน่าจะเป็นวิธีการทำสำเนาค่าที่ติดกับขอบเข้าไปในพิกเซลที่อยู่ในส่วนขอบจะเป็นการเหมาะสมกว่า

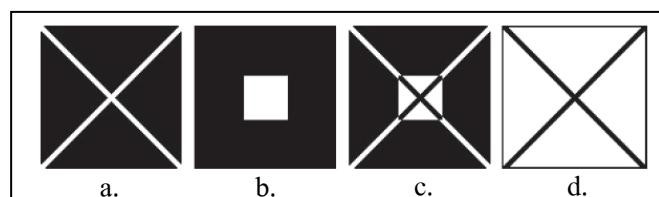
ใน NI Vision ภาพส่วนใหญ่จะถูกปรับให้มีค่าในส่วนขอบเพื่อให้เหมาะสมกับฟังก์ชันที่ใช้และลักษณะของภาพ เช่น การใช้ฟังก์ชัน Low Pass Filter ของภาพระดับสีเทาหรือฟังก์ชันการกำหนดขอบจะใช้วิธีการนำค่าสะท้อนของค่าพิกเซลที่อยู่ติดขอบไปเป็นค่าพิกเซลในขอบ ส่วนฟังก์ชัน (1) Binary Morphology (2) Grayscale Morphology และ (3) Segmentation Functions

จะใช้วิธีการทำสำเนา ส่วนฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับ (1) Correlate (2) Circles (3) Reject Border (4) Remove Particles (5) Skeleton และ (6) Label Functions จะใช้วิธีการกำหนดค่าในพื้นที่ที่รอบให้มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมดอย่างไรก็ตามค่าที่กำหนดในส่วนพิกเซลที่ขอบนั้นมีไว้เพื่อใช้ในการคำนวณเท่านั้น ค่าเหล่านี้จะไม่มีการแสดงผลหรือจัดเก็บในระบบไฟล์ของภาพเลย

2. หน้ากากของภาพ (Image mask)

หน้ากากของภาพจะเป็นส่วนของภาพเสริมที่จะนำไปประมวลผล ถ้าหากว่าฟังก์ชันที่ต้องการเรียกใช้นั้นต้องการกำหนดค่าของหน้ากากของภาพ การประมวลผลหรือวิเคราะห์ผลจะกระทำในภาพต้นฉบับโดยดึงข้อมูลการวิเคราะห์มาจากหน้ากากของภาพ หน้ากากของภาพจะเป็นภาพแบบไบนารีขนาด 8 บิต อาจมีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับภาพที่ต้องการนำมาตรวจสอบก็ได้ พิกเซลที่อยู่บนหน้ากากของภาพจะทำการค้นหาว่าพิกเซลในตำแหน่งเดียวกันในภาพนั้นต้องการที่จะได้รับการประมวลผลหรือไม่ ถ้าค่าของพิกเซลในหน้ากากของภาพมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ พิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกันที่อยู่ในภาพตรวจสอบจะได้รับการประมวลผลและแสดงค่าใหม่ที่ได้จากการประเมินผลในพิกเซลนั้น แต่ถ้าค่าของพิกเซลในหน้ากากของภาพมีค่าเท่ากับศูนย์ พิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกันที่อยู่ในภาพตรวจสอบจะไม่ต้องรับการประมวลผล ซึ่งการใช้งานหน้ากากของภาพก็เพื่อจะได้มีเป้าหมายในการพิจารณาภาพให้ชัดเจนว่าต้องการพิจารณาที่ส่วนใดในภาพทั้งหมดบ้าง

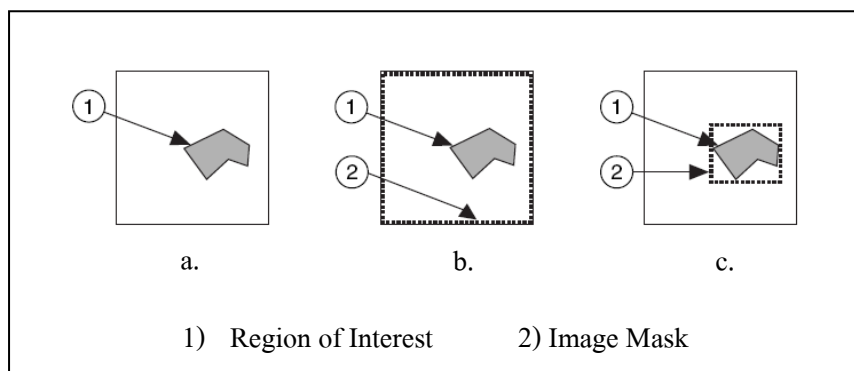
หลักการของการจัดหน้ากากของภาพก็เพื่อให้การประมวลผลเกิดขึ้นในส่วนที่ผู้ใช้สนใจเท่านั้น จึงทำให้การประมวลผลกระทำได้รวดเร็วขึ้น การใช้หน้ากากของภาพจะกระทบกับผลที่ได้รับจากการประมวลผลของฟังก์ชันอย่างไร ดังแสดงในรูปที่ 2.9 สมมุติว่าฟังก์ชันที่ใช้เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการผกผันค่าของพิกเซล และมีภาพที่ต้องการจะตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 2.10a มีหน้ากากของภาพซึ่งมีขนาดเท่ากับภาพที่จะทำการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 2.10b หากพิกเซลที่มีค่าเท่ากับศูนย์จะแสดงเป็นสีดำและพิกเซลที่มีค่าอื่นแสดงสีขาว จะได้ผลลัพธ์กรณีที่มีการกำหนดหน้ากากของภาพดังแสดงในรูปที่ 2.10c และจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีที่ไม่มีการกำหนดส่วนแบ่งของรูปดังแสดงในรูปที่ 2.10d



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของการจัดส่วนแบ่งภาพ

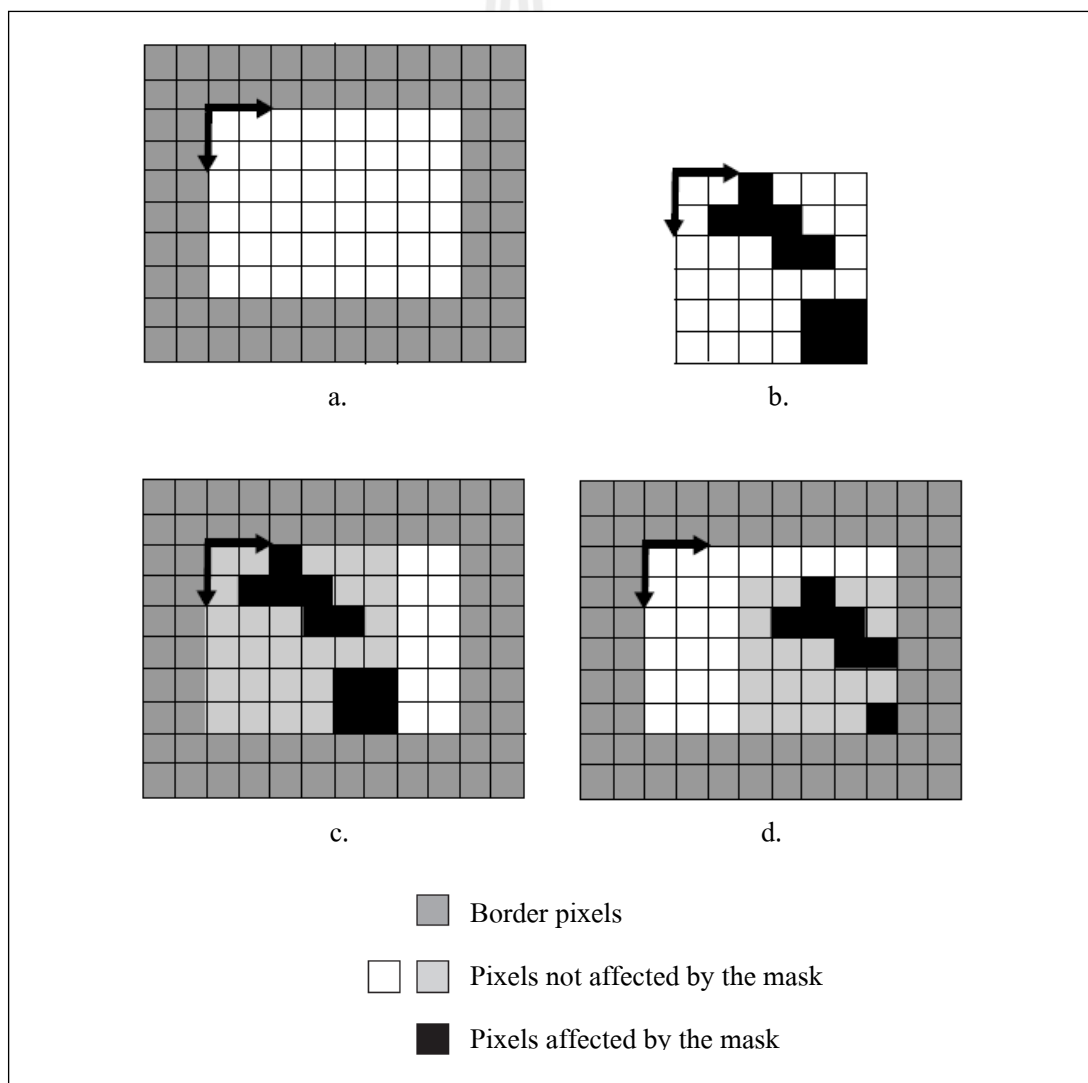
จากรูปที่ 2.10 นี้วิธีการที่จะกำหนดการใช้งานของฟังก์ชันจะสามารถวางกรอบการทำงานของโปรแกรมให้ดำเนินการทำงานหรือประมวลผลเฉพาะในส่วนที่ต้องการได้ วิธีการนี้จะเป็นการประหยัดหน่วยความจำของเครื่องให้มีขนาดที่ใช้ในการประมวลผลน้อยลงมาก เพราะจะเป็นการประมวลผลเฉพาะในส่วนของพื้นที่ซึ่งมีความสำคัญและเป็นส่วนที่กำหนดให้ทำการประมวลผลเท่านั้น พื้นที่ในส่วนนี้อาจเรียกว่าเป็นพื้นที่ที่เราสนใจหรือ Region of Interest (ROI) ภายในภาพต้นฉบับ ความแตกต่างของ ROI กับ Image Marks คือ ROI จะเป็นส่วนในภาพที่ต้องการทำการตรวจสอบ แต่ Image Marks จะเป็นภาพอีกภาพหนึ่งที่จะกำหนดว่าต้องการจะให้โปรแกรมตรวจสอบพิกเซลใดบ้างใน ROI

นอกเหนือจากนั้น โปรแกรม NI Vision ยังได้มีการกำหนดค่าเยื้อง (Offset) ให้กับหน้ากากของภาพค่าเยื้องนี้หมายถึงตำแหน่งตามระบบพิกัดในภาพของต้นแบบที่ต้องการตรวจสอบที่จะวางระบบแกนของหน้ากากของภาพ และวิธีต่าง ๆ ที่มีการกำหนดหน้ากากของภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 มีการกำหนด ROI (Region of Interesting) ที่ต้องการที่จะสร้างเป็นหน้ากากของภาพขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 2.11a โดยหน้ากากของภาพมีขนาดเท่ากับภาพที่จะตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 2.11b ในกรณีนี้ค่าเยื้องจะกำหนดให้เป็น (0,0) ในอีกกรณีหนึ่ง หน้ากากของภาพนี้สามารถที่จะจัดให้เป็นเพียงกรอบสี่เหลี่ยมที่พอที่จะล้อมรอบรูปให้เป็นพื้นที่ ROI ดังแสดงในรูปที่ 2.11c ซึ่งการกำหนดค่าเยื้องจะกำหนดโดยตำแหน่งของหน้ากากของภาพเทียบกับภาพอ้างอิง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะกำหนดค่าเยื้องให้กับหน้ากากของภาพในพื้นที่ต่าง ๆ ในภาพที่จะทำการตรวจสอบได้



รูปที่ 2.11 การกำหนดค่าเยื้องให้กับหน้ากากของภาพ

การใช้หน้ากาของภาพที่กำหนดค่าเชิงที่แตกต่างกันสองแบบดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยแบบแรกเป็นการกำหนดตำแหน่งแกนอ้างอิงที่อยู่ที่ยุมบนด้านซ้ายของภาพที่ต้องการจะตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 2.12a และทำการกำหนดหน้ากาของภาพและตำแหน่งของระบบพิกัดไว้ที่ยุมบนซ้ายของภาพเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 2.12b เมื่อวางหน้ากาของภาพอาจจะวางให้จุดกำเนิดของทั้งสองระบบแกนวางทับกัน ซึ่งทำให้ค่าเชิงเท่ากับ (0,0) ดังแสดงในรูปที่ 2.12c หรืออาจวางเฉียงไปที่ตำแหน่งอื่น ตัวอย่างเช่น การกำหนดค่าเชิงให้กับหน้ากาของภาพเท่ากับ (3,1) ดังแสดงในรูปที่ 2.12d ซึ่งจะทำให้พิกเซลที่จะได้รับการประมวลผลทั้งในสองกรณีนี้แตกต่างกัน จะนำมาซึ่งผลที่แตกต่างกันด้วย



รูปที่ 2.12 ผลกระทำของการกำหนดค่าเอียงให้กับหน้าฉากของภาพ

2.4 พื้นฐานของการประมวลผลภาพและการมองเห็นของเครื่องจักร

การมองเห็นของเครื่องจักรอัตโนมัติเป็นสิ่งที่ได้เข้ามามีบทบาทในการควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติมาเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว แต่เริ่มจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมานี้เนื่องจากคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับภาพและโปรแกรมต่าง ๆ มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพมากขึ้น

2.4.1 ความเป็นมาของการมองเห็นของเครื่องจักร

การมองเห็นของเครื่องจักรนั้นได้เริ่มต้นพัฒนาขึ้นในช่วงปลายยุคปี ค.ศ. 1940 (Agapakis, J, E., 1998) และต้นยุคปี ค.ศ. 1950 พร้อมกับการพัฒนาและวิจัยในด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) พร้อมทั้งที่ทางกองทัพของประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพเพื่อใช้ในการสอดแนมต่างประเทศช่วงสงครามเย็น หลังจากที่ได้พัฒนามาระยะหนึ่งแนวความคิดเหล่านี้ก็ได้รับการนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมในยุคปี ค.ศ. 1960 ถึง 1970 โดยในช่วงเวลานี้เองที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซต (Massachusetts Institute of Technology) ได้พัฒนาระบบการวิเคราะห์ภาพเพื่อใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ สำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม จนกระทั่งในตลอดช่วงปี ค.ศ. 1980 ได้มีการนำการมองเห็นของเครื่องจักรนี้ไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเนื่องจากกระบวนการแก้ปัญหาของการมองเห็นของเครื่องจักรในภาพระดับสีเทาได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การพัฒนาของหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็กลงและสามารถกระทำได้บนแผ่นวงจรเพียงแผ่นเดียว อีกทั้งกล้องสำหรับอุตสาหกรรมเริ่มสามารถหาซื้อได้ทั่วไป ทำให้ระบบนี้แพร่หลายในกระบวนการผลิตมากขึ้น

ในยุคช่วงปี ค.ศ. 1990 เป็นการขยายตัวของการมองเห็นของเครื่องจักรในประเทศอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นช่วงที่คอมพิวเตอร์มีวิวัฒนาการที่ก้าวหน้ามากขึ้น ประสิทธิภาพสูงขึ้น ในขณะที่ราคาถูกลง ซึ่งเป็นเบื้องหลังความสำเร็จของระบบนี้ และในช่วงนี้เริ่มมีชิพในการประมวลผลภาพ (Image Processing Chips) สามารถประมวลผลภาพได้อย่างรวดเร็วปรากฏตัวขึ้นในอุตสาหกรรมมากมาย และเมื่อก้าวเข้าสู่ในช่วงปี ค.ศ. 2000 การขยายตัวของการมองเห็นของเครื่องจักรก็ยังคงก้าวหน้าต่อไป และมีการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง และในประเทศไทยการวิจัยเพื่ออุตสาหกรรมก็ได้รับความสนใจมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในการทำวิจัยและพัฒนาการมองเห็นของเครื่องจักร

2.4.2 เทคโนโลยีของการมองเห็นของเครื่องจักร

กระบวนการวิเคราะห์ภาพและนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจการทำงานของเครื่องจักร เป็นกระบวนการโดยรวมที่ใช้เรียกการมองเห็นของเครื่องจักร (Machine Vision) ซึ่งแนวความคิดในการวิเคราะห์ภาพได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องมีวิธีการและเทคโนโลยีที่ใช้อยู่หลายรูปแบบมาก อย่างไรก็ตามเอกสารนี้จะนำเสนอเฉพาะเทคโนโลยีที่ใช้หรือเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานวิจัยนี้เท่านั้น ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กับการมองเห็นของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- การตรวจจับขอบ (Edge Detection)
- การจับคู่รูปแบบ (Pattern Matching)
- การวัดมิติ (Dimension Measurements)
- การตรวจจับวงกลม (Circle Detection)
- กระบวนการ OCR (Optical Character Recognition)
- การประมวลผลแบบกล้องคู่ (Stereo Vision)

นอกเหนือจากเทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่องจักรและการวิเคราะห์ภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้แล้ว ปัจจุบันจะพบว่าได้มีความพยายามที่จะนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีความหลากหลายเข้ามาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมและการใช้งานทั่วไป สิ่งที่น่าสนใจและพบเห็นได้ในช่วงเวลานี้ก็คือ การตรวจจับใบหน้ารวมไปถึงการระบุและจดจำใบหน้า ดังที่พบในกล้อง Digital โทรศัพท์มือถือ รวมทั้งระบบรักษาความปลอดภัยต่าง ๆ

ในหัวข้อต่อไปจะเป็นการอธิบายการทำงานของเทคโนโลยีการมองเห็นของเครื่องจักรและการวิเคราะห์ภาพในรายละเอียด โดยจะเน้นอธิบายหลักการทำงานของวิธีการนั้นตามแนวทางที่โปรแกรมสำเร็จรูป LabVIEW และ NI Vision ได้ใช้ในการสร้างโปรแกรมย่อยเพื่อการวิเคราะห์ภาพได้เขียนโปรแกรมโดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาในลักษณะเช่นนั้นขึ้นมา

2.5 การตรวจจับขอบ (Edge Detection)

การตรวจจับขอบเป็นการกำหนดให้โปรแกรมค้นหาขอบของวัตถุ เมื่อมีการกำหนดแนวเส้นให้การค้นหานั้นเคลื่อนที่ไปตามแนวเส้นที่ละพิกเซลในภาพ ดังนั้นการที่จะใช้การตรวจจับขอบจะต้องมีการกำหนดแนวเส้นค้นหาขึ้นมาก่อน ในส่วนของการตรวจจับขอบโปรแกรมจะพิจารณาจากความไม่ต่อเนื่องของค่าความเข้มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน ซึ่งความไม่ต่อเนื่องในที่นี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของพิกเซลอย่างรวดเร็ว ซึ่งมักจะพบได้เมื่อภาพนั้นปรากฏในลักษณะ

ที่วัตถุมีระดับความเข้มของพิกเซลตัดกับพื้นหลังของวัตถุนั้น ดังนั้นการเปลี่ยนค่าความเข้มของพิกเซลอย่างรวดเร็วจะสามารถแยกภาพของวัตถุออกจากพื้นหลังได้

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการที่จะตรวจจับขอบในภาพจะเริ่มจากการกำหนดพื้นที่ค้นหา (Search Region) ในภาพที่ต้องการค้นหาขึ้นมาก่อน ซึ่งกำหนดพื้นที่ค้นหานี้สามารถทำได้ทั้งกำหนดโดยโปรแกรม หรือผู้ใช้กำหนดเองก็ได้และพื้นที่ค้นหาที่นิยมใช้ก็คือพื้นที่ค้นหาที่เป็นแนวนั้นเอง จากนั้นโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ภาพในพื้นที่ค้นหาหรือตามแนวนั้นเพื่อหาขอบของวัตถุ โดยจะพิจารณาทีละพิกเซลตามแนวนั้นที่กำหนด ซึ่งลักษณะการทำงานของโปรแกรมเพื่อค้นหาขอบนี้มีทั้งแบบให้ค้นหาขอบทั้งหมดในพื้นที่ค้นหา หรือค้นหาเฉพาะขอบแรกหรืออาจให้ค้นหาขอบแรกและขอบสุดท้ายในพื้นที่ค้นหาเท่านั้นก็ได้

2.5.1 การนำเทคโนโลยีการตรวจจับขอบไปใช้งาน

การนำการค้นหาขอบไปใช้งานนั้นมีประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในการมองเห็นของเครื่องจักรอยู่หลายแบบ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุในภาพ และจะบอกตำแหน่งของความไม่ต่อเนื่องในภาพด้วย อย่างไรก็ตามสำหรับการมองเห็นของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมนิยมที่จะนำการค้นหาขอบไปประยุกต์ใช้ใน 3 แบบหลัก ๆ คือ

1. การใช้เป็นมาตรวัด

การวิเคราะห์ภาพเพื่อหาขอบและใช้เป็นมาตรวัด หรือกระบวนการที่เรียกว่า Gauging จะใช้ในกรณีที่ต้องการวัดระยะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ระยะห่าง มุมระหว่างเส้นจำนวน เพื่อการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าผลิตได้ถูกต้องหรือไม่ ในกระบวนการนี้ผู้ใช้จะทำการกำหนดพารามิเตอร์ของการวัดขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากภาพว่าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่

การใช้เป็นมาตรวัดนิยมใช้ทั้งแบบระหว่างการทำงาน (In-Line) และแบบนำข้อมูลไปวิเคราะห์ในภายหลัง (Off-Line) โดยการใช้เป็นมาตรวัดแบบระหว่างการทำงานนี้นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการตรวจสอบ เช่น ตรวจสอบกระบวนการประกอบชิ้นส่วนว่าชิ้นส่วนเมื่อประกอบแล้วมีระยะห่างตามที่ต้องการหรือไม่ หรือตรวจสอบการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ว่าอุปกรณ์ได้จัดต่อเข้าที่ตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ เป็นต้น ส่วนการตรวจสอบแบบกระทำภายหลังนิยมใช้เพื่อสุ่มตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์จะได้รับการสุ่มมาเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติโดยใช้การบันทึกรูปภาพไว้ก่อน จากนั้นจึงใช้การวัดนี้ตรวจสอบว่ากลุ่มตัวอย่างเหล่านี้ผ่านการตรวจสอบหรือไม่ และการตรวจหาขอบเพื่อนำระยะห่างของขอบไปวิเคราะห์ เช่น การตรวจสอบว่าเขี้ยวหัวเทียนเมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว มีระยะห่างตรงตามข้อกำหนดทางเทคนิคหรือไม่ ซึ่งอันดับแรกจะลากเส้นเพื่อกำหนดพื้นที่ค้นหา จากนั้นจะเป็น

การหาจุดและกำหนดตำแหน่งของขอบ และท้ายที่สุดจะเป็นการวัดระยะว่าจุดที่ขอบทั้งสองนั้นอยู่ห่างกันเท่าใดดังแสดงในรูปที่ 2.13 ค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณว่าเงี้ยวหัวเทียนนี้มีระยะห่างตามข้อกำหนดหรือไม่นั่นเอง



รูปที่ 2.13 การวัดระยะห่างของเงี้ยวหัวเทียน

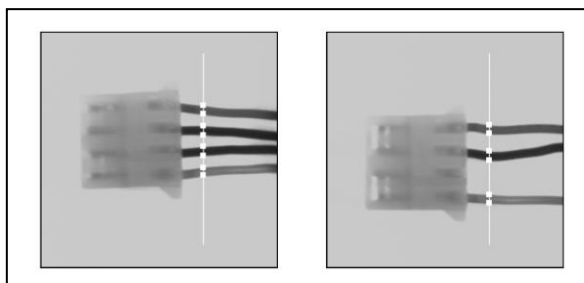
2. การตรวจจับวัตถุ (Detection)

การตรวจจับวัตถุว่ามีอยู่ในภาพหรือไม่นั้น มีความจำเป็นและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในด้านของการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น การตรวจสอบเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การตรวจสอบการประกอบทางกลว่าชิ้นส่วนที่ประกอบนั้นมีอยู่ครบถ้วนหรือไม่ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของหลักของการนำวิธีการนี้ไปใช้งานก็เพื่อตรวจสอบว่าชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบตามข้อกำหนดนั้นมีอยู่ครบถ้วนหรือไม่

กระบวนการวิเคราะห์ก็จะเริ่มคล้ายกับวิธีที่ผ่านมาก็คือ มีการกำหนดแนวเส้นที่จะให้โปรแกรมตรวจจับขอบตามแนวเส้นนั้นจากนั้นเมื่อโปรแกรมวิเคราะห์ไปที่ละพิกเซลตามแนวพื้นที่ค้นหาความแตกต่างของความเข้มของพื้นหลังและวัตถุด้านหน้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของพิกเซลอย่างทันทีทันใด หรือไม่มีค่าความชันของการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลในบริเวณนั้นสูงมากเมื่อได้ขอบแรกแล้วก็ดำเนินการค้นหาขอบต่อไปตามแนวเส้นที่กำหนดให้เป็นพื้นที่ค้นหา จนกระทั่งสิ้นสุดพื้นที่ค้นหา ด้วยวิธีการนี้จะสามารถช่วยในการตรวจนับจำนวนขอบที่พบตามแนวเส้นค้นหาที่กำหนด จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับจำนวนขอบที่ควรจะมีของวัตถุที่ประกอบอย่างสมบูรณ์ วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้นับวัตถุที่มีจำนวนมากวิธีหนึ่ง เพราะเนื่องจากสมการและวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความยุ่งยากหรือซับซ้อนน้อยกว่าวิธีอื่น ทำให้การประมวลผลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

สำหรับตัวอย่างของการนำการตรวจจับขอบไปใช้ในการตรวจจับวัตถุ เช่น การตรวจจับและนับจำนวนสายไฟที่เดินไฟเข้าสู่ตัวต่อไฟ โดยใช้เทคนิคการตรวจจับขอบดังแสดงในรูปที่ 2.14 ในรูปซ้ายมือจะตรวจจับขอบตามแนวเส้น พบว่าจะได้ขอบทั้งสิ้น 8 ขอบ แสดงว่า

มีสายไฟทั้งสิ้นจำนวน 4 สาย ในขณะที่รูปด้านขวามือตรวจสอบพบว่า มีเพียง 6 ขอบ ซึ่งแสดงถึงจำนวนสายไฟเพียง 3 เส้น จะเห็นว่า มีสายไฟเข้าสู่ตัวต่อไฟไม่ครบตามจำนวนที่กำหนด

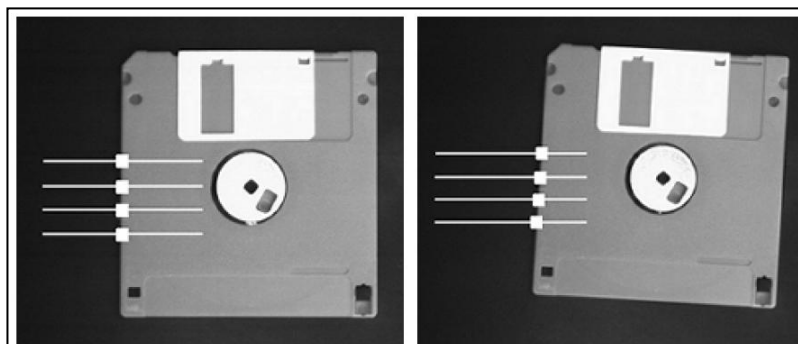


รูปที่ 2.14 การตรวจนับวัตถุโดยวิธีการตรวจจับขอบ

3. การตรวจแนวการวางตัว (Alignment)

การที่วัตถุอยู่ในสายการผลิตนั้น ไม่จำเป็นที่วัตถุจะต้องอยู่ในตำแหน่งและมีแนววางตัวที่คงที่เสมอไป อาจมีการหมุนหรือวางตัวในแนวที่แตกต่างออกไปได้ ดังนั้นการตรวจแนวการวางตัวเป็นวิธีการที่จะทราบถึงตำแหน่งและแนวการวางตัวของวัตถุนั้น การประยุกต์ใช้งานของวิธีการนี้ในอุตสาหกรรมสามารถยกตัวอย่างได้ เช่น วัตถุที่กำลังต้องการพิจารณาหรือตรวจสอบนั้นจะอยู่ที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันและมีการวางตัวในแนวที่แตกต่างกันออกไปในภาพที่กำลังพิจารณา การวิเคราะห์ภาพจะเริ่มจากกระบวนการค้นหาขอบเพื่อจะมองหาคำแหน่งของวัตถุในภาพก่อน โดยที่จะทำการตรวจสอบขอบในพื้นที่ ROI ที่ได้กำหนดขึ้น จากนั้นเมื่อมีการตรวจพบขอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ตำแหน่งและการวางตัวของชิ้นส่วนจะถูกประมวลผลโดยโปรแกรมอีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะให้ข้อมูลของตำแหน่งและแนววางตัวของวัตถุได้

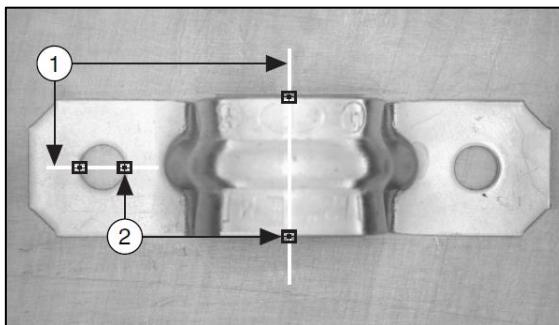
ตัวอย่างของการตรวจแนวการวางตัวของวัตถุที่เปลี่ยนไป เช่น การตรวจสอบแนวการวางตัวของแผ่นดิสก์บันทึกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยขั้นแรกจะกำหนดพื้นที่ค้นหาและแนวเส้นค้นหาก่อน จากนั้นกระบวนการตรวจสอบจะค้นหาและพบขอบทางด้านซ้ายของแผ่นดิสก์ในภาพ ซึ่งแต่ละแนวเส้นค้นหาจะได้จุดขอบหนึ่งจุดเมื่อได้จำนวนจุดนั้นแล้ว โปรแกรมจะทำการหาเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดที่จะลากผ่านจุดขอบเหล่านั้น และเมื่อได้เส้นตรงและความเอียงของเส้นตรงนั้นแล้วก็จะสามารถทราบข้อมูลว่าแผ่นดิสก์นั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ใดและมีแนวการวางตัวเป็นอย่างไร



รูปที่ 2.15 การตรวจสอบแนวการวางตัว

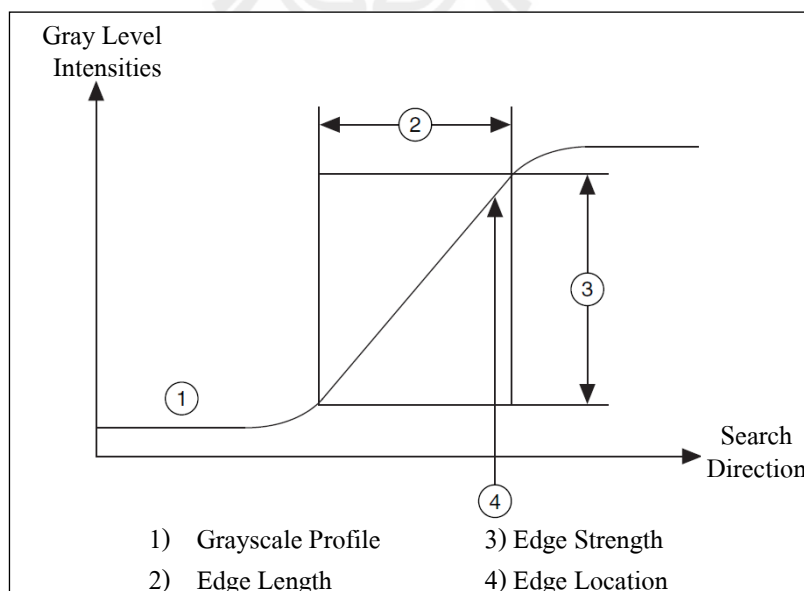
2.5.2 หลักการของการตรวจจับขอบ

ตามที่กล่าวมาแล้วว่านิยามของขอบคือการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าระดับสีเทา (Gray scale Value) ระหว่างพิกเซลที่อยู่ติดกันในภาพ โดยโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้การทำงานเป็นแนวเส้นหรือโปรไฟล์ (Profile) 1 มิติ และเป็นการพิจารณาค่าระดับสีเทาในแต่ละพิกเซลตามแนวเส้นหรือพื้นที่ค้นหาที่กำหนดให้ซึ่งการกำหนดแนวเส้นค้นหานี้สามารถกำหนดเส้นค้นหาได้หลายรูปแบบ เช่น โปรไฟล์ที่เป็นเส้นตรงเพื่อใช้เป็นแนวในการค้นหาขอบของวัตถุดังแสดงในรูปที่ 2.16 สำหรับการประยุกต์ใช้งานจริงนั้นผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดโปรไฟล์เป็นเส้นตรงหรือส่วนเส้นรอบรูปของวงกลมหรือวงรี แนวเส้นขอบของสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงเหลี่ยมหรือแม้แต่เป็นเส้นอิสระก็ได้ โดยโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ค่าแต่ละพิกเซลตามโปรไฟล์ที่กำหนดเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าระดับสีเทาของพิกเซลตามแนวโปรไฟล์นั้นซึ่งการทำงานเพื่อตรวจจับขอบโปรแกรมจะต้องได้รับค่าที่จะใช้ในวิเคราะห์ว่าการเปลี่ยนแปลงตามของค่าพิกเซลตามแนวโปรไฟล์นั้นควรมีลักษณะเช่นไร จึงจะบ่งชี้ได้ว่าขอบของวัตถุในภาพอยู่ที่บริเวณนั้น



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการกำหนดขอบ

คุณลักษณะของขอบตามที่ได้อธิบายแล้วว่าขอบคือการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการกำหนดขอบนั้นสามารถกระทำได้โดยพิจารณาค่าที่ละพิกเซลตามแนวเส้นค้นหา วิธีการพื้นฐานที่ใช้ค้นหาขอบจะกำหนดลักษณะของขอบซึ่งเริ่มแรกค่าพิกเซลในภาพตามแนวเส้นค้นหาจะมีค่าน้อยจากนั้นก็เพิ่มค่าขึ้นอย่างรวดเร็ว และค่าก็จะเริ่มกลับมาคงที่อีกครั้งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจของโปรแกรมว่าควรจะให้พิกเซลใดในภาพเป็นตำแหน่งของขอบของวัตถุ



รูปที่ 2.17 การเปลี่ยนแปลงค่าพิกเซลเพื่อค้นหาขอบ

เมื่อได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มของพิกเซลตามแนวเส้นค้นหา มาเรียบร้อยแล้ว การที่โปรแกรมจะทำการกำหนดว่าจุดใดเป็นขอบในภาพจะต้องมีการกำหนด ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะต้องมีการกำหนดค่า ให้กับโปรแกรมมีดังนี้

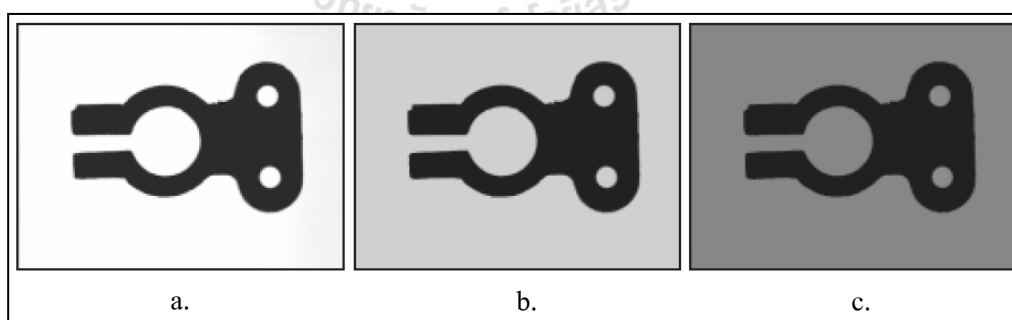
1. ค่าความเข้มของขอบ (Edge Strength)

ค่าความเข้มของขอบ เป็นการนิยามค่าความแตกต่างที่น้อยที่สุดของค่า ระดับสีเทาระหว่างพื้นหลังและขอบของวัตถุ ค่าความเข้มของขอบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Edge Contrast โดยภาพวัตถุเดียวกันหากถ่ายภาพในสถานะที่ต่างกัน ภาพที่ได้อาจมีค่าความเข้มของขอบ ที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ค่าความเข้มของขอบนี้เปลี่ยนแปลงไปได้ก็ด้วยเหตุผลต่าง ๆ กันดังนี้

- สภาพแสง ถ้าหากว่าแสงที่ใช้ในการจับภาพอยู่ในระดับต่ำ จะได้ว่า ขอบของวัตถุในรูปจะมีระดับความเข้มต่ำ เมื่อสภาพแสงมีความแตกต่างกันการเปลี่ยนแปลงของค่า ความเข้มของขอบที่เปลี่ยนไปตามขอบของวัตถุก็จะต่างกันด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.18

- วัตถุที่มีลักษณะของระดับค่าสีเทาที่แตกต่างกัน การที่วัตถุมีที่มี คุณสมบัติหรือสีที่มีความสว่างมากอยู่ปนกับวัตถุที่มีความสว่างน้อยในภาพเดียวกัน ค่าความเข้ม ของขอบในวัตถุแต่ละชิ้นก็จะมีค่าไม่เท่ากันโดย

ดังนั้นการกำหนดค่าความเข้มของขอบที่ถูกต้องของวัตถุแต่ละชิ้นก็จะ แตกต่างกันไปด้วย วัตถุที่มีสีใกล้เคียงกับพื้นหลังก็จะมีค่าความเข้มของขอบต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุที่มีสี ที่แตกต่างกับพื้นหลังมาก



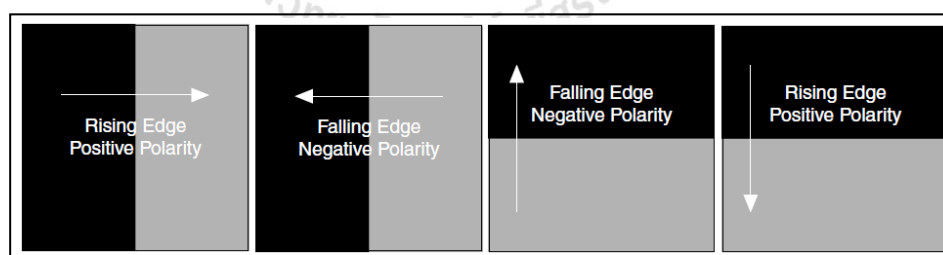
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างภาพที่มีระดับความเข้มของขอบที่ต่างกัน

2. ค่าความยาวขอบ (Edge Length)

ค่าความยาวของขอบมีนิยามคือ ระยะสูงสุดที่กำหนดค่าความแตกต่างของระดับค่าสีเทาระหว่างพื้นหลังและขอบของวัตถุหรือขอบจะต้องเกิดขึ้นในระยะนี้ ค่าความยาวขอบเป็นคุณลักษณะที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกเซลในส่วนที่อยู่ใกล้ขอบ ซึ่งระยะนี้จะช่วยให้โปรแกรมตัดสินใจว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของพิกเซลของพื้นหลังกับขอบหรือเกิดจากการเปลี่ยนสีหรือความเข้มแสงของวัตถุหรือพื้นหลังตามปกติ กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือค่าความยาวขอบจะกำหนดว่าค่าของความเข้มของพิกเซลจะต้องเปลี่ยนแปลงในระยะทางมากที่สุดเท่าใดเพื่อให้ได้ค่าความเข้มขอบตามที่ต้องการ ดังนั้นการกำหนดค่าความยาวขอบจะช่วยในกรณีที่ความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังมีการเปลี่ยนแปลงไป การกำหนดค่าความยาวขอบไว้มากจะช่วยตรวจจับขอบที่วัตถุและพื้นหลังว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มพิกเซลไม่มากได้ดียิ่งขึ้น

3. ขั้วของขอบ (Edge Polarity)

ขั้วของขอบเป็นการพิจารณาว่าขอบที่กำลังพิจารณาเป็นขอบขาขึ้น (Rising Edge) หรือขอบขาลง (Falling Edge) โดยขอบขาขึ้นหมายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาเพิ่มขึ้นจากค่าน้อยไปหาค่าที่มากกว่าในระหว่างการตรวจสอบขอบอยู่นั้น ซึ่งหมายถึงการตรวจจะมีในทิศทางจากพื้นหลังที่มีค่าความเข้มต่ำขึ้นไปสู่วัตถุที่มีค่าความเข้มพิกเซลสูงกว่า ส่วนขอบขาลงหมายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาลดลงจากมากไปหาค่าที่น้อยกว่าสำหรับวัตถุในภาพเดียวกันขั้วของขอบอาจจะแตกต่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางตามเส้นโปรไฟล์ที่กำหนดให้โปรแกรมทำการค้นหาขอบดังแสดงในรูปที่ 2.19



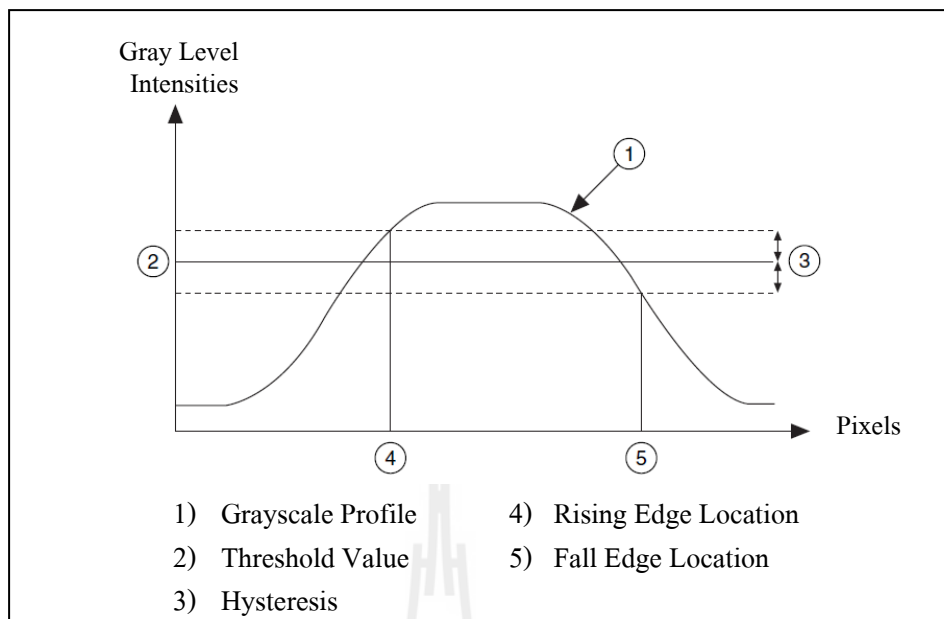
รูปที่ 2.19 ขั้วของขอบ

2.5.3 วิธีการตรวจจับขอบของ NI Vision

สำหรับ Module ของโปรแกรม NI Vision ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสองวิธีที่ใช้ในการตรวจจับขอบ โดยวิธีทั้งสองนี้จะคำนวณความเข้มของขอบในแต่ละพิกเซลตามโปรไฟล์ 1 มิติที่กำหนดขึ้น ซึ่งโปรแกรมจะบ่งชี้ว่าขอบได้เกิดขึ้นเมื่อค่าความเข้มของขอบมีค่ามากกว่าค่าความเข้มต่ำสุดที่กำหนด จากนั้นก็จะมีการตรวจหาตำแหน่งของขอบเพิ่มเติมให้ต่อไปอีกจนกระทั่งสิ้นสุดโปรไฟล์ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าที่ผู้ใช้โปรแกรมต้องกำหนดเพื่อบ่งบอกว่าค่าความเข้มต่ำสุดของความเข้มขอบมีค่าเป็นเท่าใด สำหรับโปรแกรมน้อยใน NI Vision จะเรียกค่านี้ว่า Contrast Parameter เมื่อได้กำหนดค่า Contrast Parameter เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมก็จะดำเนินการวิเคราะห์และค้นหาขอบตามแนวเส้นที่กำหนด โดยในส่วนการค้นหานี้ NI Vision มีวิธีการให้เลือกใช้สองแบบคือการตรวจจับขอบอย่างง่าย และการตรวจจับขอบขั้นสูง ซึ่งรายละเอียดของทั้งสองวิธีเป็นดังนี้

1. การตรวจจับขอบอย่างง่าย

ในการตรวจจับขอบอย่างง่ายโปรแกรมจะใช้ค่าความเข้มของแต่ละพิกเซลไปตามจุดที่โปรไฟล์ผ่านไปมาวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นโปรแกรมจะเริ่มเก็บข้อมูลเพียงอย่างเดียวก่อน โดยเริ่มจากพิกเซลแรกบนโปรไฟล์จนถึงพิกเซลสุดท้ายที่อยู่บนโปรไฟล์นั้นในทิศทางที่กำหนด เมื่อได้ค่าทั้งหมดแล้ว จากนั้นโปรแกรมจะเริ่มหาตำแหน่งของขอบโดยโปรแกรมจะพิจารณาว่าพบขอบขาขึ้น หากตรวจพบว่าที่จุดนั้นมีค่าความเข้มของพิกเซลมากกว่าค่า Threshold รวมกับค่า Hysteresis ที่ผู้ใช้กำหนด การกำหนดค่า Threshold เป็นการตั้งโปรแกรมว่าค่าความเข้มของพิกเซลที่ต่ำที่สุดที่จะเริ่มพิจารณาได้แล้วว่าเข้าใกล้บริเวณขอบจะมีค่าเท่าใด จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มในการพิจารณาหาตำแหน่งขอบขาขึ้น ส่วนการกำหนดค่า Hysteresis จะมีลักษณะเหมือนการชดเชยค่า เพราะโดยปกติแล้วค่าความเข้มของขอบขาขึ้นและขอบขาลงจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ดังนั้นการกำหนดค่า Hysteresis ก็เหมือนกับการชดเชยค่าความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้นั่นเอง สำหรับการตรวจจับขอบขาลงก็จะทำในทำนองกลับกัน ซึ่งเมื่อพิกเซลใดมีค่าความเข้มต่ำกว่าค่า Threshold ของขอบโปรแกรมก็จะใช้พิกเซลนี้เป็นจุดแรกในการพิจารณาเพื่อหาว่า ขอบขาลงควรอยู่ที่ตำแหน่งใด กระบวนการหาขอบจะทำซ้ำๆ กันไปจนกระทั่งสิ้นสุดโปรไฟล์ ตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 2.20



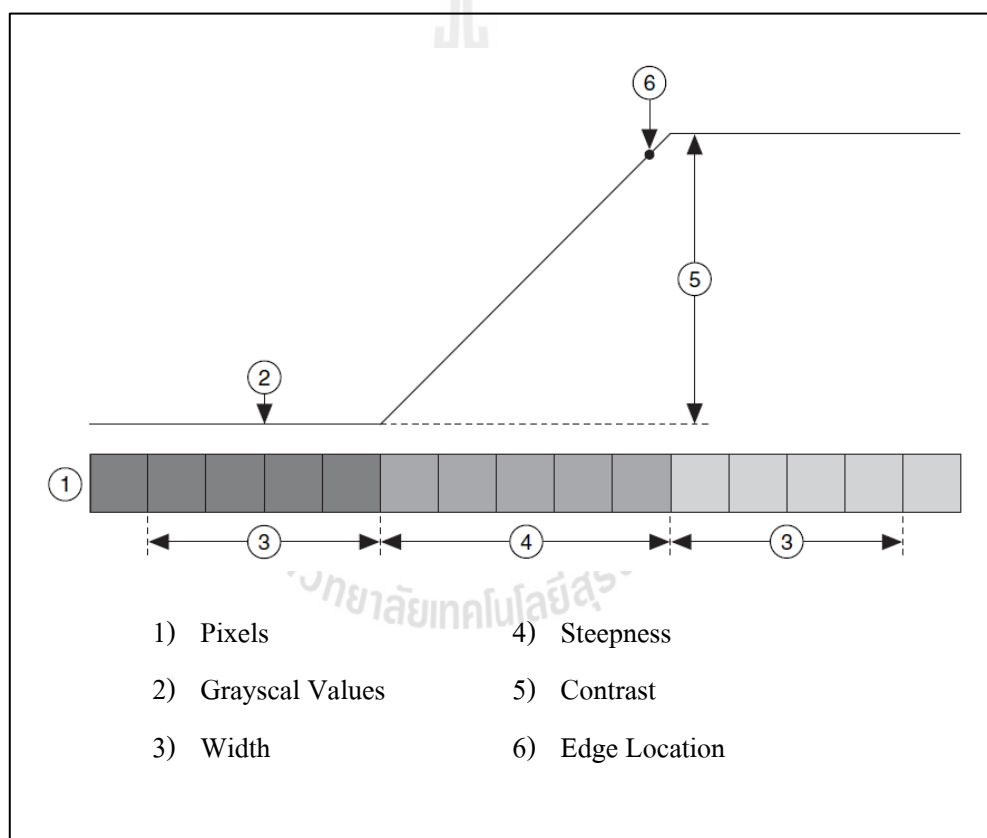
รูปที่ 2.20 การตรวจจับขอบอย่างง่าย

การตรวจจับขอบอย่างง่ายนี้มีข้อดีคือมีกระบวนการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้ตรวจสอบได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เหมาะกับภาพที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) ในภาพน้อยและภาพที่ใช้มีความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลังของภาพมาก จึงทำให้สามารถเห็นขอบได้อย่างชัดเจน

2. การตรวจจับขอบขั้นสูง

การตรวจจับขอบในลักษณะนี้จะเริ่มจากการคำนวณหาความเข้มของแต่ละพิกเซลตามตำแหน่งที่อยู่บนโปรไฟล์ที่กำหนดจนครบก่อนจึงจะดำเนินการค้นหาขอบสิ่งที่แตกต่างจากการค้นหาขอบอย่างง่ายก็คือ โปรแกรมไม่ได้นำค่าที่ได้นี้ไปใช้โดยตรงในทันที แต่โปรแกรมจะทำการเฉลี่ยค่าของพิกเซลที่พิจารณาอยู่กับพิกเซลที่อยู่ก่อนหน้าและที่อยู่ภายหลังบนเส้นโปรไฟล์ในการหาค่าเฉลี่ยนั้นจำนวนพิกเซลที่อยู่ก่อนหน้าและหลังจุดที่พิจารณาไม่จำเป็นต้องเท่ากัน จำนวนพิกเซลหรือระยะทางที่ใช้ซึ่งอยู่หลังจุดที่กำลังพิจารณา จะกำหนดโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ความชัน (Steepness Parameter) ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการคาดเดาว่าช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition Region) ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของขอบตามแนวโปรไฟล์ที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่าใด ถ้ากำหนดค่ามากก็เสมือนคาดเดาได้ว่าข้างหน้าจะมีขอบซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงค่าอย่างช้า ๆ จึงต้องใช้พิกเซลด้านหน้าจำนวนมากมาใช้ในการพิจารณา ส่วนพิกเซลที่อยู่ก่อนหน้าจุดที่กำลังพิจารณาว่าจะนำมาหาค่าเฉลี่ยจำนวนเท่าใดนั้น จะได้จาก

การกำหนดพารามิเตอร์ ผู้ใช้มีความต้องการที่จะใช้พิกเซลก่อนหน้านั้นมาใช้ในการเฉลี่ยค่าที่จุดนั้น มากน้อยเพียงใด พารามิเตอร์ที่บอกจำนวนพิกเซลก่อนหน้าจุดที่กำลังพิจารณา เพื่อมาใช้ในการหา ค่าเฉลี่ยที่จุดนั้นเรียกว่าพารามิเตอร์ความกว้าง (width parameter) สำหรับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ความกว้าง ก็จะเหมือนการกำหนดขนาดของตัวกรอง (Filter) ซึ่งการกรองนี้จะกระทำขึ้นเพื่อลด ผลกระทบของสัญญาณรบกวน (Noise) ที่อาจมีตามโปรไฟล์ที่กำหนด ถ้าหากคาดหวังว่าภาพจะมี สัญญาณรบกวนมากก็ควรจะใช้ตัวกรองที่มีความกว้างมาก หรือก็คือการกำหนดพารามิเตอร์ความ กว้างให้มีค่ามาก รูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ และการ กำหนดรูปแบบขอบ



รูปที่ 2.21 การตรวจจับขอบขั้นสูง

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยใหม่ของแต่ละพิกเซลแล้ว ต่อไปโปรแกรมจะทำการค้นหาขอบ โดยค่าความเข้มใหม่ของแต่ละพิกเซลถูกนำมาวิเคราะห์ โดยเริ่มวิเคราะห์ตั้งแต่จุดแรกไป ซึ่งที่จุด นั้นจะนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มของขอบ ถ้าค่าความเข้มขอบที่จุดนั้นมีค่ามากกว่าค่าที่ใช้

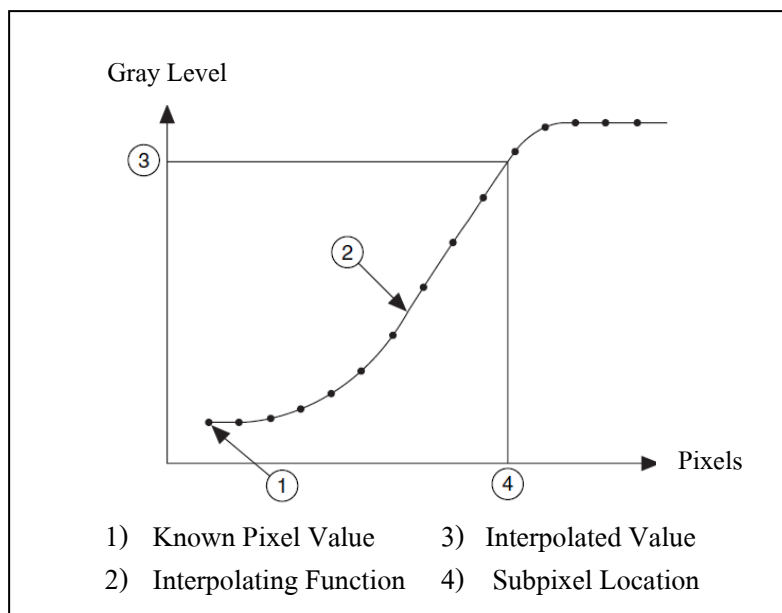
โปรแกรมกำหนดไว้ จุดนั้นจะได้รับการบันทึกไว้ในที่นี้สมมุติให้เป็นจุด a และจะนำไปใช้ในภายหลัง จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการประเมินผลทำนองเดียวกันในจุดต่อ ๆ ไป และทำไปเรื่อย ๆ จนค่าความเข้มของขอบมีค่าสูงสุด ซึ่งสมมุติว่าเป็นจุด b จากนั้นค่าความเข้มของขอบที่พิกเซลถัดต่อมาจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่จุด b นี้ โปรแกรมจะกำหนดให้จุดที่มีค่าความเข้มสูงสุดเป็นค่าเริ่มต้นขอบในที่นี้ก็คือกำหนดให้จุด b เป็นจุดเริ่มต้นขอบ จากนั้นค่าพารามิเตอร์ความชัน หรือ steepness parameter ซึ่งเป็นจำนวนพิกเซลจะนำมารวมเข้ากับตำแหน่งของจุดพิกเซล b เพื่อที่จะกำหนดจุดสิ้นสุดขอบ สมมุติว่าได้จุด c ดังนั้นจุด c จะห่างจากจุด b เท่ากับค่าพารามิเตอร์ความชัน จากนั้นโปรแกรมจะพิจารณาจากจุดเริ่มต้นขอบแล้วหาว่าจุดใดในระหว่างนั้นมีค่าความเข้มที่แตกต่างระหว่างจุดนั้นกับจุดเริ่มเป็นร้อยละ 90 ของค่าความเข้มที่แตกต่างระหว่างจุดเริ่มต้นขอบและจุดสิ้นสุดขอบ กล่าวคือ โปรแกรมจะกำหนดจุด x เป็นจุดขอบเมื่อค่าความแตกต่างของความเข้มของ x และ b มีค่าเป็น 90% ของความแตกต่างความเข้มของพิกเซล c และ b นั่นเอง

3. ความแม่นยำระดับต่ำกว่าพิกเซล (Subpixel Accuracy)

ในกรณีที่ภาพที่นำมาประมวลผลนั้นมีความละเอียดสูงพอวิธีการที่กล่าวผ่านมาแล้วก็เพียงพอที่จะใช้ในการค้นหาขอบได้ อย่างไรก็ตามในสภาวะการณ์บางอย่างที่ไม่สามารถได้ภาพที่มีความละเอียดสูงได้ ซึ่งอาจมาจากข้อจำกัดหลายๆ ด้าน เช่น ขนาดของภาพที่ต้องการตรวจสอบมีขนาดใหญ่มาก หรืองบประมาณในการจัดหากล้อง อาจจำเป็นต้องหาดำแหน่งของขอบโดยใช้ความแม่นยำระดับต่ำกว่าพิกเซล หรือระดับซับพิกเซล (Sub pixel Accuracy)

การวิเคราะห์ซับพิกเซล โปรแกรมจะประมาณค่าความเข้มของพิกเซลเสมือนกับว่าภาพมีความละเอียดสูง เพื่อที่จะค้นหาตำแหน่งของขอบโดยใช้ความแม่นยำระดับซับพิกเซล โดยโปรแกรมจะทำการ Interpolate ค่าในระหว่างพิกเซลโดยใช้ฟังก์ชันที่มีลำดับสูง เช่น สมการกำลังสองหรือกำลังสามฟังก์ชันนี้จะช่วยในการตรวจสอบขอบโดยใช้ กระบวนการคำนวณให้มีค่าพิกเซลใหม่ในระหว่างค่าพิกเซลเดิมที่มีอยู่ จากนั้นซอฟต์แวร์จะใช้ค่าความเข้มที่คำนวณได้เพื่อจะหาดำแหน่งของขอบต่อไป

ในรูปที่ 2.22 นี้เป็นการแสดงวิธีการใช้ Cubic spline function ในการคำนวณเพื่อหาตำแหน่งพิกเซลโดยใช้วิธีการนี้ ค่าที่ตำแหน่งระหว่างพิกเซลจะถูกประมาณขึ้น จากนั้นการตรวจจับตำแหน่งของจะใช้วิธีตามที่กล่าวมาแล้วเพื่อเพิ่มความละเอียดของภาพ



รูปที่ 2.22 การใช้ฟังก์ชันหาความแม่นยำระดับซับพิกเซล

ด้วยระบบบันทึกภาพและซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ ผู้ใช้สามารถประมาณตำแหน่งของภาพได้อย่างน่าเชื่อถือในระดับ 1 ใน 4 พิกเซล อย่างไรก็ตามผลของการประมาณนี้ขึ้นอยู่กับ การจัดเตรียมภาพ เช่น สภาพแสงและคุณภาพของกล้อง ดังนั้นก่อนที่จะใช้การวิเคราะห์ระดับซับพิกเซลควรจะมีการปรับปรุงคุณภาพของภาพแล้วทดลองใช้วิธีปกติในการหาขอบก่อนว่าสามารถทำได้หรือไม่

2.6 การจับคู่รูปแบบ (Pattern Matching)

การจับคู่รูปแบบเป็นกระบวนการกำหนดตำแหน่งของพื้นที่ในภาพระดับสีเทา ซึ่งมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับสีเทาเหมือนกับรูปแบบอ้างอิง (Reference pattern) หรือบางกรณีเรียก Model หรือ Template

ในกระบวนการจับคู่รูปแบบ อันดับแรกผู้ใช้งานจะสร้างรูปแบบอ้างอิง (Template) ขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบของวัตถุที่ต้องการค้นหา จากนั้นเมื่อจับภาพมาได้แล้ว โปรแกรมที่ใช้สำหรับการมองเห็นของเครื่องจักรจะทำการประมวลผลภาพที่จับมาได้เพื่อวิเคราะห์ว่าส่วนใดในภาพบ้างที่มีลักษณะหรือรูปแบบเหมือนกับรูปแบบอ้างอิง จากนั้น โปรแกรมจะให้ระดับคะแนนความเหมือนของภาพทั้งสอง คะแนนความเหมือนนี้บอกให้ทราบว่ารูปแบบอ้างอิงกับภาพค้นหาที่จับคู่ได้นั้นมีความเหมือนกันมากเพียงใด

แนวความคิดหลักของการจับคู่รูปแบบจึงไม่ใช่การพิจารณาว่าในภาพที่ค้นหามีส่วนใดบ้างที่เหมือนในภาพต้นแบบ แต่เป็นการพิจารณาว่ามีส่วนใดในภาพค้นหาที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของพิกเซลที่คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกเซลในภาพต้นแบบ ดังนั้นวิธีการนี้จึงสามารถนำไปใช้จับคู่หาส่วนในภาพที่มีรูปแบบเหมือนกันไม่ใช่ภาพที่เหมือนกันได้ จึงทำให้มีความอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตที่สภาพการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

ดังนั้นความคาดหวังของผู้ใช้แล้ว โปรแกรมที่ออกแบบมาสำหรับการจับคู่รูปแบบนั้น โปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ควรที่จะสามารถทำการจับคู่รูปแบบในภาพที่ต้องการตรวจสอบว่ามีส่วนใดในภาพเหมือนกับรูปแบบที่สร้างขึ้นมาอ้างอิง โดยสามารถตรวจจับได้ไม่ว่าระดับแสงที่เปลี่ยนแปลงทำให้ความเข้มแสงในภาพที่ต้องการตรวจสอบแตกต่างไปจากภาพอ้างอิงหรือภาพที่ใช้ตรวจสอบไม่ชัดเจนอาจจะเป็นเนื่องจากระยะโฟกัสที่ไม่ชัดเจน หรือแม้แต่วัตถุในภาพมีขนาดที่เปลี่ยนแปลงไป หรือภาพที่ต้องการตรวจจับหมุนเอียงไปจากรูปอ้างอิง โปรแกรมที่เขียนขึ้นจะต้องตรวจจับวัตถุได้ทั้งหมด

สำหรับวิธีการจับคู่รูปแบบไปใช้งานในการมองเห็นของเครื่องจักร ถือว่าเป็นกระบวนการหรือเป็นลำดับขั้นตอนของการแก้ปัญหาที่มีความสำคัญมากวิธีการหนึ่งในการนำไปใช้งานเพราะวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบและความหลากหลายอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าหากจะสรุปการประยุกต์ใช้งานโดยทั่วไปแล้วการจับคู่รูปแบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ ในกรณีหลัก 3 กรณี คือ

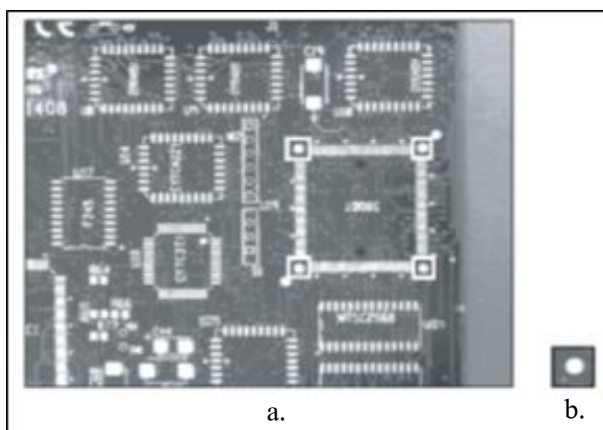
เพื่อหาการจัดวางแนวภาพ (Alignment) โปรแกรมจะคำนวณตำแหน่งและแนวการวางตัวของวัตถุที่ทราบโดยการกำหนดตำแหน่งของรูปแบบอ้างอิง (fiducially) โดยการใช้รูปแบบอ้างอิงนี้เป็นจุดอ้างอิงของวัตถุ

เพื่อการวัด (Gauging) ใช้ในการวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง มุมระหว่างเส้นและมิติอื่นที่สำคัญ โดยการประยุกต์ใช้นั้นจะเป็นการวัดเพื่อหาค่าที่ได้จากการวัดภาพว่ามีค่าอยู่ภายในช่วงที่กำหนดหรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ก็ถือว่าวัตถุนั้นผ่านมาตรฐาน ถ้าค่าที่วัดได้นอกช่วงที่กำหนดก็ถือว่าวัตถุไม่ผ่านการตรวจสอบ

เพื่อการตรวจสอบ (Inspection) เป็นการตรวจหาความผิดพลาดง่าย ๆ เช่น ตรวจสอบว่าชิ้นส่วนอยู่ตรงหรือไม่ หรือใช้ดูว่าข้อความที่พิมพ์มานั้นอ่านได้หรือไม่

การจับคู่รูปแบบสามารถนำไปใช้ได้หลายกรณีและสามารถกำหนดตำแหน่งในภาพที่มีความคล้ายกับต้นแบบได้หลายตำแหน่ง ตัวอย่างเช่นการตรวจสอบแผงวงจรเพื่อมองหาวัตถุอ้างอิงในภาพในรูปที่ 2.23a แสดงแผงวงจรและรูปที่ 2.23b แสดงวัตถุอ้างอิง ซึ่งจะพบว่าในภาพจะมีวัตถุ

อ้างอิงทั้งหมด 4 จุด ทั้งนี้เพื่อใช้ในการปรับตำแหน่งและแนววางตัวของแผงวงจร เพื่อสะดวกในการนำชิพหรืออุปกรณ์ติดตั้งลงไปในแผงวงจรโดยเครื่องจักร



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างของการจับคู่รูปแบบ

2.6.1 ลักษณะของโปรแกรมการใช้จับคู่รูปแบบที่ดี

เนื่องจากการจับคู่รูปแบบจะเป็นกระบวนการแรกของการใช้งานการมองเห็นของเครื่องจักร จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่กระบวนการนี้ต้องให้ผลที่มีความน่าเชื่อถือได้ในสภาพที่แตกต่างกันหลายแบบ ในการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติ การมองหาวัตถุหรือชิ้นส่วนภายใต้การตรวจสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงได้จากองค์ประกอบหลายด้าน เช่น ชิ้นส่วนหมุนไปจากแนวการวางตัวเดิม ขนาดของวัตถุเปลี่ยนแปลงไป หรือสภาพแสงที่เปลี่ยนแปลงไป กระบวนการจับคู่รูปแบบจะต้องคงความสามารถในการหารูปแบบอ้างอิงในภาพให้ได้ สำหรับโปรแกรมการจับคู่รูปแบบที่ดีนั้น ควรจะต้องให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ และจะต้องมีความสามารถทำงานได้ในสภาพต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

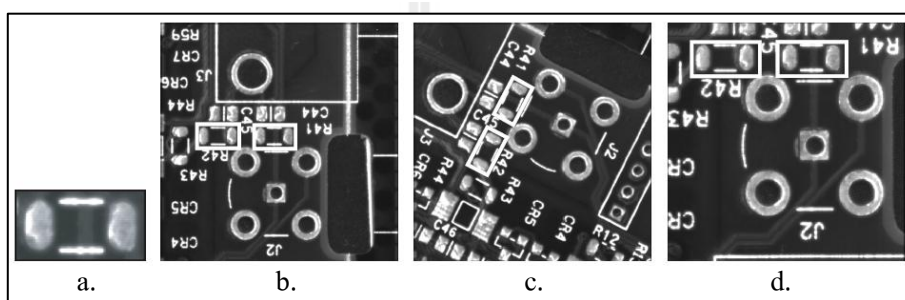
1. รูปแบบเปลี่ยนแนววางตัวและมีหลายรูปแบบในภาพ

ขั้นตอนการจับคู่รูปแบบจะต้องกำหนดตำแหน่งของรูปที่เหมือนในภาพ แม้ว่าภาพนั้นจะหมุนไปหรือขยายขึ้น เมื่อรูปแบบมีการหมุนหรือขยายในภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการจับคู่จะสามารถตรวจจับข้อมูลต่าง ๆ ต่อไปนี้ได้

- ส่วนในภาพที่ค้นหาที่มีรูปแบบเหมือนกับในภาพอ้างอิง
- ตำแหน่งของภาพที่มีรูปแบบที่เหมือนกับภาพต้นแบบ
- แนวการวางตัวของภาพที่มีรูปแบบเหมือนกับภาพต้นแบบ

- ในกรณีที่มีรูปแบบที่เหมือนหลายส่วนในภาพค้นหา โปรแกรมจะต้องสามารถตรวจจับได้ทั้งหมด

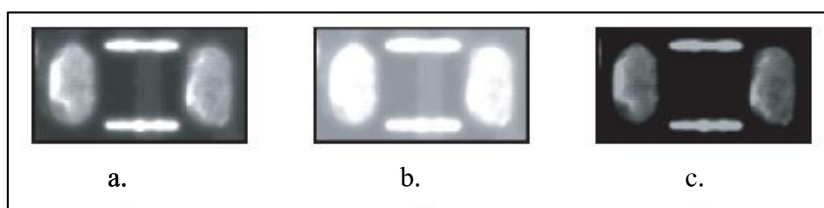
ในรูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ รูปที่ 2.24a คือภาพของรูปแบบอ้างอิงที่จะให้ค้นหาในภาพที่ตรวจ รูปที่ 2.24b แสดงการตรวจจับรูปแบบที่เหมือนกับภาพต้นแบบ รูปที่ 2.24c แสดงรูปแบบที่เหมือนกับภาพต้นแบบแม้ว่าจะมีแนววางตัวที่แตกต่างออกไป รูปที่ 2.24d แสดงรูปแบบที่เหมือนกับภาพต้นแบบ แม้จะมีการขยายภาพ และที่แสดงในรูปที่ 2.24b – 2.24d ได้แสดงกรณีที่มีรูปแบบที่เหมือนในภาพมากกว่า 1 ตำแหน่ง



รูปที่ 2.24 การตรวจจับในสภาพการวางตัวเปลี่ยนไป

2. สภาพแสงจากภายนอกที่เปลี่ยนไป

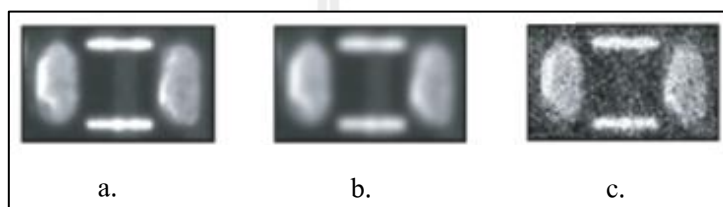
โปรแกรมการจับคู่รูปแบบที่ดีต้องมีความสามารถที่จะหารูปแบบที่เหมือนกับภาพต้นแบบในภาพที่ต้องการค้นหาได้แม้ว่าสภาพแสงในภาพจะเปลี่ยนแปลงหรือแตกต่างจากภาพต้นแบบ รูปที่ 2.25 แสดงสภาพแสงที่มักพบได้ทั่วไปที่โปรแกรมการจับคู่รูปแบบจะต้องทำงานให้ถูกต้อง รูปที่ 2.25a แสดงรูปแบบต้นแบบ รูปที่ 2.25b แสดงรูปแบบในภาพค้นหาที่มีความสว่างของภาพมากกว่าต้นแบบ และรูปที่ 2.25c แสดงการตรวจจับรูปแบบที่เหมือนในภาพค้นหาที่มีแสงสว่างน้อยกว่าภาพต้นแบบ



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างภาพที่สภาพแสงต่างไป

3. สภาวะที่รูปไม่ชัดหรือมีสัญญาณรบกวน

โปรแกรมการจับคู่รูปแบบจะต้องสามารถหารูปแบบที่ต้องการในภาพได้ แม้ว่าภาพจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากรูปไม่ชัดหรือมีสัญญาณรบกวน รูปไม่ชัดมักเกิดจากระยะโฟกัสที่ไม่ถูกต้องหรือการเปลี่ยนแปลง Depth of field ของภาพที่ค้นหาแตกต่างไปจากภาพต้นแบบ รูปที่ 2.26 แสดงกรณีที่ภาพไม่ชัดหรือมีสัญญาณรบกวนที่พบได้ทั่วไป รูปที่ 2.26a แสดงรูปแบบต้นแบบรูปที่ 2.26b แสดงรูปแบบในภาพค้นหาที่มีความชัดเจนต่างออกไปจากภาพต้นแบบ รูปที่ 2.26c แสดงภาพที่มีสัญญาณรบกวน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดกระบวนการจับคู่รูปแบบจะต้องสามารถมองหารูปแบบที่เหมือนในภาพค้นหาได้



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างของภาพไม่ชัดและมีสัญญาณรบกวน

2.6.2 เทคนิคของการจับคู่รูปแบบ

เทคนิคของการจับคู่รูปแบบมีหลายแบบซึ่งได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์นี้จะขอเสนอวิธีการที่ได้รับการเลือกใช้โดยโปรแกรม NI Vision ซึ่งประกอบด้วยวิธีการและรายละเอียดของเทคนิคต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. Normalizing Cross-Correlation

เทคนิคการค้นหาค้นหาด้วยการใช้วิธีการ Normalizing Cross-Correlation เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดในการหารูปแบบที่เหมือนในภาพที่ค้นหากับภาพต้นแบบพื้นฐานทางคณิตศาสตร์จะเป็นการใช้หลักสถิติพิจารณาว่าในภาพค้นหานั้นมีส่วนใดบ้างที่มีรูปแบบเหมือนกับรูปแบบของภาพต้นแบบ อย่างไรก็ตามเนื่องจากพื้นฐานสำหรับการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบในภาพกับภาพค้นหาคือจะเป็นการใช้คณิตศาสตร์ที่มีการคูณค่าตัวเลขในแต่ละพิกเซลเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง ทำให้เทคนิคนี้เป็นวิธีการหาความสัมพันธ์ใช้เวลาในการคำนวณและหน่วยความจำมาก วิธีการหลายอย่างที่ต้องการจะลดระยะเวลาการคำนวณลง เช่น การลดขนาดของภาพลงหรืออาจทำได้โดยพยายามกำหนดพื้นที่ที่ค้นหาให้เล็กลงเพื่อให้การค้นหาค้นหาทำได้รวดเร็วขึ้น

แต่ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยี เช่น MMX มีความสามารถที่ทำการประมวลผลแบบขนาน จึงทำให้เวลาการคำนวณลดลงไปได้มากอีกทั้งเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นทำให้ความเร็วของคอมพิวเตอร์สูงขึ้น จึงสามารถลดระยะเวลาการคำนวณหาความสัมพันธ์ลงได้จากเดิม เทคนิคนี้จึงถือว่าเป็นเทคนิคที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2. Scale - and Rotation - Invariant Matching

เทคนิคการค้นหาค้นหาด้วยวิธีการ Normalized Cross-Correlation จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการค้นหารูปแบบที่คล้ายกันของภาพค้นหากับภาพต้นแบบ เมื่อภาพค้นหานั้นไม่มีการย่อ/ขยาย หรือวางตัวในแนวที่หมุนไปจากภาพต้นแบบ โดยปกติ Cross-Correlation สามารถที่จะตรวจจับรูปแบบที่เหมือนที่มีขนาดเท่ากันแต่มีมุมหมุนได้ประมาณ 5° ถึง 10° การที่จะใช้วิธีการหาความสัมพันธ์เพื่อตรวจจับรูปแบบขนาดที่แตกต่างและมีมุมหมุนแตกต่างกันออกไประหว่างภาพค้นหาและภาพต้นแบบการใช้วิธีการหาความสัมพันธ์อาจไม่เหมาะสม

สำหรับเทคนิค Scale-Invariant Matching วิธีการนี้สามารถตรวจจับความเหมือนของรูปแบบได้ แม้ว่าภาพทั้งสองจะมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยกระบวนการนี้จะทำการเปลี่ยนขนาดของภาพต้นแบบครั้งหนึ่งก่อน จากนั้นจึงใช้วิธีการหาความสัมพันธ์ของภาพต้นแบบกับภาพค้นหา วิธีการดังกล่าวแม้จะตรวจสอบรูปแบบที่มีขนาดที่แตกต่างกันได้แต่ก็จะทำให้เพิ่มเวลาที่ใช้ในการประมวลผลอย่างมาก โดยเฉพาะการทำ Normalizing กรณีของ Rotation จะยุ่งยากมากขึ้น เพราะจะต้องหมุนภาพต้นแบบไปที่ละค่าแล้วจึงหาความสัมพันธ์ ในกรณีนี้เวลาการคำนวณอาจทำให้สั้นลงได้ หากผู้ใช้พอที่จะทราบว่ามีมุมของภาพที่ตรวจสอบมีค่าเท่าใดเทียบกับภาพต้นแบบ เพราะจะช่วยให้การพิจารณาให้แคบลง เพราะไม่เช่นนั้นการหมุนจะต้องทำไปทีละขั้นจนพบรูปแบบที่เหมาะสม ซึ่งจะสิ้นเปลืองเวลาในการทำคำนวณมาก

อีกเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้คือการหา Correction ในโดเมนความถี่โดยภาพทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนค่าจากความเข้มในแต่ละพิกเซลไปอยู่ในโดเมนความถี่โดยใช้ Fast Fourier Transform (FFT) ถ้าภาพต้นแบบและภาพค้นหานี้มีขนาดเท่ากัน วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการหา correction ในโดเมนของค่าพิกเซล ในโดเมนความถี่ Correction จะหาได้จากการคูณ FFT ของภาพด้วย Complex Conjugate ของ FFT ของรูปแบบต้นแบบ การทำ Normalizing Cross-Correlation ในโดเมนความถี่เป็นเรื่องที่ยาก ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยม

3. Pyramidal Matching

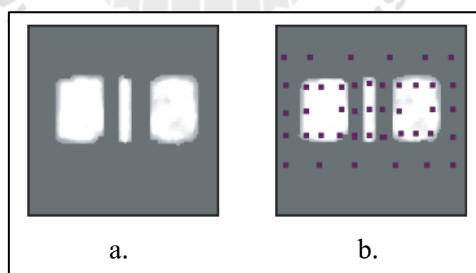
การลดเวลาในการคำนวณเพื่อหารูปแบบที่เหมือนสามารถทำได้โดยลดขนาดของภาพค้นหาและขนาดของภาพต้นแบบลง เทคนิค Pyramidal Matching ทั้งภาพค้นหาและภาพต้นแบบจะได้รับการตรวจสอบในโดเมนที่มีความละเอียดต่ำลง ตัวอย่างเช่น การพิจารณาพิกเซลเว้นพิกเซลทำให้

ภาพค้นหาและภาพต้นแบบมีขนาดเล็กลงเหลือเพียงหนึ่งในสี่ของภาพเดิม จากนั้นการเปรียบเทียบจะทำในภาพที่ลดขนาดมาแล้วก่อน และเนื่องจากภาพมีขนาดเล็กลงทำให้การค้นหารูปแบบที่เหมือนกับภาพต้นแบบจะเร็วขึ้น เมื่อการเปรียบเทียบเสร็จสิ้น พื้นที่ที่มีค่าลำดับคะแนนความเหมือนสูงจะได้รับการพิจารณาอีกครั้งในรูปต้นแบบที่มีขนาดเดิมซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาลงได้

4. Image Understanding

สำหรับวิธีการจับคู่รูปแบบจะเป็นการพิจารณารูปแบบของพิกเซลที่อยู่ในภาพ แต่เนื่องจากรูปภาพส่วนมากจะมีข้อมูลที่ซ้ำกันอยู่ในรูป ดังนั้นการใช้ข้อมูลทั้งหมดในรูปภาพจึงทำให้สิ้นเปลืองเวลาและไม่แม่นยำ การสุ่มเลือกพิกเซลมาพิจารณาอย่างชาญฉลาดจะเป็นวิธีการหนึ่งที่ลดจำนวนพิกเซลที่ต้องพิจารณาลงได้โดยที่ได้ข้อมูลของภาพอย่างครบถ้วนสมบูรณ์

โปรแกรมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ NI vision ซึ่งจะมีวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Non – Uniform Sampling) เพื่อทำความเข้าใจและอธิบายทั้งภาพค้นหาและภาพต้นแบบได้อย่างละเอียด การสุ่มตัวอย่างนี้จะใช้เทคนิคพิเศษในการรวมพิกเซลที่ขอบและพิกเซลในพื้นที่วัตถุเข้าด้วยกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.27 และนอกจากนี้ NI vision จึงนำวิธีการนี้มาใช้ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW ทำให้การประมวลผลเพื่อที่จะหา cross – correction เกิดได้รวดเร็วขึ้นสำหรับโปรแกรมที่ใช้จะสามารถที่จะตรวจจับรูปแบบที่เหมือนได้เมื่อภาพทั้งสองมีขนาดเปลี่ยนไปในช่วง $\pm 5\%$ และการหมุนตัวในช่วง $0^\circ - 360^\circ$ ได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 2.27 เทคนิคการตรวจจับด้วย Image Understanding

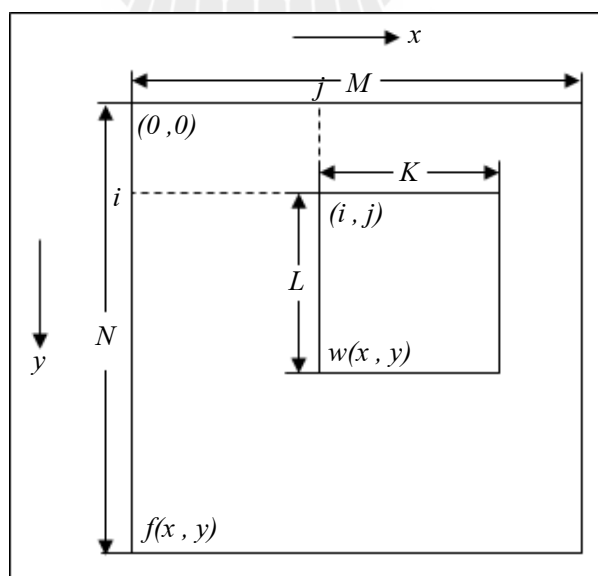
2.6.3 การหาความสัมพันธ์ร่วม

เพื่อให้เข้าใจถึงคณิตศาสตร์ที่สำคัญในการหาความสัมพันธ์ เริ่มจากพิจารณาส่วนย่อยของภาพที่กำลังพิจารณา $w(x,y)$ ที่มีขนาด $K \times L$ ภายในภาพ $f(x,y)$ ที่มีขนาด

$M \times N$ โดย $K \leq M$ และ $L \leq N$ ความสัมพันธ์ระหว่าง $w(x, y)$ และ $f(x, y)$ ที่จุด (i, j) จะหาได้จาก

$$C(i, j) = \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} w(x, y) f(x+i, y+j) \quad (2.1)$$

เมื่อ $i = 0, 1, \dots, M-1$ และ $j = 0, 1, \dots, N-1$ และผลรวมนั้นหาในช่วงที่พื้นที่ซึ่งฟังก์ชัน $w(x, y)$ และ $f(x, y)$ นั้นทับซ้อนกัน ดังรูปที่ 2.28 แสดงให้เห็นกระบวนการหาความสัมพันธ์ สมมุติว่าจุดกำหนดของภาพ $f(x, y)$ อยู่ที่มุมบนซ้าย จากนั้นการหาความสัมพันธ์กับภาพส่วนย่อย $w(x, y)$ ซึ่งเป็นภาพที่เคลื่อนที่ไปได้เรื่อย ๆ รอบภาพหลักหรือภาพค้นหา ที่ตำแหน่งที่พิจารณาใด ๆ โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า C ในพื้นที่ที่ทับซ้อนนั้น โดยการคูณค่าของแต่ละพิกเซลของภาพค้นหาคับค่าพิกเซลที่ตำแหน่งเดียวกันของภาพต้นแบบหรือภาพอ้างอิงนี้ จากนั้นรวมค่าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในส่วนที่ทับซ้อน จากนั้นก็เปลี่ยนตำแหน่งทับซ้อนไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ค่า C ที่เป็นไปได้ทั้งหมดระหว่างภาพค้นหาคับภาพต้นแบบ ค่า C ที่สูงที่สุดจะเป็นค่าที่ทำให้ w และ f มีรูปแบบที่เหมือนกันมากที่สุดที่จะนำไปพิจารณา โดยทั่วไปค่าความสัมพันธ์นี้จะไม่ค่อยแม่นยำบริเวณขอบของรูป



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการหาความสัมพันธ์

การหาความสัมพันธ์แบบพื้นฐานนี้จะอ่อนไหวต่อการที่ภาพค้นหาเปลี่ยนแปลงค่าไปมาก เช่น ความเข้มแสงที่เปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น ถ้าความเข้มของแสงในภาพ f เพิ่มขึ้นเท่าตัว ก็จะทำให้ค่า c เพิ่มขึ้นเท่าตัวเช่นกัน การที่จะปรับแก้ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ สามารถกระทำได้โดย ทำการหาค่า Normalized Correlation Coefficient ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$R(i, j) = \frac{\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (w(x, y) - \bar{w})(f(x+i, y+j) - \bar{f}(i, j))}{\left[\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (w(x, y) - \bar{w})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} (f(x+i, y+j) - \bar{f}(i, j))^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2.2)$$

โดยที่ $\bar{w}$ เป็นค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มแสงของพิกเซลในรูปแบบ w ซึ่งคำนวณเพียงครั้งเดียว ค่า $\bar{f}$ เป็นค่าเฉลี่ยของ f ในส่วนที่ทับซ้อนกับตำแหน่งปัจจุบัน w โดยค่า $R(i, j)$ นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 และจะมีค่าเป็นอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของ f และ w ดังนั้นค่าที่ได้จึงไม่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแสงที่ตกกระทบต่อภาพที่จะทำการวิเคราะห์

การจับคู่รูปแบบนั้นเป็นส่วนแรกในกระบวนการวิเคราะห์ภาพ เพื่อทำการค้นหาวัตถุที่ต้องการในภาพที่จับมาได้ หลังจากที่สามารถหาตำแหน่งของวัตถุในภาพได้ครบถ้วนแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็จะเป็นกระบวนการวิเคราะห์ด้านอื่น ๆ เช่น นับจำนวน วัตถุขนาดหรือวัตถุมิติ เป็นต้น ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.7 การวัดมิติ (Dimension Measurements)

ในการใช้การมองเห็นของเครื่องจักรเครื่องมือหนึ่งที่สามารถกระทำได้ ก็คือการใช้ภาพที่จับได้ด้วยคอมพิวเตอร์ทำการวัดมิติด้านต่าง ๆ ซึ่งการวัดมิตินั้นอาจจะเป็นการวัดระยะทางที่ต้องการ การวัดแนวเส้นโค้ง การวัดมุม การวัดพื้นที่ การวัดเส้นในแนวที่ต้องการ หรือส่วนของวงกลมว่าอยู่ในส่วนที่ต้องการหรือไม่ หรือแม้แต่วัดจำนวนของเส้นหรือส่วนโค้ง ทั้งหมดนี้เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์มีความสมบูรณ์และรูปทรงตลอดจนมิติต่าง ๆ ว่าเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ ทั้งหมดนี้ก็เพื่อเป็นการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั่นเอง

ส่วนประกอบต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านอิเล็กทรอนิกส์ มักมีขนาดเล็กและมีส่วนประกอบย่อยอยู่เป็นจำนวนมาก แต่จำเป็นที่จะต้องผลิตด้วยความถูกต้องและแม่นยำ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของอุปกรณ์เหล่านี้ เช่น สวิตช์ หรือรีเลย์ หากใช้คนในการตรวจสอบจะเป็นงานที่ต้องการความละเอียด แต่ช้าชากและน่าเบื่อ การมองเห็นของเครื่องจักร จากการใช้ NI Vision จะช่วยให้การทำงานในการ

ตรวจสอบนี้สะดวก รวดเร็วและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายการใช้โปรแกรมในส่วน of NI Vision เพื่อใช้ในกระบวนการวัดมิติ

เราควรจะใช้เครื่องมือสำหรับการวัดมิตินี้ในกรณีที่เรากำลังต้องการวัดมิติที่มีความละเอียดอ่อน โดยการวัดมิติของชิ้นส่วนที่ปรากฏอยู่ในภาพ การวัดมิติที่มีความสำคัญและละเอียดนี้บางครั้งเรียกว่าการวัด (Gauging) ซึ่งสามารถที่จะกระทำได้ทั้งแบบที่กระทำในขณะที่อยู่ในสายการผลิตและเมื่อไม่ได้อยู่ในสายการผลิต ในระหว่างที่อยู่ในสายการผลิตจะเป็นการตรวจสอบหรือการวัดในขณะที่กระบวนการผลิตยังดำเนินไป ผลิตภัณฑ์จะได้รับการตรวจสอบในระหว่างที่จะนำไปสู่กระบวนการประกอบหรือเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป ซึ่งการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนการผลิตถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญในกระบวนการผลิตที่มีการประกอบชิ้นส่วนหลาย ๆ ส่วนอย่างต่อเนื่องและความผิดพลาดของชิ้นส่วนชิ้นหนึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดจนยอมรับไม่ได้ของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป อีกทั้งการปรับแต่งหรือแก้ไขชิ้นงานจะทำให้ยากและเสียเวลาในกระบวนการปรับแก้มาก

สำหรับการตรวจสอบแบบที่ผลิตภัณฑ์ไม่ได้อยู่ในสายการผลิตนิยมกระทำในกรณีที่ทำการสุ่มตรวจความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด อาจจะใช้ในการวัดระยะห่างของการติดตั้งชิ้นงาน หรือระยะห่างของรอยตัดแยกเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ผ่านกระบวนการที่จำเป็นแล้วมีมิติที่ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของชิ้นงานนั้น การวัดนี้จะทำให้เราได้ข้อมูลเหล่านั้นในระยะเวลาที่สั้นและมีความน่าเชื่อถือสูงเมื่อเทียบกับการวัดด้วยสายตาของมนุษย์

2.7.1 หลักการของการวัดด้วยภาพ

กระบวนการวัดประกอบด้วยกระบวนการหลัก ๆ จำนวน 4 กระบวนการ

1. กำหนดตำแหน่งของส่วนประกอบหรือชิ้นงานในภาพ

ในกระบวนการวัดจะต้องหาพื้นที่ที่จะต้องทำการตรวจวัดเสียก่อน เพราะกระบวนการวัดเป็นกระบวนการที่ต้องการความละเอียด จึงไม่สามารถจะทำการตรวจวัดภาพทั้งภาพได้ หากเป็นการหาพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest, ROI) ดังนั้นในการที่จะใช้วิธีการนี้ส่วนของวัตถุที่ต้องการการตรวจสอบจะต้องอยู่ในพื้นที่ ROI นี้เสมอ

โดยทั่วไปในการตรวจสอบชิ้นส่วนนั้น ชิ้นส่วนที่อยู่ในกระบวนการประกอบจะมีตำแหน่งที่หลากหลาย มีการหมุนไปจากแนวที่วางไว้หรือมีตำแหน่งที่เยื้องออกไปจากแนวที่ตั้งไว้ในตอนแรก ดังนั้น ROI ก็มีความจำเป็นที่จะต้องหมุนหรือเคลื่อนที่ออกไป ตามที่วัตถุชิ้นนั้นเคลื่อนที่ไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดวัตถุในภาพก่อน จากนั้นจึงทำการกำหนด ROI ในภาพที่ได้ แล้วจึงกำหนดระบบพิกัดใน ROI นั้น การกำหนดพิกัดเพื่อหาตำแหน่ง x,y และมุมหมุนของระบบแกนนั้น จากนั้นใช้ฟังก์ชันที่มีอยู่ในโปรแกรมทำการหาความสัมพันธ์ของระบบแกนที่ได้

กับระบบแกนอ้างอิงของรูปภาพ ซึ่งการค้นหาวัดจุดและระบบแกนนี้เราอาจใช้วิธีการการตรวจจับขอบหรือการจับคู่รูปแบบก็ได้

2. กำหนดรูปลักษณะสำคัญในส่วนของชิ้นงาน

เพื่อที่จะสามารถตรวจวัดวัตถุได้ ขั้นแรกจะเป็นการค้นหาวัดจุดอ้างอิง หรือพื้นที่สำคัญในวัตถุนั้นก่อน เพื่อที่จะได้เป็นส่วนที่ใช้อ้างอิงในการวัดระยะหรือวัดมุมในแนวที่ต้องการ ในการวัดส่วนมากแล้วจะเป็นการวัดระยะจากจุดถึงจุดที่ตรวจจับได้บนภาพ หรือมีรูปทรงที่เหมือนกับจุดที่ต้องการทำการตรวจจับ ส่วนประกอบของวัตถุสำคัญที่จะนำมาใช้ในการตรวจวัดนั้นจะนำมาจากวิธีการหลักสองวิธีคือ

- วิธีการหาขอบเขตของวัตถุตลอดทั้งรูปวัตถุ โดยกระบวนการค้นหาลักษณะขอบ
- วิธีการกำหนดรูปทรงหรือรูปแบบของวัตถุ โดยใช้วิธีการจัดคู่รูปแบบ

3. ทำการวัด

ในการวัดภาพในพื้นที่ที่สนใจ จะมีวิธีการวัดได้หลายวิธี ซึ่งการวัดที่พบเห็นได้ทั่วไปประกอบด้วยการวัดระยะระหว่างจุด วัดมุมระหว่างเส้นตรงสองเส้น เส้นตรง วงกลมหรือวงรี ที่ตรงกับจุดที่ตรวจวัดได้มากที่สุด รวมถึงพื้นที่ตามรูปทรงเรขาคณิตตามที่กำหนด เช่น ตรวจสอบรูปทรงที่เป็นวงกลม วงรีหรือรูปหลายเหลี่ยม ดังนั้นสิ่งสำคัญของกระบวนการวัดนี้จำเป็นที่จะต้องหาจุดตามขอบเขตให้ได้ก่อน จากนั้นใช้วิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเส้นหรือส่วนโค้งที่เหมาะสมที่สุดกับกลุ่มจุดนั้น จากนั้นจึงดำเนินการวัดต่อไป

4. การตรวจสอบและจำแนกผลการวัด

ขั้นตอนสุดท้ายของการวัดจะเป็นการหาคุณภาพของการวัดชิ้นส่วน ตามที่ได้พิจารณาจากภาพ การพิจารณาคุณภาพของชิ้นส่วนที่ทำการวัดกับรูปภาพต้นแบบนั้นสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบสัมพัทธ์และเปรียบเทียบแบบสัมบูรณ์ ในการประยุกต์ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน กระบวนการวัดได้กระทำบนภาพที่ได้จากการตรวจสอบแล้วนำมาเปรียบเทียบกับภาพที่ได้จากลักษณะเดียวกันแต่เป็นชิ้นส่วนที่ได้มาตรฐาน หรืออาจได้จากภาพอ้างอิงมาตรฐาน ดังนั้นเนื่องจากการวัดทั้งหมดมาจากกระบวนการตรวจสอบจริง ทำให้สามารถที่จะตรวจสอบชิ้นส่วนในขณะนั้นเทียบกับภาพของชิ้นส่วนมาตรฐานได้โดยตรง การเปรียบเทียบเช่นนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบสัมพัทธ์กับรูปแบบมาตรฐาน ส่วนในบางกรณีมิติที่ตรวจวัดได้จะต้องนำค่าที่ตรวจวัดได้มาเทียบกับค่ามาตรฐาน ดังนั้นค่าที่วัดได้จากภาพ จะต้องนำมาเปลี่ยนให้เป็นค่าในมิติที่เป็นจริง เช่น ความยาวต้องมีหน่วยเป็น นิ้ว หรือ เมตร ไม่ใช่พิกเซล เป็นต้น ดังนั้นจะต้องมีการเปรียบเทียบค่าก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่เปรียบวัดและปรับเปลี่ยนให้เป็นมิติจริงแล้วนำมาตรวจสอบกับค่ามาตรฐาน การเปรียบเทียบค่าเช่นนี้จึงถือเป็นการเปรียบเทียบค่าแบบสัมบูรณ์

2.7.2 การกำหนดระบบพิกัดในการวัด

ในการประยุกต์ใช้งานของการมองเห็นด้วยเครื่องจักรในด้านการวัดนั้น การทำการวัดจะนำออกมาจากภาพที่อยู่ในส่วนของ ROI ไม่ใช่ภาพทั้งหมด ดังนั้นวัตถุที่ต้องการวัดนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรากฏอยู่ใน ROI เพื่อที่เมื่อนำ ROI ไปตรวจสอบแล้ว จะได้ค่าที่ต้องการวัดอย่างถูกต้องและแม่นยำ

ในกรณีที่ตำแหน่งและการวางตัวของวัตถุที่ต้องการจะทำการวัดนั้นอยู่ในตำแหน่งและแนวเดิมตลอดเวลา การวัดจะสามารถทำได้โดยตรงทันที โดยไม่ต้องมีการกำหนดตำแหน่งของวัตถุใหม่ เพราะเราสามารถกำหนด ROI ไว้และวัตถุที่ต้องการจะวัดจะเข้ามาบรรจุใน ROI ในทุกภาพที่เราทำการวัด

อย่างไรก็ตามในหลายกรณีวัตถุที่จะทำการตรวจวัดไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งคงที่หรือวางตัวในแนวคงที่เสมอไป ทำให้พื้นที่ที่จะต้องการค้นหาจะเปลี่ยนตำแหน่งไปตามภาพที่จัดได้ ซึ่งพื้นที่ค้นหาจะต้องได้รับการกำหนดพิกัดเทียบกับระบบแกนหลักของรูป โดยระบบแกนอ้างอิงจะต้องมีจุดกำเนิดอ้างอิง และแนวการวางตัวของแกนแกนหนึ่งว่าให้อยู่ในแนวใด

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้ระบบพิกัดในทุกครั้งที่มีการคาดการณ์ว่าภาพที่เราจับมาจากกล้องนั้นจะไม่ได้ตำแหน่งและการวางตัวของวัตถุที่ต้องการทำการวัดที่มีค่าแน่นอนเสมอไป การใช้ระบบพิกัดอาจใช้เพื่อกำหนดระบบแกนอ้างอิงเทียบกับวัตถุที่ต้องการตรวจวัด จากนั้นจึงกำหนดพื้นที่ค้นหาเทียบกับระบบแกนอ้างอิงก็ได้เช่นกัน

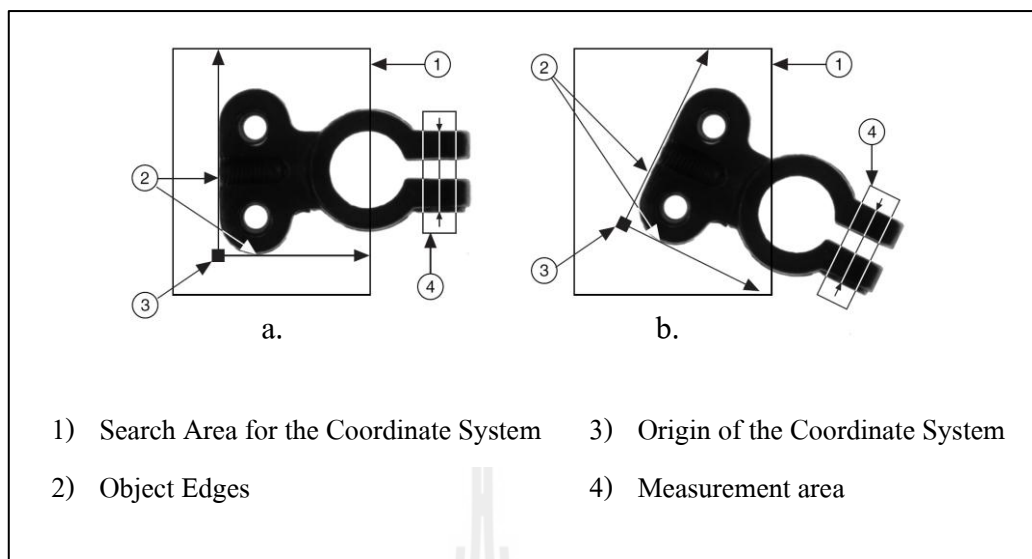
สำหรับหลักการของใช้ระบบแกนจะมีหลักสำคัญดังนี้คือ ระบบแกนจะสร้างขึ้นมาทุกครั้งที่ทำกรวัด และค่าที่ทำการวัดจะวัดเทียบกับระบบแกนอ้างอิง ดังนั้นระบบแกนที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะที่เหมาะสมกับการใช้วัดวัตถุที่เราต้องการ ดังในขั้นแรกของการวัดจะต้องทำการตรวจสอบภาพและหาส่วนประกอบสำคัญในวัตถุที่จะใช้อ้างอิง และควรที่จะเลือกส่วนที่สำคัญของวัตถุในภาพที่คาดว่าโปรแกรมน่าจะสามารถค้นหาวัตถุได้ในทุกภาพที่ทำการถ่ายมา และไม่ควรจะเลือกส่วนในวัตถุนี้ อาจเกิดความผิดพลาดจากกระบวนการผลิตได้ง่ายเพราะจะทำให้โปรแกรมไม่สามารถที่จะหาจุดอ้างอิงได้ถ้ากระบวนการผลิตนั้นผิดพลาดไป

จากนั้นให้กำหนด ROI ที่มีส่วนสำคัญที่เลือกบรรจุอยู่ เพื่อให้โปรแกรมทำหน้าที่ค้นหาส่วนประกอบสำคัญ การเลือก ROI ก็เพื่อไม่ให้โปรแกรมไปค้นหาแล้วพบส่วนอื่นในภาพที่มีลักษณะคล้ายกับส่วนที่ต้องการใช้อ้างอิง และการกำหนด ROI ให้มีขนาดเล็กลงก็จะสามารถช่วยให้การค้นหาและการทำงานของโปรแกรมสั้นลงอีกด้วย

ส่วนขั้นตอนต่อไปก็คือการทำการวัด โดยค่าที่วัดได้จะเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับระบบแกนใหม่ที่เราสร้างขึ้น มา แม้ว่ารายละเอียดในการวัดในแต่ละสถานการณ์จะไม่เหมือนกัน แต่ขั้นตอนทั่ว ๆ ไปของการทำการวัดจะเป็นดังนี้

1. กำหนดระบบแกนที่จะใช้
2. กำหนดพื้นที่ค้นหา ที่บรรจุรูปลักษณะหลักของวัตถุในภาพ เทียบกับระบบแกนที่กำหนดขึ้น การเลือกพื้นที่ค้นหาให้แน่ใจว่าได้ครอบคลุมส่วนสำคัญทั้งหมดที่ต้องการ
3. กำหนดรูปลักษณะอ้างอิงหลักขึ้นมาในวัตถุที่ต้องการจะตรวจสอบ รูปลักษณะนี้จะทำหน้าที่เป็นเหมือนฐานที่ใช้ในการอ้างอิงระบบแกน ในภาพต้นแบบ วิธีการที่จะค้นหาส่วนสำคัญเหล่านี้มีวิธีการหลักสองวิธีคือ การค้นหาขอบและการใช้วิธีการจับคู่รูปแบบ
4. กำหนดพื้นที่การวัดในภาพอ้างอิงขึ้นมา
5. ทำการถ่ายภาพและนำภาพที่ต้องการตรวจสอบวัตถุในภาพ
6. ปรับปรุงระบบแกน โดยในกระบวนการนี้โปรแกรม NI Vision จะมองภาพรูปลักษณะที่สำคัญในพื้นที่ค้นหาของภาพที่จะทำการตรวจสอบ และเมื่อพบแล้วก็จะทำการสร้างระบบแกนขึ้นมาใหม่ให้สอดคล้องกับภาพที่หาพบ
7. ทำการวัดภายในพื้นที่ค้นหาที่พบใหม่ในภาพที่นำมาวิเคราะห์ หรือทำการวัด โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณความแตกต่างของระบบแกนในภาพอ้างอิงและระบบแกนในภาพที่ทำการวัดเพื่อหาความแตกต่าง ๆ และความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองระบบแกน

รูปที่ 2.29 เป็นการแสดงกระบวนการวัดระยะของโปรแกรม รวมถึงวิธีการกำหนดระบบแกนด้วย โดยในรูปที่ 2.29a จะเป็นภาพต้นแบบและมีการกำหนดตำแหน่งที่สำคัญของรูปกำหนดจุดกำเนิดของระบบแกน ซึ่งคือจุด 3 ในรูป เมื่อนำโปรแกรมไปใช้งานวัตถุที่ตรวจจับมีตำแหน่งและแนววางตัวที่เปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามการกำหนดจุดสำคัญในภาพนั้นยังอยู่ในพื้นที่ค้นหาซึ่งก็คือในกรอบสี่เหลี่ยมหมายเลข 1 ในภาพ ดังนั้นเมื่อใช้วิธีการค้นหาที่พบจุดสำคัญแล้ว โปรแกรมจะทำการวางระบบแกนใหม่และจุดอ้างอิงต่าง ๆ ใหม่ตามที่แสดงในรูปที่ 2.29b เพื่อจะทำการวัดระยะที่ต้องการ ซึ่งในที่นี้ระยะที่ต้องการวัดจะอยู่ในพื้นที่กรอบหมายเลข 4 นั่นเอง



รูปที่ 2.29 การกำหนดระบบแกนและพื้นที่ค้นหาเพื่อการวัด

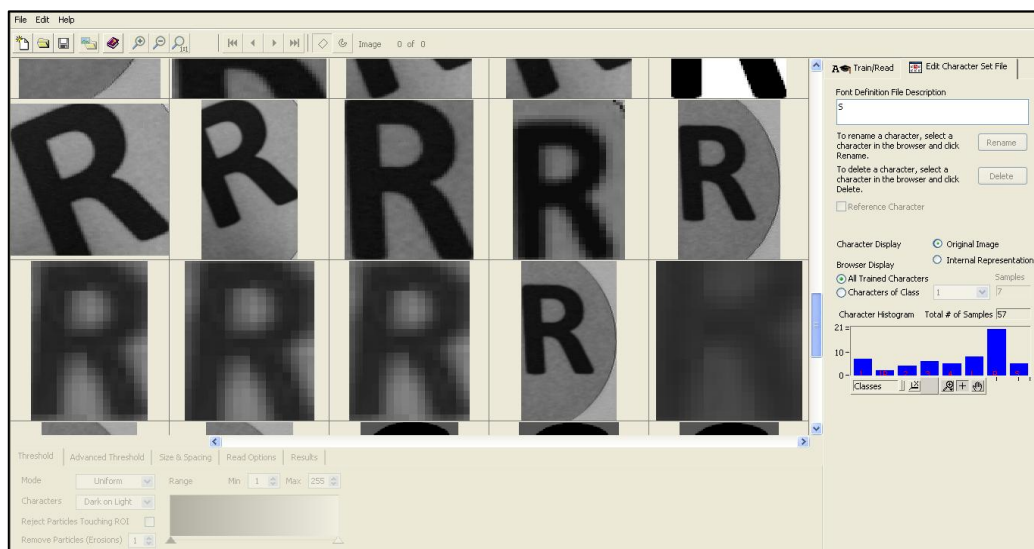
รายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการวัดระยะโดยใช้ภาพนั้นยังมีรายละเอียดเพิ่มเติมอีก อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป และได้เลือกฟังก์ชันการทำงานจากโปรแกรมบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นรายละเอียดอื่น ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอแนะนำในส่วนของการขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้เข้าใจว่าในส่วนของการประยุกต์ใช้งานนั้นผู้วิจัยได้ใช้วิธีการใดบ้างและโปรแกรมที่ใช้นั้นมีข้อดีและข้อเสียเช่นไร ซึ่งทั้งหมดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

2.8 กระบวนการ OCR (Optical Character Recognition)

คือกระบวนการและอัลกอริทึมทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อประมวลผลภาพของข้อความจากการเขียนหรือจากการพิมพ์ ไปเป็นข้อความที่สามารถแก้ไขได้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งภาพที่ได้ อาจทำโดยใช้เครื่องสแกนเนอร์ หรือภาพจากกล้อง Digital โดยทั่วไปกระบวนการ OCR จะเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในลักษณะ Pattern Recognition, Artificial Intelligence และ Computer Vision ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีความสามารถในการแปลงตัวหนังสือ และมีการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง

การประมวลผลด้วยกระบวนการ OCR เริ่มจากการ Training (สอนตัวอย่างจากภาพที่รู้จักแล้วของแต่ละตัวอักษร) เพื่อให้ Ni Vision เข้าใจความหมายและรู้จักตัวอักษรนั้น ๆ ได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.30 แสดงการ Training ตัวอักษร ในการทดลองมีการใช้ตัวอักษรบอกทิศทางบนป้ายบอกทางทั้งหมด 3 ตัวอักษร คือ R, L และ S ซึ่งตัวอักษรแต่ละตัวต้องมีสอนจากภาพตัวอักษรตัวอย่าง

อย่างน้อย 50 ภาพ โดยภาพตัวอย่างที่นำมาสอนมีการถ่ายมาจากลักษณะมุมมองและทิศทางที่แตกต่างกัน เพื่อให้ระบบสามารถรู้จักกับตัวอักษรตัวเดิมในลักษณะการมองเห็นแบบต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องมากที่สุด ซึ่งความสามารถในการระบุความหมายและความแม่นยำของกระบวนการ OCR ขึ้นอยู่กับการ Training เป็นสำคัญ ยังมีภาพตัวอย่างมากเท่าใดก็ยิ่งทำให้ได้ผลออกมาถูกต้องมากขึ้น

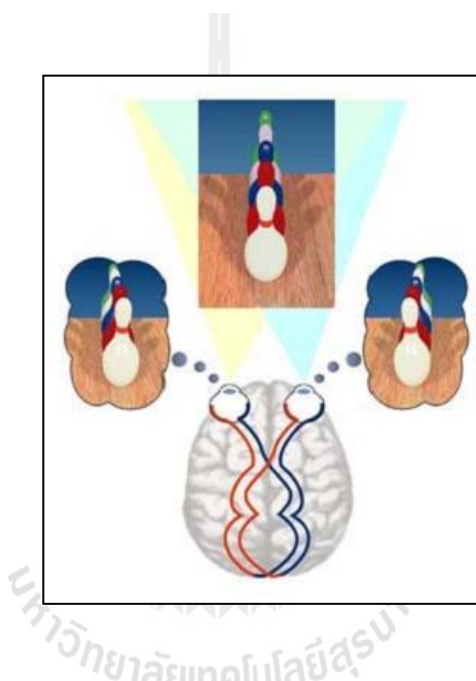


รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการ training ตัวอักษรสำหรับกระบวนการ OCR

2.9 การประมวลผลแบบกล้องคู่ (Stereo Vision)

ในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติซึ่งต้องมีการทำตามคำสั่งเพื่อเดินทางไปสถานีนางต่าง ๆ กระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งคือการคำนวณหาระยะห่างของวัตถุ ซึ่งอาจใช้ในขณะที่ต้องการหลีกเลี่ยงขณะเข้าสู่ทางแยก เนื่องจากในขณะที่กำลังจะเลี้ยวไม่สามารถมองเห็นเส้นทางด้านหน้าได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบระยะห่างที่แน่นอนจากทางแยก เพื่อการเลี้ยวที่ถูกต้อง อีกทั้งในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางก็มีความจำเป็นที่ต้องทราบระยะห่างจากวัตถุด้านหน้ารถด้วยเพื่อการคำนวณในการหลบหลีก ซึ่งวิธีการที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายสำหรับการคำนวณหาระยะห่างในรูปแบบของการประมวลผลด้วยภาพคือ ใช้หลักการ Stereo Vision เป็นการใช้กล้อง 2 ตัวติดตั้งในลักษณะขนานในระนาบเดียวกัน ซึ่งกล้องทั้ง 2 ตัวจะต้องมีค่า Parameter ต่าง ๆ เหมือนกันมากที่สุดเพื่อความถูกต้องในการคำนวณ ซึ่งการทำงานของ Stereo Vision นี้มีหลักการทำงานคล้ายกับการทำงานของสายตามนุษย์

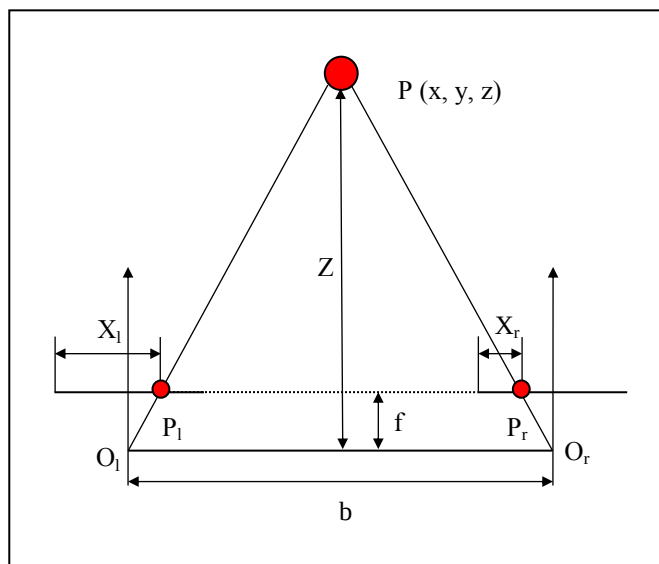
โดยปรกติมนุษย์สามารถมองเห็นภาพสามมิติจากตาสองข้าง โดยตาแต่ละข้างจะจับภาพและส่งภาพทั้งสองไปยังสมองเพื่อประมวลผลต่อไป เมื่อภาพทั้งคู่มาถึงสมองส่วนหลัง สมองจะนำภาพทั้งสองมารวมเข้าเป็นภาพเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.31 ซึ่งการประมวลผลแบบ Stereo Vision ก็ใช้กระบวนการเดียวกันนี้ในการประมวลผล ผลจากกระบวนการดังกล่าวนอกจากจะระบาระหว่างกล้องกับวัตถุแล้ว ยังสามารถแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ (Segmentation) ได้ดีอีกด้วยแต่การใช้ระบบ Stereo Vision นั้นต้องการระบบประมวลผลที่มีความไวสูงพอที่จะทำให้การประมวลผลภาพใกล้เคียงเวลาจริง ต้องทำการประมวลผลภาพจากกล้องวิดีโอสองกล้องเพื่อให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการ



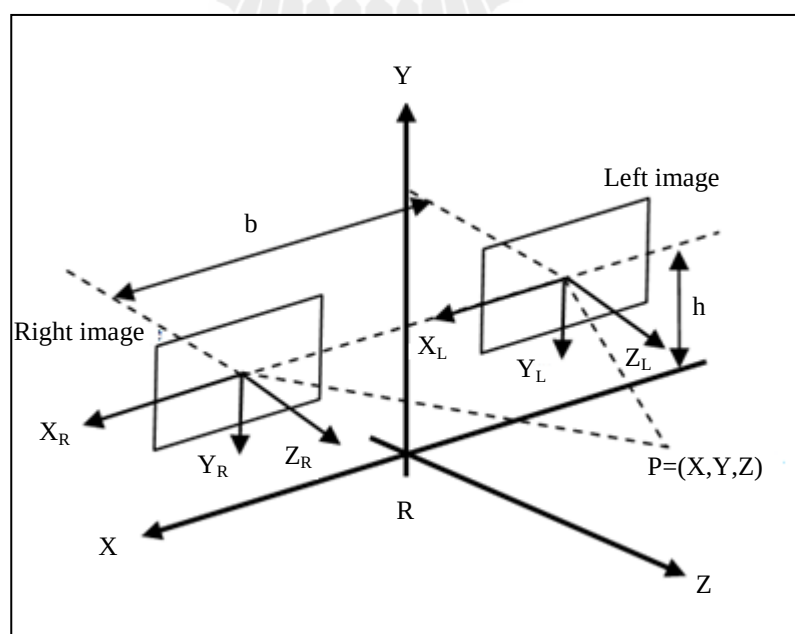
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างการประมวลผลด้วยภาพของสายตามนุษย์

โดยเมื่อทราบหลักการทำงานของวิธีการ Stereo Vision เราสามารถเขียนออกมาในรูปแบบของการคำนวณคณิตศาสตร์ ลักษณะทางเรขาคณิตของ Binocular Stereo ดังแสดงในภาพที่ 2.32 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองพื้นฐานของกล้องทั้งสองจะแยกกันเพียงทิศทางแกน x เท่านั้นโดยมีระยะห่างเท่ากับระยะ Baseline และระนาบของภาพ (Image plane) ของกล้องทั้งสองตัวนั้นอยู่ในระนาบเดียวกัน ดังนั้นทำให้จุดที่เราสนใจของภาพจากภายนอกปรากฏลงบนระนาบของกล้องทั้งสองที่ตำแหน่งต่างกัน ซึ่งระยะระหว่างตำแหน่งภาพบนระนาบนั้นเรียกว่า Disparity และระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางของกล้องทั้งสองและจุดที่เราสนใจนั้นเรียกว่า Epipolar plane เส้นที่เกิดขึ้นจากการตัดกันของระนาบภาพกับ Epipolar plane นั้นถูกกำหนดให้เป็น Epipolar line ซึ่งจากแบบจำลองของรูปที่ 2.32 แสดงลักษณะจุดของภาพจากระนาบหนึ่งจะอยู่ในแถวเดียวกัน

กับอีกระนาบหนึ่งหมายความว่าเส้น Epipolar line จะอยู่ที่ตำแหน่งแถวเดียวกันของระนาบภาพของกล้องทั้งสอง แต่ในการกำหนดให้เป็นแบบนี้ได้นั้นแสดงว่าต้องกำหนดให้ Vertical disparity นั้นมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.32 แบบจำลองการคำนวณแบบ Stereo Vision



รูปที่ 2.33 แบบจำลองการคำนวณแบบ Stereo Vision แบบ 3 มิติ

จากรูปที่ 2.32 จุด P จะปรากฏเป็นจุด P_l และ P_r บนระนาบภาพด้านซ้าย และระนาบภาพด้านขวาตามลำดับ และ กำหนดให้จุดกำเนิดของพิกัดโลกอยู่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งศูนย์กลางเลนส์ของกล้องด้านซ้าย ดังนั้นเราเปรียบเทียบสามเหลี่ยมคล้าย $\triangle PP_lP_r$ และ $\triangle PO_rO_l$ จะได้

$$Z = \frac{b \cdot f}{(X_l - X_r)} \quad (2.3)$$

โดยที่ Disparity มีค่าเท่ากับ $X_l - X_r$

ดังนั้นเราจะหารระยะ Z หรือระยะห่างระหว่างวัตถุกับจุดศูนย์กลางของภาพได้จากค่า Disparity ของภาพนั่นเอง แต่ก่อนที่จะสามารถหารระยะห่างได้นั้น เราจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของ X_l และ X_r ซึ่งกระบวนการในการหาตำแหน่งของ X_l และ X_r ที่เป็นที่นิยมนั้นเรียกว่า กระบวนการ Stereo Matching

Stereo Matching คือกระบวนการหาความเหมือนกันของภาพสองภาพ โดยทำการหาแต่ละจุดที่อยู่ทีภาพซ้ายที่เหมือนกับจุดที่อยู่บนภาพด้านขวาเพื่อที่จะนำข้อมูลมาหาค่า Disparity ต่อไปในการทำ Stereo Matching นั้นมีลำดับการทำได้ดังนี้

- ทำการ Filtering ภาพทั้งสองภาพเพื่อกำจัด Noise เช่น การใช้ Gaussian filters, Median filters
- กำหนด Threshold และหาขอบด้วยกระบวนการ Edge detection
- หาความเหมือนของภาพโดยใช้หลักการ Sum of squared difference (SSD) โดย

$$SSD[I_1(i, j), I_2(i, j)] = \sum_i, j [I_1(i, j), I_2(i, j)]^2 \quad (2.4)$$

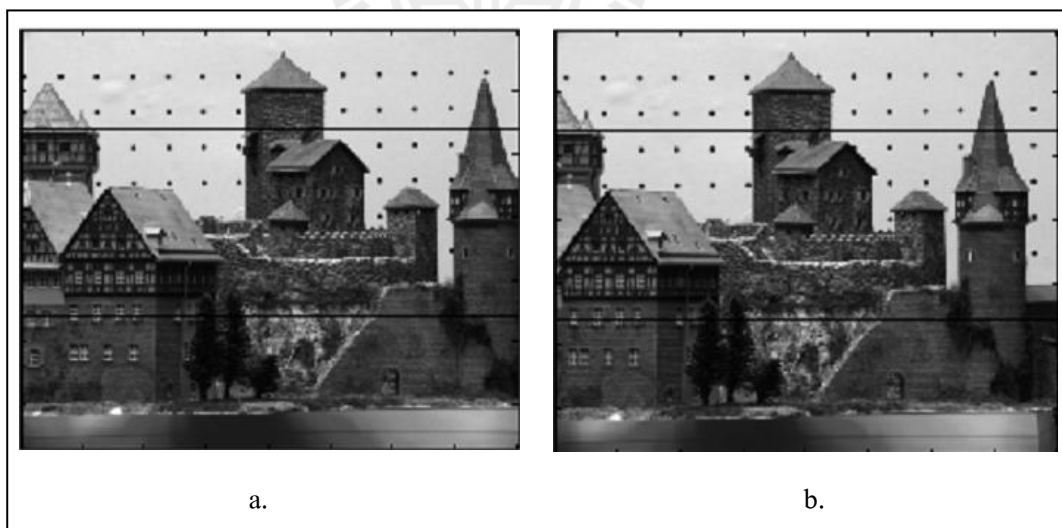
จากสมการที่ (2.4) จะพบว่าถ้าภาพเป็นภาพเดียวกันหรือเป็นภาพที่คล้ายกัน จะทำให้ค่าของ SSD จะมีค่าเท่ากับศูนย์หรือมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเราจะได้ Correlation function ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Disparity ดังนี้

$$corr(I_1, I_2, d) = SSD \left[I_1 \left(i + \frac{d}{2}, j \right), I_2 \left(i - \frac{d}{2}, j \right) \right] \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) เราสามารถที่จะทำการหาค่า Disparity ของภาพทั้งสองออกมาได้โดยเรากำหนดช่วงการหาของค่า Disparity ไว้โดย $D = \{d_1, \dots, d_n\}$ ซึ่งเราจะทำการแทนค่า Disparity แล้วทำการเลือกค่า $\text{Corr}(I_1, I_2, d_n)$ ที่มีค่าต่ำที่สุดเพราะเป็นระยะห่างระหว่างภาพที่ใกล้เคียงที่สุด

วิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างภาพสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท คือ Intensity-based Matching และ Feature-based Matching Techniques

วิธีการ Intensity-based Matching เป็นการจับคู่โดยตรงระหว่าง Intensity profiles ของสองรูปภาพ ส่วน Feature-based Matching จะแยกลักษณะเฉพาะออกจากรูปเป็นลำดับแรก และจับคู่ลักษณะเด่นนั้น ๆ Intensity-based Stereo Matching เส้น Epipolar เหมือนกับเส้น Scanline แนวอน ถ้ากล้องที่ใช้จับภาพขนานกัน จุดที่สัมพันธ์กันในทั้งสองภาพจะอยู่บน ตำแหน่ง Scanline แนวอนเดียวกัน การติดตั้งกล้องแบบ Stereo Vision ช่วยลดการค้นหาสำหรับความสัมพันธ์จากสองมิติ (รูปทั้งหมด) เป็นมิติเดียวในความเป็นจริง Intensity profiles จากแถวความสัมพันธ์ของรูปภาพทั้งคู่แสดงให้เห็นว่าสอง Intensity profiles แตกต่างกันโดย Horizontal shift และ Local foreshortening รูปที่ 2.34a และ 2.34b ทำให้เห็นว่าภาพที่ถ่ายจากกล้องที่มีตำแหน่งต่างกันในแนวราบ ดังนั้นภาพคนจะสอดคล้องกันกับการติดตั้งกล้องที่ขนานกัน เส้นสีดำสองเส้นอยู่ที่ตำแหน่ง 80 และ 230 ทั้งสองรูป



รูปที่ 2.34 ภาพจากกล้องทั้งสองข้าง

ข้อดีของ Intensity profile Matching คือได้ Dense Disparity map ตามด้วย Dense Depth map วิธีการที่ใช้ใน Intensity-based Stereo Matching ที่รู้จักกันทั่วไปคือ Window-based Method

เป็นการจับคู่บริเวณในรูปภาพที่สนใจ ยกตัวอย่างเช่น บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสูง ในแนวราบแนวดิ่งและแนวทแยงมุม Moravec's Interest operator (1979) ตรวจจับบริเวณจากภาพทั้งสองภาพ และวิธีการนี้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางสำหรับ Stereo Matching systems (เช่น SRI STEREOSYS system (Hann, 1985)) หลักจากตรวจจับบริเวณที่สนใจ Simple Correlation scheme จะถูกประยุกต์ใช้ในการบวนการจับคู่ Feature-based Stereo Matching

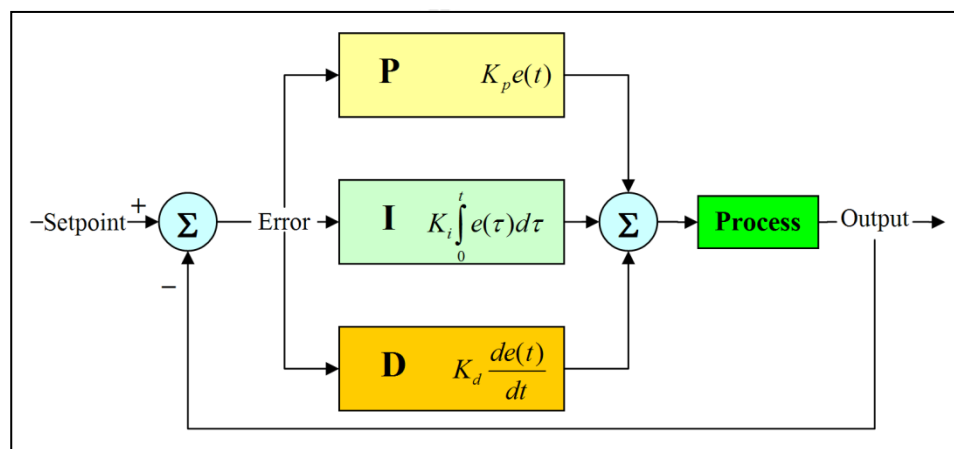
วิธีการ Feature-based Stereo Matching ในลำดับแรกก่อนการประมวลผลภาพทั้งคู่ จะแยกลักษณะเด่นที่มีความคงที่ภายใต้มุมมองที่เปลี่ยนแปลงไป หลังจากนั้นกระบวนการจับคู่คุณลักษณะที่สัมพันธ์กันด้วยการตรวจสอบจากลักษณะเด่นในข้างต้น ปัญหาที่สำคัญต่อมาคือ ลักษณะเด่นที่จะใช้งานได้แก่ (1) Edge elements (2) Corners (3) Line Segments (4) Curve Segments เป็นต้น ลักษณะเหล่านี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในหลาย ๆ งาน ขอบภาพและมุมง่ายต่อการตรวจจับ กลุ่มเส้นและกลุ่มเส้นโค้ง ต้องการเวลาในการประมวลผลมาก ลักษณะเด่นขั้นสูงได้แก่ วงกลม วงรี และบริเวณหลายเหลี่ยม ถือเป็นลักษณะเด่นสำหรับ Stereo Matching อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของรูปภาพด้วย Feature-based Stereo Matching systems ส่วนมากไม่ได้จำกัดอยู่แค่การใช้ชนิดของลักษณะเด่นอย่างเฉพาะเจาะจงอย่างใดอย่างหนึ่งสามารถใช้ชนิดของลักษณะเด่นหลายอย่างได้ ตัวอย่างเช่น ระบบที่นำเสนอโดย Weng in 1988 รวม Intensity, Edges, and Corners จากหลายๆ คุณลักษณะสำหรับการจับคู่ในทางตรงกันข้าม Lim and Binford (1987) ใช้การจัดลำดับชั้นของลักษณะเด่นแปรเปลี่ยนตาม From edges, Curves, to surfaces และส่วนประกอบหลักของสิ่งต่าง ๆ (2-D regions) For high-level attribute matching.

2.10 พื้นฐานระบบควบคุมแบบ PID

ระบบควบคุมแบบ PID ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID Controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบวิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพ่วงผ่านไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะสมกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุม จนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พิธีโอติบางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง



รูปที่ 2.35 แผนภาพบล็อกตัวควบคุมแบบ PID

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการ

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.6)$$

เมื่อ P_{out} , I_{out} และ D_{out} เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID ประกอบด้วยเทอมส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก ซึ่งแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดดังนี้

- เทอมสัดส่วน (Proportional Term)
- เทอมปริพันธ์ (Integral Term)
- เทอมอนุพันธ์ (Derivative Term)

2.10.1 เทอมสัดส่วน (Proportional Term)

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ K_p หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ (2.7)

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2.7)$$

เมื่อ

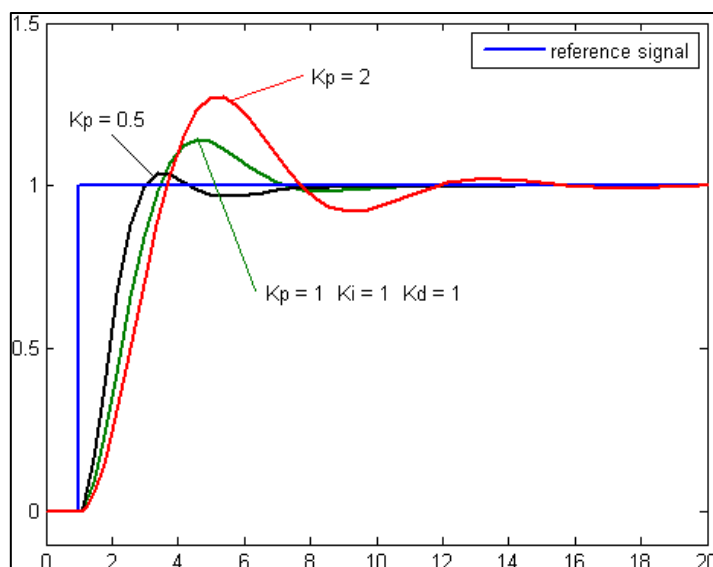
P_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_p : อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ค่าความผิดพลาด $SP - PV$

t : เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.36 เปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ค่า K_p ต่าง ๆ



รูปที่ 2.36 กราฟแสดงค่า PV ที่ค่า K_p ต่าง ๆ (K_i และ K_d คงที่)

2.10.2 เทอมปริพันธ์ (Integral Term)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก Reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาด และระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์, K_i เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ (2.8)

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.8)$$

เมื่อ

I_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

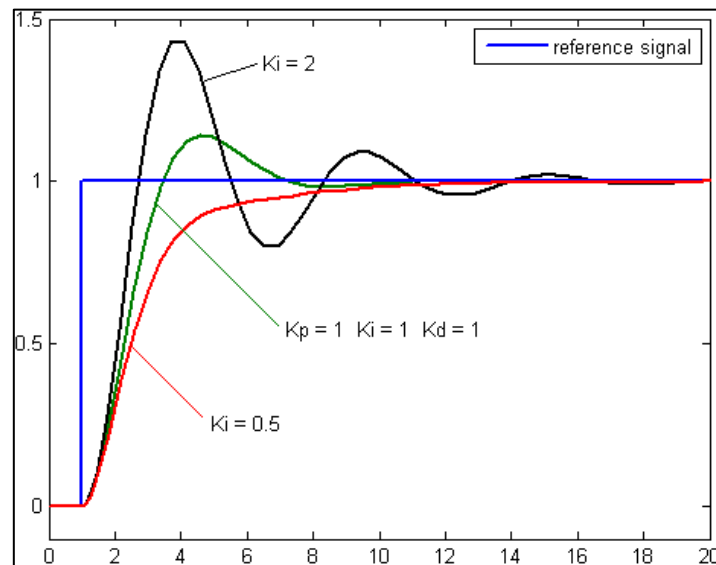
K_i : อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ความผิดพลาด $SP - PV$

t : เวลา

τ : ตัวแปรปริพันธ์หุ่น

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น) ดังแสดงในรูปที่ 2.37 เปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ค่า K_i ต่าง ๆ



รูปที่ 2.37 กราฟแสดงค่า PV ที่ค่า K_i ต่าง ๆ (K_p และ K_d คงที่)

2.10.3 เทอมอนุพันธ์ (Derivative Term)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุก ๆ เวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วย อัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับอัตราขยายอนุพันธ์ K_d เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ (2.9)

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.9)$$

เมื่อ

D_{out} : สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

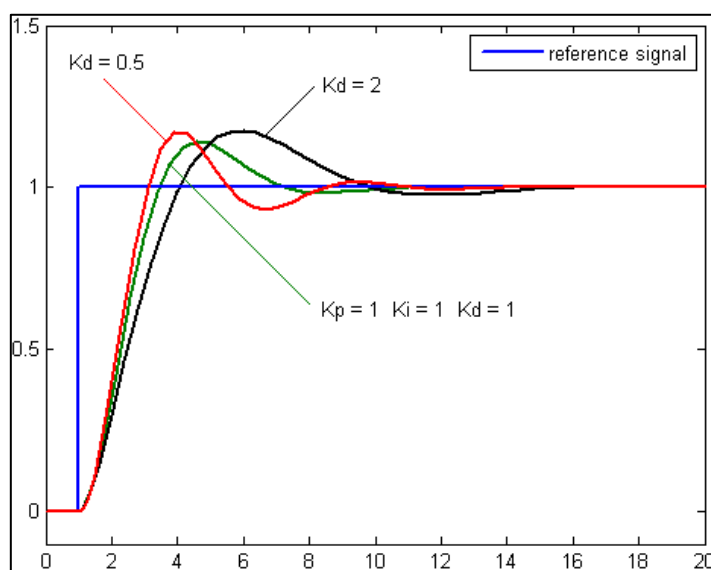
K_d : อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

e : ความผิดพลาด $SP - PV$

t : เวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุมและด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาด

ของโอเวอร์ชูตที่เกิดจากเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 2.38 เปรียบเทียบผลการตอบสนองที่ค่า K_d ต่าง ๆ



รูปที่ 2.38 กราฟแสดงค่า PV ที่ค่า K_d ต่าง ๆ (K_p และ K_i คงที่)

2.10.4 ผลรวม PID Controller

เทอมสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้ $U(t)$ เป็นสัญญาณขาออก สมการสุดท้ายของตัวควบคุมแบบ PID คือ

$$U(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.10)$$

2.10.5 การปรับจูน PID Controller

การปรับจูน PID Controller สามารถทำได้หลายวิธีซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยมคือการปรับจูนด้วยมือ (Manual) และการปรับจูนตามวิธีการของ Ziegler–Nichols

1) การปรับจูนแบบ Manual

ถ้าระบบยังคงทำงาน ขึ้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (Oscillate) แล้วตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่งสำหรับการตอบสนองชนิด (Quarter Amplitude Decay) แล้วเพิ่ม K_i จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาที่พักเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ระบบไม่เสถียรสุดท้ายถ้าต้องการให้เพิ่มค่า K_d จนกระทั่งลู่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้าค่า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_d น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวแปรการปรับจูนแบบ Manual

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error)	เสถียรภาพ
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีขึ้นถ้า K_d มีค่าน้อย

2) วิธีปรับจูนแบบ Ziegler–Nichols

วิธีการนี้นำเสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols ในคริสต์ทศวรรษที่ 1940 ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มอัตราขยาย P สูงที่สุด, K_u จนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่ง นำค่า K_u และค่าช่วงการแกว่ง P_u มาหาค่าตัวแปรที่เหลือดังตารางที่ 2.3

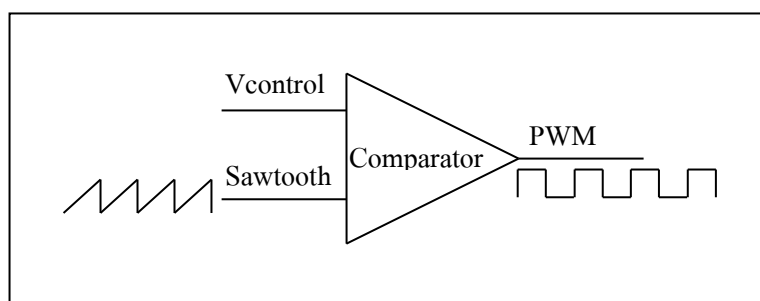
ตารางที่ 2.3 ค่าตัวแปรการปรับจูนแบบ Ziegler–Nichols

Control Type	K_p	K_i	K_d
P	$0.50K_u$	-	-
PI	$0.45K_u$	$1.2K_p / p_u$	-
PID	$0.60K_u$	$2K_p / p_u$	$K_p p_u / 8$

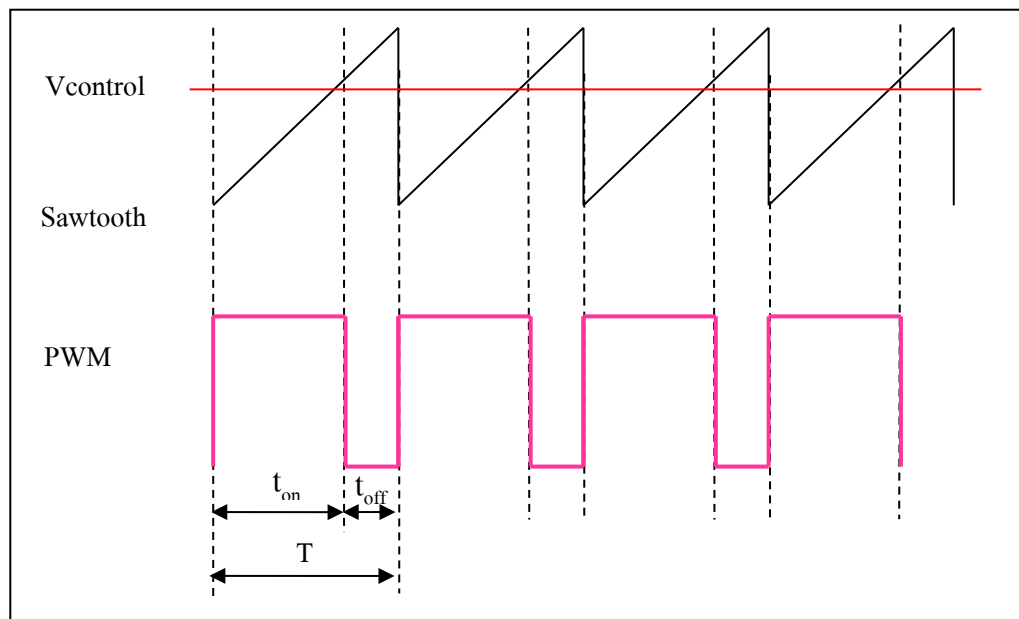
2.11 สัญญาณ PWM (Pulse width modulation)

2.11.1 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรอนาล็อก

การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรอนาล็อกจะใช้การสร้างสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณแบบขั้นบันไดมาเปรียบเทียบกับระดับอ้างอิงที่เป็นระดับสัญญาณกระแสตรงหรือสัญญาณรูป Sine ตามรูปแบบของสัญญาณ PWM ที่ต้องการสร้างสัญญาณ PWM แบบอนาล็อกจากรูป 2.39 สัญญาณ Sawtooth จะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณ Vcontrol ผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณดังแสดงตามรูปที่ 2.40



รูปที่ 3.39 การเปรียบเทียบสัญญาณ PWM แบบอนาล็อก



รูปที่ 2.40 ผลการสร้างสัญญาณ PWM

สัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็น High แต่เมื่อระดับของสัญญาณ Vcontrol ต่ำกว่าระดับของสัญญาณ Sawtooth จะทำให้ได้ระดับของ PWM เป็น Low ซึ่งคำนวณค่า %Duty cycle ได้เท่ากับ

$$\%Duty\ cycle = \frac{t_{on}}{T} \times 100\% \quad (2.11)$$

เมื่อ

t_{on} : แทนค่าช่วงเวลาในสถานะ High

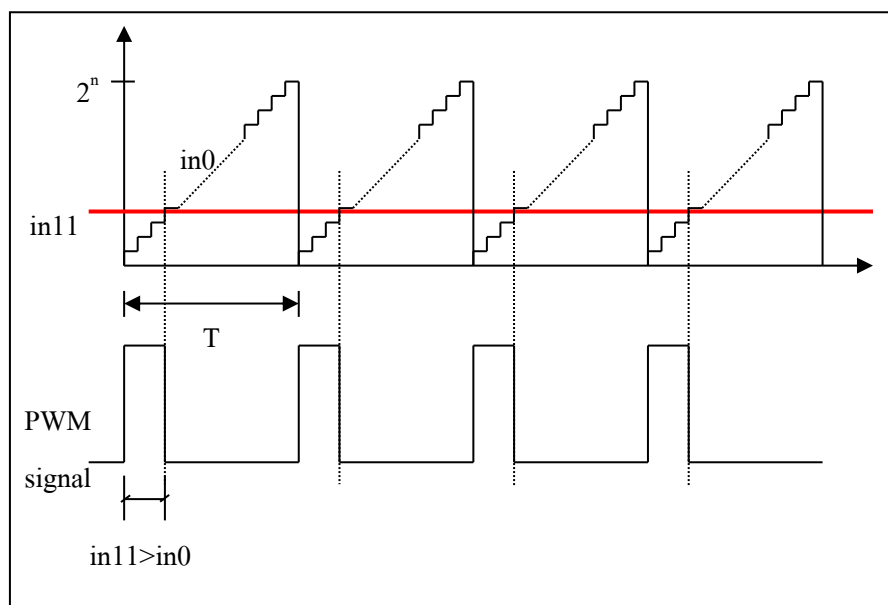
t_{off} : แทนค่าช่วงเวลาในสถานะ Low

T : แทนค่าคาบเวลา

2.11.2 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรดิจิทัล

การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวงจรดิจิทัลจะใช้วงจรรนับเป็นตัวนับสัญญาณนาฬิกา in 0 ที่เข้ามา ซึ่งค่าที่นับได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นรูปขั้นบันไดตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปและ

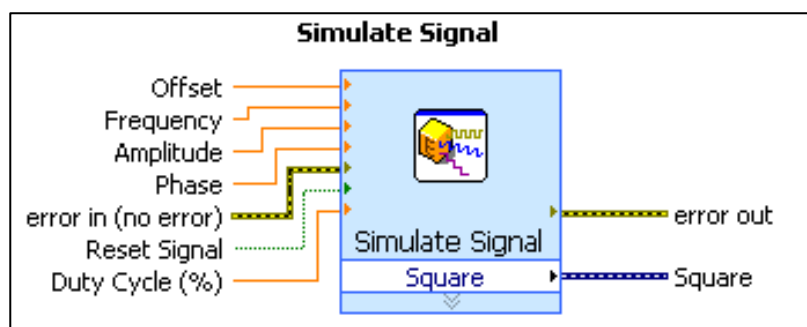
นำสัญญาณขั้นบันไดดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิง in11 ที่กำหนดผลของการเปรียบเทียบทำให้ได้สัญญาณ PWM เป็นระดับลอจิก High และ Low ตามรูป 2.41



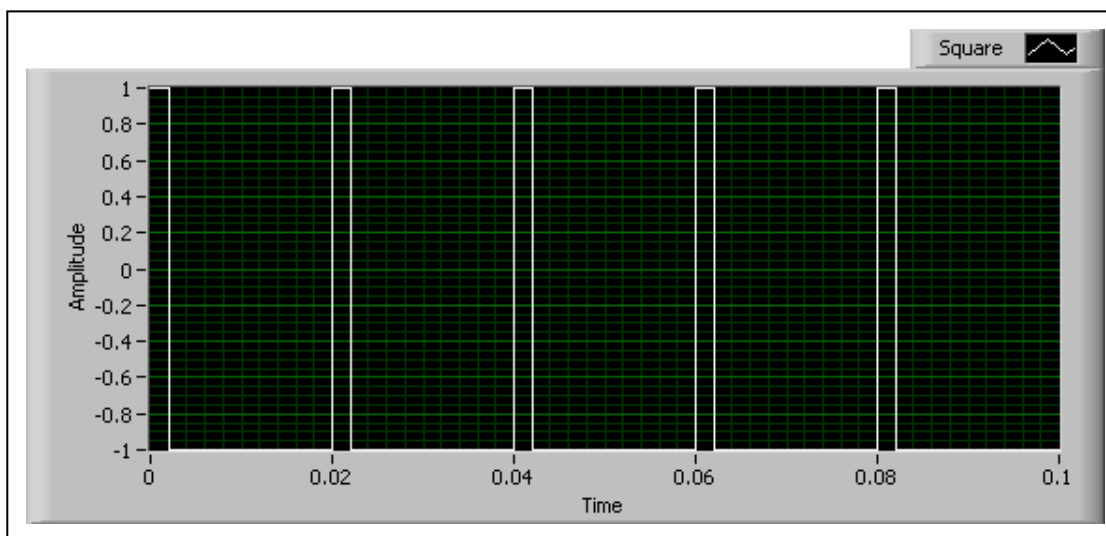
รูปที่ 2.41 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยหลักการทางดิจิทัล

2.11.3 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยโปรแกรม LabVIEW

เราสามารถสร้างสัญญาณ Analog PWM ได้ด้วย Block Simulate Signal โดยต้องมีการกำหนดค่า Parameter ที่จำเป็นเช่น ค่า Frequency และค่า %Duty cycle และอื่น ๆ ตามรูป 2.42



รูปที่ 2.42 แสดง block Simulate Signal



รูปที่ 2.43 แสดงลักษณะสัญญาณ PWM จาก block Simulate Signal

2.12 ระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicles)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบรถขนส่งอัตโนมัติ ซึ่งนำทางโดยใช้การประมวลผลด้วยภาพโดยลักษณะการทำงานของรถได้มีพื้นฐานมาจากระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ AGVs (Automated guided vehicles) ซึ่งมีการใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม

ระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ AGVs (Automated Guided Vehicles) เป็นส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของพาหนะทำงานอัตโนมัติ ที่เชื่อมต่อกับระบบขนถ่ายอื่น ๆ เช่น สายพาน การนำทางพาหนะสามารถใช้ระบบนำทางด้วยเลเซอร์ การฝังสายไฟใต้พื้น หรือฝังแม่เหล็กลงในพื้นคลังสินค้าและควบคุมการทำงานของพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าด้วยคอมพิวเตอร์ พาหนะเหล่านี้เป็นรถบรรทุกพลังงานไฟฟ้าไม่ใช้คนขับ ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ทำงานตามคำสั่งด้วยระบบคลื่นวิทยุ หรือการฝังสายไฟใต้พื้น อุปกรณ์ควบคุมจะจับสัญญาณบนพาหนะว่ามีการเคลื่อนที่ตามกำหนดหรือไม่ สัญญาณจะถูกส่งไปยังมอเตอร์พวงมาลัยเพื่อบังคับทิศทางให้สามารถไปหยิบสินค้าจากสถานที่จัดเก็บไปส่งยังสถานที่ที่กำหนด ปัจจุบันระบบที่ใช้ในการนำทางมีดังนี้

2.12.1 ระบบใช้สาย (Wired)

โดยใช้การทำร่องที่พื้นเพื่อใช้เป็นเส้นทางและเซนเซอร์จะถูกติดตั้งบริเวณด้านใต้ตัวรถและร่องเพื่อให้นำทาง ซึ่งปัจจุบันระบบนี้ไม่ได้รับความนิยมที่นำมาใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมแล้วเนื่องจากการปรับเปลี่ยนเส้นทางทำได้ลำบาก ดังแสดงในรูป 2.44a

2.12.2 แถบเส้นนำทาง (Guide Tape)

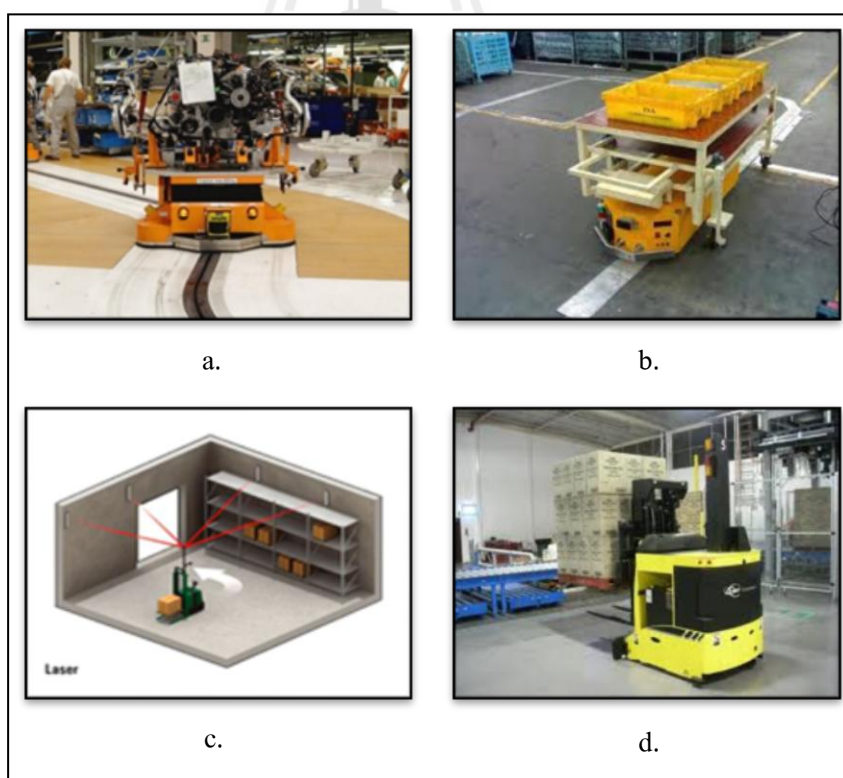
เป็นการใช้แถบเส้นทำเป็นเส้นทางบนพื้นซึ่งอาจจะใช้เป็นแถบแม่เหล็กหรือแถบเส้นที่มีสี เพื่อให้เซนเซอร์อ่านเส้นทางและควบคุมให้รถเดินไปตามเส้นทางซึ่งข้อดี คือสามารถย้ายตำแหน่งเส้นได้สะดวกขึ้นกว่าวิธีแรก แสดงในรูป 2.44b

2.12.3 แสงเลเซอร์นำทาง (Laser Target Navigation)

วิธีนี้จะใช้การคิดแผนสะท้อนแสงเลเซอร์ไว้ที่ผนัง และมีการติดตั้งตัวรับและตัวส่งสัญญาณอยู่บนตัวรถ การทำงานจะใช้แสงเลเซอร์ส่งไปและเมื่อสะท้อนกลับมาจะคำนวณหามุมและระยะห่างของรถกับจุดหมายได้ แสดงในรูป 2.44c

2.12.4 Natural Features Navigation

เป็นวิธีการที่ไม่มีการการรับส่งข้อมูล หรืออ่านเส้นทางจาก Workspace แต่จะประกอบไปด้วยเซนเซอร์หลาย ๆ ชนิดเพื่อช่วยในการประมวลผล เช่น เลเซอร์วัดระยะ ระบบ Gyroscope ระบบ Sonar เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการประมวลผลซึ่งข้อดีของแบบนี้คือสามารถมีเส้นทางเดินได้อย่างอิสระไม่มีทางเดินตายตัว แสดงในรูป 2.44d



รูปที่ 2.44 รูปแบบการนำทางระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ

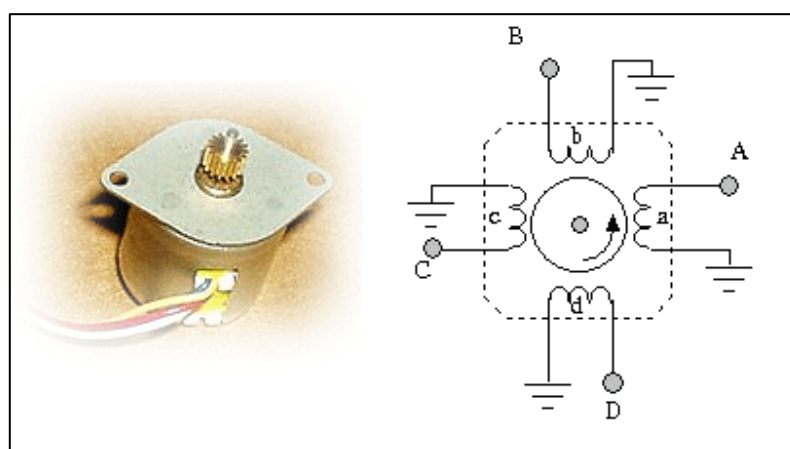
การประยุกต์ใช้งานระบบพาหนะนำทางอัตโนมัติ AGVs (Automated guided vehicles)

- โรงงานผลิตยา
- โรงงานผลิตสารเคมี
- โรงงานประกอบรถ
- อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม
- ขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ในท่าเรือ
- ขนส่งอุปกรณ์และผู้ป่วยในโรงพยาบาล

2.13 พื้นฐานการควบคุม Stepper Motor

Stepper Motor คือ มอเตอร์ไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งมี Input เป็นกลุ่มของ Binary Voltage และ Output การเคลื่อนที่ในเชิงมุม (หมุน) แกนหมุน (Shaft) เป็น Step โดย Resolution ของ Stepper Motor อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1-30 องศาซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของ Stepper Motor หรือบอกเป็นจำนวน Step ต่อ 1 รอบ Stepper Motor สามารถควบคุมตำแหน่งการหมุนได้ ซึ่งจะมี ความละเอียดของมุมในการหมุนและ Step ที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของมอเตอร์ และลักษณะการส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์ทำให้ Stepper Motor มีความยืดหยุ่นในการนำมา ใช้งาน ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์หรือแขนกลต่าง ๆ เนื่องจากมีความแม่นยำในการควบคุมตำแหน่งสูง

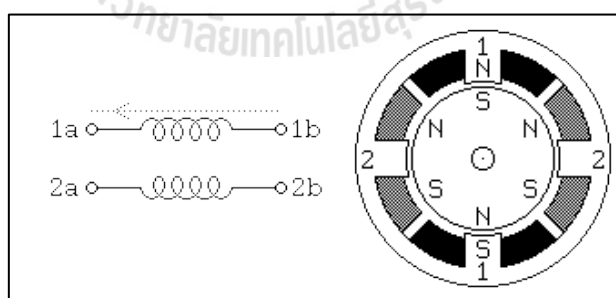
โครงสร้างของ Stepper Motor มีลักษณะดังรูปที่ 2.45 ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด Stator 4 ขด ล้อมรอบแกนหมุน



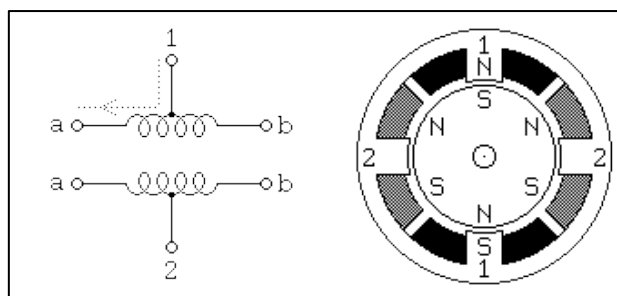
รูปที่ 2.45 โครงสร้างของ Stepper Motor

หลักการทำงาน คือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวด Stator Coil a, b, c, d ไม่พร้อมกัน นั่นคือ ถ้าเราจ่ายกระแสให้ a ก่อน โดยไม่จ่ายให้ขดอื่น แล้วตามด้วย b, c และ d เรียงตามลำดับ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก หมุนวนในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งส่วนของ Rotor ที่เป็นแม่เหล็กถาวรก็จะหมุนตามสนามแม่เหล็กไปด้วย คือ ทวนเข็มนาฬิกา ในทำนองเดียวกันถ้าเราจ่ายกระแสให้ ขด a, d, c, b, aก็จะให้ สนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งส่งผลให้ Rotor หมุนตามเข็มนาฬิกาด้วย การกำหนดความเร็วของ Stepper Motor ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลง ความเร็วของการเปลี่ยนการจ่ายกระแสจากขดลวดขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่งให้เร็วขึ้น การกำหนดความเร็วของ Stepper Motor ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลง ความเร็วของการเปลี่ยนการจ่ายกระแสจากขดลวดขดหนึ่งไปยังอีกขดหนึ่งให้เร็วขึ้น

Stepper Motor สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบตามลักษณะของโครงสร้างคือ Bipolar Stepper Motor และ Unipolar Stepper Motor ซึ่งทั้งสองแบบจะแตกต่างกันตามลักษณะของโครงสร้างภายใน อย่างไรก็ตามหลักในการขับให้ Stepper Motor ทั้งสองแบบทำงานจะคล้ายคลึงกัน คือการป้อน Pulse เป็นช่วง ๆ เข้าไปยังส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ Stepper Motor หมุนตามจำนวนองศาที่ต้องการ Stepper Motor แบบ Bipolar ตามรูปที่ 2.46 จะมีราคาถูกและสามารถหาได้ง่ายกว่า (ตัวอย่างเช่น Stepper Motor ที่ใช้ขับ Floppy Drive) การจะหมุนก็ทำได้โดยการใส่ Pulse เข้าไปที่ Coil ในกรณีนี้อาจจะต้องใช้วงจร H-Bridge เข้ามาช่วยในลักษณะเดียวกันกับ DC Motor Stepper Moto แบบ Unipolar ตามรูปที่ 2.47 จะมีสายสัญญาณทั้งสิ้น 6 ขา ซึ่งข้อดีคือผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องต่อวงจร H – Bridge เพื่อขับวงจรดังกล่าว



รูปที่ 2.46 Diagram Bipolar Stepper Motor



รูปที่ 2.47 Diagram Unipolar Stepper Motor

2.13.1 การควบคุม Stepper Motor แบบ 4 เฟส

ในการควบคุมการทำงานของ Stepper Motor สามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 รูปแบบ

1. การควบคุมแบบ Full Step 1 เฟส หรือแบบคลื่น (Wave)

ในการควบคุมการหมุนของ Stepper Motor แบบ 4 เฟสนั้น เราจะต้องกระตุ้นให้มอเตอร์หมุนไปแต่ละ Step โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ Stepper Motor ทีละเฟสตามลำดับ หลักการคือเริ่มจากจ่ายกระแสให้กับขดลวด Stator เฟสที่ 1 จากนั้นกระตุ้นเฟสที่ 2 และ เฟสที่ 3 ไปเรื่อย ๆ ตามลำดับ จากนั้นก็วนกลับมาที่ขดลวด Stator เฟสที่ 1 อีกครั้งและวน Loop ไปเรื่อย ๆ ก็จะ ทำให้ Stepper Motor หมุนและในทางกลับกันถ้าต้องการให้ Stepper Motor หมุนกลับทางก็ต้อง กระตุ้นขดลวด Stator เฟส 4 เฟส 3 เฟส 2 และ เฟส 1 ตามลำดับ สามารถเขียนขั้นตอนการทำงาน เป็นดังตาราง 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 การควบคุมแบบ Full Step 1 เฟส หรือแบบคลื่น (Wave)

STEP	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
Step 1	ON	OFF	OFF	OFF
Step 2	OFF	ON	OFF	OFF
Step 3	OFF	OFF	ON	OFF
Step 4	OFF	OFF	OFF	ON
Step 5	ย้อนกลับ Step ที่ 1			

2. การควบคุมแบบ Full Step 2 เฟส หรือแบบ 2 เฟส

ในการควบคุม Stepper Motor แบบ 2 เฟสนั้น เราจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นขดลวดของมอเตอร์ทีละ 2 เฟส ในเวลาเดียวกันและเรียงกันไปตามลำดับซึ่งได้แสดงดังตารางที่ 2.5 โดย Stepper Motor จะหมุนเหมือนกับการควบคุมแบบคลื่น แต่การควบคุมแบบ 2 เฟส

ตารางที่ 2.5 การควบคุมแบบ Full Step 2 เฟส หรือแบบ 2 เฟส

STEP	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
Step 1	ON	ON	OFF	OFF
Step 2	OFF	ON	ON	OFF
Step 3	OFF	OFF	ON	ON
Step 4	ON	OFF	OFF	ON
Step 5	ย้อนกลับ Step ที่ 1			

3. การควบคุมแบบ Half Step

การควบคุม Stepper Motor แบบ Half Step จะทำให้เราสามารถเพิ่มความละเอียดในการควบคุมการหมุนของ Stepper Motor ได้แม่นยำมากขึ้นซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างการควบคุมแบบคลื่นและแบบ Full Step 2 เฟสเข้าด้วยกัน ลักษณะการจ่ายกระแสไฟ เพื่อกระตุ้นขดลวดจะแสดงดังตาราง 2.6

ตารางที่ 2.6 ควบคุมแบบ Half Step หรือแบบครึ่ง Step

STEP	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
Step 1	ON	OFF	OFF	OFF
Step 2	ON	ON	OFF	OFF
Step 3	OFF	ON	OFF	OFF
Step 4	OFF	ON	ON	OFF
Step 5	OFF	OFF	ON	OFF
Step 6	OFF	OFF	ON	ON
Step 7	OFF	OFF	OFF	ON
Step 8	ON	OFF	OFF	ON
Step 9	ย้อนกลับ Step ที่ 1			

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

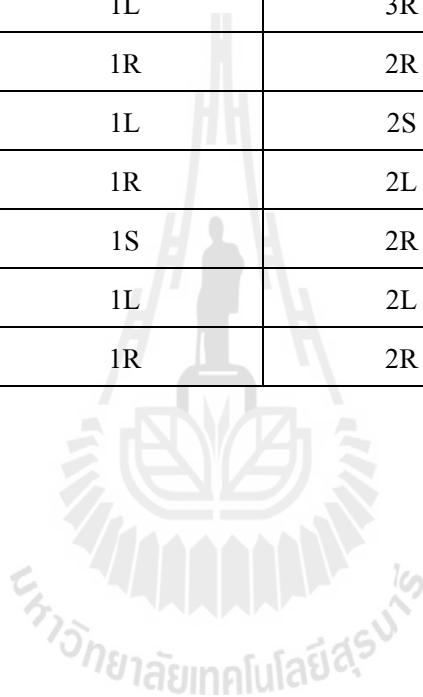
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของรถขนส่งอัตโนมัติด้วยระบบ Computer Vision โดยเริ่มต้นด้วยการศึกษาการทำงานของรถขนส่งอัตโนมัติและการประมวลผลด้วยภาพ อีกทั้งเก็บข้อมูลและข้อจำกัดในการควบคุมด้วยวิธีการอื่น ๆ เพื่อนำข้อมูลมาเป็นข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาการขนส่งอัตโนมัติต้นแบบ ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาอัลกอริทึมและระบบควบคุม เพื่อใช้สำหรับการควบคุมรถต้นแบบ โดยรถต้นแบบมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปสู่สถานีปลายทางด้วยการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ และเดินทางสู่สถานีปลายทางได้โดยการอ่านและระบุความหมายของแผ่นป้ายบอกทางที่มีการติดตั้งอยู่ด้านข้างเส้นทางวิ่ง รวมทั้งสามารถหลบหลีกหรือหยุดในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางด้านหน้า ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการตรวจจับโดยใช้การมองเห็นของคอมพิวเตอร์และออกแบบ อัลกอริทึมและระบบควบคุมเพื่อใช้ควบคุมรถขนส่งให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติการใช้แรงงานมนุษย์เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาระบบการผลิตอัตโนมัติแบบเต็มระบบต่อไป

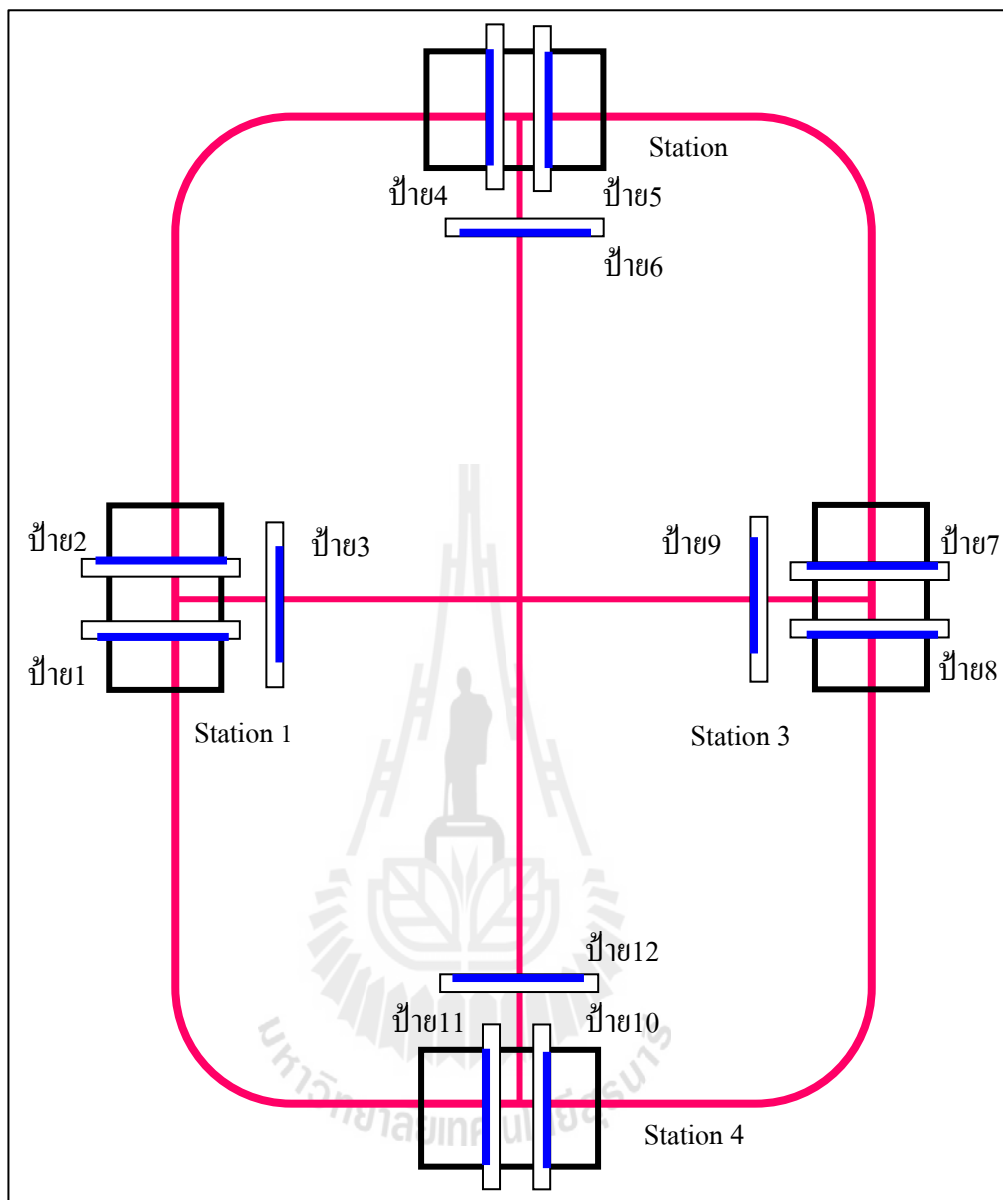
3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์งานสำหรับการทดลอง

ในขั้นตอนวิจัยและพัฒนานี้ทางผู้วิจัยได้ทำการสร้างสนามจำลองการทำงานของรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบ โดยทำการจำลองสถานการณ์ทั้งหมด 4 สถานี และทำเส้นเครื่องหมายบอกเส้นทางบนพื้นเป็นสีสว่างเพื่อง่ายในการตรวจจับเบื้องต้นใช้เป็นสีชมพูสะท้อนแสง และมีการติดตั้งป้ายบอกทางไปสู่สถานีทั้งหมด 12 ป้ายซึ่งแต่ละป้ายจะมีตัวอักษรและตัวเลขที่ต่างกัน ซึ่งตัวอักษรและตัวเลขที่กล้องตรวจพบจะบอกได้ว่าสถานีปลายทางที่ต้องการจะไปต้องไปทางใด และในการทดลองได้มีการจำลองสิ่งกีดขวางเพื่อใช้ทดสอบการหลบหลีก แบบจำลองสนามทดสอบแสดงในรูป 3.1 โดยบนแผ่นป้ายแต่ละแผ่นจะประกอบไปด้วยตัวอักษรทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งสามารถตีความหมายจากป้ายได้ดังนี้ ตัวอักษร R คือ Right สี่เหลี่ยมขาว, L คือ Left สี่เหลี่ยมซ้าย และ S คือ Straight สี่เหลี่ยมขาว ตัวอย่างเช่น 2S คือ สถานีที่ 2 ให้ตรงไป ชุดป้ายตัวอักษรที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 12 แผ่นป้าย แสดงในตาราง 3.1 และรูปตัวอย่างแผ่นป้ายตัวอักษรแสดงในรูปที่ 3.1

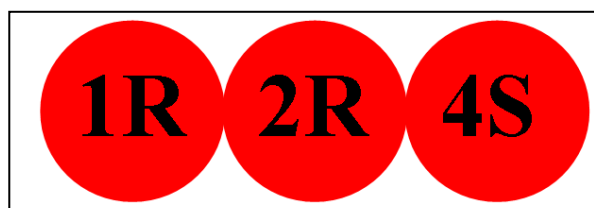
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดตัวอักษรบนแผ่นป้าย

ป้ายที่	ชุดตัวอักษรที่ 1	ชุดตัวอักษรที่ 2	ชุดตัวอักษรที่ 3
1	2S	3R	4R
2	2L	3R	4S
3	2R	3R	4L
4	1R	3S	4R
5	1S	3S	4L
6	1L	3R	4R
7	1R	2R	4S
8	1L	2S	4L
9	1R	2L	4R
10	1S	2R	3R
11	1L	2L	3S
12	1R	2R	3L





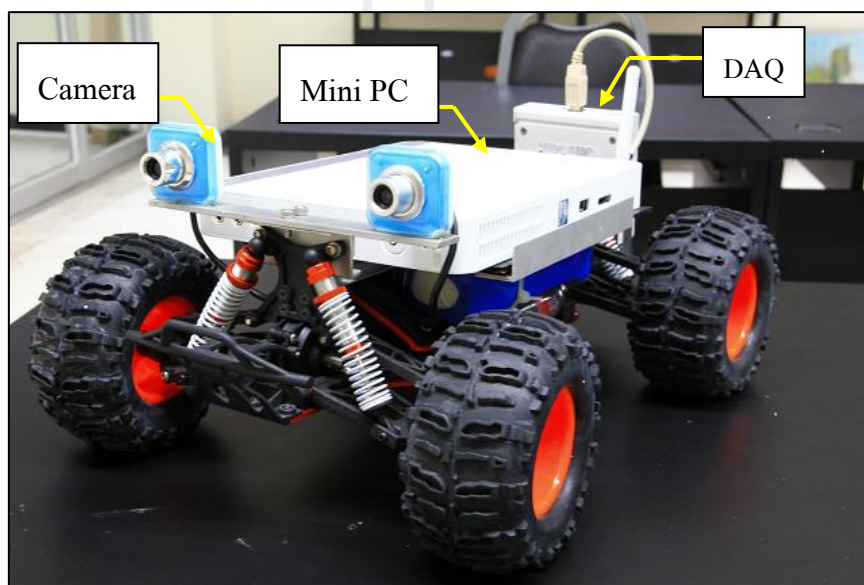
รูปที่ 3.1 แบบจำลองสนามทดสอบ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างแผ่นป้ายบอกทาง

3.3 การสร้างรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบ

รถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบถูกสร้างขึ้นด้วยส่วนประกอบสำคัญหลายส่วนด้วยกัน ส่วนของโครงสร้างหลักของตัวรถใช้โครงสร้างสำเร็จรูปของรถบังคับวิทยุขนาด 1:10 มีการปรับเปลี่ยนระบบบังคับเลี้ยวใหม่ และส่วนของระบบขับเคลื่อนมีการเปลี่ยนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแปลงถ่านแบบเดิม มาเป็นแบบขับเคลื่อนด้วย Stepper Motor ซึ่งทำงานโดยใช้งานร่วมกับชุดควบคุม Stepper Motor ที่มีการติดตั้งอยู่ด้านใต้ของคอมพิวเตอร์ Mini pc เช่นเดียวกันกับชุด NI – DAQ มีการติดตั้งกล้องแบบ Stereo Vision ไว้บริเวณด้านหน้าตัวรถเพื่อความสามารถในการรับภาพเพื่อมุมมองของภาพที่กว้างที่สุด ส่วนแบตเตอรี่ สำหรับขับเคลื่อนรถ และแบตเตอรี่สำหรับคอมพิวเตอร์ถูกติดตั้งบริเวณด้านใต้ของชุด NI – DAQ ดังแสดงในรูป 3.3 ซึ่งรายละเอียดอุปกรณ์จะมีการกล่าวถึงต่อไป

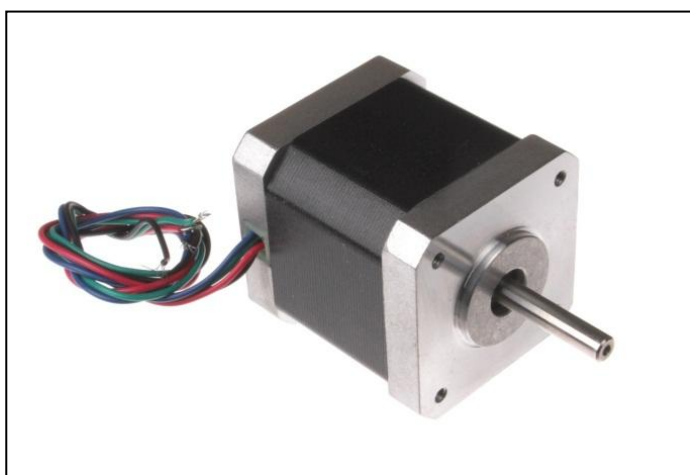


รูปที่ 3.3 รถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบ

3.3.1 Stepper Motor

เนื่องจากในระบบขับเคลื่อนของรถขนส่งอัตโนมัติต้องแบกรับน้ำหนักค่อนข้างมาก ทั้งโครงสร้างของรถต้นแบบเองก็ต้องยังต้องแบกรับน้ำหนักของชุดควบคุมซึ่งประกอบไปด้วย Computer mini pc, ชุด NI - DAQ 9263, Stepper Motor และชุดควบคุม รวมทั้งน้ำหนักของสิ่งที่ต้องบรรทุก ดังนั้นจึงต้องมอเตอร์ที่ให้แรงบิดสูงเพียงพอที่จะสามารถขับเคลื่อนรถขนส่ง

อัตโนมัติได้ และรวมทั้งในการทดลองต้องการทราบความเร็วของรถที่แน่นอน ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้มอเตอร์ชนิด Stepper Motor เนื่องจากสามารถคำนวณหาความเร็วของรถได้โดยใช้การควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control) รวมทั้งให้แรงบิดค่อนข้างสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรงโดยทั่วไปและ Stepper Motor ที่ใช้ในการทดลองเป็นของบริษัท Muscle crop japan รุ่น cool muscle CM1 ดังแสดงในรูปที่ 3.4



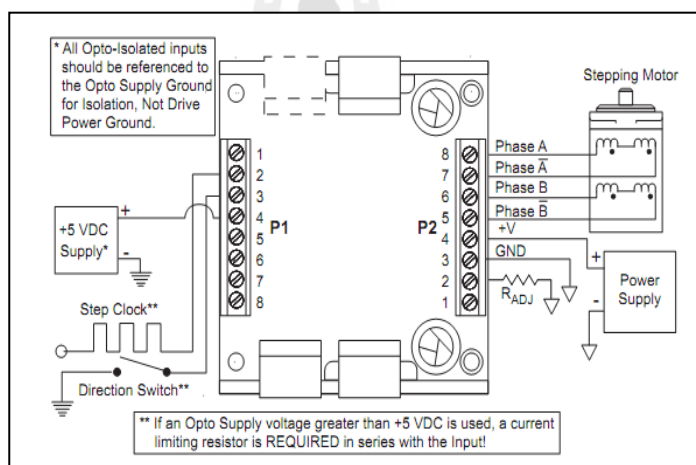
รูปที่ 3.4 Stepper Motor รุ่น cool muscle CM1

3.3.2 ชุดควบคุม Stepper Motor

เนื่องจาก Stepper Motor จำเป็นต้องใช้ร่วมกับชุดควบคุม Stepper Motor ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับการใช้งานเช่นสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีความแม่นยำในการควบคุมการเคลื่อนที่ ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญตัวหนึ่งที่จะทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็วเรียบสม่ำเสมอ และต้องมีความถูกต้องในการควบคุมเพราะต้องนำค่าความถี่ที่ป้อนให้ชุดควบคุม Stepper Motor ไปคำนวณหาความเร็วและระยะทางในการเคลื่อนที่ของรถได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ ชุดควบคุม Stepper Motor ยี่ห้อ IMS รุ่น IM483 เป็นชุดควบคุม Stepper Motor แบบ Bipolar ซึ่งมีการใช้งานในการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัย ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งมีความสามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำและมีเสถียรภาพในการทำงานสูง อีกทั้งยังมีความสามารถในการปรับความละเอียดของการควบคุมได้ที่ตัวชุดควบคุม และวงจรการต่อใช้งานเพื่อควบคุมมอเตอร์แสดงดังในรูป 3.6



รูปที่ 3.5 ชุดควบคุม Stepper มอเตอร์ ยี่ห้อ IMS รุ่น IM483



รูปที่ 3.6 Diagram ต่อใช้งานชุดควบคุม Stepper Motor ยี่ห้อ IMS รุ่น IM483

3.3.3 NI-DAQ 9263

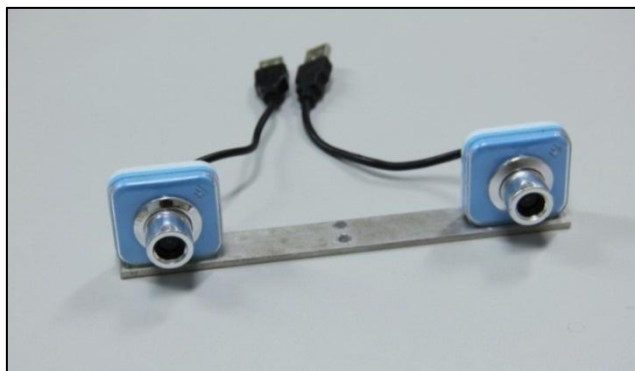
NI-DAQ ของบริษัท National instrument รุ่น 9263 เป็นโมดูล Analog output ทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ ความละเอียดในการแปลงสัญญาณ Digital to Analog ถึง 16 bit ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยสัญญาณที่ออกจาก DAQ จะอยู่ในลักษณะสัญญาณพัลส์แบบบนาลอกส่งออกมาเพื่อใช้ควบคุมความเร็วของ Stepper Motor และควบคุมมุมองศาการเลี้ยวของ Servo Motor โดยสัญญาณที่ส่งไปควบคุม Stepper Motor จะใช้การควบคุมความถี่ของสัญญาณ โดยที่ค่า %Duty cycle คงที่ สำหรับการขับเคลื่อนรถอัตโนมัติให้เคลื่อนที่ ส่วนสัญญาณที่ส่งไปควบคุม Servo Motor จะอยู่ในลักษณะสัญญาณแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนค่าความกว้างสัญญาณพัลส์ โดยที่ความถี่ของสัญญาณคงที่ 50 Hz สำหรับควบคุมการบังคับเลี้ยวของรถขนส่งอัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 NI -DAQ 9263 Analog Output Module

3.3.4 กล้อง Webcam

กล้อง Webcam เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์สำหรับการรับภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อใช้ประมวลผลในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การตรวจจับเส้น การตรวจจับระบุความหมายแผ่นป้าย และการตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพื่อสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของรถขนส่งอัตโนมัติในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งกล้อง Webcam ที่ใช้เป็นที่มีใช้งานทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีดัดแปลงและติดตั้งกล้องในลักษณะกล้องคู่ (Stereo Vision) เพื่อที่จะสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างวัตถุด้านหน้าได้



รูปที่ 3.8 กล้อง Webcam ทำการติดตั้งแบบ Stereo Vision

3.3.5 คอมพิวเตอร์ Mini PC

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้าน Computer Vision และ Image Processing ดังนั้นจึงเลือกใช้โปรแกรม LabVIEW 2010 ร่วมกับ NI Vision Module ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล และคอมพิวเตอร์ต้องรับภาพจากกล้องเพื่อประมวลผลแบบ Real Time ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถนำไปติดตั้งบนรถขนส่งอัตโนมัติได้ รวมทั้งสามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ได้ ทางผู้ทำวิจัยจึงเลือกใช้คอมพิวเตอร์ Mini PC ยี่ห้อ ASUS รุ่น Eeebox PC ในการใช้งานร่วมกับโปรแกรม LabVIEW 2010



รูปที่ 3.9 คอมพิวเตอร์ Mini PC ASUS Eeebox PC

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิค Mini PC ASUS Eeebox PC

ระบบปฏิบัติการ	Windows® 7 Home Premium
ซีพียู	Intel® Atom™ N330 Dual Core
หน่วยความจำ	2 x So-DIMM Slots, DDR2-800 2G (UP to 4G)
สตอเรจ	SATA 2.5" 250GB
ชิพเซ็ต	NVIDIA® ION™
กราฟิก	NVIDIA® ION™
แลน	10/100/1000 Mbps
ไวร์เลส	802.11b/g/n @2.4GHz
ช่องอ่าน การ์ด	SD/SDHC/MS/MS Pro/MMC
พอร์ทัล ด้านหน้า	• Card Reader x 1(SD/SDHC/MS/MS Pro/MMC) • USB x3 • Headphone x 1 • MIC x 1
พอร์ทัล ด้านข้าง	• Wi-Fi antenna x1 (built-in) • DC-in • USB 2.0 x2 • Gigabit Lan x1 • HDMI out x1 • D-Sub • Audio out (S/PDIF out) jack x1
Upper I/O	• USB 2.0 x1 • eSATA x 1
Keyboard + Mouse	Wired Keyboard + Mouse(Optional)
พาวเวอร์ ซัพพลาย	19Vdc, 2.1A, 40W Power Adaptor
บลูทูธ	Option
ขนาด	222mm(W)x178mm(H)x26.9mm(D)
น้ำหนัก	1.1 kg (2.4lb)

3.3.6 แบตเตอรี่ Lithium – Polymer (Li-Po)

แบตเตอรี่ชนิด Lithium – Polymer ถูกใช้สำหรับเป็นพลังงานในการขับเคลื่อน Stepper Motor และเป็นพลังงานสำหรับ Computer Mini Pc ซึ่งข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีความหนาแน่นของพลังงานสูง ในการใช้งานครั้งแรกไม่ต้องชาร์จก่อน และการปลดปล่อยพลังงานต่ำมาก อีกทั้งสามารถจ่ายกระแสได้สูงมาก ซึ่งในการทดลองการเลือกใช้แบตเตอรี่แต่ละประเภทมีการดูแลรักษาและการใช้งานที่แตกต่างกัน และแบตเตอรี่แบบ Lithium Polymer มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ซึ่งในการทดลองผู้ทดลองได้เลือกใช้ แบตเตอรี่ยี่ห้อ Turnigy แบบ 3 cell แรงดันไฟฟ้า 12.6 โวลต์ ขนาดความจุกระแสไฟฟ้า 2,200 mAh 25-35 C สามารถจ่ายกระแสต่อเนื่องได้ 55 Amp จ่ายกระแสพีกสูงสุด 77 Amp สำหรับระบบขับเคลื่อน และแบตเตอรี่สำหรับคอมพิวเตอร์เป็นแบบ 5 cell แรงดันไฟฟ้า 21 โวลต์ ความจุกระแสไฟฟ้า 3,000 mAh 25-35 C



รูปที่ 3.10 แบตเตอรี่แบบ Lithium – Polymer

3.3.7 Servo Motor

Servo Motor คือ Motor ชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบมาสำหรับใช้ในระบบการควบคุมทางความเร็วและตำแหน่ง Servo Motor ใช้การควบคุมแบบ Close Loop Control โดยที่ส่วนประกอบหลักของ Servo Motor จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ชุด Motor ขับเคลื่อน อาจมีการใช้งานร่วมกับชุดเกียร์เพื่อเพิ่มแรงบิด และ ระบบ Feedback เช่น Potentiometer Encoder สำหรับวัดตำแหน่งมุมองศาการหมุน การควบคุม Servo Motor จะใช้สัญญาณ Pulse ที่ความถี่คงที่ แต่มีการปรับเปลี่ยนค่า %Duty cycle หรือที่เรียกว่าสัญญาณ PWM ซึ่งความกว้างของสัญญาณที่มีค่าแตกต่างกันจะทำให้ได้มุมการหมุนที่แตกต่างกันด้วย ในการทดลองนี้ใช้ Servo Motor ขนาดเล็ก สำหรับใช้งานกับรถบังคับวิทยุ โดยเลือกใช้ RC Servo Motor ญี่ห้อ Futaba รุ่น S3004 ดังแสดงในรูป 3.11 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- มุมองศาการหมุน : 180 องศา
- ความเร็ว : 60 องศา ใน 0.23 วินาที ที่ 4.8V, 0.19 วินาที ที่ 6V
- แรงบิด : 0.31 N.m ที่ 4.8V, 0.4 N.m ที่ 6V
- ขนาด : สูง 1.4 นิ้ว, กว้าง 0.8 นิ้ว
- น้ำหนัก : 37.2 กรัม



รูปที่ 3.11 FUTABA RC Servo Motor รุ่น S304

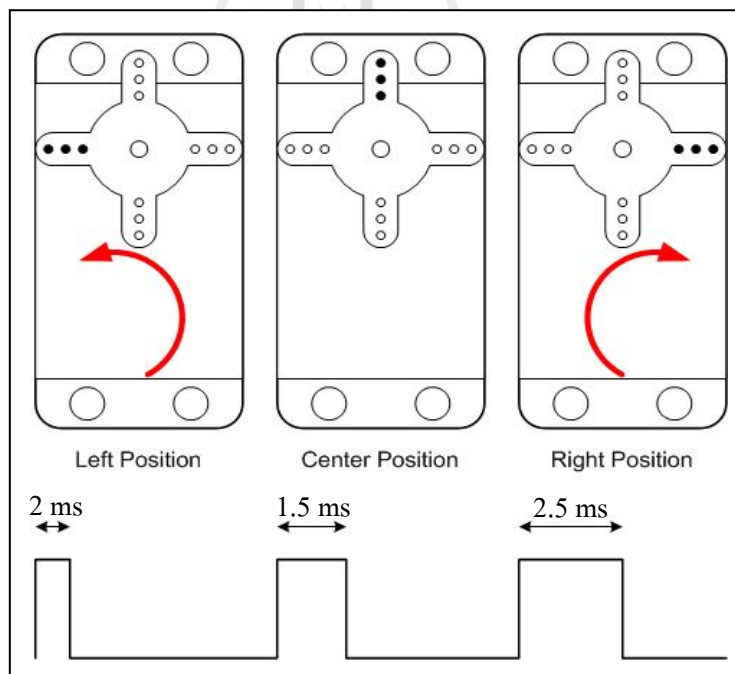
โดยในการทดลองมีการกำหนดค่าในการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

- ความถี่ที่ใช้ในการควบคุม : 50 Hz
- ช่วงความกว้างสัญญาณพัลส์ (Pulse Width) : 1.5 - 2.5 ms.
- % Duty cycle ในช่วง 3.25 - 7.5

โดย Output จาก PID controller สำหรับการควบคุม Servo Motor จะถูกจำกัดอยู่ในช่วงระหว่าง -100 ถึง 100 จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Duty cycle และค่า Output จาก PID controller จะเป็นดังสมการ 3.1

$$\%Duty\ cycle = 3.25 + \left((2.215 \times 10^{-2} * output\ PID) + 2.215 \right) \quad (3.1)$$

เมื่อค่า %Duty cycle มีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ Servo Motor หมุนไปในตำแหน่งที่ต่างกัน สำหรับใช้ในการควบคุมการเลี้ยวของรถยนต์อัตโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



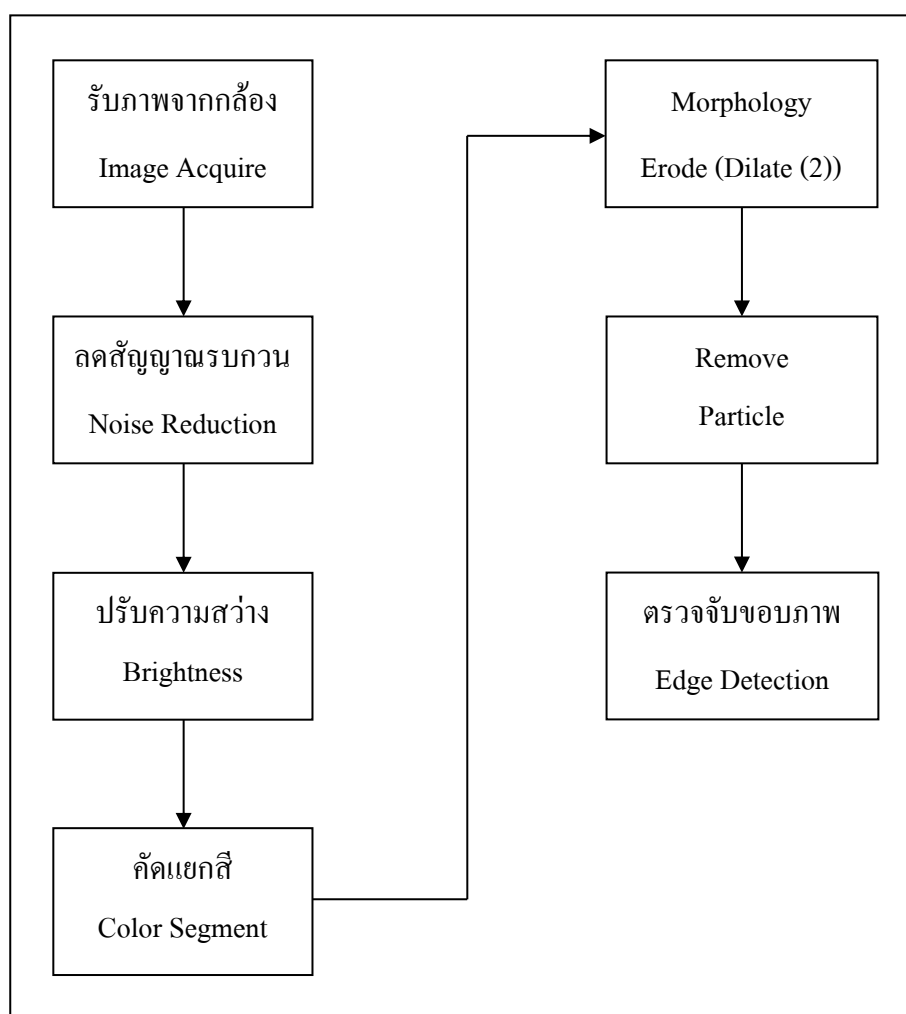
รูปที่ 3.12 การทำงานของ Servo Motor ที่ค่า %Duty cycle ต่าง ๆ

3.4 อัลกอริธึมสำหรับระบบการประมวลผลด้วยภาพ

เบื้องต้นงานวิจัยนี้ต้องการที่จะสร้างรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยผู้ใช้เพียงป้อนข้อมูลสถานีปลายทางที่ต้องไป โดยใช้การประมวลผลด้วยภาพเพื่อใช้เป็นระบบนำทางสำหรับควบคุมการขับเคลื่อน ซึ่งในปัจจุบันระบบการนำทางมีการใช้งานในหลากหลายรูปแบบ จากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการประมวลผลด้วยภาพมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นระบบนำทาง โดยการใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW 2010 ร่วมกับ NI Vision Module ของบริษัท National Instruments สำหรับการประมวลผลภาพ ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับขอบรูปภาพ การระบุความหมายตัวอักษร การคัดแยกสี การจับคู่รูปแบบ การเปรียบเทียบต้นแบบ ซึ่งเพียงพอต่อการออกแบบและพัฒนาอัลกอริธึมสำหรับควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติโดยใช้การประมวลผลด้วยภาพได้ และสามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

3.4.1 การตรวจจับเส้น (Line Detection)

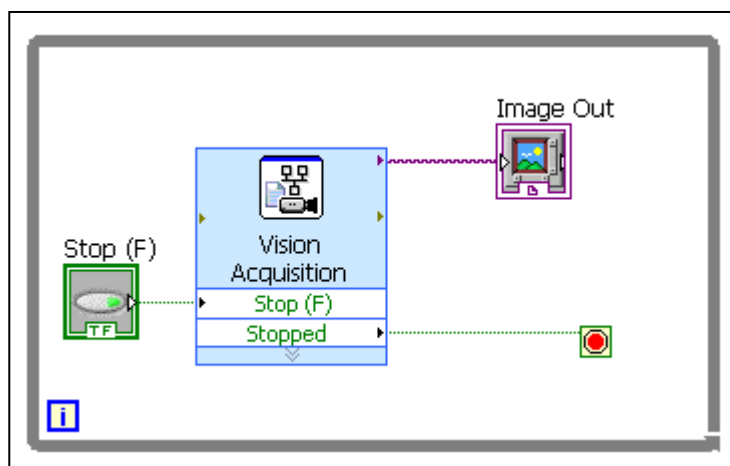
ระบบนำทางสำหรับรถขนส่งอัตโนมัติเบื้องต้นยังต้องพึ่งพาการเดินทางตามเส้นทางที่มีการทำเครื่องหมายเป็นเส้นสีบนพื้นเพื่อนำทางไปสู่สถานีงานต่างๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่การประมวลผลด้วยภาพต้องมีการตรวจจับเส้นสีบนพื้น และหลังจับตรวจจับเส้นได้ต้องมีการวิเคราะห์ตำแหน่งของตัวรถเทียบกับเส้นทาง และส่งค่าไปให้ตัวควบคุมแบบ PID เพื่อควบคุมระบบบังคับเลี้ยว ให้อัตโนมัติขับเคลื่อนไปในทิศทางที่ถูกต้องหรือไม่หลุดออกจากเส้นทางวิ่ง สำหรับกระบวนการที่เลือกใช้ในการตรวจจับเส้นผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้วิธีการคัดแยกสี (Color Segmentation) เนื่องจากว่าเส้นทางมีสีเขียวสม่ำเสมอ และมีสีที่แตกต่างจากวัตถุอื่นรอบข้าง ดังนั้นจึงสามารถแยกเฉพาะสีของเส้นออกมาประมวลผลได้ การประมวลผลด้วยภาพในส่วนของการตรวจจับเส้นมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.13



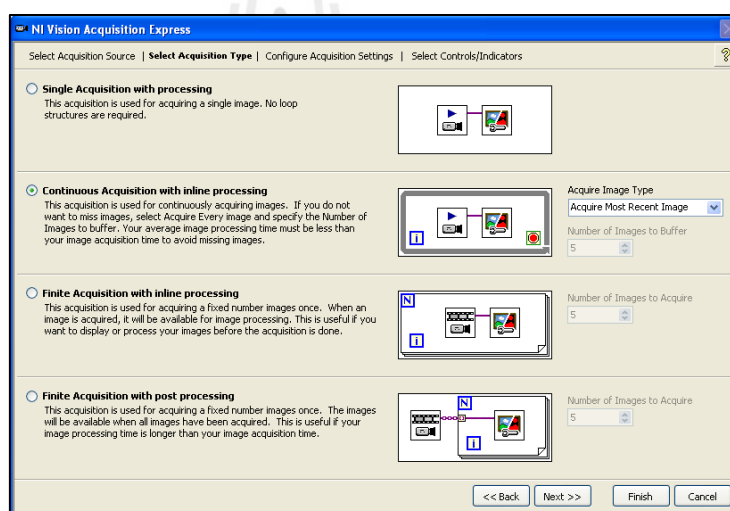
รูปที่ 3.13 Diagram ขั้นตอนการประมวลผลการตรวจจับเส้น

ในส่วนรายละเอียดของแต่ละกระบวนการจะมีกล่าวถึงต่อไป

1. รับภาพจากกล้อง (Image Acquire) เป็นขั้นตอนการนำภาพเข้าสู่โปรแกรมเพื่อประมวลผล ซึ่งภาพที่รับเข้ามาก็คือจะเป็นภาพสี RGB ขนาด 640x480 สำหรับฟังก์ชันการนำภาพเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลจะใช้ฟังก์ชัน Vision Acquisition และตัวอย่างการนำไปใช้งานดังแสดงในรูป 3.14 รูปแบบในการนำภาพเข้ามาประมวลผลจะเป็นแบบ Continuous-Acquisition ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 การใช้งานฟังก์ชัน Vision Acquisition



รูปที่ 3.15 การตั้งค่าฟังก์ชันให้รับภาพแบบ Continuous Acquisition

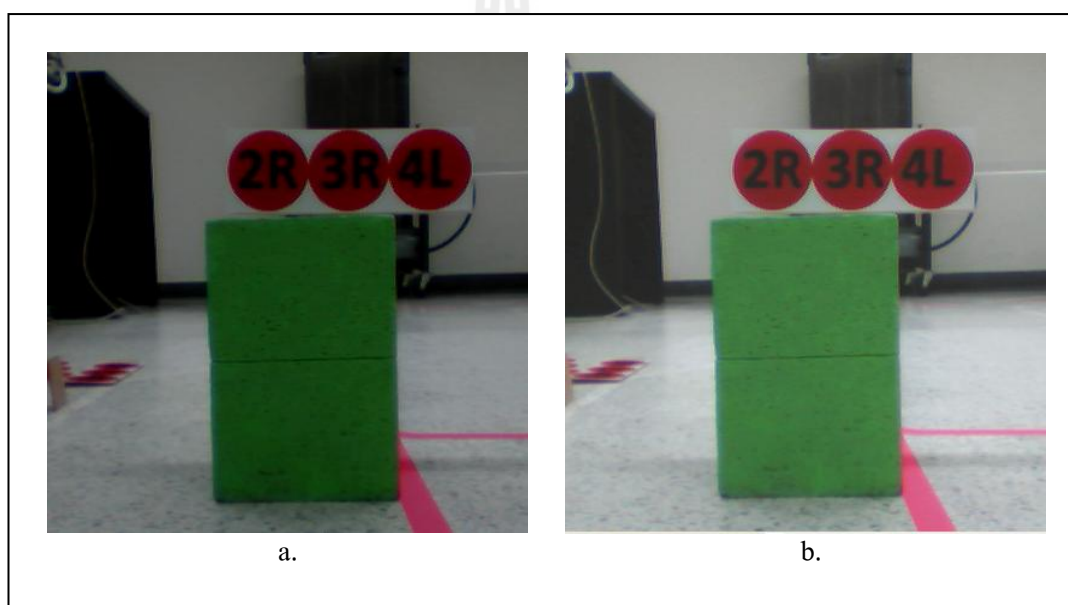
2. การลดสัญญาณรบกวน Noise Reduction เป็นขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพของภาพในบางครั้งภาพที่รับเข้ามาอาจจะสัญญาณรบกวนที่เราไม่ต้องการเพิ่มเข้ามาในภาพซึ่งทำให้ภาพมีความคมชัดหรือคุณภาพลดลง ดังนั้นขั้นตอนนี้จึงเป็นการลดสัญญาณรบกวนเพื่อให้ภาพมีคุณภาพดีขึ้น

3. ปรับความสว่าง Brightness เป็นขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพของภาพในส่วนของความสว่าง สี สัน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความคมชัดและความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่ต้องการ ซึ่งค่าที่ใช้ปรับปรุงในส่วนคือค่า Brightness, Contrast และ Gamma ดังแสดงในรูป 3.16a

คือภาพต้นฉบับที่อ่านเข้ามา ส่วนในรูป 3.16b คือภาพที่ผ่านการปรับความสว่าง และ Contrast จะเห็นว่าภาพทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยค่าการปรับตั้งดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การตั้งค่าการปรับความสว่าง Brightness ในการคัดแยกสี

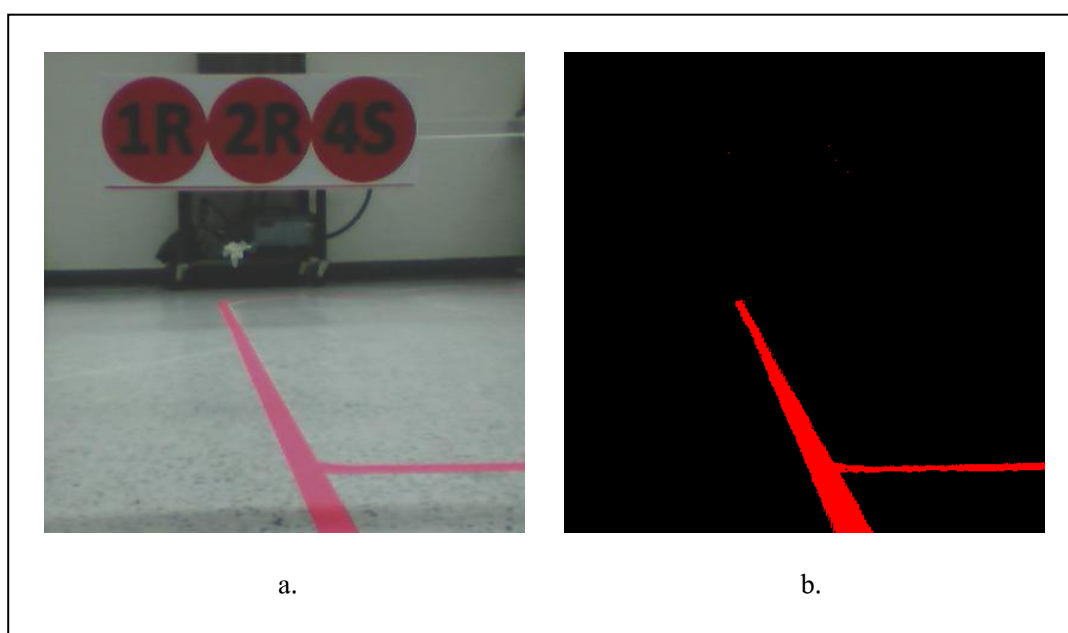
พารามิเตอร์	ค่าปรับตั้ง
Brightness	140
Contrast	50
Gamma	1.0



รูปที่ 3.16 เปรียบเทียบภาพก่อนและหลังการปรับค่า Brightness และ Contrast

4. การคัดแยกสี Color Segment ขั้นตอนนี้เป็น การคัดแยกสีเพื่อต้องการแยกเฉพาะสีของเส้นทาง ซึ่งปริภูมิสีที่ใช้ในการทดลองแยกสีคือ ปริภูมิสี RGB โดยการคัดแยกสีต้องมีการกำหนดช่วงของสี 3 ค่า คือ ช่วงของสีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue) กระบวนการนี้จะทำการค้นหาพิกเซลที่มีค่าสีอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วเปลี่ยนค่าในพิกเซลนั้น ๆ ให้กลายเป็นภาพ Binary หรือภาพ 1 bit จากรูป 3.17a คือภาพก่อนการประมวลผล และรูป 3.17b คือรูปที่ผ่านกระบวนการ Color Threshold ซึ่งในการทดลองกำหนดช่วงของสีดังต่อไปนี้

- ช่วงสีแดง มีค่าตั้งแต่ 150 ถึง 250
- ช่วงสีเขียว มีค่าตั้งแต่ 30 ถึง 110
- ช่วงสีน้ำเงิน มีค่าตั้งแต่ 70 ถึง 140



รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบภาพเมื่อผ่านกระบวนการ Color Threshold

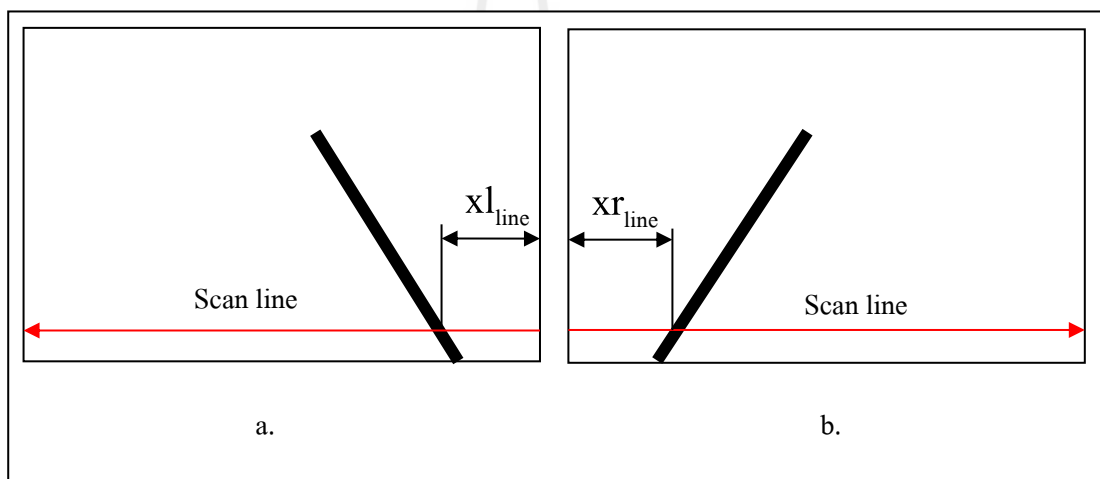
5. กระบวนการ Morphology คือกระบวนการในการปรับปรุงหรือปรับแต่งภาพที่อยู่ในรูปแบบภาพ Binary ถูกใช้เพื่อเติมเต็มภาพในบางส่วนของภาพที่ขาดหายไปจากกระบวนการ Color-Threshold

6. กระบวนการ Remove Particle ใช้สำหรับลบจุดหรือกลุ่มของพิกเซลส่วนเกินที่ไม่ต้องการออกจากภาพโดยการกำหนดเงื่อนไขในการลบออก เช่น ในการทดลองใช้การกำหนดขนาดของ Particle ที่จะลบออกต้องมีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 300 พิกเซล ซึ่งจะเห็นว่าเส้นทางวิ่งของรถตลอดเวลาที่ประมวลผลและปรากฏอยู่บนจอภาพ จะมีขนาดใหญ่่มากเมื่อเทียบกับขนาดของ Particle ที่เกินมา ดังนั้นกลุ่มของ Particle ที่อยู่รวมกันและมีขนาดเล็กกว่า 300 พิกเซลจะถูกกำจัดออกทั้งหมด ซึ่งเพียงพอแล้วสำหรับการนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

7. การตรวจจับขอบ Edge Detection คือกระบวนการสำหรับการวัดเพื่อหาตำแหน่งของเส้นทางวิ่งที่ตรวจพบ โดยวิธีการนี้จะเป็นการหาขอบหรือการเปลี่ยนแปลงของค่าบนพิกเซลในที่นี้เป็นภาพ Binary ซึ่งต้องมีการกำหนดแนวเส้นตรงในการค้นหาหรือ Scan Line

สำหรับการทดลองในส่วนของการตรวจจับเส้นใช้เส้น Scan Line 1 เส้นที่ตำแหน่งแกน Y เท่ากับ 450 โดยที่ภาพจากกล้องด้านซ้ายจะค้นหาจากซ้ายไปขวา และกล้องขวาจะค้นหาจากขวาไปซ้าย และกำหนดรูปแบบในการค้นหาคือ หาขอบที่ค้นเจอขอบแรกหรือ First Edge ดังรูปที่ 3.18a คือภาพที่ได้จากกล้องด้านซ้าย รูปที่ 3.18b คือภาพที่ได้จากกล้องด้านขวา หลังจากที่ได้ตำแหน่งของขอบจากภาพของกล้องทั้งสองด้าน สามารถนำมาคำนวณหาตำแหน่งของรถเทียบกับเส้นถนน ซึ่งค่าความแตกต่างของความยาวเส้น x_{l_line} และ x_{r_line} จะถูกใช้เป็นค่า Setpoint สำหรับ PID-Controller โดยจุดประสงค์คือควบคุมให้ได้ค่าความแตกต่างของเส้นทั้งสองเท่ากับศูนย์ นั่นคือรถจะอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางเส้นทางวิ่งพอดี โดยที่ ค่าความแตกต่างหรือ Different คือ $x_{l_line} - x_{r_line}$

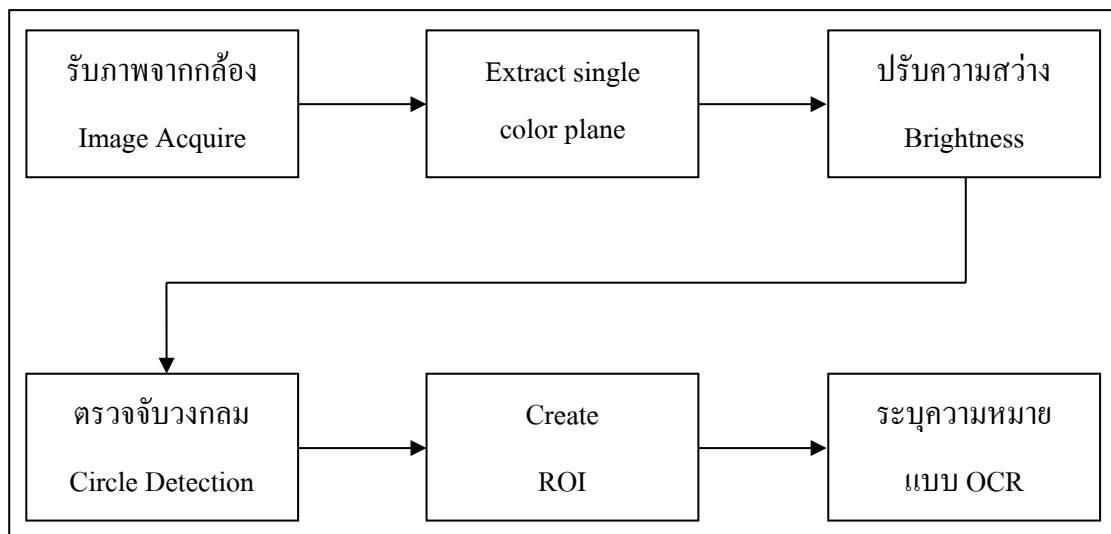
- Different > 0 แสดงว่า รถกำลังชิดด้านซ้าย ต้องสั่งให้รถเลี้ยวขวา
- Different < 0 แสดงว่า รถกำลังชิดด้านขวา ต้องสั่งให้รถเลี้ยวซ้าย



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการตรวจจับขอบเพื่อหาตำแหน่งของเส้น

3.4.2 การตรวจจับและระบุความหมายของป้าย (Sign Plate Recognition)

ในส่วนของการทดลองนี้วัตถุประสงค์หลักคือการตรวจจับป้ายบอกเส้นทางและระบุความหมายของแผ่นป้ายที่พบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเดินทางสู่สถานีงานที่กำหนดไว้ ซึ่งแผ่นป้ายบอกทางนั้นมีชุดตัวอักษร 3 ชุด อยู่บนแผ่นป้ายที่เป็นรูปวงกลมสีแดง 3 วง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้นกระบวนการประมวลผลด้วยภาพสำหรับส่วนนี้คือ เริ่มต้นด้วยการตรวจจับวงกลม จากนั้นใช้ตำแหน่งของวงกลมที่หาได้ ไปใช้กำหนด ROI สำหรับการอ่านตัวอักษรแบบ OCR



รูปที่ 3.19 Diagram ขั้นตอนการประมวลผลการตรวจจับและระบุความหมายของป้าย

1. รับภาพจากกล้อง (Image Acquire) เป็นขั้นตอนการนำภาพเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW เพื่อประมวลผลด้วยภาพ ซึ่งภาพที่รับเข้ามาจากกล้องจะเป็นภาพสี RGB ขนาด 640x480 รูปแบบในการรับภาพเข้ามาประมวลผลจะเป็นแบบ Continuous Acquisition
2. Extract single color plane เป็นกระบวนการแยกเฉพาะระนาบของสีที่ต้องการในการทดลองได้แยกระนาบของสีเขียว (Green) ในปริภูมิสีแบบ RGB
3. ปรับความสว่าง Brightness เป็นขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพของภาพในส่วนของความสว่าง ความชัดเจนของภาพ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการตรวจจับวงกลมบนแผ่นป้ายบอกทาง ซึ่งค่าที่ใช้ปรับปรุงในส่วนคือค่า Brightness, Contrast และ Gamma ในขั้นตอนการทดลองมีการปรับตั้งค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 การตั้งค่าการปรับความสว่าง Brightness ในการตรวจจับป้าย

พารามิเตอร์	ค่าปรับตั้ง
Brightness	128
Contrast	48.8
Gamma	1.0

4. การตรวจจับวงกลม Circle Detection เป็นกระบวนการสำหรับหาวงกลมที่อยู่บนแผ่นป้ายบอกทางหลังจากได้ตำแหน่งของวงกลม จะถูกใช้เพื่อสร้าง ROI ของการอ่านตัวอักษรบนแผ่นป้าย การตรวจจับวงกลม ในการทดลองนี้ จะใช้ร่วมฟังก์ชัน Circle Detection ซึ่งอยู่ในตัว Vision Assistant โดยมีการกำหนดหรือตั้งค่าที่สำคัญดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 การตั้งค่าฟังก์ชัน Circle Detection

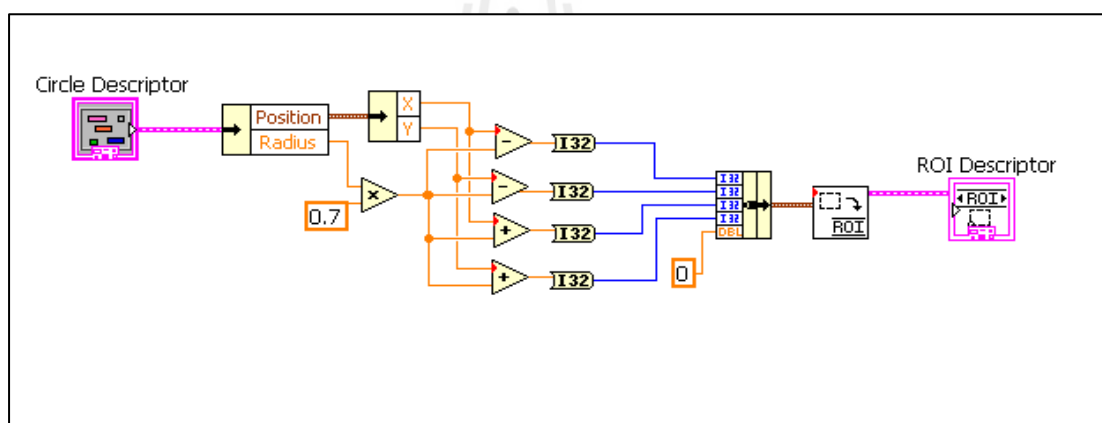
พารามิเตอร์	ค่าปรับตั้ง
Extraction Mode	Normal
Edge Threshold	70
Edge Filter Size	Normal
Minimum Length	24
Row Search Step Size	10
Colum Search Step Size	10
Minimum Endpoint Gap	20
Max Radius	50
Min Radius	30
Scale Min	80
Scale Max	120
Occlusion	True

5. Create ROI คือขั้นตอนของการกำหนดพื้นที่หรือบริเวณส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพเพื่อประมวลผล ในส่วนนี้หลังจากที่เราทราบข้อมูลตำแหน่ง (x,y) ของวงกลมทั้งหมด ต่อมาคือการนำตำแหน่งเหล่านั้นมากำหนดเป็น ROI สำหรับการอ่านตัวอักษรของกระบวนการ OCR

โดยการสร้าง ROI ต้องมีการกำหนดในการทดลองนี้กำหนดเป็นแบบกรอบสี่เหลี่ยม ดังนั้นต้องมีการกำหนดเส้นอ้างอิง 4 เส้น โดยอ้างอิงกับระบบ Coordinate ของภาพ ตามตารางที่ 3.6 และในรูป 3.20 แสดงตัวอย่าง Block Diagram การสร้าง ROI จากตำแหน่งของวงกลมที่พบ

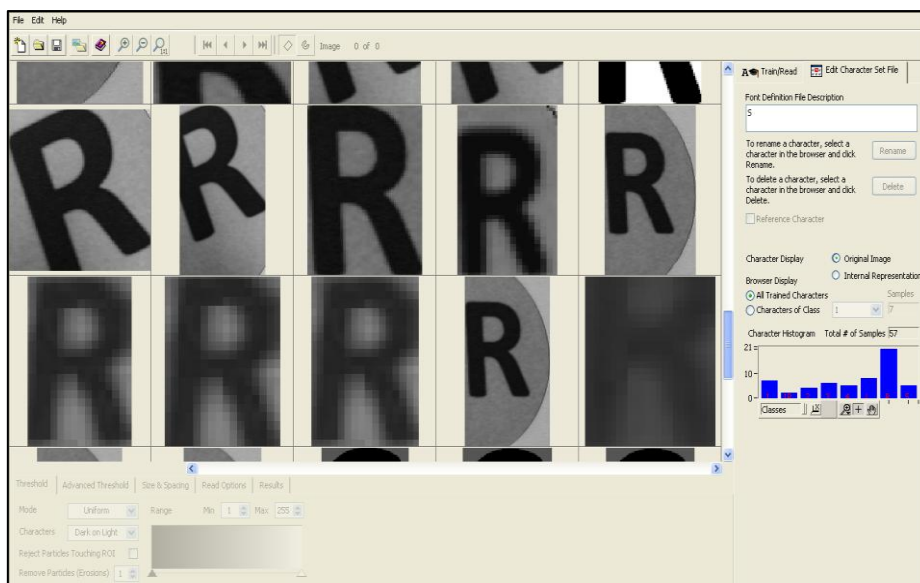
ตารางที่ 3.6 การกำหนดค่า ROI สำหรับประมวลผล OCR

ตำแหน่งเส้น	ระยะของเส้น
เส้นด้านซ้าย	ตำแหน่ง $x - 0.7 \times \text{รัศมีวงกลม}$
เส้นด้านบน	ตำแหน่ง $y - 0.7 \times \text{รัศมีวงกลม}$
เส้นด้านขวา	ตำแหน่ง $x + 0.7 \times \text{รัศมีวงกลม}$
เส้นด้านล่าง	ตำแหน่ง $y + 0.7 \times \text{รัศมีวงกลม}$



รูปที่ 3.20 Block diagram การสร้าง ROI จากตำแหน่งของวงกลม

6. การระบุความหมายแบบ OCR เป็นกระบวนการประมวลผลโดยการระบุความหมายของตัวอักษรบนภาพโดยการกำหนดบริเวณที่สนใจหรือ ROI ซึ่งชุดตัวอักษรที่ต้องการระบุความหมายต้องมีการ Training ให้โปรแกรมเข้าใจความหมายของรูปภาพนั้น ๆ โดยความถูกต้องของผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับจำนวนของรูปภาพที่มีการสอนด้วย ในการทดลองมีการใช้ภาพถ่ายของตัวอักษรแต่ละตัวอักษรถ่ายในมุมที่ต่างกัน รวมทั้งขนาดและความสว่างของแสงแตกต่างกัน เพื่อใช้สอนให้โปรแกรมอย่างน้อยไม่ต่ำกว่า 50 ภาพต่อตัวอักษร ดังแสดงในรูป 3.21 ก็คือตัวอย่างการสอนตัวอักษรให้ LabVIEW Vision รู้จักตัวอักษรและในรูป 3.22 แสดงตัวอย่างภาพเมื่อผ่านกระบวนการประมวลผลอ่านตัวอักษรแบบ OCR



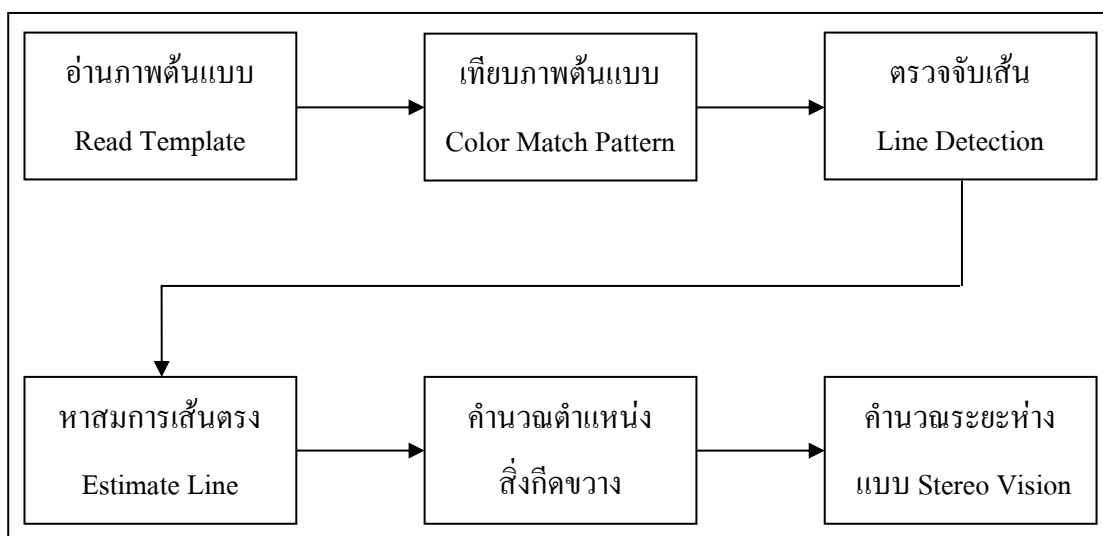
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการสอน(Training) ตัวอักษรให้ LabVIEW Vision



รูปที่ 3.22 ภาพตัวอย่างป้ายบอกทางเมื่อผ่านกระบวนการ OCR

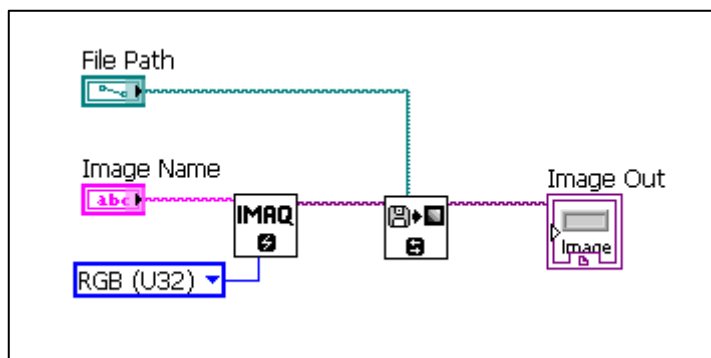
3.4.3 การตรวจจับสิ่งกีดขวาง (Obstacle Detection)

การประมวลผลด้วยภาพในส่วนของการตรวจจับสิ่งกีดขวางเป็นตรวจจับสิ่งกีดขวางด้านหน้ารถเพื่อประมวลผลว่ารถขนส่งอัตโนมัติต้องหยุดหรือหลบหลีกสิ่งกีดขวางไปในทิศทางซ้ายหรือขวาขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางตัวของสิ่งกีดขวาง โดยในการทดลองมีการกำหนดสิ่งกีดขวางอย่างง่ายเพื่อใช้สำหรับการทดลองเท่านั้น มีขนาดและสีที่แน่นอนซึ่งขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพมีขั้นตอนดังแสดงในรูป 3.23



รูปที่ 3.23 Diagram ขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

1. การอ่านภาพต้นแบบ (Read Template) คือกระบวนการอ่านภาพตัวอย่างของสิ่งกีดขวางเพื่อนำมาเทียบกับภาพที่กำลังอ่านเข้ามาเพื่อค้นหา ภาพต้นแบบในการทดลองนี้เป็นจะเป็นภาพสี RGB 32 bit ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมอ่านภาพต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.24 โดยต้องมีการระบุตำแหน่งของไฟล์ภาพและชนิดของภาพ ซึ่งภาพต้นแบบที่อ่านเข้ามาเป็นภาพสี และต้องใช้ร่วมกับฟังก์ชัน Match Color Pattern



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมอ่านภาพต้นแบบ แบบRGB 32bit

2. การเทียบภาพต้นแบบ (Color Match Pattern) คือกระบวนการเทียบภาพต้นแบบกับภาพที่อ่านเข้ามาเพื่อค้นหาว่ามีส่วนที่เหมือนหรือไม่ ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการเทียบภาพต้นแบบประเภทที่ใช้สีและรูปร่างในการเทียบภาพต้นแบบ เนื่องจากสิ่งกีดขวางที่จำลองขึ้นมีสีที่แตกต่างจากส่วนอื่น ดังนั้นการเทียบโดยใช้ความสำคัญของสีเพิ่มเข้ามาจึงทำให้การเทียบมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในการทดลองจะใช้ฟังก์ชัน Color Match Pattern ซึ่งในการทดลองเขียนโปรแกรมส่วนนี้ใน Vision Assistant โดยมีรายละเอียดการตั้งค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.7 การตั้งค่าฟังก์ชัน Color Match Pattern

พารามิเตอร์	ค่าปรับตั้ง
Number of Matches to Find	1
Minimum Score	500
Color Score Weight	300
Color Sensitivity	Medium
Search Strategy	Conservative
Angel Range	-10 ถึง 10

3. การตรวจจับเส้น (Line Detection) ในส่วนของการหลบสิ่งกีดขวางนี้การตรวจจับเส้นถูกใช้สำหรับการค้นหาเส้นทางวิ่งเพื่อใช้เส้นทางอ้างอิงสำหรับประมวลผลหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยรายละเอียดการปรับตั้งค่าจะคล้ายกับส่วนของการตรวจจับเส้นทางแบบปกติแต่ใน

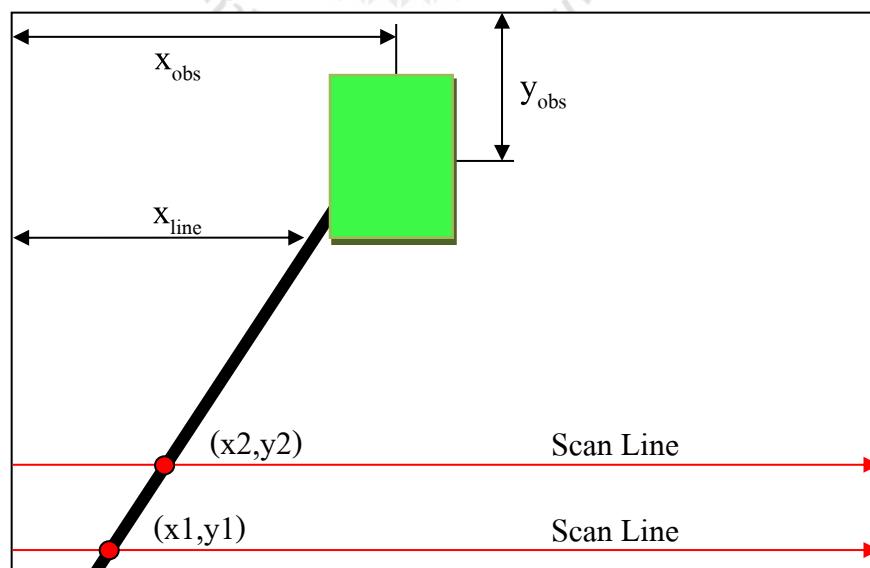
ส่วนนี้มีการใช้ กำหนดเส้น Scan Line เพิ่มเป็นสองเส้น เส้นแรกที่ตั้งค่าตำแหน่ง y เท่ากับ 470 และเส้นที่สองที่ตั้งค่าตำแหน่ง y เท่ากับ 450

4. การหาสมการเส้นตรง (Estimate Line) หลักจากที่ภาพผ่านผ่านกระบวนการตรวจจับเส้นเราจะได้ตำแหน่งของเส้นคือสองเส้นตามแนวเส้น Scan Line คือ (x1, y1) และ (x2, y2) ขั้นตอนนี้คือการนำตำแหน่งทั้งสองจุดมาหาสมการเส้นตรงโดยใช้วิธี Least Square Method คือ $y=ax+b$ โดยที่

$$a = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.2)$$

$$b = \frac{n \sum x_i \sum y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.3)$$

5. การคำนวณตำแหน่งสิ่งกีดขวาง หลังจากที่เราทราบตำแหน่งของสิ่งกีดขวางและสมการเส้นตรงที่ใช้ประมาณเส้นทางวิ่งแล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณหาตำแหน่งของสิ่งกีดขวางเพื่อตัดสินใจหยุดหรือหลบหลีก



รูปที่ 3.25 แสดงการจำลองตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง

โดยที่ตัวแปร x_{obs} คือระยะห่างของกึ่งกลางสิ่งกีดขวางตามแนวแกน x ถึงขอบด้านซ้าย ตัวแปร y_{obs} คือระยะห่างของกึ่งกลางสิ่งกีดขวางตามแนวแกน y ถึงขอบด้านบน และตัวแปร x_{line} คือ การนำค่า y ที่ขอบด้านล่างของสิ่งกีดขวางไปแทนลงในสมการเส้นตรง และจะสามารถสรุปได้ว่า

$x_{obs} - x_{line}$ อยู่ในช่วง -150 ถึง 150 ต้องสั่งหยุด

$x_{obs} - x_{line}$ มีค่ามากกว่า 150 แสดงว่าสิ่งกีดขวางอยู่ทางด้านขวาของเส้น

$x_{obs} - x_{line}$ มีค่าน้อยกว่า -150 แสดงว่าสิ่งกีดขวางอยู่ทางด้านซ้ายของเส้น

6. การคำนวณหาระยะห่างแบบ Stereo Vision ในส่วนนี้เป็นการคำนวณหาระยะห่างของสิ่งกีดขวางโดยอาศัยการประมวลผลด้วยภาพ หลังจากที่เราทำการค้นหาสิ่งกีดขวางในภาพ เมื่อพบสิ่งกีดขวางจะได้ตำแหน่งศูนย์กลาง จากภาพของกล้องด้านซ้ายและกล้องด้านขวา ซึ่งเราจะนำตำแหน่ง x_l และ x_r ไปแทนในสมการ 2.5 ซึ่งกล่าวถึงไปแล้วก่อนหน้านี้ และในการทดลองนี้ได้มีการกำหนดค่า Parameter ที่จำเป็นในการคำนวณดังนี้คือ

- ความยาวของฐานกล้อง 14 เซนติเมตร
- ทางยาวโฟกัสกล้องด้านขวาเฉลี่ย 719.1 พิกเซล

3.5 การคำนวณความเร็วรถ

ในกรณีที่รถเจอป้ายแต่ป้ายหายไปจะต้องมีการคำนวณระยะห่างระหว่างป้ายเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณการบังคับเลี้ยวซึ่งวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ เมื่อกล้องทั้ง 2 ตัวพบป้ายบอกทางเราสามารถคำนวณระยะห่างซึ่งกล้องที่ใช้จะเป็นระบบ Fixed focus หรือ Manual focus ดังนั้นความคมชัดของภาพจะมีที่ระยะเดียวเท่านั้น และเมื่อรถมีการเคลื่อนที่ระยะทางจากป้ายมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ภาพที่ได้เบลอและไม่สามารถตรวจจับป้ายได้ ในขณะที่ไม่สามารถคำนวณระยะห่างจากป้ายโดยใช้ข้อมูลจากกล้องได้นั้น เราสามารถคำนวณระยะห่างจากป้ายเนื่องจากทราบความเร็วที่แน่นอนในขณะที่รถเคลื่อนที่ และใช้ระยะทางที่ได้จากภาพล่าสุดเป็นตัวอ้างอิงระยะทาง

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าตัวแปรของรถที่ใช้ทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
จำนวนฟันของเฟืองขับที่มอเตอร์	16 ฟัน
จำนวนฟันของเฟืองที่เพลารถ	42 ฟัน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อ	11 cm
Stepper Motor Resolution	400 step/rev

อัตราทด คือ จำนวนฟันเฟืองที่เพลาคู่จำนวนฟันเฟืองมอเตอร์จะได้ อัตราทดเป็น 2.625:1 โดยความเร็วรอบมอเตอร์

$$\omega_{Motor} = \frac{f}{400} \quad (3.4)$$

ความเร็วรอบของล้อ

$$\omega_{wheel} = \omega_{Motor} \cdot \left(\frac{42}{16} \right) \quad (3.5)$$

$$\omega_{wheel} = \left(\frac{f}{400} \right) \cdot \left(\frac{42}{16} \right) \quad (3.6)$$

ความเร็วในการเคลื่อนที่

$$v = r \cdot \omega \quad (3.7)$$

จะได้

$$v = 11 \cdot \omega_{wheel} \quad (3.8)$$

$$v = 11 \cdot \left(\frac{f}{400} \right) \cdot \left(\frac{42}{16} \right) \quad (3.9)$$

$$v = 7.21 \times 10^{-2} \cdot f \quad \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right) \quad (3.10)$$

และ จากสมการ $S=v.t$ สามารถนำมาคำนวณหาระยะห่างจากสิ่งกีดขวางได้

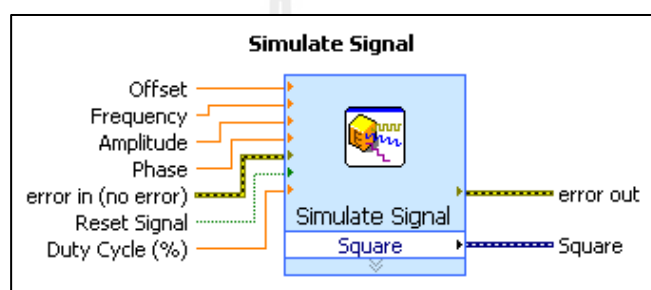
3.6 การสร้างระบบการประมวลผลด้วยภาพ

เบื้องต้นงานวิจัยนี้ต้องการที่จะสร้างรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยผู้ใช้เพียงป้อนข้อมูลสถานีปลายทางที่ต้องไป โดยใช้การประมวลผลด้วยภาพเพื่อใช้เป็นแนวทางเพื่อใช้ควบคุมการขับเคลื่อน ซึ่งในปัจจุบันระบบการนำทางมีหลากหลายรูปแบบจากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยจึงเลือกใช้การประมวลผลด้วยภาพมาพัฒนาเพื่อใช้เป็นระบบนำทางโดยการใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW 2010 ร่วมกับ NI Vision Module ของบริษัท National Instruments สำหรับการประมวลผลภาพที่มีความสามารถในการตรวจจับขอบรูปภาพ การระบุความหมายตัวอักษร การคัดแยกสี การจับคู่รูปแบบ การเปรียบเทียบต้นแบบ ซึ่งเพียงพอต่อการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติโดยใช้การประมวลผลด้วยภาพได้ และสามารถแบ่งการประมวลผลออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

1. การตรวจจับเส้น ในส่วนนี้ได้เลือกใช้การคัดแยกสีเพื่อแยกแยะระหว่างพื้นกับเส้นทางเดินของรถ
2. การตรวจจับและระบุความหมายของป้าย ในส่วนนี้จะใช้กระบวนการตรวจจับวงกลมร่วมกับ วิธี OCR เพื่ออ่านและแปลความหมายของแผ่นป้าย
3. การตรวจจับสิ่งกีดขวาง ในส่วนนี้ทางผู้วิจัยเองไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การตรวจจับหรือแยกสิ่งกีดขวาง แต่มุ่งเน้นไปที่การออกแบบระบบควบคุมเมื่อพบสิ่งกีดขวางจะต้องสามารถตอบสนองโดยการหยุดถ้าวัตถุมีขนาดใหญ่หรือหลบหลีกไปถ้ามีพื้นที่เพียงพอ จึงเลือกใช้วิธีการเปรียบเทียบต้นแบบเพื่อง่ายต่อการทดลอง และรถต้นแบบที่ถูกสร้างขึ้นจะสามารถทำงานได้โดยอยู่ภายใต้สภาวะแสงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ภายในอาคาร สามารถเดินทางไปสู่สถานีปลายทางโดยปราศจากการควบคุมโดยมนุษย์

การตรวจสอบด้วยภาพใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW ร่วมกับ NI Vision Module ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานที่สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาวัตถุบนภาพถ่ายจากภาพต้นแบบที่กำหนดให้ว่าครบตามจำนวนที่กำหนดหรือไม่ โดยมีฟังก์ชันที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

1. Simulate Signal เป็นฟังก์ชันสำหรับการจำลองสัญญาณสามารถสร้างสัญญาณได้หลากหลายรูปแบบ เช่น คลื่นรูปไซน์ คลื่นรูปสี่เหลี่ยม คลื่นรูปฟันเลื่อย และสามารถสร้างสัญญาณรบกวนเข้าได้อีกด้วย ซึ่งในการทดลองฟังก์ชัน Simulate Signal ถูกใช้เพื่อสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมโดยมีการปรับค่าความกว้างของสัญญาณ เพื่อใช้สำหรับการควบคุม Servo-Motor โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.26



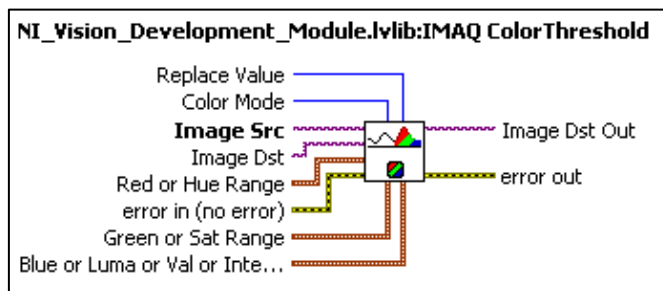
รูปที่ 3.26 ฟังก์ชัน Simulate Signal

จากรูปที่ 3.26 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Offset กำหนดค่าสัญญาณ offset ของสัญญาณ ค่าเริ่มต้นคือ 0
- Frequency กำหนดค่าความถี่ของสัญญาณในหน่วย Hz.
- Amplitude กำหนดขนาดของสัญญาณค่าเริ่มต้นคือ 1
- Phase กำหนดเฟสเริ่มต้นของสัญญาณในหน่วยองศา
- Reset Signal กำหนดสัญญาณสำหรับการรีเซ็ตสัญญาณ
- Duty Cycle กำหนดค่า %Duty Cycle ของสัญญาณ ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่าง

ช่วงเวลาของสัญญาณช่วงที่ On หารด้วยคาบเวลาของลูกคลื่น

2. IMAQ Color Threshold เป็นฟังก์ชันสำหรับแยกสีบนจุดพิกเซลที่ต้องการใน Color space RGB หรือ HSL และแทนค่าสีที่พบบนพิกเซลนั้น ๆ ด้วยสีที่กำหนดและภาพที่ได้จะเปลี่ยนจาก 32 bit เป็น 1 bit



รูปที่ 3.27 ฟังก์ชัน IMAQ Color Threshold

จากรูปที่ 3.27 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Replace Value กำหนดค่าสีในโหมดสี 8 bit เพื่อแทนที่สีบนพิกเซลที่อยู่ในขอบเขตของสีที่อยู่ในช่วงของสีที่กำหนด

- Color Mode ระบุโหมดสีหรือปริภูมิสีที่ต้องการคัดแยกสีทั้งหมด 4 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 3 ดังนี้

- 0 โหมดสี RGB (Red, Green, Blue)
- 1 โหมดสี HSL (Hue, Saturation, Luminance)
- 2 โหมดสี HSV (Hue, Saturation, Value)
- 3 โหมดสี HSI (Hue, Saturation, Intensity)

- Image Src Image คือภาพที่แสดงเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับไฟล์ภาพที่ถูกอ่านเข้ามา
- Image Dst ส่งไปเก็บที่หน่วยความจำสำรองชั่วคราว
- Red or Hue Range กำหนดช่วงของสีแดงหรือค่า Hue ที่ต้องการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับ Color mode โดยพิกเซลใดที่ค่าใน Plane สีแดง หรือ Hue จะถูกแทนที่ด้วยค่าที่กำหนดไว้ใน Replace value พิกเซลนอกเหนือจากนั้นจะถูกแทนที่ด้วยค่า 0 มีการกำหนดค่า 2 ค่า คือ

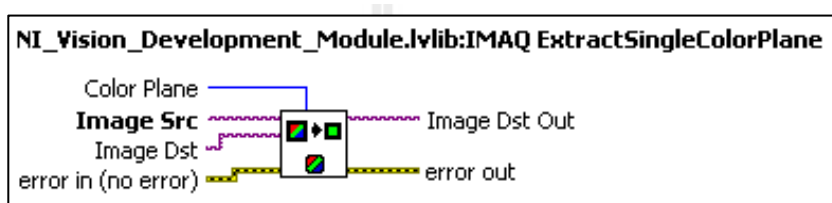
1. Lower Value กำหนดขอบเขตค่าน้อย
2. ค่าเริ่มต้นคือ 0 Upper Value กำหนดขอบเขตค่ามาก ค่าเริ่มต้นคือ 256

- Green or Sat Range กำหนดช่วงของสีเขียวหรือ ค่า Saturation ที่ต้องการแยกความแตกต่าง ขึ้นอยู่กับ Color mode โดยพิกเซลใดที่ค่าใน Plane สีเขียว หรือ Saturation จะถูกแทนที่ด้วยค่าที่กำหนดไว้ใน Replace value พิกเซลนอกเหนือจากนั้นจะถูกแทนที่ด้วยค่า 0

- Blue or Luma Range กำหนดช่วงของสีฟ้าหรือค่า Luminance ที่ต้องการแยกความแตกต่างขึ้นอยู่กับ Color mode โดยพิกเซลใดที่ค่าใน Plane สีฟ้า หรือ Luminance จะถูกแทนที่ด้วยค่าที่กำหนดไว้ใน Replace value พิกเซลนอกเหนือจากนั้นจะถูกแทนที่ด้วยค่า 0

- Image Dst Out คือภาพปลายทางระบบส่งข้อมูลออกเป็นรูปภาพ

3. IMAQ Extract Single Color Plane เป็น ฟังก์ชัน สำหรับแยกเฉพาะ Color Plane ที่ต้องการออกมาจากภาพสี โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชัน ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ฟังก์ชัน IMAQ Extract Single Color Plane

จากรูปที่ 3.28 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Color Plane ระบุ color plane ที่ต้องการแยก มีทั้งหมด 8 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 7 ดังนี้

0 (ค่าเริ่มต้น) color plane สีแดง

1 color plane สีเขียว

2 color plane สีฟ้า

3 color plan Hue

4 color plane Saturation

5 color plane Luminance

6 color plane Value

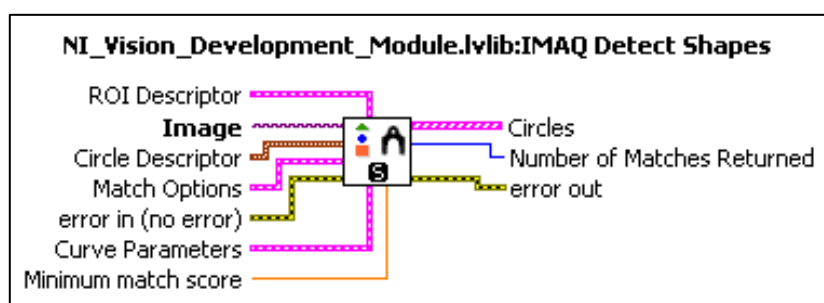
7 color plane Intensity

- Image Src คือภาพที่แสดงเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับไฟล์ภาพที่ถูกอ่าน

- Image Dst ส่งไปเก็บที่หน่วยความจำสำรองชั่วคราว

- Image Dst Out คือภาพปลายทางระบบส่งข้อมูลออกเป็นรูปภาพ 8 bitสำหรับการใช้งานในโปรแกรม LabVIEW

4. IMAQ Detect Shapes เป็นฟังก์ชันสำหรับการค้นหารูปทรงเลขาคณิตอย่างง่ายในรูปภาพ เช่น วงกลม วงรี สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.29



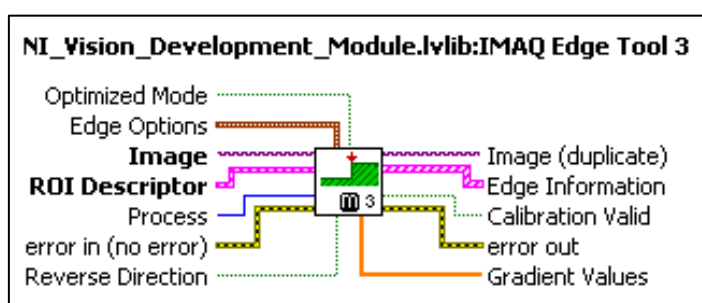
รูปที่ 3.29 ฟังก์ชัน IMAQ Detect Shape

จากรูปที่ 3.29 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- ROI Descriptor กำหนดชุดข้อมูลแบบ Cluster เพื่อระบุบริเวณที่สนใจต้องการให้โปรแกรมประมวลผลค้นหารูปทรงตามที่ต้องการในรูปภาพ
- Image คือภาพที่แสดงเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับไฟล์ภาพที่ถูกอ่านเข้า
- Circle Descriptor เป็นการกำหนดขนาดหรือขอบเขตในการค้นหาวงกลมมีการกำหนดค่าตัวแปร 2 ค่า คือ
 - 1) Min Radius กำหนดรัศมีของวงกลมที่เล็กที่สุดในหน่วยของพิกเซล
 - 2) Max Radius กำหนดรัศมีของวงกลมที่ใหญ่ที่สุดในหน่วยของพิกเซล
- Curve Parameter กำหนดชุดข้อมูลแบบ Cluster เพื่อระบุข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการในการแยกรูปร่างที่ต้องการ
- Minimum Match Score คือ การกำหนดค่าที่สุดที่การจับคู่จะสามารถพิจารณาความถูกต้องของภาพได้ โดยกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1000
- Circle แสดงข้อมูลของวงกลมที่พบในรูปแบบ Cluster โดยมีข้อมูลของตำแหน่ง ขนาดของวงกลม และคะแนนความเหมือน

- Number of math returned แสดงจำนวนวงกลมที่พบในภาพ

5. IMAQ Edge Tool 3 เป็นฟังก์ชันสำหรับหาขอบโดยการกำหนดเส้นทางของเส้นสแกน โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.30

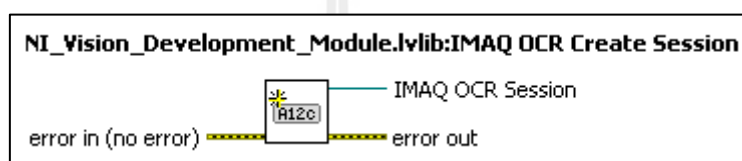


รูปที่ 3.30 ฟังก์ชัน IMAQ Edge Tool 3

จากรูปที่ 3.30 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Optimize Mode เป็นการกำหนดความเร็วของการประมวลผล ถ้า True จะเร็วกว่า เพราะไม่มีการรีเทิร์นค่า Gradient value
- Edge Options เป็นการกำหนดค่า Parameter สำหรับการค้นหาการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ขอบรูปและการคำนวณหาส่วนของขอบรูป มีการกำหนดทิศทางในการคำนวณหา วิธีการในการคำนวณ
- Image คือภาพที่แสดงเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับไฟล์ภาพที่ถูกอ่านเข้า
- ROI Descriptor กำหนดชุดข้อมูลแบบ Cluster เพื่อระบุบริเวณที่สนใจต้องการให้โปรแกรมประมวลผลค้นหารูปทรงตามที่ต้องการในรูปภาพ
- Process ระบุวิธีการในการค้นหาพิกเซล มีทั้งหมด 4 ประเภทโดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 3 ดังนี้
 - 0 เฉพาะขอบแรกที่พบ
 - 1 เฉพาะขอบแรกและขอบที่พบ
 - 2 ทุกขอบที่พบตลอดแนวเส้นที่ค้นหา
 - 3 เส้นที่ดีที่สุดตลอดแนวเส้นที่ค้นหา
- Reverse Direction กำหนดว่าต้องการกลับทิศทางในการค้นหาขอบ

- Image(duplicate) คือภาพปลายทางระบบส่งข้อมูลออกเป็นรูปภาพสำหรับการใช้งานในโปรแกรม LabVIEW
 - Edge Information เป็น array แสดงข้อมูลของขอบที่พบประกอบไปด้วยตำแหน่งของขอบ ระยะทาง การเปลี่ยนแปลงขอบ
 - Calibration valid Boolean แสดงความถูกต้องของการค้นหาขอบ
 - Gradient Value เป็น Array แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่าพิกเซล
6. IMAQ OCR Create Session ฟังก์ชันสำหรับเก็บหน่วยความจำสำรองชั่วคราวสำหรับ OCR โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.31

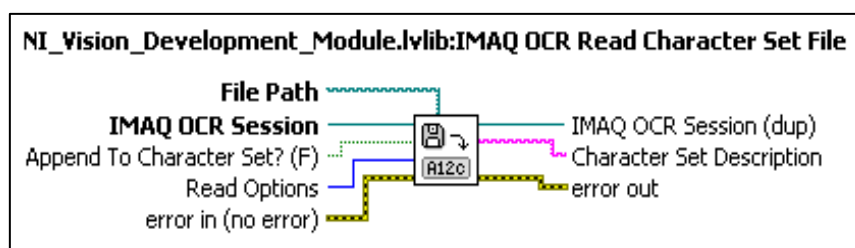


รูปที่ 3.31 ฟังก์ชัน IMAQ OCR Create Session

จากรูปที่ 3.31 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- IMAQ OCR Session ส่งไปเก็บที่เก็บไว้ในหน่วยความจำสำรองชั่วคราวสำหรับ OCR ไปที่ VI IMAQ OCR Read Character Set File

7. IMAQ OCR Read Character Set File ฟังก์ชันสำหรับอ่านชุดตัวอักษรจากตำแหน่งที่ระบุไว้โดย File Path ฟังก์ชันนี้จะส่งค่าของชุดตัวอักษรที่ผ่านการสอนแล้วไปที่ IMAQ OCR Read Text 3 โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.32

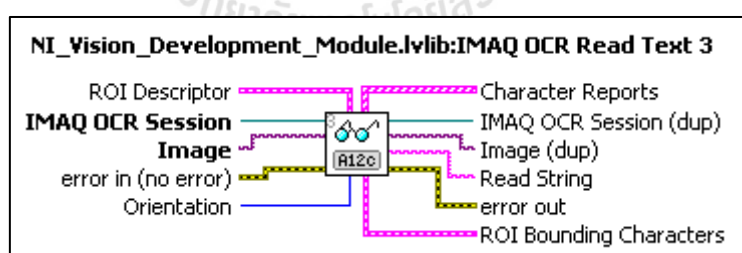


รูปที่ 3.32 ฟังก์ชัน IMAQ OCR Read Character Set File

จากรูปที่ 3.32 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- File Path กำหนดตำแหน่งที่อยู่ของ File ชุดอักษรที่ผ่านการสอน
- IMAQ OCR Session ส่งไปเก็บที่หน่วยความจำสำรองชั่วคราวสำหรับ OCR
- Append To Character Set? การกำหนดว่าต้องการแทนที่ค่า ชุดไฟล์ตัวอักษรลงบนตำแหน่งเดิมหรือไม่ถ้ามีการกำหนดค่าเป็น FALSE จะมีการแทนที่ค่าลงบนชุดไฟล์ตัวอักษร ถ้ากำหนดค่าเป็น TRUE เป็นการเพิ่มชุดตัวอักษรที่ผ่านการสอนลงไปในชุดไฟล์ตัวอักษร
- Read Option ระบุสิ่งที่ต้องการอ่านจาก File Path ที่กำหนด มีทั้งหมด 3 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 2 ดังนี้
 - 0 อ่านทั้งคู่ทั้งข้อมูลของชุดไฟล์ตัวอักษรและคุณสมบัติของชุดไฟล์ตัวอักษร
 - 1 อ่านเฉพาะชุดไฟล์ตัวอักษรจากไฟล์
 - 2 อ่านเฉพาะคุณสมบัติของชุดไฟล์ตัวอักษรจากไฟล์
- IMAQ OCR Session (dup) แสดงข้อมูลอ้างอิงของชุดคำสั่ง OCR สำหรับส่งค่าไปให้ LabVIEW ใช้ประมวลผล
- Character Set Description อธิบายผลการประมวลผลของชุดคำสั่งตัวอักษร

8. IMAQ OCR Read Text 3 ฟังก์ชันสำหรับอ่านตัวอักษรจากภาพ โดยการใช้การอ้างอิงรูปแบบตัวอักษรจากชุดตัวอักษรที่ผ่านการสอนแล้ว โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ฟังก์ชัน IMAQ OCR Read Text 3

จากรูปที่ 3.33 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- ROI Descriptor กำหนดชุดข้อมูลแบบ Cluster เพื่อระบุบริเวณที่ต้องการให้โปรแกรมประมวลผลค้นหาตัวอักษรในรูปภาพ

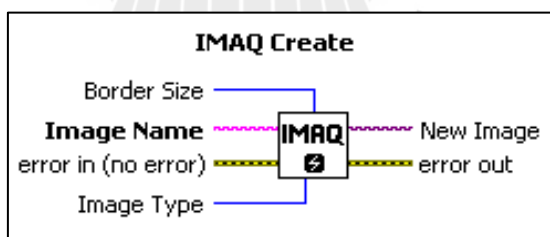
- IMAQ OCR Session รับค่าข้อมูลอ้างอิงของชุดคำสั่ง OCR
- Image รูปภาพที่ต้องการค้นหาตัวอักษร
- Orientation เป็นการระบุลักษณะการหมุนของรูปภาพที่เข้ามาประมวลผล
- Character Reports แสดงผลข้อมูลชุดตัวอักษรที่ได้จากการประมวลผล
- IMAQ OCR Session (dup) แสดงข้อมูลอ้างอิงของชุดคำสั่ง OCR สำหรับส่งค่าไปให้ LabVIEW ใช้ประมวลผล

- Image (dup) คือภาพปลายทางระบบส่งข้อมูลออกเป็นรูปภาพสำหรับการใช้งานในโปรแกรม LabVIEW

- Read String แสดงผลตัวอักษรในรูปแบบของสตริง ที่อ่านได้จากการประมวลผลด้วยกระบวนการ OCR

- ROI Bounding Characters ชุด Array ของตำแหน่งหรือ Coordinate ของตัวอักษรที่พบในรูปภาพ ใช้สำหรับส่งต่อไปเพื่อการ Overlay แสดงผลบนหน้าจอ

9. IMAQ Create เป็นฟังก์ชันสำหรับการจองพื้นที่หน่วยความจำชั่วคราวสำหรับเก็บภาพในโปรแกรม LabVIEW โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ฟังก์ชัน IMAQ Create

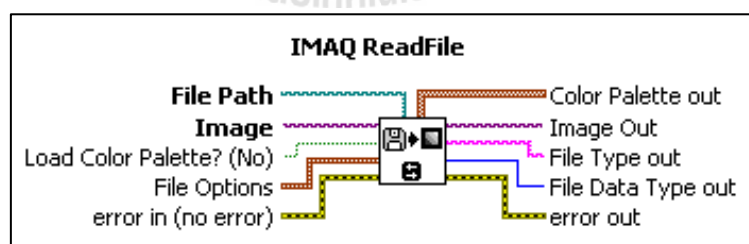
จากรูปที่ 3.34 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Border size กำหนดขนาดความกว้างของขอบรูปภาพในหน่วยพิกเซลแต่นำมาวิเคราะห์เฉพาะเมื่อมีการประมวลผล ไม่แสดงผลหรือเก็บข้อมูล

- Image Name กำหนดชื่อให้กับตำแหน่งที่จะทำการจองเพื่อรับภาพและในแต่ละภาพจะต้องมีชื่อไม่ซ้ำกัน หากตั้งชื่อซ้ำกันโปรแกรมจะอ่านข้อมูลสุดท้ายของภาพที่โปรแกรมทำงานแล้วส่งไปแทนที่ยังภาพที่ได้ตั้งชื่อซ้ำกันไว้
- Image Type ระบุประเภทของรูปภาพ มีทั้งหมด 7 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 6 ดังนี้

- 0 ระดับสีเทา(Grayscale) ขนาด 8 บิตต่อพิกเซล
- 1 ระดับสีเทา(Grayscale) ขนาด 16 บิตต่อพิกเซล
- 2 ระดับสีเทา(Grayscale) ขนาด 32 บิตต่อพิกเซล
- 3 Complex ขนาด 2x32 บิตต่อพิกเซล
- 4 RGB (ระดับสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน) ขนาด 32 บิตต่อพิกเซล
- 5 HSL (ระดับสี ความเข้ม และความสว่างของสี) 32 บิตต่อพิกเซล
- 6 RGB (ระดับสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน) ขนาด 64 บิตต่อพิกเซล

10. IMAQ ReadFile เป็นฟังก์ชันสำหรับการอ่านไฟล์รูปภาพ รูปแบบไฟล์อาจจะเป็นรูปแบบมาตรฐาน (BMP, TIFF, JPEG, JPEG2000, PNG, และ AIPD) หรือรูปแบบไฟล์ที่ไม่เป็นมาตรฐาน โดยไฟล์รูปภาพทุกประเภทเมื่อถูกอ่านเข้ามาแล้วโปรแกรมจะแปลงค่าในแต่ละพิกเซลเป็นข้อมูลรูปภาพสำหรับการประมวลผลโดยโปรแกรม LabVIEW อัตโนมัติ การตรวจสอบนี้จะต้องมีการอ่านไฟล์ที่ถ่ายภาพต้นแบบไว้เข้ามาในโปรแกรมเพื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ต้องการทดสอบ โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.35

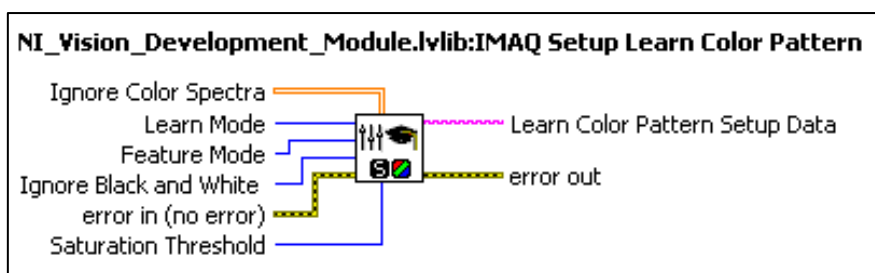


รูปที่ 3.35 ฟังก์ชัน IMAQ ReadFile

จากรูปที่ 3.35 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- File Path กำหนดที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการอ่าน เพื่อให้ระบบรู้ว่าจะอ้างอิงไฟล์ในไดเรกทอรี (Directory) ไດ อยู่ที่ไหนในระบบและไฟล์ชื่ออะไร
- Image คือภาพที่แสดงเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับไฟล์ภาพที่ถูกอ่านเข้ามา
- Load Color Palette จะกำหนดให้อ่านสีที่ปรากฏในไฟล์ภาพที่อ่านเข้ามาแล้วจะส่งค่ากลับออกมาเป็นงานสีทางขาออก โดยจะกำหนดค่าการอ่านเป็นจริงหรือเท็จถ้ากำหนดเป็นจริง โปรแกรมจะทำการอ่านค่าสีนั้นออกมา แต่ถ้ากำหนดเป็นเท็จโปรแกรมก็จะไม่แสดงผลออกมา ซึ่งปกติจะมีค่าเริ่มต้นเท็จ
- File Options เป็นตัวเลือกกลุ่มของรูปภาพที่รูปแบบไฟล์ที่ไม่ใช่ไฟล์รูปภาพมาตรฐาน
- Color Palette out เป็นงานสีรับค่าการอ่านสีที่ปรากฏในไฟล์ภาพที่อ่านเข้ามาแล้วส่งค่ากลับออกมา ถ้ามีการสั่งให้อ่านค่าสีนั้น แต่ถ้าไม่มีการสั่งก็จะไม่แสดงข้อมูลออกมาโดยแสดงสีออกมาเป็นระดับของสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน
- Image Out คือภาพปลายทางระบบส่งค่าการอ่านไฟล์เข้ามาออกเป็นรูปภาพสำหรับการใช้งานในโปรแกรม LabVIEW
- File Type out เป็นการแจ้งประเภทของไฟล์ที่ได้ทำการอ่าน เป็นข้อมูลชนิดตัวอักษร (String) อาจจะเป็นรูปแบบมาตรฐาน (BMP, TIFF, JPEG, JPEG2000, PNG, AIPD) หรือแสดงค่า xxx หากไม่ใช่รูปแบบมาตรฐาน

11. IMAQ Setup Learn Color Pattern เป็นฟังก์ชันการทำงานที่อยู่ในกลุ่มของ Pattern Matching เป็นการกำหนดตำแหน่งของพื้นที่ในภาพระดับสี ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับสีและรูปร่างเหมือนกับภาพต้นแบบหรือภาพอ้างอิง ซึ่งจะพิจารณาว่ามีส่วนใดบ้างในภาพค้นหาที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสีและรูปร่างคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลในภาพต้นแบบซึ่ง IMAQ Setup Learn Color Pattern นี้มีหน้าที่เป็นชุดฟังก์ชันสำหรับเก็บค่าพารามิเตอร์ก่อนที่จะส่งข้อมูลเข้าไปในฟังก์ชัน IMAQ Learn Color Pattern โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ฟังก์ชัน IMAQ Setup Learn Color Pattern

จากรูปที่ 3.36 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Ignore Color Spectra คือ Array ของ สเปกตรัมสี โดยเป็นชุดของสี ที่อยู่นอกเหนือจากสีบนภาพต้นแบบ

- Learn Mode กำหนดโหมดในการจะใช้งานรูปแบบในฟังก์ชัน IMAQ-Learn Color Pattern มีทั้งหมด 3 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 2 ดังนี้

- 0 All คือ กำหนดการใช้งานรูปแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในลักษณะการเลื่อนตำแหน่งแต่ไม่มีการหมุน และรูปแบบที่มีการหมุนไปจากแนวของภาพต้นแบบ

- 1 Shift Information กำหนดการใช้งานรูปแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะการเลื่อนตำแหน่งแต่ไม่มีการหมุนไปจากแนวของภาพต้นแบบ

- 2 Rotation Information กำหนดการใช้งานในการตรวจสอบรูปแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะรูปแบบที่มีการหมุนไปจากแนวของภาพต้นแบบ

- Feature Mode กำหนดลักษณะการดึงข้อมูลจากภาพต้นแบบ มีทั้งหมด 3 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 2 ดังนี้

- 0 Color and Shape คือ การดึงข้อมูลลักษณะเด่นทั้ง 2 ส่วน คือการเปลี่ยนแปลงสี และรูปร่างจากภาพต้นแบบ

- 1 Color คือ การดึงข้อมูลลักษณะเด่นเฉพาะในส่วนการเปลี่ยนแปลงสี

- 2 Shape คือ การดึงข้อมูลลักษณะเด่นเฉพาะในส่วนของรูปร่าง

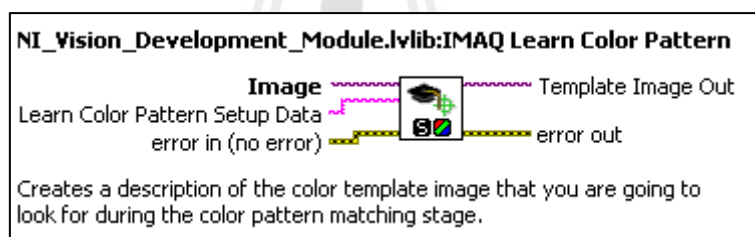
- Ignore Black and White คือ การยอมรับในการนำข้อมูลจากส่วนที่เป็นสีดำหรือสีขาวในภาพต้นแบบมาประมวลผลในกระบวนการเรียนรู้ภาพต้นแบบ มีทั้งหมด 4 ประเภท โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 3 ดังนี้

- 0 Disable คือ การไม่ยอมรับทั้งพิกเซลที่มีสีดำและสีขาว
- 1 Ignore Black คือ การยอมรับเฉพาะพิกเซลส่วนที่เป็นสีดำ
- 2 Ignore White คือ การยอมรับเฉพาะพิกเซลส่วนที่เป็นสีขาว
- 3 Ignore Black and White คือ การยอมรับเฉพาะพิกเซลส่วนที่เป็นสีดำและสีขาว
- Saturation Threshold คือ การกำหนดค่า Threshold ในกรณีที่มี 2 สีที่มีค่า Hue

เท่ากัน

- Learn Color Pattern Setup Data แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จาก Learn Mode ในรูปแบบข้อมูลตัวอักษร เพื่อส่งค่าออกไปยัง IMAQ Learn Color Pattern

12. IMAQ Learn Color Pattern เป็นฟังก์ชันการทำงานในกลุ่ม Pattern Matching เพื่อสร้างรายละเอียดของภาพต้นแบบที่เราต้องการค้นหาในระหว่างการจับคู่ และใช้เป็นภาพต้นแบบในการตรวจสอบ โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.32

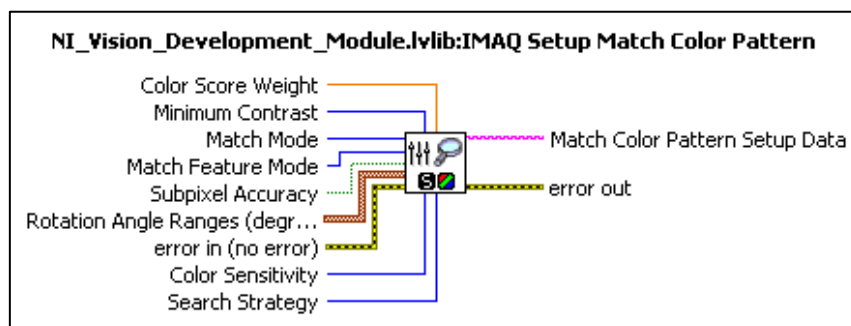


รูปที่ 3.37 ฟังก์ชัน IMAQ Learn Color Pattern

จากรูปที่ 3.37 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Image ใช้สำหรับกำหนดภาพอ้างอิงหรือภาพต้นแบบที่ต้องการค้นหาในกระบวนการตรวจสอบด้วยภาพ
- Learn Color Pattern Setup Data ใช้รับค่าพารามิเตอร์ที่ส่งมาจาก IMAQ Setup Learn Color Pattern ในรูปแบบข้อมูลตัวอักษร
- Template Image Out จะทำหน้าที่ส่งภาพต้นแบบที่มีการกำหนดรูปแบบสำหรับการจับคู่แล้ว

13. IMAQ Setup Match Color Pattern เป็นฟังก์ชันการทำงานที่อยู่ในกลุ่มของ Pattern Matching เพื่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้ในระหว่างขั้นตอนการจับคู่ ก่อนที่จะดำเนินการขั้นตอนจับคู่โดยฟังก์ชัน IMAQ Match Color Pattern ซึ่งมีสัญลักษณ์และการกำหนดค่าให้กับฟังก์ชันดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.38 ฟังก์ชัน IMAQ Setup Match Pattern 2

จากรูปที่ 3.38 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Color Score Weight คือ การกำหนดสัดส่วนความสำคัญระหว่างสีและรูปร่างโดยค่าที่กำหนดจะอยู่ในช่วง 0 – 1,000
- Minimum Contrast คือ การกำหนดค่าความแตกต่างความคมชัดต่ำสุดระหว่างค่าพิกเซลที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดในการตรวจสอบด้วยภาพ ถ้าไม่กำหนดให้จะมีค่าเริ่มต้นคือ 0
- Match Mode คือ การระบุโหมดที่จะใช้ในการตรวจสอบด้วยภาพมีทั้งหมด 2 โหมด โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 1 ดังนี้
 - 0 Shift Invariant คือ การค้นหาภาพต้นแบบที่มีการหมุนไปจากแนวขอบของภาพต้นแบบไม่เกิน ± 4 องศา
 - 1 Rotation Invariant คือ การค้นหาภาพต้นแบบโดยไม่คำนึงถึงการหมุนของภาพต้นแบบ
- Match Feature Mode คือ การกำหนดโหมดการค้นหาที่จะใช้ในการเทียบกับภาพต้นแบบ มีทั้งหมด 3 โหมด โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 2 ดังนี้
 - 0 Color and Shape คือ การค้นหาภาพต้นแบบโดยใช้ข้อมูลจากสีและรูปร่าง
 - 1 Color คือ การค้นหาภาพต้นแบบโดยใช้ข้อมูลของสี

2 Shape คือ การค้นหาภาพต้นแบบโดยใช้ข้อมูลของรูปร่าง

- Subpixel Accuracy คือ การกำหนดรูปแบบความถูกต้องการค้นหาในระดับพิกเซล
- Rotation Angle Ranges (degrees) คือการระบุช่วงการหมุนของภาพต้นแบบ เป็นข้อมูลแบบ Array โดยจะระบุก่อนการตรวจสอบ เพื่อกำหนดมุมต่ำสุดและสูงที่สุดที่ยอมให้ภาพที่ตรวจพบมีมุมการหมุนไปจากแนวขอบของภาพต้นแบบได้ในการจับคู่ภาพ

- Color Sensitivity คือ การระบุความ Sensitive ของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลส่วนของสี ค่าเริ่มต้นจะเป็น Low ถ้าเปลี่ยนเป็น High จะเพิ่มความละเอียดการรับรู้ในส่วน of Hue

- Search Strategy คือ การกำหนดวิธีการในการค้นหาจากภาพต้นแบบทั้งหมด 4 โหมด โดยการกำหนดค่าเป็นตัวเลข 0 – 3 ดังนี้

0 Conservative ใช้ step size เล็กที่สุด ใช้ข้อมูลในการ sampling มากที่สุดเป็นวิธีที่มีความถูกต้องในการเปรียบเทียบสีมากที่สุด แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด

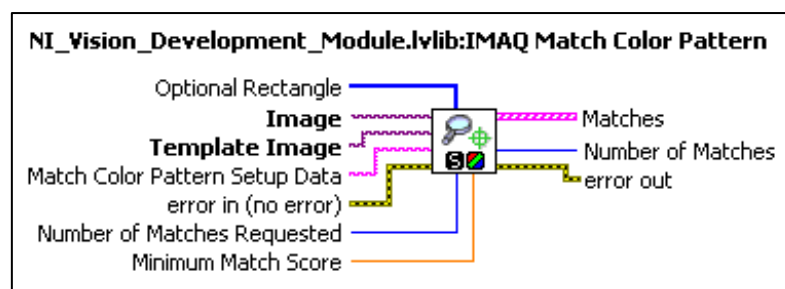
1 Balance คือ วิธี Aggressive ผสมกันกับ Very Aggressive

2 Aggressive ใช้ step size ใหญ่ขึ้น ใช้ข้อมูลในการ sampling น้อยลง

3 Very Aggressive ใช้ step size ใหญ่ที่สุด และใช้ข้อมูลในการ sampling น้อยที่สุด ใช้ข้อมูลสีที่เรียนรู้จากภาพต้นแบบเฉพาะบางส่วนที่มีความสำคัญ เป็นวิธีที่ประมวลผลได้เร็วที่สุด

- Match Pattern Setup Data เป็นการส่งค่าในลักษณะข้อมูลเป็นสตริงออกไปให้กับ IMAQ Match Color Pattern เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนการจับคู่

14. IMAQ Match Color Pattern เป็นฟังก์ชันการทำงานในกลุ่ม Pattern Matching เพื่อค้นหาภาพต้นแบบในภาพที่ต้องการตรวจสอบว่ามีภาพต้นแบบอยู่ในภาพนั้นหรือไม่ และแสดงค่าที่ประมวลผลออกมาว่าภาพที่ค้นหาเจอนั้นมีมุมการหมุนไปจากแนวขอบของภาพต้นแบบเท่าใด ตำแหน่งที่พบ และความสมบูรณ์ของภาพที่พบมีมากน้อยเท่าใด โดยมีสัญลักษณ์ของฟังก์ชันและการกำหนดค่าดังรูปที่ 3.39



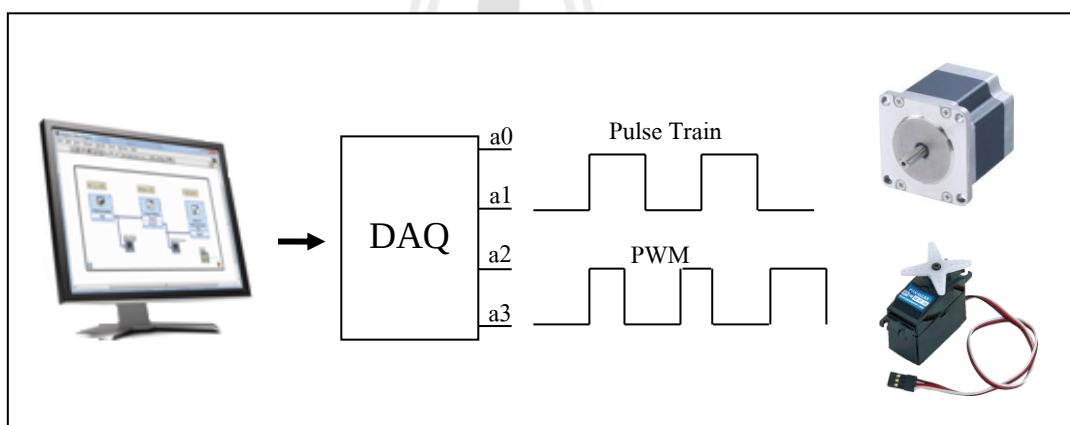
รูปที่ 3.39 ฟังก์ชัน IMAQ Match Color Pattern

จากรูปที่ 3.39 ฟังก์ชันนี้สามารถกำหนดข้อมูลในการทำงานของฟังก์ชันและประมวลผลส่งค่าออกมาได้ดังนี้

- Optional Rectangle เป็นการกำหนดกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อเป็นพิกัดของพื้นที่ที่ใช้ในการประมวลผล โดยระบุค่า 4 ค่าคือ ระยะขอบซ้าย ขอบบน ขอบขวาและขอบล่างหากไม่ระบุ จะทำการประมวลทั้งภาพ
- Image คือ ภาพที่ต้องการตรวจสอบเพื่อการจับคู่ภาพต้นแบบ
- Template Image คือ ภาพต้นแบบที่จะใช้ในการจับคู่โดยรับมาจาก IMAQ Learn Pattern 2
- Match Pattern Setup Data เป็นการตั้งค่าข้อมูลชนิดสตริงที่ได้รับมาจาก ฟังก์ชัน IMAQ Setup Match Color Pattern เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนการจับคู่
- Number of Matches Requested คือ จำนวนที่คาดหวังว่าจะพบภาพต้นแบบที่ถูกต้องในการจับคู่
- Minimum Match Score คือ การกำหนดค่าที่สุดที่การจับคู่จะสามารถพิจารณาความถูกต้องของภาพได้ โดยกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1000
- Matches คือ ข้อมูลอาร์เรย์ที่ส่งค่าการประมวลผลออกมาได้แก่ ตำแหน่งของภาพที่จับคู่กับภาพต้นแบบได้ มุมการหมุนไปจากแนวขอบของภาพต้นแบบ ขนาดของภาพที่เปลี่ยนแปลงไปจากภาพต้นแบบโดยคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละของภาพต้นแบบ และระดับความถูกต้องของภาพระดับ 0 ถึง 1000 โดยที่ 0 เท่ากับไม่ตรงกับภาพต้นแบบเลย และ 1000 คือการจับคู่ภาพที่ถูกต้องสมบูรณ์

3.7 การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

สำหรับการควบคุมการทำงานของเครื่องตรวจสอบด้วยภาพจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการจับภาพเพื่อการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถขนส่งอัตโนมัติ โดยคำสั่งการทำงานทั้งหมด จะมาจากการประมวลผลด้วยภาพและใช้การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ติดตั้งไว้ บนตัวรถ หลังจากนั้นคำสั่งจากคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณออกมาเพื่อใช้ควบคุม ชุด Stepper Motor และ RC Servo Motor เพื่อการบังคับเลี้ยว ซึ่งในขณะที่รถเคลื่อนที่เป็นการทำงานแบบ อัตโนมัติทั้งหมดและไม่สามารถสื่อสารกับผู้ใช้ผ่านทางหน้าจอได้ ซึ่งการรับส่งสัญญาณระหว่าง คอมพิวเตอร์กับชุดอุปกรณ์ Data Acquisition Board NI-DAQ 9263 ของบริษัท National Instruments ซึ่งมีช่องสัญญาณ Output ชนิดสัญญาณอนาล็อก 4 ช่อง การต่อใช้งาน DAQ ร่วมกับ Stepper Motor และ Servo Motor ดังแสดงในรูปที่ 3.40 ส่วนการตั้งค่า Parameter ต่าง ๆ สำหรับการสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมอุปกรณ์แสดงในรูป 3.41 และ การตั้งค่าในส่วนของ DAQ Assistant แสดงในรูป 3.42



รูปที่ 3.40 การต่อใช้งาน DAQ ร่วมกับ Stepper Motor และ Servo Motor

การควบคุม Servo Motor มีดังต่อไปนี้

การตั้งค่าในส่วนของ DAQ Assistant

Chanel	a3
Max voltage	10 volt
Min voltage	0 volt
Generation Mode	Continuous Samples

การตั้งค่าในส่วนของ Block Simulate Signal

Signal Type	Square
Frequency	50
Phase	0
Amplitude	2.5
Offset	2.5
%Duty cycle	50 (ใช้การควบคุมจากภายนอก)
Sampling per second (Hz)	20,000

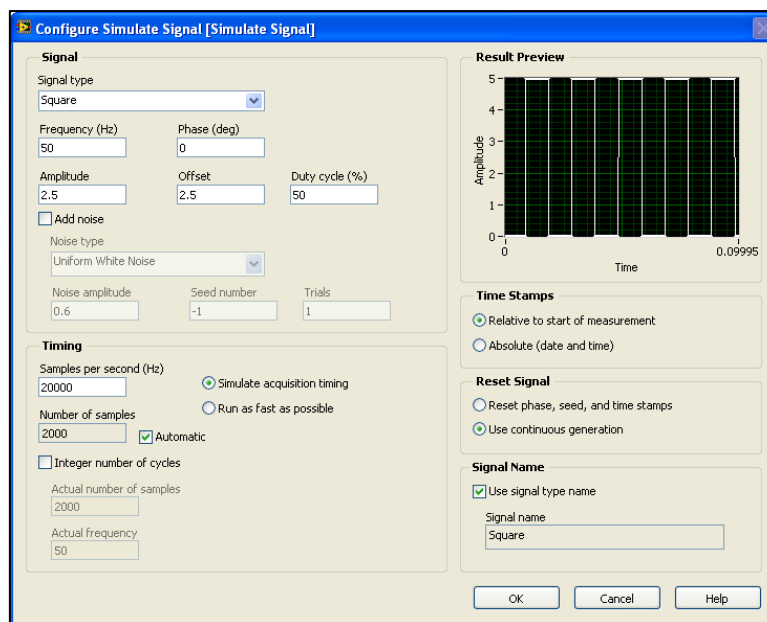
การควบคุม Stepper Motor มีดังต่อไปนี้

การตั้งค่าในส่วนของ DAQ Assistant

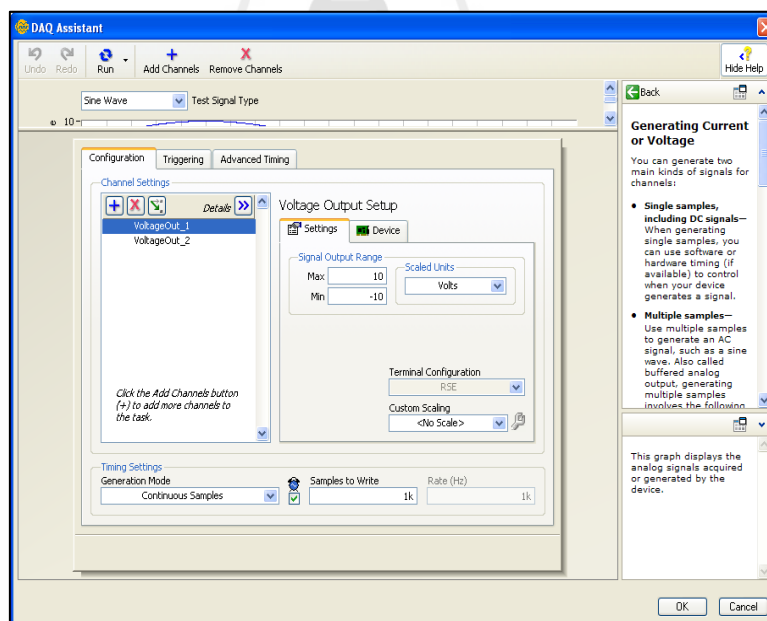
Chanel	a0
Max voltage	10 volt
Min voltage	0 volt
Generation Mode	Continuous Samples

การตั้งค่าในส่วนของ Block Simulate Signal

Signal Type	Square
Frequency	50 (ใช้การควบคุมจากภายนอก)
Phase	0
Amplitude	-2.5
Offset	-2.5
%Duty cycle	50
Sampling per second (Hz)	20,000



รูปที่ 3.41 การตั้งค่า Parameter ต่าง ๆ สำหรับการสร้างสัญญาณ



รูปที่ 3.42 การตั้งค่าในส่วนของ DAQ Assistant

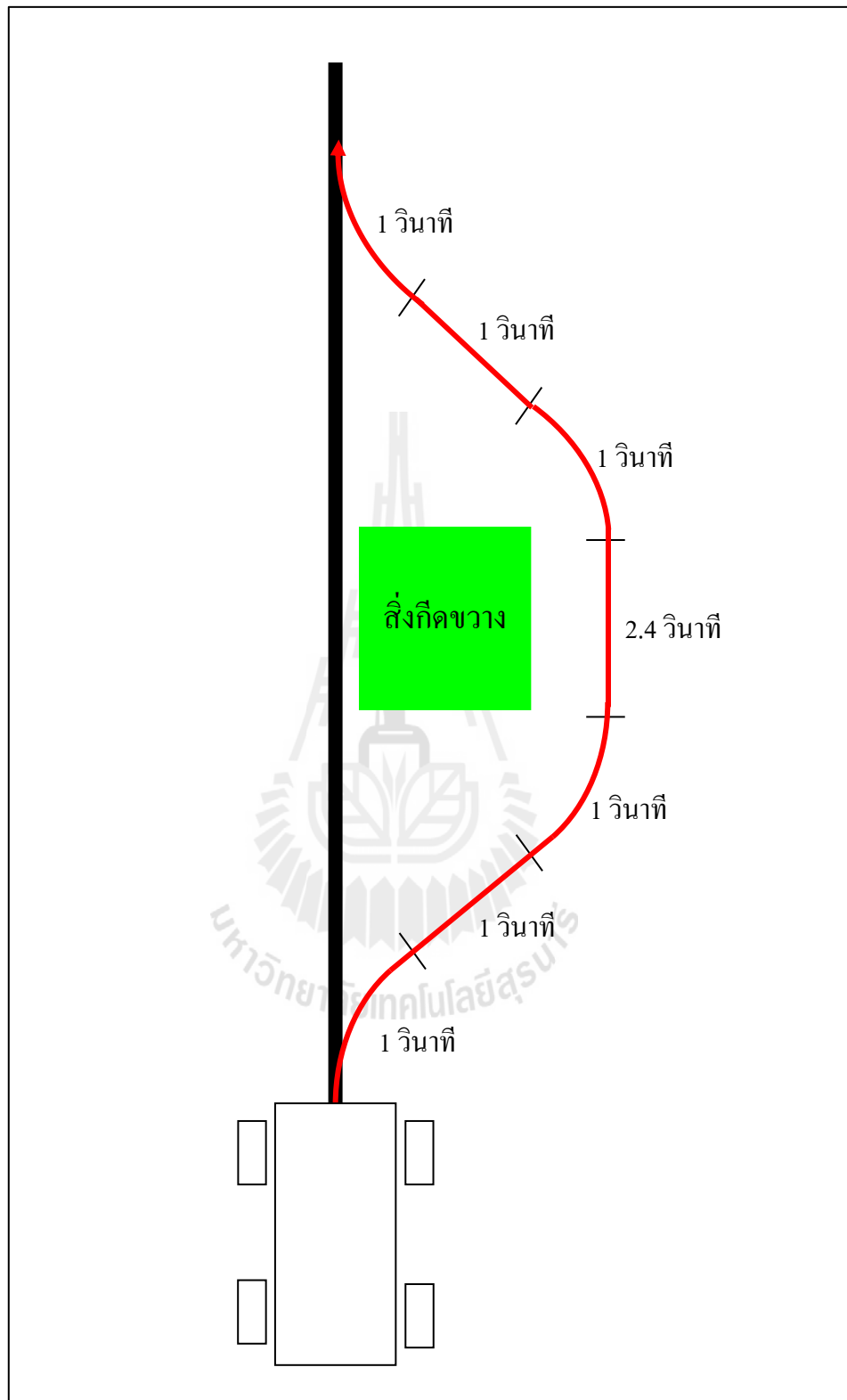
3.7.1 การควบคุมการวิ่งตามเส้น

ในการทดลองได้เลือกใช้การบังคับเลี้ยวด้วยระบบ Servo Motor เพื่อให้สามารถบังคับมุมการเลี้ยวให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการ ซึ่งจำเป็นต้องมีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับการควบคุม Servo Motor ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีการนำตัวควบคุมแบบ PID มาประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมการบังคับเลี้ยวซึ่งเป้าหมายของการควบคุม คือการรักษาตำแหน่งของรถให้อยู่กึ่งกลางเส้นตลอดการเคลื่อนที่ สำหรับระบบ Feedback จะใช้ตำแหน่งของเส้นที่ได้จากการประมวลผลด้วยภาพ ซึ่งกล่าวไปแล้ว สำหรับตัวควบคุมแบบ PID ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มีการปรับตั้งค่า Gain ของตัวควบคุมโดยใช้การปรับจูนด้วยมือซึ่งค่า Gain ที่ใช้ในการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้

- K_p เท่ากับ 0.2
- K_i เท่ากับ 0.05
- K_d เท่ากับ 0.01

3.7.2 การควบคุมการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

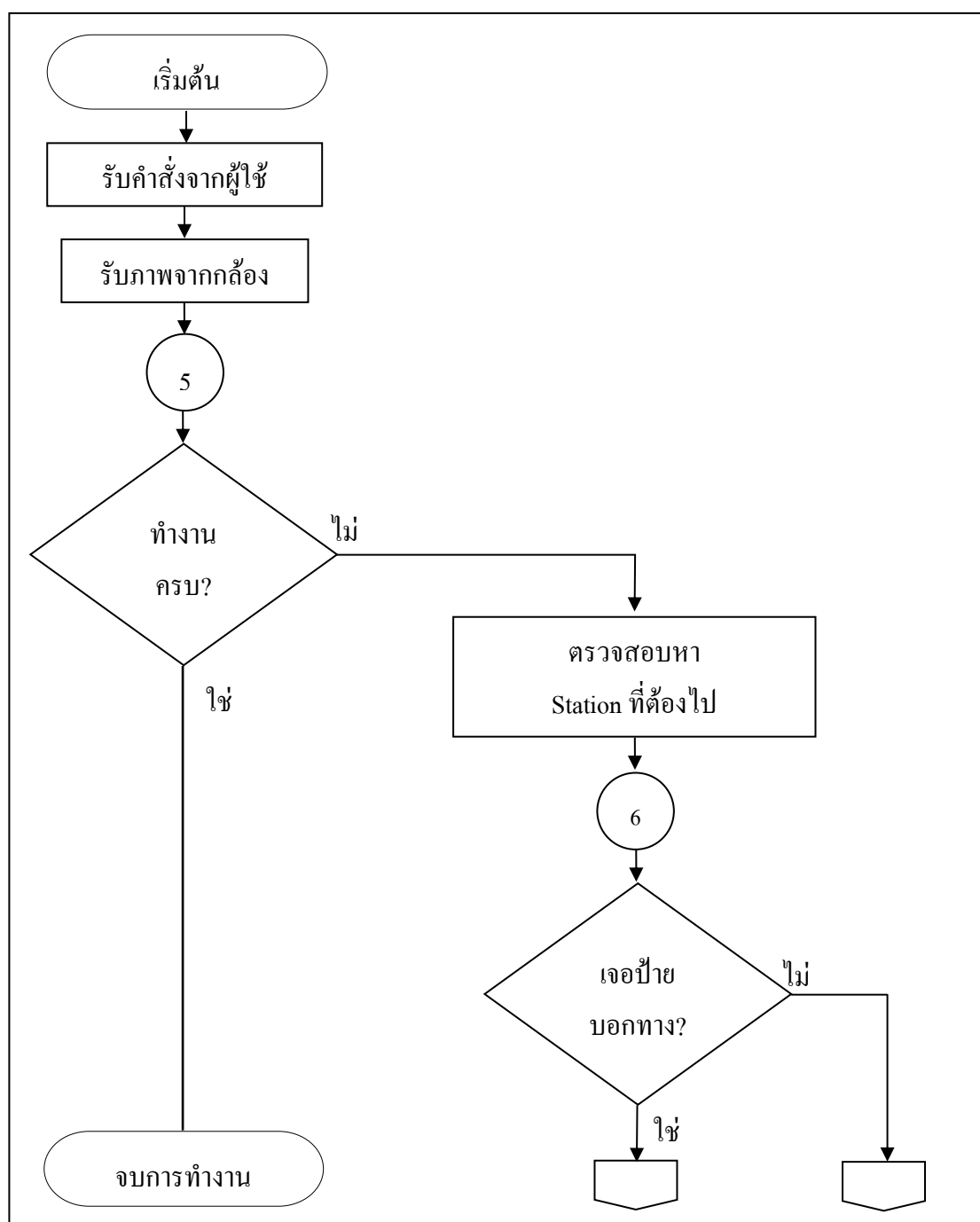
เนื่องจากในขณะที่ที่กำลังเคลื่อนที่ระยะที่กล้องจะเริ่มมองเห็นหรือตรวจพบสิ่งกีดขวางจะอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร และเมื่อรถเคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางที่ระยะประมาณ 40 เซนติเมตร ภาพของสิ่งกีดขวางจะเริ่มหลุดออกจากเฟรมของรูปถ่ายนั้นคือไม่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ และเมื่อรถยังคงเคลื่อนที่ต่อไปจะมีการดึงข้อมูลของระยะทางจากสิ่งกีดขวางล่าสุดก่อนภาพจะหายไปมาคำนวณร่วมกับความเร็วของรถ และในการทดลองนี้กระบวนการควบคุมในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง มีความจำเป็นต้องทำในขณะที่กล้องไม่สามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางเลย ผู้ทดลองจึงเลือกใช้วิธีการเลี้ยวและจับเวลาในขณะที่เลี้ยว ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ เป็นการหลบหลีกสิ่งกีดขวางไปทางด้านซ้าย ซึ่งวิธีการนี้ใช้ได้เฉพาะกับสิ่งกีดขวางที่ทราบขนาดของมิติที่แน่นอนแล้ว โดยแบ่งช่วงการเลี้ยวออกเป็น 7 ช่วง มีการช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการเลี้ยวแต่ละช่วงซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.43



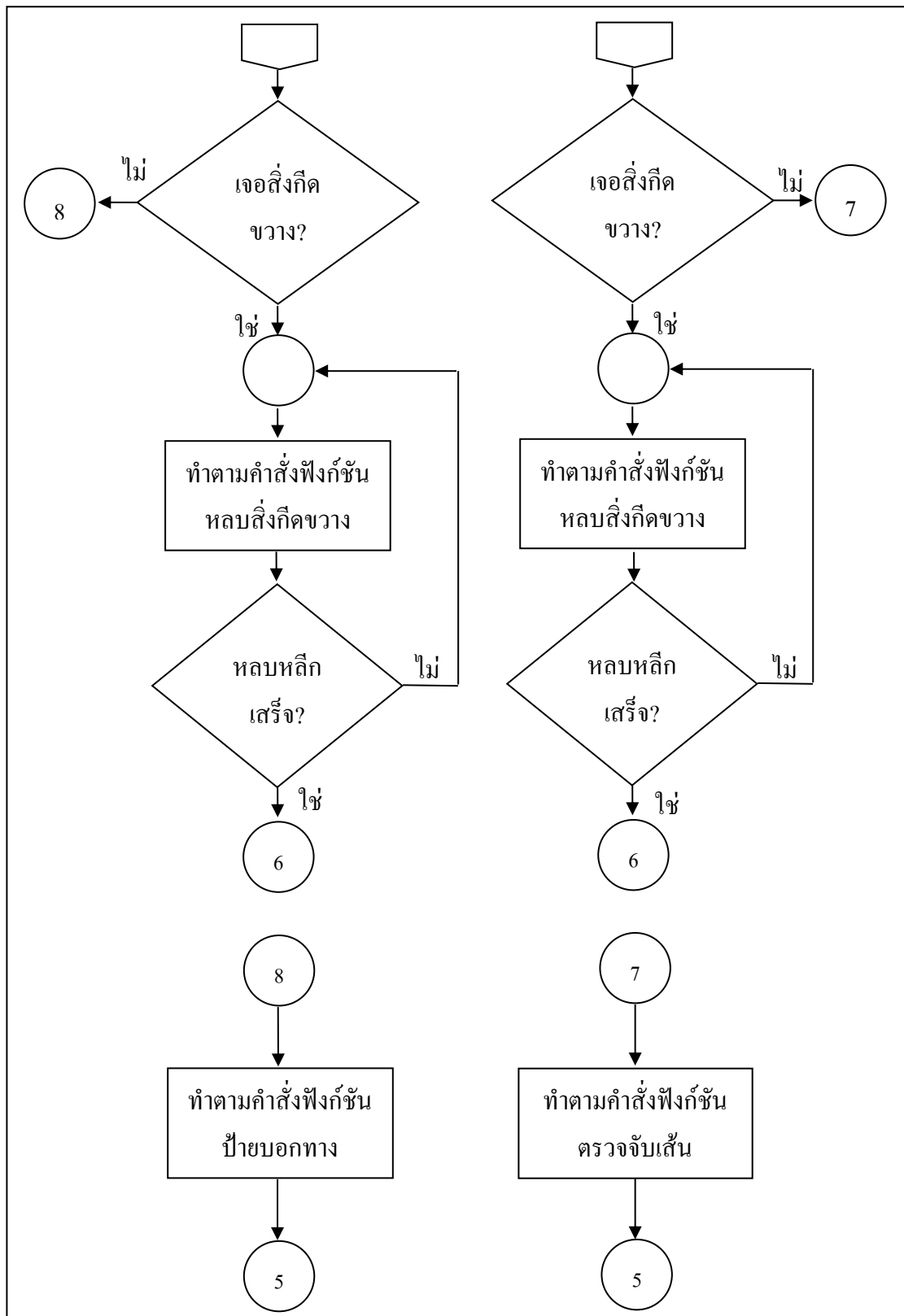
รูปที่ 3.43 ตัวอย่างการควบคุมหักหลบสิ่งกีดขวาง

3.8 การทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ

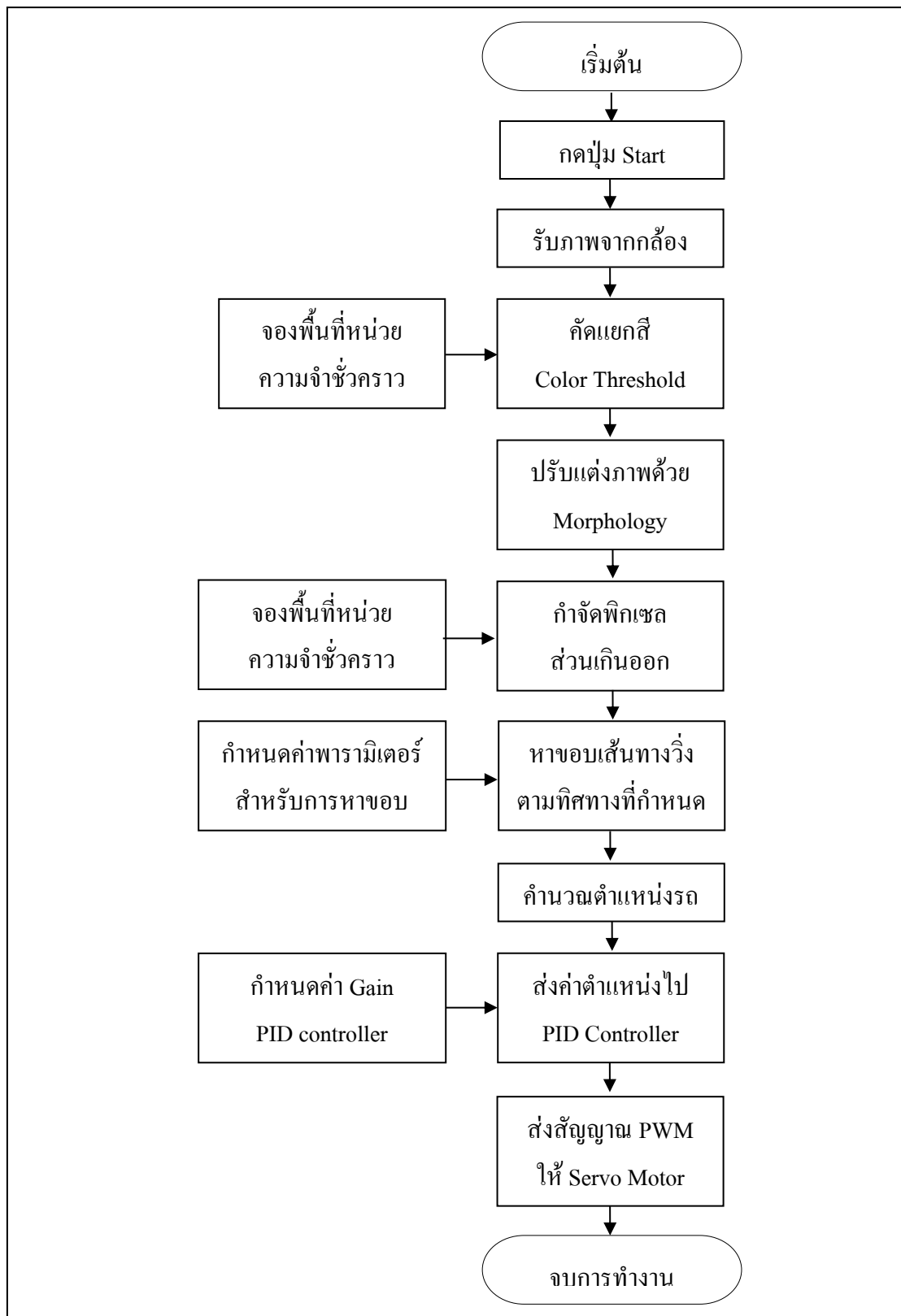
การทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพมีแผนผังการทำงาน ดังรูปที่ 3.44



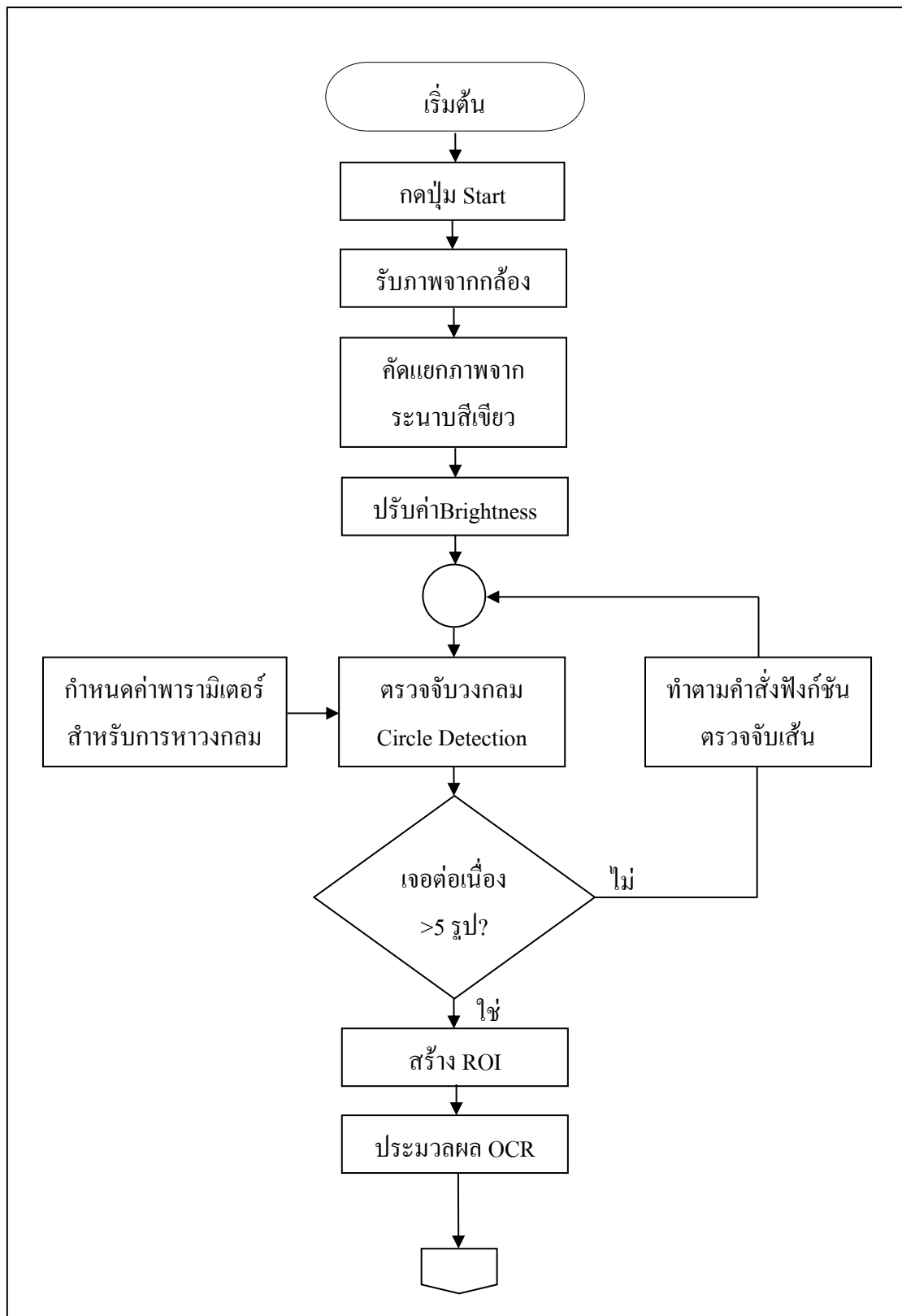
รูปที่ 3.44 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ



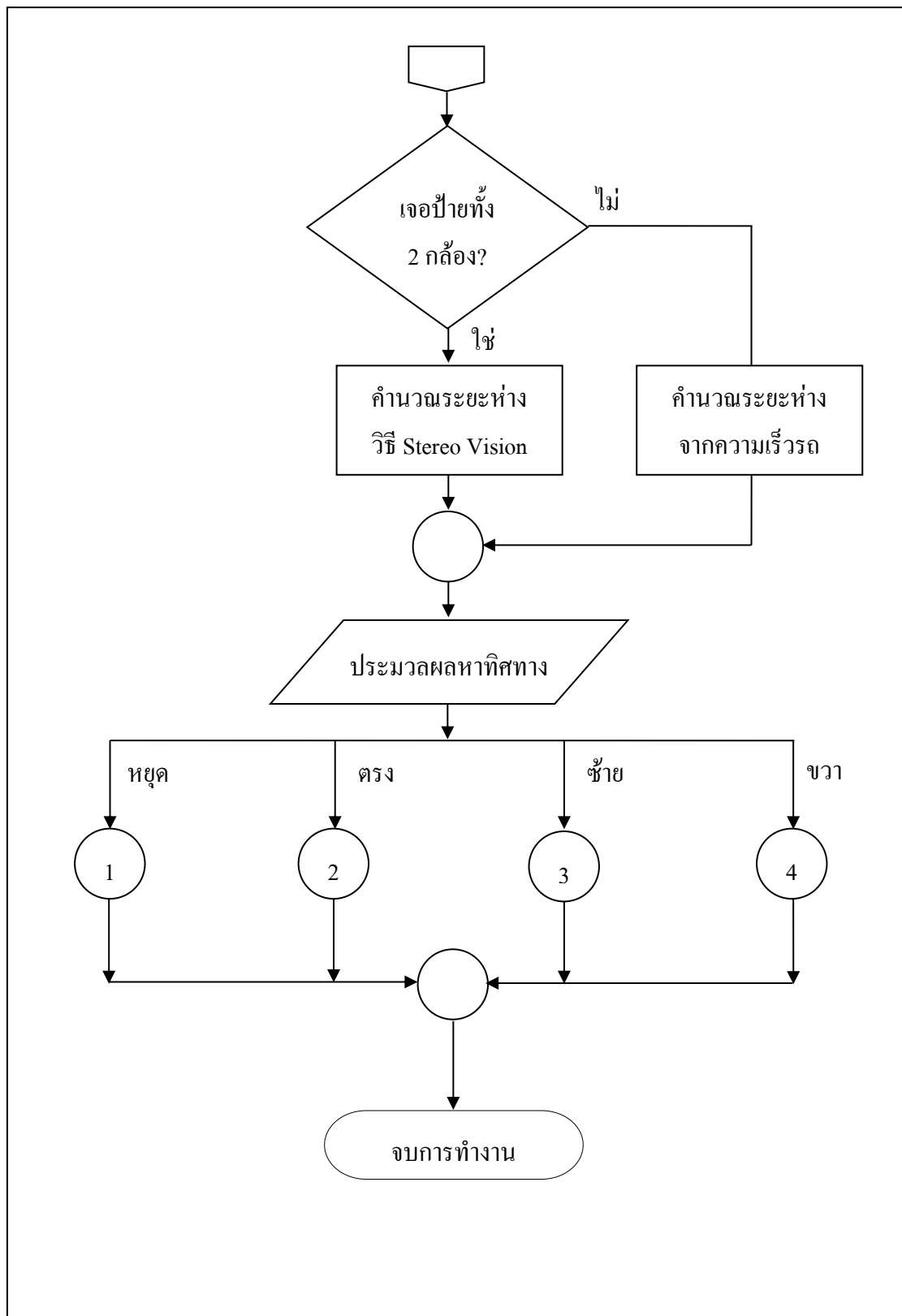
รูปที่ 3.45 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ (ต่อ)



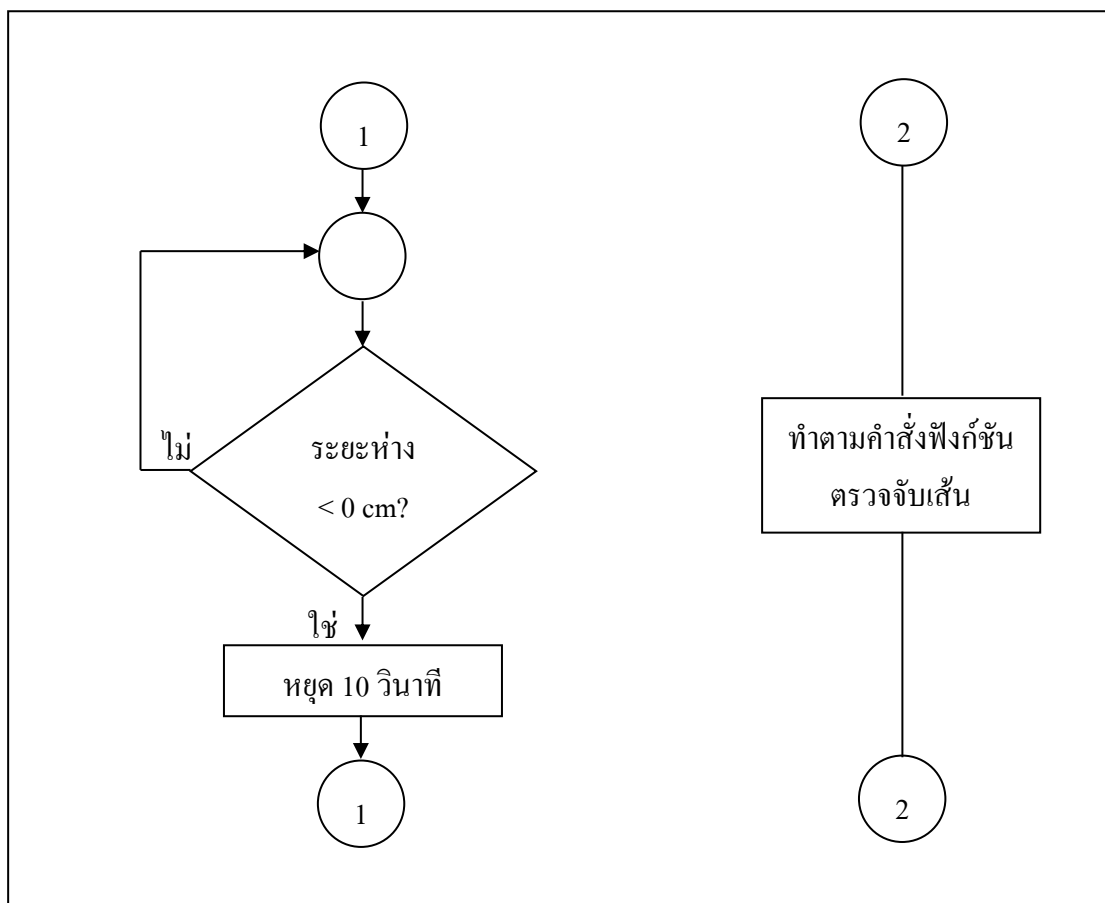
รูปที่ 3.46 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับเส้น



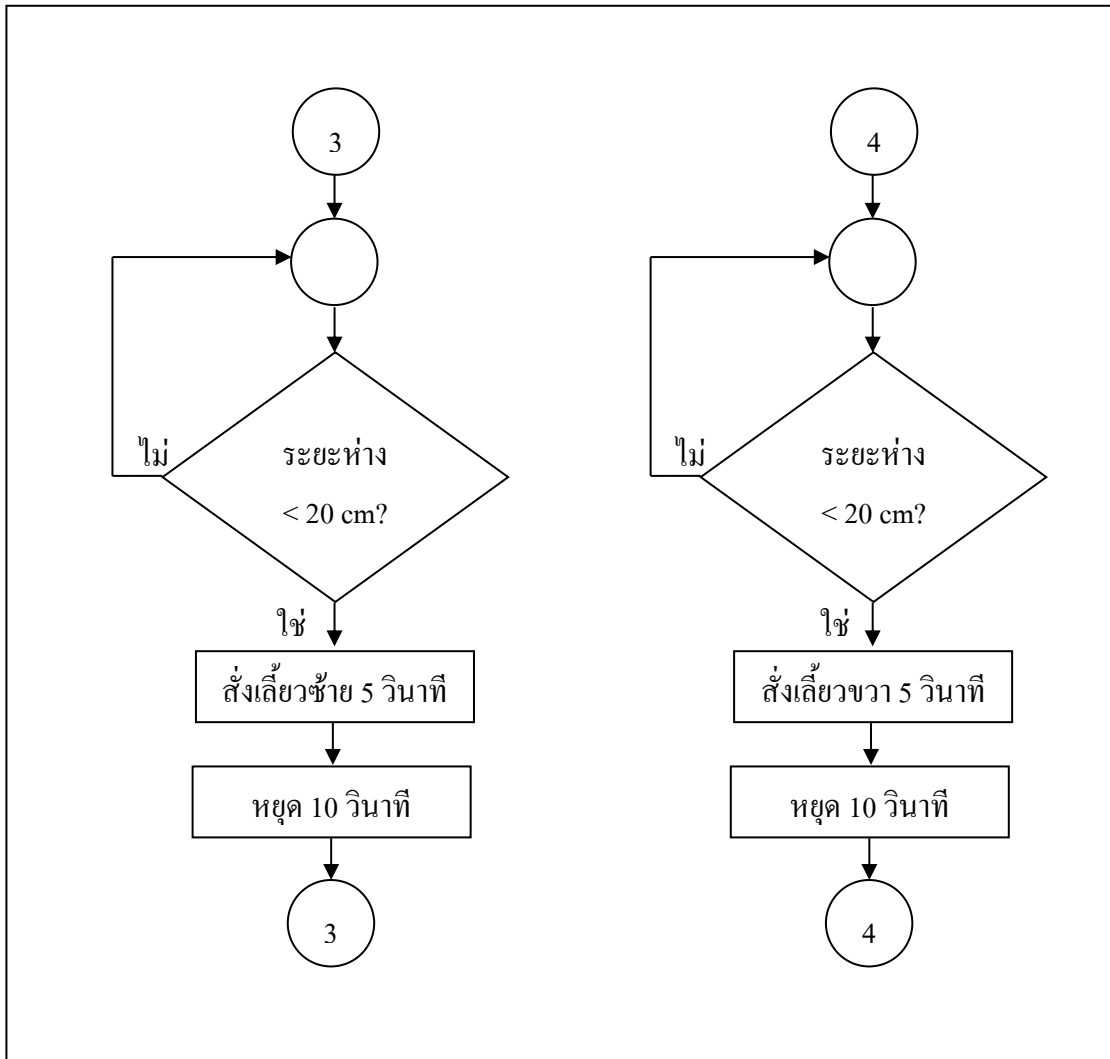
รูปที่ 3.47 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ)



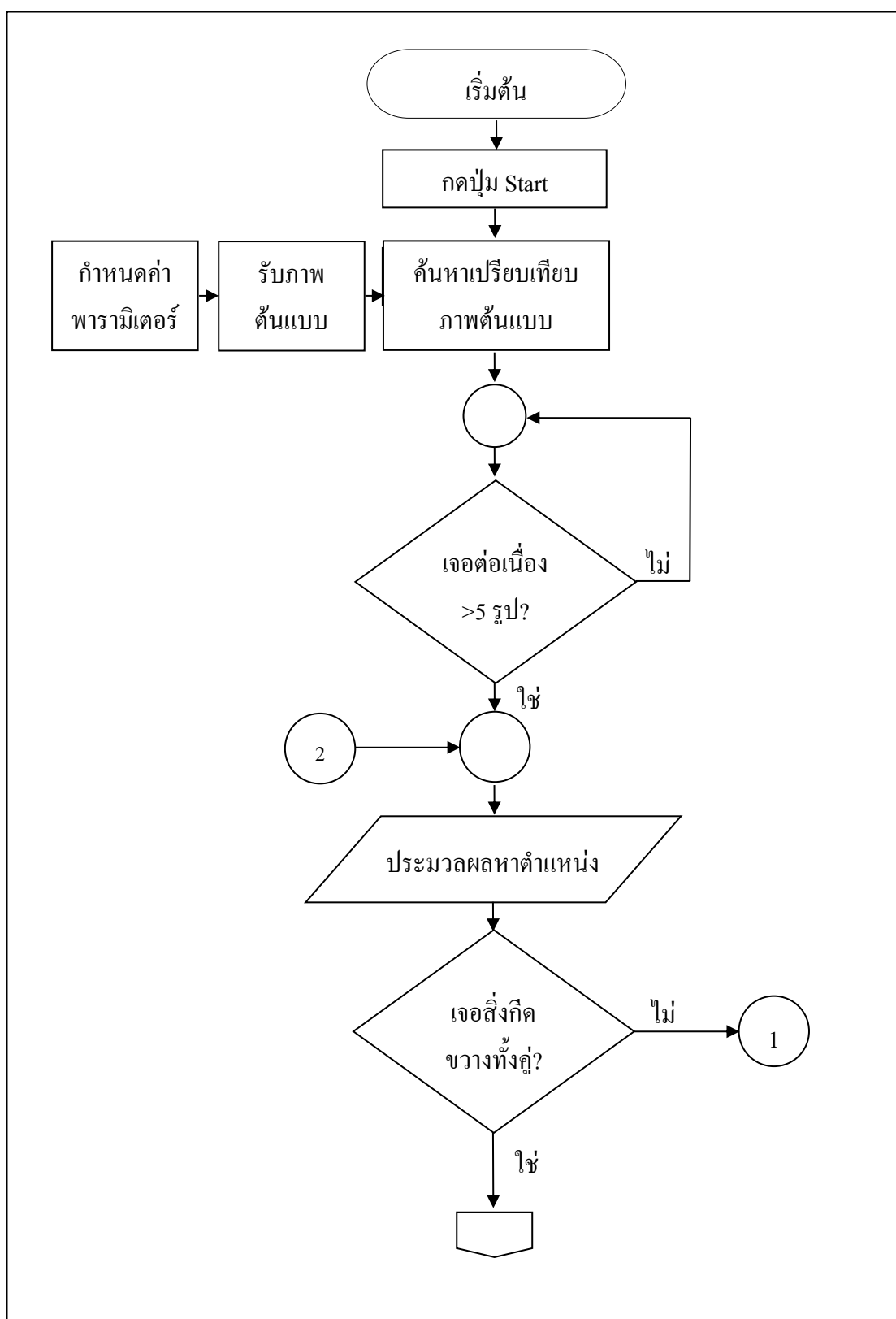
รูปที่ 3.48 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ)



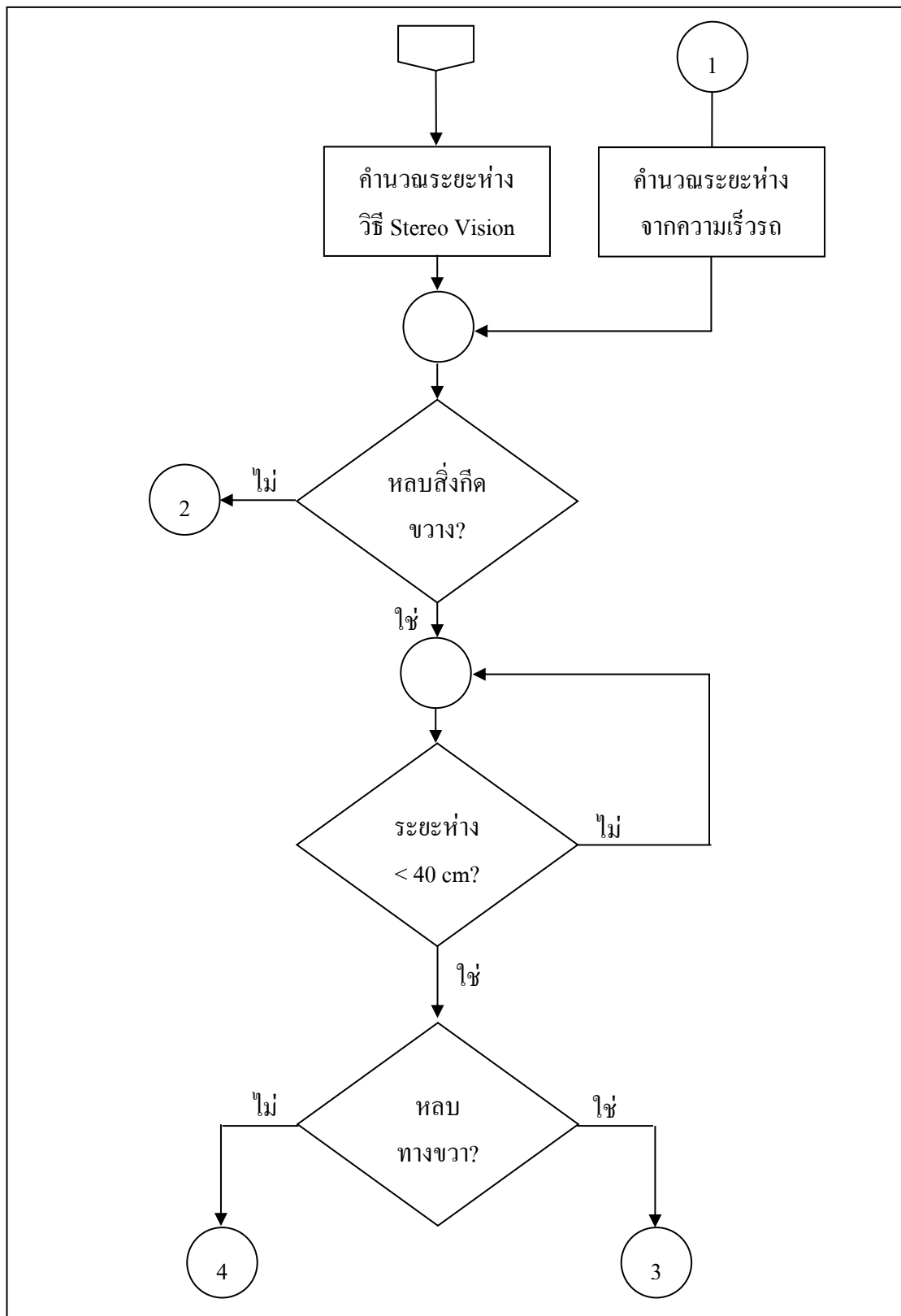
รูปที่ 3.49 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ)



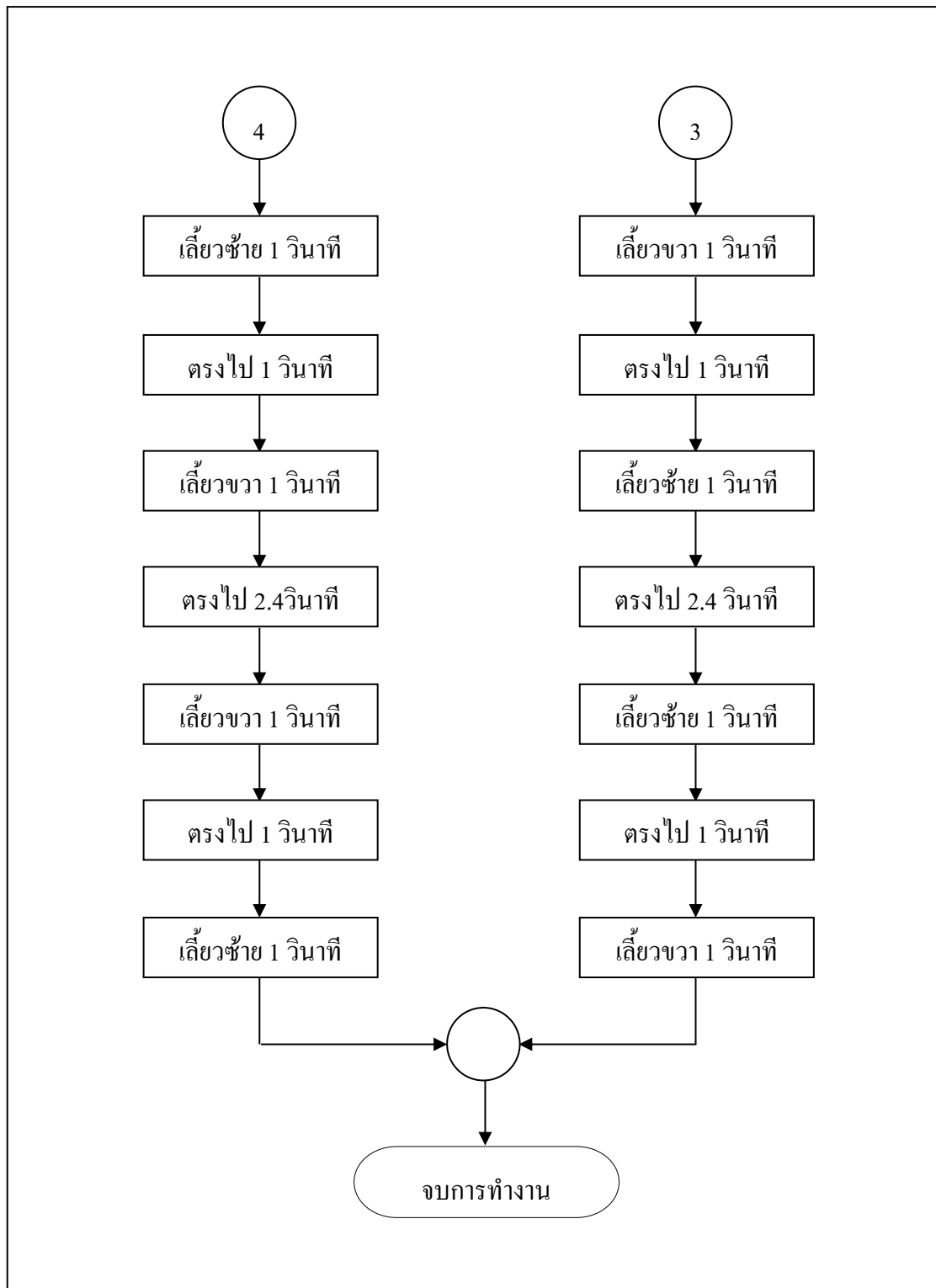
รูปที่ 3.50 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับแผ่นป้าย (ต่อ)



รูปที่ 3.51 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง



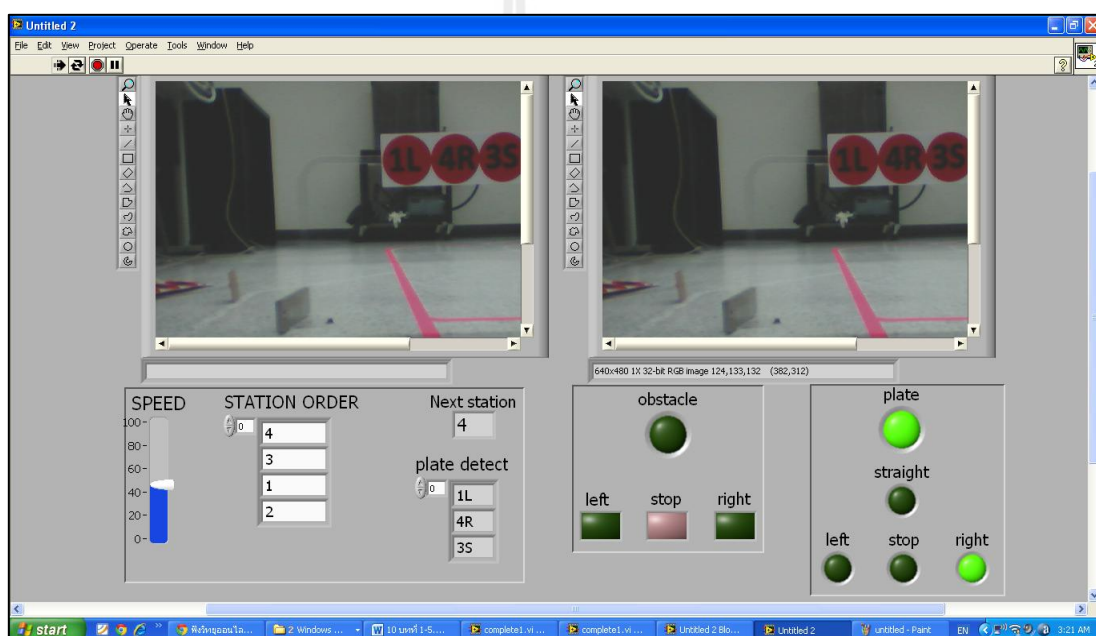
รูปที่ 3.52 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ)



รูปที่ 3.53 แผนผังการทำงานของโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ)

3.9 การรับค่าจากผู้ใช้

การควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการประมวลผลด้วยภาพ ก่อนเริ่มการทำงาน ในแต่ละครั้งผู้ควบคุมจะต้องมีการป้อนสถานีปลายทางที่ต้องการจะไป ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลสถานีที่คอมพิวเตอร์ได้รับจะถูกนำไปใช้ร่วมกับการประมวลผลในการอ่านและรับรู้ความหมายของแผ่นป้าย ซึ่งในตอนใช้งานจริงจะไม่มีแสดงผลออกทางหน้าจอ การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติทั้งหมด แต่ในขั้นตอนการทดลองจะมีการแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับแก้ไขโปรแกรม หน้าต่างโปรแกรมส่วนการรับค่าจากผู้ใช้และการแสดงผลดังในรูป 3.54



รูปที่ 3.54 หน้าต่างแสดงผลระหว่างการประมวลผล

บทที่ 4

ผลการทดลอง

สำหรับบทนี้จะนำเสนอผลการดำเนินงานสร้างและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติโดยการประมวลผลด้วย Computer Vision ดังรูปที่ 4.1 โดยกระบวนการวิจัยนี้ได้แบ่งการทำงานของโปรแกรมออกเป็น 5 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนการตรวจจับและควบคุมการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด
2. ส่วนการตรวจจับและระบุความหมายของป้ายบอกทิศทาง
3. ส่วนการตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง
4. ส่วนการประมวลผล Stereo Vision
5. การประมวลผลและควบคุมรวมทั้งระบบ

ดังนั้นจึงได้มีการทำการทดสอบระบบย่อยทั้งหมดให้สมบูรณ์ก่อนที่จะรวมทั้ง 4 ส่วนเข้าด้วยกันเพื่อการประมวลผล และรถขนส่งอัตโนมัติสามารถทำงานอัตโนมัติได้อย่างถูกต้องเต็มระบบต่อไป



รูปที่ 4.1 รถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบควบคุมด้วย Computer Vision

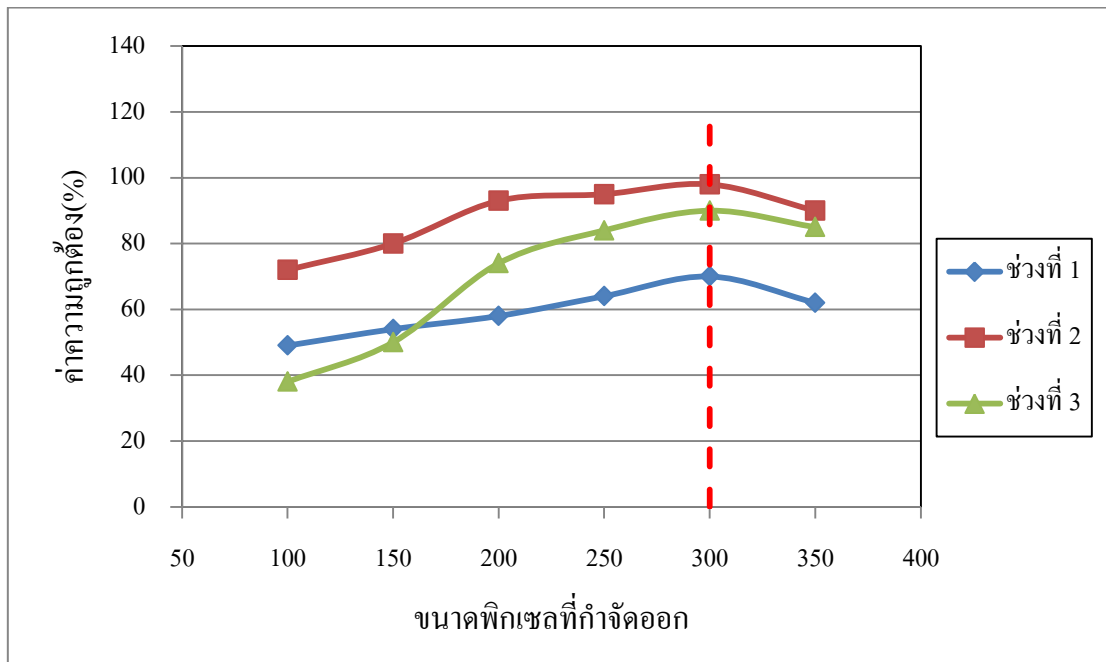
4.1 ผลการทดลองระบบตรวจจับเส้น

การทดลอง 4.1.1

เปรียบเทียบค่า % ความถูกต้องในการคัดแยกสีเส้นด้วยกระบวนการ Color Threshold โดยการวัดผลด้วยการวัดระยะห่างของเส้นด้านซ้ายและด้านขวาจากภาพก่อนผ่านกระบวนการ เทียบกับระยะที่ได้จากการประมวลผลด้วยภาพ โดยที่ความแตกต่างของเส้นที่ได้จากการวัดจริงกับเส้นที่ได้จากการประมวลผลต้องมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับระยะวัดจริงจึงจะถือว่ามีความถูกต้องในการหาเส้น ในการทดลองมีการปรับเปลี่ยนช่วงของค่า Threshold ในปริภูมิสี RGB โดยได้มีการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างค่า Threshold ของสีกับค่า ขนาดของพิกเซลที่กำจัดออกในขั้นตอน Remove Particle

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง Color Threshold

ขนาดพิกเซล ที่กำจัดออก	% ความถูกต้องในการตรวจสอบ		
	ช่วงที่ 1 R 150 - 255 G 0 - 100 B 40 - 170	ช่วงที่ 2 R 160 - 245 G 10 - 100 B 50 - 160	ช่วงที่ 3 R 170 - 235 G 20 - 90 B 60 - 150
100	49	72	38
150	54	80	50
200	58	93	74
250	64	95	84
300	70	98	90
350	62	90	85



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่าความถูกต้อง(%) กับขนาดพิกเซลที่กำจัดออก

จากการทดลองหาค่าช่วงของสีและขนาดของพิกเซลที่เหมาะสมในการกำจัดในขั้นตอน Remove Particles โดยใช้การแยกสีในปริภูมิสี RGB พบว่าเมื่อขนาดของพิกเซลมีขนาดเล็กจะทำให้ได้ค่า ค่าความถูกต้องต่ำอาจเป็นเพราะขนาดของพิกเซลหลังจากผ่านกระบวนการ Color Threshold มีขนาดใหญ่กว่าจึงไม่สามารถกำจัดออกได้ทำให้ได้ค่าความถูกต้องต่ำ และค่าความถูกต้องมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดพิกเซลเกินกว่า 300 จากการทดลองพบว่าการกำหนดช่วงของสีที่กว้างหรือแคบเกินไปก็ทำให้ค่า ค่าความถูกต้องลดลงได้ดังนั้น จากการทดลองพบว่าที่เหมาะสมในกระบวนการ Color Threshold คือ R 160 – 245, G 10 – 100, B 50 – 160 และได้ขนาดของพิกเซลที่เหมาะสมในขั้นตอน Remove Particle คือขนาด 300 พิกเซล

4.2 ผลการทดลองตรวจจับและระบุความหมายของป้ายบอกทิศทาง

การทดลอง 4.2.1

ตรวจสอบความถูกต้องในการระบุความหมายแผ่นป้าย ทำการรับภาพจากกล้องทำการประมวลผลโดยใช้การตรวจจับวงกลมหลังจากทราบตำแหน่งของวงกลม และนำตำแหน่งที่ได้ไปใช้ร่วมกับกระบวนการ OCR เพื่ออ่านตัวอักษรและระบุความหมายของแผ่นป้ายต่อไป ซึ่งในการทดลองการปรับตั้งค่า Minimum Match Score มีผลต่อความถูกต้องในกระบวนการตรวจจับวงกลม เพราะถ้าไม่สามารถตรวจจับวงกลมได้อย่างถูกต้องก็จะไม่สามารถระบุความหมายของแผ่นป้ายได้เช่นกัน และตัวอักษรบนแผ่นป้ายก็มีความยากง่ายในการระบุตัวอักษรที่แตกต่างกันโดยในการทดลองจะแยกผลการทดลองโดยใช้ภาพที่ได้จากกล้องด้านซ้ายและกล้องด้านขวา

การทดลองนี้ทำการหาค่า ความถูกต้อง(%) โดยเปรียบเทียบค่า Minimum Match Score กับแผ่นป้ายบอกทางทั้ง 12 แผ่นป้าย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบุความหมายแผ่นป้ายจากกล้องด้านขวา

ค่า Minimum Match Score	ความถูกต้อง(%) ในการระบุความหมาย ที่แผ่นป้ายต่าง ๆ											
	1S	1R	1L	2S	2R	2L	3S	3R	3L	4S	4R	4L
400	89	91	96	98	92	89	88	95	92	96	89	100
450	89	91	96	97	92	89	88	95	92	96	89	100
500	89	91	96	96	92	89	88	95	92	96	89	100
550	89	91	96	96	92	89	88	95	92	96	89	100
600	89	91	96	96	92	89	88	95	92	96	89	100
650	89	91	96	96	92	89	88	95	92	96	89	100
700	89	90	96	96	92	89	88	95	92	96	89	100
750	89	86	95	96	92	89	88	94	91	94	87	100

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองระบุความหมายแผ่นป้ายจากกล้องด้านซ้าย

ค่า Minimum Match Score	ความถูกต้อง(%) ในการระบุความหมาย ที่แผ่นป้ายต่าง ๆ											
	1S	1R	1L	2S	2R	2L	3S	3R	3L	4S	4R	4L
400	97	91	100	96	98	96	97	98	97	100	97	95
450	97	91	100	96	98	95	97	98	97	100	97	95
500	97	90	100	96	98	95	98	98	97	100	97	95
550	97	90	100	96	98	95	98	98	97	100	97	95
600	97	90	100	96	98	95	98	98	97	100	97	95
650	97	90	100	96	98	95	98	98	97	100	97	95
700	99	89	99	96	99	98	98	98	97	100	99	94
750	99	84	95	94	95	97	97	98	97	100	100	93

จากตารางผลการทดลอง 4.2 และ 4.3 ซึ่งเป็นการหาค่าความถูกต้องของอัลกอริทึมในส่วนของการตรวจจับและระบุความหมายของแผ่นป้ายบอกทางทั้ง 12 ป้าย ซึ่งในการทดลองได้มีการเปรียบเทียบกับค่า Minimum Match Score ในกระบวนการตรวจจับวงกลมซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการตรวจจับแผ่นป้าย ซึ่งจากผลการทดลองแผ่นป้ายแต่ละป้ายอาจมีความถูกต้องที่แตกต่างกันบ้างซึ่งในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของตัวอักษรและข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในขั้นตอนการ Train ตัวอักษร ซึ่งกล้องซ้ายและกล้องขวาอาจมีความถูกต้องที่ชุดตัวอักษรแบบเดียวกันแตกต่างกันได้เนื่องจากภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองตัว ยังมีความแตกต่างกันอยู่เล็กน้อย ซึ่งมีผลต่อความชัดและความถูกต้องในการตรวจจับ แต่ในการทดลองพบว่าค่าความถูกต้องค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Minimum Match Score มีค่ามากกว่า 700 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเมื่อค่า Minimum Match Score มีค่าเพิ่มขึ้นสูงมากจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับวงกลมได้ทั้งหมด ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงเลือกค่า Minimum Match Score ที่จะนำไปใช้งานมีค่า 650 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพราะค่าความถูกต้องมีแนวโน้มคงตัว

การทดลอง 4.2.2

การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมสำหรับกระบวนการประมวลผลด้วยภาพเพื่อระบุความหมายของแผ่นป้ายประมวลผลเพื่อหาทิศทางที่ต้องไปสถานีต่อไปในกรณีที่รถเดินทางมาถึงสถานี ซึ่งมีลักษณะเป็นทางแยก ความถูกต้องของระบบควบคุมในการควบคุมเพื่อทำตามคำสั่งของแผ่นป้าย โดยเปรียบเทียบค่า Minimum Match Score กับความหมายที่ระบุอยู่บนแผ่นป้าย

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองความถูกต้องของอัลกอริทึมการทำตามคำสั่งป้าย

ค่า Minimum Match Score	ความถูกต้อง(%) ในการทำตามคำสั่ง ที่แผ่นป้ายต่าง ๆ			
	หยุด	เลี้ยวซ้าย	เลี้ยวขวา	ตรงไป
400	95	95	95	95
500	95	95	95	95
550	95	95	95	95
600	95	95	95	95
650	95	95	95	95
700	95	95	95	95
750	95	95	95	94

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าในส่วนของการอ่านป้ายและระบุความหมายในกรณีที่ต้องการไปสถานีด้านหน้า จะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องที่ได้ค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับการระบุความหมายของตัวอักษรบนแผ่นป้ายเพียงอย่างเดียว ซึ่งจากการทดลองก่อนหน้านี้เป็นกระบวนการต่อเนื่องเราหาค่า Minimum Match Score ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ Circle Detection ได้เท่ากับ 650 และจากการทดลองพบว่าค่า Minimum Match Score ที่เลือกใช้คือ 650 สามารถใช้งานได้โดยให้ค่าความถูกต้องที่มีแนวโน้มคงตัว

4.3 ผลการทดลองการตรวจจับและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

การทดลอง 4.3.1

การตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมสำหรับกระบวนการประมวลผลเพื่อการหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้านหน้าและความถูกต้องของระบบควบคุมในการบังคับเลี้ยว โดยเปรียบเทียบค่า Minimum Match Score ของกระบวนการ Color Match Pattern กับทิศทางการเลี้ยวที่ถูกต้องที่ต้องทำการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยการวัดผลรถชนส่งอัตโนมัติจะต้องสามารถหักหลบได้อย่างถูกต้องและไม่มีการเฉี่ยวชนกับสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองความถูกต้องอัลกอริทึมตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ค่า Minimum Match Score	ความถูกต้อง(%) ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ที่กรณีต่าง ๆ		
	หยุด	เลี้ยวซ้าย	เลี้ยวขวา
400	98	90	91
450	98	87	91
500	98	87	91
550	98	87	91
600	98	87	91
650	98	87	91
700	97	87	90
750	91	78	90

จากการทดลอง 4.3.1 เป็นการทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยเปรียบเทียบค่า Minimum Match Score กับทิศทางที่ถูกต้องในการหักหลบ พบว่าเมื่อ Minimum Match Score เกินกว่า 700 ค่าความถูกต้องมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าความถูกต้องโดยรวมถือว่าอยู่ในระดับที่ดีมาก ซึ่งในการทดลองรวมระบบผู้ทำการทดลองได้เลือกใช้ค่า Minimum Match Score สำหรับกระบวนการ Color Match Pattern มีค่าเท่ากับ 600 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมเนื่องจากค่าความถูกต้องมีแนวโน้มคงตัว

การทดลอง 4.3.2

การทดลองหาระยะทางที่ดีที่สุดในการเริ่มหลบสิ่งกีดขวาง โดยในการทดลองมีการจำลองสิ่งกีดขวางไว้ที่ตำแหน่งด้านข้างเส้นทางวิ่งที่ระยะต่าง ๆ กันตั้งแต่ 30–80 เซนติเมตร จากนั้นทำการควบคุมให้รถเคลื่อนที่หักหลบสิ่งกีดขวางให้ได้เวลาและระยะทางที่สั้นที่สุด โดยการทดลองจะทำการควบคุมรถในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางไปทางด้านซ้ายและด้านขวา ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองหาเวลาในการหลบสิ่งกีดขวางที่ระยะต่าง ๆ

ระยะห่างจาก สิ่งกีดขวาง (ซม)	เลี้ยวซ้าย		เลี้ยวขวา	
	เวลา (วินาที)	ระยะทาง(ซม)	เวลา (วินาที)	ระยะทาง(ซม)
30	8.2	98	8.3	100
40	8.4	107	8.4	108
50	8.5	115	8.5	115
60	8.6	123	8.7	125
70	8.8	131	8.8	130
80	8.9	138	9.0	140

จากการทดลอง 4.3.2 เป็นการทดลองเพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมในการเริ่มหักหลบสิ่งกีดขวาง โดยจากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อระยะก่อนการหักหลบสิ่งกีดขวางมากขึ้นจะใช้เวลาและระยะทางในการหลบมากขึ้นด้วย ซึ่งต้องพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมและในการพบว่าหากระยะทางก่อนการหลบสั้นเกินไปมีโอกาสที่จะเฉี่ยวชนมาก ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงเลือกใช้ระยะทางก่อนการหักหลบเท่ากับ 40 เซนติเมตร โดยใช้เวลาในการหลบด้านซ้าย 8.4 วินาที ระยะทางในการหลบ 98 เซนติเมตร และด้านขวา 8.4 วินาที ระยะทางในการหลบ 108 เซนติเมตร

4.4 ผลการทดลองการประมวลผลแบบ Stereo Vision

การทดลอง 4.4.1

ในงานวิจัยนี้ใช้การประมวลผลด้วยภาพโดยใช้กล้อง Webcam จำนวน 2 ตัวติดตั้งและประมวลผลแบบ Stereo Vision ซึ่งค่าทางยาวโฟกัส f (Focal of Length) หรือค่าระยะห่างจากเลนส์ถึงวัตถุในหน่วยพิกเซล เป็นตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ตามทฤษฎี และเป็นค่าเฉพาะสำหรับกล้องแต่ละตัวซึ่งยังไม่ทราบค่า ดังนั้นการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อประมาณหาค่าทางยาวโฟกัส f โดยการปรับระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุและทำการคำนวณหาค่า f ซึ่งได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.7 คือผลการทดลองของกล้องด้านซ้าย และตารางที่ 4.8 คือผลการทดลองของกล้องด้านขวา

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเพื่อคำนวณหาค่า Focal of Length กล้องด้านซ้าย

ระยะห่าง (ซม)	xr	xl	จำนวน pixel	Focal of Length
10	551	86	465	775.00
15	486	169	317	792.50
20	430	211	219	730.00
25	407	233	174	725.00
30	392	249	143	715.00
35	380	257	123	717.5.00
40	375	269	106	706.66
45	366	271	95	712.50
50	363	280	83	691.66
55	356	281	75	687.50
60	355	287	68	680.00
65	352	288	64	693.33
70	351	291	60	700.00
			ค่าเฉลี่ย	717.40

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเพื่อคำนวณหาค่า Focal of length กล้องด้านขวา

ระยะห่าง (cm)	xr	xl	จำนวน pixel	Focal of Length
10	547	82	465	775.00
15	472	171	301	752.50
20	427	206	221	736.66
25	405	233	172	716.66
30	391	247	144	720.00
35	381	259	122	711.66
40	370	264	106	706.66
45	366	273	93	697.50
50	361	277	84	700.00
55	357	280	77	705.83
60	356	285	71	710.00
65	352	287	65	704.16
70	351	290	61	711.66
ค่าเฉลี่ย				719.10

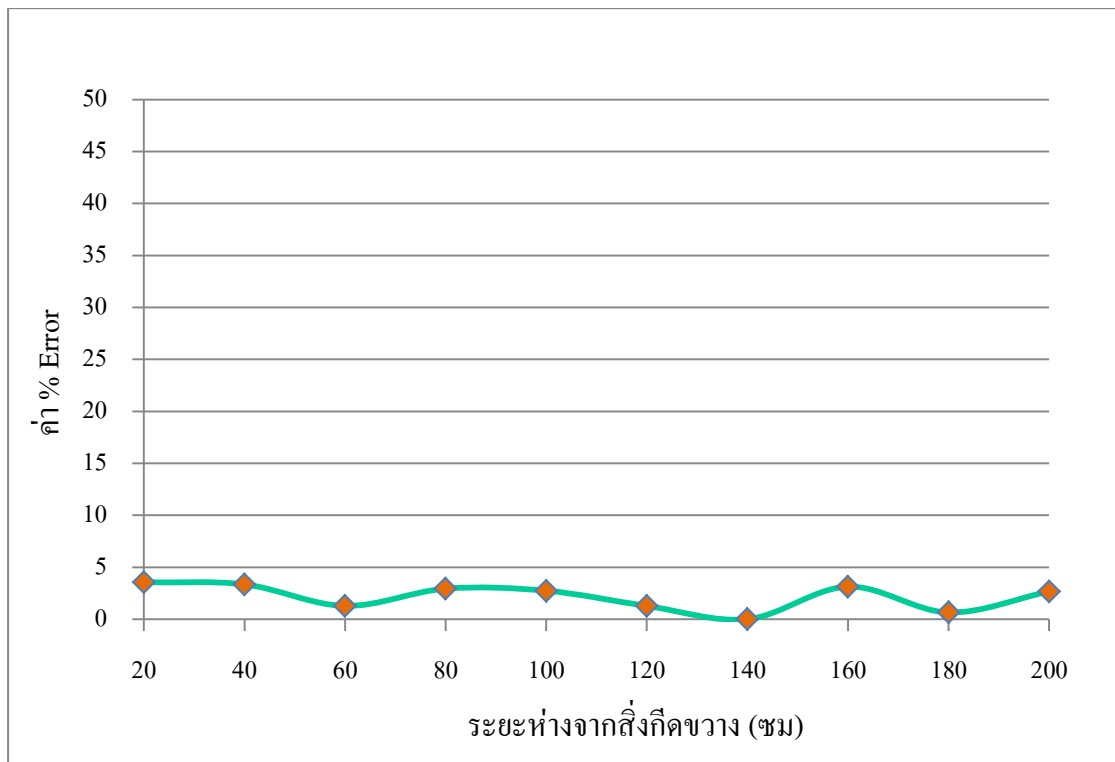
จากการทดลอง 4.4.1 เป็นการทดลองเพื่อประมาณหาค่าทางยาวโฟกัสของกล้องด้านซ้าย และกล้องด้านขวา โดยทำการทดลองโดยการปรับตำแหน่งของวัตถุด้านหน้า ระยะตั้งแต่ 10 ถึง 70 เซนติเมตร สามารถหาค่าทางยาวโฟกัสเฉลี่ยของกล้องด้านซ้ายมีค่า 717.4 พิกเซลและค่าทางยาวโฟกัสเฉลี่ยของกล้องด้านซ้ายมีค่า 719.1 พิกเซล ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน และค่าทางยาวโฟกัสที่หาได้จะถูกนำไปใช้ป็นค่าคงที่ในการคำนวณด้วยวิธีการ Stereo Vision ต่อไป

การทดลอง 4.4.2

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวัดระยะโดยใช้ใช้กล้องร่วมกับการประมวลผลแบบ Stereo Vision ซึ่งเป็นไปตามสมการ 2.3 โดยในการทดลองใช้การเคลื่อนสิ่งกีดขวางไปที่ระยะต่าง ๆ และทำการระยะห่างโดยใช้วิธีการ Stereo Vision ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.3 คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Error กับระยะห่างจากสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการคำนวณหาระยะห่างโดยการประมวลผลด้วยภาพ

ระยะห่างจริง	xl	xr	xl - xr	ระยะห่างคำนวณ	% Error
20	558	79	479	19.29	3.55
40	458	219	239	38.66	3.35
60	405	249	156	59.23	1.28
80	380	261	119	77.65	2.94
100	366	271	95	97.26	2.74
120	364	286	78	118.46	1.28
140	357	291	66	140.00	0
160	352	296	56	165.00	3.13
180	348	297	51	181.18	0.65
200	342	297	45	205.33	2.67



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า %Error เทียบกับระยะห่างจากสิ่งกีดขวาง

จากการทดลอง ซึ่งเป็นการคำนวณระยะห่างของวัตถุโดยการประมวลผลด้วยภาพด้วยวิธีการ Stereo Vision จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.9 และจากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า %Error กับระยะห่างจากวัตถุที่ระยะ 20 ถึง 200 เซนติเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้ในการทดลอง ทำการทดลองในขณะที่รถหยุดนิ่งไม่ได้เคลื่อนที่ จะพบว่าค่า %Error อยู่บ้างเล็กน้อยไม่เกิน 3.6% และมีแนวโน้มที่คงตัว ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

4.5 สรุปผลการทดลอง

จากการผลการทดลองได้แบ่งการทดลองออกเป็นหลายส่วนย่อยเพื่อทดสอบความถูกต้องและความสามารถในการควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติ โดยใช้การประมวลผลด้วยภาพ ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้ การทดลอง 4.1.1 เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าของช่วงสีที่เหมาะสมในการแยกสีเส้นทางวิ่ง กับขนาดของพิกเซลที่ใช้ในกระบวนการ Remove Particle พบว่าค่าช่วงสีที่เหมาะสมคือ R 160 – 245, G 10 – 100, B 0 – 160 และขนาดพิกเซลที่เหมาะสมคือ 300 พิกเซล การทดลอง 4.2.1 เป็นการทดลองหาความถูกต้องของการระบุความหมายของแผ่นป้ายบอกทางไปในแต่ละสถานีเทียบกับค่า Minimum Match Score พบว่าเมื่อค่า Minimum Match Score เกินกว่า 700 ค่า %ความถูกต้องมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากทั้ง 2 การทดลอง และจากผลการทดลองผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า Minimum Match Score เท่ากับ 650 สำหรับการใช้งานจริง การทดลอง 4.2.2 พบว่าค่า Minimum Match Score มีผลต่อระบุและควบคุมทิศทางที่ต้องไปสถานีข้างหน้าอย่างมากและมีค่า %ความถูกต้องโดยเฉลี่ย 99% การทดลอง 4.3.1 เป็นการทดลองเพื่อหาค่า Minimum Match Score ที่เหมาะสมของกระบวนการหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยวิธีการ Match Color Pattern พบว่าค่า Minimum Match Score ที่เหมาะสมคือ 600 ได้ค่า %ความถูกต้องสำหรับการหยุด 98% หลบทางซ้าย 87% หลบทางขวา 91% การทดลอง 4.3.2 เป็นการทดลองเพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมในการหักหลบสิ่งกีดขวาง พบว่าระยะที่เหมาะสมคือ 40 เซนติเมตร ใช้เวลาในการหลบ 8.4 วินาทีสำหรับกล้องซ้ายและกล้องขวา ระยะทางในการหลบด้านซ้าย 107 เซนติเมตร และระยะทางในการหลบด้านขวา 108 เซนติเมตร การทดลอง 4.4.1 เป็นการทดลองเพื่อหาค่าทางยาวโฟกัสของกล้อง ได้ค่าทางยาวโฟกัสเฉลี่ยของกล้องของกล้องซ้าย 717.4 พิกเซล และทางยาวโฟกัสเฉลี่ยของกล้องของกล้องขวา 719.1 พิกเซล การทดลอง 4.4.2 เป็นการทดสอบหาค่าความถูกต้องของการวัดระยะห่างด้วยวิธีการ Stereo Vision โดยจากการทดลองพบว่าค่า %Error สูงสุดไม่เกิน 3.6% ที่ระยะ 20 – 200 เซนติเมตร และเมื่อนำทั้ง 4 ส่วนหลักมาประกอบกันรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้อย่างสมบูรณ์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการควบคุมรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบโดยควบคุมด้วยการประมวลผลด้วยภาพ ซึ่งรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ สามารถเดินทางไปสู่สถานีปลายทางโดยการตรวจจับเส้นทางและทำตามคำสั่งบนป้ายบอกทาง และสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือหยุดในกรณีที่ไม่สามารถหลบหลีกได้ โดยมีความถูกต้องในแต่ละส่วนที่ประมวลผลอยู่ในระดับที่ดีมาก โดยจากการทดลองในส่วนของการตรวจจับเส้นทางสามารถเดินทางตามเส้นทางได้อย่างถูกต้อง ส่วนของการอ่านป้ายและระบุความหมายบนแผ่นป้ายมีความถูกต้องโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 96.75% การประมวลผลหาทิศทางตามคำสั่งบนป้าย มีความถูกต้องโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 95% ในส่วนของการหลบหลีกสิ่งกีดขวางสามารถประมวลผลเพื่อควบคุมการหลบหลีกหรือหยุดกรณีที่มีสิ่งกีดขวางด้านหน้าโดยมีความถูกต้องของกระบวนการประมวลผลด้วยภาพอยู่ที่ 92% ที่ระยะก่อนการหลบหลีก 40 เซนติเมตรใช้เวลาในการหลบเฉลี่ย 8.4 วินาที ระยะทางในการหลบเฉลี่ย 107.5 เซนติเมตร และในการตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้วิธีการ Stereo Vision ในการหาระยะห่างของวัตถุสามารถหาระยะห่างได้อย่างแม่นยำ โดยมีค่า %Error สูงสุดไม่เกิน 3.6% และการทำงานแบบอัตโนมัติโดยปราศจากการควบคุมโดยการรวมส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี และในการทดลองความผิดพลาดโดยส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแสงจากภายนอกอาคารซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้สีของภาพที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงส่งผลต่อกระบวนการ Color Threshold ในการตรวจจับเส้นและการหาวงกลมของกระบวนการตรวจจับป้าย ซึ่งในการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อแก้ไขจุดบกพร่องได้โดยการใช้กล้องที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งรถขนส่งอัตโนมัติต้นแบบนี้ที่ใช้การประมวลผลด้วยภาพนี้เมื่อนำไปใช้งานจริงจะสามารถช่วยแก้ปัญหาในการขาดแคลนแรงงานและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตได้ต่อไปในอนาคตได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากรถยนต์อัตโนมัติต้นแบบนี้ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์สำหรับการประมวลผลหากต้องการตรวจสอบเป็นระบบเวลาจริง (Real Time System) ระยะโฟกัสและความเข้มของแสงในการทำงานจึงมีผลต่อการประมวลผลด้วยภาพ เพื่อความถูกต้องและแม่นยำจะต้องควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ให้คงที่อยู่เสมอ

5.2.2 เนื่องด้วยรถมีการเคลื่อนที่ในขณะที่มีการรับภาพ ดังนั้นความเร็วในการรับภาพและความละเอียดของกล้องที่นำมาใช้ ส่งผลต่อความแม่นยำในการตรวจสอบ หากนำกล้องที่มีความเร็วในการรับภาพและละเอียดสูงมาใช้งานความถูกต้องในการประมวลผลก็จะมากขึ้นด้วย และในงานที่ต้องการความแม่นยำสูงควรจะเลือกใช้กล้องที่มีความละเอียดสูงขึ้น

5.2.3 สำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจริง ควรมีการเพิ่มเซนเซอร์ในการตรวจจับเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

5.2.4 ในการทดลองนี้ใช้การประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องความเร็วในการประมวลผลด้วยภาพ ดังนั้นจึงต้องหาคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วเพียงพอในการประมวลผลและสั่งงานควบคุมรถยนต์อัตโนมัติได้



รายการอ้างอิง

- กนต์ธร ชำนิประศาสน์ (2548). การวัดเชิงกลด้วย LabVIEW. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 240 หน้า.
- วีระพล สุขสมบูรณ์ ฐเนศ เคารพพงศ์ มนต์รี กาญจนะเดชะ และ สมชัย หลิมศิริโรจน์. (2552). การค้นหาสิ่งกีดขวางบนถนนโดยหลักการของการมองภาพสองตาในรถอัจฉริยะ. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 7. วันที่ 21-22 พฤษภาคม 2552. หน้า 126-131.
- Borenstein, J., and Koren, Y. (1991). The Vector Field Histogram-Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots. **Robotics and Automation**. pp.278-288.
- Cheng, F., and Chen, X, T. (2008). Integration of 3D Stereo Vision Measurements in Industrial Robot Applications. **Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference**. Paper 34, ENG 102.
- de la Escalera, A., Armingol, J.M., and Mata, M. (2003). **Traffic Sign Recognition and Analysis for Intelligent Vehicles**. Image and Vision Computing. Vol.21, No.3, March 1, 2003. pp.247-258.
- Irmak, H. (2010). **Real Time Traffic Sign Recognition System on FPGA**. Master Thesis of Science Electrical and Electronics Engineering, School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University. September 2010. pp.78.
- Kakiuchi, T., and Chikatsu, H. (2000). Construction of Stereo Vision System for 3D Objects Modeling. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol.33, Part B5, pp.414-421. Amsterdam, Netherlands.
- Khatibi, S., and Hultgren, H. (2012). **Introduction to Implementing Matlab in Computer Vision**, Blekinge Institute of Technology Sweden. 11 pp.
- Lin, Q., Han, Y.J., and Hahn, H.S. (2010). **Real-Time Lane Departure Detection Based on Extended Edge-Linking Algorithm**. Proceedings of the 2010 Second Conference on Computer Research and Development 2010. May 7-10, 2010. Kuala Lumpur. pp.725-730.

- Lucas, B.D., and Kanade, T. (1981). An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision. **Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)**. August 24-28, 1981. Vancouver, British Columbia. pp.674-679.
- Luijten, H.J.C. (2005). **Basics of Color Based Computer Vision Implemented in Matlab**. Traineeship report, Department Mechanical Engineering Dynamics and Control Technology Group. Technische Universiteit Eindhoven, June 2005. pp.25
- Maldonado-Bason, S., Lafuente-Arroyo, S., Gil-Jimenez, P., Gomez-Moreno, H., and Lopez-Ferreras, F. (2007). **Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines**. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. Vol.8, No.2. June 2007. pp.264-278.
- Miyata, S., Yanou, S., Nakamura, H., and Takehara, S. (2009). **Road Sign Feature Extraction and Recognition Using Dynamic Image Processing**. International Journal of Innovative Computing, Information and Control (ICIC). Vol.5 (11)B, November 2009. pp.4105-4113.
- Murphy, C., Lindquist, D., Rynning, A.M., Cecil, T., Leavitt, S., and Chang, M.L. (2007). Low-Cost Stereo Vision on an FPGA. **Proceedings of the 15th Annual IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines**. April 23-25, 2007. pp.333-334.
- Wai, R.J., and Liu, C.M. (2011). Adaptive Path Planning for Mobile Robot Obstacle Avoidance. **World Academy of Science, Engineering and Technology**. (78), pp.688-694.
- Hamzah, R.A., and Salim. S.I.M. (2010). Software Calibration for Stereo Camera on Stereo Vision Mobile Robot using Tsai's Method. **International Journal of Computer Theory and Engineering**. June, 2010. Vol.2, No.3, pp.1793-8201.
- Russ, J.C. (2009). The Image Processing Handbook Fifth Edition. **CRC Press**. January 24, 2009. 834 pp.
- Scavino, E., Wahab, D.A., Basri, H., Mustafa, M.M. and Hussain, A. (2009). A Genetic Algorithm for the Segmentation of Known Touching Objects. **Journal of Computer Science**. **5(10)**. pp.711-716.

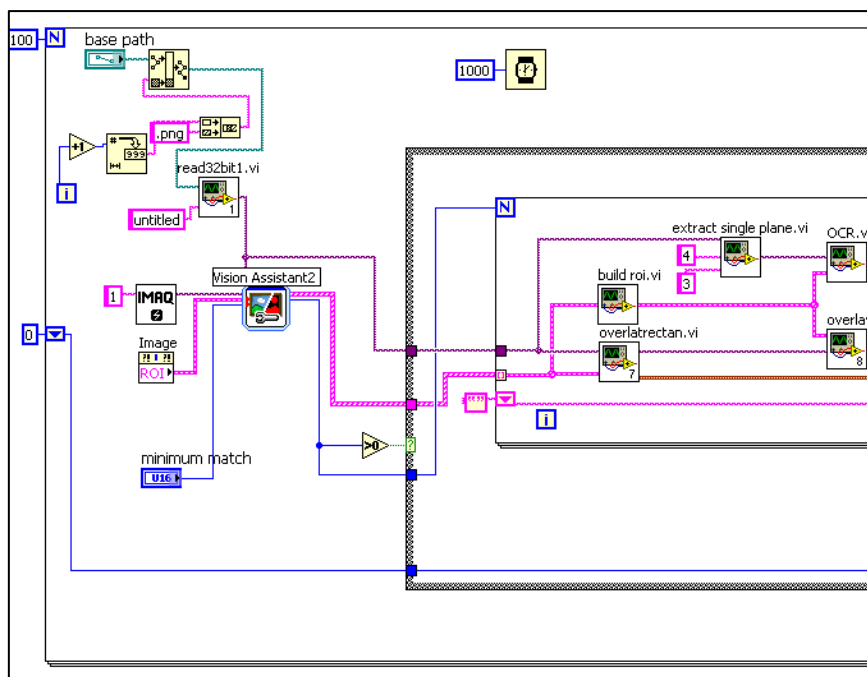
Xie, S.Q., Cheng, D., Wong, S., and Haemmerle, E. (2008). Three-dimensional object recognition system for enhancing the intelligence of a KUKA robot. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. Vol.38, No.7-8, pp.822–839.



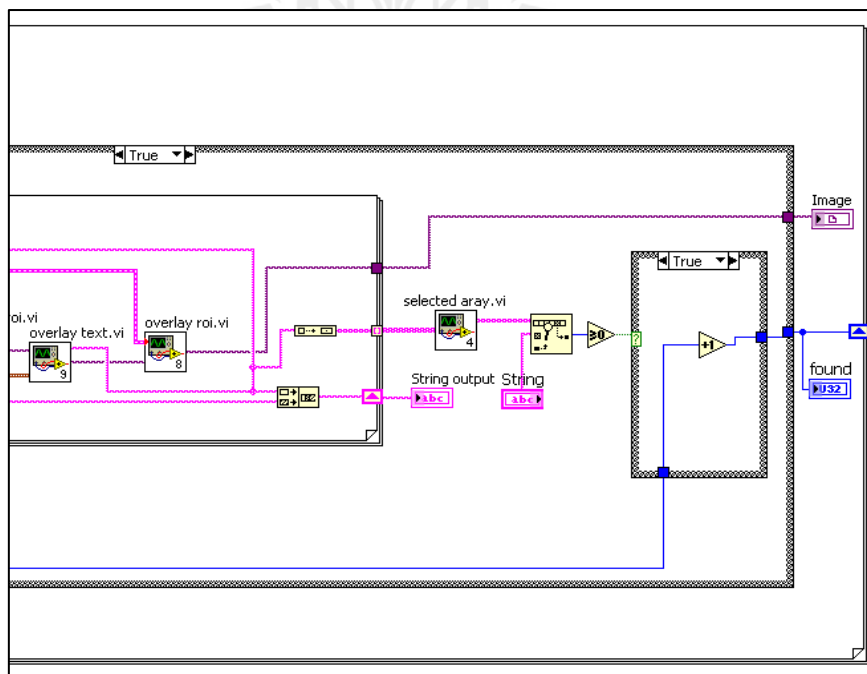


ภาคผนวก ก

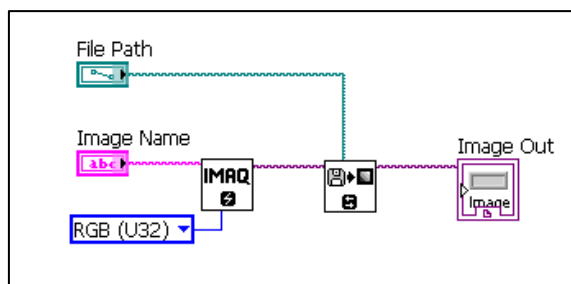
รายละเอียดโปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจสอบด้วยภาพ



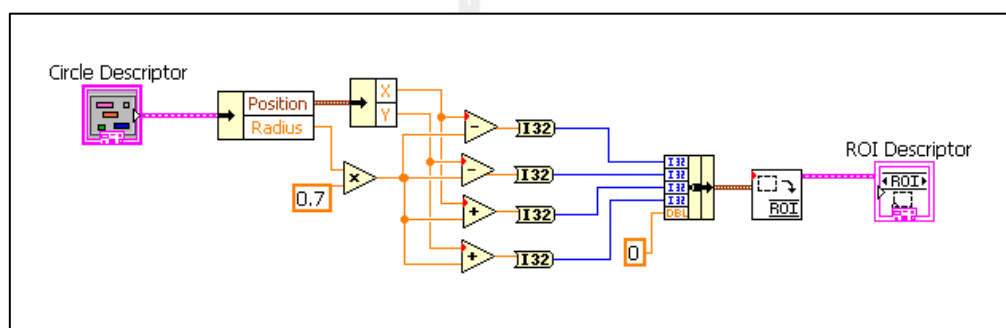
รูปที่ ก.1 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการอ่านป้าย



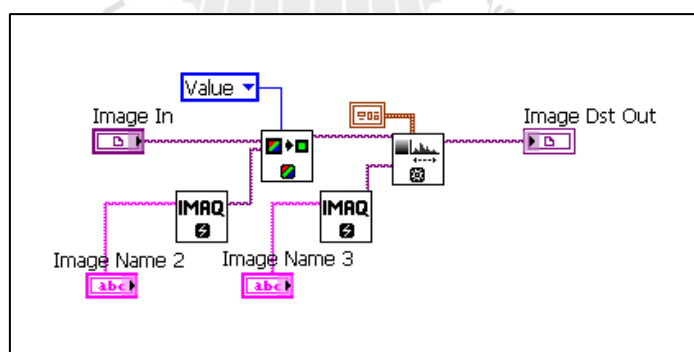
รูปที่ ก.2 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการอ่านป้าย (ต่อ)



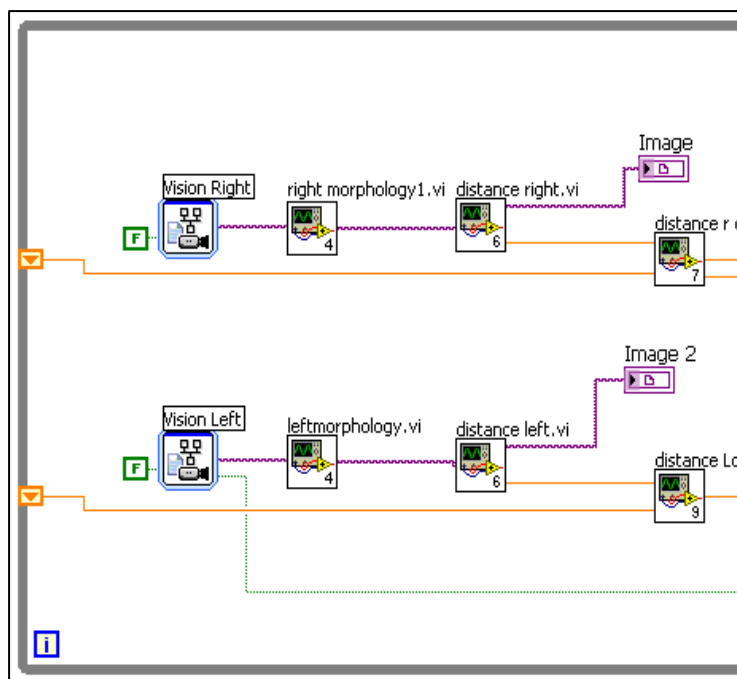
รูปที่ ก.3 โปรแกรม LabVIEW SubVI read32bit



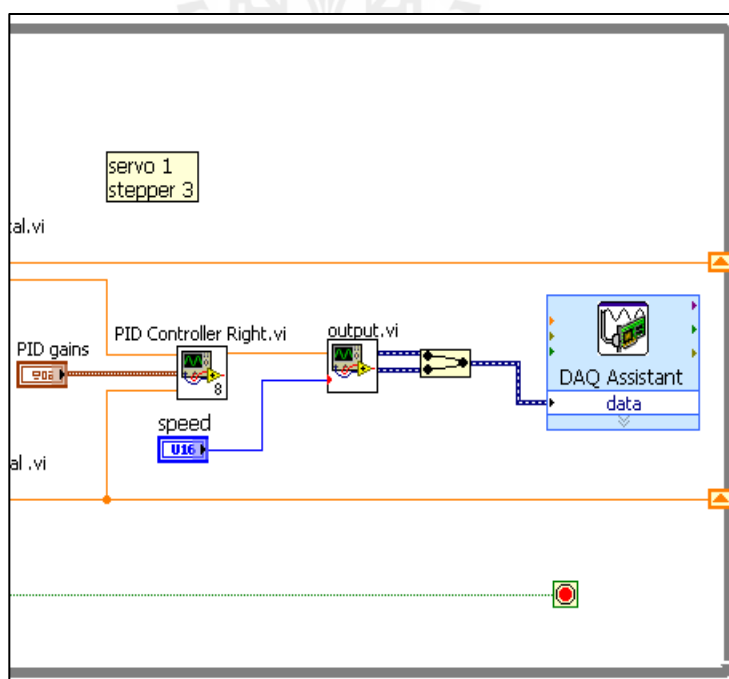
รูปที่ ก.4 โปรแกรม LabVIEW SubVI build ROI



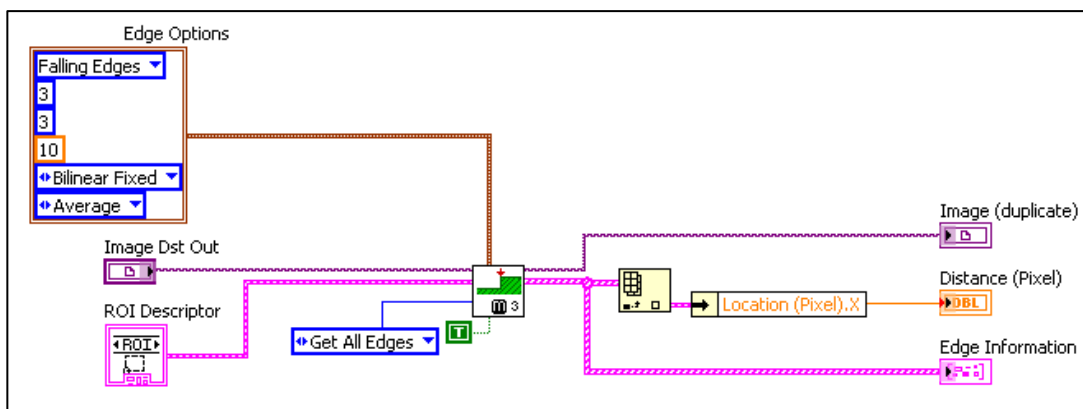
รูปที่ ก.5 โปรแกรม LabVIEW SubVI extract single plane



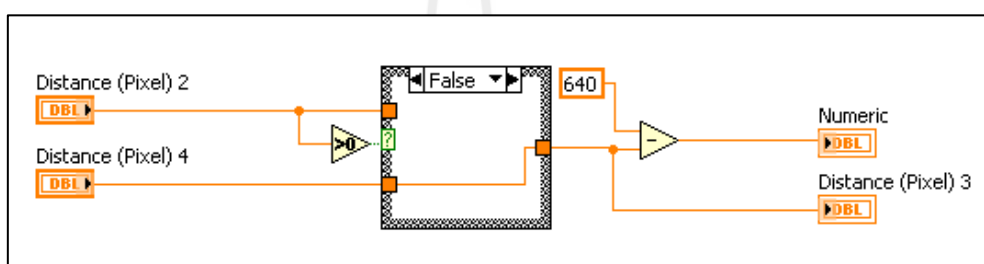
รูปที่ ก.12 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับเส้น



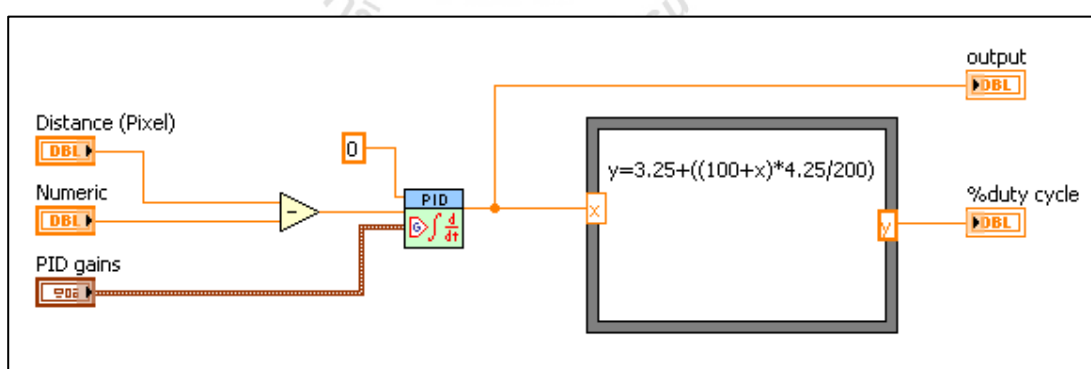
รูปที่ ก.13 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับเส้น (ต่อ)



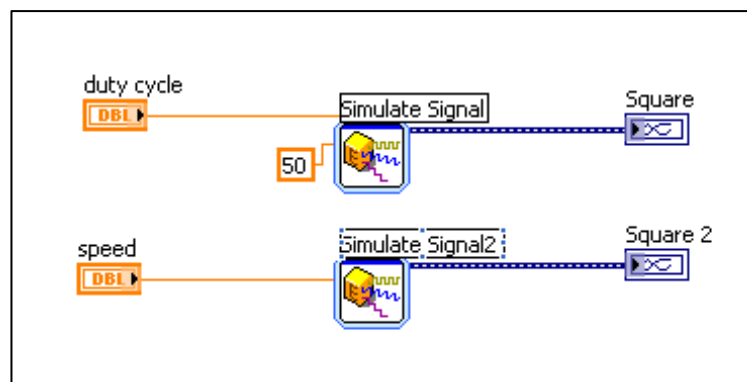
รูปที่ ก.16 โปรแกรม LabVIEW SubVI distance right



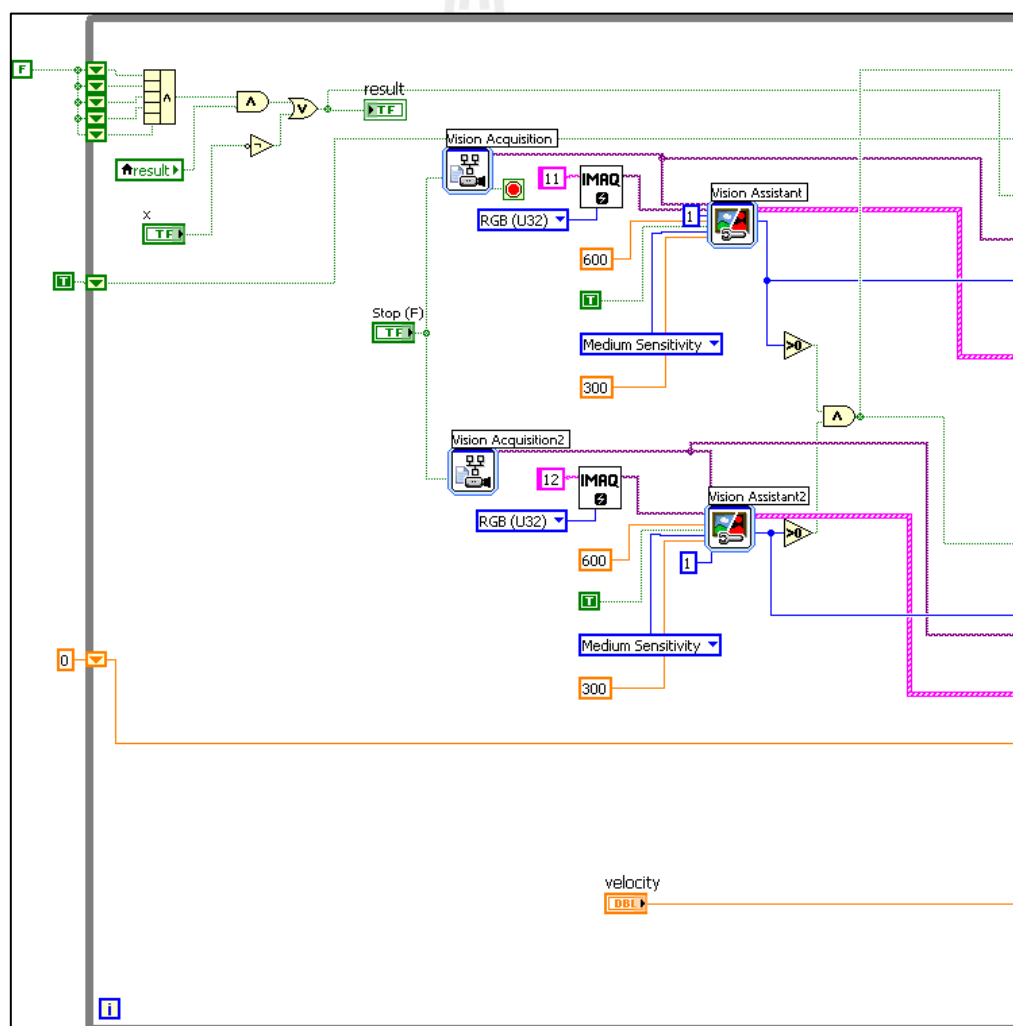
รูปที่ ก.17 โปรแกรม LabVIEW SubVI distance r cal



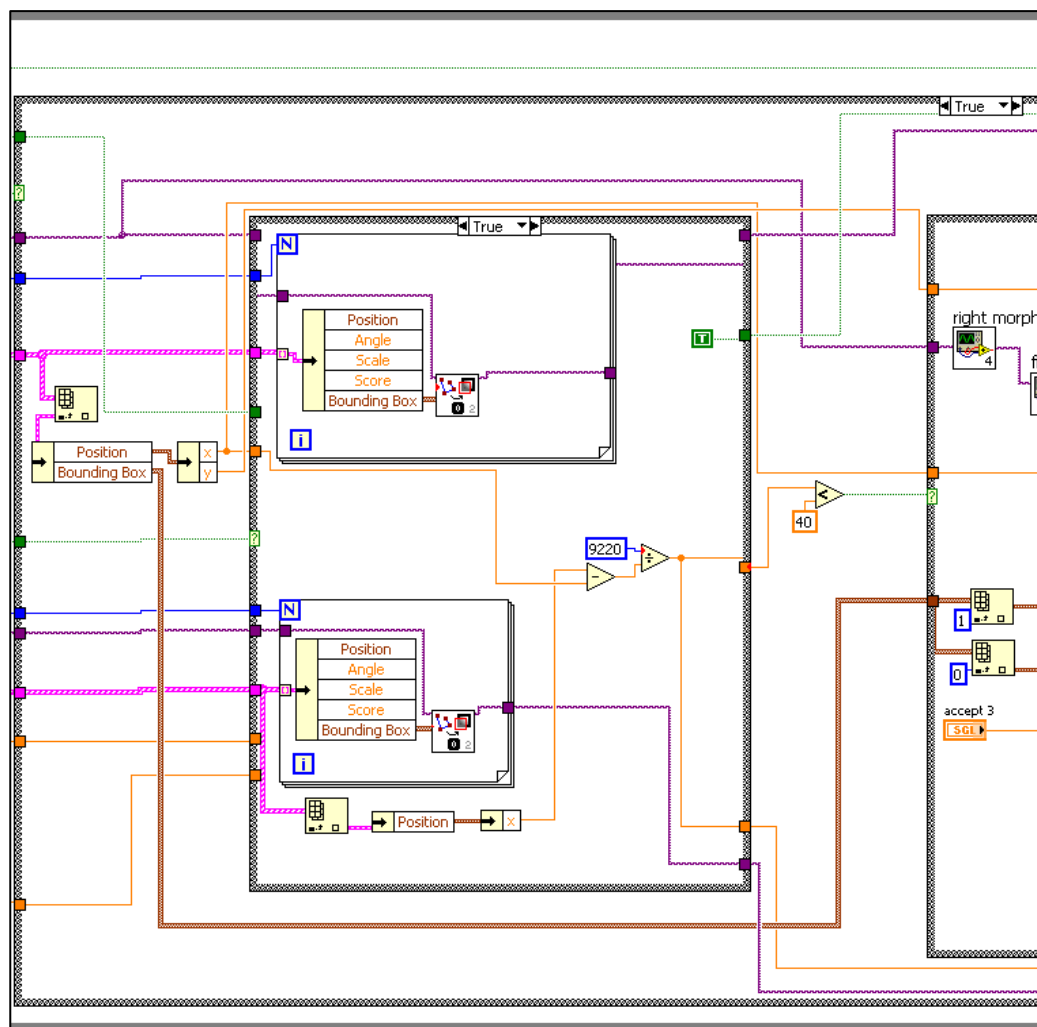
รูปที่ ก.18 โปรแกรม LabVIEW SubVI PID Controller right



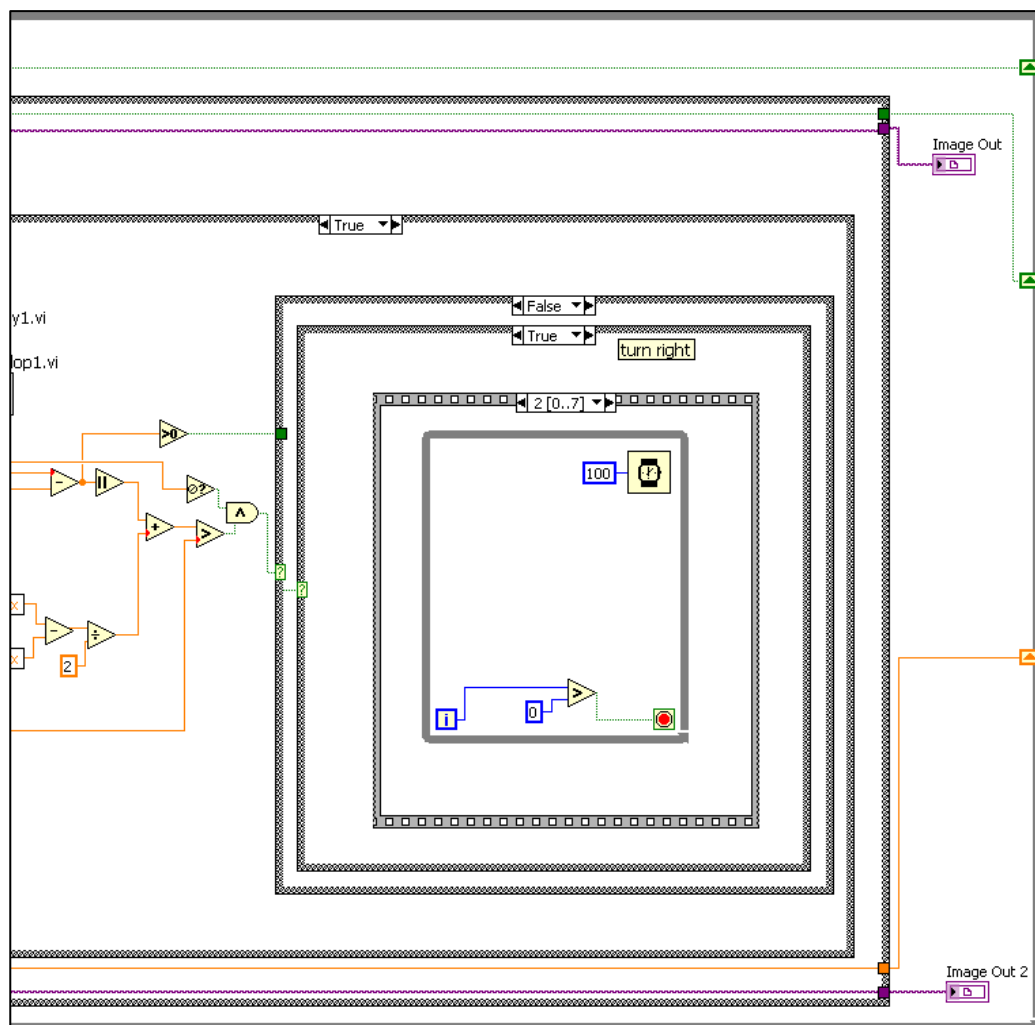
รูปที่ ก.19 โปรแกรม LabVIEW SubVI Output



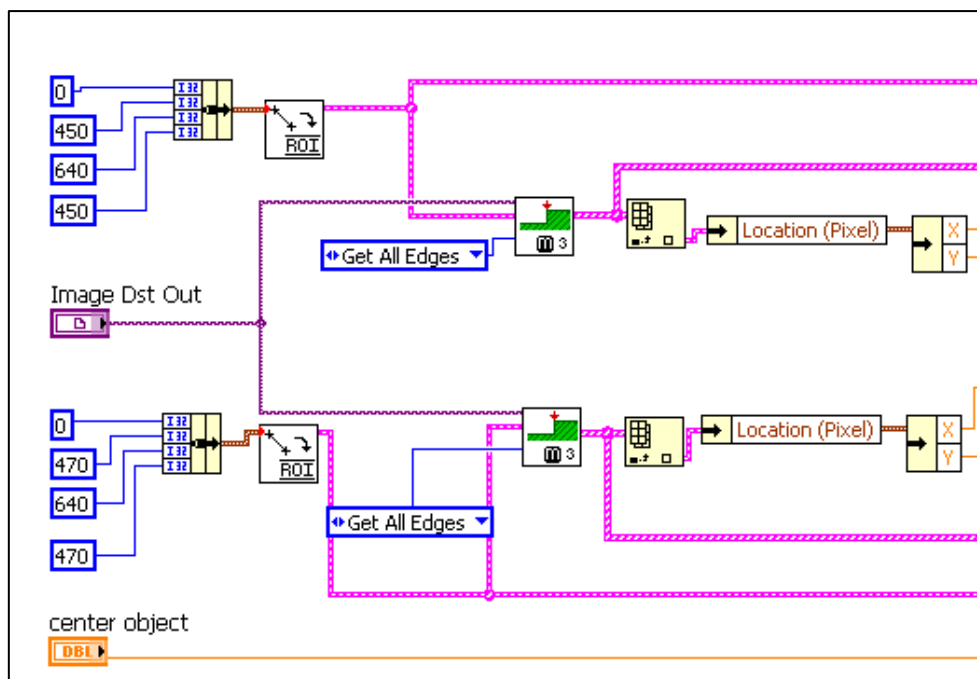
รูปที่ ก.20 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง



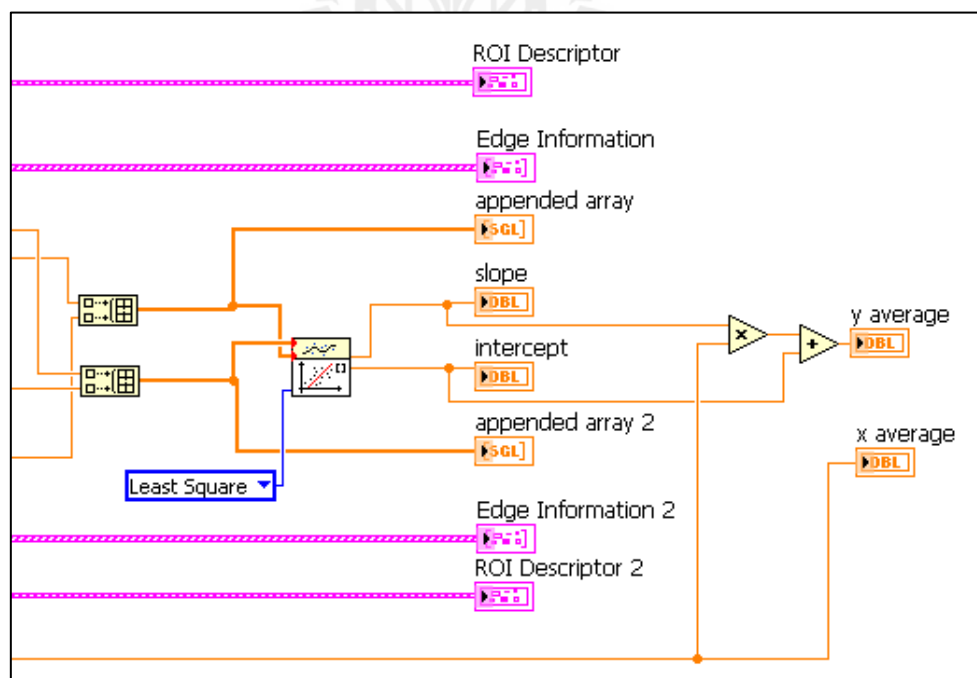
รูปที่ ก.21 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ)



รูปที่ ก.22 โปรแกรม LabVIEW สำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง (ต่อ)



รูปที่ ก.23 โปรแกรม LabVIEW SubVI find slop



รูปที่ ก.24 โปรแกรม LabVIEW SubVI find slop (ต่อ)

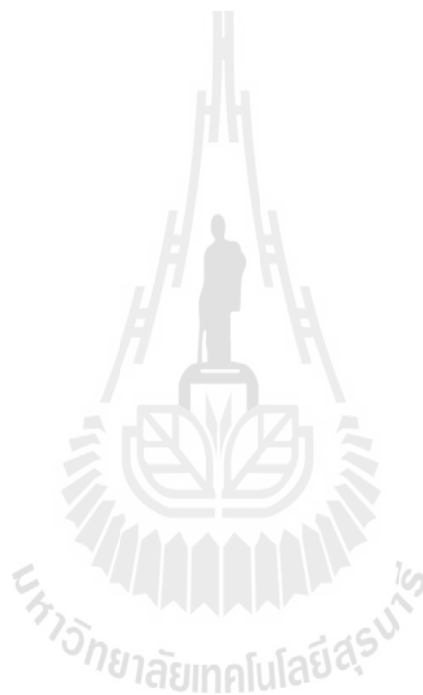


ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Kaewchan, S., and Chamniprasart, K. (2012). Vision System for Controlling Autonomous Transport Vehicles. **The 2nd International Conference on Material, Mechatronics and Automation (ICMMA)**. Vol.15: pp.128-132. May 7-8, 2012, Nanchang, China.



Vision System for Controlling Autonomous Transport Vehicles

Somkiat Kawchan^{1,a}, Kontorn Chamniprasart^{1,b}

¹Suranaree University of Technology, Dept. of Mechanical Engineering
 111 University Avenue, Muang District, NakhonRatchasima 30000, Thailand.

^aboo_engineer@hotmail.com, ^bkontorn@sut.ac.th

Keywords: Stereo vision, Disparity, AGV, LIDAR

Abstract. This paper presents application of computer vision and image processing system as an alternative principle which high accuracy and reliability to control Autonomous Transport Vehicles. The systems will use the principle of detecting image by stereo vision which will show the depth in depth disparity under constant light conditions to calculate the position and distance in front of the vehicle. And will send data to the controller to control the direction and speed of the vehicles to avoid obstacles in front with accurately and efficiently. And travel to destination by planned route following marking color path on the floor. Also read from the signs on the side of the route which will be on matching pattern algorithm.

Introduction

Automated Guide Vehicle (AGV) is a transport vehicle widely used in manufacturing industry. It can work automatically according to conditions and directions to destination are defined. The Navigation principles are different, such as wired navigator, Guide tap, Laser guidance and gyroscopic. This system is more flexible. And can improve efficiency and productivity in the industry. It reduces labor costs in industry. As well as increasing the safety of its employees from working in dangerous environments. Modern sensor such as LIDAR acquires and process data to navigate and control the position and direction and speed of the vehicle.

Computer vision is nowadays commonly used in automated product inspection. And one common situation arises when the objects present in an input image are in reciprocal contact. The complexity in the shape and color of the objects affects the process of segmentation, whose primary goal does not consist of identifying uniform regions inside the input image, but separating whole objects. A general approach to this situation clearly requires the a priori knowledge of the possible set of objects to be identified and extracted from the input image. The segmentation algorithm must be able to identify the objects before feature extraction and classification.

Experiment

Experimental Apparatus

1:10 scale car is used to simulate the operation of the autonomous transport vehicle. Pair of webcam camera is rigidly mounted on the front of the vehicle. A minicomputer is installed on the top of the car and is powered by a 20Vdc battery and data acquisition (DAQ) is mounted in the rear connected to the Minicomputer with a USB port. Furthermore, the servo system used in the steering and Speed control for controlling the direction and speed of vehicles using typical equipment for radio control car. Fig. 1 shows the autonomous transport vehicle.



Fig.1 Autonomous transport vehicle

Technique

Data acquisition

These images were processed by using the front vehicle stereo vision. The images from both cameras will be processed using a Mini computer with LabVIEW 2010 and Ni Vision module. And then processed to determine the location of obstructions and sign plate recognition on the side of the rout. DAQ is connected to the Mini computer and signal output sent to Servo control by using Pulse Width Modulation (PWM) to control the car to go in the correct direction and avoid obstacles effectively. The signal output from the DAQ is also used to control vehicle speed to avoid obstacles or stop the vehicle.

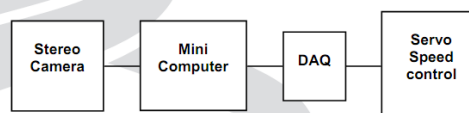


Fig. 2Diagram equipment

Analysis

Line Detection process

Line detection is one of the most important processes for the control of automated guide vehicles. In this experiment we mark a pair of colored line on the floor. Using images from both cameras the processor used the Hough transform algorithm to estimate a straight line. The image from the left camera is used to search in the direction from left to right and the first line to the slope. And the image from right camera will be used search direction from right to left, and the first line to the slope. Both slopes determine the heading in fig. 3 show diagram line detection process preprocessing used to reduce noise and increase sharpness. Color threshold, morphology, and remove particle used to improve the image of the color line and use the Hough transform algorithm as a principle to search for the straight line. The heading is calculated from the slope information in the two images.

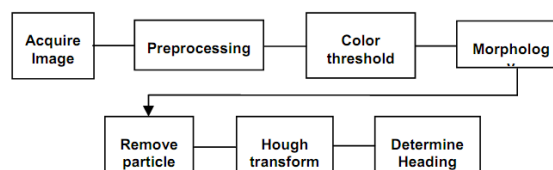


Fig. 3 Diagram Line detection

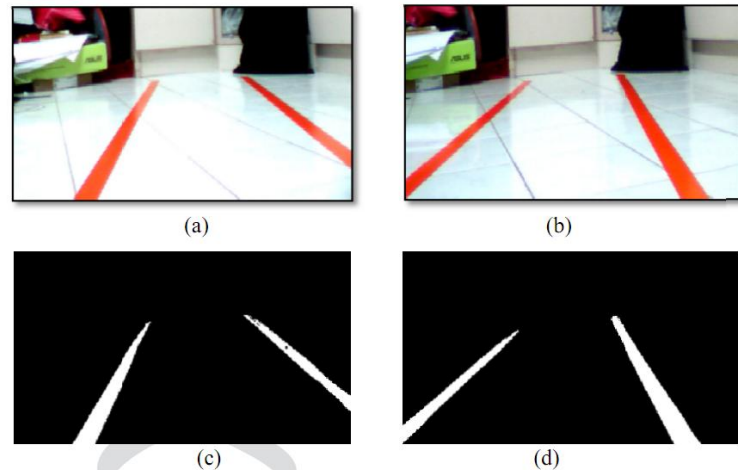


Fig. 4 Example image from stereo camera before and after segmentation (a) left image
(b) right image (c) left image after processing (d) right image after processing

Stereo vision processing

The stereo vision process is an important process for determining detection of obstacles and the distance to obstacles. A stereo camera pair must have two identical cameras rigidly mounted so that they will not move with respect to each other. The two cameras on the front of vehicle take pictures of the same object with difference view. These two images contain some encrypted information about the depth of the object. This information is the third dimension of the two images. Therefore the image distance and its depth can be determined by using the stereo cameras. The distance between two points of view is called the baseline. The baseline's distance is affected by the range resolution which establishes the range of depth that can be calculated. The difference between scenes of the same object on the two images is called disparity fig. 5(a) and fig. 5(b) show images from right camera and left camera. The process of stereo vision is then typically defined as finding a match between feature in left and right. The stereo baseline T is the distance between the center to center of the projection O_l and O_r . The X_l and X_r are the coordinate of P_l and P_r where the f is the focal of length. Disparity is $X_l - X_r$ and the distance to the obstacle Z can be calculated by triangulation.

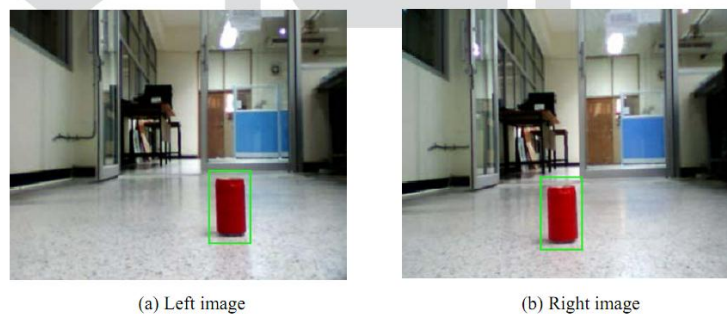


Fig. 5 Image from stereo camera

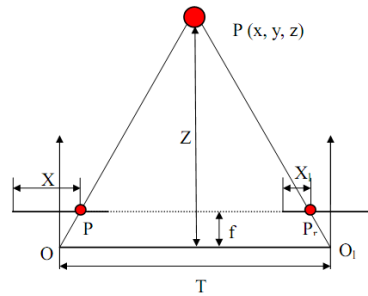


Fig. 6 Principle of stereo vision

Triangular calculate by

$$\frac{Z}{T} = \frac{Z - f}{T + X_r - X_l} \text{ eq. 1}$$

$$\text{Thus } Z = \frac{T \cdot f}{X_l - X_r} \text{ eq. 2}$$

This experiment distance between camera and obstacle can be determined by using baseline camera, T 14 cm. focal of length, f 660 in pixel unit. Table 1 show Z_{real} value compared with distance Z obtained by calculations.

Table 1 Experimental result of obstacle distance

Z_{real}	X_l	X_r	$X_l - X_r$	Z calculate	%error
20	558	79	479	19.29	3.55
40	458	219	239	38.66	3.35
60	405	249	156	59.23	1.28
80	380	261	119	77.65	2.94
100	366	271	95	97.26	2.74
120	364	286	78	118.46	1.28
140	357	291	66	140.00	0
160	352	296	56	165.00	3.13
180	348	297	51	181.18	0.65
200	342	297	45	205.33	2.67

Sign recognize process

To control Autonomous Transport vehicles go to the destination. The routes must be planned in advance. And during the process other signs must be monitored and recognize. To determine the conditions for controlling the direction and speed of vehicles. For example, Station label, stop signs and turn left, turn right. The basic process used the method of matching pattern. And the lighting is controlled under the indoor conditions. Fig.7 shows several types of sign plates in used experiment.

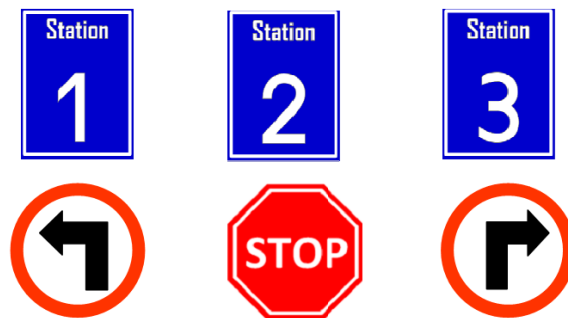


Fig. 7 Example Sign plate

Summary

The computer vision system for controlling the autonomous transport vehicles in this paper with used an image processing knowledge with integration of 3 components, i.e. (1)

Line detection to detect a pair of color lines marked on the floor to estimate the right heading for vehicles, (2) sign and label recognition and detection and recognition of regulation signs and station label to corrects destination and more safety in this process based on pattern matching technic, (3) Stereo vision used to evaluate distance of obstacle for right direction and decision to steer or stop when the obstacle are movement. The advances of computer vision for controlling are increase efficiency and accuracy to controlling vehicles include flexible route because the route can be adjusted independently. The regulations conditions that the reading of signs along the way. And location of the obstacles that are placed on the floor. This experimental line detection can be detect color path more efficiency

References

- [1] John C. Russ, The image processing handbook 5th, Materials Science and Engineering Department, North Carolina State University.
- [2] Hasan, I., Real time traffic sign recognition system on FPGA ,School of natural and applied sciences, Middle East Technical University.
- [3] A. de la Escalera., and Armingol, M., Mata Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles, Division of Systems Engineering and Automation, Carlos3 University of Madrid, 2003.
- [4] Shigehar, M., and Akira Y., Feature Extraction and Recognition of Road Sign Using Dynamic Image Processing, Faculty of Engineering, Okayama University Japan, 2009.
- [5] Saturnino, M.B., and Sergio, L.A., Road-Sign Detection and Recognition Based on Support Vector Machines, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol.8 No.2 Jun.2007.
- [6] Ming , C., and Ernest, H., Fuzzy Logic Control for an Automated Guided Vehicle, Center for Robotics Research University of Cincinnati, 1998.
- [7] Youngjoon, H., and Qing, L., Real-time Lane Detection Based on Extended Edge-linking Algorithm, Department of Electronic Engineering Soongsil University, South Korea, 2007.
- [8] Lai, A..S., and Yung, N.H.C., Lane Detection by Orientation and Length Discrimination, IEEE Trans. Intell. Transp. Syst., vol.30 No.4 August, 2000.

ประวัติผู้เขียน

นายสมเกียรติ แก้วจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2531 ที่อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 ที่โรงเรียนบ้านสระวานพระยา และมัธยมศึกษาปีที่ 1 – 6 ที่โรงเรียนมาบตะโกพิทยาคม อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวិชากรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมยานยนต์) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2552 และในปี พ.ศ. 2553 ได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ขณะศึกษาได้เป็นผู้สอนรายวิชาปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต จำนวน 12 รายวิชา เป็นเวลา 3 ปี ได้แก่

1. ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1 - 3
2. ปฏิบัติการวิศวกรรมยานยนต์ 1 - 4
3. ปฏิบัติการวิศวกรรมอากาศยาน 1 และ 2
4. ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต 2 และ 3
5. วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1

รวมทั้งเป็นวิทยากรอบรมพนักงานของบริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา ในหลักสูตร Introduction to Automation

ระหว่างศึกษาระดับปริญญาโทได้นำเสนอผลงานวิชาการ เรื่อง **Vision System for Controlling Autonomous Transport Vehicles** ใน การ ประ ชุ ม International Conference on Material, Mechatronics and Automation (ICMMA) 2012 ณ เมือง Nanchang ประเทศจีน